

Rüzgar Enerjisinin Dünya'da Ve Türkiye'de Kullanımı,
Eskişehir Merkezinin Rüzgar Değerlerinin İncelemesi

Faruk Turhan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2009

Wind Energy Usage In The World And In Turkey,
The Evaluation Of Wind Values In Downtown Of Eskisehir

Faruk Turhan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

July 2009

Rüzgar Enerjisinin Dünya’da ve Türkiye’de Kullanımı,
Eskişehir Merkezinin Rüzgar Değerlerinin İncelenmesi

Faruk Turhan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Ve Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Kemal TANER

Temmuz 2009

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Faruk TURHAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Rüzgar Enerjisinin Dünya’da ve Türkiye’de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Rüzgar Değerlerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Kemal TANER

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Kemal TANER

Üye : Prof. Dr. Yařar PANCAR

Üye : Prof. Dr. Soner ALANYALI

Üye : Yrd. Doç. Dr. İrfan ÜREYEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mesut TEKKALMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

RÜZGAR ENERJİSİNİN DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE KULLANIMI, ESKİŞEHİR MERKEZİNİN RÜZGAR DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ

FARUK TURHAN

ÖZET

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, insan hayatında tartışmasız bir öneme sahiptir. Elektrik enerjisiz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse mümkün değildir. Bunun yanı sıra gelişen teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan çağdaş gereksinimlerinden dolayı, gün geçtikçe artan elektrik enerjisi sarfiyatı, insanoğlunu yeni enerji kaynakları aramaya itmektedir. Yenilenebilir, temiz, ucuz bir enerji olan rüzgar enerjisi de bu yeni enerji kaynaklarına bir örnektir.

Genel anlamda “rüzgar enerjisi” konusunun incelendiği ve özelde ise Eskişehir örneğinin ele alındığı bu tez çalışmasında izlenen yöntem; enerji, enerji türleri, rüzgar enerjisi ve bu enerjinin Dünya’da ve Türkiye’de kullanımı, rüzgar türbinleri ile ilgili teorik bilgiler vermek, bu bilgileri kullanarak Eskişehir merkezinin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanmasını araştırmaktır.

Araştırma sonunda, Eskişehir merkezinde elde edilen rüzgar enerji potansiyelinin günümüz koşullarında ekonomik bir enerji santrali kurulması için yeterli olmadığı ve rüzgar enerjisi ile elektrik üretiminin sağlanamayacağı vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, elektrik üretimi, Eskişehir

WIND ENERGY USAGE IN THE WORLD AND IN TURKEY, THE EVALUATION OF WIND VALUES IN DOWNTOWN OF ESKISEHIR

FARUK TURHAN

SUMMARY

There is no doubt that energy; especially electrical energy has big importance in our lives. It is almost impossible to survive without it. Beside, the energy consumption increasing day by day parallel to technological developments force, man to find new energy resources. Wind energy is also an example for these renewable, clean and cheap energy resources.

The following method in this thesis, the wind energy in general and the Eskisehir example in particular; theoretic information about energy, kinds of energy, wind energy, the usage of wind energy in the World and in Turkey, wind turbines and the evaluation of wind values in downtown of Eskisehir.

Consequently, wind energy potential is insufficient to set up an economic energy central to downtown of Eskisehir today, and electric production will not be got by wind energy due to low average annual wind speed (3-4 m/s) in downtown of Eskisehir.

Keywords: Wind energy, electricity production, Eskisehir

TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan sevgili danışman hocam Prof. Dr. Kemal TANER'e, tez çalışmalarım sırasında gerek duyduğum Eskişehir merkezinin rüzgar değerlerini elde etmemde bana yardımcı olan Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nde görevli Teknik Şube Müdürü Maksude ZERMAN'a, Ziraat Mühendisi Hikmet KORKMAZER'e teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışma hayatımla birlikte yüksek lisans eğitimimi tamamlamamda gerekli kolaylığı sağlayan, hoşgörüsünü ve manevi desteğini esirgemeyen 1 inci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı'nda görevli, Aksesuar Revizyon Müdürü Hava Mühendis Binbaşı Turgay FERAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, öğrenim hayatım süresince maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Çalışmanın Yöntemi	2
2. ENERJİ	4
2.1 Enerjinin Tanımı	4
2.2 Enerji Kaynakları	4
2.2.1 Tükenebilen enerji kaynakları	5
2.2.1.1 Kömür	5
2.2.1.2 Petrol	6
2.2.1.3 Doğal gaz	6
2.2.1.4 Atom enerjisi	8
2.2.1.5 Odun	9
2.2.2 Tükenmeyen enerji kaynakları	9
2.2.2.1 Hidrolik enerji	11
2.2.2.2 Jeotermal enerji	12
2.2.2.3 Güneş enerjisi	12
2.2.2.4 Biyomas enerjisi	13
2.2.2.5 Dalga ve gel-git enerjisi	13
2.2.2.6 Rüzgar enerjisi.....	14

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. RÜZGAR ENERJİSİ	15
3.1 Rüzgar	15
3.2 Rüzgar Çeşitleri Ve Oluşumu	16
3.2.1 Küresel rüzgarlar	19
3.2.2 Yüzey rüzgarları	20
3.2.3 Yerel rüzgarlar	20
3.2.3.1 Deniz rüzgarları	20
3.2.3.2 Dağ rüzgarları	20
3.3 Rüzgar Enerjisi	21
3.4 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi	21
3.5 Dünyanın Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	28
3.6 Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli	29
3.7 Dünyada Rüzgar Enerjisi Kullanımı	33
3.7.1 Amerika kıtasında rüzgar enerjisi kullanımı	40
3.7.2 Avrupa kıtasında rüzgar enerjisi kullanımı	41
3.7.3 Asya kıtasında rüzgar enerjisi kullanımı	45
3.7.4 Dünya'nın geri kalan kısmının rüzgar enerjisi kullanımı	46
3.8 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Kullanımı	47
3.8.1 Son gelişmeler	48
3.8.2 Çevre politikası	53
3.9 2009-2013 Yılları Arasında Rüzgar Enerjisinde Beklenen Gelişmeler ...	53
3.9.1 Bölgesel dağılım	55
3.10 Rüzgar Enerjisinin Yararlar Ve Mahsurları	59
3.10.1 Rüzgar enerjisinin yararları	60
3.10.2 Rüzgar enerjisinin mahsurları ve bunlara ait çözüm önerileri	62

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. RÜZGAR TÜRBİNLERİ	65
4.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	65
4.1.1 Yapılarına göre rüzgâr türbinleri	65
4.1.1.1 Yatay eksenli rüzgâr türbinleri	66
4.1.1.2 Düşey eksenli rüzgâr türbinleri	68
4.1.1.3 Eğik eksenli rüzgâr türbinleri	68
4.1.2 Güçlerine göre rüzgar türbinleri	68
4.1.2.1 Mikro türbinler	68
4.1.2.2 Küçük güçlü rüzgar türbinleri	69
4.1.2.3 Orta güçlü rüzgar türbinleri	69
4.1.2.4 Büyük güçlü rüzgar türbinleri	69
4.1.3 Şebeke açısından rüzgar türbinleri	71
4.1.3.1 Şebekeden bağımsız sistemler	71
4.1.3.2 Şebekeye bağlı sistemler	72
4.1.4 Kanat sayısına göre rüzgar türbinleri	73
4.1.4.1 Tek kanatlı rüzgâr türbinleri	73
4.1.4.2 İki kanatlı rüzgâr türbinleri	73
4.1.4.3 Üç kanatlı rüzgâr türbinleri	74
4.2 Rüzgâr Türbinlerinin Parçaları	75
4.2.1 Kanatlar ve kuyruk	77
4.2.2 Kule	78
4.2.3 Rotor	79
4.2.4 Vites kutusu	79
4.2.5 Eğim donanımı	79
4.2.6 Fren sistemi	80
4.2.7 Elektriksel aksamlar	80
4.3 Rüzgar Türbinlerinin Güç Kontrolü	82
4.3.1 Stall kontrol mekanizması	82

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.4 Türbinin Çalışma Prensibi	85
4.5 Pervane Hız	85
4.5.1 Değişken hızlı pervaneler	86
4.5.2 Sabit hızlı pervaneler	86
5. RÜZGAR ENERJİSİNDE KULLANILAN TEORİK BİLGİLER	88
5.1 Temel Yasa Ve Kavramlar	88
5.2 Betz Kriteri	88
5.3 Kayıplar	91
5.3.1 Profil kayıpları	92
5.3.2 Uç kayıpları	92
5.3.3 Girdap kayıpları	92
5.4 Hellman Yükseltme Bağıntısı	93
5.5 Rayleigh Dağılım Fonksiyonu	95
6. ESKİŞEHİR MERKEZİNİN RÜZGAR DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ	97
6.1 Eskişehir İlinin Yeri Ve Tarihçesi	97
6.2 Eskişehir İlinin Elektrik Enerjisi İhtiyacı	99
6.3 Eskişehir Merkezinin Rüzgar Hızları Ölçümleri.....	99
6.3.1 Eskişehir merkezinin aylara göre rüzgar hızları.....	99
6.4 Türbin Seçimi	108
6.5 Türbin Sayısının Bulunması	109
7. SONUÇ VE TARTIŞMA	110
8. KAYNAKLAR DİZİNİ	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Pers Uygarlığında görülen dikey eksen tipli yel değirmeni diyagramı	22
3.2 Uygarlığında kullanılan bir başka yel değirmeni	22
3.3 Balıkesir'in Samlı ilçesinden yel değirmenleri	23
3.4 Muğla'nın Bodrum ilçesinden bir yel değirmeni resmi	23
3.5 Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi	24
3.6 Muhtemelen tipinin ilk örneği olan ve Belidor tarafından tasarlanan pervane tipi rüzgar türbini	25
3.7 Putnam rüzgar türbini	26
3.8 Deniz üstü rüzgar tarlası, Horns-Rev, Danimarka	28
3.9 Türkiye rüzgar atlası	32
3.10 Küçük türbinlere bir örnek	36
3.11 Kansas Montezuma'da toplam 170 türbinden oluşan rüzgar enerjisi santrali	37
3.12 1996-2008 yılları arası dünya genelinde toplam rüzgar enerjisi üretim kapasitesi	38
3.13 1996-2008 yılları arası dünyada yıllık kurulan rüzgar enerjisi üretim kapasitesi	39
3.14 2003-2008 yılları arası bölgelere göre yıllık kurulan rüzgar enerjisi kapasitesi...	39
3.15 1980-2007 yılları arası dünyadaki rüzgar enerjisi kurulu gücü	40
3.16 2008 yılı sonu itibariyle MW cinsinden Avrupa'da kurulu rüzgar gücü,	44
3.17 Bandırma'da kurulu bir rüzgar çiftliği	49
3.18 Dünya Genelinde 2009-2013 Yılları Arası Beklenen Durum	54
3.19 Almanya, Marienkoog rüzgar çiftliği	55
3.20 GW cinsinden bölgelere göre 2009 – 2013 yılları arası tahmini yıllık	58
3.21 GW cinsinden bölgelere göre 2009-2013 yılları arası tahmini toplam	58
4.1 Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde çeşitli kanat şekilleri	66
4.2 Yatay eksenli sistem	66
4.3 Savonius çarkı dikey eksenli rüzgar türbini	67
4.4 Darrieus çarkı dikey eksenli rüzgar türbini	67
4.5 Düşey eksenli sistemler	67
4.6 Şebekeden bağımsız çalışan büyük güçlü rüzgar türbini	71
4.7 Şebekeden bağımsız akü şarj prensibine göre çalışan rüzgar türbini	72
4.8 Şebeke ile paralel bağlı rüzgar türbini	72

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.9 Tek kanatlı rüzgâr türbini	73
4.10 İki kanatlı rüzgâr türbinleri	74
4.11 Üç kanatlı rüzgâr türbini	75
4.12 Türbinin bileşenleri	76
4.13 Bir rüzgâr türbininde bulunan parçalar	76
4.14 Kanatlar	77
4.15 Kuyruk	78
4.16 Doğrultucu ve gerilim regülatörü elektrik devresi	81
4.17 Stall olayının meydana gelmesi	82
4.18 Profil etrafındaki hava akışı	83
4.19 Profil etrafındaki hava akışı	84
5.1 Yavaşlatma faktörü değişimi	91
5.2 $C_{P_{Schmitz}} - \lambda_A$ eğrisi	93
5.3 Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi	94
6.1 Eskişehir ilinin rüzgar gülü	100
6.2 1990-2008 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları	101
6.3 2008 yılı ocak ayında günlük ortalama rüzgar hızları	102
6.4 2008 yılı şubat ayında günlük ortalama rüzgar hızları	102
6.5 2008 yılı mart ayında günlük ortalama rüzgar hızları	103
6.6 2008 yılı nisan ayında günlük ortalama rüzgar hızları	103
6.7 2008 yılı mayıs ayında günlük ortalama Rüzgar hızları	104
6.8 2008 yılı haziran ayında günlük ortalama rüzgar hızları	104
6.9 2008 yılı temmuz ayında günlük ortalama rüzgar hızları	105
6.10 2008 yılı ağustos ayında günlük ortalama rüzgar hızları	105
6.11 2008 yılı eylül ayında günlük ortalama rüzgar hızları	106
6.12 2008 yılı ekim ayında günlük ortalama rüzgar hızları	106
6.13 2008 yılı kasım ayında günlük ortalama rüzgar hızları	107
6.14 2008 yılı ekim ayında günlük ortalama rüzgar hızları	107
7.1 Rüzgar türbini güç eğrisi grafiği	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Tükenebilirliğine göre enerji türleri	5
2.2 Yurt içi petrol ve doğalgaz arama ve geliştirme yatırım harcamaları	7
2.3 Yenilenebilir enerji kaynakları	10
2.4 Yıllık dünya yenilenebilir enerji doğal potansiyeli	11
3.1 Beaufort cetveli kara kriterleri	17
3.2 Beaufort cetveli deniz kriterleri	18
3.3 Enlemlere göre hakim rüzgar yönü	19
3.4 Çeşitli ülkelerin tahmini rüzgar enerjisi potansiyelleri	29
3.5 Bölgelere göre rüzgar enerjisi potansiyeli	30
3.6 Elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü, brüt üretimi, net elektrik tüketimi	31
3.7 Dünyada kurulu rüzgar gücü kapasitesi	34
3.8 Amerika kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi	41
3.9 Avrupa kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi	43
3.10 MW cinsinden asya kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi	45
3.11 MW cinsinden Dünya'nın geri kalan kısmının kurulu rüzgar gücü kapasitesi	47
3.12 Türkiye'deki kullanımda olan rüzgar santralleri	50
3.13 Türkiye'deki inşa halinde bulunan rüzgar santralleri	51
3.14 Türkiye'deki türbin tedarik sözleşmesi imzalı projeler	52
3.15 Çeşitli santrallerin kWh başına kullandığı su miktarı	62
4.1 Rüzgar hızına göre türbin güçleri	70
5.1 Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi	94
6.1 1990-2008 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları	101
6.2 Rüzgar hızına göre kW cinsinden türbin güçleri	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Alan
C_A	Kaldırma kuvveti kat sayısı
C_p	Güç faktörü
C_w	Direnç kuvveti kat sayısı
CO_2	Karbondioksit
GWh	Giga watt saat
H	Yükseklik
Kg	Kilogram
km	Kilometre
kW	Kilo watt
kWh	Kilo watt saat
MW	Mega watt
MWh	Mega watt saat
m	Metre
\dot{m}	Kütleli debi
m^3	Metreküp
N	Newton
n	Yavaşlatma faktörü
P	Basınç
R	Çap
s	Saniye
TWh	Tera watt saat
V	Hız
V_ζ	Çevresel hız
π	Pi sayısı
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
λ	Uç hız oranı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar Açıklama**

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
CFRP	Plastikle güçlendirilmiş karbon fiber (Carbon fiber reinforced plastic)
EWEA	Avrupa rüzgar enerji birliği (Europe wind energy association)
et al	Ve diğerleri
GRP	Plastikle güçlendirilmiş cam (Glass reinforced plastic)
GWEC	Dünya rüzgar enerji birliği (Global wind energy council)
HAWT	Yatay eksenli rüzgar türbinleri (Horizontal axis wind turbine)
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz (Liquified natural gas)
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
OECD	Ekonomik kalkınma ve işbirliği örgütü (Organisation for economy co- operation and development)
WECS	Rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (Wind energy cycle system)
VAWY	Dikey eksenli rüzgar türbinleri (Vertical axis wind turbine)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımı

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, insan hayatında tartışmasız bir öneme sahiptir. Onsuz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse mümkün değildir. İnsanoğlu elektrik enerjisini farkında olmadan günün her saatinde kullanır. Örneğin evlerdeki buzdolabının, asansörün ve benzeri araçların elektrik enerjisi harcayarak çalıştığı kullananlar tarafından pek fark edilmez. Ancak, enerjisizlik nedeniyle çalışmadıklarında yaşam düzeni adeta alt üst olur.

Gelişen teknolojiye paralel olarak, ortaya çıkan çağdaş gereksinimler karşısında gün geçtikçe artan elektrik enerjisi sarfiyatı, insanlar, yeni enerji kaynakları aramaya itmektedir. Ancak, bu konuda dikkat edilmesi gereken bir nokta da şudur ki, dünya bilinçsizce seçilen, kullanılan enerji kaynakları sebebiyle hızla kirlenmekte ve dünya üzerindeki yaşam olumsuz etkilenmektedir. Sözü edilen gereksinimi karşılamak için atılacak en önemli adım; yenilenebilir, temiz enerji kaynakları kullanımını kabul edip, bu düşüncenin yaygınlaştırılmasına gitmektir. Sayıca artan bilinçli uygulamalar da temiz enerjinin çevre üzerindeki olumlu etkilerini açıkça göstermektedir. Ancak, enerji ihtiyacı karşılanması konusunda temiz enerjiye gereken önemin verilmemesi üzücü bir gerçektir. Ne yazık ki, ülkemizde de bilinçsizce uygulanan, kısa sürede verimliliğini yitirecek olan kaynakların seçildiği örneklere sıkça rastlanmaktadır.

Özetle, elektrik enerjisi üretimi konusunda; söz konusu enerji ihtiyacını karşılarlarken, bir taraftan da üzerinde yaşadığımız dünyayı temiz tutacak uygulamaların yaygınlaştırılmasına bilimsel açıdan yaklaşmak gerekir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında asıl hedeflenen; enerji ihtiyacının önemine dikkat çekmek, yapılan yanlış uygulamaları bir ölçüde engellemek ve konuya bir açıklık getirmektir. Bu bağlamda, enerji konusunun çok geniş kapsamlı olmasından dolayı, tezin adından da anlaşılacağı üzere; özelde rüzgar enerjisi konusuna inilerek bir sınırlama getirilmeye çalışılmıştır.

Son yıllarda sağladığı avantajları nedeniyle, elektrik enerjisinin rüzgar enerjisi yardımıyla elde edildiği uygulamalar artmaktadır. Bu durum doğal olarak, elektrik enerjisi üretimi konusuna yeni bir boyut kazandırmıştır. Ancak, yapılan gözlemler ve araştırmalar sonucunda kuruluş aşamasında düşünülmesi gereken konum, türbin v.s. seçimi gibi faktörlerin genellikle üstün körü hesaplanarak bilinçsizce uygulandığı görülmüştür. Bu bağlamda, böyle bir konunun araştırılmasının, ileriki çalışmalar ve yapılan uygulamalar için yol gösterici ve faydalı olacağı beklenmektedir.

Özetle bu tezde amaçlanan; mühendislerin rüzgar enerjisi konusunda kullanabileceği, somut örneklerle desteklenmiş bir çalışma ortaya koymaktır. Buradaki somut örnek, Eskişehir ilinin rüzgar enerjisi analizidir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Genel anlamda “rüzgar enerjisi” konusunun incelendiği ve özelde ise Eskişehir ili örneğinin ele alındığı bu tez çalışmasında izlenen yöntem; enerji, enerji türleri, rüzgar enerjisi ve bunu sağlayan rüzgar türbinleri ile ilgili teorik bilgiler vermek, bu bilgileri kullanarak Eskişehir ilinin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanmasını araştırmaktır. Bu doğrultuda, öncelikle, gerek bir çok üniversite kütüphanesinde, gerekse internet üzerinde geniş kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Bunun yanı sıra, seçilen türbinler incelenip, konuyla ilgili firma yetkilileri ile kişisel görüşme ve yazışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu tez çalışmasında örnek olarak seçilen Eskişehir ilinin 2008 yılı rüzgar hızı verileri ve 1990-2008 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları, Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü yetkilileri tarafından verilen dokümanlardan yararlanarak hazırlanan teze aktarılmıştır. Tüm bunlara ek olarak,

birçok mühendis, akademisyen ve bu konuda araştırma yapmış veya çalışan çeşitli kişilerin fikirlerine de başvurulmuştur.

BÖLÜM 2

ENERJİ

2.1 Enerjinin Tanımı

Üretilmeyen ve ancak mevcut bir formdan diğerine dönüştürülebilen **enerji**; Yunanca “energia ” sözcüğünden alınma olup; etkiyen kuvvet anlamına gelmektedir. Ayrıca, enerji fizik biliminde iş yapabilme yeteneği ve depolanan iş olarak da tanımlanır.

Ülkelerin ekonomik kalkınma düzeylerine göre enerji tüketim miktarları incelendiğinde, gelişmiş ülkelerdeki fert başına enerji tüketiminin, gelişmekte olan ülkelerdeki tüketimin on katından fazla olduğu tespit edilmiştir. Bugün ABD’de bir kişinin tükettiği enerjiyi, 3 Fransız/İtalyan/Japon, 4 İspanyol, 7 Türk, 13 Çinli, 35 Hintli, 38 Pakistanlı tüketmektedir (Sarıkayalar, 1998).

2.2 Enerji Kaynakları

Enerji, değişik kısıtlara göre sınıflandırılrsa da, en genel haliyle 7 grupta incelenmektedir. Bu gruplar; mekanik (kinetik ve potansiyel) enerji, ısıl (termik) enerji, kimyasal enerji, elektrik enerjisi, ışın enerjisi, atom (çekirdek) enerjisi ve birleşme (fizyon) enerjisidir. Ama eğer bu sınıflandırmada dünyanın varolma süresi referans alınırsa enerji; tükenen enerji ve yenilenebilir enerji olmak üzere iki grupta incelenir. Çizelge 2.1.’de tükenebilirliğine göre enerji türleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tükenebilirliğine göre enerji türleri (Özdamar, 2000a).

TÜKENEBİLİRLİĞİNE GÖRE ENERJİ TÜRLERİ	
Tükenebilen Enerji	Tükenmeyen (Yenilenebilir) Enerji
<ul style="list-style-type: none"> • Kömür, Linyit, Petrol, Doğal Gaz, Atom (uranyum) gibi kaynaklardan elde edilen enerji • Çevreyi kirletir ve dünyanın varolma süresinde tükenirler. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su (hidrolik), Güneş, Rüzgar, Jeotermal, Biyomas, Gel-Git Olayı gibi kaynaklardan elde edilen enerji • Çevre dostudurlar ve dünya varoldukça tükenmezler.

2.2.1 Tükenebilen enerji kaynakları

Tükenebilen enerji kaynakları, adından da anlaşılacağı üzere, günün birinde kısmen veya tamamen yok olan, biten kaynaklardır. Bu tip enerjiyi sağlayan kaynaklar; petrol, taş kömürü, linyit, doğal gaz, odun ve atomdur (uranyum). Sözü edilen bu farklı kaynakların çıkarıldıkları bölgelere göre miktarları da oldukça farklı değerler almaktadır (Sarıkayalar, 1998).

2.2.1.1 Kömür

Yanabilen sedimanter organik kayadır. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabaklarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Bu tabakalar üzerine çeşitli çökeltilerin birikmesi ve arz'ın hareketleri sonucu derinliklere gömülmüştür (www.tki.gov.tr).

Türkiye'nin en büyük kömür havzası Zonguldak yöresinde yer almaktadır. Ayrıca Antalya-Kemer, Diyarbakır-Hazro yörelerinde de önemsiz iki taş kömürü yatağı bulunmaktadır (Sencer, 2001).

2.2.1.2 Petrol

Petrol sözcüğü, Yunanca-Latince'de taş anlamına gelen “ petra “ ile yağ anlamına gelen “oleum“ sözcüklerinden oluşmuştur. Petrol deyince yalnız belirli bir yakıtı değil ham petrolü kastediyoruz. Petrol bir takım hidrokarbonların karışımından meydana gelmiş olup, muayyen bir kimyevi bileşimi yoktur. Petrolün yoğunluğu kimyasal bileşimine ve viskozitesine göre değişir. En hafif olarak bilinen bir Rus petrolünün özgül ağırlığı 0,650 gr/cm³ ve en ağır olarak bilinen bir Meksika petrolünün ise 1,080 gr/cm³'dür (www.pmo.org.tr).

Dünyanın petrol rezervleri olarak en zengin bölgesi 683,6 milyar varil (1 varil yaklaşık 0,7 tondur) ile Orta Doğu Bölgesidir. Bunu 95,2 milyar varil ile Güney Amerika ve 74,8 milyar varil ile Afrika kıtası takip etmektedir. 2000 yılı verilerine göre, dünyada 3,6 milyar ton ham petrol ve 2,4 trilyon m³ doğal gaz üretilmiş olup, 7 milyon ton petrol ticaret hacmi gerçekleşmiştir. Yine dünya genelinde doğal gaz sektöründe 0,5 trilyon m³ LNG olarak ticaret yapılmıştır. Yapılan tahminlere göre dünyanın hafif petrol üretimi 2010 yılına kadar en yüksek noktasına ulaşacak ve ondan sonra azalmaya başlayacaktır. Bu tahmin ağır petrol rezervlerini ve petrolü kumları içermemektedir.

Yurdumuzda petrol aramacılığının yapıldığı 57 yıl süresinde 1050 arama kuyusu ve 1808 üretim, enjeksiyon ve geliştirme kuyusu açılmış ve irili ufaklı 23 doğal gaz sahası ile 102 petrol sahası keşfedilmiştir (www.pal.metu.edu.tr).

2.2.1.3 Doğal gaz

Doğalgaz da petrol gibi karbon bazlı bir fosil yakıttır. Oluşumu petrol ile aynıdır. Büyük oranda Metan (CH₄), daha az oranlarda Etan (C₂H₆), Propan (C₂H₈), Bütan (C₄H₁₀), Azot (N₂), Karbondioksit (CO₂), Hidrojen sülfür (H₂S), Helyum (He) içeren, renksiz, kokusuz, yüksek kalorili bir gaz yakıttır. Yoğunluğu 0,6-0,8 kg/m³ arasındadır. Havaya göre daha hafif bir gaz olduğu için açık havada uçucu özelliğe sahiptir. Ancak kapalı mahallerde hava içindeki gaz oranı % 5-15 arındaki değere ulaşırsa patlayıcı özelliği vardır (www.wikipedia.org).

Doğalgaz ithalinde kaynak çeşitlenmesi kapsamında, 1994 yılında Cezayir'den sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG, -164 °C de doğalgaz sıvı haline geçer) alımına başlanmış, bunu 1999 yılında Nijerya ile yapılan alım anlaşması ve spot alımlar izlemiştir. Botas, LNG olarak deniz yoluyla taşınan gazı Marmara Ereğli'sinde bulunan ve 685000 m³ / saat enjeksiyon kapasitesine sahip Gazlaştırma Terminali'nde işleme sokarak ana iletim hattına enjekte etmektedir.

Doğalgazın talep noktalarına ulaştırılması için yapılmış olan yatırım planları adım adım gerçekleştirilmektedir. Bugün Bulgaristan sınırında ülkemize giren ve 1988 yılından bu yana işletilmekte olan 842 km.'lik Ana Hattın yanı sıra Doğu Anadolu Doğalgaz Ana İletim Hattı da tamamlanarak 2001 yılının sonunda işletmeye alınmıştır. 2002 yılında Eskişehir - Mihalliçık ve Bozüyük-Eskişehir doğalgaz loop hatları, Bozüyük-Adapazarı Dağıtım Hattı Faz I ve Bozüyük-Adapazarı Dağıtım Hattı Faz II yapım çalışmaları tamamlanmıştır (www.botas.gov.tr).

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nın 2005 yılında yurtiçinde 282.612 Bin TL yatırım harcaması yapılmış olup, yurtiçi yatırımlarımız 2006 yılı için ise 450.000 Bin TL olarak belirlenmiştir. 2005 yılında yapılan yurtiçi yatırım harcamalarının %48' i arama, %31' i üretim, %18' i sondaj, %3' ü ise diğer harcamalara aittir (www.tpao.gov.tr). Çizelge 2.2.'de yurt içi petrol ve doğalgaz arama ve geliştirme yatırım harcamaları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yurt içi petrol ve doğalgaz arama ve geliştirme yatırım harcamaları (www.tpao.gov.tr).

Yurt içi Petrol ve Doğalgaz Arama ve Geliştirme Yatırım Harcamaları (Bin TL)			
	2003	2004	2005
Arama	47046	92465	137030
Üretim	46431	103100	85939
Sondaj	13287	10443	50177
Diğer	475	3807	9466
Toplam	107239	209815	282612

2.2.1.4 Atom enerjisi

Tükenen birincil enerji kaynakları içerisinde bulunan bir başka enerji kaynağı da nükleer enerjidir. Nükleer enerji, atom çekirdeğinin reaktörde denetimli bir biçimde bölünmesi ile ortaya çıkan enerjidir.

1986 yılında meydana gelen Chernobyl Nükleer Reaktör Kazası'na kadar hızla gelişen endüstri, bu kazadan sonra büyük bir duraklama devrine girmiştir. Buna rağmen, bugün, nükleer santrallerin ürettiği elektrik enerjisi, üretilen toplam elektrik enerjisi içerisinde büyük bir yer kaplar. Nükleer santraller, dünya elektrik üretiminin 1/6'sından fazlasını karşılarlar. 1997 yılı itibari ile 442 nükleer santral çeşitli ülkelerde faaliyettedir. Bu santrallerin 113 tanesi ABD'de, 56 tanesi Fransa'da, 43 tanesi de Japonya'dadır. Toplam kurulu güç 351.000 MW'tır. Buradan da anlaşılacağı gibi, dünya elektrik üretiminin %18'ini nükleer elektrik üretimi oluşturmaktadır (Sencer, A., 2001).

Dünya 1997 yılı verilerine göre kanıtlanmış toplam uranyum rezervi 3,8 milyon ton olup, bunun 1,6 milyon tonu OECD ülkelerinde bulunmaktadır. Dünyanın 1997 yılındaki uranyum üretimi 63.000 tondur ve eskiden stoklanmış üretim vardır. Şimdilik tüketim 58.000 ton/yıl kadardır. Sökülmüş nükleer silahlardan da bir miktar yakıt elde edilmesi tasarlanmaktadır. 2010 yılına kadar tüketimin yarısının stoklardan karşılanması planlanmaktadır.

Türkiye'de uzun bir süredir gündemde olan nükleer enerji, son yıllardaki krizler ve karşı çevreci akımlar yüzünden gündemden düşmüştür. Her şeye rağmen radyoaktif sızıntılar, kalıntılar, atıklar ve bunun yanında nükleer gücün askeri alanlarda kullanılması, bu güce sahip ülkelerle diğer ülkeler arasında derin siyasal anlaşmazlıklara yol açmaktadır. Ayrıca atom enerjisinin kaynağı olan uranyumun 50 yıl içinde tükenecek olması, bu enerjinin önündeki bir başka büyük engeldir (www.wind-energie.de).

2.2.1.5 Odun

Ateşin bulunmasıyla birlikte hemen hemen tek ısı enerjisi kaynağı olmuştur. Bugün az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tüketilen enerjinin büyük kısmı, halen odundan karşılanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise odunun yakıt olarak, yani enerji kaynağı olarak değil; sanayi girdisi olarak değerlendirilmesi esas alınmıştır. Buna örnek olarak, kâğıt üretimi verilebilir.

2.2.2 Tükenmeyen enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendisini dünya varoldukça yenileyen, yani tükenmeyen enerji kaynaklardır.

Gelişen sanayi, nüfus artışı, sınırlı olan doğal kaynakların ziyan edilmeden ve zarar verilmeden kullanımı; insanoğlunun gündeminde artık en üst sıralar işgal eder duruma gelmiştir. Özellikle medeniyetlerin oluşmasını sağlayan su, yiyecek, enerji gibi doğal ve sınırlı kaynakların etkin ve temiz bir şekilde kullanılması çok önemli bir yer tutmaya başlamıştır.

1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi, nükleer enerji santrallerine karşı oluşan toplumsal tepkiler ve fosil yakıtlarının kullanımı sonucu ortaya çıkan sera gazları olarak adlandırılan karbondioksit, metan ve azotoksit gibi gazların atmosfere salınımıyla oluşan çevre kirliliği; bilim insanlarını, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirmeye itmiştir.

Bugünkü enerji kullanım biçiminin devam etmesi durumunda, atmosferdeki karbondioksit gazı miktarı, 2030 yılında ikiye katlanarak; atmosfer sıcaklığının 2,5 °C, deniz seviyesinin ise yaklaşık 18 cm artmasına neden olacaktır. Bu da, yiyecek sıkıntısının doğması ve kıyılarda yaşayan binlerce insanın göç etmesi anlamına gelmektedir. İşte bütün bu sorunlar, çevre dostu yenilenebilir enerjinin önünü açmıştır (Özdamar, 2000 b).

Yenilenebilir enerji kaynakları enerjinin ana kaynağına göre, güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak üç grupta incelenebilir. Çizelge 2.3.'de yenilenebilir enerji kaynakları verilmiştir.

Çizelge 2.3. Yenilenebilir enerji kaynakları (Özdamar, 2000 c).

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI				
Ana Kaynak	Birincil Enerji Kaynakları	Doğal Enerji Dönüşümü	Teknik Enerji Dönüşümü	Kullanım Enerjisi
Güneş	Su	Buharlaştırma, Yağış	Su Güç Tesisleri	Elektrik Enerjisi
	Rüzgar	Atmosferdeki Hava Hareketleri	Rüzgar Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Güneş Işınları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompaları	Isı Enerjisi
			Kollektörler	Isı Enerjisi
			Güneş Pilleri	Elektrik Enerjisi
	Biyomas	Biyomas Üretimi	Isı Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
Dönüşüm Tesisleri			Yakıt Enerjisi	
Dünya	Yer Merkezi Isısı	Jeotermal Enerji	Jeotermal Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
Ay	Ay Çekimi Gücü	Gel-Git Olayı	Gel-Git Güç Santralleri	Elektrik Enerjisi

Çizelge 2.4.'te de çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık potansiyelleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Yıllık dünya yenilenebilir enerji doğal potansiyeli (Özdamar, 2000 c).

