

Eskişehir – Kütahya – Bilecik İllerinde Rüzgâr Potansiyellerinin Analizi

Salih Karakaya

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık, 2009

Wind Potential Analysis In Eskişehir-Kütahya-Bilecik Cities

Salih Karakaya

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

December, 2009

Eskişehir – Kütahya – Bilecik İllerinde Rüzgâr Potansiyellerinin Analizi

Salih Karakaya

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

Danışman: Prof. Dr. Yaşar Pancar

Aralık, 2009

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Salih KARAKAYA'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Eskişehir-Kütahya-Bilecik illerinde Rüzgâr potansiyellerinin analizi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yaşar Pancar

İkinci Danışman :-

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Yaşar Pancar

Üye : Prof. Dr. Kemal Taner

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mesut Tekkalmaz

Üye : Yrd. Doç. Dr. Necati Mahir

Üye : Yrd. Doç. Dr. İrfan Üreyen

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

Eskişehir-Kütahya-Bilecik İllerinde Rüzgar Potansiyellerinin Analizi

Salih Karakaya

ÖZET

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, insan hayatında tartışmasız bir öneme sahiptir. Onsuz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse mümkün değildir. Bunun yanı sıra gelişen teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan çağdaş gereksinimlerden 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. Rüzgar enerjisi çağdaş ülkelerin gündemine 1980’li yıllarda girmiş ve hızla önemini arttırmıştır. Hazırlanan tez çalışmasında da, bu çalışmalara paralel olarak “rüzgar enerjisi” konusu “Eskişehir, Kütahya, Bilecik illerinin elektrik enerjisi ihtiyaçlarının karşılanması” özelinde bilimsel olarak ele alınmıştır. Çalışma dahilinde; rüzgar enerjisinin temel kriterlerinden yola çıkılarak bir bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması konusunda genel prensipler araştırılmış ve De Wind firmasının ürettiği türbinler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Özetle, bu tez kapsamında rüzgar enerjisinin önemi anlatılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar, rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları

Wind Potential Analysis In Eskişehir-Kütahya-Bilecik Cities

Salih Karakaya

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. Wind energy is realized by modern countries in early 1980's and gained significant importance.

In this thesis, parallel to these studies, electrical energy supply of Eskişehir, Kütahya, Bilecik cities studied by basing wind energy topic. General principles are studied on supplying the electrical energy by using wind energy of a region by using Fundamentals of wind energy and the turbines manufactured by DeWind Company are compared. The importance of the wind energy is emphasized once more.

Keywords: Wind, wind energy, renewable energy sources

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli fikir ve eleştirileri ile araştırmama katkıda bulunan, ilgi ve yönlendirmelerinin yanında her türlü olanağı sağlayan danışman hocam, **Sn. Prof. Dr. Yaşar PANCAR**'a, Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürü **Sn. Ali ARSLAN** ve personeline, gerek e-mail yoluyla gerekse kendisi ile yüzyüze yaptığım görüşmede verdiği bilgiler için EİEİ Yenilenebilir Enerji Kaynakları Şube Müdürü **Sn. Mustafa ÇALIŞKAN**'a, değerli görüş ve önerileri ile ufkumu genişleten Eskişehir İl Telekom Müdürü **Sn. Yücel YAŞAR**'a, ayrıca; tez çalışmam sırasında bana yardımcı olan ve her türlü desteğini esirgemeyen eşime, anneme ve babama katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Salih KARAKAYA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1: ENERJİ	2
1.1 Enerjinin Tanımı.....	2
1.2 Enerji Kaynakları.....	2
1.2.1 Tükenebilen Enerji Kaynakları.....	3
<u>1.2.1.1 Taşkömürü ve Linyit</u>	4
<u>1.2.1.2 Petrol</u>	4
<u>1.2.1.3 Doğalgaz</u>	6
<u>1.2.1.4 Atom Enerjisi</u>	7
<u>1.2.1.5 Odun</u>	8
1.2.2 Tüklenmeyen Enerji Kaynakları	8
<u>1.2.2.1 Hidrolik Enerji</u>	10
<u>1.2.2.2 Jeotermal Enerji</u>	11
<u>1.2.2.3 Güneş Enerjisi</u>	12
<u>1.2.2.4 Biyomas Enerjisi</u>	13
<u>1.2.2.5 Dalga ve Gel-Git Enerjisi</u>	13
<u>1.2.2.6 Rüzgâr Enerjisi</u>	14

BÖLÜM 2: RÜZGÂR ENERJİSİ METEOROLOJİSİ	20
2.1 Küresel Rüzgârlar	21
2.2 Yerel Rüzgârlar	22
2.2.1 Ülkemizi Etkileyen Hava Kuvvetleri.....	22
2.2.2 Ülkemizde Esen Yerel Rüzgârlar	22
2.3 Rüzgâr Oluşumu	25
2.3.1 Jeostrofik Yaklaşım	25
BÖLÜM 3: RÜZGÂR ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ VE KULLANILAN CİHAZLAR	28
3.1 Rüzgâr Hızını Ölçen Aletler.....	29
3.1.1 Anemometre.....	31
<u>3.1.1.1 Ultrasonik Anemometre</u>	32
<u>3.1.1.2 Isıtmalı Anemometreler</u>	34
<u>3.1.1.3 Uskur Çark (Pervane) Anemometreler</u>	35
3.1.2 Sodar Sistemi	36
3.1.3 Anemograf	36
3.1.4 Yön Sensörü.....	37
3.1.5 Diğer Sensörler	37
BÖLÜM 4: RÜZGÂR TÜRBİNİ.....	39
4.1. Giriş ve Tarihçe	39
4.1.1 1950 ve Sonrası Durum	40
4.2 Rüzgâr Türbinlerinin Sınıflandırılması	40
4.2.1 Yapılarına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	41
<u>4.2.1.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri</u>	41
<u>4.2.1.2 Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri</u>	42
<u>4.2.1.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri</u>	44
4.2.2 Güçlerine göre rüzgâr türbinleri	44
<u>4.2.2.1 Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri</u>	44

4.2.2.2 Orta Güçlü Rüzgar Türbinleri	44
4.2.2.3 Büyük Güçlü Rüzgar Türbini	44
4.3. RT Temel Elemanları	46
4.3.1. Kule.....	47
4.3.2. Kanat.....	48
4.3.3. Nasel ve İçindeki Ekipmanlar.....	49
4.3.4. Göbek (HUB).....	53
4.3.5 RT Elektronik Kontrol Sistemi.....	54

BÖLÜM 5: RES ÇEVRE ETKİLERİ..... 56

5.1 Gürültü.....	56
5.1.1 RT'lerin Gürültü Kaynakları	58
5.2. Kuş Zaiyatı	63
5.2.1. AB Ülkelerinde Kuş Zaiyatı	63
5.2.2 Amerika Birleşik Devleti'nde RES'lerin Neden Olduğu Kuş Ölümleri.....	64
5.3 Arazi Kullanımı	65
5.4 Elektromanyetik Etkileşim	66
5.5 Toplumun Rüzgâr Enerjisine Bakışı	66
5.6 Emisyonlar.....	67

BÖLÜM 6: RÜZGÂR ENERJİSİNİN DİĞER UYGULAMALARI..... 69

6.1 Rüzgâr Su Çekme Sistemi (Windpumping)	69
6.1.1 İşletme ve Bakım	79
6.1.2 Ülkemizde Kullanım.....	79
6.2 Küçük Güçlü Rüzgâr Türbinlerinden Elektrik Üretimi.....	80
6.3 Ada Sistemleri (Stand Alone System).....	80
6.4 Hibrid Sistemler.....	80
6.4.1 Rüzgâr–Güneş Hibrid Sistemler	80
6.4.2 Rüzgâr Dizel Hibrid Uygulamalar	82
6.5 Diğer Uygulamalar	82

BÖLÜM 7: RÜZGÂR ENERJİSİ PİYASASI.....	83
7.1.Ülkemizde Durum	83
7.2.Türkiye Rüzgâr Atlası Projesi	84
7.3. Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA).....	86
7.4.Rüzgâr Enerjisinin Ülkemizdeki Durumu.....	87
7.5. 2009–2013 Yılları Arasında Rüzgâr Enerjisinde Beklenen Gelişmeler.....	88
BÖLÜM 8: ESKİŞEHİR, KÜTAHYA VE BİLECİK İLLERİ	
HAKKINDA BİLGİLER	90
8.1. ESKİŞEHİR.....	90
8.2. KÜTAHYA	92
8.3.BİLECİK	94
8.4. İllerin Rüzgâr Hızları Ölçümleri	96
8.5. Türbin Seçimi	98
8.6. Eskişehir İlinin Elektrik Enerjisi İhtiyacı.....	99
8.7. Eskişehir İli Rüzgâr Değerlendirmesi	100
8.8.Türbin Sayısının Bulunması	100
SONUÇ VE TARTIŞMA.....	102
KAYNAKLAR	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Yel değirmeni	19
Şekil 2.1 Rüzgâr Yönleri	25
Şekil 2.2 Jeostrofik Rüzgâr Oluşumu	26
Şekil 3.1 Kupalı Anemometreler	32
Şekil 3.2 Ultrasonik Anemometre	33
Şekil 3.3 Ultrasonik Anemometre	34
Şekil 3.4 Uskur Çark (pervane) Anemometre ve Rüzgâr Yönü	35
Şekil 3.5 Anemograf	36
Şekil 4.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinde Kanat Şekilleri	41
Şekil 4.2 Yatay Eksenli Sistem	41
Şekil 4.3 Düşey Eksenli Rüzgar Türbin Tipleri	42
Şekil 4.4 Düşey Eksenli Sistem	43
Şekil 4.5 Bir Rüzgâr Türbini ve Elemanları	46
Şekil 5.1. Pervane Dönüş Hızı ve Gürültü	61
Şekil 5.2. Farklı RT Mesafe ve Gürültü Seviyesi	61
Şekil 5.3 AB Ülkelerinde Kuş Ölümleri	64
Şekil 5.4 Amerika Birleşik Devleti'nde Kuş Ölümleri	65
Şekil 6.1 Teknik ve Efektif Su Çıkışı	70
Şekil 6.2 Sistemdeki Enerji Kayıpları	71
Şekil 6.3 Rüzgâr Su Çekme Sistemindeki Genel Tasarım	72
Şekil 6.4 Rüzgâr Güneş Hibrid Sistemi	81
Şekil 7.1 Türkiye Rüzgâr Atlası	85
Şekil 7.2 Farklı Seviyelerdeki Rüzgâr Sınıfları	87
Şekil 7.3 Dünya Genelinde 2009 – 2013 Yılları Arası Beklenen Durum	89
Şekil 8.1 Eskişehir İli Haritası	90
Şekil 8.2 Kütahya İli Haritası	92
Şekil 8.3 Bilecik İli Haritası	94
Şekil 8.4 2003 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları	96
Şekil 8.5 2004 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları	97

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil 8.6 2005 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları	97
Şekil 8.7 2003 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları	98
Şekil 9.1 Rüzgar Türbini Güç Eğrisi Grafiği	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 - Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri.....	3
Çizelge 1.2 - Dünya Fosil Yakıt Rezervleri	3
Çizelge 1.3 - Petrol Üretimi–İthalatı–Talebi	5
Çizelge 1.4 - Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri.....	9
Çizelge 1.5 - Yıllık Dünya Yenilenebilir Enerji Doğal Potansiyeli	10
Çizelge 1.6 - Dünya Hidrolik Enerji Üretimleri.....	11
Çizelge 2.1 - Atmosferik Hareketlerin Zaman ve Alan Ölçeği	21
Çizelge 2.2 - Beaufort Skalası.....	27
Çizelge 4.1 - Rüzgar Hızına Göre Türbin Güçleri	45
Çizelge 5.1 - Göbek (Hub) Yüksekliği ve dB Olarak Üretilen Ses Şiddeti	59
Çizelge 5.2 - Gürültü Seviyeleri.....	62
Çizelge 5.3 - AB ülkeleri Anket Sonuçları.....	67
Çizelge.5.4 - Birim kWh Başına Emisyon Miktarı	68
Çizelge 6.1 - Yüzey Pürüzlülük Uzunluğu.....	74
Çizelge 6.2 - Hava Yoğunluğu Değerleri.....	75
Çizelge 6.3 - k ve Enerji Patern Faktörü	75
Çizelge 6.4 - Rüzgâr Su Çekme Sistemi İçin Pervane Çapı.....	77
Çizelge 7.1 - Ülkemizin Kurulu Güç Dağılımı ve Yüzdesi.....	83
Çizelge 7.2 Ülkemizin Kurulu Gücünün Kuruluşlara Göre Dağılımı ve Yüzdesi	84
Çizelge 8.1 Rüzgar Hızına Göre Türbin Güçleri.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
D	Pervane çapı (m)
dB	Desibell
E	Gerekli hidrolik enerji (joule)
EPF	Enerji patern faktörü
f	enlemin fonksiyonu olan coriolis parametresi($f=2 \omega \sin\phi$)
g	Yerçekimi kuvveti ($9,81 \text{ m/s}^2$)
H	Toplam pompa yüksekliği (m)
P	Ortalama aylık rüzgâr gücü (w/m^3)
Q	Su ihtiyacı ($\text{m}^3/\text{gün}$)
s	Anemometre rotorunun anlık rotasyon hızı
u	Anlık rüzgar bileşeni
v	Yatay rüzgar bileşeni
w	Düşey rüzgar bileşeni
V	Tasarım rüzgâr hızıdır.(m/s)
V_g	Yatay hız alanı
V_z	Sistemin kurulacağı yerdeki yükseklikteki hız (m/s)
V_{zr}	Referans anemometre rüzgâr hızı (m/s)
z	Kurulacak sistem boyu (m)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

z_0	Sistemin kurulacağı yerin pürüzlülük uzunluğu (m)
Z_{0r}	Referans ölçümün yapıldığı yerin pürüzlülük uzunluğu (m)
η	Sistem verimi
φ	Enlem
ω	Dünyanın açısal hızı (7.269×10^5)
ρ	yoğunluk

Kısaltmalar

Açıklamalar

BAE	Birleşik Arap Emirlikleri
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
cm	Santimetre
dk	Dakika
DMİ	Devlet Meteoroloji İşletmeleri
E	East (Doğu)
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EPDK	Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
HES	Hidroelektrik Santral
kcal	kilo kalori

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

L _w	Kaynak güç seviyesi
ln	Doğal logaritma
log	logaritma
m	Metre
mm	Milimetre
MW	Mega Watt
NE	North East (Kuzey doğu)
OECD	Organization for economic co-operation and development
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RT	Rüzgâr Türbini
SG	Spherical Graphite
SODAR	Sound Detection And Ranging
SSCB	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
SW	South West (Güney batı)
TW	Tera Watt
TWh	Tera Watt saat
vb.	Ve benzerleri
W	West (Batı)
WECO	Wind Energy Production in Cold Climates

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

WMO World Meteorology Organization

GİRİŞ

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin en başta gelen sorunları arasındadır. Özellikle de elektrik enerjisi, insan hayatında tartışmasız bir öneme sahiptir. Bunun en önemli nedenleri nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi olarak gösterilir. Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı, bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Dünya bilinçsizce seçilen, kullanılan enerji kaynakları sebebiyle hızla kirlenmekte ve dünya üzerindeki yaşam olumsuz etkilenmektedir. Fosil yakıtların kısa bir dönemde tükenmesi ve bir süre sonra bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Son yıllarda bütün ülkeler yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesine özen göstermektedir. Sayıca artan bilinçli uygulamalarda temiz enerjinin çevre üzerindeki olumlu etkilerini açıkça göstermektedir.

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

BÖLÜM 1

ENERJİ

1.1 Enerjinin Tanımı

Üretilmeyen ve sadece 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.

Enerji kullanımı ise, buhar makinelerinin bulunması ile 17. Yüzyıldan itibaren ülkelerin gündemine girmiştir ve etkinliğini hızla artırarak sürdürmektedir. 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 Amerika Birleşik Devleti’nde bir kişinin tükettiği enerjiyi, 3 Fransız/İtalyan/Japon, 4 İspanyol, 7 Türk, 13 Çinli, 35 Hintli, 38 Pakistanlı tüketmektedir (Şen Ç, 2003, s.4). Şu anda yaklaşık 6,7 milyar olan dünya nüfusunun 2012 yılında 7–8 milyar civarına ulaşması bekleniyor (Amerikan Nüfusu Bürosu, www.referansgazetesi.com, 2009). Bununla beraber insanların yaşam düzeylerini sürekli yükseltmeleri, dünyanın enerji gereksinimini de sürekli artırmaktadır.

1.2 Enerji Kaynakları

Enerji, değişik kriterlere göre sınıflandırılrsa da, en genel haliyle 7 grupta incelenmektedir. Bu gruplar; mekanik (kinetik ve potansiyel) enerji, ısı (termik) enerji, kimyasal enerji, elektrik enerjisi, ışın enerjisi, atom (çekirdek) enerjisi ve birleşme (fizyon) enerjisidir. Fakat tükenebilirliğine göre incelenecek olursa; tükenebilen enerji ve yenilenebilir enerji olmak üzere iki grupta toplanabilir. (Çizelge 1.1)

Çizelge 1.1 –Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri (Şen Ç, 2003, s.5)

TÜKENEBİLİRLİĞİNE GÖRE ENERJİ TÜRLERİ	
Tükenebilen Enerji	Yenilenebilir Enerji
Kömür, linyit, petrol, doğalgaz, atom (uranyum) gibi kaynaklardan elde edilen enerji	Su (hidrolik), güneş, rüzgâr, jeotermal, biyomas, gel-git olayı gibi kaynaklardan elde edilen enerji
Çevreyi kirletir ve dünyanın var olma süresinde tükenirler.	Çevre dostudurlar ve dünya var oldukça tükenmezler.