YILLIK DÜNYA YENİLENEBİLİR ENERJİ DOĞAL POTANSİYELİ					
Güneş Kaynaklı Enerji Türü	Güneş Enerjisi	Rüzgar Enerjisi	Dalga ve Gel-Git Enerjisi	Hidrolik Enerji	Biyomas Enerji
Dünya Potansiyeli (Milyar kWh)	1.524.240.000	30.844.000	7.621.000	46.000	1.524.000

2.2.2.1 Hidrolik enerji

Hidrolik elektrik santrallerden elektrik enerjisi eldesi, barajlarda biriktirilen suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak olur. Baraj göllerinde biriktirilen suyun potansiyel enerjisi, su türbinlerden geçirilerek, mekanik enerjiye oradan da elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidrolik enerjinin günümüzde dünyadaki en güvenilir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir.

Avrupa ve Kuzey Amerika'da değerlendirilebilecek kapasitenin %60'ı kullanılırken, dünyanın geri kalan kısmında bu potansiyelin %10'u kullanılmaktadır. Dünya potansiyelinin hemen hemen 1/5'i değerlendirilmiş bulunmaktadır (Sencer, 2001).

Türkiye'de bugüne kadar 125 hidroelektrik santral işletmeye alındı. Türkiye'de bugüne kadar işletmeye alınan 11643 Megawatt Kurulu güçteki hidroelektrik santrallerde

yılda ortalama 42,2 milyar kW/sa enerji üretiliyor. İnşa edilen hidroelektrik santrallerin toplam kurulu gücü 9912 MW'dır. İnşa edilen hidroelektrik santrallerde yılda ortalama 35,7 milyar kW/sa enerji üretiliyor (www.dsi.gov.tr).

2.2.2.2 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji ülkemiz için önemli bir yenilenebilir kaynaktır. Türkiye jeotermal potansiyel açısından dünyanın yedinci ülkesidir, muhtemel jeotermal potansiyelin kullanımının getirebileceği ekonomik kazanım 9 milyar \$/yıl'dır. Yüzey sıcaklığı 40 °C'nin üzerinde 140 jeotermal saha mevcuttur. Ancak, bunlardan sadece dört tanesi elektrik üretimine uygundur. Bu sahalardan Denizli-Sarayköy'de 20,4 MW kurulu elektrik gücünde bir santral mevcuttur. Diğer üç sahada da elektrik santralleri kurulmalıdır. Ayrıca, bu sahalarda elektrik üretimine entegre olarak, merkezi ısıtma vb. jeotermal uygulamalar gerçekleştirilmelidir. Geri kalan sahaların ısıtma amaçlı olarak ve düşük sıcaklıkta ısı enerjisi gerektiren uygulamalarda değerlendirilmesi teşvik edilmelidir. Türkiye'nin teorik jeotermal toplam kapasitesi 31500 MW'dır . Bu değer 5 milyon konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir. Ancak, bu muhtemel bir değer olup, hedef olarak bir milyon konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek çalışmalar yapılabilir.

Jeotermal enerjinin çevre dostu karakterde kullanılması için tüm dünyada yasalarla zorunlu hale getirilmiş olan reenjeksiyon (akışkanı yeraltına geri verme) tekniğinin uygulanması, hem rezervuar parametrelerinin korunması hem de jeotermal suyun çevreye zarar vermemesi için şarttır (www.tubitak.gov.tr).

2.2.2.3 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzünde 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden

kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (www.eie.gov.tr).

2.2.2.4 Biyomas enerjisi

Dönüştürülmüş enerji üretmek için yararlanılan organik kökenli maddelere, genel bir terimle biyomas ve bunlardan elde edilen enerjiye ise, biyomas enerjisi adı verilmektedir. Terimi oluşturan biyo canlı, mas (mass) ise kütle veya yığın, başka bir ifade ile enerji elde edilecek tesise enerji maddesinin yığılıp depo edilmesi gibi anlamlara gelmektedir. Dolayısıyla da bu gibi organik kökenli artıklardan elde edilen enerjiye, biyomas enerjisi denir. Sözü edilen enerji kaynağı, bugüne kadar ki uygulamalardan anlaşıldığına göre, hayli ekonomik bir kaynaktır. Örneğin, bir ton biyomas maddesinin havasız bir ortamda fermente edilmesi sonucu, 1,2 varil petrol eşdeğeri bir enerjinin elde edilebileceği hesaplanmıştır. Öte yandan biyomas kaynaklarından elde edilen yanıcı gaz karışımının, m³ 'ü başına % 40 ila % 70 oranında metan gazı, % 30 ila % 55 oranında karbondioksit ve diğer oranların ise azot, hidrojen ve hidrojen sülfür gibi maddelerden oluştuğu anlaşılmıştır (www.obitet.gazi.edu.tr).

2.2.2.5 Dalga ve gel-git enerjisi

Gelgit enerji, kaynaklarının ve zamanlamasının yüksek tahmin edilebilirliğine rağmen, uzun yapım aşaması, yüksek yoğunluklu maliyeti ve düşük yükleme faktörleri, yakın bir gelecekte gelgit teknolojilerindeki önemli fiyat düşmesi ihtimalini de geçersiz kılmaktadır. Dalga enerjisindeki son başarılı gelişmeler, iklim değişimi konusundaki odaklanmalar ve İskoçya, Avustralya, Danimarka, USA'daki teknolojik ilerlemeler sebebiyle enerji temini için yüksek potansiyel, dünyanın mevcut elektrik kaynağının % 10'unu (eğer uygun şekilde faydalanılırsa) karşılayabileceği yolundadır ve potansiyel sinerjileri offshore petrol ve gaz endüstrisi kadar anlamlı olabileceğini gösterir. Buna rağmen teknolojik olarak çözülmemiş çok sayıda önemli nokta vardır. Raporda 3-5 yıl içinde dalga enerjisi birim

fiyatının 2-3 pence/kwh'a düşmesi ihtimali, bu maliyetin dalga enerjisindeki tecrübelerden değil, kıyıda (onshore) rüzgar enerjisi maliyet tecrübelerine göre yapıldığını göstermiştir. Bununla birlikte, dalga enerji potansiyelinin tam kullanımını bazı durumlarda ertelenmiş gözükmetedir (www.meteor.gov.tr).

Türkiye'de gel-git santrallerinin kurulabileceği herhangi bir kıyı mevcut değildir. Dalga enerjisinden de, henüz yararlanılmamaktadır.

2.2.2.6 Rüzgar enerjisi

Alternatif enerji kaynakları içerisinde hidrojenden sonra en faydalı olabilecek enerji kaynağı rüzgardır. Temiz, bol, yenilenebilir olmasının yanı sıra hemen hemen tüm dünya genelinde faydalanma imkanı olan bir kaynaktır. Rüzgar enerjisi, yerden belli yükseklikteki direklere iyi yerleştirilmiş rüzgar türbinleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Az sayıda büyük enerji üretim merkezleri kurmak yerine, ülke geneline küçük üniteler halinde yayılmış rüzgar türbinleri kurmak çok daha avantajlıdır. Rüzgar, elektrik üretiminin yanı sıra hidrojen üretiminde de söz sahibi olabilir. Rüzgardan elde edilecek elektrikle suyun elektroliz edilmesi sonucunda; su, oksijen ve hidrojen elementlerine ayrılarak çok ucuz bir yolla hidrojen elde edilmiş olacaktır (www.wikipedia.org.tr).

Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin bir türevidir. Bu nedenle güneş enerjisi potansiyeli ile rüzgar enerjisi potansiyeli arasında ilişki bulunmaktadır. Güneş, dünyaya saatte yaklaşık 1.10^{11} MWh enerji göndermekte, bunun % 1-2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Suya göre istikrarlı olan rüzgar, 30 yılda + - % 10 sapma göstermektedir (Özgür, 2002).

Özetle; rüzgar enerjisi sağladığı avantajlar bakımından diğer enerji kaynaklarına göre daha üstün olduğundan, günümüzde giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak ülkemizde kurulan santraller henüz yeterli değildir. Bu anlatılanlara bağlı olarak, bundan sonraki bölümlerde, bu tez çalışmasının konusunu oluşturan rüzgar enerjisine yer verilecektir.

BÖLÜM 3

RÜZGAR ENERJİSİ

3.1 Rüzgar

Rüzgar, Dünya yüzeyine yakın ve atmosfer içerisinde havanın tabii yatay hareketleridir. Türk Dil Kurumu tarafından yayınlanmış olan Türkçe Sözlük'e göre **rüzgar**, havanın yer değiştirmesinden oluşan yel olarak tanımlanmaktadır. Hava hareketlerinin temel prensibi, mevcut atmosfer basıncının bölgeler arasında değişmesidir. Rüzgar, alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır. Rüzgar daima yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru gider. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar büyük olursa, hava akım hızı, o kadar fazla olur. Rüzgar sahip olduğu hıza göre fırtına, hortum gibi isimler alır. Rüzgarın yönü **rüzgar gülü**, hızı ise **anemometre** ile ölçülür. Anemometre; pervanenin dönüş hızından, rüzgar hızını gösteren basit bir ölçü aletidir. Yükseklerdeki rüzgarlar, balonlar yardımı ile ölçülmektedir. Bunun için yükselme hızı bilinen balonlar, belli yüksekliğe gelince rüzgar hızından yol almaya başlar. Balonun birim zamanda kat ettiği yoldan, trigonometrik hesaplarla hızı bulunur. Daha hassas ölçmeler için balon, ya radarla takip edilir veya balona bir telsiz vericisi monte edilir. Okyanuslardaki akımların ve dalgalarının meydana gelmesinde, rüzgarların büyük rolü vardır. Rüzgarlar, karaların şekillerinin değişmesine de sebep olur. Bilhassa çöllerde kimi tepeler, rüzgarlar sebebiyle devamlı değişir. Rüzgarların bitki sporlarını sağa sola taşıyarak, çiçeklerin döllenmesine sebep olması bitki neslinin devamı yönünden çok önemlidir. Rüzgar gücünden yeldeğirmeni, yelkenli gemi işletmesinde istifade edilir. Rüzgar, orman yangınlarında olumsuz etki yapar. Rüzgarın meydana geliş sebepleri: Rüzgarlar yüksek basınç alanından, alçak basınç alanına akarken;

- Dünyanın dönüşü,
- Yüzey sürtünmeleri,

- Yerel ısı yayılması,
- Rüzgar önünde başka atmosferik hadiselerin oluşu,
- Toprağın topoğrafik yapısı sebebiyle şekillenir.

Rüzgar, alçak (siklon) ve yüksek (antisiklon) alanlarda farklı özellikler taşır. Siklon içerisinde;

- Basınç radyal olarak içe doğru,
- Santrifüj kuvvetler dışa doğru,
- Coriolis kuvvet dışa doğru etki eder,
- Antisiklon içerisinde ise;
- Basınç değişmesi radyal olarak dışarıya doğru,
- Santrifüj kuvvet dışarıya doğru,
- Coriolis kuvvet içe doğru etki eder.

Bütün bunların etkisi sonucunda rüzgar eşit basınç noktalarında yoluna devam eder. Bu hatların bir harita üzerinde çizilmesiyle meteoroloji haritaları elde edilir. Yüzey sürtünmeleri rüzgarın yönünü alçak basınç yönüne doğru çevirir. Denizlerde bu açı 20°, karalarda ise 30° ile 45° arasında değişir.

Atmosferin alt tabakalarında meydana gelen rüzgarlar, yerin ısı ve mekanik özelliklerinden dolayı türbülans meydana getirir. Türbülans meydana getirmeden, basınç alanları arasında dolaşan rüzgarlara, meyilli rüzgarlar denir. Eğer rüzgar hafif meyilli karadan denize doğru eserse logaritmik olarak alçalan bir spiral hat çizerek ilerler. Kuzey yarım kürede bu spiralın dönüş yönü saat ibresinin dönüş yönüdür. Atmosferin üst tabakalarında rüzgar hızı saatte 400 km.'ye kadar çıkabilir (www.windpower.com).

3.2 Rüzgar Çeşitleri Ve Oluşumu

Rüzgar için çeşitli kriterlere göre farklı sınıflandırmalar yapılabilir. Örneğin hızının baz alındığı Beaufort Cetveline göre kara ve deniz kriterleri ele alındığında çizelge 3.1. ve çizelge 3.2.'de belirtilen sınıflandırma ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.1. Beaufort cetveli kara kriterleri (Karadeniz, 2002).

KARA KRİTERLERİ			
Beaufort Sayısı	Rüzgar Hızı (m/s)	Tanımı	Gözlenebilir Etkiler
0	0,0-0,4	Durgun	Duman dikey olarak yükselir.
1	0,4-1,8	Hafif	Duman yatay açı yapacak şekilde yükselir.
2	1,8-3,6	Hafif	Rüzgar deride hissedilir, yapraklar hafif hareketlidir.
3	3,6-5,8	Hafif	Yapraklar hareketlidir, bayrak hafif dalgalanır.
4	5,8-8,5	Orta	Küçük dangler hareketlidir, toz kalkar, kitap sayfaları uçuşur.
5	8,5-11	Orta	Küçük ağaçlar hareketlidir, rüzgar hissedilir.
6	11-14	Güçlü	Büyük dallar hareketlidir, telefon telleri öter.
7	14-17	Güçlü	Bütün ağaçlar hareketlidir.
8	17-21	Fırtına	İnce dallar kırılır, yürümek güçleşir.
9	21-25	Fırtına	Küçük çaplı hasar oluşur.
10	25-29	Güçlü Fırtına	Ağaçlar köklerinden sökülür, yapılarda orta dereceli hasar oluşur .
11	29-34	Güçlü Fırtına	Geniş çaplı hasar oluşur.
12	34<	Kasırğa	Sadece tropikal iklimlerde meydana gelir, felakettir.

Çizelge 3.2. Beaufort cetveli deniz kriterleri (Ertürk, 1985).

DENİZ KRİTERLERİ			
Beaufort Sayısı	Rüzgar Hızı	Tanımı	Gözlenebilir Etkiler
0	0,0-0,4	Durgun	Deniz ayna gibidir.
1	0,4-1,8	Hafif	Dalga sırtı oluşmaksızın, kırışikların görülmesi ile şırırtılar oluşur.
2	1,8-3,6	Hafif	Küçük dalgalacıklar, kısa fakat belirgin kırışiklar, dalga sırtları cam görünümü alır ve bozulmazlar.
3	3,6-5,8	Hafif	Büyük dalgalar, dalga sırtları bozulmaya başlar, cam görünümlü köpük oluşur, dalga sırtları köpürerek saçılabilir.
4	5,8-8,5	Orta	Küçük dalgalar daha çok uzar, oldukça sık beyaz köpükler oluşur.
5	8,5-11	Orta	Daha belirgin uzun ve orta büyüklükteki dalgalar, birçok beyaz köpük oluşur ve su saçılır.
6	11-14	Güçlü	Büyük dalgalar oluşmaya başlar, beyaz köpükleri ile dalga sırtları her yerde daha yoğun olarak görülür.
7	14-17	Güçlü	Su yukarı doğru sıçrar, rüzgarın yönü boyunca dalgaların kırılmasından oluşan beyaz köpükler, şeritler halinde patlak vermeye başlar.
8	17-21	Fırtına	Daha uzun boylu, oldukça yüksek dalgalar, dalgalar sırtlarının kenarları köpüklenerek şekilde kırılır, köpük rüzgarın yönü boyunca belirgin bir şekilde sürüklenir.
9	21-25	Fırtına	Yüksek dalgalar, rüzgarın yönü boyunca, yoğun köpük şekilleri, dalga sırtları dönmeye başlar, suyun saçılması görüşü etkileyebilir.
10	25-29	Güçlü Fırtına	Çok yüksek dalgalar, görüs nerdeyse sıfırdır.
11-12	29 <	Kasırğa	Sadece tropikal iklimlerde meydana gelir, felakettir.

Ayrıca, rüzgarlar, oluşum bölgelerine göre, üç ana dalda incelenebilir.

3.2.1 Küresel rüzgarlar

Ekvator ve çevresi dünyanın diğer bölgelerine göre daha çok ısınır. Sıcak havanın yoğunluğu soğuk havaya göre daha az olduğundan, sıcak hava yerden 10 km kadar yükselerek kuzey ve güneye doğru yayılır. Dünya dönmeseydi, hava kuzey ve güney kutuplara kadar gider, oralarda soğur ve ekvatora geri dönerdi. Bu nedenle hakim rüzgar yönleri kuzey-güney doğrultusunda olurdu. Dünyanın dönmesiyle oluşan Coriolis kuvvetleri, 30⁰ kuzey ve güney enlemlerine gelen sıcak havanın daha ileri gitmesini engeller ve sıcak hava alçalarak, sıcak havanın yükselmesi nedeniyle ekvatorunda oluşan alçak basınç bölgesine doğru hareket eder. Böylece **küresel rüzgarlar** oluşur.

Coriolis kuvvetleri nedeniyle oluşan hakim rüzgar yönlerinin çeşitli enlemlere göre gösterdiği değişim çizelge 3.3.'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Enlemlere göre hakim rüzgar yönü (Karadeniz, 2002).

Enlem	90-60 ⁰	60-30 ⁰	30-0 ⁰	0-30 ⁰	30-60 ⁰	60-90 ⁰
	Kuzey	Kuzey	Kuzey	Güney	Güney	Güney
Rüzgar Yönü	Kuzey-Doğu	Güney-Batı	Kuzey-Doğu	Güney-Doğu	Kuzey-Batı	Güney-Doğu

Yerel coğrafi koşullar küresel rüzgarları, dolayısıyla hakim rüzgar yönlerini çok az etkiler. Çünkü küresel rüzgarlar 1000 metre ve üstü yüksekliklerde oluşurlar. Bu yükseklik rüzgar türbini yüksekliğinden çok fazla olsa da, rüzgar türbinleri yerleştirilirken hakim rüzgar yönlerine az engel oluşturacak yönler seçilmelidir (www.windenergy.org).

3.2.2 Yüzey rüzgarları

100 m'den düşük yüksekliklerde rüzgarlar, dünya yüzeyinin coğrafi yapısından çok etkilenirler. Yüzey pürüzlülüğü, engeller nedeniyle rüzgarlar yavaşlar ve rüzgar yönlerinde değişmeler olur. Rüzgar türbinleri genelde 100 metreden daha az yükseklikte olduğundan, rüzgar enerjisi söz konusu olduğunda önemli olan rüzgar çeşidi; yüzey rüzgarlarıdır (www.windenergy.org).

3.2.3 Yerel rüzgarlar

Hakim rüzgar yönlerini küresel rüzgarlar belirlese de, yerel iklim koşulları hakim rüzgar yönlerini etkiler. Yerel rüzgarları deniz rüzgarları ve dağ rüzgarları olmak üzere iki başlık altında inceleyebiliriz.

3.2.3.1 Deniz rüzgarları

Karalar denizlere göre daha çabuk ısınır ve soğurlar. Bu nedenle gündüzleri karadan yükselen sıcak hava yüzeyde bir alçak basınç bölgesi oluşturur. Böylece deniz üzerindeki nispeten soğuk hava, karaya doğru çekilir. Bu şekilde oluşan rüzgarlara **deniz rüzgarları** denir. Akşama doğru deniz ve kara sıcaklıkları arasındaki fark azalır ve hava durgunlaşır. Gece ise karalar daha çabuk soğuduğundan rüzgar karadan eser. Fakat deniz ve kara arası sıcaklık farkı gece daha az olduğundan rüzgar hızı da gündüze göre daha düşük olur. Muson rüzgarları, deniz rüzgarlarına bir örnektir (www.windenergy.org).

3.2.3.2 Dağ rüzgarları

Gündüzleri ısınan hava dağ eteği boyunca yükselir. Geceleri ise hava ters yönde hareket eder. Böylece oluşan ve **dağ rüzgarları** olarak adlandırılan rüzgarlar çok güçlü olabilirler. Kuzey yarım küre için dağların güneye bakan eteklerinde (güney yarım kürede tam tersi) oluşan vadi rüzgarları buna bir örnektir. Alplerdeki Foehn, Rocky Dağlar'daki Chinook ve And Dağları'ndaki Zonda rüzgarları bu türün en güçlü örneklerindedir (www.windenergy.org).

3.3 Rüzgar Enerjisi

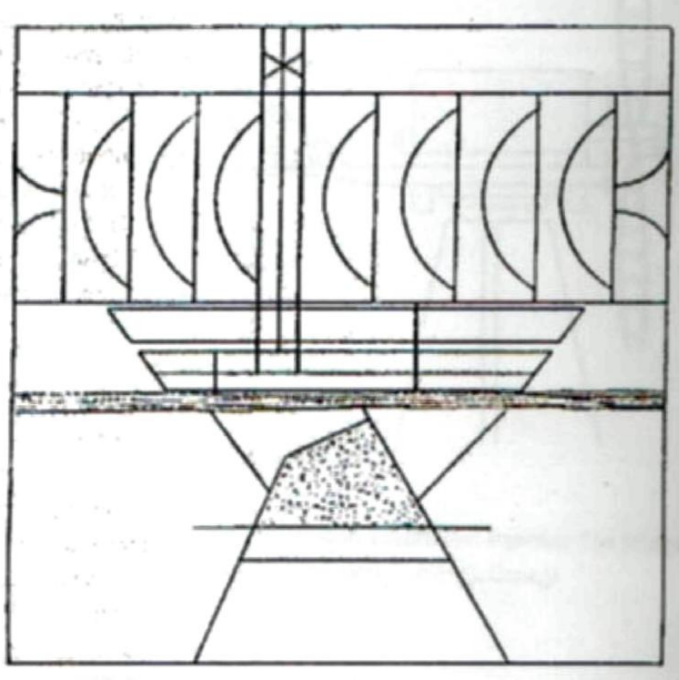
Rüzgar enerjisi, rüzgar oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Bu enerjinin belli bir bölümü yararlı olan enerjiye (elektrik, pompalama, vs.) dönüştürülebilir.

Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgardan sağlanacak enerjinin miktarı, yine rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise, hızın kübü ile orantılı olarak artar. Sağlayacağı enerji; gücüne ve estiği süreye bağlıdır. Özgül rüzgar gücü, hava debisine dik olarak, birim yüzeye düşen güçtür. Topoğrafik koşullara bağlı olarak, rüzgarın yerden 50 metre yükseklikteki özgül gücü, rüzgarın hızı 3,5 m/s'den küçük iken 50 W/m^2 'den az, 11,5 m/s'den büyük iken 1800 W/m^2 'den çok olabilir. Dünya yüzeyinin % 27'sinde yıllık ortalama rüzgar hızının, yerden 10 m yükseklikte 5,1 m/s'den büyük olduğu saptanmıştır. Bu alan rüzgar enerjisi bakımından zengin olan bölgelerin toplamıdır.

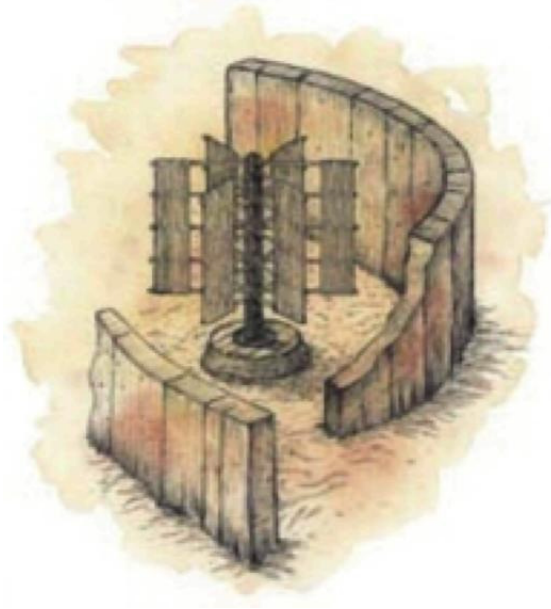
3.4 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Milattan önceki yıllarda kullanılmaya başlanılan rüzgar enerjisi, denizlerde yelkenli gemilere, karalarda ise, yel değirmenlerine ve rüzgar millerine ana güç kaynağı olmuştur. Özellikle buğday, mısır öğütme ve su pompalama gibi gereksinmeler uzun yıllar bu yolla çözülmüştür.

Rüzgar enerjisi kullanımı, M.Ö. 2800'lü yıllarda Orta Doğu'da başlamıştır. M.Ö. 17. yüzyılda Babil Kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgar enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak haçlı seferleri sırasında görmüşlerdir. Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlaması ise, 12. yüzyılda olmuştur.



Şekil 3.1. Pers Uygarlığında görülen dikey eksen tipli yel değirmeni diyagramı (Yalçın, 1998).



Şekil 3.2. Pers Uygarlığında kullanılan bir başka yel değirmeni (www.newton.mec.edu).



Şekil 3.3. Balıkesir'in Samlı ilçesinden yel değirmenleri (www.samli.com.tr).



Şekil 3.4. Muğla'nın Bodrum ilçesinden bir yel değirmeni resmi (www.safatur.com).

Avrupa, haçlı seferlerinde kazandığı bu teknoloji ile, Roma imparatorluğu'nun kaçırdığı bir serveti yakalamıştır. Roma İmparatorluğu gücünün zirvesinde iken, para basmak için gereken altın ve gümüşü Avrupa dışındaki eyaletlerinden sağlamaktaydı. Bu eyaletleri kaybettikten sonra, Avrupa'daki fakir madenlerin işletilmesi denenmiş, fakat bu madenlerin yüzeysel kapasiteleri hızla tükenip, derinlere inildikten sonra galerilerden su çıktığından, madenler terk edilmişti. Altın ve gümüş bulunamayınca

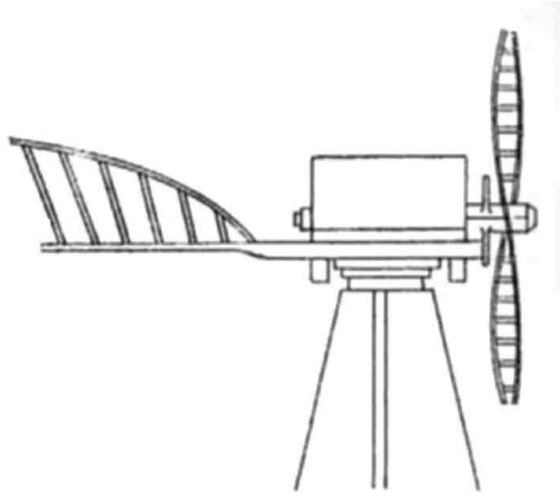
paralara bakır katılmaya başlandı. Giderek artan parasal ve ekonomik bunalımla birlikte, o dönemin yüksek hızlı enflasyonu Roma imparatorluğu'nun sonunu getirmişti. Avrupa'nın Orta Çağ karanlığından sıyrılmasında önemli etmenlerinden birinin, Romalıların terk ettikleri madenlerin yeniden işletmeye açılması olduğu söylenir. Avrupalılar bunu yel değirmenleri yardımıyla, galeri diplerindeki sular dışarı pompalayarak, yani rüzgar enerjisini kullanarak başarmışlardır.



Şekil 3.5. Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi (www.newton.mec.edu).

Tarımsal ürünleri öğütmek, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri; Avrupa'da Endüstri Devrimi'ne kadar hızla yayılmışlardır. 18. yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunuyordu. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile, rüzgar enerjisi önemini yitirmeye başlamıştır. Bununla beraber, rüzgar türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler, 1890'ların başlarında Danimarka'da yapılmıştır. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya'da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Rüzgar kuvvet makineleri

yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgar enerjisinin kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlamıştır. Ancak, 19. yüzyılda geliştirilen ilk rüzgar türbinlerinin verimi düşüktü.



Şekil 3.6. Muhtemelen tipinin ilk örneği olan ve Belidor tarafından tasarlanan pervane tipi rüzgar türbini (Yalçın, 1998).

1918 yılında Danimarka'da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimini 20-30 kW'lık rüzgar türbinlerinin kullanımı sağlanmıştı. Rusya'da 1931 yılında 100 kW'lık rüzgar türbini yapılmıştı. 1941 yılında ABD'de Vermont yakınlarında Granpa's Knop'da kurulan Putnam rüzgar türbini, 1250 kW gücü ile dönemin en büyük rüzgar kuvvet makinesi olmuştur. İki kanatlı rotorun çapı 53 m idi. Putnam türbini, modern rüzgar makinelerinin ilkidir. Toplam ağırlığı 250 ton olan bu rüzgar santraline, bir milyon dolar yatırım yapılmıştı. Ancak titreşim ve malzeme yorgunluğundan dolayı, 26 Mart 1945 sabahı olan bir kazada kanatlarından biri kopmuş, yaklaşık 8 tonluk kanat 230 m uzağa fırlamıştır. Şekil3.7.'de örnek Putnam rüzgar türbini resmi verilmiştir.



Şekil 3.7. Putnam rüzgar türbini (www.newton.mec.edu).

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından 1945'de İngiltere'de başlatılan deneysel çalışmalar sonucunda, Enfeld'da 10 kW gücündeki Andreu makinesi kurulmuştur. Bu rüzgar türbininin rotoru üç kanatlı olup, çapı 15 metreydi. 1947 yılında Danimarka'da başlatılan ve modern yaklaşımlar içeren elektrik üretim amaçlı bir başka çalışmanın son ürünü ise, 1959 yılında işletmeye sokulan 200 kW'lık Gedser türbini olmuştur. Bu makinenin 24 metre çaplı rotoru üç kanatlı idi. Aynı dönemde Fransa'da yapılan makinelerden Noeget Le Roi'deki rüzgar türbini 300 kW gücündedir. Bu yıllardaki ilgi artışının sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- Hızla artan elektrik enerjisi talebi karşısında, ekonomik olarak geliştirilebilen hidroelektrik kaynakların yakıt tedarikinin yetersiz kalması,
- Hidroelektrik santrallerinin ve buhar türbinlerinin oluşturulmasında, hem ilk yatırım sırasında, hem de enerjinin iletilmesi esnasında hızla artan yüksek maliyetler,
- Savaş sonrasındaki zor ekonomik ve politik koşullar nedeniyle, ülkelerin enerji üretiminde ithal yakıtlar yerine kendi öz kaynaklarına yönelmesi,
- Kömür ve petrol türevli kaynakların yakıt olarak kullanımının yüksek hızla artması ve dolayısıyla rezervlerin azalmaya başlaması,
- Savaş sırasındaki araştırma-geliştirme çalışmalarının sonucunda uçak konstrüksiyonlarında uygulanan aerodinamik bilgi birikiminin büyük bir oranda

artması ve bu bilginin büyük rüzgar türbinlerinin konstrüksiyonu yolunda kullanılabilirliği,

- Yaygın enerji ağına farklı kaynaklardan enerji ve güç bağlanabilmesinin avantajlarının değerlendirilmesi,
- Rüzgar türbinleri ile ilgili denemelerin yapılması ve bu tip uygulamaların ekonomik bir tesis olarak başarılı olmamasına karşın, rüzgar enerjisinden faydalanarak elektrik üreten büyük tesislerin pratik olarak iyi bir performansla çalışabileceğinin kanıtlanması (Golding, 1955).

1961 yılında Roma’da Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen Enerjinin Yeni Kaynaklar Konferansı’nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgar enerjisi idi. Böylece, çok eskiden buyana tanınan rüzgar enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. Ucuz petrol döneminde güncellik kazanmayan rüzgar enerjisi, 1974-1978 yıllar arasındaki yapay petrol bunalımları ardından gündeme daha çok girmiştir.

Rüzgar enerjisinin gelişimine, 1980’li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık eski tip rüzgar jeneratörleri yerine, modern ve çağdaş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmaktadır. Ayrıca rüzgar türbinleriyle beraber dizel motor ve güneş fotovoltaik jeneratörü içeren rüzgar-dizel-PV hibrid sistemler de geliştirilmiştir. Bir tüketiciyi besleyecek tek makine yerine, birden çok türbin içeren rüzgar çiftlikleri ile elektrik şebekeleri için üretim yapılır olmuştur. ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç’in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıdan uzakta rüzgar santralleri kurulmuştur. Şekil 3.8.’de Danimarka’da Kurulu deniz üstü rüzgar tarlası gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Deniz üstü rüzgar tarlası, Horns-Rev, Danimarka (www.ewea.org).

3.5 Dünyanın rüzgar enerjisi potansiyeli

Dünyanın rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi oldukça zordur. Fakat NASA yaptığı çalışmalarla, dünyanın (50° Kuzey ve Güney enlemleri arasındaki bölgede) rüzgar enerjisi teknik potansiyelini yaklaşık 26.000 TWh/yıl olarak tahmin etmektedir. Bu değer, dünyanın elektrik enerjisi ihtiyacının çok üstündedir. Bu potansiyelin tamamının kullanımı ekonomik, estetik ve fiziksel kısıtlamalar nedeniyle mümkün değildir. Bulunan değer $\%1$ 'inin kullanılabilir hale getirildiği düşünülse bile, dünyanın elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık $\%10$ 'u karşılanabilir. Bu şartlar altında bile, dünyadaki rüzgar enerjisi potansiyeli göz ardı edilmeyecek kadar büyüktür (Ural, 1994). Çeşitli ülkelerin tahmini rüzgar enerjisi potansiyelleri çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çeşitli ülkelerin tahmini rüzgar enerjisi potansiyelleri (Ural, 1994).

ÜLKE	TAHMİNİ KAYNAK
Çin	1600 GW
Finlandiya	11-16 TWh/yıl
İngiltere	275 TWh/yıl
Almanya	2670 MW
Yunanistan	6.44 TWh/yıl
ABD	2500 GW
İsrail	1000 MW
Rusya	2000 TWh/yıl

3.6 Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli

Yurdumuzda yıllık ortalama güneş enerjisi yoğunluğu, bir saat için 0.149 kWh/m² olarak verilmekte (Demirci ve Yıldırım, 1986; www.wind-energie.de) ve güneş enerjisinin yaklaşık %2'lik kısmının rüzgar enerjisine dönüştüğü varsayılmaktadır. Bu enerjinin de, Betz Kriteri uyarınca teorik olarak en çok % 59'luk; pervane, jeneratör ve dişli kutusundaki gibi kayıplar dikkate alındığında ise uygulamada ancak % 40'lık kısmı elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Diğer yandan ülkemizin ancak % 2'lik bölümünde genel anlamda rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretmek mümkündür (EIE Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü yayını, 1984).