1.2.1 Tükenebilen Enerji Kaynakları

Tükenebilen enerji kaynakları, günün birinde kısmen veya tamamen yok olan, biten kaynaklardır. Bu tip enerjiyi sağlayan kaynaklar; petrol, taş kömürü, linyit, doğalgaz, odun ve atomdur (uranyum).

Çizelge 1.2–Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (Şen Ç, 2003, s.6)

BÖLGE	Taşkömürü (Milyar Ton)	Linyit (Milyar Ton)	Petrol (Milyar Ton)	Doğal Gaz (Trilyon m3)
Kuzey Amerika	117.177	132.006	5	7,4
Latin Amerika	6900	4530	17,5	7,3
OECD Üyesi Avrupa	29.333	67591	2,2	5,3
OECD Dışı Avrupa	136.167	179.282	8,1	55,6
Orta Doğu	193	-	89,5	43,1
Afrika	60811	1267	8,3	9,7
Asya ve Okyanusya	170.832	133.093	5,9	9,5
Toplam Dünya	521.413	517.769	136,5	137,9

Sözü edilen bu farklı kaynakların bölgelere göre miktarları da oldukça farklı değerler almaktadır. (Çizelge 1.2)

1.2.1.1 Taşkömürü ve Linyit

Kömür, dünyada en büyük rezerve sahip fosil yakıt türüdür. Günümüzde ürettikleri toplam enerjinin, Amerika Birleşik Devleti %80, İngiltere %70, Rusya %50 ve Ortak Pazar Ülkeleri ise %40'ını, kömürden elde etmektedirler (Şen Ç, 2003, s.6). Dünya konvansiyonel enerji varlığının en büyük bölümü taşkömürüdür. 1992 yılında dünya genelinde 3178,8 milyon ton taşkömürü, 1308,1 milyon ton linyit çıkarılmıştır. Dünyanın en önemli taşkömürü rezervleri Çin'dedir. Dolayısıyla, en büyük taş kömürü üreticisi ülkelerin başında %32,1 ile Çin gelmektedir. Bu ülkeyi sırasıyla %19,1 ile Amerika Birleşik Devleti ve %6,8 ile Rusya takip etmektedir. En büyük linyit rezervleri ise Rusya'da bulunmaktadır. Ancak, linyit üretiminde %22,5 ile Amerika Birleşik Devleti birinci, %18,5 ile Almanya ikinci ve Rusya %9 ile üçüncüdür. Günümüzde kanıtlanmış değeri ile dünya taş kömürü rezervi 519,4 Gt, linyit rezervi 512,2 Gt'dur (Şen Ç, 2003, s.6).

Türkiye'nin en büyük kömür havzası Zonguldak yöresinde yer almaktadır. Ayrıca Antalya–Kemer, Diyarbakır–Hazro yörelerinde de önemsiz iki taş kömürü yatağı bulunmaktadır. Türkiye'nin toplam taş kömürü rezervi, 112.654.800 tondur (Şen Ç, 2003, s.6). Türkiye'nin linyit rezervi ise, 8.374.373.000 tondur. Bu rezervin 3,3 milyar tonu Elbistan havzasındadır. Linyit rezervlerinin kalori değerleri 700–5574 kcal/kg arasında değişmektedir. Üretilen 58,3 milyon ton linyitin 42,4 milyon tonu, yani %72'sinin kalori değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanılmıştır. Türkiye'de, linyite dayalı elektrik üretimi yapan santrallerin toplam gücü yaklaşık 6000 MW'dır (Şen Ç, 2003, s.7).

1.2.1.2 Petrol

Enerji üretimi dünyada hızla artmaktadır ve bu üretimin yaklaşık %45'i petrolden karşılanmaktadır. 1991 yılında 135,4 milyar ton olarak saptanan Dünya petrol rezervleri, 1992 yılında 1,1 milyar ton artarak 136,5 milyar tona yükselmiştir. Bunun

sonucu olarak, 1992 yılında 1991 yılına göre petrol rezervlerindeki %0,8'lik artış ile üretimdeki % 0,9'luk artışın birbirini dengelemesiyle rezervlerin ömrü az bir düşüşle 43,4 yıldan 43,1 yıla düşmüştür (Şen Ç, 2003, s.7). Günümüzde kanıtlanmış petrol rezervi 140,9 milyar ton civarındadır. 1990 yılı istatistiklerine göre, dünya petrol üretiminin %40'ndan fazla bir kısmını Orta Doğu ülkeleri üretmektedir. Bu ülkeleri, %19,1 ile eski SSCB ülkeleri izlemektedir. Çin, İran, Amerika Birleşik Devleti, Meksika, Venezüella ve İngiltere de diğer belli başlı üreticilerdir (Şen Ç, 2003, s.7). Çizelge 1.2'de de açıkça görüldüğü üzere; petrol coğrafi bakımdan düzgün bir dağılım sergilemediğinden 20. yüzyılın başından beri petrol, bunu üreten ülkelerde politik bir silah olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1.3–Petrol Üretimi–İthalatı–Talebi (www.enerji.gov.tr, 2009).

Petrol							
	Yerli Üretim		İthalat		Toplam Petrol Talebi		Toplam Talepteki Payı %
	Milyon Ton	Milyon Tep	Milyon Ton	Milyon Tep	Milyon Ton	Milyon Tep	
1996	3,5	3,6	26,1	27,3	29,6	30,9	45,5
1998	3,1	3,2	29,6	30,4	32,7	33,6	44
1999	2,9	3,1	32,6	32,4	34,5	35,5	43
2000	2,7	2,9	34,6	35,5	37,3	38,4	42
2005	1,8	1,9	40,1	41,3	41,9	43,2	36
2010	1,1	1,2	50,9	52,3	52,0	53,5	32
2015	0,7	0,8	62,5	64,3	63,3	65,1	28
2020	0,5	0,5	75,4	77,4	75,9	77,9	25

1991 yılında çıkan Körfez Savaşı ve günümüze kadar gelişen olaylar bunun en büyük ispatıdır. Türkiye’de ise, petrol, uzun yıllardan bu yana enerji ithalatında en önemli yeri tutmuştur ve önümüzdeki yıllarda da önemini koruyacağı açıktır.

Türkiye'nin yıllık petrol üretimi 1991 yılında 4,45 milyon ton seviyesindeyken, o yıldan günümüze gelene kadar 2,7 milyon tona gerilemiştir. Öbür yandan petrol tüketimi 1996 yılında 28,3 milyon ton seviyesinde iken, her yıl giderek artmaktadır. Aradaki bu fark, 8 ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Yeni sahalar keşfedilmediği takdirde, 2020 yılına kadar olan petrol üretim ve talep miktarı Çizelge 1.3'te verilmiştir. Ham petrol ithalatı başta Suudi Arabistan olmak üzere İran, Libya, Rusya, Cezayir, Suriye gibi ülkelerden yapılmaktadır. Petrolün toplam enerji üretimi içindeki payı %14'tür.

1.2.1.3 Doğalgaz

Doğalgaz, uzun yıllardır insanlığın hizmetindedir. Bunun yanında gelişen sanayinin ve buna bağlı olarak artan fosil yakıtlarının sebep olduğu çevre sorunları ve atmosfer kirliliğinin temiz yakıt arayışlarını zorunlu hale getirmesiyle doğalgaz son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Çünkü doğalgaz, tükenebilen ama bunun yanında temiz bir yakıt türüdür. Artan dünya enerji talebinin %20'si doğalgaz tarafından karşılanmaktadır. Çizelge 1.2'de de görüldüğü gibi, 1992 yılı toplam doğalgaz rezervi 137,9 trilyon m³'tür. Bu rezervlerin büyük çoğunluğu, %39,8 ile eski SSCB ülkelerindedir. Bunu %14,3 ile İran takip etmektedir. Diğer doğalgaz üreticileri BAE, Amerika Birleşik Devleti, Suudi Arabistan, Katar, Cezayir, Venezüella, Kanada, Nijerya, Endonezya ve Libya'dır (Şen Ç, 2003, s.9). Günümüzde dünya genelindeki doğalgaz rezervi 144,8 trilyon m³'tür. Eğer 1992 yılı üretim/tüketim seviyesi göz önüne alınırsa; tüm dünyada kömür rezervi 232 yıl, petrol rezervi 43 yıl, doğalgaz rezervi ise 65 yıl kadar daha dünya talebini karşılayacak durumdadır (www.wind-energie.de).

Türkiye'de ise, 1996 yılı doğalgaz üretimi 205 milyon m³ olarak gerçekleşmiştir. Bu, Türkiye ihtiyacının %2,6'sıdır ve doğalgaz üretimi de petrol üretimi gibi hızla azalmaktadır. Yerli üretimin yetersiz olmasından dolayı, 1987 yılından itibaren Rusya Federasyonu'ndan ve sonraki yıllarda da Cezayir, İran gibi ülkelerden doğalgaz ithalatına başlanmıştır. Yapılan bu ithalat miktarı, devamlı olarak artmaktadır. 1996 yılında doğalgazın %39,7'si elektrik üretiminde kullanılırken geri kalanı sanayi, ısınma

ve diğler amaçlar için kullanılmıştır. Doğalgaz tüketiminin 2005 yılında 33 milyar m³/yıl'a, 2020 yılında ise 64 milyar m³/yıl'a ulaşması beklenmektedir. Elektrik sektörünün, doğalgaz tüketimindeki payının da hızla artarak %65 olacağı tahmin edilmektedir.

1.2.1.4 Atom Enerjisi

Tüklenen 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 Amerika Birleşik Devleti'nde, 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 (Şen Ç, 2003, s.10).

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 diğler 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).

1.2.1.5 Odun

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.

1.2.2 Tükenmeyen Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendisini dünya var oldukça yenileyen, yani tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Gelişen sanayi, nüfus artışı, sınırlı olan doğal kaynakların ziyan edilmeden ve zarar verilmeden kullanımı; insanoğlunun gündeminde artık en üst sıraları 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 azot oksit gibi gazların atmosfere salınımı ile 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 (Şen Ç, 2003, s.11).

Çizelge 1.4 – Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri (Şen Ç, 2003, s.12).

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 Hareketi	Rüzgar Enerji Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
		Dalga Hareketi	Dalga Enerji Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Güneş Işınları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompaları	Isı Enerjisi
		Güneş Işınları	Kolektörler	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

Yenilenebilir enerji kaynakları enerjinin ana kaynağına göre, güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak üç grupta incelenebilir (Çizelge 1.4). Çizelge 1.5'te de çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık potansiyelleri belirtilmiştir.

Çizelge 1.5 – Yıllık Dünya Yenilenebilir Enerji Doğal Potansiyeli (Şen Ç, 2003, s.12).

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

1.2.2.1 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerjiden elektrik enerjisi eldesi, barajlarda biriktirilen suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak olur. Baraj göllerinde biriktirilen suyun potansiyel enerjisi, dev türbinlerden geçirilerek, mekanik enerjiye oradan da elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidrolik enerjinin günümüzde dünyadaki en güvenilir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir. Belirlenmiş teknik hidrolik potansiyel 13.974 milyar kWh/yıl'dır. 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.

Türkiye'nin enerji üretiminde kullanılacak 26 havzası vardır. Bu havzaların enerji potansiyeli, önemli ölçüde değerlendirilmiştir. Mevcut enerji üretiminin %34,3'ünü hidroelektrik santraller (HES) sağlamaktadır. Dünyadaki HES'lerle mukayese edildiğinde, Atatürk HES'i 2400 MW kurulu gücü ile 23. sırada, Karakaya HES 1800 MW kurulu gücü ile 37. sırada yer almaktadır. 2020 yılı sonunda, hidroelektrik enerji üretiminin yeni kurulacak santrallerle 10.000 MW'tan 20.000

MW'a yükseleceği düşünülmektedir (Şen Ç, 2003, s.13). Bu enerjinin en büyük sorunu, Türkiye'de de olduğu gibi, üretim bölgesinin, tüketim bölgesine olan uzaklığıdır. Ancak, yenilenebilir ve güvenilir bir enerji olması önemini korumasına yardımcı olur.

Çizelge 1.6 – Dünya Hidrolik Enerji Üretimleri (Şen Ç, 2003, s.14).

BÖLGE	1990 Yılı Tüketimleri Milyon TEP	1991 Yılı Tüketimleri Milyon TEP	1992 Yılı Tüketimleri Milyon TEP
Kuzey Amerika	50,2	52,7	50,5
Latin Amerika	30,7	32,5	33,6
OECD Üyesi Avrupa	34,7	36,5	38,1
OECD Dışı Avrupa	24,7	24,7	23,0
Orta Doğu	1,2	1,1	1,2
Afrika	5,9	6,2	6,2
Asya ve Okyanusya	35,7	37,1	36,0
Toplam Dünya	183,1	190,8	188,6

1.2.2.2 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları atmosfer sıcaklığının üstünde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineraller içeren sıcak su, buhar ve/veya gazlardan elde edilen enerji olarak tanımlanır. Günümüzde, dünyanın birçok yerinde jeotermal enerji ile şehir, ev ve seraların ısıtılması sağlanmaktadır. Dünyada bu konudaki ilk uygulama Amerika Birleşik Devleti'nde yapılmıştır. Bugün dünyada bu enerji ile ısıtılan ev sayısı 1.000.000'u aşmıştır. Elektrik elde edilmesinde jeotermal enerji, ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca termal tedavi merkezlerinde, yiyeceklerin ve

kerestelerin kurutulmasında, sterilizasyon işlemlerinde, konservecilikte ve ağaç kaplama sanayi tesislerinde de yerini almaktadır.

Jeotermal enerjinin kullanımı, İkinci Dünya Savaşı'ndan 1978 yılına kadar %7,5 ortalama hızıyla artarken; bu oran, söz konusu yıl yaşanan 2. Petrol Krizi'nden sonra büyük bir artış göstererek %17,2 yükselmiştir. Türkiye, jeotermal enerji yönünden şanslı ülkeler arasında yer almaktadır. Sıcaklığı yer yer 100 °C'ye varan 600'den fazla sıcak su kaynağının varlığı, Türkiye'nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Ölçülen en yüksek rezervuar sıcaklığı 230°C ile Germencik'tedir. Bu sahalarda sondaja dayalı elektrik üretimine uygun potansiyel 200 MW dolayındadır. Bu potansiyele rağmen, ülke genelindeki tek santral, Denizli-Kızıldere'de olup, 20 MW kurulu güce sahiptir. Bu santralin verimi ise, teknik nedenlerden dolayı %75 civarındadır. (Şen Ç, 2003, s.14)

1.2.2.3 Güneş Enerjisi

Günümüz koşullarında yoğun bir şekilde kullanıldığından, birincil enerji kaynaklarının giderek azalması ve diğer enerji kaynaklarının üretim, taşınım sorunu olması, bu sorunları taşımayan temiz ve sonsuz enerji kaynağı olan güneş enerjisinin önemini ortaya çıkarmıştır.

Güneşin Dünya'ya ışınım yolu ile aktardığı güç 178.000 TW (milyar kilowatt)'dır. Ancak, bu gücün 62.000 TW'lık bölümü Dünya yüzeyinden yansımakta, 76.000 TW'lık bölümü ise, Dünya'dan uzaya yayılmaktadır. Güneş enerjisi, kollektörler ve ısı pompaları yardımıyla ısı enerjisine, güneş pilleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Şimdilik güneş pilleri elektrik şebekesinin olmadığı yangın söndürme kulelerinde, radyolink, TV ve cep telefonu baz istasyonu aktarıcılarında, deniz fenerlerinde vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devleti Kaliforniya'da kurulmuş olan LUZ güneş elektrik sistemleri, bilinen en büyük uygulamadır. 13 üniteden oluşan bu sistemin toplam

kapasitesi 674 MW'tır. Güneş pillerinin verimleri, sistem bazında henüz %15'ten yukarı çıkartılamamıştır. Bugün bu pillerin fiyatları 5–6 \$/W'a düşmüş durumdadır. Türkiye'de ise güneş enerjisi, daha çok termal ısıtma amacıyla kullanılır. Düzlemsel güneş kollektörleri, ticari ortama girmiş olup Türkiye'de bugün 2,5 milyon m² güneş kollektörü kullanıldığı tahmin edilmektedir. Buna her yıl 350.000–400.000 m² kollektör ilave olmaktadır.

1.2.2.4 Biyomas Enerjisi

Son yıllarda biyomas enerjisi yardımıyla yani hayvansal, bitkisel atıkların ve çöplerin değerlendirilmesi sonucunda elektrik enerjisi elde edilmesi, dünyanın birçok ülkesinde yaygın hale gelmektedir. Çağdaş ve klasik olmak üzere, iki grupta incelenir. Klasik yöntemde, ormanlardan elde edilen odun, bitki, hayvan atıkları yakacak olarak kullanılır. Çağdaş yöntemde ise, ağaç endüstrisi, enerji tarımı, hayvansal atıklar ve kentsel atıklar kullanılır. Çöplerin depolanması sonucunda elde edilen ve “landfill” gaz olarak adlandırılan çöp gazı, %60 oranında metan ihtiva eden önemli bir enerji kaynağıdır. Kuzey ülkelerinde, Pakistan'da, Tayland'da, Malezya'da vb. birçok ülkede çöp santralleri vardır. Ayrıca Hollanda'nın Amsterdam şehrinde günlük yakma kapasitesi 3000 ton olan her biri 45 MW gücünde iki adet santral vardır. Amerika Birleşik Devleti elektrik üretiminin %4'ünü, İsveç %14'ünü, Avustralya ise %10'unu biyomas kaynaklı enerji tesislerinden sağlar. 21. yüzyıl için bu oranların dünya elektrik üretiminin %10'una ulaşacağı tahmin edilmektedir. Son yıllarda, Türkiye'de de yurtdışındaki uygulamalara benzer olarak bazı belediyelerde şehir çöplerinin değerlendirilmesi amacıyla çöp santralleri tesis etmek için çalışmalara başlamıştır. Yap–İşlet–Devret modeli ile yapılmak istenen toplam 86, 25 MW gücünde beş adet çöp santrali projesi vardır. İzmit Belediyesi'nin bir çöp santrali de devreye girmiştir.