Türkiye rüzgar enerjisi yıllık teknik potansiyeli kaba bir tahminle;

$E_{\text{Türkiye}} = 0,149 \text{ (kWh/m}^2) \times 7,8 \times 10^{11} \text{ (m}^2) \times 8760 \text{ (h/Yıl)} \times 0,40 \times 0,02 \times 0,02 = 163$ milyar kWh/ Yıl (Özdamar ve Gürsel, 1999) olarak bulunur. Bir başka kaynakta da, Türkiye'nin yıllık rüzgar enerjisi teknik potansiyelinin karasal alanlar için 110 Milyar kWh ve deniz üstü alanlar için 180 Milyar kWh olduğu belirtilmektedir (Ültanır, 1998). Çizelge 3.6.'da verilen Türkiye'nin yıllara sari elektrik enerjisi net tüketimi

incelendiğinde ve yukarıda belirtilen ülkemiz “Yıllık rüzgar enerjisi teknik potansiyeli“ ile karşılaştırıldığında, rüzgar enerjisinin kullanımının ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Rüzgar enerjisi potansiyeli ile ilgili rakamlarda dikkat edilmesi gereken nokta, bu tahminlerin belli kabullere dayandığı ve bu kabullerin her zaman tartışmaya açık olduğudur. Rüzgar enerjisi potansiyelinin daha gerçeğe yakın olarak tahmin edilebilmesi için, en azından, Türkiye coğrafyasında homojen bir dağılım gösteren uygun sayıda rüzgar ölçüm istasyonunun kurulması ve rüzgar atlası istatistiklerinin hesaplanması gerekmektedir (Dündar ve İnan, 1996).

Çizelge 3.5.’te Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesinin rüzgar gücü yoğunluğu ve ortalama rüzgar hızları verilmiştir. Bu tabloya göre, Marmara Bölgesi rüzgar gücü bakımından en zengin bölgemizdir. Marmara bölgesini, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Ege Bölgesi izler. Türkiye’deki genel rüzgar enerjisi potansiyelini görebileceğimiz Türkiye Rüzgar Atlası Şekil 3.9.’da verilmiştir.

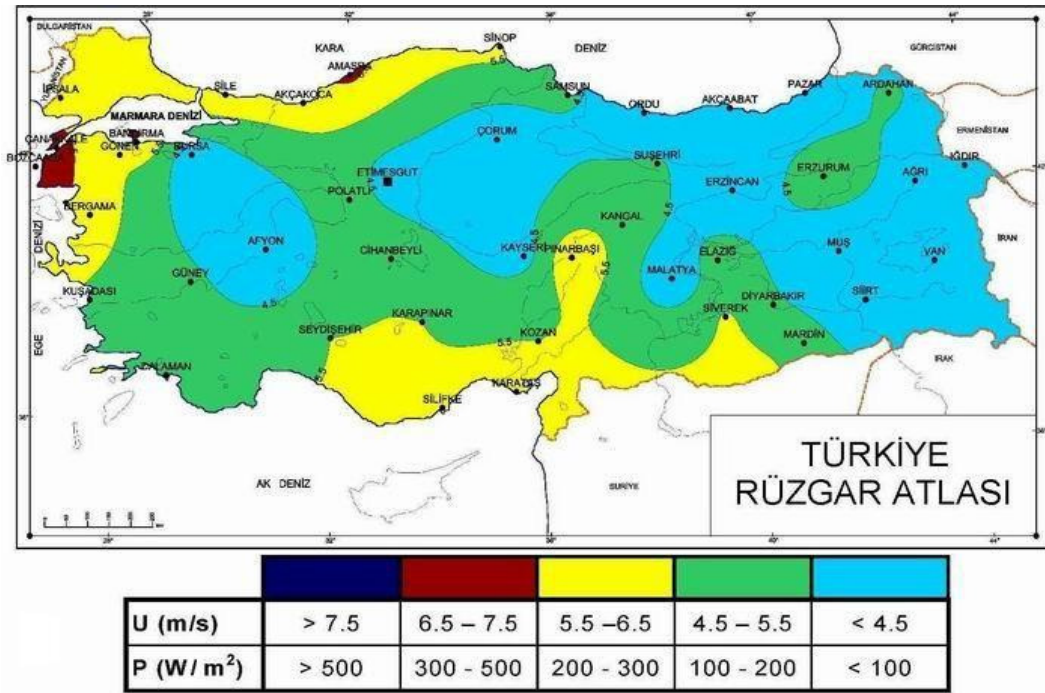
Çizelge 3.5. Bölgelere göre rüzgar enerjisi potansiyeli (Ural, 1994).

Bölge	Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Akdeniz	21,36	2,45
İç Anadolu	20,14	2,46
Ege	23,47	2,65
Karadeniz	21,31	2,38
Doğu Anadolu	13,19	2,12
Güney Doğu Anadolu	29,33	2,69
Marmara	51,91	3,29

Çizelge 3.6. Elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü, brüt üretimi, net elektrik tüketimi, 1975-2006 (www.teias.gov.tr).

Yıllar	Toplam Kurulu Güç (MW)	Brüt Üretim (GWh)	Net Tüketim (GWh)	Kişi Başına	
				Kurulu Güç (W)	Net Tüketim (kWh)
1975	4 186,6	15 622,8	13 491,7	103,8	334,4
1976	4 364,2	18 282,8	16 078,9	106,7	393,0
1977	4 727,2	20 564,6	17 968,8	113,2	430,2
1978	4 868,7	21 726,1	18 933,8	114,2	444,0
1979	5 118,7	22 521,9	19 663,1	117,6	451,7
1980	5 118,7	23 275,4	20 398,2	114,4	456,0
1981	5 537,6	24 672,8	22 030,0	121,6	483,8
1982	6 638,6	26 551,5	23 586,8	142,2	505,2
1983	6 935,1	27 346,8	24 465,1	144,9	511,1
1984	8 461,6	30 613,5	27 635,2	172,4	563,2
1985	9 121,6	34 218,9	29 708,6	180,0	586,4
1986	10 115,2	39 694,8	32 209,7	196,7	626,2
1987	12 495,1	44 352,9	36 697,3	237,7	698,2
1988	14 520,6	48 048,8	39 721,5	270,3	739,5
1989	15 808,2	52 043,2	43 120,0	288,0	785,5
1990	16 317,6	57 543,0	46 820,0	288,9	829,1
1991	17 209,1	60 219,1	49 282,9	301,6	863,6
1992	18 716,1	67 342,2	53 984,7	323,1	931,9
1993	20 337,6	73 807,5	59 237,0	345,8	1 007,2
1994	20 859,8	78 321,7	61 400,9	349,4	1 028,4
1995	20 954,3	86 247,4	67 393,9	345,7	1 111,9
1996	21 249,4	94 861,7	74 156,6	345,3	1 205,1
1997	21 891,9	103 295,8	81 885,0	348,2	1 302,5
1998	23 354,0	111 022,4	87 704,6	368,1	1 382,2
1999	26 119,3	116 439,9	91 201,9	405,7	1 416,5
2000	27 264,1	124 921,6	98 295,7	401,9	1 448,8

2001	28 332,4	122 724,7	97 070,0	413,4	1 416,5
2002	31 845,8	129 399,5	102 948,0	457,4	1 478,6
2003	35 587,0	140 580,5	111 766,0	503,3	1 580,6
2004	36 824,0	150 698,3	121 141,9	512,9	1 687,5
2005	38 843,5	161 956,2	130 262,9	539,0	1 807,6
2006	40 564,8	176 299,8	143 070,5	548,9	1 935,9



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

Şekil 3.9. Türkiye rüzgar atlası (www.meteoroloji.gov.tr).

Rüzgar enerjisi potansiyel değerleri tahmini bir büyüklüğü ifade etse de, bu denli büyük olduğu anlaşılan bu kapasiteden daha fazla yararlanılması amaçlanmalıdır. Bu hedef de ancak, rüzgar enerjisinin daha kolay kullanılabilir bir enerjiye dönüştürülebilmesi ile mümkündür. Bu dönüşüm, günümüz teknolojisinde gelişmiş rüzgar enerjisi tesislerinde olmaktadır.

3.7 Dünyada Rüzgar Enerjisi Kullanımı

Rüzgâr gücü, dünyada kullanımı en çok artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Günümüzde dünyadaki kullanım oranının çok düşük olmasına karşılık, 2020 yılında dünya elektrik talebinin %12'sinin rüzgâr enerjisinden karşılanması için çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde rüzgâr enerjisinden üretilen toplam güç 121188 MW civarındadır. Bu güçten en fazla yararlanan ülke % 20'lik payıyla Amerika Birleşik Devletleri'dir. A.B.D. toplamda 25170 MW güç üretmektedir. Rüzgâr gücünden en çok yararlanan diğer ülkeler sırasıyla Almanya, İspanya, Çin, Hindistan, İtalya, Fransa, İngiltere, Danimarka ve Portekiz'dir. Diğer tüm ülkeler toplamda 16602 MW'lık güç üretimi ile % 13,6 paya sahiptirler. Çizelge 3.7.'de Dünyada kurulu rüzgar gücü kapasitesi verilmiştir (GWEC, 2008).

Rüzgar enerjisi kullanımının dünyadaki örneklerine baktığımızda, iki kısımda incelenmesi gerektiğini görüyoruz. Küçük türbinler olarak adlandırabileceğimiz kişisel kullanıma yönelik sistemler ve büyük türbinler adını alan endüstriyel kullanıma yönelik sistemler.

Küçük türbinler, genellikle şebekenin olmadığı, ulaştırmanın ekonomik olmadığı, yada sorunlu olduğu yerlerde uygulanır. Şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, askeri tesisler, demiryolu sinyalizasyonu, balık çiftlikleri, seralar, maden ocakları, deniz vasıtaları ve bazı fabrikalarda küçük türbinler oldukça uygun kullanım alanları bulmaktadır. Üretilen enerjinin depolanması ile güvenilir enerji sağlanır. Küçük türbinlerin güç değerleri, 0,05-20 kW arasındadır. En fazla 4 adet hareketli parçadan oluşan bu tip türbinler bakımsız yada çok az bakımlı olarak dizayn edilirler. Otomatik kontrol mekanizmaları, sistemi aşırı şarjdan koruyan kontrol sistemleri vardır ve ayrıca çok yüksek rüzgar hızlarında otomatik korunmalı dizayn edilmişlerdir.

Çizelge 3.7. Dünyada kurulu rüzgar gücü kapasitesi (GWEC, 2008).

Kurulu Rüzgar Gücü Kapasitesi (MW)					
No	Ülke	2005	2006	2007	2008
1	A.B.D	9149	11603	16818	25170
2	Almanya	18415	20622	22247	23903
3	İspanya	10028	11615	15145	16740
4	Çin	1260	2604	6050	12210
5	Hindistan	4430	6270	8000	9587
6	İtalya	1718	2123	2726	3736
7	Fransa	757	1567	2454	3404
8	İngiltere	1332	1963	2389	3288
9	Danimarka	3136	3140	3129	3160
10	Portekiz	1022	1716	2150	2862
11	Kanada	683	1459	1856	2369
12	Hollanda	1219	1560	1747	2225
13	Japonya	1061	1394	1538	1880
14	Avustralya	708	817	824	1494
15	İsveç	510	572	788	1067
16	İrlanda	496	745	805	1245
17	Avusturya	819	965	982	995
18	Yunanistan	573	746	871	990
19	Polonya	83	153	276	472
20	Türkiye	20	51	146	433
21	Norveç	267	314	333	428
22	Belçika	167	193	287	384
23	Mısır	145	230	310	390
24	Tayvan	104	188	282	358
25	Brazilya	29	237	247	338
26	Yeni Zelenda	169	171	322	325

27	Güney Kore	98	173	191	278
28	Bulgaristan	6	20	35	158
29	Çek Cumhuriyeti	28	50	116	150
30	Finlandiya	82	86	110	140
31	Fas	64	124	114	125
32	Macaristan	18	61	65	127
33	Ukrayna	77	86	89	90
34	Mexico	3	88	87	85
35	Meksika	23	48	66	82
36	Kosta Rika	71	74	74	74
	Diğer Avrupa	129	163		
	Diğer Amerika	109	109		
	Diğer Asya	38	38		
	Diğer Afrika & Orta Doğu	31	31		
	Diğer Okyanusya	12	12		
	Dünyada Toplam (MW)	59091	74223	93849	121188

Şebekeye elektrik enerjisinin verildiği büyük türbinlerin aksine, küçük türbinlerde bu sistem uygulanmaz. Akü şarjı esasına göre çalışan küçük türbinlerle üretilen enerji, kişisel ihtiyaca yönelik olarak kullanılmaktadır. Avrupa Topluluğu tarafından öngörülen, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin toplam üretime oranının, gelecekte %2'lik değere ulaşması için hızlı bir şekilde çalışmaların ilerletilmesi gerekmektedir. Küçük türbinlere örnek olarak şekil 3.10.'da evler için üretilmiş boyları 1 metreyi bulan rüzgar türbinleri verilmiştir.



Şekil 3.10. Küçük türbinlere bir örnek (www.alternaturk.org).

Büyük türbinler ise, rüzgar çiftlikleri olarak adlandırılan diziler halinde kurulur. Bir rüzgar çiftliğinin toplam gücü 1-150 MW arasındadır. Tek bir türbinin gücü 50 kW'tan 2 MW'a kadar olabilir. Ancak günümüzde ekonomik şartlar açısından 500 kW'tan küçük türbinler pek fazla kullanılmamaktadır.

Büyük türbinler, yatırım amaçlı olarak kurulurlar. Üretilen enerji, şebekeye verilir. Bu yüzden, yatırımdan önce yapılması gerekli olan bazı çalışmalar vardır. Öncelikle bölgenin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi gerekir. En az bir yıl sürecek teknik rüzgar ölçümleri ile, rüzgar hızı ortalamaları, günlük, mevsimlik ve yıllık dağılımlar ile yaklaşık rüzgar enerjisi değeri belirlenir. Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmalarının sonucunda, kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri, üretilecek enerji maliyetleri gibi sonuçlara ulaşılır. Bu çalışmalarda bölgesel elektrik kurumları ile devletle yapılacak olan anlaşmalar, alınacak özel izinler, çevre halkının yaklaşımı, bölgedeki konvansiyonel elektriğin maliyeti, yıllık harcama miktarı, arazinin fiziksel yapısı, finansman ve kredi politikası gibi parametreler önemli rol oynar. İşte bütün bu parametreler üretilecek olan elektriğin maliyetinde önemli bir yer alır.

Bu tip rüzgar çiftliklerinin türbinlerini üreten rüzgar endüstrisi, günümüzde olgunlaşmış bir endüstri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sektördeki bir çok şirketin

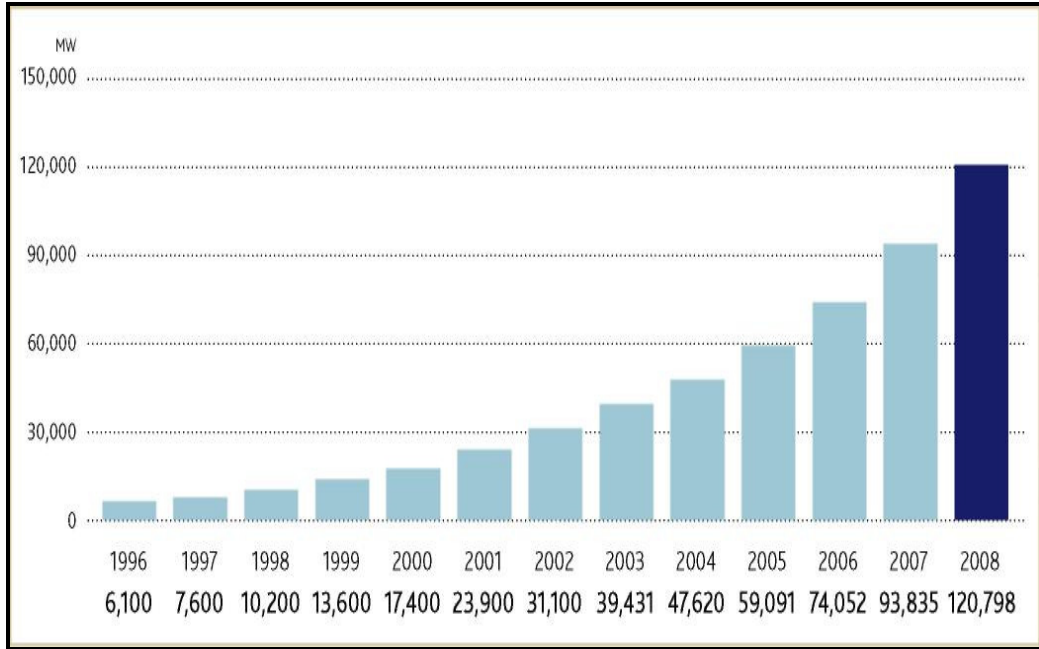
beş yıldan 25 yıla kadar tecrübeleri mevcuttur. Çoğu iki yada üç kanatlı olan, rotor çapları 20m ile 70m arasında değişen ticari tipler üretilmektedir. Rüzgar çiftliklerine örnek olarak Şekil 3.11.'de Kansas Montezuma'da toplam 170 türbinden oluşan rüzgar enerjisi santrali verilmiştir.



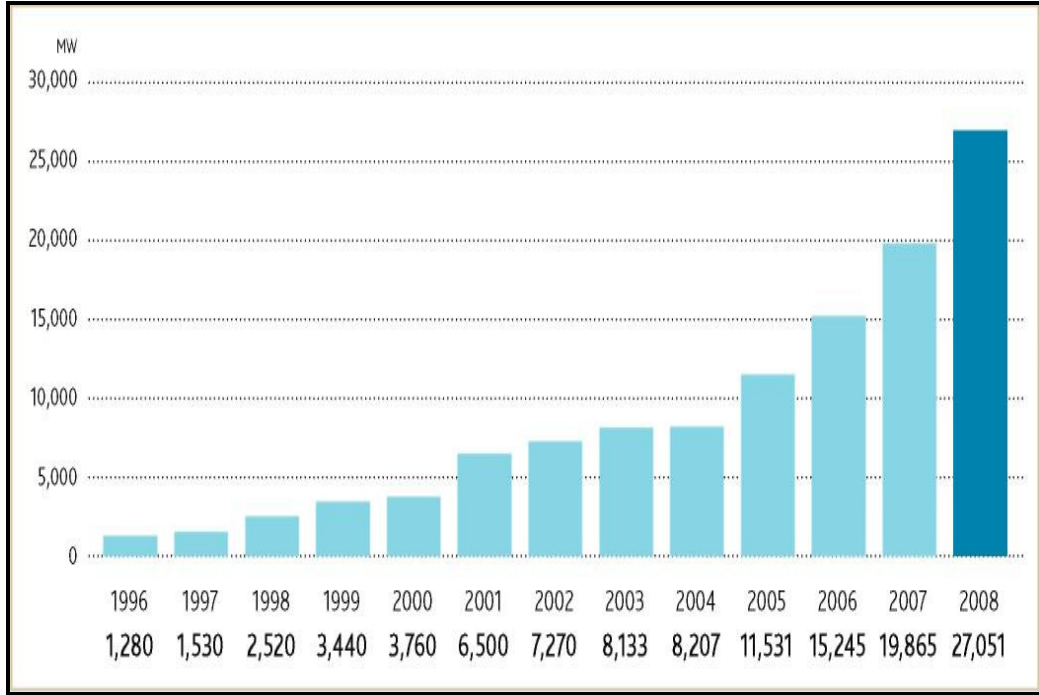
Şekil 3.11. Kansas Montezuma'da toplam 170 türbinden oluşan rüzgar enerjisi santrali (www.alternaturk.org).

Bugün dünyada rüzgar enerjisi kullanımı giderek yaygınlaşırken, bu çevre dostu enerjiyle, Danimarka, Finlandiya, Norveç ve İsveç'in toplam nüfusları kadar, 23 milyon nüfusun elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanmaktadır. Yeryüzü Politikası Enstitüsü'nün geçici verilerine göre, rüzgar enerjisi üretim kapasitesi 2000 yılında 17 bin 400 MW iken 6 bin 500 MW (%37)'lik artışla 2001'de 23 bin 900 MW'a çıkmıştır. Oysa bu rakam daha 1994 yılında sadece 3488 MW'tı. Aynı yıl dünyada 742 MW'lık rüzgar tesisi kurulmuş olup, bu oran 1993 yılındakinden %50 daha fazladır. 1995 yılında eklenen kapasite ise, 1253 MW ile 1994 yılında eklenenin 1,7 katıdır. 1996 yılında 1280 MW, 1997 yılında 1530 MW, 1998 yılında 2520 MW, 1999 yılında ise 3440 MW'lık rüzgar enerjisi tesisi kurulmuştur. 1996-2008 yılları arasında dünyadaki toplam rüzgar enerjisi üretim kapasitesi grafiği şekil 3.12.'de verilmiştir. Şekil 3.13'te ise

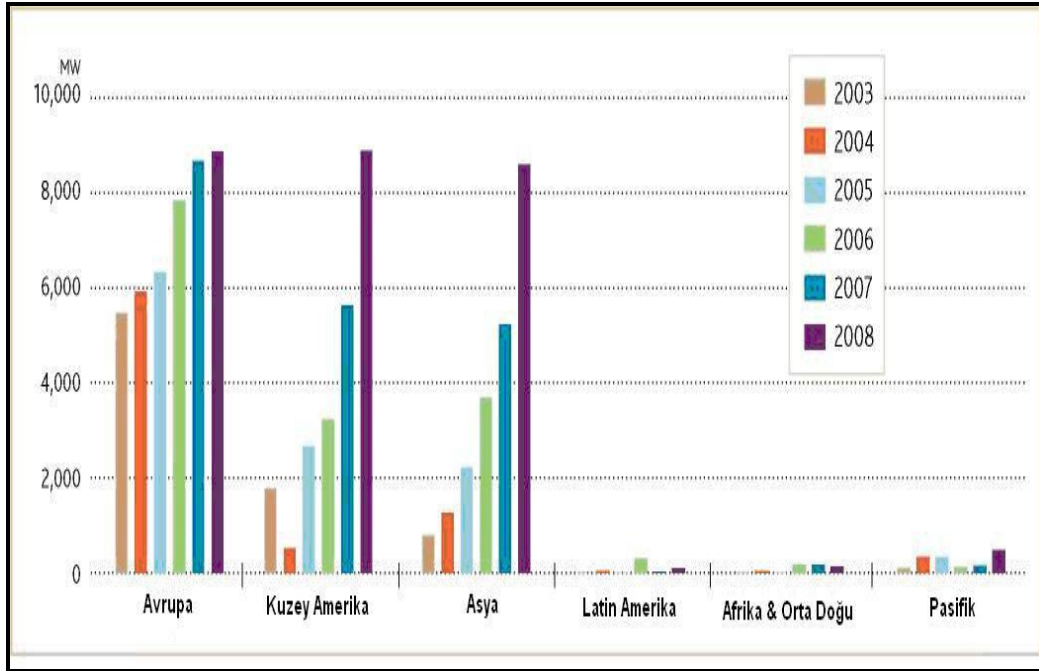
1996-2008 yılları arasında dünyada yıllık kurulan rüzgar enerjisi üretim kapasitesi verilmiştir. Görüldüğü gibi tesis kurulma hızı, her yıl bir önceki yıldan daha fazla artmaktadır. Bu da rüzgar enerjisinin önünün açık olduğunun bir göstergesidir. Dünya'daki bölgesel ilerlemeyi gözlemek açısından şekil 3.14.'te bölgelere göre yıllık kurulan rüzgar enerjisi kapasitesi verilmiştir. 1980 yılından itibaren dünyadaki toplam üretim gücünü gözlemlememize ise şekil 3.15.'de yardımcı olmaktadır.



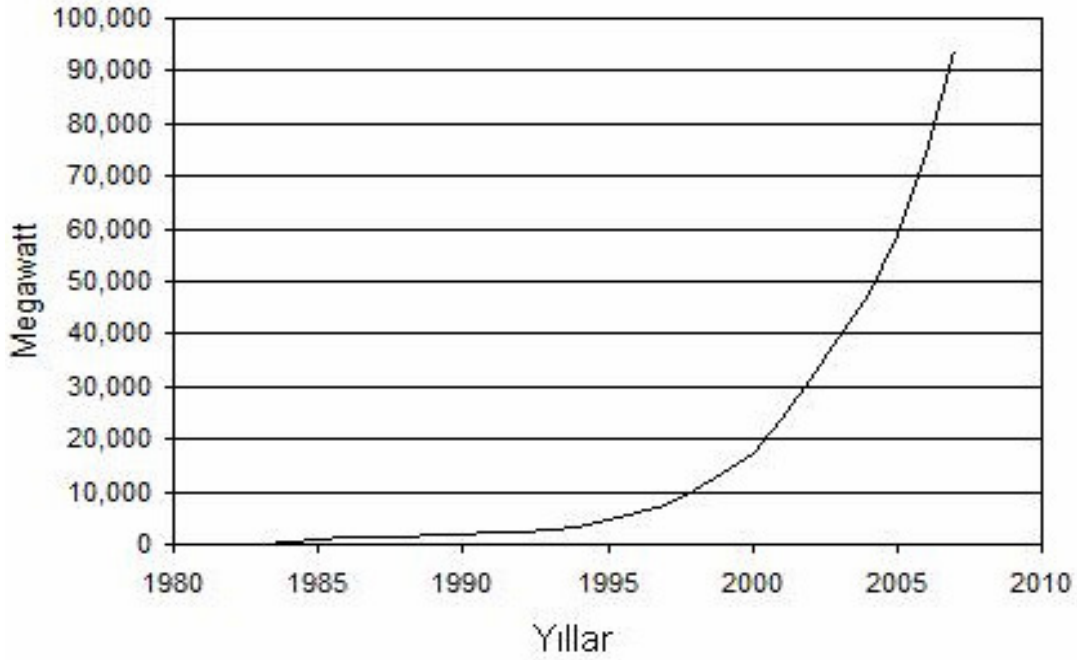
Şekil 3.12. 1996-2008 yılları arası dünya genelinde toplam rüzgar enerjisi üretim kapasitesi (GWEC,2008).



Şekil 3.13. 1996-2008 yılları arası dünyada yıllık kurulan rüzgar enerjisi üretim kapasitesi (GWEC,2008).



Şekil 3.14. 2003-2008 yılları arası bölgelere göre yıllık kurulan rüzgar enerjisi kapasitesi (GWEC,2008).



Şekil 3.15. 1980-2007 yılları arası dünyadaki rüzgar enerjisi kurulu gücü (www.earthpolicy.org).

3.7.1 Amerika kıtasında rüzgar enerjisi kullanımı

Ülke bazında baktığımızda, bu kıtada **Amerika Birleşik Devletleri** başı çekmektedir. ABD 8.5 GW'lık yeni rüzgar enerjisi kurulumu ile 25 GW üzerinde toplam kurulu güce ulaşarak bir rekor kırmıştır. 2008 yılında ABD, hem yeni kapasite açısından hemde toplam rüzgar enerjisi üretim kapasitesi açısından dünyada bir numaralı yeri aldı. ABD Enerji Departmanının 2008 yılında yayınladığı raporda, rüzgar gücünün 2030 yılına kadar Amerika Birleşik Devletleri elektrik ihtiyacının % 20'sini sağlayabileceği açıklanmıştır.

Kanada, 2008 yılında 2 Giga Wattı geçerek kurulu rüzgar enerjisi kapasitesini 2.4 GW ile yılı tamamlamıştır. Mevcut durum itibarıyla Kanada'nın rüzgar çiftlikleri, Kanada'nın toplam elektrik talebinin hemen hemen % 1'lik kısmını karşılayabilecek yeterli gücü üretmektedir.

Latin Amerika, bölgede büyük oranda rüzgar kaynağı olmasına rağmen, çok yavaş gelişmektedir. 2008 yılında yeni kapasite kurulumu gerçekleştiren sadece, ülkenin kuzey

doğusuna 94 MW'lık rüzgar enerjisi sağlayan 5 rüzgar çiftliği ilave eden **Brazilya** olmuştur. Brazilya'da toplam elektrik üretim kapasitesi 2007 yılı sonunda 105.4 GW olarak hesaplanmıştır. Bu kapasitenin % 73'ü, küçük ve büyük çapta hidrolik santralleri, rüzgarı ve biyoması içeren yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Amerika kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi çizelge 3.8.'de verilmiştir. (GWEC, 2008)

Çizelge 3.8. Amerika kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi (GWEC, 2008).

Kıta	Ülke	2007 Sonu	2008 Yeni	Toplam 2008 Sonu
Güney Amerika	Brazilya	247	94	341
	Meksika	87	0	87
	Kosta Rika	70	0	70
	Karayip	55	0	55
	Arjantin	29	2	31
	Kolombiya, Şili, Küba	45	0	45
	Toplam (MW)	533	95	629
Kuzey Amerika	ABD	16,824	8,358	25,170
	Kanada	1,846	526	2,372
	Toplam (MW)	18,67	8,884	27,542

3.7.2 Avrupa kıtasında rüzgar enerjisi kullanımı

Avrupa Birliği, toplam kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinde dünya lideri olmaya ve 2008 yılında 8.4 GW üzerinde yeni kurulu kapasitesi ile yeni gelişmelerde en güçlü bölgelerden biri olmaya devam etmektedir. Avrupa Rüzgar Enerji Birliği (EWEA) tarafından derlenen endüstriyel istatistikler, 2007 sonunda 56,535 MW olan toplam

kurulu rüzgar enerjisinin, 2008 yılında % 15 oranında artarak 64,949 MW seviyesine ulaştığını göstermektedir.

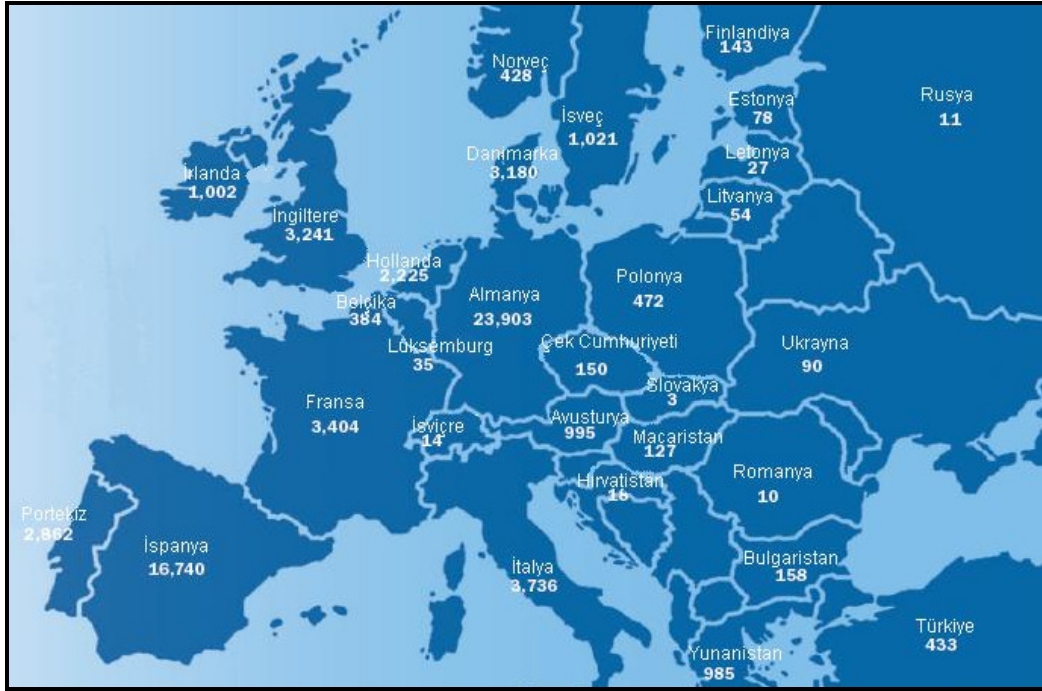
Avrupa'da rüzgar gücü en popüler elektrik üretim teknolojilerinden biri olmaya devam etmektedir. 2000 yılından bu zamana, kurulu rüzgar gücü kapasitesi 9.7 GW'tan 65 GW'a hemen hemen 7 kat artış göstermiştir. Rüzgar enerjisi şuan Avrupa'da en hızlı büyüyen güç teknolojisidir: 2008'de Avrupa'da kurulan 24 GW civarında toplam yeni güç üretim kapasitesinden, rüzgar enerjisi % 35'inden fazlasını oluşturmaktadır. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji 2008'de Avrupa'da yeni eklenmiş güç üretimi kapasitesinin % 57'sini oluşturmaktadır.

2008 yılı sonuna kadar kurulan rüzgar gücü kapasitesi 142 TWh elektrik üretecektir, bu miktar Avrupa'nın elektrik talebinin yaklaşık % 4.2'sine eşittir. Rüzgar enerjisinden elde edilen bu güç, yıllık 108 milyon ton CO₂ yayılımını engelleyecektir. Bu ise, Avrupa caddelerinden 50 milyondan fazla arabanın kaldırılmasına eşittir. Mukayese olarak, 2000 yılında, Avrupa elektrik talebinin % 0.9'dan daha az miktarı rüzgar gücü tarafından karşılanmıştır.

Almanya (1,665 MW) ve İspanya (1,609 MW) yeni kurulumlar için hala zirvede mücadeleye devam ederken, 2008 yılı önceki yıllara nazaran daha dengeli geçti. İkinci dalga ülkeler ortaya çıktı ve rüzgar enerjisindeki akıma gerçekten moment sağlamaktadırlar. İtalya 1,010 MW ilave ederek toplamda 3,736 MW'lık kurulu güce ulaştı; Fransa 950 MW ilave ederek 3,404 MW'a ve İngiltere 836 MW ilave ederek 3,241 MW'a ulaştı.10 Avrupa Birliği üyesi ülke, Avrupa Birliği ülkelerinin üçte birinden fazlası, şuan herbirinin 1,000 MW'tan fazla kurulu rüzgar enerjisi kapasitesine sahip olduklarını beyan etmektedirler. Avusturya ve Yunanistan 1,000 MW'lık değerini hemen altında bir değere sahiptir.

Çizelge 3.9. Avrupa kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi (GWEC, 2008).

Kıta	Ülke	2007 Sonu	2008 Yeni	Toplam 2008 Sonu
Avrupa	Almanya	22,247	1,665	23,903
	İspanya	15,145	1,609	16,754
	İtalya	2,726	1,01	3,736
	Fransa	2,454	950	3,404
	İngiltere	2,406	836	3,241
	Danimarka	3,125	77	3,180
	Portekiz	2,15	712	2,862
	Hollanda	1,747	500	2,225
	İsveç	788	236	1,021
	İrlanda	795	208	1,002
	Avusturya	982	14	995
	Yunanistan	871	114	985
	Polonya	276	196	472
	Norveç	326	102	428
	Türkiye	147	286	433
	Diğer	955	362	1,305
	Toplam (MW)	57,139	8,877	65,946



Şekil 3.16. 2008 yılı sonu itibariyle MW cinsinden Avrupa'da kurulu rüzgar gücü (www.ewea.org).