1.2.2.5 Dalga ve Gel–Git Enerjisi

Denizlerdeki ve okyanuslardaki faydalanılabilir enerji; dalga ve gel–git enerjisidir. Bu enerji yenilenebilir ve temiz bir enerjidir. Son yıllarda özellikle Amerika Birleşik

Devleti, Japonya, İngiltere ve Norveç kıyılarında çokça kullanılmaktadır. Rüzgâr, denizdeki hareketli taşıklar, denizlerin altındaki depremler veya ay ve çekim kuvveti gibi dış etkenler sonucunda dengesi bozulan deniz yüzeyinin tekrar eski denge konumuna dönmek için yaptığı hareketlere; deniz dalgaları denir. Gel-git santralleri; bu olayın meydana geldiği kıyılara kurulur ve çift taraflı çalışan türbinler yardımıyla elektrik elde edilmesi prensibiyle çalışır. Rüzgâr hareketleriyle oluşan deniz dalgaları, diğer nedenlerle oluşan dalgalardan daha sürekli dir. Dalga enerjisi santralleri ise, kıyılara ve açık denizlere kurulabilir. Bu sistemler deniz tabanına yerleştirileceği gibi su yüzeyine de yüzer olarak kurulabilir. Dünyada kurulu sistemlerde, küçük sistemler için birim dalga cephesi başına güç 10–20 kW/m olurken geliştirilmiş sistemlerde güç 40 kW/m gibi bir değere çıkmaktadır. Türkiye’de gel-git santrallerinin kurulabileceği herhangi bir kıyı mevcut değildir. Dalga enerjisinden de, henüz yararlanılmamaktadır.

1.2.2.6 Rüzgâr Enerjisi

Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi özdeş ısıtmamasından oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgârı oluşturur. Rüzgâr enerjisi ise; değişime uğramış güneş enerjisi olarak tanımlanabilir. Rüzgâr enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi, insanlığın gelecekte büyük ölçekte kullanmayı tasarladığı, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Yeni enerji kaynakları arayışı çalışmalarında öncelikli bir yeri vardır. Bunun nedeni tükenmez, temiz ve ekonomik olmasıdır. Özellikle sanayinin devamını sağlamak için; yeni enerji kaynaklarından ucuz ve bol olan rüzgâr enerjisine yönelinmektedir. Devamlı mevcudiyeti mümkün olmamakla birlikte, yapılan hesaplar sonucunda rüzgâr enerjisi potansiyelinin hidroelektrik kaynaklara göre 15–20 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Tüm dünyada rüzgâr enerjisinden yararlanma ve elektrik üretimi son yıllarda oldukça artmıştır. Bunun sonucu olarak, artan pazar payı ile işletme maliyeti bugün itibari ile kWh başına 3 cente kadar inmiştir. Batı Avrupa ülkelerinin hemen hemen tamamı, elektrik üretimi alanında rüzgâr enerjisinden yararlanmaktadır. Sadece Amerika Birleşik Devleti’nde rüzgâr enerjisi kurulu gücü 4250 MW’ı geçmiştir. Tüm Avrupa da ise kurulu güç 20447 MW’dır (www.ewea.org). Türkiye’de de mevcut planlama çalışmalarında rüzgâr santralleri gündeme gelmiştir. Enerji ve Tabii

Kaynaklar Bakanlığı'na yap-işlet-devret modeli çerçevesinde toplam 3750–4100 MW civarında 37 adet başvuru olmuştur. Ülkemizde şu anda 19 MW Kurulu güç bulunmaktadır. Özetle; Rüzgâr 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.

Elektrik Enerjisi

Ülkemizin elektrik enerjisi talebinde ortalama %7,5 oranında hızlı bir artış eğilimi vardır. 2007 yılında 191,5 TWh olarak gerçekleşen elektrik enerjisi üretimimizin, 2020 yılında yüksek senaryoya göre yıllık yaklaşık %7,7 artışla 499 TWh'e, düşük talep senaryosuna göre ise yıllık ortalama %5,96 artışla 406 TWh'e ulaşacağı beklenmektedir. 2008 yılı itibariyle kurulu gücümüz 41.987 MW, elektrik tüketimimiz ise 198,4 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2008 yılında elektrik üretimimiz, %48,17 pay ile doğal gaz, %28,98 pay ile kömür, %16,77 pay ile hidroelektrik olmak üzere üç ana kaynaktan temin edilmiştir. Son yıllarda yaşanan kuraklıklar hidroelektrik santrallerinden beklenen katkının sağlanamamasına neden olmuştur.

2004 yılında hidroelektrik santrallerinden 46 milyar kWh üretim yapılmıştır. Oysa 2004–2008 döneminde 600 MW gücünde yeni hidroelektrik santral işletmeye alınmış olmasına karşın, 2008 yılında hidroelektrik üretimimiz 33 milyar kWh düzeyinde kalacaktır. Artan elektrik talebini karşılamak üzere, mevcut kurulu gücümüzün 2020 yılına kadar olan dönemde en az iki katına çıkartılması gerekmektedir. 2003 yılı başından 2008 yılı sonuna kadar olan sürede yaklaşık olarak 2.636 MW Kamu, 3.809 MW Yap-İşlet ve Yap-İşlet-Devret, 4.116 MW Özel olmak üzere toplam 10.561 MW kurulu güç devreye girmiştir. Elektrik piyasasının serbestleştirilmesi hedefi doğrultusunda, 4628 sayılı Kanunla yeni üretim yatırımlarının özel sektör tarafından yapılması öngörülmüştür. 2002-2008 yılları arasında lisans almış olan toplam 36000 MW gücünde projenin önemli bir bölümünün yatırımına başlamış olup, lisanslı bu yatırımlardan yaklaşık 15000 MW gücünde yeni kapasitenin 2015 yılına kadar olan dönemde işletmeye girmesi beklenmektedir.

Bu çalışmalar sonucunda elektrik sektöründe rekabeti esas alan şeffaf bir piyasanın oluşturulması ve bu suretle yatırım ortamının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. (www.enerji.gov.tr, 2009)

Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgâr olacaktır. Rüzgâr güneş enerjisinin bir dolaylı ürünüdür. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık % 2 kadarı rüzgâr enerjisine çevrilir. Dünya yüzeyi düzensiz bir şekilde ısınır ve soğur, bunun sonucu atmosferik basınç alanları oluşur, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına hava akışı yapar.

Bir tropikal ada üzerindeki rüzgârlar (ticaret rüzgâr) gündüz ve gece boyunca hemen hemen sabit bir rüzgâr akışı sağlayarak oldukça bağımlıdır. Ne yazık ki, dünyanın her bölgesinde ticaret rüzgârları yoktur ve hava sistemleri her bir kaç gün süresinde hareket eder. Rüzgâr hızında, durgun bir havadan bir fırtınaya kadar çok farklı değişimler vardır. Elektrik enerjisi kullanımı zamana bağlı olduğu için rüzgârdaki günlük ve mevsimsel değişimler önemli bir göstergedir. Coğrafya ve rüzgâr; eğer tüm arazi düz ve pürüzsüz olsa idi, bir yerden diğerine rüzgâr değişimi çok küçük olurdu. Tepelerin, vadilerin, akarsu vadilerinin, göllerin katılması ile bir karmaşık ve değişken rüzgâr rejimi oluşur. Küçük ölçeklerde ağaçlar ve binalar da bu karmaşıklığa ilave edilir.

Tepeler, platolar ve uçurumlar bir rüzgâr türbini için yüksek rüzgâr hızı bulunabilecek yerlerdir. Daha alçak ve kapalı olan vadilerde rüzgâr hızı düşük olur. Bununla beraber, tüm vadilerde rüzgâr hızının düşük olması zorunlu değildir. Rüzgâr akışına paralel olduklarında vadiler kanal gibi davranabilir ve rüzgâr kaynağını artırabilir. Vadideki bir daralma dar bir alanda havayı hunileyerek rüzgâr akışını daha da kuvvetlendirebilir. Bu genellikle rüzgâra bakan dar dağ geçitlerinde olur. Yakınındaki tepe üstleri rüzgârlı olsa bile vadiler genellikle geceleri sakindir. Soğuk ve

ağır hava tepelerden aşağıya doğru akar ve vadilerde toplanır. Bunun üzerindeki bir seviyede soğuk havanın sonuç katmanı genel rüzgâr akışından atılarak alçak arazilerde sakin durum oluşur. Bunun sonucu olarak, bir tepeye kurulan bir rüzgâr türbini, daha alçak seviyeli bir yere kurulan rüzgâr türbini çalışmazken, tüm gece boyunca güç üretebilir. Bu durum daha çok etrafına göre en az birkaç yüz feet yüksekliği olan yüksek arazilerde olur. (<http://www.eie.gov.tr>, 2009)

Yüksek arazi özellikleri rüzgâr akışını hızlandırabilir. Yaklaşan bir hava kütle si zirveyi aşarken genellikle ince bir tabaka içine sıkıştırılır, bunun sonucu hızı artar. Bir sırt üzerinde, rüzgâr sırt hattına dik estiği zaman en büyük hız oluşur. İzole tepeler ve dağlar rüzgârları sırtlara göre daha az hızlandırır, çünkü daha fazla hava yanlara akışa meyleder. Yüksek rüzgâr türbülansı olmasından dolayı yüksek arazilerin downward tarafından sakınılmalıdır.

Büyük su kütlelerine yakın kara alanları iki nedenden dolayı iyi rüzgârlı alanlar olabilir. İlk olarak, bir su yüzeyi bir kara yüzeyine göre çok daha düzgündür, bu nedenle su üzerinde akan hava daha az sürtünmeye tabidir. Hakim rüzgâr yönünün sahile doğru olduğu sahil şeridi en iyi rüzgâr alanıdır. İkinci, güneşli ir yaz gününde olduğu gibi, bölgesel rüzgâr hafif olduğu zaman, deniz veya göl meltemi olarak bilinen yerel rüzgârlar oluşur, çünkü kara ve deniz ısınmaları farklı oranlardadır. Karalar suya göre çok daha çabuk ısındığı için, kara üzerindeki ısınan ve yükselen havanın yerine su üzerindeki soğuk hava gelir. Bu şekilde denizden karaya 8 ile 12 mph veya üzeri hızında meltem oluşur. Geceleri kara çok daha çabuk soğuduğu için meltem durur veya ters yönde eser. Yüzey Pürüzlülüğü; üzerinde estiği yüzey rüzgârın hızını etkiler. Ağaçlar ve binalar ile kaplı pürüzlü yüzeyler göl veya açık tarlalar gibi düzgün yüzeylere göre daha fazla sürtünme ve türbülans oluşturacaktır. Sürtünme ne kadar büyükse yere yakın rüzgâr hızı o oranda düşüktür.

Rüzgâr Kullanım Alanları:

1. Elektrik üretme
2. Pilleri şarj etme

3. Su depolama
4. Taşımacılık
5. Su pompalama
6. Tahılların öğütülmesi
7. Soğutma

Enerji üretiminde rüzgâr kaynağının üstünlükleri:

- Temiz
- Bedava
- İklim değişikliği sorununa çözüm
- Hava kirliliği sorununu azaltır
- Enerji güvenliği sağlar
- Enerji arzını çeşitlendirir
- Yakıt ithalini önler
- Yakıt maliyetleri yok
- Ulusal kaynaklar için devletlerarası anlaşmazlıkları önler
- Kırsalda elektrik ağını geliştirir
- İstihdam ve bölgesel kalkınma sağlar
- Fosil yakıtların fiyat değişkenliğinden kaynaklanan karmaşıklığı önler
- Modülerdir ve çabuk kurulur
- İthalat bağımlılığı yok
- Yakıt fiyatı riski yok
- Karbon emisyonu yok
- Kaynak tükenmesi yok – küresel rüzgâr kaynağı küresel enerji talebinden daha büyük
- Arazi dostu – rüzgâr santrali içinde veya etrafında tarım/sanayi faaliyetleri yapılabilir
- Uygulama esnekliği – büyük ölçekli ticari santraller veya ev tipi uygulamalar mümkün
- Ulusal yarar – Geleneksel yakıtların aksine, enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen ve ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı ortadan kaldıran yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır. (<http://www.eie.gov.tr>, 2009),

Ülkemizde Rüzgâr Enerjisi Kullanım Durumu

Yel değirmenlerinin ülkemizde de kullanımı eskilere dayanmaktadır. Örneğin İstanbul Kadıköy’de Yel Değirmeni semtinin adını oradaki çok sayıdaki değirmenden

aldığı tarih kaynaklarında belirtilmektedir. Osmanlı devletinde de Ortaçağ İslam devletlerinde olduğu gibi yel değirmenlerinin kontrolü Muhtesi'lerce yapılırdı. Özellikle Ege ve Marmara Bölgelerinde, yüzyıllar boyu hem tahıl öğütme hem de sulama amacı için yel değirmenleri kullanılmıştır. Avrupa ülkelerinde bulunan birçok yel değirmeni hala kullanılabilir durumda iken; ülkemizin farklı bölgelerindeki yel değirmenleri oldukça kötü durumdadır.

Ülkemizde su çekme amacına yönelik olarak yel değirmenleri ise, özellikle Ege Bölgemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyanın bütün ülkelerinde rüzgâr enerjisi kullanımı eskilere kadar dayanmaktadır. Tahıl öğütme, su çekme amacına yönelik olarak günümüzde ülkemizin birçok yerinde hala kullanılmaktadır. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 Yel değirmeni (<http://www.resimsite.com>)

BÖLÜM 2

RÜZGÂR ENERJİSİ METEOROLOJİSİ

Rüzgârın oluşumu ilk çağlardan bu yana insanların kafasının meşgul etmiştir. Konuyu ilk Aristoteles, “Meteorologica” isimli kitabında anlatmaya çalışmıştır. Meteoroloji biliminin ilk kitabı olan Meteorologica’da anlatılan şeylerin çoğu yanlış olsa da, 17 yüzyıl doğru olarak kabul edilmiştir. Ancak 18. yüzyılda doğrulara kavuşulabilmiştir. İnsanlar rüzgâr ile ilgili 17 yüzyıl yanlış bilgilere sahip olsa da, rüzgâr enerjisinden faydalanmayı bilmiştir. Bilindiği gibi, rüzgârın kaynağı güneştir ve yeryüzünün eşit olmayan ısınması ve soğuması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin etkisiyle oluşan hava hareketidir. Yani, farklı sıcaklık dağılımının yarattığı fiziksel olaylar rüzgâr oluşumuna neden olur. Farklı sıcaklık dağılımını ise enlem, kara–deniz, yükseklik ve mevsimler etkilemektedir. Meteorolojik açıdan rüzgâr aşağıdaki yerlerde oluşabilir.

- Basınç gradyanının (iki nokta arasındaki değişim) yüksek olduğu yerler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler,
- Güçlü jeostrofik rüzgârların etkisi altında kalan bölgeler,
- Kıyı şeritleri,
- Kanal etkilerinin meydana geldiği dağ silsileleri, vadiler ve tepeler.

Rüzgârın oluşumunda topografya ile ilişkisi de çok önemlidir. Örneğin, dağ rüzgârı, vadi rüzgârı, kara ve deniz meltemleri, fön rüzgârları, anabatik–katabatik rüzgârlar bu etkileşimden meydana gelen rüzgârlardır. Topografyanın rüzgâr üzerinde üç önemli etkisi bulunmaktadır. Bunlar, pürüzlülük, orografik ve perdeleme olarak sayılmaktadır.

Orografik etkilerden kasıt, tepeler, sırtlar, basamaklı arazi yapısı, oluk, vadi ve yüksek platoların bulunması sayılabilir. Bu elemanlar, rüzgâr üzerinde ilave bir etkiye sahiptir. Atmosfer de meydana gelen hareket, alan ve zaman ölçeklerine göre hareket

etmekte olup dört farklı kategoride değerlendirilmektedir. Bunlardan en büyüğü, genel sirkülasyondur. Zaman boyutu olarak haftalardan yıllara kadar uzanabilmekte, alan boyutu ise, 1000–40000 km arasında değişmektedir. Ticaret rüzgârları ve jet akımları genel sirkülasyona örnektir. Meteorolojik terminolojide sinoptik ölçek olarak bilinen sistemler günler ile haftalar arasında değişmekte, alan boyutu ise, 100–5000 km arasında değişen ölçektir. Alçak ve yüksek basınç sistemleri tayfunlar ve hurricaneler bu sınıfa girmektedir. Mezo ölçekte görülen ve dakikalar ile günler arasında zaman ölçeğine sahip sistemler 1–100 km arasında etki etmektedir. Kara ve deniz meltemleri, orajlar (thunderstorm) ve tornadolar mezo ölçekli atmosferik hareketlerdir. En küçük ölçek olan mikro ölçek hareketler ise, 1 km'nin altında bir alanda etkili olup, etki süresi saniyeler ile dakikalar arasında değişmektedir. Türbülans, zamansal olarak mikro ölçekli bir harekettir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 - Atmosferik Hareketlerin Zaman ve Alan Ölçeği (Durak M, Özer S,2008,s.31)

Adı	Zaman Ölçeği	Uzunluk	Örnek
Genel Sirkülasyon	Hafta–yıl	1000–40000 km	Ticaret rüzgârları, Jet akımı
Sinoptik Ölçek	Gün–hafta	100–5000 km	Basınç sistemleri, Tayfun
Mezo Ölçek	Dakika–gün	1–100 km	Meltem, Oraj, Tornado
Mikro Ölçek	Saniye–dakika	< 1 km	Türbülans

Dünyada meydana gelen rüzgârları küresel ve yerel rüzgârlar olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür.

2.1 Küresel Rüzgârlar

Rüzgârlar, dünya yüzeyi üzerinde basınç farklılıklarının nedeni olarak ortaya çıkmaktadır. Yeryüzü tarafından emilen güneş radyasyonu miktarı, kutuplara göre ekvator da daha büyüktür. Isıdaki bu farklılık, atmosferin en alt tabakası olan troposferde çeşitli küresel ölçekte sirkülasyonların oluşumuna sebebiyet vermektedir.

Her ne kadar rüzgâr enerjisi uygulamalarında kullanılan yerel rüzgârlar olsa da, dünyanın genel sirkülasyonuna da bakmakta fayda vardır. Küresel ölçekte meydana gelen rüzgârlara atmosferin genel sirkülasyonu da denir. Atmosferik sirkülasyonu başlatan mekanizma da, dünya yüzeyinin homojen olmayan ısınmasıdır.

2.2 Yerel Rüzgârlar

Küresel ölçekte rüzgârlar incelendikten sonra yerel olarak oluşan rüzgârın incelenmesi gerekmektedir. Rüzgâr enerjisi uygulamalarında kullanılan rüzgârlar yerel rüzgârlardır. Genellikle kara–deniz etkileşimi, gündüz–gece değişimleri, topografik yapı, kanal etkisi gibi sebeplerden ortaya çıkar.

2.2.1 Ülkemizi Etkileyen Hava Kuvvetleri

Hava kütlesi (air mass), büyük uniform (özellikleri her yerde aynı) yüzey üzerinde bu yüzeyle denge durumuna erişinceye kadar kalan yatay doğrultuda özellikle sıcaklık ve nem bakımından homojen olan büyük hava parçalarıdır. Türkiye soğuk aylarda kutuplardan gelen kutupsal, sıcak aylarda ise, tropiklerden gelen tropikal hava kütlelerinin etkisi altındadır. (Durak M, Özer S,2008, s.36)

2.2.2 Ülkemizde Esen Yerel Rüzgârlar

Yerel rüzgârlarda dikkat edilmesi gereken nokta; batılı rüzgârlar denildiğinde batıdan doğuya doğru esen; doğulu rüzgâr denildiğinde de aynı şekilde doğudan batıya doğru esen rüzgârlar kastedilmektedir. (Durak M, Özer S,2008, s.38)

Akyel: Manisa ili Soma ilçesi civarında kar eriten rüzgârlara verilen isimdir.

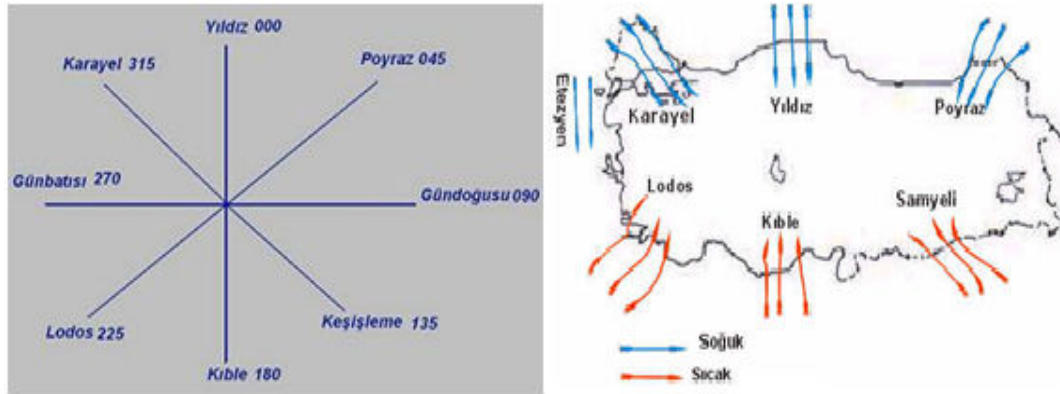
Aşağı yel: Lodos'un Manisa ili Soma ilçesi civarındaki adıdır.

Aşağı ova: Lodos'un İzmir ili Kınık ilçesi civarındaki adıdır.

- Bora:** Güçlü bir rüzgâr olup kuru ve soğuktur, bazen de tozludur. Oluşum sebebi Avrupa üzerindeki yüksek basınç sistemidir. Bazen topoğrafik etkilerle çok hızlandırabilmektedir. Bora, birçok diğer Akdeniz ülkesinde meydana gelebilmektedir. Ülkemizin güney kıyılarına Antalya ile Adana arasında eser.
- Deli Rüzgâr:** Balıkesir ili Ayvalık İlçesi'ne bağlı Tımarhane Adası'ndaki rüzgâra verilen isimdir. Eski çağlarda alkoliklerin rüzgâr ile tedavi edildiği adadır.
- Foehn:** Ülkemizde Fön rüzgârı olarak bilinen Foehn, aslında genel bir meteorolojik olayın adıdır. Dağları tırmanan hava akışı yoğunlaşarak bulut oluşturur ve tırmandığı kısma yağış bırakarak dağın arka kısmında hareketine devam eder. Dağdan inerken sıkışarak(compression) ısınır ve indiği ovaya sıcaklık getirerek çölleşmeye neden olur. Bu olaya fön denir. Ülkemizde İç Anadolu Bölgesi'nin kurak olması da Fön rüzgârları ile açıklanabilir. Ülkemizin Kuzey Anadolu Dağlarının kuzey eteklerinde ve İç Anadolu Bölgesinde de Konya civarında görülür. Özellikle Sinop'tan Rize'nin doğusuna kadar belirgindir. Bahar aylarında Karadeniz kıyılarında sıkça eser. Sultan Dağları ve uzantılarını aşan güney-güneybatılı fön rüzgârları, Akşehir ve Konya ovalarında sıcak ve kurutucu bir etki yapar.
- Garbi:** Gaziantep civarında görülen batılı bir rüzgârdır. Yazın görülür ve Sof dağından gelir.
- İmbat:** İzmir ve çevresinde Ege denizinden yazın tam kuzeyden esen meltem rüzgârıdır.
- Karayel:** Kuzeybatı yönünden esen rüzgârlara verilen addır. Geçici siklonların ülkemize sokulduğu kış mevsiminde görülür. Siklonların soğuk cephesinin geçişini izler. Genellikle sıcaklığın düşmesine ve kar yağışına neden olur. Karayel daima yağmur ve kar getirir.
- Keşişleme:** İstanbul yöresinde güneydoğudan esen halk dilinde ve denizcilerin verdiği addır. Uludağ'ın eski adı olan keşiş dağının yönüne göre adlandırılmıştır. Gündoğusu ve kible arasında 135 dereceden esmektedir.
- Kible:** Güneyden esen ılık hava getiren rüzgârdır.

- Kırkikindi:** Konya ve civarının hakim rüzgârıdır.
- Kışyeli:** Silifke’de poyrazın ters yönünden esen rüzgâra verilen addır.
- Lodos:** Güneybatıdan esen rüzgârlara verilen addır. Gezici siklonların ülkemize daha çok sokulduğu kış mevsiminde daha çok görülür. Bu siklonların sıcak cephesinin geçişini izler. Sıcakların yükselmesine sebep olur. Lodos, özellikle İstanbul bölgesinde görülen güneybatılı bir rüzgârdır. Daha çok kış aylarında görülür. Sıcak ve nemli rüzgârlardır.
- Poyraz:** Ülkemizde özellikle kış mevsiminde daha sık görülür. Bu mevsimde ülkemiz üzerine Rusya ve Sibirya üzerinden kutupsal havayı getirir. Sıcaklığın belirgin olarak düşmesine sebep olur. Yaz mevsiminde aşırı yüksek basınç alanından Basra üzerindeki alçak basınç alanına doğru ilerleyen deniz üstü hava kütlelerinin Ege ve Türkiye üzerinde sapmaya uğrayarak kuzey doğudan esen poyraza dönüşür. Bu mevsimde serinletici etkisi vardır. Karadeniz, Marmara ve İç Anadolu Bölgelerinde kuzey doğudan esen soğuk ve şiddetli bir rüzgârdır. İstanbul ve civarının hakim rüzgârıdır.
- Samyeli:** Genellikle Güney Doğu ve İç Anadolu Bölgelerinde esen bu rüzgârın geldiği bölge Arabistan çölleridir. Bu rüzgâr, Irak, Suriye ve Lübnan’da da eser. İç Anadolu’da bu rüzgârlar çöl doğuşlu olmayıp fön tipindedir.
- Tepeyel:** Manisa ili Soma ilçesi civarında geceleyin tepelerden düzlük alanlara doğru esen rüzgârın adıdır.
- Yıldız:** Kuzeyden esen soğuk hava taşıyan rüzgâr çeşididir.

RÜZGÂRIN YÖNLERİ



Şekil 2.1 Rüzgâr Yönleri (www.kayseri-bld.gov.tr)

2.3 Rüzgâr Oluşumu

Meteorolojik parametreler içerisinde en karmaşık yapıya sahip olan rüzgâr oluşumu, yapısında birçok fiziksel olayı barındırmaktadır. Meteorolojik olarak rüzgâr oluşumunu açıklamaya en yakın teori jeostrofik rüzgâr yaklaşımıdır.

2.3.1 Jeostrofik Yaklaşım

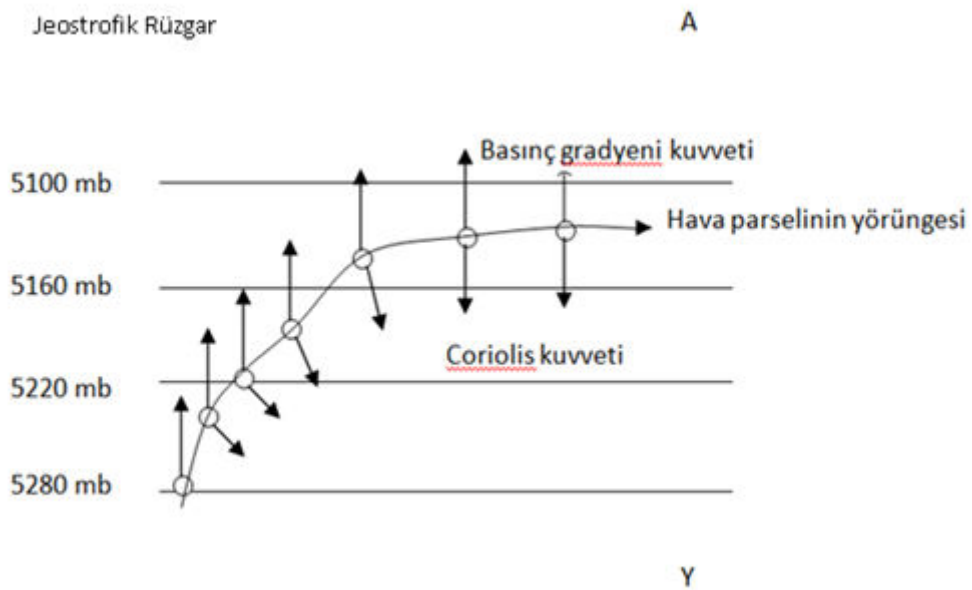
Jeostrofik denge, sinoptik ölçekli sistemlerde, basınç alanı ve yatay hız gradyanı arasında yaklaşık bir bağıntı veren diagnostik bir yaklaşımdır ve aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$V_g = \frac{1}{f} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Bu eşitliği sağlayan yatay hız alanına da jeostrofik rüzgâr denir. Jeostrofik rüzgâr, teorik bir rüzgârdır ve gerçek rüzgâra oldukça yakın bir ifadedir. Aşağıdaki kabuller altında yapılır:

- İvmelenme yoktur,
- Hareket yatay ve izobarlara paralel eser,
- Sürtünme yoktur,
- Basınç gradyanı kuvvetiyle Coriolis kuvvetin dengesinden oluşur.

Jeostrofik rüzgâr, yatay basınç gradyanı ve coriolis kuvvetin dengede olduğu rüzgârdır ve bu yüzden ivme sıfırdır. Kuzey yarımkürede solunda alçak basınç, sağında da yüksek basınç vardır. Şekil 2.2, kuzey yarımkürede yeryüzünden aşağı yukarı 1 km yükseklikte (sınır tabakanın üzerinde) meydana gelen rüzgârın oluşumunu göstermektedir.



Şekil 2.2 Jeostrofik Rüzgâr Oluşumu (Durak M, Özer S,2008)

İzobarlara bakıldığında basınç gradyanı kuvvetinin güneyden kuzeye doğru olduğu görülmektedir. Basınç gradyanı kuvveti, hava parselini basıncın düşük olduğu bölgeye doğru yani kuzeye doğru harekete geçirecektir. Bununla beraber, hava parseli harekete

başlar başlamaz parsel üzerine sağa doğru saptırıcı coriolis kuvveti de etki edecektir. Hava parselinin hızı arttıkça coriolis kuvveti de büyüyecektir ve hava parselini daha çok sağa saptıracaktır. Bu durum, coriolis kuvvetinin, basınç gradyanı kuvvetine eşit olmasına kadar devam edecektir. Sistemin üzerine etkiyen net kuvvet eşit olduğunda hızı artmayıp sabit kalacaktır ve parsel izobarlara paralel olarak devam edecektir.

Çizelge 2.2 - Beaufort Skalası (Durak M, Özer S,2008, s.547)

Beaufort No	Hız (m/s)	Knot	Hız (km/saat)	MPH	Tanım	Açıklama
0	0-0, 2	< 1	< 1	< 1	Sakin	Duman dikey olarak yükselir
1	0, 3-1, 5	1-3	1-5	1-3	Esinti	Duman hafif esintiyle yükselir. Rüzgâr yönü belirsizdir.
2	1, 6-3, 3	4-7	6-11	4-6	Hafif Rüzgâr	Yapraklar kıpırdar, insan yüzünde esinti. Rüzgâr yönü belirsizdir.
3	3, 4-5, 4	8-12	12-19	8-12	Tatlı Rüzgâr	Yapraklar,ince dallar hareket eder.
4	5, 5-7, 9	13-18	20-28	13-18	Orta Rüzgâr	İnce dallar hareket eder. Kağıt ve tozlar yükselir.
5	8, 0-10, 7	19-24	29-38	19-24	Sert Rüzgâr	Ağaçlar sallanmaya başlar.
6	10, 8-13, 8	25-31	39-49	25-31	Şiddetli Rüzgâr	Büyük ağaç dalları hareket eder. Şemsiye kontrolü zorlaşır.
7	13, 9-17, 1	32-38	50-61	32-38	Çok Şiddetli Rüzgâr	Büyük ağaçlar sallanır. Yürüme zorluğu başlar.
8	17, 2-20, 7	39-46	62-74	39-46	Fırtına	Ağaçlardaki ince dallar kırılır.
9	20, 8-24, 4	47-54	75-88	47-54	Şiddetli Fırtına	Binalarda hafif hasar oluşur.
10	24, 5-28, 4	55-63	89-102	55-63	Tam Fırtına	Binalar hasarlanır. Büyük ağaçlar kökünden sökülür.
11	28, 5-32, 6	64-72	103-117	64-72	Çok Şiddetli Fırtına	Geniş ölçekli hasarlar meydana gelir.
12	> 32, 7	73-82	> 118	73-82	Tayfun-Kasırga	Herşey zarar görür.

BÖLÜM 3

RÜZGÂR ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ VE KULLANILAN CİHAZLAR

Rüzgâr elektrik santralleri(RES) kurulmasının ilk aşaması olan rüzgâr ölçümü, projenin başlangıç kısmıdır ve çok önemlidir. Uygun ölçüm sensörleri ile standartlarda yapılan ölçümler, projenin daha sonraki aşamaları olan veri değerlendirmesi, enerji üretiminin belirlenmesi ve türbin seçiminin yapılması aşamasında en belirleyici unsurdur. Rüzgâr elektrik santralının projelendirilmesi ve proje ekonomisinin değerlendirilmesindeki tek parametresi, ölçümleri yapılan santral sahasından üretilebilecek enerji miktarına bağlı olmaktadır. Enerji miktarının bulunması ise, ölçümü yapılan proje sahasını en iyi şekilde temsil eden bir noktaya veya proje sahasının topografyasına göre, gerektiğinde birden fazla noktaya rüzgâr ölçüm direği dikilmesiyle mümkün olmaktadır. Uluslar arası finansörlerin en dikkat ettiği kısım enerji üretimi ve dolayısıyla yapılan ölçümlerin kalitesidir.

Ülkemizin farklı bölgelerinde birçok rüzgâr ölçüm direği bulunmaktadır. Meteorolojik amaçlı yer rüzgârı ölçümünde (klima veya sinoptik istasyonları gibi) Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) belirlediği kurallara göre standart ölçüm yüksekliği 10 metrede tek anemometre ve yön sensörü ile yapılmaktadır. Ülkemizdeki meteoroloji istasyonlarındaki ölçüm yüksekliği de bu standarttır. Enerji üretim hesaplarında kullanılma amacı için yapılan rüzgâr ölçümlerinde ise, kurulması düşünülen rüzgâr elektrik santralında kullanılacak rüzgâr türbin boyunun 2/3'ü olmalıdır. Günümüzde rüzgâr türbin boyunun 70 metre civarında olduğu ve hatta 120 metreye kadar çıkabildiği dikkate alınırsa ölçüm yüksekliğinin 50 metre alınması gerekmektedir. Ülkemizde yapılan ölçümlerde kullanılan rüzgâr ölçüm direğinin yüksekliği çoğunlukla 30 metredir. Buna sebep olarak da projelerin genellikle 600 kW kurulu gücünde rüzgâr türbinlerinin kullanılacağı planlanması yüzündendir. Bu türbinleri boyu 50 metre civarındadır. Bununla beraber son yıllarda ülkemizde 50 metrelik direk kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

RES kurulumu için rüzgâr hızı ve yönünün yanı sıra diğer bazı meteorolojik parametrelerin de ölçülmesi gerekmektedir. Hesaplamalarda kullanılan hava yoğunluğu ve türbinin korozyona uğraması gibi durumlar için de sıcaklık, nem, basınç sensörleri de kullanılarak ölçümler yapılmalıdır.