Yeni Avrupa Birliği ülkeleri ş zamana kadarki en güçlü yıl olarak bildirdikleri 2008 yılında belirgin üçüncü dalga ilk kez görünür oldu. Macaristan kapasitesini ikiye katlayarak 127 MW'a ve Bulgaristan kapasitesini üçe katlayarak 57 MW'tan 158 MW'a çıkarmıştır. Yeni gelişmekte olan ülkelere en hızlılarından biri olan Polonya, 2007 yılı sonunda 276 MW olan kurulu gücünü 2008 sonunda 472 MW'a ulaştırmıştır. Avrupa Birliği dışında olan Türkiye, rüzgar enerji kapasitesini 147 MW'tan 433 MW'a taşıyarak üçe katlamıştır. Çizelge 3.9.'da Avrupa kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi verilmiştir.

Kıydan uzak rüzgar enerjisine baktığımızda, 2008 yılında 357 MW'lık kapasite ilave edilerek toplamda 1471MW'lık kapasiteye ulaşıldı. Avrupa Birliğinin toplam kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinin yaklaşık % 2.3'ü şuan kıydan uzak rüzgar enerjisidir.

Şekil 3.16.'da 2008 yılı sonu Avrupa'da mevcut kurulu rüzgar gücü Avrupa haritası üzerinde verilmiştir.

3.7.3 Asya kıtasında rüzgar enerjisi kullanımı

Asya kıtasındaki büyüme nefes kesici bir şekilde devam etmekte, 2008 yılında üçüncü 8.6 GW'lık kurulu güç Asya kıtasında gerçekleşti. Diğer ikisi ise Kuzey Amerika ve Avrupa Kıtasıdır.

Çin, 2008 yılında muazzam gelişmeye devam etti, 6.3 GW ilave ederek bir kez daha kurulu kapasitesini ikiye katlayıp 12.2 GW'lık toplam kurulu güce ulaşmıştır. Gelecekteki büyüme açısından Çindeki gelecek iyi görünmektedir. Finansal krize karşılık, Çin hükümeti rüzgar enerjisindeki ilerlemeyi ekonomik gelişmenin bir anahtarı olarak tanımlamıştır ve 2009 yılında, yeni kurulu kapasitenin ikiye katlanması beklenmektedir. Bu büyümeyle, Çin, 2010 yılında toplam rüzgar gücü kapasitesi açısından dünyada ikinci sıraya ulaşmak için Almanya ve İspanya'ya yetişme yolundadır. Bu ise Çin'in 2020 yılında 30 GW'a ulaşma hedefinin 10 yıl öncesinden gerçekleşeceği anlamına gelmektedir.

Çizelge 3.10. MW cinsinden Asya kıtasında kurulu rüzgar gücü kapasitesi (GWEC,2008).

Kıta	Ülke	2007 Sonu	2008 Yeni	Toplam 2008 Sonu
Asya	Çin	5,910	6,300	12,210
	Hindistan	7,845	1,800	9,645
	Japonya	1,538	346	1,880
	Tayvan	281	81	358
	Güney Kore	193	43	236
	Filipinler	25	8	33
	Tayland, Bangladeş, Endonezya, Sri Lanka	5	1	6
	Toplam	15,795	8,579	24,368

Çin'deki bu rüzgar gücündeki büyüme, yurtiçi rüzgar türbini ve komponent üretimini

teşvik etti ve Çin üretim endüstrisi bütün tedarik zincirine uzanarak giderek olgunlaşmaktadır. Çin Yenilenebilir Enerji Endüstrisi Birliği'ne göre (CREIA), tedarik sadece yurtiçi talebini karşılamamakta ayrıca uluslar arası ihtiyaçları da karşılamaktadır, özellikle komponentlerde. Çinli firmalar İngiltere ve Japonya pazarlarına girmeye başlamak için hazır bulunmaktadır. Ayrıca, gelecek yıllarda Amerika Birleşik Devletleri pazarına girmek için araştırmalar devam etmektedir.

Hindistan, 2008 yılında eklenen 1800 MW'lık rüzgar enerjisi kapasitesi ile toplamı 9.6 GW'a getirerek sürekli gelişmeye devam etmektedir. Hindistan'da rüzgar enerjisi üretiminde lider eyalet, 4GW'lık kurulu kapasitesiyle Tamil Nadu'dur, onu 1.8 GW'lık kurulu kapasitesiyle Maharashtra ve 1.4 GW kurulu kapasitesiyle Gujarat takip etmektedir.

2008 yılındaki yeni kapasite ilaveleriyle diğer Asya ülkeleri, 346 MW ile toplamını 1.9 GW'a çıkaran **Japonya**, 81 MW ile toplamını 358 MW'a çıkaran **Tayvan**, 43 MW ile toplamını 236 MW'a çıkaran **Güney Kore**'dir. Çizelge 3.10.'da Asya kıtasında kurulu rüzgar gücü verilmiştir.

3.7.4 Dünya'nın geri kalan kısmının rüzgar enerjisi kullanımı

Kuzey Afrika'da, rüzgar gücü büyümesi **Mısır**, **Fas** ve **Tunus**'ta 2008 yılında sırasıyla 55 MW, 10 MW, 34 MW'lık yeni kurulan kapasite ile devam etmektedir. Orta Doğu'da **İran** 17 MW'lık yeni kapasite kurdu. Afrika ve Orta Doğu için toplam kurulu kapasite 2008 yılı sonu itibariyle 669 MW'tır.

Birkaç yıllık durgunluğun ardından 2008 yılında, Avustralya'daki gelişme, toplam kurulu kapasite açısından % 58'lik sıçrama, 482 MW'lık yeni kurulum ile yeniden hız kazandı. **Avustralya**, 1.3 GW'lık toplam kapasitesi ile, 50 tane rüzgar çiftliğine ev sahipliği yapmaktadır. Toplamda 555 MW'lık 6 ilave proje şuan inşaat halinde ve 2009 yılında kullanılabilir hale hazır olması beklenmektedir. Çizelge 3.11'de dünyanın geri kalan kısmının kurulu rüzgar gücü kapasitesi verilmiştir.

Çizelge 3.11. MW cinsinden Dünya'nın geri kalan kısmının kurulu rüzgar gücü kapasitesi (GWEC, 2008).

Bölge	Ülke	Toplam		
		2007 Sonu	2008 Yeni	2008 Sonu
Afrika & Orta Doğu	Mısır	310	55	365
	Fas	124	10	134
	İran	67	17	85
	Tunus	20	34	54
	İsrail, Lübnan, Nijerya, Ürdün, Güney Afrika	17	14	31
	Toplam	539	130	669
Pasifik Bölgesi	Avustralya	824	482	1,306
	Yeni Zelenda	322	4	326
	Pasifik Adaları	12	0	12
	Toplam	1,158	486	1,644

3.8 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Kullanımı

Türkiye'nin rüzgar enerjisi ile ilgilenmeye başlaması büyük ölçüde 1990'lı yılların ortalarına rastlar. Türkiye'nin enerji darboğazına girebileceği, bunun içinde yenilenebilir enerji kaynaklarına gereksinimi olacağı düşüncesiyle birlikte rüzgar jeneratörlerinin devreye girmesine yönelik çalışmalara başlandı.

Rüzgar enerjisinin diğer kaynaklara göre daha avantajlı olması, 90'lı yıllarda Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü idaresinin ve birçok özel sektör kuruluşunun yapmış olduğu ölçüm çalışmalarıyla ortaya çıkan yararlanma potansiyellerinden anlaşılmaktadır. Bu durum ve rüzgar enerjisi konusundaki teknolojik gelişmeler, Türkiye'de de rüzgar enerjisinden yararlanmaya yönelik ortamı hazırlamıştır. Bunun sonucu olarak bir çok özel kuruluş çeşitli rüzgar potansiyeli belirleme ve olabilirlik çalışmaları yaparak rüzgar santrali kurup işletmek için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na başvurmuştur.

Bu başvurular sonucunda, Türkiye’de halen işletilmekte olan ilk rüzgar çiftliği 1998 yılının şubat ayında, İzmir ilinin Çeşme ilçesine bağlı Germiyan köyünde Otoprodüktör statüsünde kurulmuştur. Her biri 500 kW olan üç türbini bulunan bu santral 1,5 MW’lık güce sahiptir. Bunu takiben yine Çeşme ilçesine bağlı Alaçatı köyünde Yap İşlet Devret modeli ile 7,2 MW’lık 12 adet türbinden oluşan ikinci bir rüzgar santrali işletmeye alınmıştır. 25 Haziran 2000 tarihinde Çanakkale Bozcaada’da 17 adet rüzgar türbininden oluşan 10,2 MW gücünde olan üçüncü bir santral devreye girmiştir.

Yıllık % 8 civarında büyümekte olan Türkiye ekonomisi, enerjiye aç durumda. 2008 yılı sonu itibariyle, 42 GW civarında toplam kurulu güç üretimi kapasitesi ile, ülke elektriğinin 3’te birini hidroelektrik üretiminden, 3’te birini doğalgazdan, 4’te birini kömürden elde etmektedir. Kalanı lpg (liquefied petroleum gas), rüzgar enerjisi ve diğer kaynaklardan oluşmaktadır. Enerji talebi her yıl % 9 civarında büyümekte ve enerji azlığı şuan yaygın durumda.

Türkiye çok sınırlı petrol ve gaz rezervlerine sahiptir ve o nedenle enerji güvenliğini geliştirmek için bir araç olarak yenilenebilir enerjiye bakmaktadır ve İran ve Rusya’dan ithal edilen gaza bağımlılığı frenlemektedir.

2002 yılında Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EMRA) tarafından hazırlanan Türkiye’nin Rüzgar Atlası, 50 m yükseklikte rüzgar hızlarının en yüksek olduğu bölgelerin, İç Anadolu’da bazı dağlık bölgelerin yanında, Ege, Marmara ve Akdenizin doğu bölgesi olduğunu göstermektedir. Şekil 3.17.’de Bandırmada kurulu bir rüzgar çiftliği verilmiştir.

3.8.1 Son gelişmeler

Son yıllarda Türkiye’de, rüzgar enerjisinde hızlı artış başlangıcı olduğu görülmektedir. 2007 yılı sonunda iş teklifi isteğinin ardından, toplamda 78 GW olan 751 projeden oluşan rekor sayıda bir miktar, bir günde Enerji piyasası Düzenleme Kurulu tarafından alındı. O zamandan beri, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu rüzgar enerjisi üretimi için 5000 MW değerinde lisanslar yayımladı.



Şekil 3.17. Bandırma’da kurulu bir rüzgar çiftliği (www.gwec.net).

2008 yılında, Türkiye’de 286 MW’lık yeni rüzgar enerjisi kapasitesi ilave edilerek toplam 433 MW’a ulaştı. Ayrıca, 402 MW’lık kapasite yapım aşamasında ve 668 MW’lık kapasitenin rüzgar türbinleri için temin sözleşmeleri yapıldı. Kalan projeler hala türbinlerin elde edilmesi ve planlama izni bekleyenlerdir. Çizelge 3.12.’de Türkiye’de kullanımda olan rüzgar santralleri, çizelge 3.13’te Türkiye’deki inşa halinde bulunan rüzgar santralleri ve çizelge 3.14’te Türkiye’deki türbin tedarik sözleşmesi imzalı projeler verilmiştir.

Bununla birlikte, uzmanlar Türkiye’nin yayılma altyapısının, böyle geniş ölçüde gelişmelerin güç şebekesine bağlanılmasına izin vermek için büyük oranda yenilenmeye ihtiyacı olduğunu ikaz etmektedir.

Bir adet kanat üretim tesisi, İzmir Serbest Ticaret Bölgesi’nde yapım aşamasında. Bu tesis Enercon ve Demirer Holding arasında ortak bir girişim ve ürünlerini İtalya, Yunanistan, Balkanlar, Orta Doğu ve diğer bölgelere ihraç edeceği beklenmektedir.

Çizelge 3.12. Türkiye'deki kullanımda olan rüzgar santralleri (www.rüzgarenerjisibirliđi.org.tr).

Türkiye'deki Rüzgar Santralleri					
Şirket	Mevkii	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin imalatçısı	Türbin adet ve kapasitesi
Alize A.Ş.	İzmir-Çeşme	1998	1.50	Enercon	3 adet 500 kW
Güçbirliđi	İzmir-Çeşme	1998	7.20	Vestas	12 adet 600 kW
Bores A.Ş.	Çanakkale-Bozcaada	2000	10.20	Enercon	17 adet 600 kW
Sunjüt A.Ş.	İstanbul-Hadımköy	2003	1.20	Enercon	2 adet 600 kW
Yapısan A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	I/2006	30.00	GE	20 adet 1.500 kW
Ertürk	İstanbul-Silivri	II/2006	0.85	Vestas	1 adet 850 kW
Mare A.Ş.	İzmir-Çeşme	I/2007	39.20	Enercon	49 adet 800 kW
Deniz A.Ş.	Manisa-Akhisar	I/2007	10.80	Vestas	6 adet 1.800 kW
Anemon A.Ş.	Çanakkale-İntepe	I/2007	30.40	Enercon	38 adet 800 kW
Doğal A.Ş.	Çanakkale-Gelibolu	II/2007	14.90	Enercon	13 adet 800 kW + 5 adet 900 kW
Deniz A.Ş.	Hatay-Samandağ	I/2008	30.00	Vestas	15 adet 2.000 kW
	Manisa-Sayalar	I/2008	30.60	Enercon	38 adet 800 kW
İnnores	İzmir-Aliğa	I/2008	42.50	Nordex	17 adet 2.500 kW
Lodos A.Ş.	İstanbul-Gaziosmanpaşa	I/2008	24.00	Enercon	12 adet 2.000 kW
Ertürk A.Ş.	İstanbul-Çatalca	I/2008	60.00	Vestas	20 adet 3.000 kW
Baki A.Ş.	Balıkesir-Şamlı	II/2008	90.00	Vestas	38 adet 3.000 kW
Dares A.Ş.	Muğla-Datça	II/2008	10.00	Enercon	27 adet 800 kW +
İşletmedeki Kapasite Toplamı			433.35		

Çizelge 3.13. Türkiye'deki inşa halinde bulunan rüzgar santralleri (www.rüzgarenerjisibirliigi.org.tr).

Türkiye'deki İnşa halinde Bulunan Rüzgar Santralleri					
Şirket	Mevkii	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin imalatçısı	Türbin adet ve kapasitesi
Ayen A.Ş.	Aydın-Didim	I/2009	31.50	Suzlon	2.100 kW
Ezse Ltd. Şti.	Hatay-Samandağ	II/2009	35.10	Nordex	900 kW
Ezse Ltd. Şti.	Hatay-Samandağ	II/2009	22.50	Nordex	2.500 kW
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	II/2009	135.00	GE	54 adet 2.500 kW
Mazı-3 Res Elk. Ür. A.Ş.	İzmir - Çeşme	II/2009	22.50	Nordex	9 adet 2500 kW
Kores A.Ş.	İzmir-Çeşme	II/2009	15.00	Nordex	2.500 kW
Soma A.Ş.	Manisa-Soma	II/2009	140.80	Enercon	176 adet 800 kW
İnşa Halindeki Kapasite Toplamı			402.40		

Çizelge 3.14. Türkiye'deki türbin tedarik sözleşmesi imzalı projeler (www.rüzgarenerjisibirliği.org.tr).

Türkiye'deki Türbin Tedarik Sözleşmesi İmzalı Projeler					
Şirket	Mevkii	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin imalatçısı	Türbin adet ve kapasitesi
Alize A.Ş.	Balıkesir-Susurluk		19.00	Enercon	17 adet 800 kW ve 6 adet 900 kW
Borasco A.Ş.	Balıkesir-Bandırma		45.00	Vestas	15 adet 3000 kW
Alize A.Ş.	Tekirdağ-Şarköy		28.80	Enercon	14 adet 2000 kW ve 1 adet 800 kW
Alize A.Ş.	Balıkesir-Havran		16.00	Enercon	8 adet 2000 kW
Alize A.Ş.	Çanakkale-Ezine		20.80	Enercon	10 adet 2000 kW ve 1 adet 800 kW
Belen A.Ş.	Hatay-Belen		30.00	Vestas	10 adet 3000 kW
Alize A.Ş.	Manisa-Kırkağaç		25.60	Enercon	32 adet 800 kW
Boreas A.Ş.	Edirne-Enez		15.00	Nordex	6 adet 2.500 kW
Doruk A.Ş.	İzmir-Aliğa		30.00	Enercon	15 adet 2.000 kW
Yapısan	İzmir-Aliğa		90.00	Nordex	36 adet 2500 kW
Doğal A.Ş.	İzmir-Aliğa		30.00	Enercon	15 adet 2000 kW
Doğal A.Ş.	İzmir-Foça		30.00	Enercon	15 adet 2000 kW
Poyraz A.Ş.	Balıkesir-Kepsut		54.90	Enercon	61 adet 900 kW
Bilgin Elektrik Üretim A.Ş.	Manisa-Soma-Kırkağaç		90.00	Nordex	36 adet 2500 kW
Bares Elektrik Üretim A.Ş.	Balıkesir-Kepsut		142.50	Nordex	57 adet 2500 kW
Türbin Tedarik Sözleşmesi İmzalı Proje Toplamı			667.60		

3.8.2 Çevre politikası

Türkiye, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi için vergi desteğini öne sürerek, elektrik enerjisi üretimi için yenilenebilir enerji kullanımında ilk kanunu 2005 yılının Mayıs ayında yasalaştırdı. 2007 yılının Mayıs ayında, kanunda yapılan revizyon vergiyi yavaşça 5 - 5.5 Euro ct/kWh'a arttırdı. Destek 7 sene sürecek şekilde ayarlandı.

Destek seviyesi diğer Avrupa ülkelerine oranla az iken, fiyatların genellikle garantili fiyattan daha yüksek olduğu yerlerde, rüzgar enerjisi üreticileri ulusal enerji çalışma grubuna satmakta serbestler veya ikili anlaşmalarda uygun müşterilerle direk olarak birleşmektedirler.

Birkaç ilave politika tedbirleri, son yıllarda Türkiye'de yenilenebilir enerji üretiminde artışa yardımcı oldu. Bunlar, şirketlerin, bütün yenilenebilir enerji projelerine ve enerji sistemini stabilize etmek için Avrupa ile geliştirilmiş iletim bağlantılarına şebeke bağlantısı sağlaması için ulusal iletime mecburiyetini içermektedir. Ayrıca, Türk enerji sektöründeki yabancı yatırımında yapılan çoğu kısıtlamalar kaldırıldı.

3.9 2009-2013 Yılları Arasında Rüzgar Enerjisinde Beklenen Gelişmeler

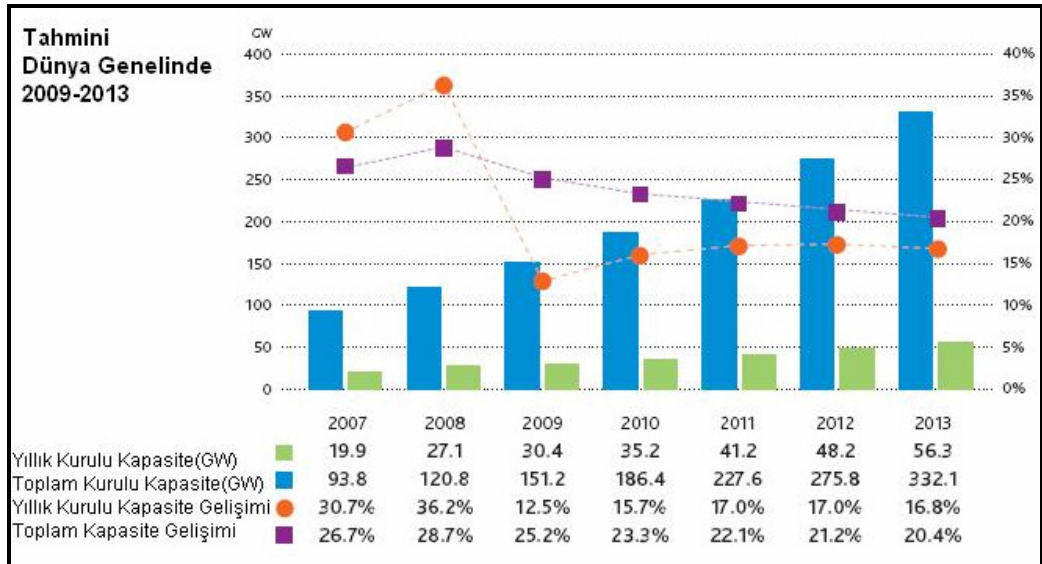
Her yıl yıllık hazırlanan raporda, Küresel Rüzgar Enerjisi Kurulu (GWEC-Global Wind Energy Council), gelecek 5 yıl için küresel rüzgar enerjisindeki gelişmelere dair tahmin sunmaktadır.

Bu tahminlerin herbiri gerçekleşen gelişmeler tarafından geçmişte aşıldığı görülmüştür. 2006 yılında, GWEC 2007 yılında 16.8 GW kurulacağını tahmin etti ve gerçekleşen 20 GW'a yakın oldu. 2007 yılında, 2008 yılı için tahmin 23.1 GW idi, fakat gerçekleşen 27 GW oldu.

Geçen 3 veya 4 yılın üzerinde, iki ülke sürekli olarak GWEC'in en optimistik beklentilerinden daha iyisini yaptılar, ABD ve Çin. Bu yıl veya önümüzdeki yıl,

ABD'deki gelişmeler, finans azlığından ve genel ekonomik krizden dolayı aksayacaktır. Aynı zamanda, Çin'deki büyüme nefes kesici oranda devam edecektir ve bu, gelecek yıllarda küresel rüzgar enerji kurulumlarında büyük artışı harekete geçirecektir.

GWEC 2013 yılında küresel rüzgar enerjisi üretim kapasitesinin, 2008 yılı sonu 120 GW olan seviyeden 332 GW'a ulaşacağını tahmin etmektedir. 2013 yılı süresince, küresel toplama 56.3 GW'lık yeni kapasite ekleyecektir, bu oran 2008 yılında gerçekleşenin iki katından fazladır.



Şekil 3.18. Dünya genelinde 2009-2013 yılları arası beklenen durum (GWEC, 2008).

Bu zaman zarfındaki yıllık büyüme, ortalama toplam kurulu kapasite açısından % 22.4, yıllık kurulu kapasite açısından % 15.8 olacaktır. Bu oran, geçmiş yıllardaki gelişmelere nazaran tutarlıdır; son 10 yılda, yıllık % 28.3 ve toplam kapasitede % 28.2'lik ortalama artış görülmektedir. Şekil 3.18'de dünya genelinde 2009-2013 yılları arası beklenen durum grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3.19. Almanya, Marienkoog rüzgar çiftliği (www.gwec.net).

3.9.1 Bölgesel dağılım

Küresel rüzgar enerjisi üretim kapasitesinin sürekli büyümesi 3 bölge tarafından yönlendirilmektedir: Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika.

Asya'nın 2008 yılından itibaren dünyada en hızlı büyüyen bölge olması beklenmektedir, son 4 yıldır her yıl kurulu kapasitesini ikiye katlayan Çin liderliğinde ve dünyanın en geniş pazarı olmak için rüzgar kapasitesinin hızlı büyümesinin devam etmesine hazır bulunmaktadır. Yıllık ilavelerin 2020 yılına kadar Çin'de 20 GW'tan daha fazlasına ulaşması beklenmektedir. Bu gelişme, elektrik kaynağının çeşitliliğini destekleyen, yurtdışı endüstrinin gelişmesini destekleyen, elektriğin ilgili yere iletiminde önemli yatırımlar yapan çok agresif hükümet politikası tarafından temelleri oluşturulmaktadır.

Devam eden gelişme Hindistan'da da beklenmektedir, her yıl 1.5-2 GW oranında durmaksızın kapasitesini arttıracaktır ve Japonya, Tayvan, Güney Kore ve Filipinleri içeren diğer Asya ülkelerindeki büyümeyle tamamlanmış olacaktır.

Bir bütün olarak Asya için, yıllık kapasite artışını gelecek 5 yıl içinde 2013 yılına kadar 25.5 GW' ulaştırarak üçe katlaması beklenmektedir, bu ise bölgede 5 yıl içerisinde kurulacak 93 GW'lık yeni rüzgar kapasitesine çevirecektir ve dünyadaki diğer bölgelerden daha fazla yapmaktadır. Bu, 2013 yılına kadar toplam rüzgar gücü kapasitesini 117.4 GW'a taşıyacaktır, ozamana kadar Avrupa ile neredeyse baş başa olma demektir.

Kuzey Amerika'da rüzgar enerjisi gelişimi, özellikle ABD'de, proje finansı daralmasının bir sonucu olarak 2009 yılında küçük bir düşüş olacaktır. 2013 yılına kadar, Kuzey Amerika'da yıllık kurulan kapasite, 2008 yılındaki 8.9 GW'tan 15 GW'a büyüyecektir. Bu, toplamı 55 GW olan rüzgar gücü kapasitesinin gelecek 5 yıl boyunca Kanada ve ABD'de ilave edileceği anlamına gelmektedir.

Avrupa 2013 yılına kadar en geniş kurulu kapasiteye sahip olmaya devam edecektir, Asya tarafından yakından takip edilerek. 2013 yılına kadar Avrupa'da toplam kapasitenin 118 GW'a ulaşacağı beklenmektedir, 2008 yılındaki değerden 52 GW fazladır. 2013 yılına kadar, yıllık kurulan kapasite 12.5 GW olacaktır.

İncelenmekte olan periyodun sonunda, büyük ölçekte denizüstünde ilerlemeler Avrupa'daki gelişmeler üzerinde etkisi olmaya başlayacaktır ve bu, takip eden yıllarda gelişmelere yeni hız sağlayacaktır.

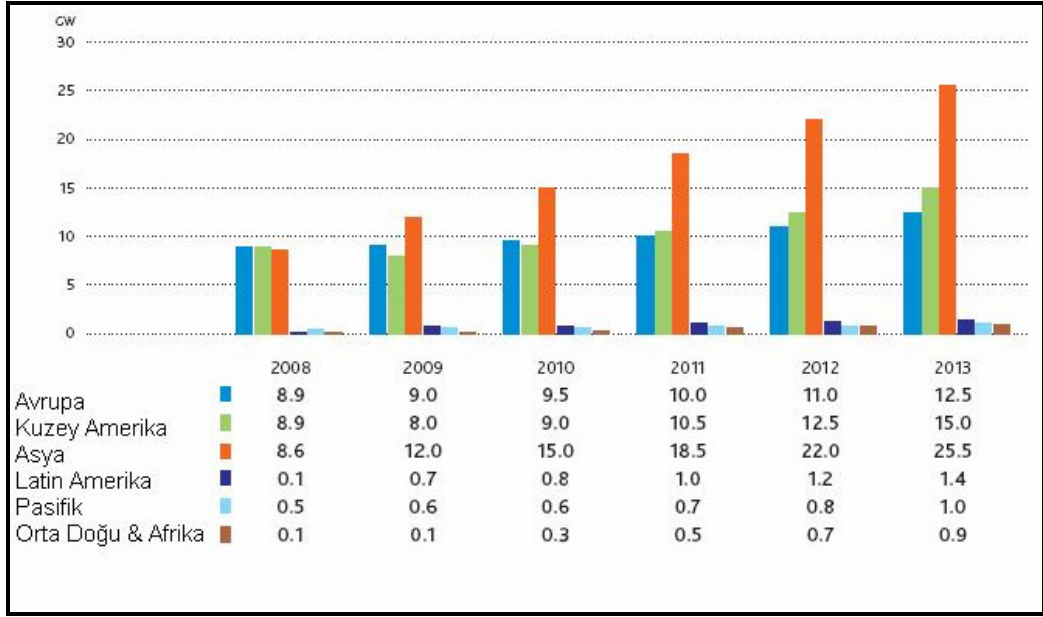
Almanya ve İspanya'nın Avrupa'da önde gelen ülkeler olarak devam etmesi beklenmektedir, fakat İtalya, Fransa, İngiltere ve Portekiz rüzgar kapasitelerinin genişlemesine devam ederler iken, güçlü ülkelerin sayında artışa doğru bir eğilim önümüzdeki yıllarda daha belirgin olacaktır. Şekil 3.19.'da Almanya'da kurulu bir rüzgar çiftliği gösterilmektedir. Türkiye'nin yanında özellikle Polonyo gibi yeni Avrupa Birliği ülkelerde de ümit verici işaretler bulunmaktadır. Bütün bu ülkelerin gelecekte Avrupa'nın toplamına daha büyük oranda katkıda bulunması beklenmektedir.

Latin Amerika, 2013 yılına kadar toplam kurulu rüzgar kapasitesini 5.7 GW'a getirerek, gelecek 5 yıl için yılda ortalama 1 GW'lık beklenen kapasite ilaveleri ile sürekli büyümeye devam edecektir. Büyüme başlıca Brezilya, Meksika ve Şili tarafından olacaktır.

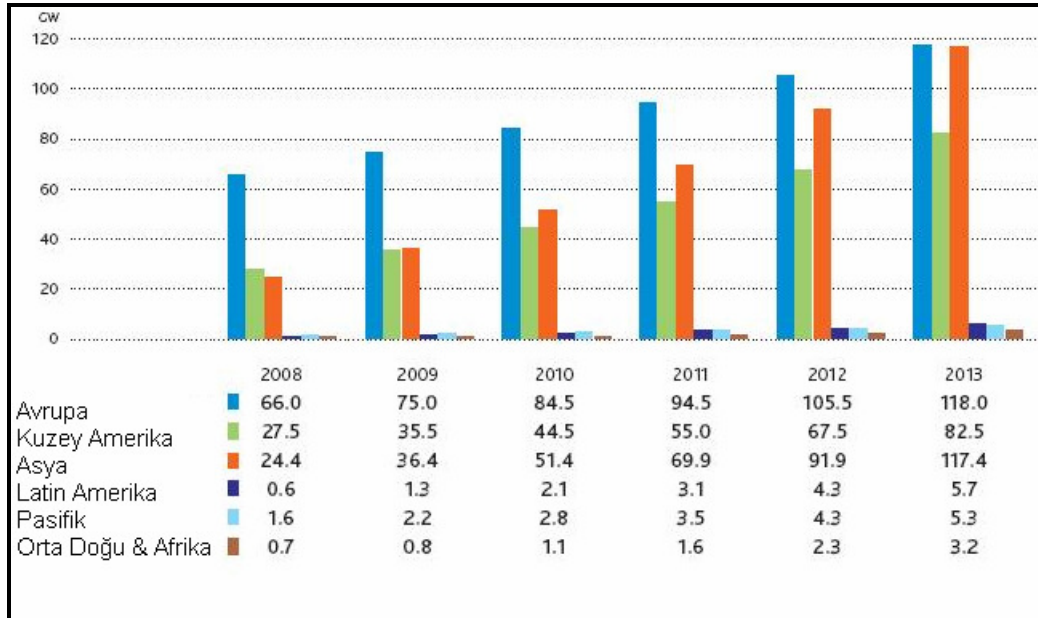
Pasifik Bölgesi'nde 2013 yılına kadar yıllık büyümenin şuan ki 500 MW'tan 1 GW'a ulaşması ile sürekli büyümesi tahmin edilmektedir. Bu, 2013 yılında bölgede 5.3 GW'lık toplam kurulu kapasiteye ulaşmasına sebep olacaktır. Hem Avustralya hemde Yeni Zelanda büyük miktarda rüzgar kaynaklarına ve kullanılmamış tabii kaynak potansiyeline sahiptirler, sadece yavaş geliştirilmektedir. 2008 yılında, Avustralya şu zamana kadarki en güçlü büyümeyi gördü ve bu ilerlemenin devam etmesi beklenmektedir. Yeni Zelanda 2008 yılında yavaş bir dönem geçirirken, 2009 yılı için genel görünüm daha parlak ve 151 MW kurulduğunu gördüğümüz 2007 yılı ile aynı doğrultudadır.

Afrika ve Orta Doğu, 2008 yılındaki 130 MW'lık kurulumdan, 2013 yılına kadar 900 MW'lık yıllık kurulumla ulaşması ile dünyadaki rüzgar enerjisinde küçük oyuncular olmaya devam edecektir. Başlıca ülkeler, Tunus ve İran'da beklenen bazı gelişmeler ile de, Mısır ve Fas'tır. 2013 yılında, bölgenin toplam kurulu rüzgar gücü kapasitesinin 3.2 GW'a ulaşması beklenmektedir.

Şekil 3.20.'de bölgelere göre 2009 – 2013 yılları arası tahmini yıllık kurulu kapasite ve şekil 3.21.'de bölgelere göre 2009 – 2013 yılları arası tahmini toplam kurulu kapasite verilmiştir.



Şekil 3.20. GW cinsinden bölgelere göre 2009–2013 yılları arası tahmini yıllık gelişme (GWEC, 2008).



Şekil 3.21. GW cinsinden bölgelere göre 2009-2013 yılları arası tahmini toplam kapasite (GWEC, 2008).

3.10 Rüzgar Enerjisinin Yararları Ve Mahsurları

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl % 4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık, bu ihtiyacı karşılayan fosil-yakıt rezervleri ise, çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Ayrıca fosil yakıtlarının kullanımı sonucunda oluşan sera gazlarıyla, dünya ortalama sıcaklığının son bin yılın en yüksek değerlerine ulaştığı bilinmektedir. Bu durum ise, yoğun hava kirliliğinin yanı sıra milyonlarca dolar zarara yol açan sel, toprak kayması, fırtına, yangın gibi doğal afetlerin gözle görülür bir şekilde artmasına neden olmaktadır. Artan dünya ısısıyla eriyen buzullar nedeniyle, deniz seviyesi yükselmiştir. Bunun sonucu daha şimdiden dünyanın birçok yerindeki yerleşim alanlar boşaltılmıştır. En kısa zamanda önlem alınmazsa yakın gelecekte birçok yerleşim alanı daha sular altında kalacaktır. Sadece bu neden bile insanoğlunun artık fosil yakıtlar yerine temiz enerji kaynaklarına yönelmesini gerekli kılar.