Rüzgâr hızı: Rüzgârın hızı, havanın hareket süratini gösterir. Sinoptik meteorolojide rüzgâr hızı "knot", klimatolojik meteorolojide de saniyede metre (m/s) veya saatte km (km/h) olarak kullanılır. Rüzgârlar, hızlarına göre çarptıkları bir yüzeyde basınç meydana getirirler. 1 m/s hızla esen rüzgârın çarptığı 1m²'lik yüzeye yaptığı basınç 0,076 kg'dır. Rüzgâr hızı, çeşitli tipte anemometre ve anemograflarla ölçülür. Sinoptik amaçlı çalışmalarda knot birimi kullanılırken, klimatolojik rasatlarda ve rüzgâr elektrik santral kurulumu için ölçüm amaçlı çalışmalarda m/s birimi kullanılır. (konu ile ilgili çevrim listesi için bkz. EK 3) 1m/s=1,94 knots, 1 knots=0,51 m/s

Rüzgâr Yönü: Rüzgârın bulunduğu yere doğru geldiği yöne rüzgâr yönü denir. Yön, coğrafik kuzey ve pusula yönlerine dayanarak saat yelkovanı istikametinde ölçülür, derece cinsinden belirtilir. Ayrıca derecelerin belirttiği yönleri İngilizce harfler (S, W, E, SW, NE, vb.) yardımıyla da göstermek mümkündür. Rüzgâr yönleri anemometrelerin üst kısmında bulunan rüzgâr oklarından tespit edilir.

3.1 Rüzgâr Hızını Ölçen Aletler

Rüzgâr, yatay ve yataya yakın yönde yer değiştiren, iki nokta arasındaki basınç farklılığından kaynaklanan hava kütlesi hareketidir. Bu hareket, bir vektör boyunca belli bir kuvvettir. Bunun neticesi rüzgâr hız(kuvvet) ve yön olmak üzere iki fiziksel büyüklük halinde ölçülür. Rüzgâr hızını ve yönünü tespit ederken tahmin yapılırsa hata payı yüksek olacağından bu hataları en aza indirecek şekilde hazırlanmış ve üretilmiş cihazlar kullanılmaktadır. Rüzgâr hızı ilk defa 1960'lı yıllarda ölçülmeye başlanmıştır. Günümüzde daha çok hassas olan elektronik cihazlar kullanılmaktadır. Rüzgâr ölçüm sensörleri şu şekilde sınıflandırılabilir.

A) Doğrudan Ölçüm Yapan Sistemler

- a. Basınç tablalı anemometre
- b. Dönen anemometreler
 - Kepçe (cup) anemometre,
 - Ultrasonik anemometre,
 - Pervane (Aerovan) anemometre,
 - El anemometresi

B) Dolaylı Ölçüm Yapan sistemler

- a. Anemograf
 - Mekanik anemograf
 - Elektrikli anemograf
 - Elektronik anemograf

Basınç tablalı anemometre, ilk defa 1500 senesinde Leonard De Vinci tarafından düşünülmüşse de 1667 yılında Robert Hooke tarafından pendulum anemometresi olarak bilinen model geliştirilmiştir. (Durak M, Özer S,2008, s.114) Tablalı anemometre ile rüzgârın yönü ve hızı Bofor (Beaufort) Kuvveti şeklinde tespit edilir. Yön tayini rüzgârgülünden alınır ve 16 yön üzerinden değerlendirilir. Hız ise levhanın tutturulduğu yarım çember üzerindeki halkalardan okunur. Hız levhası kaçınıcı halkaya geliyorsa o halka bofor çizelgesinde hangi boforu gösteriyorsa o kayıt edilir. Alet üç kısımda incelenir.

1. Kuvvet levhası (Beaufort Çizelgesi), (Bkz. sayfa 42).
2. Yön göstergesi
3. Yön işaretleri

Kuvvet levhası: Tablanın boyutu 12cm x 8cm olup bu ölçü değişebilmektedir. Tabla rüzgâr sakin iken yere dik olarak durmakta olup rüzgâr hızına bağlı olarak hareketini 90⁰'lik açı içerisinde yapar. Tablanın bağlı bulunduğu yarım çember şeklindeki kol üzerinde rüzgâr hızını bofor cinsinden ifade eden beş tane kırmızı bölme vardır. Tablanın bağlı bulunduğu kolun bölmeler üzerindeki yerine göre rüzgâr şiddeti

ölçülür. Kuvvet levhası kırmızı halkaya ulaşmadan sallanırsa rüzgâr hızı 1 bofor olarak kabul edilir.

Yön göstergesi (jirüet): Bir ucu topuz şeklinde diğer ucu çift kanatlı olup rüzgâr esiş yönüne göre topuz hareket eder.

Yön harfleri: Jirüetten yön tayini dört anayön(N, W, S, E) esas alınarak yapılır. Büyük klimatoloji istasyonlarında 16 yön üzerinden, küçük klimatoloji istasyonlarında ise 8 yön üzerinden yapılır.

Rüzgâr, termal sıcaklık ve basınç gradyan farklılıklarından ortaya çıkar. Hava kütlelerinin yatay (advektif) taşınımı sırasındaki yatay bileşen hızları (u, v) olarak ifade edilir. Rüzgârın düşey bileşeni yatay bileşenine göre küçük olduğundan ihmal edilir ve kullanılmaz. Sadece Cumulunimbus (şiddetli fırtına veya oraj) bulutlarında düşey rüzgâr bileşeni (w), yatay rüzgâr hız bileşenlerinden büyük olur. Esas olarak rüzgârı yüzey rüzgârları ve yüksek seviye (jeostrofik) rüzgârları şeklinde iki farklı kategoride inceleyebiliriz. Bu iki seviyede rüzgâr hızları farklı ölçüm yöntemleriyle yapılmaktadır. Hızdaki ani dalgalanmalar ve değişiklikler hamle (gust) olarak adlandırılır. Rüzgârın frekansı ise, herhangi bir yöndeki esme sıklığıdır. Bir bölgede rüzgâr her zaman aynı yönden esmez. Her yönden esebilir. Her yönden esen rüzgârın yüzdesi farklıdır. Bu oranlardan en fazlasını kapsayan yöne hakim rüzgâr yönü denir.

3.1.1 Anemometre

Anemometre kelimesi Yunanca'dan gelmektedir. Yunanca'da "anemos" rüzgâr anlamına gelmektedir; metre de ölçüm demek olduğundan, anemometre en basit anlamı ile "rüzgâr ölçer" demektir. Rüzgâr ölçümlerinde kullanılan kepçe(cup) anemometre en yaygın olarak kullanılan tiptir. Kepçe anemometre İrlandalı astronom Thomas R. Robinson tarafından 1846 yılında icat edilmiştir. İlk defa çalıştığı Armagh Gözlemevi'nin çatısına geliştirdiği kepçe anemometreyi monte etmiştir. (Durak M, Özer S, 2008, s.114).

Üç kepçeli anemometrelerin 2 özelliği vardır: birisi yönden bağımsız (omni-directional) olması, diğeri de sadece düşey eksenine dik olarak yerleştirilmesidir. Rüzgâr enerji potansiyeli belirleme amaçlı ölçümler de çoğunlukla kepçe anemometreler kullanılmaktadır. Düşey eksene dik olarak yerleştirme özellikle işletme ve kullanım açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Kupalı Anemometreler (Tetaş Bilişim, 2009, www.tetasbilisim.com.tr)

3.1.1.1 Ultrasonik Anemometre

Ultrasonik anemometre, en temel şekli ile birbirine paralel iki tabakadan oluşan ve üzerleri yansıtıcılar ile kaplı olan bir sistemdir. Yatay düzlemde ise hava hiçbir engelle karşılaşmadan iki tabakanın arasına girmektedir. Dikey düzlemde ise hava girişi yansıtıcılar tarafından engellenmekte ve bu düşey rüzgâr hızları ölçülmemektedir. Plakaların arasından geçen rüzgâr ultrasonik (ses ötesi, sestan hızlı) dalgalar yaratmaktadır. Oluşan bu dalgalar plakaların üzerinde bulunan ve ses enejisinin yarattığı titreşimler ile çalışan elemanlarından oluşan diafram sistemi tarafından algılanmaktadır. Diyaframlar üçgen şekilde konumlandırılmışlardır. Ultra ses, bu diyaframın yüzeyinden geçerek üst yansıtıcıya çarpmakta ve burada hemen hemen kayıpsız bir yansıma olayı daha gerçekleşmektedir. Böylelikle enerji kayıplarıyla dalgalanma tamamen sönene kadar birbirini takip eden ve sayısı 200'e kadar varan yansıma gerçekleşir. Dar bir frekans bandı üzerinde yaşanan birim yansımalar faz

olarak bir bütünlük oluşturarak sinyal gücünde çok büyük artışa sebep olurlar. Net dalga dağılımı karmaşık bir yapıya sahip olmasına rağmen dalga hareketi iki karakterli olarak yorumlanabilir.

Rüzgâr ölçümü hareket eden dalga davranışı temelleri üzerinde yapılmaktadır. Herhangi bir diyafram çifti üzerindeki net faz değişimi aynı eksen üzerindeki rüzgâr akışı için gösterge oluşturmaktadır. Üç tane diyafram çiftinden ayrı ayrı toplanan veriler ile diyaframların oluşturduğu üçgenin kenarları boyunca bileşen vektörleri belirlenir. Bu vektörlerin kombinasyonu ise toplam rüzgâr yönü ve şiddetini vermektedir. Bilindiği gibi ses ve dolayısı ile rüzgâr hızının ölçüm değerleri ağırlıklı olarak sıcaklık olmak üzere nem miktarı ve basınca bağlı olarak değişmektedir.

Ultrasonik anemometre ölçüm sistemi, tamamen yenidir ve rüzgâr hızı ile yönünün çok hassas bir şekilde ölçümünü sağlamaktadır. Yöntemin isminden de anlaşılacağı gibi bu teknik ultrasonik (akustik) bir dalganın bu amaçla özel üretilmiş bir sistem içinde rezonansa tabi tutulmasına dayanmaktadır. Mekanik aşınmaya maruz kalacak hiçbir parçanın olmaması nedeni ile tüm hava koşullarına karşı son derece güvenli ve hassas ölçüm imkanı sunmaktadır. Düşük elektrik tüketimi ve buzlanma gibi diğer klasik ölçüm sistemlerini tamamen fonksiyon dışı bırakan koşullara karşı otomatik önlem alması diğer önemli özelliklerinden biridir. (Şekil 3.2 ve şekil 3.3)



Şekil 3.2 Ultrasonik Anemometre , (<http://www.pentaotomasyon.com.tr>, 2009)



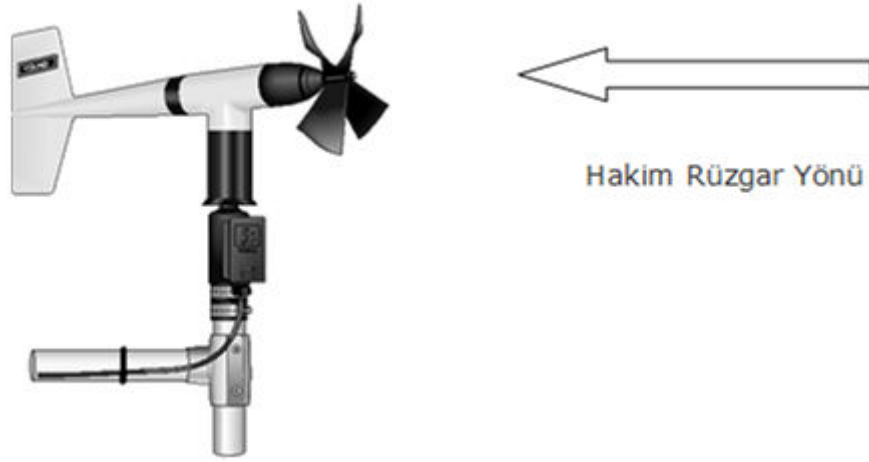
Şekil 3.3 Ultrasonik Anemometre , (Tetaş Bilişim, 2009, www.tetasbilisim.com.tr)

3.1.1.2 Isıtmalı Anemometreler

Isıtmalı anemometreler, buzlanma riskinin olduğu bölgelerde kullanılmaktadır. Bunun için buzlanma ile ilgili bilgiler vermek gerekirse; buzlanma, rüzgâr ölçümlerinde önemli bir problemdir. Özellikle, yüksek bölgelerde, dağlarda sık sık karşılaşılmaktadır. Buzlanma konusu ile ilgili kısmen Avrupa Birliği tarafından fonlanan WECO isimli bir proje de bulunmaktadır (Durak M, Özer S,2008, s.123). Yapılan çalışmalar özellikle dağlık bölgelerin bulunduğu güney Avrupa'da yoğunlaşmaktadır. Anemometrelerin buzlanması, rüzgâr enerji tahmin hesaplamalarını etkilemektedir. Anemometrelerin buzlanması sebebiyle, yıllık ve aylık enerji üretimlerinde hatalı sonuçlar bulunabilmektedir. Hataların büyüklüğü, buzlanma gün veya saatlerinin fazlalığına göre değişmektedir. Böyle bölgelerde muhakkak ısıtmalı sensörler kullanılmalıdır.

3.1.1.3 Uskur Çark (Pervane) Anemometreler

Bu tip anemometrelerde ortalama rüzgâr vektörünün (U) koordinat sistemi pervane yatay eksenini boyunca yer almaktadır. Kepçe anemometreler rüzgâr vektörüne dik olarak yerleştirilirken pervane anemometre hakim rüzgâr yönüne paralel olarak yerleştirilir.(Şekil 3.5)



Şekil 3.4 Uskur Çark (pervane) Anemometre ve Rüzgâr Yönü
(www.pentaotomasyon.com.tr, 2009)

Böyle bir sistemde hareket denklemi aşağıdaki gibidir ve birimi rad s^{-1} ile verilir.

$$\tilde{\omega} = F(\tilde{\omega}, \tilde{u}\sqrt{\tilde{v}^2 + \tilde{w}^2}) \dots \dots \dots (3.1)$$

Pervane anemometre aslında kombine bir sensördür. Hem hız hem de yön ölçümleri yapabilmektedir. Genelde pervane kısmı alüminyumdan, kuyruk kısmı cam fiberden yapılmaktadır. Böylece hafif olması dolayısıyla rüzgâr tarafından kolay hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Bu tip anemometreler 90 m/s 'lik hızlara kadar ölçebilmektedir. Boyutları ise tipik olarak, 35–40 cm arası yükseklik, 50–75 cm arasında uzunluk ve 15–25 cm arasında pervane çapına sahiptir.

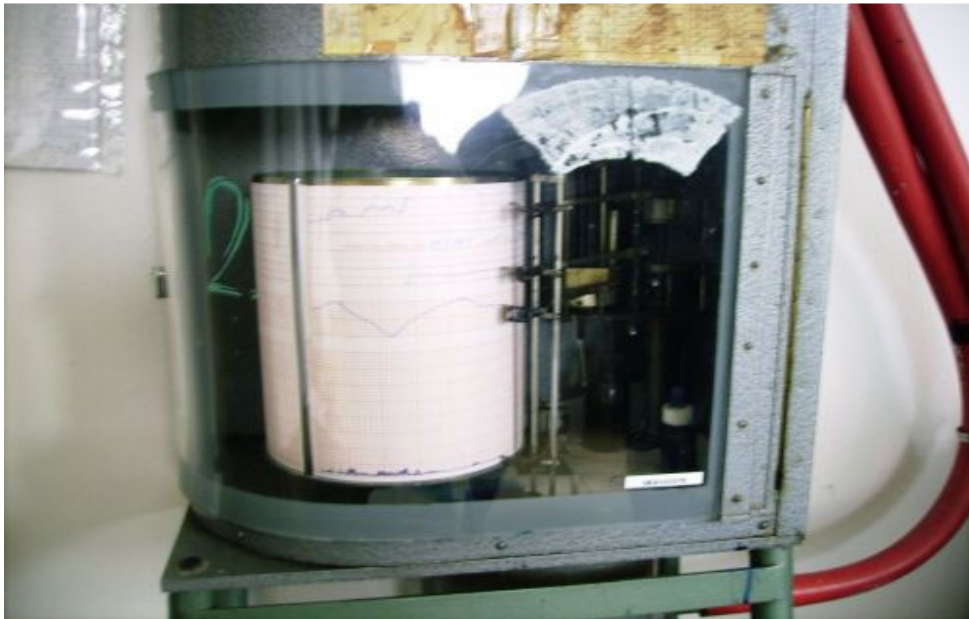
3.1.2 Sodar Sistemi

SODAR kelimesi (Sound Detection And Ranging) kelimelerinin kısaltılmış bir ifadesidir. 5 veya 10 m çözünürlük ile 150 m yüksekliğe kadar olan rüzgâr hızını ve yönünü ölçüp bölgenin rüzgâr profilinin çıkarılabilmesini mümkün kılan bir sistemdir.

SODAR sisteminde parabolik yüzey içerisinde bulunan radar, gönderdiği sinyaller ve geri yansımalarıyla ölçüm yapılır. Parabolik gövdeden yapılan sinyallerin yaptığı ölçümler elektronik ünite ve cihazın içerisinde bulunan bilgisayarda değerlendirilerek sonuçlar merkezi bilgisayara gönderilir.

3.1.3 Anemograf

Meteoroloji biliminde herhangi bir ölçüm sensörünün arkasına graf geldiğinde yazıcı olduğu anlaşılmaktadır. Rüzgâr ölçümlerini sürekli kaydeden cihazlara anemograf denmektedir. Anemograflar, saatlik rüzgâr hız ve yönlerini kaydeden yazıcı cihazlardır.



Şekil 3.5 Anemograf, (www.kuvang.blog.cz je zárkou aktuálnosti, 2009)

Bu aletlerin diyagramlarının üst bölümünden saatlik ortalama yön, diğer bölümlerinden saatlik ortalama hız ve rüzgârın hamlesi ve m^2 'ye yaptığı basınç bulunabilir. Mekanik ve elektronik olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Mekanik anemograf, rüzgârın yönünü, saatte ortalama hızını ve rüzgâr hızındaki dalgalanmaları, yani hamleyi yazarak ölçen bir alettir. El anemometresi çok da hassas olmayan fakat rüzgâr enerji ölçüm amacı ile yapılan arazi ziyaretlerinde bulunması gereken bir cihazdır. (Şekil3.6)

3.1.4 Yön Sensörü

Rüzgâr ölçümleri yapılırken rüzgârın hızının yanında yönü de ölçülmesi gereken bir diğer meteorolojik parametredir. Ölçümü yapılan bölgedeki rüzgâr belirli hakim bir yönden esebileceği gibi, farklı yönlerde ve farklı yüzdelerde de esebilmektedir. Rüzgâr yönlerinin değişen frekanslarını ve rüzgâr hızlarının dağılımını göstermek için, rüzgâr hızı ve yönünün meteorolojik gözlemleri esas alınarak, rüzgâr gülü şeklinde bir çizim yapılmaktadır. Bir rüzgâr gülü 8 veya 16 yöne göre olabilir ya da Avrupa rüzgâr atlasında esas alındığı gibi 12 yöne, 30'ar derecelik yön aralıklarına göre de olabilir.

3.1.5 Diğer Sensörler

Rüzgâr ölçümlerinde ana sensörler anemometre ve yön sensörü olmakla beraber yardımcı sensörler de bulunmaktadır. Bunlar sıcaklık sensörü, nem sensörü ve basınç sensörüdür.

Sıcaklık sensörü, termometre olarak da bilinmektedir. Genellikle ölçüm direğinin 2. veya 3. Metresine monte edilir.

Nem sensörünü açıklamadan önce bağıl nemi tanımlamak gerekir. Bağıl nem, verilen bir sıcaklıkta havanın içerdiği nem miktarının, aynı sıcaklıkta içerebileceği maksimum. Nem miktarına oranı olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifadeyle bağıl nem havanın buhar içeriğinin kapasitesine oranıdır ve % olarak ifade edilir. Rüzgâr ölçüm

amaçlı kullanılan nem sensörleri tek veya bazen de sıcaklık sensörü ile kombine olabilmektedir. Neme karşı duyarlı olan materyal karbondan yapılmış olup nem değişiminde direnci değişmektedir, bu direnç değişiminden yararlanılarak bağıl nem ölçülmektedir.

Basınç sensörü, bir yüzey üzerindeki barometrik basıncı ölçer. Barometrik basınç ise yüzeyden atmosferin tepesine kadar olan hava sütununun her birim alanını etkileyen kuvvettir.

BÖLÜM 4

RÜZGÂR TÜRBİNİ

Rüzgâr türbinlerinin (RT) toplum tarafından kullanımı doğu medeniyetlerinde başlamıştır. Bilhassa, İran yörelerinde çok eski devirlerde yaygın olan yel değirmenleri, düşük seviyelerdeki suyun çıkarılması ve buğday öğütülmesi amacıyla kullanılmıştır. Avrupa'ya özellikle haçlı seferleri sayesinde yayılmıştır ve Hollanda, Danimarka, Almanya ve Akdeniz Adaları'nda kullanılmaya başlanmıştır.

4.1. Giriş ve Tarihçe

Rüzgâr enerjisinden elektrik elde etme işlemi, ilk olarak Danimarkalı meteorolojist Poul La Cour'un tarafından düşünülmüştür. Aynı zamanda aerodinamik çalışmalarda da bulunan Poul La Cour, Danimarka'da kurduğu Askow Folk High School'da rüzgâr enerjisi ile ilgili dersler vermiştir ve 1897 yılında da 89 W gücünde ilk elektrik üretim amaçlı rüzgâr türbinini yapmıştır.

Bazı teorik deneyler de yapan Poul La Cour, Askow Folk High School'da rüzgâr enerjisi dersleri vererek konunun önemini anlatmaya çalışmıştır. Danimarka'da 1940–1950'li yıllar boyunca, mühendislik şirketi olan F. L. Smidth (şu anda çimento üreticisidir) iki ve üç kanatlı rüzgâr türbinleri yapmışlardır. Poul La Cour'un ilk öğrencilerinden olan Johannes Juul, 1950 yılında ilk alternatif akım (AC) ile çalışan RT'yi geliştirmiştir.

1956 yılında 200kW kurulu gücünde Gedser rüzgâr türbini, Danimarka'nın güneyinde çalışmaya başlamıştır. Modern RT'lerin öncüsü niteliğindeki bu RT, elektromekanik dönüş sistemi ve asenkron jeneratöre sahiptir. Stall kontrol

mekanizmasına göre çalışan bu model aynı zamanda aerodinamik uç fren sistemine de sahiptir. 11 yıl boyunca bakım yapılmadan çalışmıştır (Durak M, Özer S,2008, s.198). Danimarka'da 1960'ların ortasına kadar çalışan Gedser rüzgâr türbini, fosil yakıtların fiyatlarının düşmesiyle rüzgâr enerjisi tekrar pahalı duruma gelmiş ve yerini buharla çalışan türbinlere bırakmıştır.

4.1.1 1950 ve Sonrası Durum

Doğru akım veren jeneratörler yerlerini alternatif akım üreten 35 kW asenkron jeneratörlere bırakmaya başlamıştır. 1970'li yıllara kadar rüzgâr enerjisinde hızlı bir gelişme olmamıştır. Fakat 1970'li yıllardaki petrol krizi ve 1980'li yıllardan itibaren artan çevre bilinci, insanlığı yeni enerji kaynakları aramaya itmiştir. 1995 yılından sonraki gelişim çok çarpıcıdır. 1995'li yıllara kadar kW mertebesinde RT'ler bulunmaktadır. 1995'li yıllardan sonra MW sınıfına geçilmiştir. Kurulu güç ile beraber RT pervane çapını artışı da dikkat çekicidir.

Artan kurulu güç ile beraber rüzgâr türbinlerinin sadece pervane çapı değil; boyları da uzamıştır. 1960'lı yıllarda 20m civarında olan RT boyları 2000'li yıllara gelindiğinde 120 metrelere kadar ulaşmıştır. 1980'lerin başında 55kW kurulu güce sahip ve yılda ancak 159 MW üretim yapan RT'lerden 2006'da 5MW kurulu güçlü ve yıllık 14454 MW üreten makineler gelinmiştir. Yaklaşık 91 katlık bir artış bulunmaktadır.

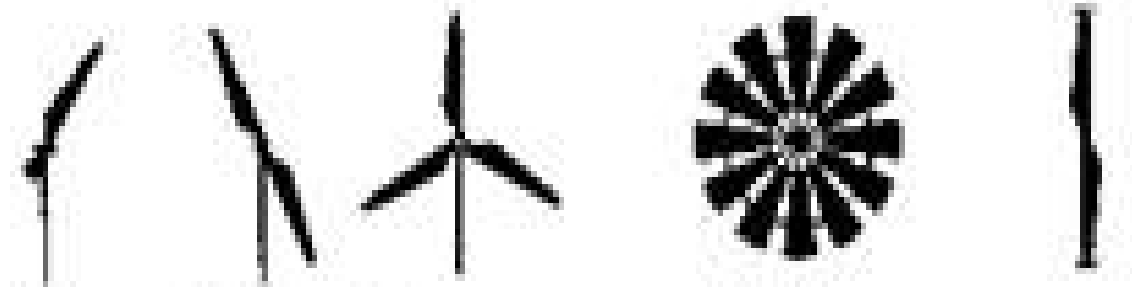
4.2 Rüzgâr Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri farklı sınıflandırmalara ayrılabilir. Bunlar: ilki yapılarına göre diğeri ise güçlerine göredir.

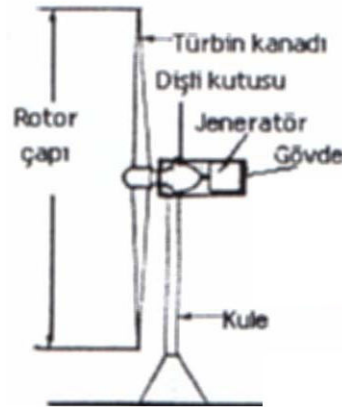
4.2.1 Yapılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

4.2.1.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Yer konumuna göre rotoru yatay eksende çalışan türbinlerdir. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri (Horizontal Axis Wind Turbine = HAWT)'nin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları sürekli akış yönünde olmalıdır. Buda 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 klavuz kanat takılır. Diğer durumda ise kanat rüzgârı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılıdır.



Şekil 4.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinde Kanat Şekilleri (Turhan F,2009, s.66)



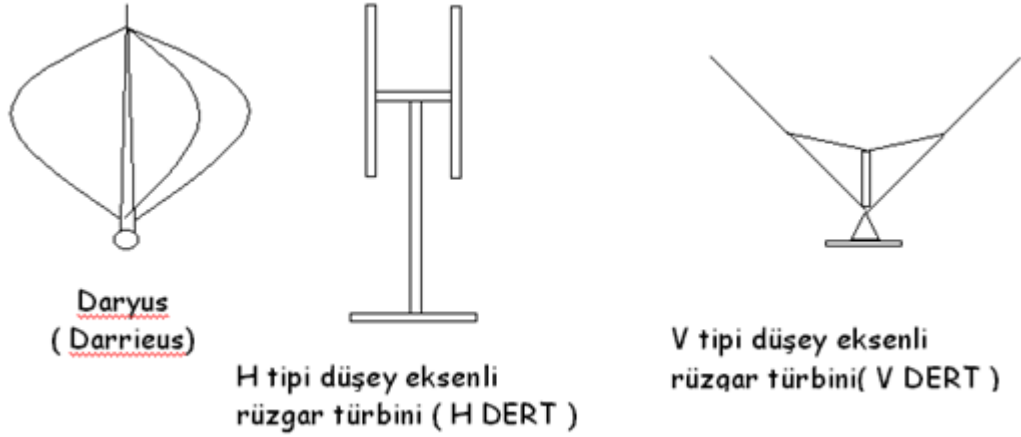
Şekil 4.2 Yatay Eksenli Sistem (Turhan F,2009, s.66)

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 bağlanmıştır. Şekil 4.1 ve şekil 4.2’de yatay eksenli sistemler ile kanat şekilleri gösterilmiştir.

4.2.1.2 Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri

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



Şekil 4.3 Düşey Eksenli Rüzgar Türbin Tipleri (<http://www.tezproje.8m.com>, 2009)

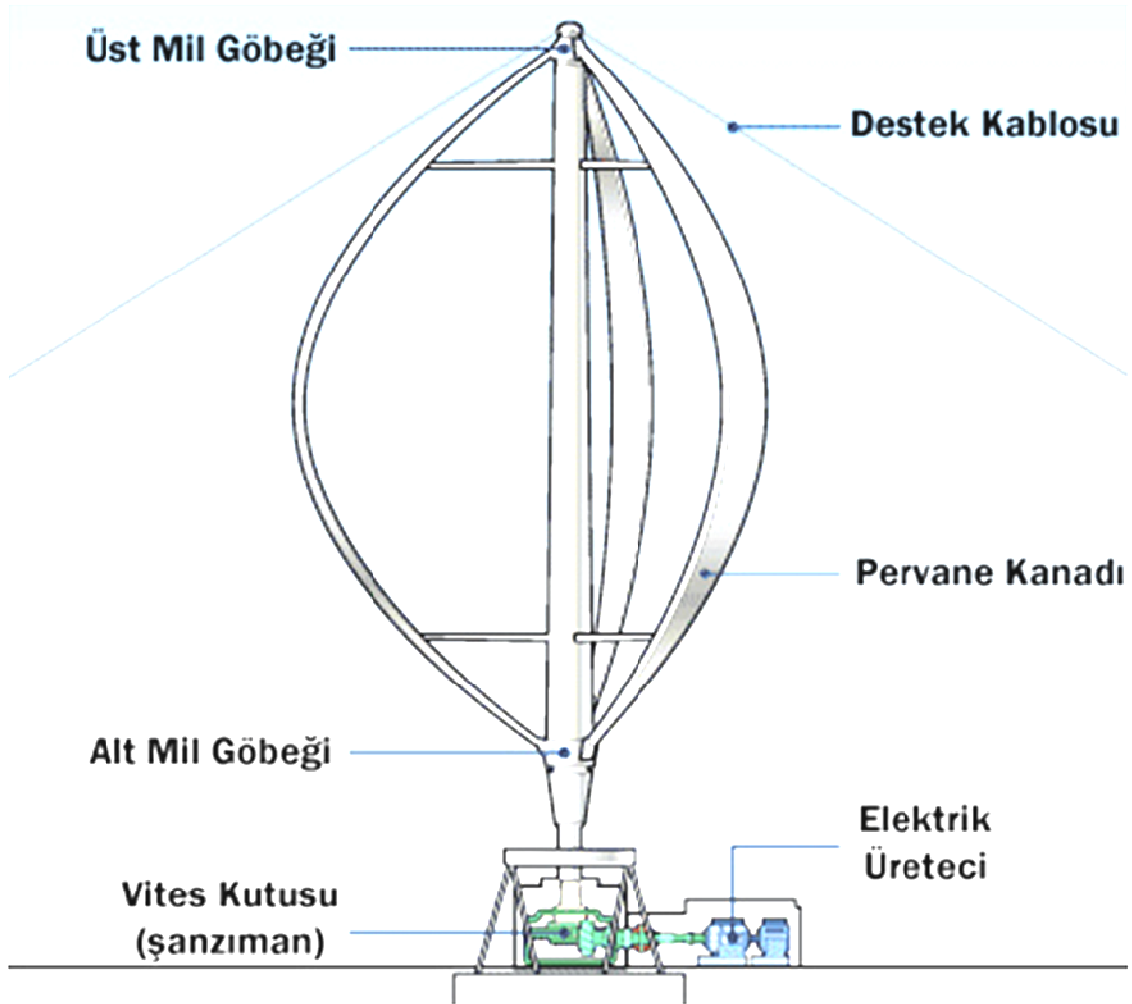
Bu türbinlerin yatay eksenli türbinlere göre bazı yararları ile mahsurları vardır.

Yararları;

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

Mahsurları;

1. Türbin kanatları tasarımı nedeniyle verimleri daha düşüktür.
2. Kanatların yere yakınlığı sonucu düşük rüzgâr hızına maruz kalırlar ve dolayısıyla enerji üretimini azaltır.
3. Verim düşüklüğü nedeniyle dikey eksenli rüzgâr türbinleri fazla uygulama alanı bulamamıştır. (Turhan F,2009, s.68)



Şekil 4.4 Düşey Eksenli Sistem (www.bilgiustam.com, 2009)

4.2.1.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri

Dönme eksenleri düşey ile rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenini arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Eğik eksenli rüzgâr türbinlerinin geniş bir uygulama alanı yoktur. (Turhan F,2009, s.68)

4.2.2 Güçlerine göre rüzgâr türbinleri

4.2.2.1 Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri

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

4.2.2.2 Orta Güçlü Rüzgar Türbinleri

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

4.2.2.3 Büyük Güçlü Rüzgar Türbini

Rüzgârdan 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 arasında değerler alabilir.

Yatırım amaçlı kurulan büyük güçlü türbinlerden elde edilen 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.