Bugün sadece egzoz gazlarındaki kurşun yüzünden doğan zihinsel özürlü çocuk sayısı onbinler ile ifade edilecek rakamlara ulaşmıştır. Yoğun hava kirliliği tehdidi altında büyük şehirlerde yüzlerce insan ölmektedir. Hava kirliliğinin ve dünyanın artan ısısının sadece insanlar üstünde etki yaptığı düşünülemez. Hayvanlar ve bitkiler üzerinde de büyük miktarlarda etki bırakır. Kirlenme ve asit yağmurlarıyla birçok eko sistem tamamen yok olmuş veya yok olma derecesinde azalmıştır. Doğadaki bozulan gıda ve madde zinciri ile ağır metaller ilk önce bitkileri sonra hayvanlar en sonunda ise bunları tüketen insanlar etkiler hale gelmiştir.

İşte bütün bu nedenlerden dolayı, alternatif ve temiz enerji kaynakları günümüzde ve yakın gelecekte günlük yaşamımıza hakim olacaktır. Sınırsız ve sorumsuzca enerji tüketiminin yerini, bilinçli, çevreye saygılı ve ihtiyacı karşılamaya yönelik enerji kullanımı alacaktır. Böyle bir ortamda da refah düzeyini, en fazla enerjiyi tüketen yerine, enerjiyi en verimli kullanan belirleyecektir. Türkiye’de de benzeri bir anlayışın hakim olması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artacaktır.

3.10.1 Rüzgar enerjisinin yararları

Temiz, çevreyi kirletmeyen, yakıt parası olmayan bir enerjidir. Avrupa'da 2008 yılında rüzgar enerjisi sayesinde 108 milyon ton CO₂, tasarrufu yapılmıştır.

Enerji hatlarının ulaşmadığı uzak noktalarda kurularak bu tip yerlerin enerji ihtiyacı karşılanabilir. Rüzgar enerjisinde ham madde ulaştırma masrafı yoktur. Doğadaki rüzgar direkt olarak kullanılabilir.

Rüzgar türbinleri karmaşık makineler değildir. Gayet basit bir şekilde operatöre ihtiyaç duyulmadan çalıştırılabilmektedirler. Tamamen otomatik olarak çalışabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Ayrıca bu şekilde sadece periyodik bakımlarının yapılması ile 20-30 yıla yakın çalışabilirler. Örnek olarak, Westas firmasının ilk ürettiği türbin, 2000 yılının Mart ayında 20. işletim yılını doldurmasına rağmen hiçbir parçasını kaybetmemiştir.

Rüzgar türbinleri, patlama yapmazlar, radyasyon yaymazlar. Ayrıca herhangi bir radyoaktif ışınım tahribatı yapmazlar. Dolayısıyla tehlikeli değildirler. Montaj aşaması hariç bugüne kadar hiçbir rüzgar santralinde ölümlü kaza olmamıştır. Bakım sürelerinde alınabilecek tedbirler ile herhangi bir ufak kaza oluşması da engellenebilir. Yinede rüzgar türbini kazası sonucu ölüm riski % 0,0006 gibi bir rakamdır (www.bwea.com).

Artan petrol fiyatları veya aniden ortaya çıkan başka maliyetleri olmadığından vergi artırımını olarak vatandaşa yük olmazlar.

Atmosfere veya yakındaki nehir ve denizlere ısı emisyolları yoktur. Buna ilaveten başka bir atık üretimi de söz konusu değildir.

Rüzgar yerli bir enerji kaynağıdır. Yerel kaynaklar kullanılarak üretilebilen türbin grupları ile dünya genelinde onbinlerce insana iş olanakları sunmuştur. Amerika'da yapılan bir çalışmaya göre, rüzgar enerjisinden üretilen 10 milyon kWh elektrik enerjisinin, yine aynı elektrik miktarını üreten kömür santraline göre % 27, doğalgaz santraline göre % 66 daha fazla iş imkanı sağlamaktadır (www.awea.org).

Rüzgar türbinin işletmeye alınması, inşaatın başlamasından ticari üretime geçişine kadar, üç ay gibi kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir.

Rüzgar türbinleri modüler olup herhangi bir büyüklükte imal edilebilmektedir. İstenildiğinde kısa bir süre içinde sökülüp başka bir yere sorunsuz olarak parçalar halinde taşınabilir. Ayrıca tek olarak ya da gruplar halinde kullanılabilirler.

Ömrünü tamamlamış rüzgar türbinlerinin söküm maliyetleri yoktur. Çünkü sökülen türbinlerin hurda değeri söküm maliyetlerini kolayca karşılamaktadır. Bu santrallerin ömürlerini tamamlamasından sonra türbinlerin kullanıldığı alan eski haline kolayca getirilebilmektedir.

Genelde kırsal alanlara kurulan bu santraller, arazi için ödenen satın alma veya kira bedelleri ile yöredeki insanlara ciddi bir ekonomik girdi sağlamaktadır. Ayrıca yapım aşamasında da, inşaat faaliyetleri yöredeki insanlara iş olanakları yaratır.

Genellikle rüzgar enerjisi santralleri, rüzgarın çokluğu sebebiyle çıplak ve yüksek tepe ve tepeliklere kurulmaktadır. Bu tepeler ancak küçük ekonomik faaliyetler, hayvancılık veya tarımsal faaliyetler için kullanılabilen yerlerdir. Genel olarak rüzgar enerjisi santralleri için dikilen türbinlerin her biri en fazla 100 m²'lik bir alan kaplamaktadırlar. Her bir türbinin birbirlerinden uzaklıkları ise kanat çapına ve rüzgar rejimine bağlı olarak 50 ila 200 metre arasında değişmektedir. Rüzgar türbinleri arasında kalan arazinin ise başka faaliyetler için kullanılmasında hiçbir sakınca yoktur. Nitekim yurt dışında bu alanların tarımsal ve hayvancılık faaliyetleri için sıkça kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca dünya genelinde rüzgar santrallerinin offshore tabir edilen deniz üstünde kurulan tipleri oldukça yaygınlaşmaktadır. Bu durumda santral inşaatı için alan kaybı söz konusu bile olmamaktadır.

Rüzgar santralleri, termik, hidrolik vb. santrallerle, ekonomik açıdan rekabet edebilecek düzeye gelmiştir. kWh başına maliyeti 3-6 cent civarındadır. Bununla birlikte yakın zamanda düşeceği tahmin edilmektedir.

Rüzgar santralleri diğer santrallere göre daha az su harcar. Çizelge 3.15'te çeşitli santrallerin kWh başına kullandığı su miktarı verilmektedir. Rüzgar türbinlerinde sadece yağışların etkisiz olduğu yerlerde kanatları yıkamak için su kullanılır.

Çizelge 3.15. Çeşitli santrallerin kWh başına kullandığı su miktarı (www.awea.org).

Santral Tipi	Kullanılan Su Miktarı Litre /kWh
Nükleer	2,3
Kömür	1,9
Dizel	1,6
Bileşik Çevrim	0,95
Rüzgar	0,004

3.10.2 Rüzgar enerjisinin mahsurları ve bunlara ait çözüm önerileri

Temiz olsa bile rüzgar enerjisi teknolojisinin çevrede olumsuz değişiklikler yaratması kaçınılmazdır. Ayrıca kullanım alanında da sorunları vardır.

Rüzgar tarlalarının en çok tartışılan çevresel etkisi görsel ve onları çevreleyen manzara üzerindeki etkisidir. Ama rüzgar türbinlerinin görsel kirliliği kişisel bir kavramdır. Bazen de ilgi çekici olabilir.

Gölge titreşimi ve parıltı görsel etkinin bir başka durumudur. Güneşin doğuşu ve batışı esnasında rüzgar türbinlerinin dönmekte olan kanatları gölge oynamasına, gölge titreşimine neden olabilir. Aynı şekilde cilalı kanatlara gelen güneş ışığı da civara yansıtılarak parıltı etkisi yaratabilir. Bu sorunlar, kanatların ve türbinin günün her şartlarındaki renk koşullarına uyan açık mat gri renk ile boyanması ile en aza indirilebilir.

Belki de rüzgar türbinlerindeki en büyük çevresel sorunu gürültü teşkil etmektedir. Gürültü kanat uçlarından, dişli kutularından, aerodinamik fren mekanizması ve hidrolik motorlardan kaynaklanmaktadır. İngiltere’de bu sorundan dolayı 10 türbinden fazla veya 5 MW’tan büyük güçte olan rüzgar çiftlikleri milli park alanlarında kurulamamaktadır. Oluşan gürültüye rağmen türbin sahasında iki kişi çok rahatlıkla sesini yükseltmeden konuşabilir. Kanat ucu tasarımı ve diğer ses üreten mekanizmaların seçimine dikkat edilerek ses problemi oldukça azaltılabilir. Bir diğer önlem ise bu tip santrallerin yerleşim alanlarının dışında kurulmasıdır.

Bir başka çevresel mahsur ise kuş ölümleri olarak karşımıza çıkar. Kuş ölümleri daha çok toplu göçler sırasında karşılaşılan bir sorundur. Fakat bu sorun yüksek gerilim hatlarının yarattığı tehlikelerden büyük değildir. Danimarka’da Ornis Consult tarafından yapılan bir araştırma ile yerleşik kuşların türbinlere kolayca alışıarak yuva yaptığı görülmüştür. Birçok göçmen kuş sürüsü de 150 metreden yukarıda uçtuğundan, türbin kanatları bunlar için bir tehlike teşkil etmez. Ama yine de rüzgar tarlalarının kurulduğu alanların göç yolları üzerinde olmaması en iyi çözümdür.

Elektromanyetik girişim, diğer bir sorundur. Yapılan araştırmalarda, elektromanyetik girişim ile TV ve radyo yayınlarının, havacılık ve denizcilik haberleşmelerinin olumsuz etkilendiği ortaya konmaktadır. Ancak radyo ve televizyon antenlerinin türbin yakınında olmadığı sürece birçok frekansın etkilenmediği gözlenmiştir. Türbinlerin elektromanyetik girişim etkisi kanat büyüklüğü ve malzemesi ile ilişkili olarak değişmektedir. Metal malzemelerin kullanıldığı türbinlerde gürültü ve elektromanyetik girişim oranı yüksektir. Bu sorun polyster esaslı malzeme kullanılarak en aza indirilebilir.

Çevresel olmayan en büyük mahsur, rüzgarın değişken olmasıdır. Yeryüzünde rüzgarın sabit olduğu az yer vardır. Bu yüzden ki, insanoglu istediği her yere rüzgar santrali kuramaz. Son yıllarda rüzgar enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin, direkt olarak şehir elektrik şebekesine verilmesi, bu enerjinin depolama sorununa bir ölçüde çözüm getirmiştir. Bir başka uygulama ise; farklı rüzgar enerjisi potansiyeline sahip noktalara kurulan çok sayıda rüzgar türbininin aynı elektrik şebekesini beslemesi

durumunda, herbir türbindeki güç değişiminin birbirini dengeleyeceği ve sabite yakın bir elektrik enerjisi gücü elde edileceğidir. Ama belki de geleceğin çözümü rüzgar ve güneş enerjisinin birlikte kullanımındır. Bu sayede kış aylarındaki yüksek rüzgar potansiyelinin çevirdiği türbinlerle ve yaz aylarındaki yüksek güneş ışınları enerjisinin dolduracağı güneş pilleri birlikte çalışarak bütün bir yıl için bize enerji sağlarlar.

Bir diğer mahsur ise türbinlerin maliyetleridir. Birçok türbin teknik olarak başarılı çalışma göstermesine rağmen, çok yeni teknolojiler kullandığından maliyet biraz yüksektir. Bu maliyetlerde gün geçtikçe iyileşme sağlanmaktadır. Şuanda araştırma-geliştirme maliyetlerini çok fazla satılarak kapatmış olan 500-600 kW güçteki türbinler diğer türbinlere göre daha ucuz durumdadırlar. Fakat bu geçicidir.

Bir başka mahsur ise, özellikle yurdumuzda da karşılaşıldığı gibi iyi derecede rüzgar alan bölgelerde arazilerin elde edilmesindeki zorluklar veya sit alanı olarak görülmesinden dolayı yaşanan sorunlardır.

Ülkemiz için bir başka sorun ise bu tip santrali kurmak için gerekli malzemelerin birçoğunun ithal edilmesi ve bu yüzden pahalı olmasıdır. Bu sorun yerli sanayinin kurulması ile büyük ölçüde ortadan kalkacaktır.

BÖLÜM 4

RÜZGÂR TÜRBİNLERİ

4.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri; yapılarına göre, güçlerine göre ve şebekeye göre olmak üzere 3 ana kategori altında sınıflandırılabilir.

4.1.1 Yapılarına göre rüzgâr türbinleri

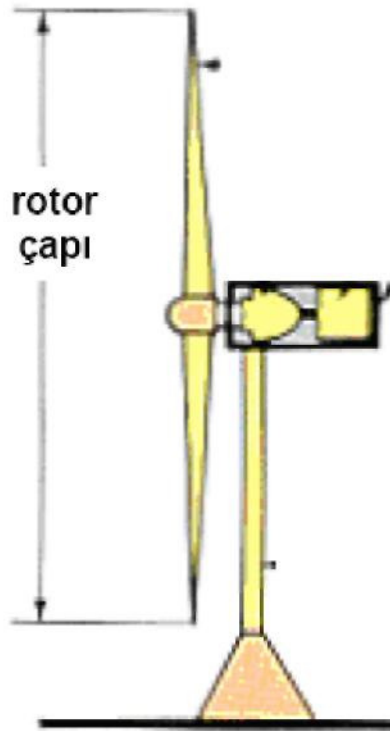
4.1.1.1 Yatay eksenli rüzgâr türbinleri

Yer konumuna göre rotoru yatay eksenle çalışan türbinlerdir. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri (Horizontal Axis Wind Turbine = HAWT)'nin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları sürekli rüzgâr akış yönünde olmalıdır. Bu da rotorun kule üzerinde dönmesi ile sağlanır. Rüzgârın yönüne dönme hareketi iki ayrı konstrüksiyonla sağlanır. Bunlar “öne-rüzgâr” ve “arkaya-rüzgâr” olarak adlandırılır. Eğer kanat, rüzgârı ön yüzünden alıyorsa rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Diğer durumda ise kanat rüzgârı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılıdır. Böylece sistem rüzgârı takip ederek maksimum fayda sağlanır.

Teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinler yatay eksenli rüzgâr türbinleridir. Modern rüzgâr türbinleri 2 veya 3 kanatlı ve kanat çapları yaklaşık 30 m civarındadır. Yatay eksenli türbinlerde rotor, dişli çark, jeneratör ve fren bir kulenin üzerinde yatay şafta bağlanmışlardır. Ticari amaçlı kullanılan türbinlerin hemen hepsi bu guruba girmektedir. Şekil 4.1. ve şekil 4.2.'de yatay eksenli sistemler ile yatay eksenli kanat şekilleri gösterilmiştir (Uğurlu, 2004).



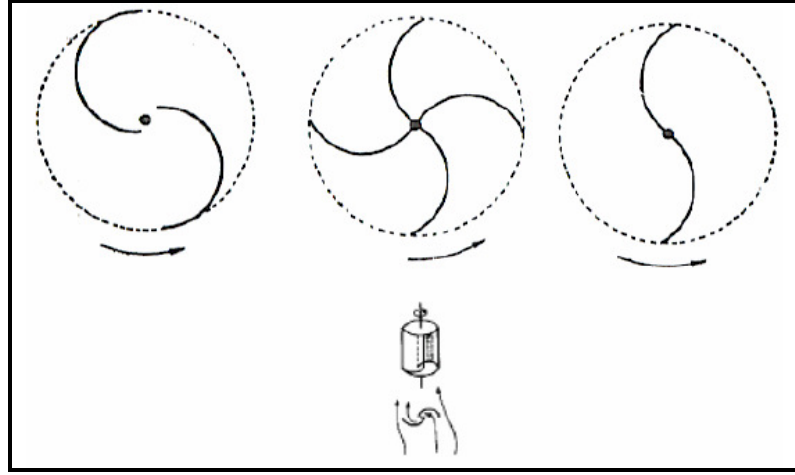
Şekil 4.1. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde çeşitli kanat şekilleri (Uğurlu, 2004).



Şekil 4.2. Yatay eksenli sistem (Uğurlu, 2004).

4.1.1.2 Düşey eksenli rüzgâr türbinleri

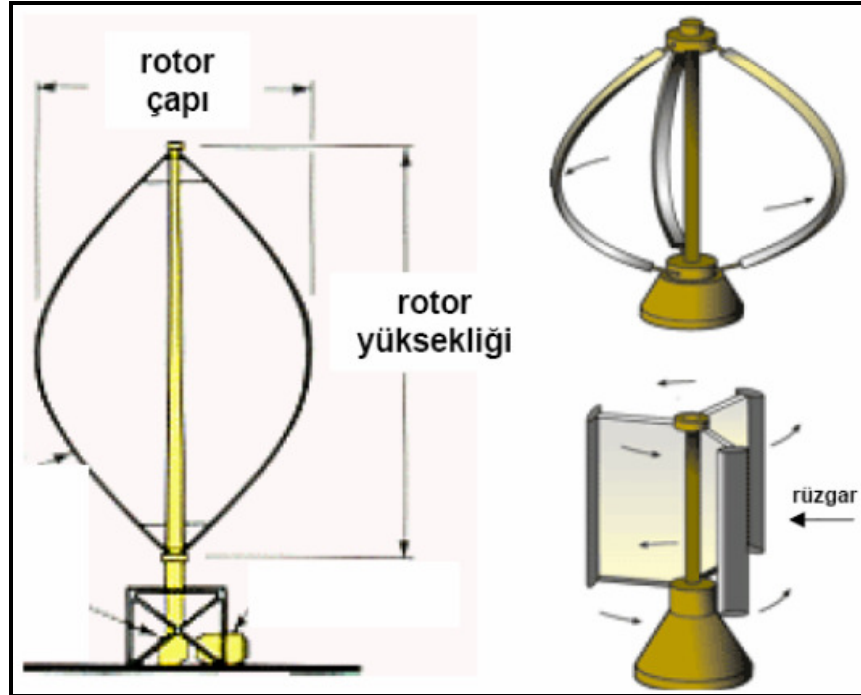
Bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgâr yönüne dik ve kanatları düşeydir. Bunların başlıcaları Darrieus ve Savonius tipinde olanlardır. Şekil 4.3., şekil 4.4. ve şekil 4.5'te dikey eksenli rüzgâr türbinleri gösterilmiştir (Vertical Axis Wind Turbine = VAWT).



Şekil 4.3. Savonius çarkı dikey eksenli rüzgar türbini (Uğurlu, 2004).



Şekil 4.4. Darrieus çarkı dikey eksenli rüzgar türbini (Uğurlu, 2004).



Şekil 4.5. Düşey eksenli sistemler (Uğurlu, 2004).

Şekillerde de görüldüğü gibi düşey eksenli rüzgâr türbinlerinde kanatlar düşey şafta bağlanmıştır. Bu türbinlerin yatay eksenli türbinlere göre bazı avantajları ile dezavantajları vardır:

Faydaları;

- Rüzgâr doğrultusundan etkilenmez dolayısıyla yönlendiriciye ihtiyaç yoktur.
- Bütün elektromekanik aksam yerde olduğu için yatırım ve bakım masrafları daha azdır.

Mahsurları;

- Türbin kanatları tasarımı nedeniyle verimleri daha düşüktür.
- Kanatların yere yakınlığı sonucu düşük rüzgar hızına maruz kalırlar ve dolayısıyla enerji üretimini azaltır.
- Verim düşüklüğü nedeniyle dikey eksenli rüzgâr türbinleri fazla uygulama alanı bulamamışlardır.

4.1.1.3 Eğik eksenli rüzgâr türbinleri

Dönme eksenleri düşey ile rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatlar ile dönme eksenini arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Eğik eksenli rüzgâr türbinlerinin geniş bir uygulama alanı yoktur (Uğurlu, 2004).

4.1.2 Güçlerine göre rüzgar türbinleri

4.1.2.1 Mikro türbinler

Genellikle sabit mıknatıslı jeneratörlerle birlikte batarya şarj etmek üzere kullanılmakta ve güçleri 50 W ile 2 kW arasında değişen türbinlerdir. Bu türbinler uzak

iletişim sistemlerinde, ev içi sistemlerde ve gezi teknelerinde kullanılabilir. Şebekeden bağımsız olarak akü şarj prensibiyle çalışır. Rotor çapları 3 metreden küçüktür.

4.1.2.2 Küçük güçlü rüzgar türbinleri

Güçleri 2 kW ile 40 kW ve rotor çapları 3 m ile 12 m arasında değişen rüzgâr türbinleridir. Küçük rüzgar türbinleri genellikle şebekenin olmadığı veya ulaştırmanın ekonomik olmadığı ya da sorunlu olduğu yerlerde kullanılır. Genellikle akü şarj prensibine göre çalışır.

4.1.2.3 Orta güçlü rüzgar türbinleri

Güçleri 40 kW ile 999 kW ve rotor çapları 12 m ile 45 m arasında değişen rüzgar türbinleridir.

4.1.2.4 Büyük güçlü rüzgar türbinleri

Rüzgardan elde edilen elektrik enerjisi gücünün 1 MW' tan büyük, rotor çapının ise 46 metreden büyük olduğu türbinlerdir. Büyük güçlü türbinler, rüzgâr çiftliği olarak adlandırılan diziler halinde kurulurlar. Bir rüzgâr çiftliğinin toplam gücü 1–150 MW arasındadır.

Yatırım amaçlı kurulan büyük güçlü türbinlerden üretilen enerji, mevcut şebekeye verilir. Bu yüzden yatırımdan önce yapılması gerekli olan bazı çalışmalar vardır. Öncelikle bölgenin rüzgâr açısından durumunun belirlenmesi gerekir. Yapılan detaylı ve en az bir yıl sürecek teknik rüzgâr ölçümleriyle, rüzgâr hızı ortalamaları, günlük, mevsimlik ve yıllık dağılımlar ile yaklaşık rüzgâr enerjisi değerleri belirlenir. Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmaları sonucunda, kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri, üretilen enerjinin maliyeti gibi sonuçlara ulaşılır. Bu çalışmalarda, bölgesel elektrik kurumlarıyla ve devletle yapılacak olan anlaşmalar, alınacak özel izinler, çevre halkının yaklaşımı, bölgedeki konvansiyel

elektriğin maliyeti, yıllık harcama miktarı, arazinin fiziksel yapısı, finansman ve kredi politikası gibi parametreler önemli rol oynar.

Büyük güçlü türbinlerden oluşan rüzgâr çiftliklerinin yatırım maliyeti kabaca bir yaklaşımla 1000 \$/kW' tır. Yıllık bakım masrafı ise yatırımın % 1–1,5 oranında gerçekleşir. Bu şartlar altında kurulacak türbinlerden elde edilen elektrik enerjisi, şebekeye; maliyeti düşük, çevreyi kirletmeyen, güvenli ve yenilenebilir bir kaynaktan üretilmiş olarak verilebilir.

Bazı rüzgar türbin üreticilerinin bazı modellerinin rüzgar hızına göre türbin güçleri çizelge 4.1.'de verilmiştir.

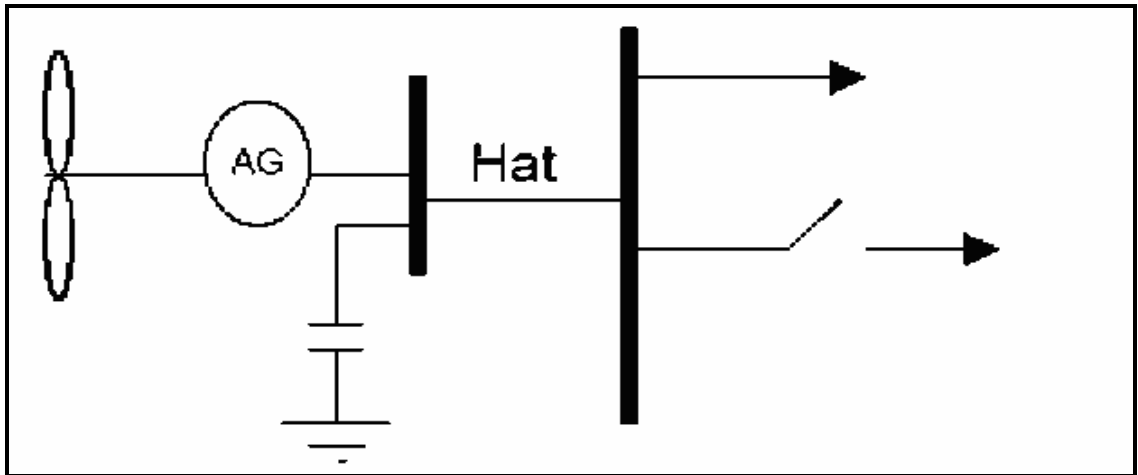
Çizelge 4.1. Rüzgar hızına göre türbin güçleri (kW) (www.enercon.de; www.galeforce.niraland.co.uk; www.west.wind.com; www.synergypowercorp.org; www.danishwind.com; www.lorax-energy.com; www.montanagreenpower.com).

Rüzgar Hızı (m/s)	Üretici Firma ve Türbin Tipi							
	Gale Force	Westwind	DWS	Synergy Power	Windmatic	Lorax En. Sys.	Lorax En. Sys.	Enercon
	'Fortis' Montana	Westwind-10 kW	Windane 12	SLG	15 S	FL 101	FL 250	Enercon-40
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,1	0,2	0	0	0,5	1	1	4,2
4	0,25	0,4	1,2	2,1	2,4	2	7	16,3
5	0,5	1	2	3,2	5,2	8	25	36,4
6	0,8	1,5	4	5,2	9,2	17	35	65,6
7	1,2	2,2	7,2	10	14,4	30	59	107,7
8	1,5	3,3	10,9	15,1	21,9	45	91	162,2
9	2	4,5	14	20,8	31,2	63	127	234,4
10	2,8	5,8	16	25,9	40,3	79	160	322,4
11	3,4	7	17,8	30	48,6	94	190	403
12	3,9	8,1	18,3	34,6	56,4	108	218	461,8
Nominal Güç (kW)	5,8	10	18,5	35	65	125	250	500

4.1.3 Şebeke açısından rüzgar türbinleri

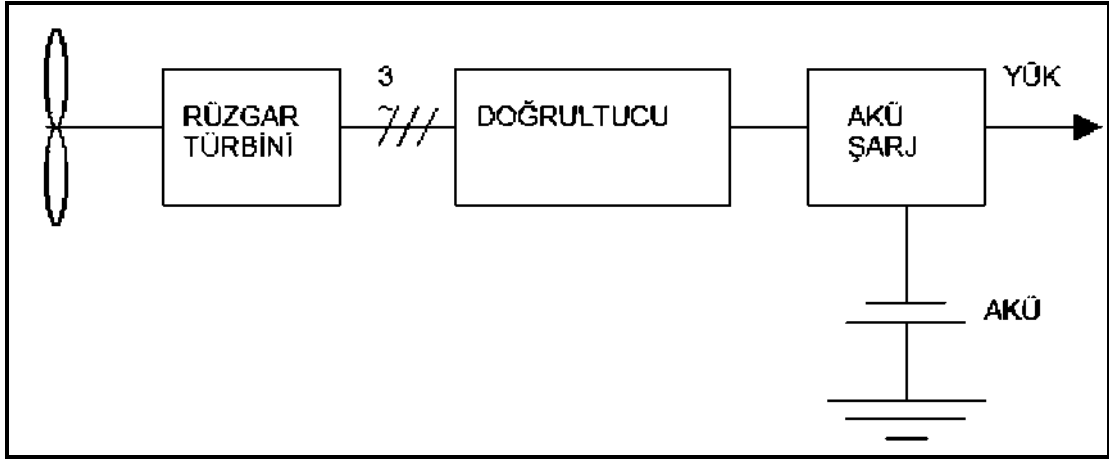
4.1.3.1 Şebekeden bağımsız sistemler

Merkezî tüketim merkezlerinden uzaktaki yerleşim merkezlerinin elektrik enerjisi ihtiyacının, merkezî şebekeden karşılanması pahalı bir tesis masrafı gerektirmektedir. Özellikle adalarda su altından yüksek gerilim kabloları ile enerji nakli söz konusu olduğunda bu durum daha da belirginleşmektedir. Rüzgâr hızı ve sürekliliği yeterli olan bu tür yerleşim birimlerinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilen rüzgâr santralleri genellikle şebeke ile herhangi bir bağlantı içerisinde değildir (Gelberi vd., 2003). Şekil 4.6'da şebekeden bağımsız çalışan büyük güçlü rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Şebekeden bağımsız çalışan büyük güçlü rüzgar türbini (Gelberi vd., 2003).

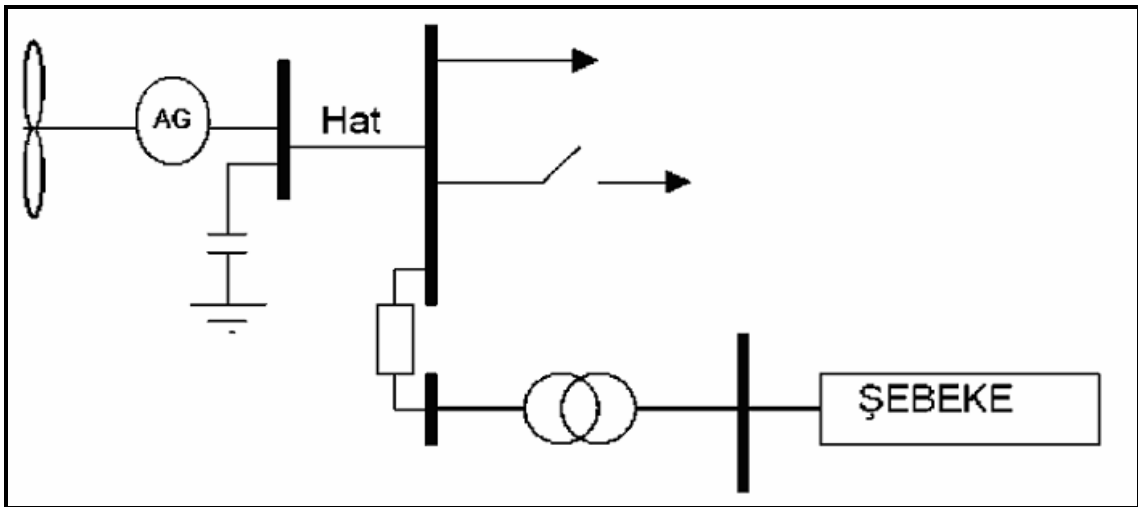
Büyük güçlü şebekeden bağımsız çalışan büyük rüzgar türbinlerinden başka küçük rüzgar türbinleri de mevcuttur. Şebekeden bağımsız olarak çalışan küçük rüzgar türbinleri akü şarj etme prensibine göre çalışır. Akü şarj eden sistemler, genellikle şebekeden uzak bölgelerde kullanılmaktadır. Şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, askeri tesisler, demiryolu sinyalizasyonu, balık çiftlikleri, meteoroloji istasyonları, bilimsel ve diğer araştırma istasyonları gibi yerlerde elektrik ihtiyacını karşılar. Şekil 4.7'de akü şarj prensibine göre şebekeden bağımsız çalışan rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Şebekeden bağımsız akü şarj prensibine göre çalışan rüzgar türbini (Gelberi vd., 2003).

4.1.3.2 Şebekeye bağlı sistemler

Rüzgâr türbini şebekeye paralel olarak bağlanır. Bu sistemde öncelikle rüzgârdan üretilen elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Rüzgar koşullarının az olması durumunda ise, rüzgar türbininden sağlanan elektrik dışında kalan ihtiyaç şebekeden sağlanmaktadır. Şebekeye paralel bağlı rüzgâr türbinleri büyük güçlü rüzgâr türbinleridir. Şekil 4.8’de şebekeye paralel bağlı rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Şebeke ile paralel bağlı rüzgar türbini (Gelberi vd., 2003).

4.1.4 Kanat sayısına göre rüzgar türbinleri

4.1.4.1 Tek kanatlı rüzgar türbinleri

Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin kullanımının temel amacı, pervanelere etkiyen yüksek dönme hızının düşürülmesidir (Şekil 4.9.). Öte yandan tek kanatlı rüzgar türbinleri aerodinamik olarak dengesizdir ve bu durumda ek hareketler ile istenmeyen bazı yüklere sebep olur. Bu mekanizmayı kontrol etmek için, göbek kısmına ek yapıların yerleştirilmesini gerektirir. Diğer mahsurlarından birisi de, yüksek aerodinamik gürültü seviyesidir. Uç hız oranı 120 m/sn civarındaki üç kanatlı pervanelerle kıyaslandığında uç hızı iki kat daha yüksektir. Dolayısı ile üç kanatlı rüzgar türbinlerinden daha gürültülüdür.



Şekil 4.9. Tek kanatlı rüzgar türbini (Gelberi vd., 2003).

4.1.4.2 İki kanatlı rüzgar türbinleri

20 yıl öncesine kadar iki kanatlı rüzgar türbinleri yaygın bir şekilde kullanılırdı (Şekil 4.10.). 10 metreden 100 metreye kadar değişen farklı pervane çaplarında

Avrupa’da ve Amerika’da kullanılmıştır. İki kanatlı rüzgar türbinleri, üç kanatlı rüzgar türbinlerinden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, iki kanatlı rüzgar türbinleri dinamik etkilerden dolayı bir takım ek ekipmanlar gerektirdiğinden, üç kanatlı rüzgar türbinleri ile hemen hemen aynı maliyete gelmektedir. Üç kanatlı rüzgar türbinlerinden farklı olarak dönmeden meydana gelen ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahiptir. Bu durum rüzgâr türbini üzerinde ek bir yüklenme meydana getirir ve sadece sallanan göbek ile giderilebilir. Sallanan göbek kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektir. Ayrıca düşük şiddetteki rüzgar hızlarında (örneğin 3 m/sn) pervane devreye girememektedir.



Şekil 4.10. İki kanatlı rüzgar türbinleri (Gelberi vd., 2003).

4.1.4.3 Üç kanatlı rüzgar türbinleri

Modern rüzgar türbinlerinde en çok kullanılan model üç kanatlı olmaktadır (Şekil 4.11). Bunun temel nedeni, pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm pervaneler bu avantaja sahiptir. Ayrıca, üç kanatlı pervane bu avantajından dolayı rüzgâr türbini üzerinde ek bir yük getirmemektedir.