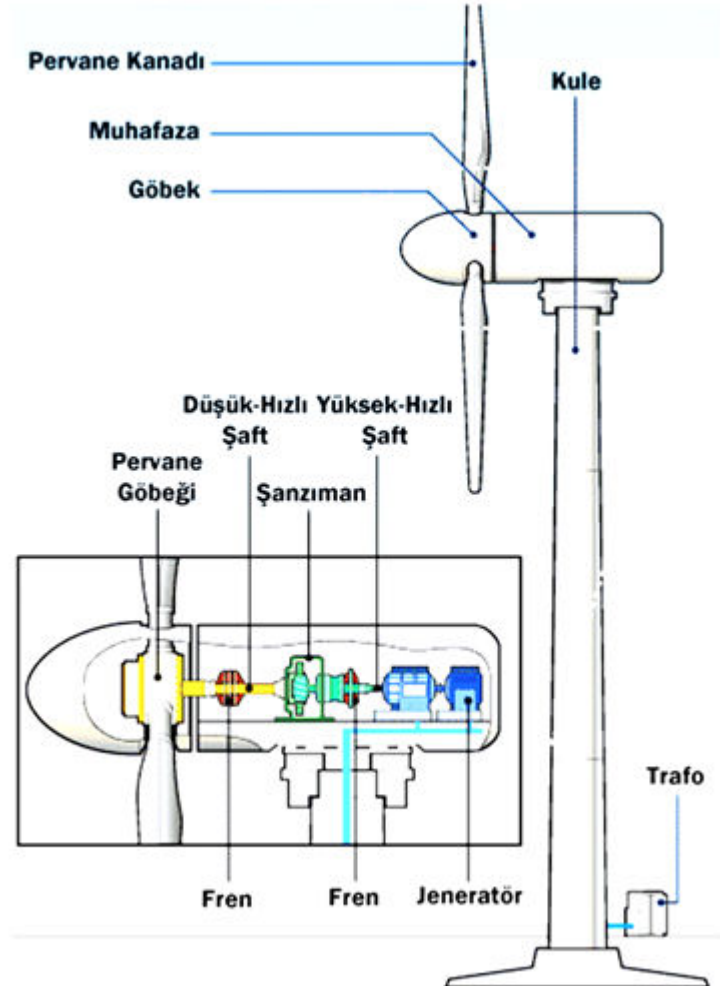
Çizelge 4.1 - Rüzgar Hızına Göre Türbin Güçleri (kW) (www.enercon.de;
www.galeforce.niraland.co.uk; www.west.wind.com;
www.synergypowercorp.org;www.danishwind.com;
www.lorax-energy.com; www.montanagreenpower.com)

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
(kW)	5,8	10	18,5	35	65	125	250	500

Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmaları sonucunda kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri üretilen enerjinin maliyeti gibi sonuçlara ulaşılır.

Büyük güçlü türbinlerden oluşan rüzgâr çiftliklerinin yatırım maliyeti kabaca bir yaklaşımla 1000\$/kW'tır. Yıllık bakım masrafı ise bu yatırım maliyetinin %1 ila 1,5'ünü oluşturur. Bu şartlar altında kurulacak türbinlerden elde edilen elektrik enerjisi, şebekeye; maliyeti düşük, çevreyi kirletmeyen, güvenli ve yenilenebilir bir kaynaktan üretilmiş olarak verilebilir. Sektörün önde gelen türbin üreticilerinin bazı modellerinin rüzgar hızına göre türbin güçleri çizelge 4.1'de verilmiştir.

4.3. RT Temel Elemanları



Şekil 4.5 Bir Rüzgâr Türbini ve Elemanları (<http://www.bilgiustam.com>, 2009)

RT'nin temel elemanları olarak kule, nasele, pervane kanat, step-up trafo ve kule temeli verilebilir.

4.3.1. Kule

Kule, RT'nin nasele ve pervanesinin taşındığı gövde kısmıdır. RT kurulu gücüne göre, yüksekliğine göre bazı değişimler göstermektedir. Bilindiği gibi kule boyu ne kadar yüksek olursa enerji üretimi de o oranda artmaktadır. Bunun nedeni, rüzgâr hızının yükseklikle artmasıdır. Daha yüksek kule boyu da maliyete etki etmektedir. Kule yüksekliği, saha koşullarına göre de değişebilmektedir. Bazen nakliye, izin gibi hususlarda kule yüksekliğini etkileyebilmektedir. Genellikle göbek yüksekliği, pervane çapının 1 veya 1,2 katı arasında değişmektedir. Kule yüksekliğine bazen ülke mevzuatında sınırlamalar getirebilmektedir. Örneğin Almanya'da 2001 yılına kadar pervaneyle beraber verilen maksimum yükseklik 150 m idi. Dolayısıyla kule yüksekliği de 100–110 m civarındaydı. Fakat son yıllarda bu durum değişmiştir ve 150 metreye kadar bile göbek yükseklikleri görülebilmektedir. Diğer Avrupa ülkelerinde de göbek yükseklik limiti gittikçe artmaktadır.

Meteoroloji bilminde atmosferin ilk 100 metresi Prandtl tabakası, 100 m'den daha yüksekler ise Ekman tabakası olarak adlandırılır. Ekman tabakası, daha yüksek ve kararlı rüzgâr hızları, düşük türbülans ve düşük Weibull faktörleri ile karakterize edilmektedir. RT için 100 metre ve üstündeki yükseklikler en ideal koşulları oluşturmaktadır. Çoğunlukla kuleler tubular şeklinde olmaktadır.

Tubular ile basit, başlangıçtaki (yani temeldeki) çap daha büyük ve gittikçe kule çapının küçülmesidir. RT kurulu gücü büyüdükçe, sadece kule yüksekliği artmakla kalmamaktadır; aynı zamanda kesit çapı da büyümektedir. Çapın büyümesi, özellikle nakliyede bazı sıkıntıları beraberinde getirmektedir. Dünya üzerindeki birçok üst geçit

veya tünel yüksekliği 4,5–5 m civarındadır. Bu yüzden kulenin çapı da 4–4,5 maksimum olmalıdır. Bu limit özellikle kara üstü RES’lerde geçerlidir. Kule ile ilgili diğer bir limit de fiyattır. Çelik fiyatlarının sürekli artış gösterdiği günümüzde et kalınlığının 300mm’yi geçmesi büyük miktarda kaynak ve yeni maliyetler getirdiğinden çekici olmamaktadır. Günümüzdeki RT’lerde maksimum kule yüksekliği 100 metre civarındadır. RT kuleleri bazen betondan da yapılabilmektedir. Kule birkaç kısma ayrılabilindiğinden nakliyesi daha kolaydır. Nakliye daha kolay olmasına karşın nakil sayısı artacağından beton kule uzunluğu da optimum yapılmalıdır.

RT kuleleri 20 ile 30 m arasında değişmektedir. Uzunluğu belirleyen en önemli faktör ulaşım zorluklarıdır. 50 m uzunluğunda bir kulenin tipik ağırlığı 40 ton; 60 m kule için de 80 tondur. RT kulesi de RT ekipmanları gibi RT üreticisi tarafından tasarlanmaktadır. Her ne kadar RT üreticisi bağımsız bir tüzel kişilik olsa da RT üreticisi tarafından akredite edilmelidir.

4.3.2. Kanat

RT’nin pervanesini oluşturan kanat, RT’deki en önemli parçalardan birisidir. RT ile ilgili know-how’ı en az bilinen kısımdır. RT’nin kanat tasarımının yapılması oldukça kompleks bir süreci kapsamaktadır. Bu sürece, kanadın şekli, yapısı, materyaller etki etmektedir. Tasarım sürecinin temel amacı; kanatların performansının optimize edilerek RT ile bir bütün olarak düşünülmesinin yanında maliyeti de mümkün mertebe düşürmektir. Özellikle aerodinamik yapının en verimli şekilde kullanılmasına dikkat edilmektedir. Çünkü rüzgârdan elde edilecek enerjiyi kanat aerodinamiği belirlemektedir.

Kanat geometrisinin optimize edilmesi de gerekmektedir. Kanadın rijiditesinin kontrolü de cam fiber kullanılarak sağlanmaktadır.

4.3.3. Nasel ve İçindeki Ekipmanlar

Nasel, pervaneden gelen rüzgâr enerjisinin mekanik aksam yardımıyla elektrik enerjisine çevrildiği yerdir.

Ekipmanlar:

1. Ana Yatak (Main bearing)

Ana yatak, jeneratör, dişli kutusu, iletim sistemi gibi ekipmanların üzerine oturduğu yerdir. Ana yatak çelikten yapılmış bir ekipmandır ve civatalar ile nasel gövdesine tutturulmuştur. Ana yatak sürekli gress ile yağlanmalıdır. Su ve tozun yataklara girmesi böylelikle engellenmiş olur. Ana yatak üzerinde ayrıca kuplaj sistemi de bulunmaktadır.

2. Dönen Yatak (Slewing rings)

Slewing rings kanatlardaki hatve (pitch) mekanizmasının çalışmasında kullanılmaktadır. Bu yolla, rüzgârın hızına göre ana yatak yönü belirlenerek naselin dönmesi sağlanmaktadır. Kanatların bağlandığı kısımlar, bazı yüklere ve vibrasyona maruz kaldığından dolayı değişken karakterli olmalıdır.

3. Sapma mekanizması (Yaw Sistem)

Sapma mekanizması, RT pervanesinin rüzgârın geldiği yöne doğru dönmesini sağlamaktadır. Rüzgârın estiği yön, göbek yüksekliğinde ölçülen yön sensörü ile kontrol edilmektedir. Sapma sistemi, iki motor ile ayarlanmaktadır. Bilindiği gibi RT içindeki kablolar naselden kulelerin girişine kadar üretilen elektriği taşımaktadır. RT nasel kısmı, rüzgârın geldiği yönde dönüşünü yaparken rüzgârın yönüne göre nadir de olsa tek yönde birkaç kez dönebilir. Modern RT'lerde bu dönüş sayısı 5 kezdir. Bu yüzden nasel içerisinde kablo dönüşünü sayan bir cihaz (cable twist counter) bulunmaktadır. Kablo dönüş sayısı, naseldeki kontrol ünitesi tarafından kaydedilmekte ve gerekli kişilere bilgiler gönderilmektedir.

4.Jeneratör

Elektrik enerjisi üretmek için kullanılan rüzgâr türbinleri yüksek hızda çalışan makinalardır. Hızlı bir pervanenin başlatma torku çok küçük de olsa jeneratörü kolaylıkla harekete geçirebilmektedir. Rüzgâr, pervaneyi bir dişli kutusu üzerinden hareket ettirerek jeneratörü döndürür. Dişli kutusundaki yaşanan gelişmelere ve düşük hızda elektrik jeneratörlerinin maliyetlerinin yüksek olması, küçük sistemler dışında pervanenin jeneratör tarafından doğrudan sürülmemesi eğilimine yol açmaktadır. Genellikle 3 tip jeneratör RT’lerde yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Doğru akım jeneratörü
- Senkron jeneratör(Alternatör)
- Asenkron jeneratör(indüksiyon jeneratör)

Küçük güçlü sistemlerde eskiden yaygın şekilde kullanılan doğru akım jeneratörleri günümüzde senkron veya asenkron jeneratörlerle değiştirilmektedir. Bu jeneratörler, çok pahalı olmayan doğrultmaçlar yardımıyla kolayca doğru akıma dönüştürülebilen alternatif akım üretir. Senkron ve asenkron jeneratörler orta ve büyük kurulu güçlü RT’lerde kullanılmaktadır. Son yıllarda, asenkron kullanımı daha fazla tercih edilmektedir. Bu iki tip jeneratörde sabit stator ve dönen rotor olmak üzere iki ana kısımdan meydana gelir.

5.Dişli kutusu

Rüzgârdan elde edilen mekanik enerji iletim sistemi ile jeneratöre verilerek elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu dönüşüm dişli kutusu yoluyla yapılır. RT’nin en önemli elemanlarından olan dişli kutusu, ana shaft ile jeneratör arasında yer almaktadır. Ana görevi, yavaş dönen pervane rotasyonel hızını dakikada 1000 ile 1500 rpm arasında dönmesi gereken jeneratör rotasyonel hızına çevirmektir.

Akıllara “neden dişli kutusu kullanılmaktadır” veya “jeneratörü ana shafttan gelen dönme ile neden döndüremiyoruz” gibi sorular gelebilir. Örneğin 50Hz AC bir jeneratörde 3 faz, 4 veya 6 kutup bulunmakta ve türbin 100–3000 devir gibi çok yüksek bir hızda dönmesi gerekecekti. Bunun anlamı da 43 m çapında bir kanat için uç hızın ses hızının 2 katı büyüklüğünde dönmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Böyle bir şey

mümkün olamayacağı ise çok açıktır. Diğer bir ihtimalde yavaş dönen AC jeneratöre çok sayıda kutup(yaklaşık 200) yerleşmektedir. Dolayısıyla 30 rpm gibi mantıklı bir hale gelebilir. Bu gibi faktörler göz önüne alındığında dişli kutusu kullanımı zorunlu görülmektedir. Dişli kutusu yardımı ile düşük hızda dönen ve yüksek torka sahip RT pervanesinin dönmesini, yüksek hız ve düşük torka sahip bir dönmeye çevirerek RT jeneratörünün kullanabileceği bir dönüşe çevirebilir. RT içerisindeki dişli aslında değişken değildir, genellikle sabit bir oranı bulunmaktadır. 600 kW ve 750 kW kurulu gücünde bir RT'nin oranı 1:50 iken ; 1,5 MW kurulu gücünde bir RT'de 1:98 ve 3 MW RT'de ise 1:108 civarındadır.

6. Uyarı Işığı (Aviation veya Obstacle light)

Uyarı ışıkları, “aviation” veya “obstacle light” olarak adlandırılmaktadır. Almanya'daki uyarı ışığı ile ilgili standartlar olarak gece LED 170 cd ve kırmızı iken; gündüz LED 170 cd ve kırmızı veya Xenon 20000 cd beyaz olması gerekmektedir. Uyarı ışıklarında UPS kullanımı da zorunludur.

7. Soğutma ve Filtreleme

RT'lerde dişli kutusu, jeneratör ve eviricinin(inverter) birbirinden bağımsız soğutma sistemi bulunmaktadır. Bütün soğutma sistemleri, cihazların çalışacağı optimum sıcaklığa göre çalışmaktadır. Dişli kutusu yatakları, dişli kutusu yağı, jeneratör ve eviricinin sıcaklıkları RT kontrol sistemi yardımıyla sürekli izlenmektedir. Dişli kutusu soğutması: Dişli kutusundan sıcaklığın kaldırılması, içindeki soğutma yağın sirküle olmasını sağlayan eşanjör (heat exchanger) vasıtasıyla olur. İki aşamalı pompa transfer filtre sistemleri bulunmaktadır. Filtreler, coarse filtre 100 µm ve fine mesh filtre 10 µm özelliğine sahiptir. Sıcaklık belli bir derecenin üzerine çıktığı zaman yağ veya hava değiştirici devreye girmektedir. Eşanjör naselin üst kısmında bulunmaktadır.

Jeneratör soğutma: Isı, jeneratör içerisindeki hava soğutma sirkülasyon yoluyla olur. Havanın soğutulması da eşanjör vasıtasıyla yapılır.

Evirici soğutması: Evirici, kulenin en altında bulunmaktadır. Evirici tarafından ısıtılan su, su veya hava soğutucu tarafından soğutulmaktadır. Isınan hava da fan tarafından dışarı atılmaktadır.

8. Fren Sistemi

RT nin kritik bazı ekipmanlarının herhangi bir ani durum esnasında acil olarak durabilmesi gerekmektedir. Örneğin; jeneratör yüksek ısınması şebekeden ani kopma ve benzeri gibi normal işletme koşullarında görülebilecek bazı istenmeyen durumlar olabilir. Bu durum için yüksek hız veya aşırı hız koruma sisteminin bulunması esastır. Bu amaçla iki çeşit fren sistemi bulunmaktadır: kanat ucu frenleri veya aerodinamik fren sistemi ve mekanik fren sistemi.

Kanat ucu fren sistemi

Aerodinamik fren sistemi olarak da bilinen bu fren sistemi hatve kontrolü ve aktif stall kontrolü RT'lerde kendi yatay eksenleri etrafında 90^0 ; stall kontrollü RT'lerde de kanat ucunun 90^0 dönmesiyle yerine getirilmektedir. Bu sistem yaylar yardımıyla çalışmaktadır. Yani elektrikler kesilse bile çalışabilmektedir. Aerodinamik fren sisteminin güvenli bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Durması birkaç rotasyon içerisinde olduğu gibi; kule üzerinde büyük bir stres meydana getirmemektedir. Bu yüzden modern RT'lerin durması aerodinamik fren sistemiyle olmaktadır.

Kanat ucunun dönen kısmı RT kurulu gücüne göre 3–7 m arasında değişim göstermektedir. Kanadın bu kısmı karbon fiber shaft üzerine yapılmıştır. Aerodinamik fren sistemi, pervane kanatlarında bağımsız olarak çalışmaktadır ve kendi eksenleri etrafında 90^0 dönebilmektedir. Aerodinamik fren sisteminin yanında hidrolik disk fren sistemi de bulunmaktadır.

Mekanik fren sistemi

Mekanik fren sistemi, aerodinamik fren sisteminin yedeği olarak kullanılmaktadır. Mekanik fren, dişli kutusunun yüksek hız şaftının üzerindedir. Çelikten yapılmış olup şaftta sabitlenmiştir. Hidrolik sistemi bulunmaktadır ve hidrolik yağının eksilmemesine dikkat edilmelidir. Fren işlemi, fren bloğu ile disk arasındaki sürtünmeden meydana gelir.

RT'lerin mekanik freni çok büyük strese maruz kaldığından fren bloğunda özel metal alaşımlar kullanılmaktadır. Bu metaller 700 °C ye kadar çalışabilir. Kıyaslama yapılırsa, arabalardaki fren 300 °C ye kadar çok nadir olarak çalışmaktadır.

9. Hidrolik sistemi

Hidrolik sistem yaw frenleri ve pervane frenleri için yağ basıncı sağlamaktadır. VG 32 hidrolik yağ kullanılmakta olup genellikle 30-50 lt arasında yağ gerekmektedir. Yağ pompasının yanma gücünde 1 kW civarındadır.

4.3.4. Göbek (HUB)

RT'nin pervanelerinin bağlı olduğu göbek kısım göbek olarak adlandırılmaktadır. Göbek boyutları da tahmin edileceği gibi RT kurulu gücüne göre değişebilmektedir. MW sınıfı RT'lere ait göbeğe iki kişi rahatlıkla sığıp çalışabilmektedir. Göbek, SG Dökme Demir (SG:Küresel grafit) denilen demir alaşımlı bir maddeden yapılmıştır. Göbek şeklinin karışık olmasından dolayı bu karışımın kullanımı zorunludur. Buna ek olarak göbek, metal yorulmasına karşı dayanıklı olmalıdır. SG, normal dökme demir kullanımından kırılma hususunda da dayanıklı olmaktadır. Normal cast iron daha kırılgandır ve akış bozulmalarına da dayanıksızdır. SG dökme demirde silinyum maddesi de kullanılmaktadır. SG biraz daha pahalı bir tasarımdır.