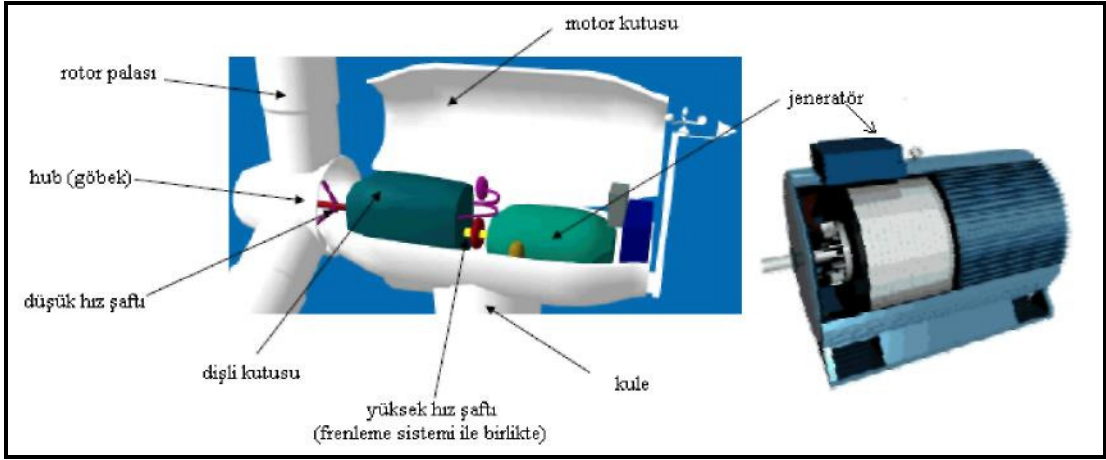


Şekil 4.11. Üç kanatlı rüzgar türbini (Gelberi vd., 2003).

4.2 Rüzgar Türbinlerinin Parçaları

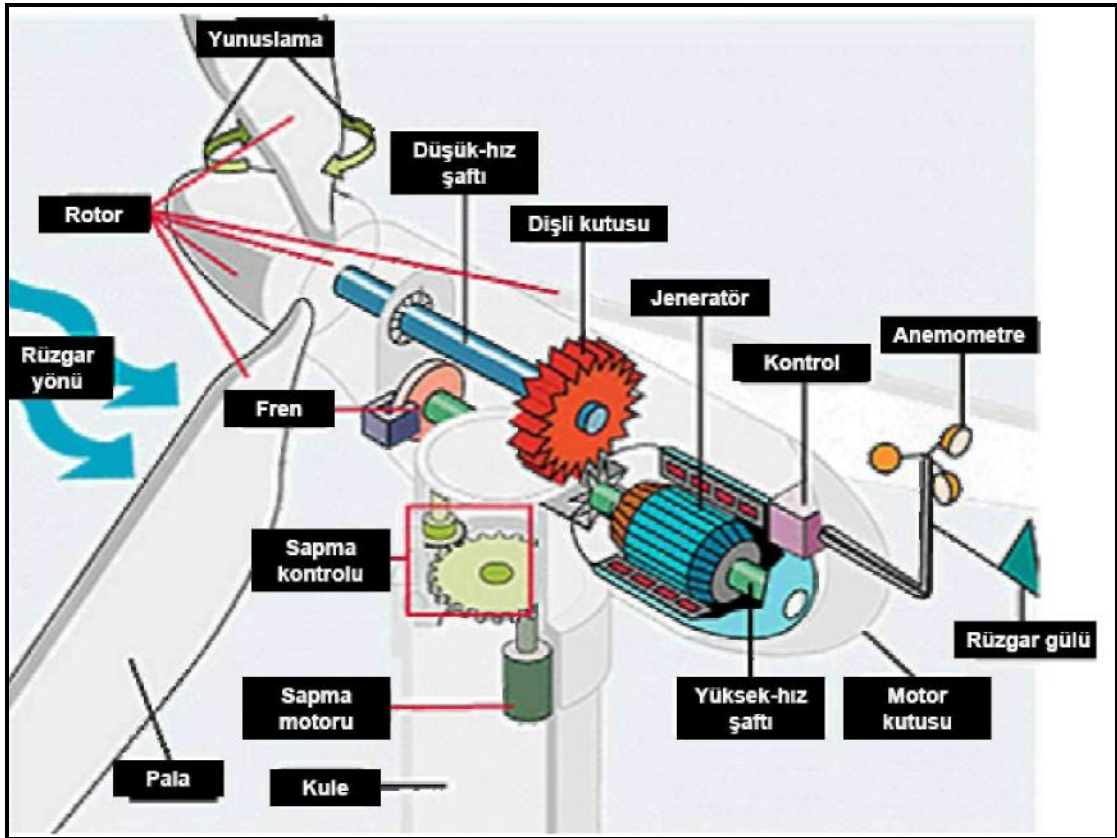
Bir rüzgar türbini, çevredeki engellerin rüzgar hız profilini değiştirmeyeceği yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve rotordan oluşur. Kanatlar ve göbek, rotor olarak adlandırılır. Rüzgarın kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi gövde içerisindeki iletim sistemine, oradan jeneratöre aktarılır. Rotorun dönüş hızı sabit veya değişken olabilmektedir.

Rüzgar türbininin en önemli parçası mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren jeneratörlerdir. Orta ve büyük güçlü sistemlerde senkron ve asenkron jeneratörler yaygın olarak kullanılırlar. Bir rüzgar türbininde bulunan genel parçalar şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Türbinin bileşenleri (www.windpower.org).

Bir rüzgar türbinine ait parçalar, Şekil 4.13'te daha detaylı biçimde gösterilmektedir.

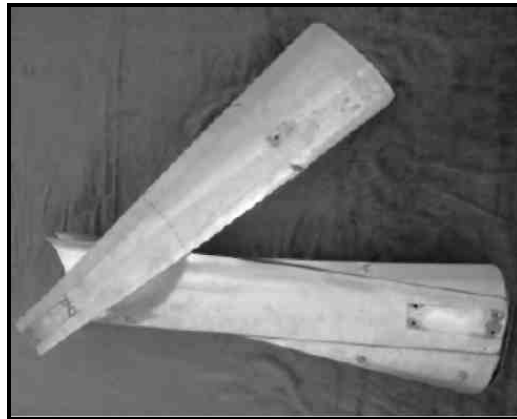


Şekil 4.13. Bir rüzgâr türbininde bulunan parçalar (www.windpower.org).

4.2.1 Kanatlar ve kuyruk

Kanatlar; genellikle 1, 2, 3, 4 veya daha çok parçadan yapılır. Malzeme olarak paslanmaya dayanıklı galvanizli sac, ahşap veya özel karbon ile karıştırılmış kompozit malzemeler kullanılır. Kanatlar plastikte güçlendirilmiş camdan (GRP, Glass Reinforced Plastic), tahtadan, tahta laminetten, plastikte güçlendirilmiş karbon fiberden (CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic), çelikten veya alüminyumdan yapılmaktadır. Dünyada yapılan çoğu kanatlarda GRP kullanılmaktadır.

Kanatlar yapılırken, reçine içine yatırılıp mukavemeti arttırılmakta ve pürüzlerin oluşmaması için vakum içinde tutulmaktadır. Küçük türbinlerin ağırlık problemini gidermek için hafif malzemeler kullanılırken, büyük türbinler için ağırlıktan çok aerodinamiklik önem taşımaktadır. İyi bir kanat için bazı kıstaslar vardır. Bunlar; yüksek kaldırma ve sürükleme kuvveti, çok yüksek rüzgarlarda ani duruş veya yavaşlama karakteristiği, pürüzsüzlük, düşük gürültü karakteristiği olarak belirlenmiştir. Yakın geçmişe kadar mühendisler kanat olarak helikopter ve gemi pervaneleri kullandı. Fakat bunlar rüzgâr türbinleri için ideal değildir. Rüzgar için kaldırma gücünü maksimum yapan ve bunun yanında ani duruşları önleyecek ve böylece sürükleme gücünü azaltacak türbinler uygundur. Fakat bazen de yüksek hızlarda tahribatı önlemek için yavaşlatma gerekmektedir. Bunun için kanatın açısı ile oynamakta ve kararsız kaldırma gücünün etkisi en aza indirilmektedir (Walker and Jenkins, 1997). Şekil 4.14'de kanatlar gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Kanatlar (Walker and Jenkins, 1997).

Küçük rüzgar türbinlerinde kuyruk, türbinin rüzgârı karşısına alıp konumlandırmak için kullanılır. Yamuk veya kare şeklinde bir levha olabilir. Şekil 4.15'te kuyruk gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Kuyruk (Walker and Jenkins, 1997).

4.2.2 Kule

Yaygın olarak kullanılan kule çeşitleri, kafes ya da tüp şeklinde ve çelik ya da beton malzemeden yapılır. Genelde, küçük ve ucuz kulelerin kenarlarından tellerle yere montesi yapılır. Modern büyük kuleler tüp şeklindedir ve kötü hava şartlarında içerisinden makine kabineye ulaşmayı sağlayabilir. Kuleler, rüzgârı iyi alacak şekilde, ama büyük rüzgarlardan da etkilenmeyecek şekilde yapılmalı ve yerleştirilmelidir. Ayrıca rotorda oluşan frekanslardan hiç birinin, kulenin rezonans frekansı olmamasına dikkat edilmelidir. Yoksa sistem çökebilir. Çok kısa kulelerin inşası, istenilen rüzgârın alınamaması ve sonuçta verimin düşük olmasını beraberinde getirir. Rüzgâr yükseklerde daha az türbülansa sahip olduğu için büyük kuleler tercih edilir. Ayrıca bina ve ağaçlarında rüzgâr akışını kesmesi engellenir. Bu yüzden büyük kanattan önce yüksek kuleler tercih sebebidir (Walker and Jenkins, 1997).

4.2.3 Rotor

Rüzgar türbinlerinin en önemli parçası rotorlardır. Rotor, rüzgarın akış hızını mekanik enerjiye çevirip jeneratörün şaftına aktarmaya yarar. Rüzgar, türbinleri daha çok uçak pervaneleri gibi çevirir. Arkaya doğru atmaya çalışmaz. Hava kanadın üstünden daha hızlı akar. Sonuçta basınç farkından dolayı hareket oluşur ve dönen kanatlar kendilerine bağlı olan jeneratörü çevirmeye başlarlar. İki çeşit rotor vardır. Birincisi, kaldırma kuvvetinin uygulandığı ve ikincisi de sürüklenme kuvvetinin uygulandığı rotorlardır. Düşük hızlı sistemler, sürüklenme kuvveti ile rotoru çevirirler ve genelde rüzgâr hızından yavaş hızla dönerler. Bu tür sistemlerde dönme momenti fazladır. Yüksek hızlarda çalışan sistemlerde hız, rüzgâr hızının bir kaç katına çıkabilir. Fakat dönme momenti düşüktür (Walker and Jenkins, 1997).

4.2.4 Vites kutusu

Rüzgâr türbinleri göreceli olarak düşük hızlarda çalışmaktadır. Kanat uç hızları tipik olarak 55-90 m/sn mertebesinde. 30 metre çapındaki bir türbinin kanatları yaklaşık 35 ila 50 devir/dakika hızla dönmektedir. Jeneratörün senkron hızında (tipik olarak 1500 devir/dakika) dönen bir şaft çıktısı için hız yükseltici vites kutusu gerekmektedir. En sık kullanılan iki vites kutusu tipi paralel şaft ve büyük bir dişli çarkın içinde dönen küçük dişli vites kutularıdır. Paralel şaft tasarımları basit olmakla beraber göreceli olarak ağır ve şaft çıkışı ana eksenle çakışmamaktadır. Dişli çark vites kutuları daha hafif, daha düzenli ve çıkış şaftları giriş şaftları ile aynı doğrultu üzerindedir. Daha büyük rüzgar türbinleri (çapı 25 metreden büyük) için dişli çark vites kutularının maliyet ve ağırlık üstünlükleri giderek artmaktadır.

4.2.5 Eğim donanımı

Dikey eksenli türbinlerde makine kabini, gelen rüzgarın yönüne göre çeviren bir mekanik aksam vardır. Bu aksama “eğim donanımı (rotadan sapma veya yaw hareketi aksamı)” denilir. Rüzgar yönü, bu türbinlerde rotorun taradığı alana dik olmalıdır.

Eğim donanımı sürücüsünü bir kapalı-döngü kontrol sistemi kontrol etmektedir. Bir rüzgar türbin kuyruğu, makine kabininin tepesine yerleştirilerek, rüzgâr yönüne göre eğim donanımını ayarlaması için kontrol mekanizmasını uyarır. Eğim donanımı yüksek rüzgâr hızlarında da gücü azaltmak için makine kabinini çevirir.

4.2.6 Fren sistemi

Rüzgar gücü, rüzgar hızının küpü ile orantılı olduğu için yüksek hızlarda çok büyük kuvvetler elde etmek mümkündür. Bu yüzden bir fren sistemine ihtiyaç duyulacağı açıktır. Fren sistemleri, sistemin yüksek hızlarda veya acil durumlarda güvenli bir hale getirilmesini sağlarlar. Aşırı rüzgâr hızlarında devreye giren fren sistemi, öngörülen güçten daha fazlasının üretilmesini engeller ve dolayısıyla şebekeye verilecek olan harmonik bozulmaların önüne geçmiş olur. Ayrıca aşırı hızdan dolayı meydana gelebilecek kanat, kuyruk veya diğer aparatların kopması engellenmiş olur.

4.2.7 Elektriksel aksamlar

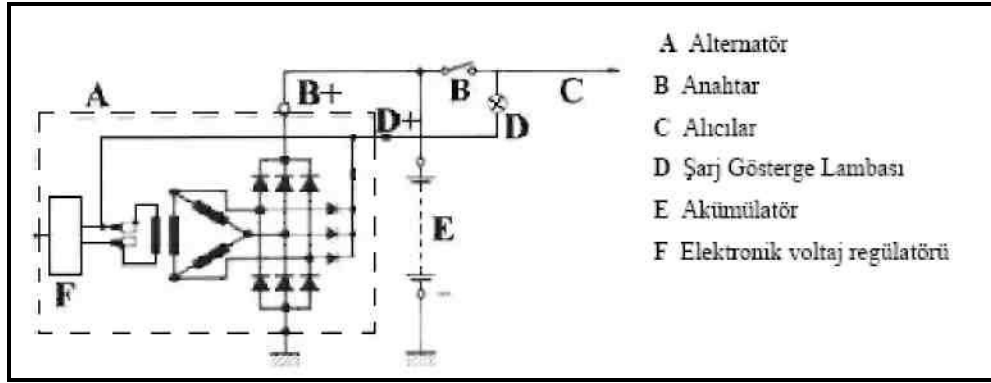
Elektrik enerjisinin üretilmesi sürecinde sistemde jeneratör, inverter, doğrultucu, akü gibi elektriksel aksamlar olmalıdır. Elektriksel aksamlar sistemin frekans, voltaj ve elde edilen sinyalin harmoniklerinin düzenlenmesi için kurulmuş durumdadır.

4.2.7.1 Jeneratör

Rüzgar türbinlerinden elektrik enerjisi elde etmek için iki türlü jeneratör kullanılır: İndüksiyon jeneratörleri ile değişken hızlı jeneratörler. Fırçalı veya fırçasız, bir ya da 3 fazlı olabilir. Sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde yaygın olarak kullanılan indüksiyon motorları, geleneksel endüstriyel indüksiyon motorlara benzerdir. İndüksiyon jeneratörlerin hızları kutup sayılarına göre değişmektedir. 4 kutup için hız 1500 devir/dakika, 6 kutup için 1000 devir/dakika ve 8 kutup için 750 devir/dakikadır (Burton, etal., 2001).

4.2.7.2 Doğrultucu ve gerilim regülatörü

Rüzgar hızı sürekli değişkenlik gösterdiğinden üretilen gerilimin frekansı ve genliği de sürekli değişecektir. Üretilen enerji şebekeye verilmeden önce sinüs halinde ve 50 Hz frekansta olmalıdır. Bunun için önce doğrultulması gereklidir. Daha sonra ise regülatör ile gerilim genliklerinde kararlılık sağlanmalıdır. Kullanılan üç fazlı jeneratörün, alternatif çıkış gerilimi dokuz diyottan oluşan bir doğrultucuyla doğrultulur. Doğrultucunun çıkış gerilimi elektronik voltaj regülatörüyle düzenlenir. Doğrultucu ve gerilim regülatörü alternatörde dahili olarak bulunmaktadır ve elektrik devresi şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.16. Doğrultucu ve gerilim regülatörü elektrik devresi (Burton, etal., 2001).

4.2.7.3 Akü

Jeneratörden çıkıp doğrultulan ve regüle edilen gerilim çeşitli gerilim ve akım değerlerindeki aküleri şarj eder. Yani bir nevi enerji depolaması yapılır.

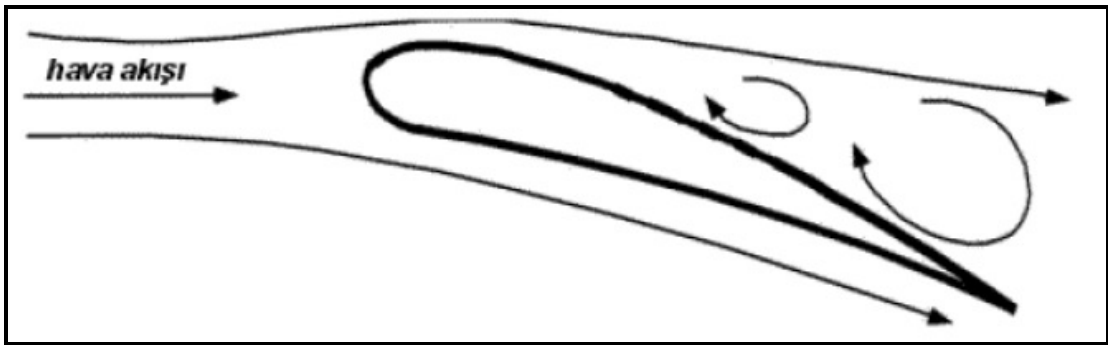
4.2.7.4 İnverter

Alternatif akımla çalışan yüklerin ihtiyacını karşılamak için akü çıkışındaki doğru gerilimin alternatif gerilime çevrilmesi gereklidir. Bunun için uygun güçte inverter kullanılır. Bu uygulama için gerekli en küçük güç 1 kW olmalıdır.

4.3 Rüzgar Türbinlerinin Güç Kontrolü

Pervane kanatlarının üzerine etkiyen aerodinamik kuvvetlerden dolayı rüzgar türbinleri, rüzgardaki kinetik enerjiyi dönme mekanik enerjisine çevirir. Pervane kanatlarındaki bu kuvvetler uçak kanatlarının maruz kaldığı kuvvetlere çok benzerdir. Günümüzde kullanılan modern rüzgar türbinlerinde, iki farklı aerodinamik kontrol mekanizması kullanılır. Bunlar Stall (pasif) ve Pitch (aktif) kontrol mekanizmalarıdır. Bu iki mekanizma, jeneratörün rüzgardan çıkarabileceği enerjiye göre ayarlanır. Eskiden çoğu küçük ve orta büyüklükte türbinler stall kontrol kullanırken, günümüzde rüzgar türbinleri üzerinde daha etkin bir kontrolü sağlayan pitch kontrol mekanizması kullanılmaktadır. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle “stall” olayının bilinmesinde yarar vardır.

4.3.1 Stall kontrol mekanizması



Şekil 4.17. Stall olayının meydana gelmesi (Durak, 2000).

Stall olayı, akışın kanat profilinin negatif basınç bölgesini aniden terk ederken meydana gelen bir durumdur. Stall meydana geldiği zaman, hücum açısı büyüyerek kaldırma kuvvetinin azalmasına, sürüklenme kuvvetinin ise artmasına neden olur (Şekil 4.17.). Uçaklarda uçuş esnasında meydana gelen bu durum çok tehlikelidir. Bazı rüzgar türbinlerinin kanatları bu durumu bir avantaj olarak kullanıp yüksek rüzgar hızlarında pervane kontrolü için yararlanılır. Stall kontrol, rüzgar hızı üzerinde kuvvet gösteren pasif bir kontrol sistemidir. Pervane kanatları pitch açılarında sabitlenmiştir ve yatay ekseninde dönme yapamazlar. Kanat etrafındaki hava akışı şekil 4.18.’de

gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Profil etrafındaki hava akışı (Durak, 2000).

Rüzgar türbininin sabitlenmiş pitch açısında sabit dönme hızında döndüğünü varsayalım. Rüzgar hızı arttıkça, uç hız oranı azalacaktır ve hücum açısı da artacaktır. Hücum açısı artıp stall açısına geldiğinde stall olayı meydana gelecektir. Bu durum, daha önce anlatıldığı gibi kaldırma kuvvetini düşürürken, sürüklenme kuvvetinde bir artış meydana getirecektir. Stall olayı kanatlarda bütün radyal pozisyonlarda aynı zamanda meydana gelir ve pervane gücünü azaltır. Kanatlar, yatay bir dönüş hareketi yaparak yumuşak bir stall gelişimi meydana getirirler. Bu sürecin etkisi, kanat profilinin kalınlık ve giriş dağılımının ve kanat biçiminin uygun seçimi ile yönlendirilebilmektedir (Durak, 2000). Şekil 4.18.'den de görüleceği gibi, nominal rüzgâr hızından yüksek rüzgâr hızlarında, profil etrafındaki hava akışı kanat yüzeyinden ayrık bir şekilde meydana gelir. Stall kontrollü rüzgâr türbinleri, pitch kontrollü rüzgâr türbinlerine göre daha basit bir yapıdadır. Bu mekanizmanın faydalarını saymak gerekirse, bunlar arasında;

- Basit bir pervane ve göbek yapısına sahip olması,
- Daha az bakım gerektirmesi,
- Güç kontrolünde yüksek verimlilik sağlaması,

Dünyada halen stall kontrollü rüzgâr türbinleri daha çok kullanılmaktadır. Türbin üreticileri basit güç kontrol sistemi ile çalışan türbinleri seçmektedir ve sabit bir pervane

hızında indüksiyon (asenron) jeneratör aracılığı ile ulusal şebekeye geçiş yapılmaktadır. Son yıllarda stall ile pitch kontrol sistemlerinin karışımı olan “aktif stall” sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin avantajlarını şöyle saymak mümkündür:

- Çok küçük pitch açıları gerektirmesi,
- Düşük rüzgar hızlarında bile güç kontrolünü mümkün kılması,
- Ekstrem rüzgarlarda pervane kanatlarının düşük yüklenmesi için pozisyon değiştirmesi sayılabilir.

4.3.2 Pitch kontrol mekanizması

Pitch kontrol, jeneratörden girdi işareti bekleyen aktif bir sistemdir. Pitch kontrollü rüzgar türbinlerinde bulunan elektronik aksama bağlı hız kontrol sistemi saniyede birkaç kez güç çıkışını kontrol eder. Güç çıkışı normalden çok yüksekse, hız kontrol sistemi pervane pitch mekanizmasına sinyal göndererek durumu bildirir. Gelen bu sinyalden sonra, pervane kanatları da yönünü rüzgarın estiği yönden hafifçe çevirerek güç kontrolü yapar. Ters durumda da yani, rüzgâr hızı azaldığında aynı hız kontrol ve sinyal gönderme işlemi meydana gelir ve pervane bu kez rüzgarın estiği yöne doğru yönelir. Jeneratör nominal güçte (rated power) çalışırken, rüzgar hızı düştüğü zaman pervane kanatları yatay eksenleri etrafında dönecektir; yani pitch açıları değişerek hücum açısını azaltıp hava akışının etkilerini düzenleyecektir. Nominal rüzgar hızından yüksek hızlarda sadece nominal güçte üretebileceği kadar enerji üretilir. Fakat bu durum rüzgar türbinine göre de değişmektedir. Bütün rüzgarlı durumlarda pervane kanadının etrafındaki hava akışı şekil 4.19.’da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.19. Profil etrafındaki hava akışı (Durak, 2000).

Şekil 4.19.'dan da görüleceği gibi, hava akışı kanat yüzeyine çok yakındır ve bu yüzden çok küçük sürüklenme kuvveti meydana gelmektedir. Pitch kontrol sisteminin başlıca avantajları arasında:

- Bütün rüzgarlı durumlarda aktif güç kontrol olanağı sağlaması,
- Daha yüksek enerji üretimi,
- Pervanenin acil durumlarda durabilmesi için güçlü fren sistemi gerektirmemesi,
- Nominal gücün üzerindeki rüzgar hızlarında pervane kanatlarına binen yükün azalması,
- Ekstrem rüzgarlarda pervane kanatlarına düşük yükleme için pozisyon değişimine olanak sağlaması,
- Kanatların hafif olmasından dolayı daha hafif bir yapıya sahip olması sayılabilir.

4.4 Türbinin Çalışma Prensibi

Rüzgar türbinleri; bir rotor, bir güç şaftı ve rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirecek bir alternatörden oluşur. Rüzgâr, rotordan geçerken aerodinamik bir taşıma kuvveti oluşur ve rotoru döndürür. Bu dönel hareket jeneratörü hareket ettirir ve elektrik üretir. Türbinlerde ayrıca, dönme oranını ayarlayacak ve kanatların hareketini durduracak bir rotor kontrolü bulunur. Rüzgâr şiddeti yükseklikle arttığı için rüzgâr türbinleri kule tepelerine yerleştirilir. Betz yasasına göre rüzgâr türbini, rüzgâr kinetik enerjisinin en fazla %59'unu mekanik enerjiye çevirebilir. Günümüzde kullanılan rüzgâr türbinlerine bu oran %10 ile %30 arasında değişmektedir. Son yıllarda bu oranı %40–50'ye çıkarmak için türbin tasarımı konusunda ciddi araştırmalar ve çalışmalar yapılmaktadır.

4.5 Pervane Hızı

Modern rüzgar türbinleri elektrik şebekesine iki türlü bağlanabilmektedir. Birincisi, rüzgâr türbini jeneratörünün, sabit hızda dönerek basit bir şekilde doğrudan

senkronizasyon yöntemi ile şebekeye bağlanması; ikincisi, jeneratör ile şebeke arasındaki bağlantının, dönüştürücü sistemin de yardımı ile değişken pervane hızlarında (yani rüzgâr hızlarında) bağlanmasıdır.

4.5.1 Değişken hızlı pervaneler

Rüzgâr türbinleri için en iyi aerodinamik verimin belirlenmesinde kullanılan temel yöntem rüzgâr türbini pervane uç hızı ile (tip speed) rüzgâr hızı arasındaki oranı en iyi şekilde belirlemektir (uç hız oranı - tip speed ratio, λ). Maksimum aerodinamik verimi yakalayabilmek için pervanenin dönme hızını rüzgâr şiddetine göre değiştirmesi gerekir; yani düşük hızlı rüzgârlarda düşük şiddette pervane hızı; yüksek hızlı rüzgârlarda ise, büyük şiddette pervane hızı meydana gelmelidir. Günümüzde kullanılan rüzgâr türbinlerinde bu durum ancak değişken hızlı pervane kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Bu tip rüzgâr türbinleri, dönüştürücü sistemler ile çift beslemeli indüksiyon jeneratörler kullanırlar.

Değişken hızlı pervaneler sabit hızlı pervanelere göre bazı avantajlara sahiptir. Bu avantajlar; daha fazla enerji kazanımı, nominal güç işlemi sırasında çok küçük bozulmalar, hamleli rüzgârlara karşı daha düşük yüklenmeler, düşük şiddetteki rüzgârlarda daha az gürültü sayılabilir.

4.5.2 Sabit hızlı pervaneler

Sabit hızla dönen pervaneler basit yapıdadır, çünkü pervane hızı şebeke frekansına göre ayarlanır. Uç hız oranı λ , çalışma sırasında sabit kalmayabilir, yani en iyi aerodinamik verim sadece sabit bir rüzgâr hızında alınır. Dolayısıyla türbin için hesaplanmış özel rüzgâr hızı dışındaki değerlerde tam verim alınamaz. Rüzgâr türbini çalışırken en iyi aerodinamik verimliliği alabilmek için, türbin üreticileri çift-sabit hızlı indüksiyon jeneratör kullanmışlardır. Bu durum, pervane hızının iki adımda değişmesine imkân tanımaktadır. Düşük rüzgâr hızlarında jeneratör düşük hızlarda hareket ederken; yüksek rüzgâr hızlarında yüksek dönme hızları ile çalışmasını

sürdürmektedir. Pervane hızının, sabit bir veya iki adımda kontrolü kolaydır. Günümüzde kullanılan rüzgâr türbinlerinin büyük bir çoğunluğu sabit hızlı pervane sistemine göre tasarlanmıştır.

Sabit hızlı pervane sisteminin avantajlarını şöyle sayabiliriz:

- Herhangi bir pervane hız kontrol sistemi gerektirmemesi,
- Güçlü şebeke (grid) sistemi nedeni ile basit bir pervane hız düzenlemesine ihtiyaç duyması,
- Sadece düşük hızlı pervane kontrolü gerektirmesi,
- Daha ekonomik bir sistem olması.

BÖLÜM 5

RÜZGAR ENERJİSİNDE KULLANILAN TEORİK BİLGİLER

5.1 Temel Yasa Ve Kavramlar

Dördüncü bölümde de anlatıldığı gibi; rüzgardan güç üretmede kullanılan türbinler, genel olarak iki gruba ayrılırlar: Yatay eksenli türbinler ve dikey eksenli türbinler.

Bu bölümde açıklaması yapılacak olan Betz Teorisi, yatay eksenli rüzgar türbinleri için geçerlidir. Bununla beraber diğer bütün çeşit rüzgar türbinlerinin verimliliği, Betz Kriteri tarafından hesaplanan maksimum güç ile karşılaştırılarak değerlendirilir.

5.2 Betz Kriteri

Rüzgar türbinleri ile ilgili ilk teori 1926 yılında Göttingen Institute'de Dr. Albert BETZ tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoremden, Betz rüzgar rotorunun ideal olduğunu varsayılır. Diğer bir ifade ile rotor, havaya karşı sürüklenme direnci göstermeyen sonsuz sayıda kanattan oluşmaktadır. Bu şekilde, rüzgar rotorunun mükemmel bir enerji dönüştürücüsü olduğu varsayılmıştır. Bu teoriye göre;

Rüzgar hareket halinde hava olup sahip olduğu kinetik enerji,

$$KE_r = \frac{1}{2} \times m \times V_r^2 \quad (5.1)$$

bağıntısı ile verilir ve gücü, sahip olduğu kinetik enerjisinin zamana göre türevidir:

$$P_r = \frac{d}{dt} \times \left(\frac{1}{2} \times m \times V_r^2 \right) \quad (5.2)$$

Bir başka ifadeyle,

$$P_r = \frac{1}{2} \times \dot{m} \times V_r^2 \quad (5.3)$$

olur. Buradaki kütleli debi ise,

$$\dot{m} = \rho \times A \times V_r \quad (5.4)$$

bağıntısı ile verilir. Buradan hareketle rüzgarın gücü,

$$P_r = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_r^3 \quad (5.5)$$

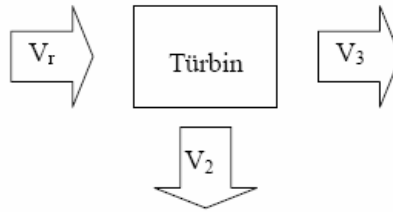
olarak hesaplanır.

Birim analizi yaparsak,

$$\frac{Kg}{m^3} \times m^2 \times \frac{m^3}{s^2} = Kg \times \frac{m}{s^2} \times \frac{m}{s} = N \times \frac{m}{s} = Watt$$

olur.

Rüzgar, kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Bunun bilinen fiziksel konular ve teknolojik imkanlar sayesinde yararlı enerjiye çevrilen miktarına **rüzgar enerjisi teknik potansiyeli** denir.



Bu durumda türbinin gücü,

$$P_T = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_2 \times (V_1^2 - V_3^2) \quad (5.6)$$

Froude- Rankie teoreminden ortalama türbin içindeki rüzgar hızı,

$$V_2 = \frac{(V_r + V_3)}{2} \quad (5.7)$$

olarak hesaplanır. Türbin gücü (5.6) formülünde V_2 yerine yazılırsa,

$$P_T = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times \frac{(V_r + V_3)}{2} \times (V_r^2 - V_3^2) \quad (5.8)$$

veya

$$P_T = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_r \times \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_3}{V_r}\right) \times \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_r}\right)^2\right) \quad (5.9)$$

Burada (5.5) denklemi (5.9) denkleminde yazılırsa,

$$P_T = P_r \times \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_3}{V_r}\right) \times \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_r}\right)^2\right) \quad (5.10)$$

elde edilir. Burada güç faktörü $C_p = P_T/P_r$ ve yavaşlatma faktörü $n = V_3/V_r$ olarak tanımlanırsa (5.10) denklemi;

$$C_p = \frac{1}{2} \times (1+n)(1-n^2) \quad (5.11)$$

halini alır. Bu denklemde maksimum güç faktörü C_p 'yi bulmak için yavaşlatma faktörü n 'in türevi alınıp sıfıra eşitlenirse,

$$\frac{dC_p}{dn} = \frac{1}{2} \times \frac{d}{dn} (1 - n^2 + n - n^3)$$

$$n_1 = 1/3, n_2 = -1$$

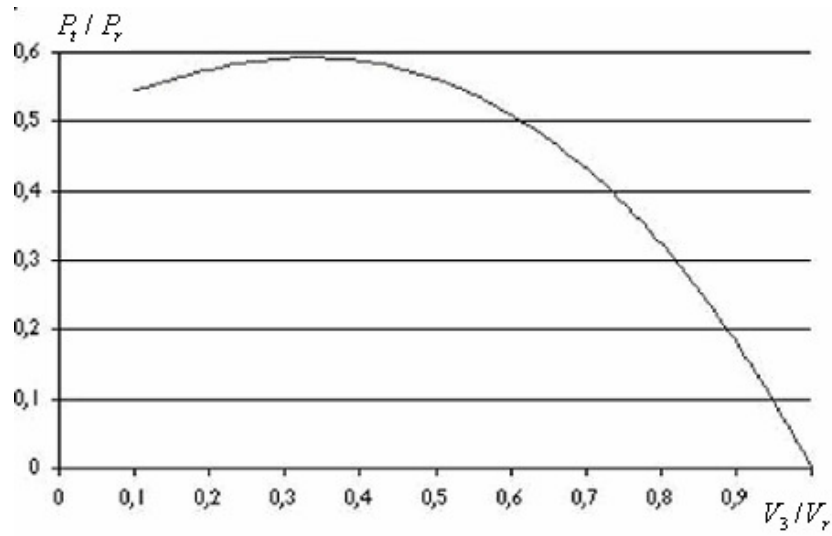
bulunur. Yavaşlatma faktörünün değişimi şekil 5.1.'de verilmiştir.

Yavaşlatma faktörü n , hiçbir zaman negatif değer olamayacağından $1/3$ alınır ve (5.11) denkleminde yerine konursa,

$$C_p = \frac{1}{2} \times \left(1 + \frac{1}{3}\right) \left(1 - \frac{1}{9}\right)$$

$$C_{pmax} = 0.5926$$

serbest pervaneden alınacak maksimum verim olarak bulunur. Yani bir rüzgar türbiniyle, rüzgarın tüm enerjisinden faydalanmak imkansızdır. Rüzgar, rüzgar türbininden, rüzgardan aldığımız enerji ölçüsünde yavaşlamış olarak çıkar. Eğer rüzgardaki tüm enerjiyi alabilseydik, rüzgarın türbinden durgun halde çıkması gerekirdi. Fakat bu durumda da türbine rüzgarın diğer taraftan girmesi engellenir ve hiç enerji elde edilmezdi.



Şekil 5.1. Yavaşlatma faktörü değişimi (www.windpower.dk).

Çağdaş rüzgar türbinleri için C_p değeri yaklaşık olarak 0,40'tır. Bunun nedeni hava direnci, rotorun oluşturduğu türbülans ve aktarma organları ile elektrik sistemi gibi noktalardaki kayıplardır.

5.3 Kayıplar

Optimal bir rüzgar türbini pervanesinden alınabilecek güç en çok;

$$P_p = C_{pBetz} \times \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_r^3 \quad (5.12)$$

$$P_p = 0.5926 \times \frac{1}{2} \times \rho \times \pi \times R^2 \times V_r^3$$

olabilir. Fakat uygulamada bu değere ulaşamaz. Bunun nedenleri kayıplardır.

Pervanedeki bu kayıplar 3 ana başlık altında toplanırlar.

5.3.1 Profil kayıpları

İhmal edilen direnç kuvvetlerinden kaynaklanırlar. Hesaplamalarda,

$$\lambda_A = \frac{V_\zeta}{V_r} = R \times n \times \frac{\pi}{(30 \times V_r)} \quad (5.13)$$

$$\varepsilon = \frac{C_A}{C_W} \quad (5.14)$$

$$\xi_{\text{Profil}}(\lambda_A, \varepsilon) = 1 - \frac{\lambda_A}{\varepsilon} \quad (5.15)$$

ile dikkate alınır. Burada dizayn devirlilik sayısı (λ_A), çevresel hız (V_ζ), kayma sayısı (ε), kaldırma kuvveti kat sayısı (C_A), direnç kuvveti kat sayısı (C_W) ile gösterilir.

5.3.2 Uç kayıpları

Kanat ucunda, profil alt kısmından profil üst kısmına doğru hava akımı oluşur. Kanat uçlarındaki bu akım ile kanada gelen hava akımı üst üste binerek, gittikçe genişleyen girdap oluştururlar.

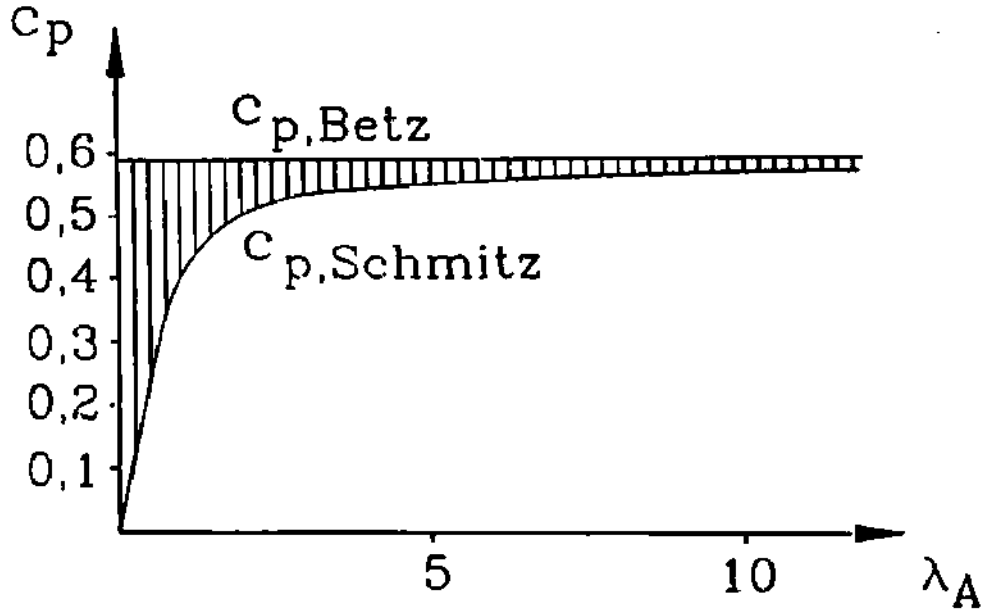
Hesaplamalarda bu kayıp;

$$\xi(Z, \lambda_A) = 1 - \left[\frac{1.84}{Z \times \lambda_A} \right] \quad (5.16)$$

ile dikkate alınır. Burada kanat sayısı (Z) ile gösterilir.

5.3.3 Girdap kayıpları

Betz Kriteri'ne göre rüzgar hızı, pervane düzlemi öncesi ve sonrasında doğrultusunu değiştirmez. Halbuki, kanada çarpan hava kütlesi, kanat sonrasında doğrultusunu değiştirir ve girdap oluşturur. Girdap kayıpları Schmitz tarafından verilen $C_{\text{Pschmitz}} - \lambda_A$ eğrisi yardımıyla hesaba katılır. $C_{\text{Pschmitz}} - \lambda_A$ eğrisi şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. $C_{P_{Schmitz}} - \lambda_A$ eğrisi (Özdamar, A., 2002).

Sonuçta, bir rüzgar türbini pervanesinin gerçek güç faktörü;

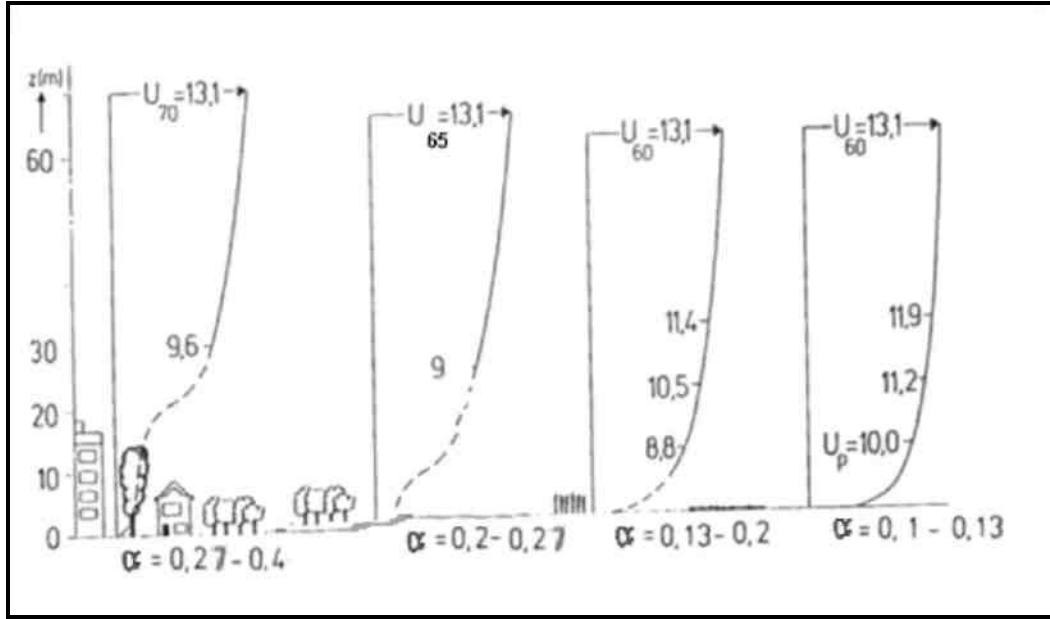
$$C_{P_{gerçek}} = C_{P_{Schmitz}}(\lambda_A) \times \xi_{Pr ofil}(\lambda_A, \epsilon) \times \xi_{uç}(z, \lambda_A) \quad (5.17)$$

bağıntısı ile bulunur.

5.4 Hellman Yükseltme Bağıntısı

Enerji Bakanlığı'nın kabul ettiği rüzgar ölçüm yüksekliği 10 ile 30 metre ve en az 1 senelik saatlik ortalamalar şeklindedir. Bunun nedeni, ölçümleri standartlaştırmak ve ölçüm maliyetlerini düşürmektir.

Fakat türbinler, kuleler üzerinde ortalama 50 metre yüksekliğe yerleştirilirler. Rüzgarın hızı, yerden yüksekliğe bağlı olarak belirgin bir değişkenlik gösterir. Yüzey farklılıklarının rüzgar hızındaki etkisi şekil 5.3'de ve çizelge 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Yüzeş farklılıklarının rüzgar hızına etkisi (Yalçın, C., 1998, s.23).

Çizelge 5.1. Yüzeş farklılıklarının rüzgar hızına etkisi (Özdamar, 2000 d).

Durum	α
Deniz Kıyısı Şeridi	0,1 – 0,13
Yeşil ve Ekili Alan	0,13 – 0,2
Ağaçlı Alan	0,2 – 0,27
Yüksek Bina ve Kentsel	0,27 – 0,4

10 ila 30 metrede ölçülen bu rüzgar hızlarını, türbin tahmini yerleştirme yüksekliğine çıkartılması için Hellman Yükseltme Bağıntısı kullanılır. Buna göre;

$$\frac{V_{rist}}{V_{rölç}} = \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^\alpha \quad (5.18)$$

olarak bulunur.

Örnek:

Eskişehir ilinde 30 metre yükseklikte yapılan rüzgar potansiyeli belirleme ölçümleri sonucunda, 2008 yılı Mart ayında ortalama rüzgar hızı 3.8 m/s bulunmuştur. Buna göre 50 metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızını bulunuz (α değeri ağaçlı alan durumuna göre seçilecek)?

Verilenler: $H_0 = 30$ m, $H_{ist} = 50$ m, $V_{rölç} = 3.8$ m/s, $\alpha = 0,24$
(Çizelge 5.1'den bulundu).

İstenilen: $V_{rist} = ?$

Denklem (5.18)'den,

$$\frac{V_{rist}}{V_{rölç}} = \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^\alpha$$

$$V_{rist} = 3.8 \times \left(\frac{50}{30} \right)^{0.24}$$

$$V_{rist} = 4.29 \text{ m/s}$$

bulunur.

5.5 Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Rüzgarın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, enerji üretimi değerlendirmeleri için çok önemlidir. Türbin tasarımcıları; türbin iyileştirmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgar dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar.

Bir yerde sadece ortalama rüzgar hızı (V_{ort}) biliniyorsa; Rayleigh Dağılım Fonksiyonu yardımıyla herhangi bir rüzgar hızının (V_{ri}), esme saati (h_r) yüzdesi bulunabilir. Bunun sonucunda ortaya çıkan rüzgar hızları bir olasılık yoğunluğu dağılımıdır. Dağılım şematik olarak çizilirse bu dağılımın altında kalan alan 1'e eşittir. Çünkü, rüzgarın sıfır dahil herhangi bir hızda esme olasılığı % 100'dür.

Rayleigh Dağılım Fonksiyonu'na göre esme hızı saati,

$$h_r = \frac{\pi}{2} \times \frac{V_{ri}}{V_{rot}^2} \times e^{\left[\left(-\frac{\pi}{4} \right) \times \left(\frac{V_{ri}}{V_{rot}} \right)^2 \right]} \quad (5.19)$$

olarak bulunur (Özdamar, 2001).

Örnek:

Eskişehir ilinde 30 metre yükseklikte ölçülen ortalama rüzgar hızı 3.19 m/s'dir. 1 yıllık her bir rüzgar hızı için esme saatini bulunuz?

Denklem (5.19)'ten

$$h_r = \frac{\pi}{2} \times \frac{V_{ri}}{V_{rot}^2} \times e^{\left[\left(-\frac{\pi}{4} \right) \times \left(\frac{V_{ri}}{V_{rot}} \right)^2 \right]}$$

$$h_r = 0.154361 \times V_{ri} \times e^{-0.07718 \times V_{ri}^2}$$

olarak bulunur. Buna göre yıllık esme saati;

V_{ri} (m/s)	h_{ri}	%	Yıllık Esme Saati
1	0.142895	14	1251.76
2	0.226721	22	1986.07
3	0.231201	23	2025.32
4	0.179596	17	1573.26
5	0.112082	11	981.84
6	0.057545	5	504.09
7	0.024616	2	215.63
8	0.008839	0.8	77.43
9	0.002677	0.2	23.45
10	0.000686	0.06	6.01
11 ve ..	0.000149	0.01	1.3

olarak bulunur.

BÖLÜM 6

ESKİŞEHİR MERKEZİNİN RÜZGAR DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ

6.1 Eskişehir İlinin Yeri Ve Tarihçesi

Eskişehir İç Anadolu Bölgesinin kuzey batısında yer alır. Kuzeyden Bolu, doğudan Ankara, güneyden Konya-Afyon, batıdan Kütahya-Bilecik illeri ile sınırlıdır. Eskişehir **29.58-32.04 doğu boylamları, 30.06-40.09 kuzey enlemleri** arasındadır. 2000 yılı genel nüfus sayımına göre Eskişehir'in toplam nüfusu 706,009'dur. Yüzölçümü 13.731 km²'dir. Bu alanıyla il, Türkiye topraklarının % 1.8'ini kaplamaktadır. İl merkezinin denizden yüksekliği ise 792 m'dir. Yaklaşık % 22'sini dağların oluşturduğu ilin, yeryüzü şekilleri içinde ovaların payı % 26 dolayındadır.

İç Anadolu'nun kuzeybatı köşesinde yer alan Eskişehir ilinin topografik yapısını, Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlar oluşturur. Havza düzlüklerini, kuzeyden Bozdağ-Sündiken Sıradağları, batı ve güneyden ise İç Batı Anadolu eşiğinin doğu kenarında yer alan Türkmen Dağı, Yazılıkaya Yaylası ve Emirdağ kuşatır.

Uzun süren araştırmalar sonucu vadiler, genellikle derindir. Vadi yamaçları hafif eğimli olup ve yuvarlak olduğu ilde, kapalı havza sürekli bir eğim vardır, yamaç aşındırması güçlüdür. Genç oluşumlar dışında tepe sırtlarının basık durumu pek görülmez. Denize doğru sürekli bir eğim vardır. Dağlar, ilin ovalarını çeşitli yönlerden kuşatır. Dağlık alanlarında, farklı aşınma ve çözünme sonucu ortaya çıkan şekiller, genellikle belirgindir. Ovalardan dağlara doğru, çeşitli yükseltilerde uzanan platolar vardır.

İlin kuzeyinde, batı-doğu yönünde, Anadolu'nun iç sıradağlarından Bozdağ ve Sündiken Dağları yer alır ve uzantıları doğuda, il sınırını oluşturan Sakarya Irmağı'na dek sokulur. Eskişehir ilinin güneydoğu köşesinde, Sakarya yayının içinden başlayan Sivrihisar Dağları, güneydoğu-kuzeybatı yönünde uzanır. Kaymaz Bucağı'na uzanan

Sivrihisar Dağları eşik görünüşlü bir yayla üzerinde yer alır. Kaymaz Bucağı'ndan sonra yayla görünümü kazanan geniş eşik üzerinde, yer yer yüksek tepeler görülür. Eskişehir ili merkezinin güneyinde başlayan bu yayla görünümlü dalgalı alan, batı yönünde sürer. Sarısu Ovasının güneyinde, Küçük Türkmen Dağı'nı oluşturur. İl sınırları dışında Domaniç Dağları ile birleşir. Kaymaz Bucağı ile Eskişehir ili merkezi arasındaki en önemli yükselti, Koca Kır Yaylası'nın Porsuk Ovasına inen etekleridir. Porsuk Çayı'ndan batıya doğru gidildiğinde 1.255 m yüksekliğindeki Küçük Türkmen Dağı'na ulaşılır. Daha batıda ise Kozdoğru Tepesi ile Göktepe bulunur.

Hititler, M.Ö. 14. yüzyılda Eskişehir merkezli büyük bir devlet kurmuşlardır. M.Ö. 12. yüzyılda Frigya Kralı, 600 yıl süren hükümdarlığını ilan etmiştir. Çeşitli kazılarda ele geçen buluntular yöre tarihinin Katolik Çağ'a uzandığını gösterir. Bilinen en eski yerleşme il merkezinin kuzey batısındaki Demircihöyük'tür. Buluntular Demircihöyük'ün Katolik Çağ'da Balkan ve Anadolu kültürlerinin kesiştiği bir noktada bulunduğunu ortaya koymaktadır. Midas Kenti kazılarında ele geçirilen buluntular ise İlk Tunç Çağı'na tarihlenmektedir.

Hititlerin pek etkili olamadığı bölgede M.Ö. 7. yüzyılda Kimmer ve İskit saldırıları sonucu yıkıldı. Lidya Krallığı'nın ardından sırasıyla Pers, Makedonya ve Selevkos yönetiminde kalan yöre M.Ö. 3. yüzyıl sonunda Galatların yönetimine girdi. M.Ö. 2. yüzyılda Bergama Krallığı'nın (Pergamon) kısa süreli egemenliğinden sonra, Galatlar Roma desteğiyle yörede yeniden devlet kurdu. Bunu Roma ve Bizans egemenliği izledi.

M.S. 8. yüzyılda yöreyi ele geçiren ve Dorylaion'a Duruliya, Düriliya ya da Druliya adını veren Arapların yönetimi uzun sürmedi. Yeniden Bizans egemenliğine giren Dorylaion 1074'te Selçuklular'ın eline geçti.

Eskişehir'de yer alan antik kentler şunlardır: Pessinus (Ballıhisar), Midas (Yazılıkaya), Dorylaion (Şarhöyük, Eskişehir), Han'daki Antik Harabeler, Justinianapolis (Sivrihisar), Nacolea (Seyitgazi) Eoudoxias.

6.2 Eskişehir İlinin Elektrik Enerjisi İhtiyacı

Bu tez çalışmasında, Eskişehir ilinin elektrik enerjisi ihtiyacı, kişi başı ortalama elektrik ihtiyacı göz önüne alınarak yapılacaktır. 2000 yılı genel nüfus sayımına göre Eskişehir ilinin nüfusu 706,009, merkezinin nüfusu ise 519,602'dir (www.die.gov.tr).

Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ)'in en son 2007 yılı için yapmış olduğu istatistiğe göre Eskişehir ilinin toplam yıllık ortalama elektrik tüketim miktarı 1 715 521 MWh'tir ve Türkiye'nin % 1.1'ini oluşturmaktadır. Kişi başı yıllık ortalama elektrik tüketim miktarı ise 2367 kWh'tir.

6.3 Eskişehir Merkezinin Rüzgar Hızları Ölçümleri

Eskişehir merkezinin rüzgar hızları, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü Sivil Havacılık'ta konuşlu **17123 numaralı Eskişehir Anadolu Meydan Meteoroloji İstasyonu**'na ait rüzgar ölçüm direğinde mevcut data logger cihazı çıktılarına göre alınmıştır. Bu çalışmada, yapılacak olan bütün hesaplar bu cihazın Ocak 2008 - Aralık 2008 ayları arasında ölçtüğü bir yıllık rüzgar hızı ölçümlerine göre olacaktır.

6.3.1 Eskişehir merkezinin aylara göre rüzgar hızları

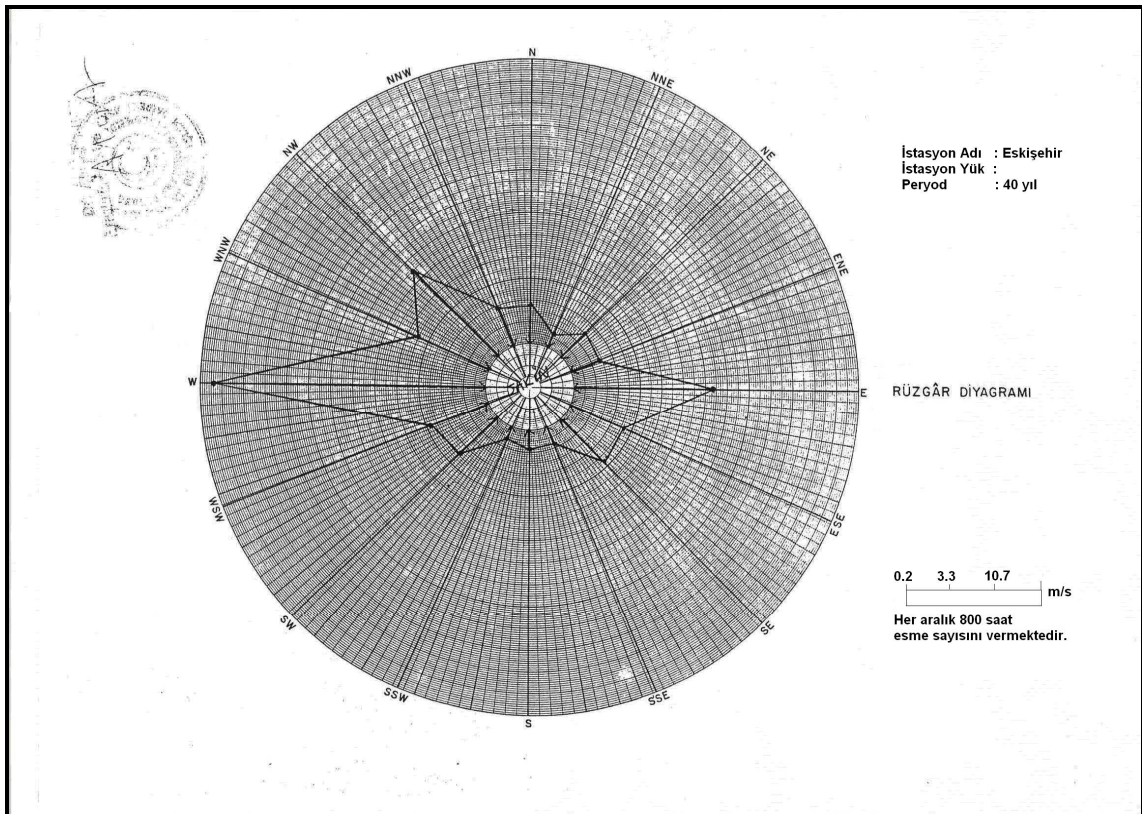
Şekil 6.1.'de verilen Eskişehir ilinin rüzgar gülü incelendiğinde hakim rüzgar yönünün batı olduğu görülmektedir. İkincil derecede hakim rüzgar yönü ise doğudur. Hakim rüzgar yoğunlukla yaz aylarında görülmektedir, ikincil hakim yönü ise kış aylarında yoğunlukla görülmektedir.

Rüzgarın estiği yönlerin bilinmesi, türbinlerin yerleştirilmesinde önemli bir yer tutar. Böylece, birden fazla türbine sahip olan santrallerdeki türbinler, birbirini rüzgar yönünden gölgelememiş olurlar. Rüzgarın çoğu zaman aynı yönden esmesi, elde edilen enerjiyi artırır.

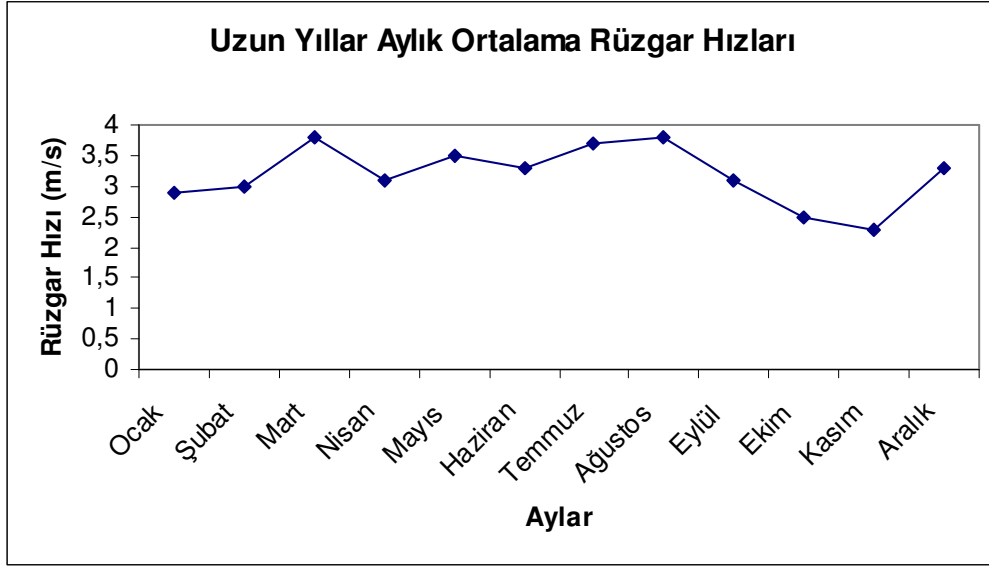
Şekil 6.2.'de Eskişehir merkezinin Eylül 1990 – Aralık 2008 yılları arasında aylara göre 30 metredeki 18 yıllık rüzgar ortalama hızlarını gösteren grafik vardır. Bu grafikten de görülebileceği gibi; bu süre içinde, Eskişehir ilinde **Mart** ve **Ağustos**

ayları, rüzgarın **en şiddetli** estiği aylardır. Bu iki ayda rüzgar ortalama **3.8 m/s** hızla eser. Buna karşılık, rüzgarın **en yavaş** estiği ay **Kasım**'dır. Bu ayda rüzgar **2.3 m/s** ortalama hızla esmiştir. Diğer aylara baktığımızda, Ocak ayı 2.9 m/s, Şubat ayı 3 m/s, Nisan ayı 3.1 m/s, Mayıs ayı 3.5 m/s, Haziran ayı 3.3 m/s, Temmuz ayı 3.7 m/s, Eylül ayı 3.1 m/s, Ekim 2.5 m/s ve Aralık ayı 3.3 m/s şeklindedir.

Şekil 6.3. – 6.14'te 2008 yılında rüzgarın aylara göre 30 metredeki günlük ortalama hızlarını veren grafikler vardır. Bu grafikler, rüzgarın ay ay Eskişehir ilinde ortalama hangi hızlarda estiğini gösterir.



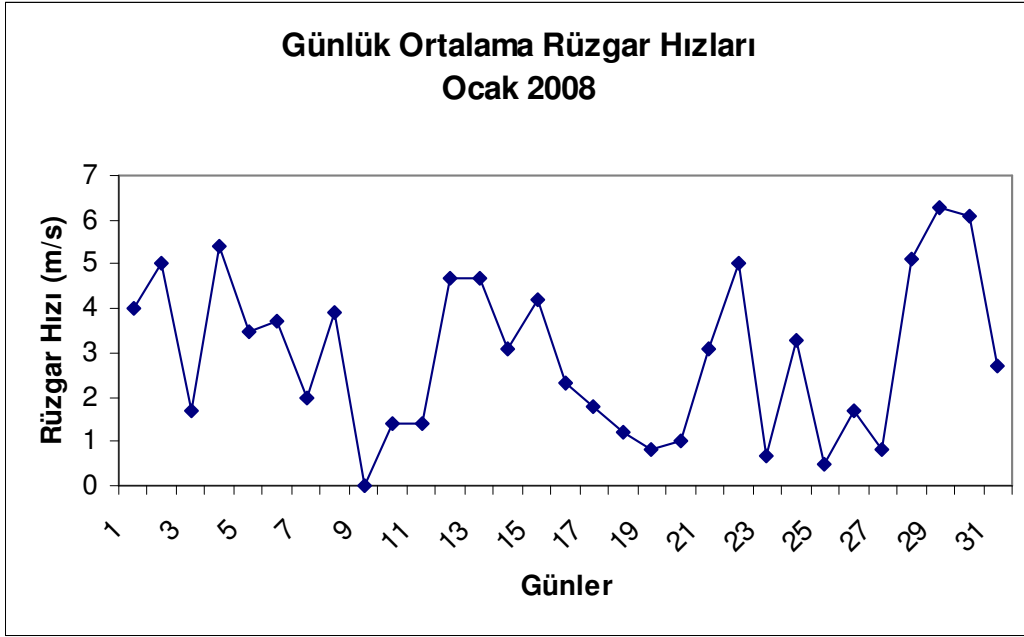
Şekil 6.1. Eskişehir ilinin rüzgar gülü (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



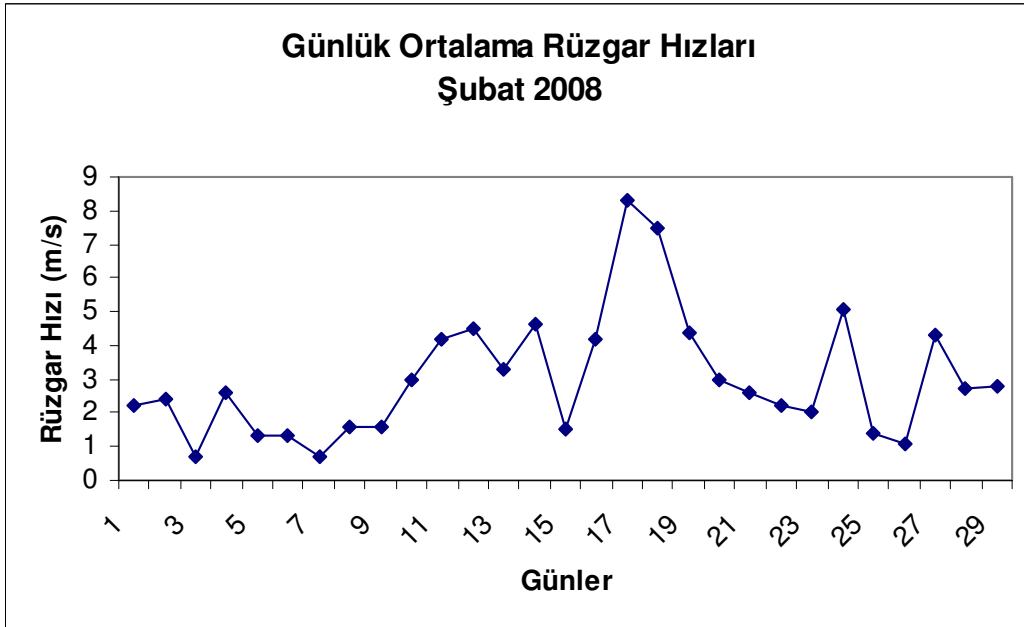
Şekil 6.2. 1990-2008 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).

Çizelge 6.1. 1990-2008 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).

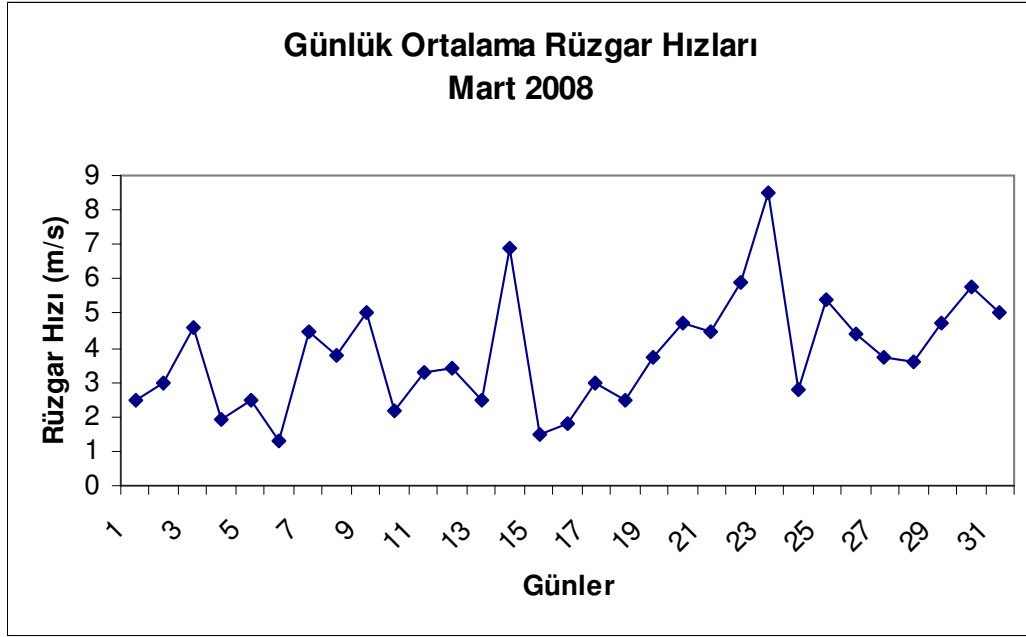
Uzun Yıllar Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)		
İstasyon No	Ay	Ort. Rüzgar Hızı (m/s)
17123	1	2.9
17123	2	3.0
17123	3	3.8
17123	4	3.1
17123	5	3.5
17123	6	3.3
17123	7	3.7
17123	8	3.8
17123	9	3.1
17123	10	2.5
17123	11	2.3
17123	12	3.3



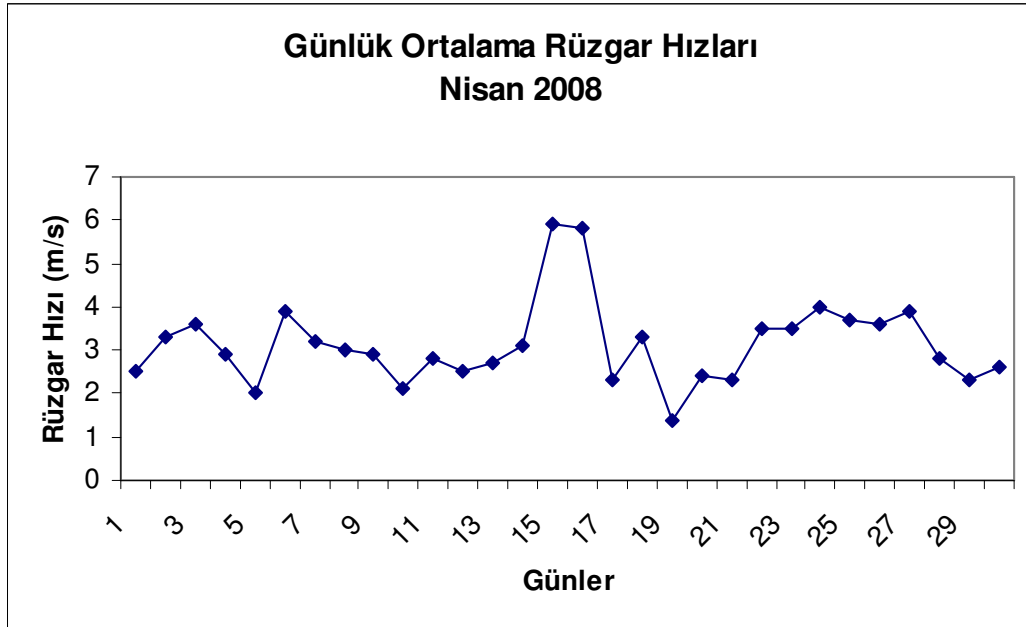
Şekil 6.3. 2008 yılı ocak ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



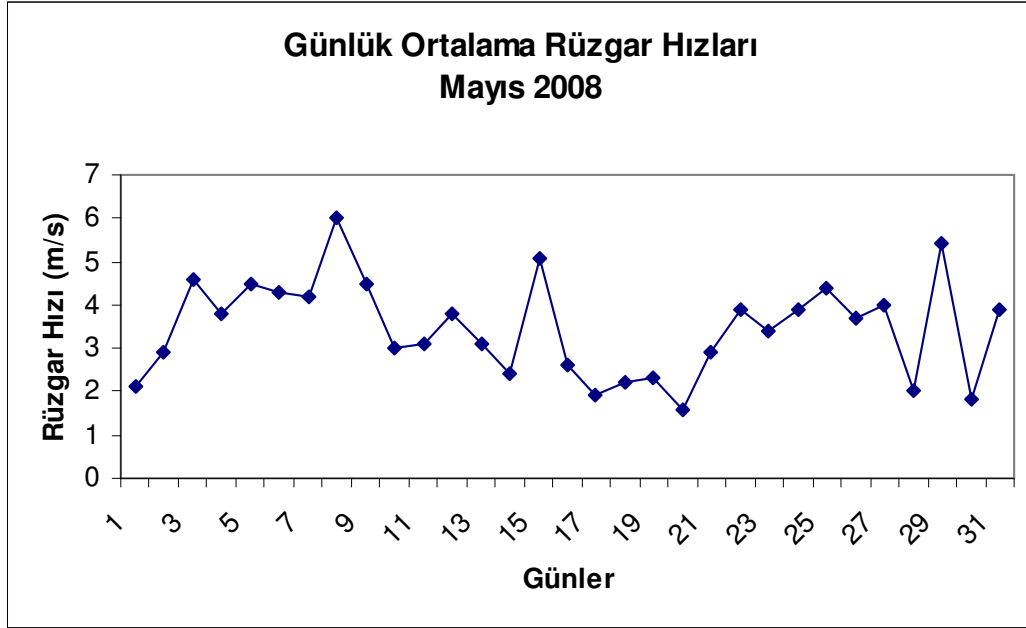
Şekil 6.4. 2008 yılı şubat ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



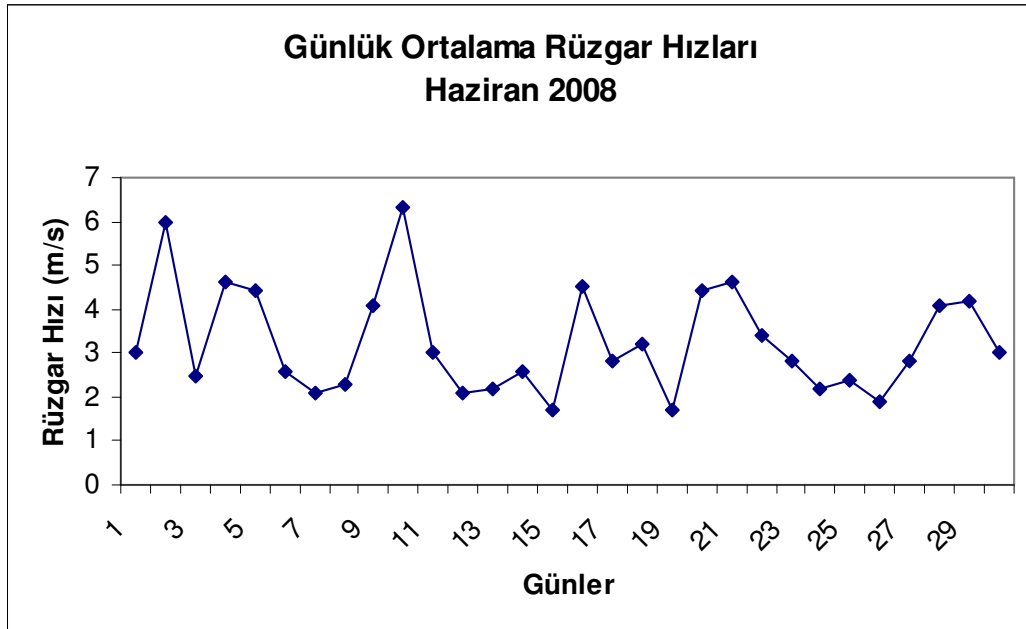
Şekil 6.5. 2008 yılı mart ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



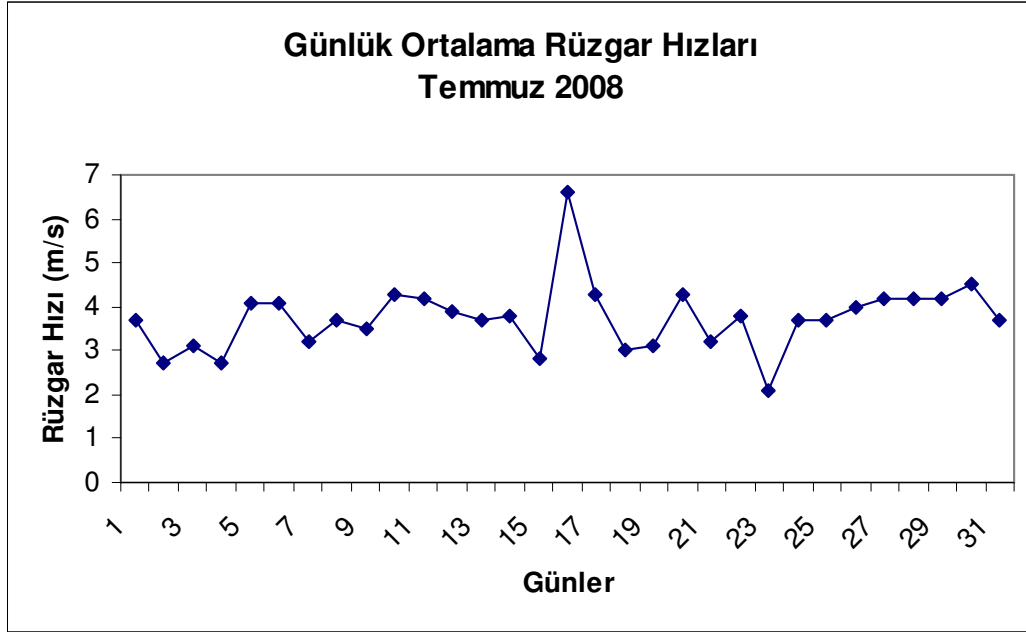
Şekil 6.6. 2008 yılı nisan ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



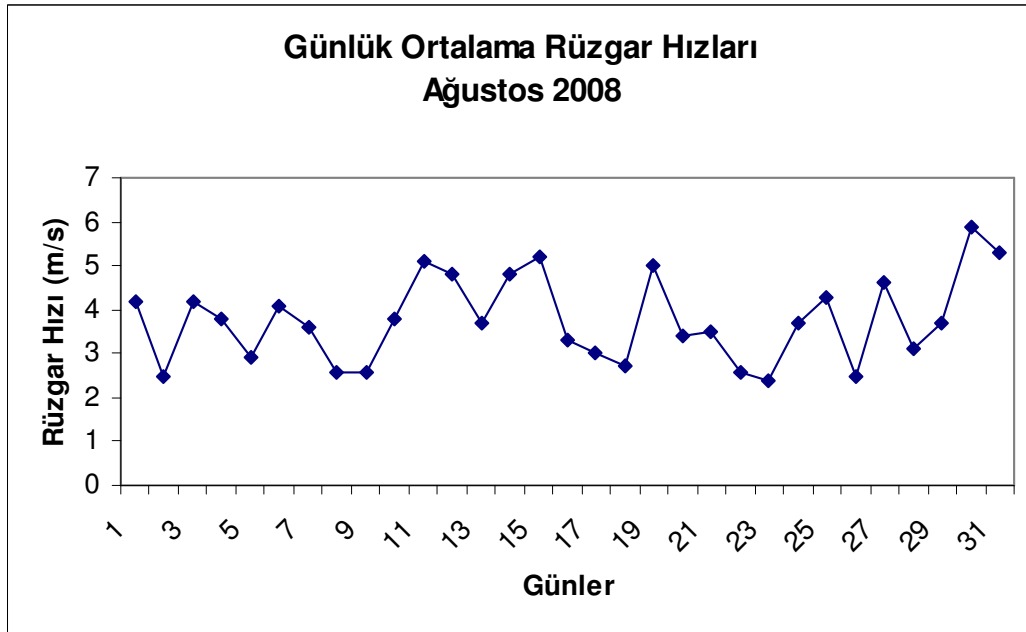
Şekil 6.7. 2008 yılı mayıs ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



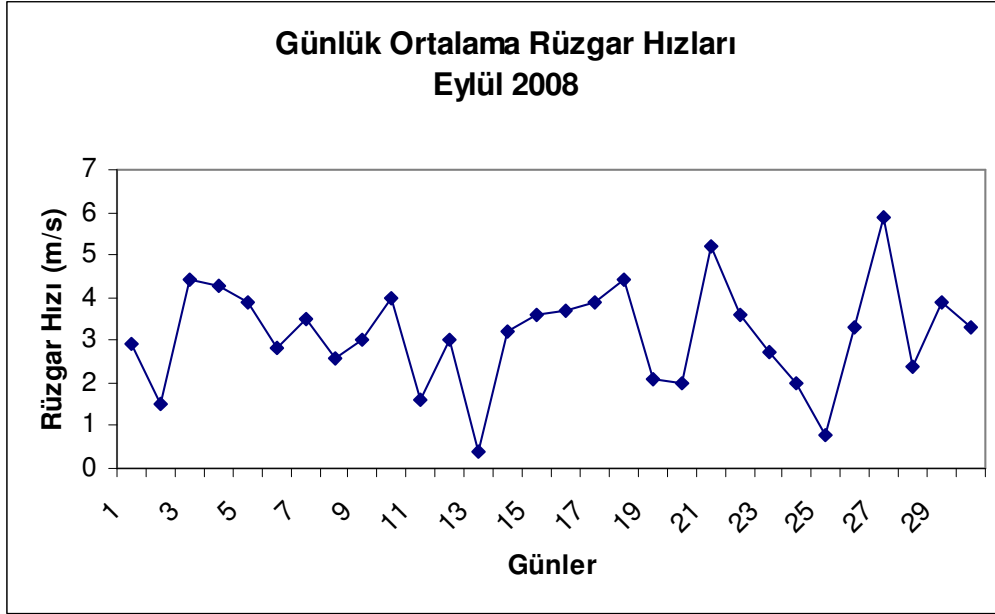
Şekil 6.8. 2008 yılı haziran ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



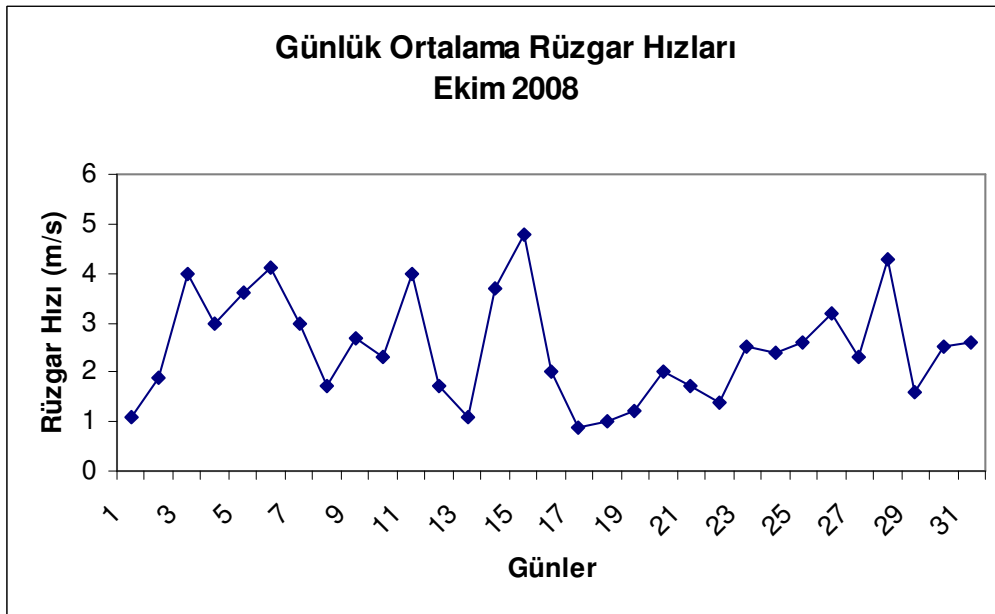
Şekil 6.9. 2008 yılı temmuz ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



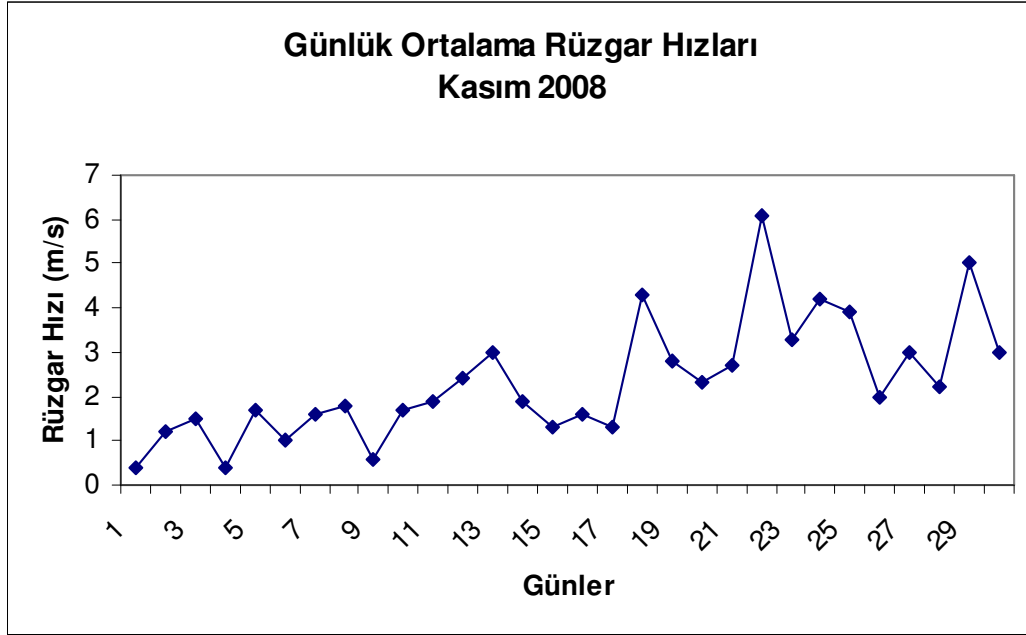
Şekil 6.10. 2008 yılı ağustos ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



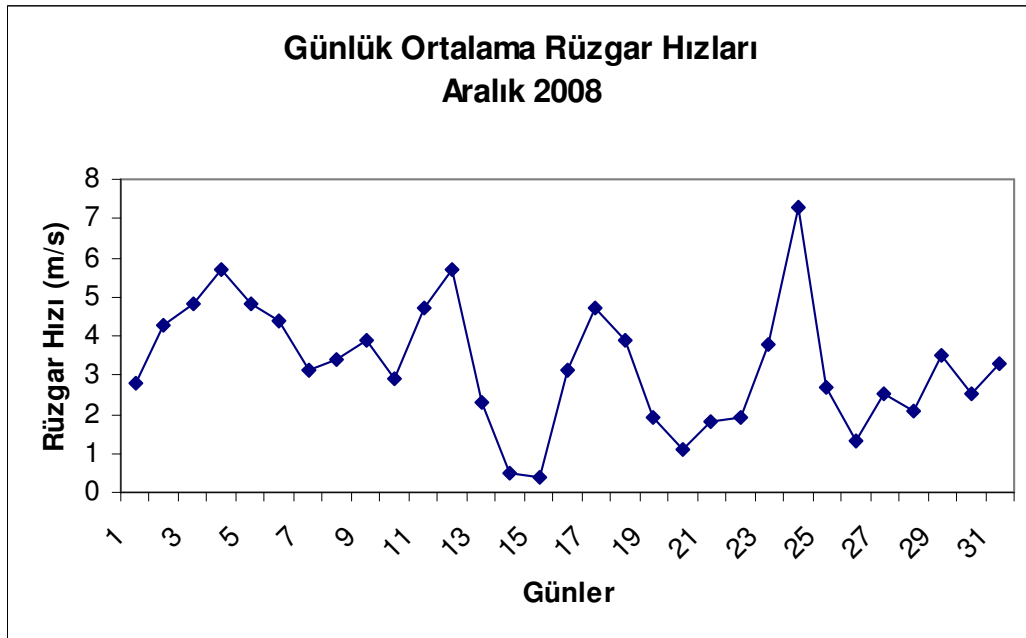
Şekil 6.11. 2008 yılı eylül ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



Şekil 6.12. 2008 yılı ekim ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



Şekil 6.13. 2008 yılı kasım ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).



Şekil 6.14. 2008 yılı aralık ayında günlük ortalama rüzgar hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009).

6.4 Türbin Seçimi

Bu tez çalışmasında tek bir üreticinin çeşitli nominal güçlerindeki türbinleri seçilmiştir. Buradaki amaç, hangi nominal güçteki türbinin, Eskişehir ili için daha verimli olduğunu bulmaktır. Eğer istenirse, diğer firmalar için de bu karşılaştırma yapılabilir.

Bu tez çalışmasında, De Wind firmasının türbinlerinden faydalanılacaktır. 500 kW için De Wind 41, 600 kW için De Wind 48, 1000 kW için De Wind 62, 1250 kW için De Wind 64, 1500 kW için De Wind 70 ve 2000 kW için De Wind D8 kullanılacaktır. Tam bir karşılaştırma olması için, kule yükseklikleri hepsi için sabit tutularak 70 m alınmıştır. Tüm türbinler 3 kanatlı olup, GRP/epoksi malzemeden yapılmıştır. Nominal rüzgar hızları 11,5-12 arasındadır. Devir sayıları 10-30 d/dak arasında değişmektedir. Çizelge 6.2.'de bu türbinlerin rüzgar hızına göre güçleri (kW) verilmiştir.

Çizelge 6.2. Rüzgar hızına göre kW cinsinden türbin güçleri (Özdamar, 2000 d).

RüzgarHızı (m/s)	De Wind 41	De Wind 48	De Wind 62	De Wind 64	De Wind 70	De Wind D8
1	0	0	0	0	0	0
2	1,24	0	0	0	0	0
3	4,22	7	12,3	13	8,8	9,6
4	10,1	22	33,7	37	33,7	51
5	20,27	52	80,4	85	98,5	145
6	63	93	158,2	168	192,9	276
7	114,65	158	271,2	288	329,3	457
8	173,24	244	412,5	442	507	692
9	248,65	354	586,1	631	788,8	985
10	330,22	489	781,4	850	1020,7	1321
11	405,25	590	971,2	1078	1334,4	1639
12	474,46	600	1027,1	1234	1500	1850
13	500	600	1039,4	1250	1500	1954
14	500	600	1039,4	1250	1500	1997

6.5 Türbin Sayısının Bulunması

Optimum türbin sayısını, bir günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacını, ortalama rüzgar hızında üretilen bir günlük enerjiye bölerek bulabiliriz (Özdamar ve Şen, 2003).

Kişi başı yıllık ortalama elektrik tüketim miktarı ise 2367 kWh'tir. Eskişehir ilinin merkezdeki nüfusu 519,612 'dir.

$$\text{BirGünlükOrtalamaElektrikEnerjisiİhtiyacı} = (2367 \div 365) \times 519,612 = 3,369 \text{ MW}$$

$$\text{Türbin Sayısı} = \frac{\text{Bir Günlük Ortalama Elektrik Enerjisi ihtiyacı}}{\text{Ortalama Rüzgar Hızında Üretilen Bir Günlük Enerji}}$$

Ortalama rüzgar hızında üretilen bir günlük enerjinin hesaplanmasında problemle karşılaşılmaktadır. Eskişehir ilinin şekil 6.3. – şekil 6.14'te verilen 2008 yılı içerisindeki günlük ortalama rüzgar hızlarına ve şekil 6.2.'de verilen uzun yıllar sonucu oluşmuş aylık ortalama rüzgar hızlarına çizelge 6.2.'de karşılık gelen güç değerlerinin rüzgar türbinlerinden elektrik üretimi için çok küçük değerler olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kapasite faktörünün çok düşük olacağı aşikardır.

Kapasite faktörü bir türbinin bir yılda ürettiği enerjinin, aynı türbinin ürettiği maksimum enerjiye bölünmesi ile çıkmaktadır. Bir türbinin bir yılda üretebileceği maksimum enerji, o türbinin nominal gücünün 8760 saat ile çarpılması sonucunda bulunur. Kapasite faktörü analizinde dünya ortalaması % 20 civarındadır. Bu oranın üzerinde kapasite faktörüne sahip yerler, enerji üretimi açısından verimlidir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüzde tüm dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında bir artış görülmektedir. Özellikle son zamanlarda yaşanan enerji krizleri ve fosil yakıtların sürekli azalması, tüm dünyayı alternatif enerji kaynakları arayışına yöneltmiştir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının doğada bol miktarda bulunmaları, bedava ve çevre dostu olmaları onları daha da cazip hale getirmiştir.

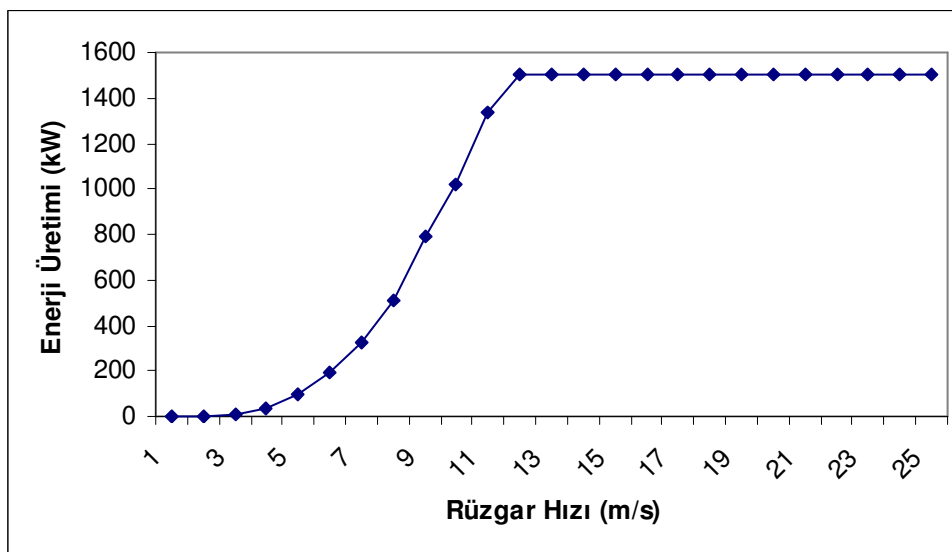
Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi ele alınmıştır. Rüzgâr enerjisi, dünya üzerinde birçok alanda enerji temininde önemli bir rol oynamaktadır. Geçtiğimiz son on yıl içinde rüzgâr türbini teknolojileri büyük bir gelişme göstermiştir. Bu gelişmeleri büyük ölçekli türbin tasarımları takip etmektedir. Bu gelişme ve ilerlemeler maliyetleri azaltarak rüzgâr enerjisi teknolojisinin bilinen fosil yakıtlarla rekabet edebilmesini sağlayacaktır. Rüzgâr enerjisi teknolojisi gelişimini henüz tamamlamamış olduğundan bu alanda daha fazla çalışmalar yapılması gereklidir.

Rüzgâr elektrik santrallerinin projelendirilmesinde öncelikle santralin kurulacağı bölgeye ait rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Rüzgârın yönü ve şiddetinin yanı sıra sürekliliği de üretilen elektrik enerjisinin kaliteli ve güvenilir olması açısından dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir. Rüzgâr santrallerinin şebekeye bağlandığı noktalarda kapasite artırılmalı gerekirse yeni bir hat çekilmeli, ayrıca iletim ve dağıtım sistemine olan olumsuz etkiler en aza indirilmelidir.

Rüzgâr enerjisi konusunda ülkemizde yatırım yapmak isteyen yerli ve yabancı yatırımcılar teşvik edilmeli ve cazip koşullar için gerekli yasal ve hukuki düzenlemeler yapılmalıdır. Rüzgâr enerjisi teknolojileri alanında üniversitelerimizde verilen eğitim yeterli değildir. Bu konuda mühendislik eğitimi veren okullarda rüzgâr enerjisi ile ilgili derslerin sayısı artırılmalı, uygulamalar geniş ölçekte yapılmalıdır. Rüzgâr enerjisi

konusu disiplinler arası bir çalışma olduğundan bölümler arası işbirliği kurulmalı, projeler birlikte gerçekleştirilmelidir.

Bu tez çalışmasında bir bölgenin enerji ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması üzerine bir çalışma düşünülmüş, bu kapsamda İç Anadolu bölgesinde bulunan Eskişehir ili seçilmiştir. Bölüm 1’de problemin tanımı, çalışmanın amacı ve yönteminden bahsedilmiştir. Bölüm 2’de enerjinin tanımı, enerji kaynakları ve Türkiye’nin enerji ihtiyacından bahsedilmiştir. Bölüm 3’te rüzgar çeşitleri ve oluşumundan, rüzgar enerjisinin tarihçesinden, Dünyada rüzgar enerjisi potansiyelinden ve kıtalar bazında kullanımından, rüzgar enerjisi kullanan ülkelerin son durumlarından, Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyelinden ve kullanımından, 2009-2013 yılları arasında rüzgar enerjisinde beklenen gelişmelerden ve rüzgar enerjisinin avantajları ile dezavantajlarından bahsedilmiştir. Bölüm 4’te rüzgar türbinlerinin sınıflandırılmasından, bölüm 5’te teorik analizden bahsedilmiştir. Bölüm 6’da Eskişehir ilinin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması incelenmiş olup bu kapsamda Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü’nden Eskişehir ilinin 2008 yılı içerisinde günlük ortalama rüzgar hızları, uzun yıllar sonucu oluşan aylık ortalama rüzgar hızları ve Eskişehir ilinin rüzgar gücü temin edilmiştir.



Şekil 7.1. Rüzgar türbini güç eğrisi grafiği (www.dewind.de).

Elde edilen bilgiler değerlendirildiğinde, Eskişehir ilinin hakim rüzgar yönünün batı olduğu ve yaz aylarında estiği, ikincil hakim rüzgar yönünün doğu olduğu ve kış aylarında görüldüğü, şekil 6.2.'de verilen uzun yıllar aylık ortalama rüzgar hızlarından Eskişehir ilinde **Mart** ve **Ağustos** aylarında rüzgarın **en şiddetli** estiği aylar olduğu ve bu iki ayda rüzgar ortalama **3.8 m/s** hızla estiği, buna karşılık, rüzgarın **en yavaş** estiği ayın **Kasım** olduğu ve bu ayda rüzgarın **2.3 m/s** ortalama hızla estiği tespit edilmiştir. Şekil 6.3. – şekil 6.14.'te 2008 yılı günlük rüzgar değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Bölüm 5.5'te Rayleigh Dağılım Fonksiyonu metodu ile Eskişehir ilinde yıl içerisinde hangi rüzgar hızından kaç saat estiği hesaplanmıştır. Tüm bu bulgular, tablo 6.2'de verilen De wind firmasının türbinlerinin hızlarına göre elde edilen güç değerleriyle kıyaslandığında Eskişehir ilinde rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin olmayacağı anlaşılmaktadır. Şekil 7.1.'de De Wind firmasının 1500 kW'lık De Wind 70 model türbininin güç eğrisi grafiği verilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi genelde rüzgar türbinlerinin elektrik üretmesi için devreye girdikleri rüzgar hızı 3-4 m/s'dir. Nominal rüzgar hızları 11-12 m/s'dir. Türbinlerin kapasite faktörü analizinde dünya ortalaması % 20 civarındadır. Bu oranın üzerindeki kapasite faktörüne sahip yerler, enerji üretimi açısından verimlidir. Kapasite faktörü bir türbinin bir yılda ürettiği enerjinin, aynı türbinin ürettiği maksimum enerjiye bölünmesi ile çıkmaktadır. Bir türbinin bir yılda üretebileceği maksimum enerji, o türbinin nominal gücünün 8760 saat ile çarpılması sonucunda bulunur. Eskişehir iline kurulacak rüzgar türbinlerinin ortalama rüzgar hızının 3-4 m/s aralığında olması sebebiyle kapasite faktörlerinin % 20'nin çok altında olacağı değerlendirilmektedir. O nedenle, Eskişehir ilindeki rüzgar hızının bu rüzgar türbinlerini çalıştırıp onlardan elektrik üretimi sağlayamayacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, Eskişehir iline rüzgar çiftlikleri kurmanın Eskişehir iline fayda sağlamayacağı, kurulsa dahi uygun kapasite kullanımının gerçekleşmeyeceği, dolayısıyla yatırım maliyeti, işletme maliyeti vb. maliyetleri karşılayamayacağı değerlendirilmektedir. Ancak Türkiye'de rüzgar yönünden uygun bölgelere rüzgâr santralleri kurularak mevcut şebekenin yükü hafifletilebilir, dışa bağımlılık azaltılabilir, enerji arzı artırılarak ülke ekonomisine katkıda bulunulabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- ACAR, H., Rüzgâr Enerjisi, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Ders Notlar-5.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., and Bossanyi, E., 2001 Wind Energy Handbook, John Willey & Sons.
- Demirci, B. ve Yıldırım, E., 1986. “Elektrik Enerjisinde Özel Sektörün Yeri”,Türkiye 4. Enerji Kongresi, İzmir.
- Durak, M., 2000 “Rüzgâr Enerjisi Teknolojisi ve Türkiye Uygulaması: Akhisar Rüzgâr Elektrik Santrali”, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Dündar, C. & İnan, D., 1996. “Investigation Of Wind Energy Application Possibilities for a Specific Island (Bozcaada) In Turkey”, World Renewable Energy Congress IV, 15-21 June 1996, Denver, Colorado, USA.
- EIE Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, 1984. Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli, Yayın no:85-1, Ankara.
- Ertürk, E., 1985. Rüzgar Enerjisinden Yararlanma ve Eskişehir İlinde Enerji Üretim Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009, Meteoroloji Arşivi.
- Gelberi, H., Yılmaz, S., Yıldız, M., Yalçın, M.A., 2003, “Rüzgâr Türbinlerinde Dinamik Kararlılık”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 7, 199-204 s.
- GWEC (Global Wind Energy Council), 2008, Global Wind 2008 Report.
- Golding, E.W., 1955. The Generation of Electricity by Wind Power, Pitman Press, London.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Karadeniz, Z., 2002. Rüzgar Enerjisi ve Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımı, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Krosgsgaard, P., 2001, “Global Status Of Wind Power”, Rüzgar Enerjisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 5-7 Nisan 2001, İzmir.
- Özdamar, A. ve Gürsel, K.T., 1999. “Rüzgar Pervanesi Aerodinamiği ve Enerji Eldesi Üzerine Bir Araştırma”, Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi, Cilt:3, Sayı:1, İzmir.
- Özdamar, A., 2000 (a), “Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı: B.30.2.PAU.0.45.00.00/600-2000-58, Denizli.
- Özdamar, A., 2000 (b), “Alman Yenilenebilir Enerjiler Yasası ve Ülkemiz Rüzgar Enerjisi Açısından Değerlendirilmesi” Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, Sayı:B.30.2.EGE.0.96.00.00/ SD00034, İzmir.
- Özdamar, A., 2000 (c), “Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma: Çeşme Örneği” Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, Sayı:B.30.2.EGE.0.96.00.00/ SD00029, İzmir.
- Özdamar, A., 2000 (d). “Büyük Anma Güçlü Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı: B.30.2.PAU.0.45.00.00/600-2000-032, Denizli.
- Özdamar, A., 2001. “Wind Energy Utilization in a House in Izmir, Turkey”, International Journal of Energy Research 2001; 25:253-261.
- Özdamar, A., 2002. “Rüzgar Enerjisi Tesisleri”, Ders Notları, Yayınlanmamış, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Özdamar, A. ve Şen, Ç., 2003. “Çeşme’de Bir Otelin Kullanım Suyu Isıtmasının Rüzgar Enerjisinden Sağlanması”, Yenilenebilir Enerji Kaynaklar Sempozyumu Bildiriler Kitabı’na yayınlanması isteği ile gönderilmiş ve değerlendirilmekte olan makale.

Özgür, A., 2002. Kütahya’da Seçilen Bir Konumda Rüzgar Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi,

Sarkayalar, O., 1998. Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisinin Türkiye Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Sencer, A., 2001. “Alternatif Enerji Kaynaklar” Ders Notları, Yayınlanmamış, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Şen, Ç., 2003, “Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi İle Karşılanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.”

UĞURLU, M., 2004 Alternatif Enerji Kaynakları, Rüzgâr Enerjisi ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi.

Ural, G., 1994. “Rüzgar Enerjisinin Dünya’daki ve Türkiye’deki Durumu”, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri I, 17-22 Ekim 1994, İzmir.

Ültanır, M. O., 1998. “21.Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”, TÜSİAD Yayınlar, Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239.

Walker, J. F.,and Jenkins, N,1997, “Wind Energy Technology”, John Willey & Sons, England.

www.alternaturk.org

www.awea.org

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

www.bwea.com

www.botas.gov.tr

www.danishwind.com,

www.dewind.de

www.die.gov.tr

www.dsi.gov.tr

www.earthpolicy.com

www.eie.gov.tr

www.enercon.de,

www.enerji.gov.tr

www.epkd.gov.tr

www.ewea.org

www.galeforce.niraland.co.uk

www.gwec.net

www.lorax-energy.com,

www.meteor.gov.tr

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

www.meteoroloji.gov.tr

www.montanagreenpower.com

www.newton.mec.edu

www.ntvmsnbc.com

www.offshorewindfarms.co.uk

www.pal.metu.edu.tr

www.pinnaclet.com

www.pmo.org.tr

www.rüzgarenerjisibirligi.org.tr

www.safatur.com

www.samli.com.tr

[www.synergypowercorp.com,](http://www.synergypowercorp.com)

www.tcmb.gov.tr

www.tedas.gov.tr

www.teias.gov.tr

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

www.tki.gov.tr

www.tpao.gov.tr

www.visionengineer.com

www.west.wind.com,

www.wikipedia.org.tr

www.wind-energie.de

www.windenergy.org

www.windpower.dk

www.windpower.org

www.windpoweramerica.com

www.windpowerindia.com

Yalçın, C., 1998. Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Alternatif Enerji Kaynaklı Sistemler ve Birleşik Isı-Güç Santralleri ile Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.