4.3.5 RT Elektronik Kontrol Sistemi

Elektronik kontrol sistemi, RT işletmedeyken RT ile ilgili bazı istatistik ve bilgileri toplayarak kayıt altına almaktadır. Hidrolik pompalar, valfler, motorlar gibi nasel içerisinde bulunan cihazlardan toplanan veriler bu kontrol sistemi tarafından kaydedilmektedir. Bu kontrol sistemi aynı zamanda RES işleticisine modem aracılığı ile alarm da göndermektedir. RT içerisinde bulunan kaydedilme işlemi yapılmaktadır. RT'lerin hepsinde kontrol ve performans izleme amacı için mikro işlemci bulunmaktadır. İlk ticari RT'lerde merkezi bir izleme sistemi bulunmaktaydı. Günümüzdeki RES'lerin içindeki her bir RT'nin de RES içerisinde bağımsız olarak performansı izlenebilir. Genellikle aşağıdaki fonksiyonlar izlenir:

- Devreye giriş ve çıkış rüzgâr hızları(işletme aralığı),
- Jeneratör çıkışının şebekeye verilmesi,
- Naselin oryantasyonu(rüzgâr yönüne göre),
- Kanat hatve açısının düzenlenmesi,
- RT normal işletme ve acil durumda durdurulması.

Mikro işlemciler aşağıdaki fonksiyonların kayıtlarını da tutmaktadır:

- RT durumu,
- Rüzgâr hız ve yön verisi,
- Jeneratör çıkışı,
- Güç eğrisinin performansı(yani rüzgâr hızına karşılık gelen üretimin gerçekleşip gerçekleşmediği).

Sensörler

Elektrik korumaya ek olarak RT diğer bazı sensörler yardımıyla koruma ve kontrol altına alınmıştır. Aşağıdaki parametreler de RT'lerde kontrol altına alınmıştır:

- Rüzgâr hızı,
- Rüzgâr yönü,
- Nasel oryantasyonu,
- Pervane hızı,
- Kanat hatve (pitch) açısı,
- Teçhizat vibrasyon seviyeleri,
- Dişli kutusu yağ seviyesi, sıcaklık ve basınç değerleri,
- Jeneratör hızı,
- Hidrolik sıvı seviyesi, sıcaklık ve basınç değerleri,
- Yatak sıcaklıkları,
- Yapısal bütünlük.

BÖLÜM 5

RES ÇEVRE ETKİLERİ

Sürdürülebilir gelişme, dünyadaki birçok ülkenin önemli hedeflerinden birisidir. 1987’de Brundtland Komisyonu tarafından gündeme getirilen bu kavram (sustainable development), ülkemizde de büyük yankı uyandırmıştır. Bilindiği gibi fosil yakıtlı kaynakların atmosfere verdiği karbondioksit, sürdürülebilir gelişme için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Rüzgâr enerjisinden herhangi bir emisyon atmosfere verilmemektedir. Rüzgâr enerjisinin ekonomik analizi yapıldığında sermaye masrafları, işletme giderleri, sigorta, teçhizat vb. gibi kalemler toplanır ve maliyet hesaplanarak birim kWh elektrik tarifesi bulunur. Bu durumda rüzgâr veya diğer yenilenebilir kaynaklar diğer enerji kaynakları ile rekabet edemez gibi görülebilir. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye olan etkileri göz ardı edilmemelidir. Normalde bu olumlu etkiler elektrik tarifesini yansıtmamaktadır. Uluslar arası literatürde görünmeyen bu maliyetlere “externalities of energy generation” denmektedir. Türkçe dışsal maliyetler olarak çevrilebilecek olan bu maliyetler, 3. Şahıslar yani gelecek nesiller tarafından ödenecektir. Dışsal maliyetler, elektrik tarifesinde hiçbir zaman görülmemektedir. Dışsal maliyetler, çevresel ve çevresel olmayan olarak iki kısma ayrılabilir. Çevresel maliyetler, insan sağlığı, iş hastalığı, estetik huzursuzluk, ekolojik etkenler ve iklim değişikliği olarak; çevresel olmayan maliyetlere ise, sübvansiyonlar, teşvikler, AR-GE maliyetleri örnek verilebilir. Bu bölümde rüzgâr türbinleri ve elektrik santrallerinin çevre üzerindeki etkilerinden bahsedilecektir.

5.1 Gürültü

Rüzgâr türbinleri, farklı aerodinamik ve mekanik sebeplerden dolayı gürültü çıkarır. Gürültü konusu, rüzgâr enerjisi mühendisliğinin en önemli konularından birisidir. Gürültü, istenmeyen ses olarak tanımlanmaktadır. Gürültünün insanlar üzerinde ise 3 türlü etkisi bulunmaktadır. Bunlar:

1. Telaş, sıkıntı veya hoşnutsuzluk,
2. Uyku, konuşma ve öğrenme gibi aktivitelerin bozulması,
3. Duyma bozukluğu gibi fizyolojik etkilerdir.

Sesler, büyüklük ve frekansları ile ölçülmektedirler. Düşük şiddette fakat yüksek frekansta veya yüksek şiddette ama düşük frekansta da olabilir. İnsan kulağı geniş bir aralıktaki şiddet ve frekanstaki sesi duyabilir. Ses dalgaları büyüklük(dalga boyu, λ) ve frekans(f) ve hız(v) ile karakterize edilir.

$$V=f\lambda \dots\dots\dots(5.1)$$

Sesin hızı, ilerleyişini yaptığı ortama göre de değişmektedir. Yoğun ortamlarda daha hızlı hareket etmektedir. Ses, istenmediği zaman gürültü halini alır. Sesin güç seviyesi ve basınç seviyesi vardır. Sesin güç seviyesi, sesin kaynağıdır ve kaynak tarafından yayılan toplam akustik güçtür. Ses basıncı ise sesin özelliğidir. Kaynağın güç seviyesi(L_w), desibel(dB) birimindedir ve

$$L_w=10\log_{10}(P/P_0) \dots\dots\dots(5.2)$$

ile verilmektedir. P , kaynağın ses gücüdür ve P_0 , referans ses gücüdür (ve genellikle 10^{-12} Watt olarak alınır). Ses basınç seviyesi, L_p , (dB) birimindedir ve

$$L_p=20\log_{10}(P/P_0) \dots\dots\dots(5.3)$$

Eşitliği ile verilmektedir. P , efektif ses basıncıdır. P_0 , referans ses basıncıdır ($20 \times 10^{-5} P_a$ olarak alınır). Normalde, RES'lerden meydana gelen gürültü diğer elektrik santrallerinden meydana gelen gürültüyle kıyaslanmayacak durumdadır; ancak insanların doğrudan üretim yapan üniteyle (rüzgâr türbini) karşı karşıya geldiklerinde bu gürültü onlar tarafından rahatlıkla hissedilir. RT teknolojisi geliştikçe, daha sessiz çalışmaktadır ve kanat profili daha verimli hale getirilerek hem rotasyonel enerjinin daha fazla rüzgâr enerjisine çevrilmesi hem de gürültünün azalmasına doğru gidilmektedir.

5.1.1 RT'lerin Gürültü Kaynakları

RT'ler çok küçük kurulu güçlerden yüksek kurulu güçlere kadar çeşitli boyutlarda elektrik üretimi yapmaktadır. Birçok RES yerleşim bölgelerine uzak yerlere yapılırken; Avrupa'daki bazı RES'ler yerleşim bölgelerine yakın yerdedir. Bu tip RES'lerde gürültü duyulabilir. Bununla beraber son yıllardaki RES'lerde gürültü problemi çözülmüştür ve rüzgâr türbinleri oldukça sessiz çalışmaktadır. RT'den genellikle gürültü çıkaran 4 türlü bileşen vardır. Bunlar; tonal, genişband (broadband), düşük frekans ve darbeli(impulsive).

Tonal: Farklı frekanstaki gürültüler için kullanılan bu terim RT'lerde aerodinamik olmayan bozulumların kanat yüzeyi ile yaptığı etkileşimden dolayı meydana gelir.

Genişband: Ses basıncının 100Hz frekansından büyük olarak sürekli dağılımından meydana gelir. RT kanatlarının atmosferik türbülans ile etkileşiminden meydana gelir.

Düşük frekans: Gürültü frekansları 20–100Hz arasında değişen RT'lerin kule etrafındaki hava akışı nedeniyle oluşan gürültüdür.

Darbeli(impulsive): Zamanla değişen ve ani olarak meydana gelen gürültüdür. Genellikle hamleli ve ani rüzgâr akışlarında meydana gelir.

RT'lerden meydana gelen gürültünün temelde 2 kaynağı bulunmaktadır. Bunlar aerodinamik ve mekaniktir. Mekanik gürültünün temel kaynakları dişli kutusu ve

jeneratör iken; aerodinamik gürültünün kaynağı ise hava akışı ve kanatlar arası etkileşimdir. İnsanlara, RES'lerden gelen gürültü 3 parametreye bağlıdır. Bunlar, gürültü kaynakları, propagasyon(yayıma) ve alıcılar olarak sınıflandırılabilir.

RT'nin gürültü emisyon karakteristikleri olarak tonalite, oktav, spectrum ve ses güç seviyesi sayılabilir. 2,5MW kurulu gücünde bir RT'ye ait ses güç seviyesi Çizelge 5.1 ile verilmiştir. Burada hub yüksekliği 100 m olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.1 - Göbek (Hub) Yüksekliği ve dB Olarak Üretilen Ses Şiddeti (Durak M, Özer S,2008, s.432)

Hub yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)	Lwa (dB)
< 4	< 96
4	< 96
5	< 96
6	96, 3
7	99, 6
8	102, 5
≥ 9	105, 0

100 m yükseklikteki gürültünün 10 m yükseklikten duyulabilme formülü aşağıda verilmiştir. Bu logaritmik rüzgâr profil kabulü yapılmıştır ve yüzey pürüzlülüğü $z_0=0,03m$ olarak alınmıştır.

$$V_{10m} = V_{hub} \frac{\ln\left(\frac{10m}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Hubyükseklği}{z_0}\right)} \dots\dots\dots (5.4)$$

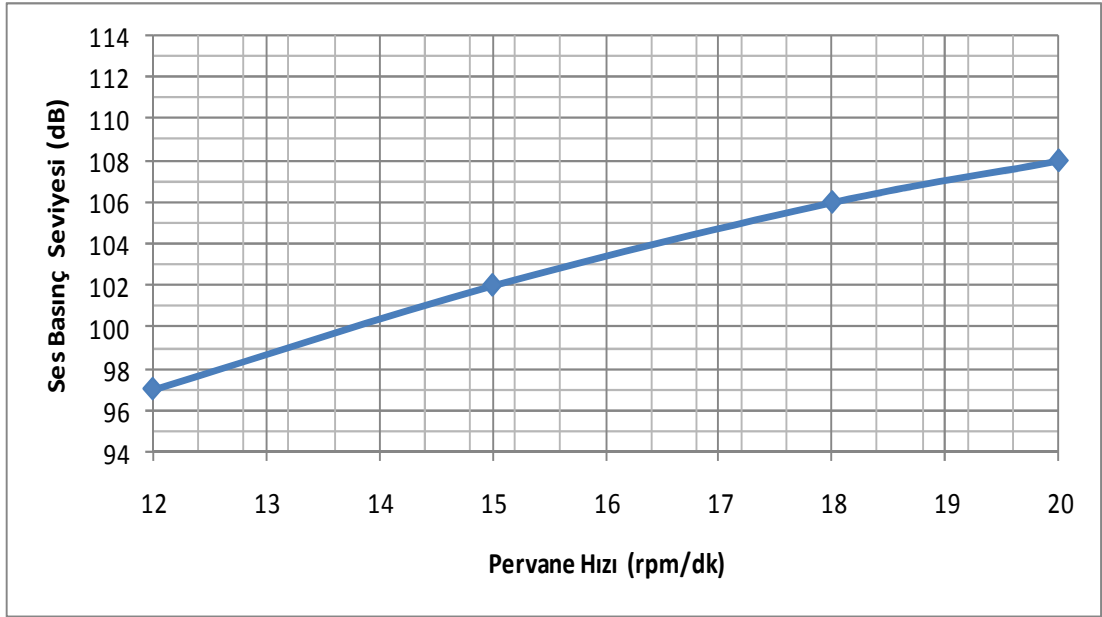
Mekanik Gürültü

Mekanik gürültü, mekanik aksamın hareketinden meydana gelmektedir. RT'lerde bunlar dişli kutusu, jeneratör, sapma sistemi, soğutma fan motorları ve hidrolik motorlarıdır. Kule, göbek ve pervanede hoparlör gibi davranarak oluşan mekanik gürültüyü yayabilmektedir. Gürültünün iletim işlemi hem havadan hem de yapı yoluyla olabilmektedir. Hava yoluyla iletim, gürültünün ekipman yüzeyinden doğrudan havaya karışması ile meydana gelmektedir. Yapı yoluyla gürültünün iletiminde ise, gürültü havaya iletiminden önce kule, nasel gibi yapıların üzerinden ilerlemektedir.

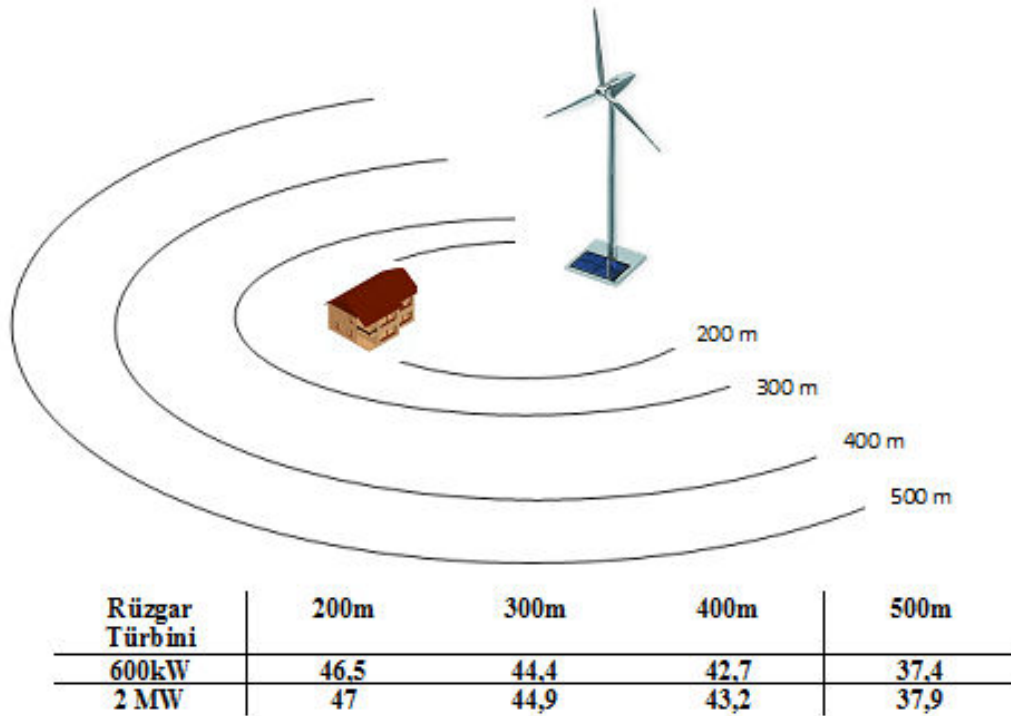
Aerodinamik Gürültü

Aerodinamik gürültünün kaynağı, kanadın etrafındaki hava akışıdır. RT kanadının etrafında oldukça kompleks hava akışları meydana gelir. Aerodinamik gürültü, pervane hızının artışı ile doğru orantı göstermektedir ve insanların duyduğu RT'den meydana gelen gürültünün kaynağını teşkil etmektedir. Kanat gürültüsü (impulsive blade noise), RT'den aerodinamik ana gürültü kaynağıdır. Şekil 5.2 ile 3MW gücünde bir RT'ye ait pervane dönüş hızı ile ses basınç seviyesi ve dolayısıyla gürültü arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Şekil 5.2 ile 600 kW ve 2 MW Kurulu güçlerinde 2 adet RT'ye ait mesafe ve bu mesafede duyulan gürültünün dB cinsinden seviyeleri görülmektedir. Şeklin altındaki çizelgeden de görülebileceği gibi, 600 kW ile 2 MW RT'den gelen gürültü seviyesi arasında çok az bir fark bulunmaktadır. RT teknolojisindeki gelişim burada da kendini



Şekil 5.1. Pervane Dönüş Hızı ve Gürültü (Durak M, Özer S,2008, s.434.)
göstermektedir.



Şekil 5.2. Farklı RT Mesafe ve Gürültü Seviyesi (Durak M, Özer S,2008, s.434)

RT'den meydana gelen gürültünün kıyaslanabilmesi için Çizelge 5.2 incelenmelidir.

Çizelge 5.2 - Gürültü Seviyeleri (Durak M, Özer S,2008, s.435)

Gürültü Kaynağı	Kaynaktan Olan Mesafe (m)	Gürültü Seviyesi (dB)	Çevresel Kıyaslama	Etki
Sivil savunma sireni	140		–	Çok güçlü gürültü
Jet kalkışı	61	120	–	Çok güçlü gürültü
Cankurtaran sireni	31	90	Rock konseri	Fazla gürültü
Nakliye treni	15	80	Baskı makinası	Gürültülü
Pnömatik matkap	15	80	Baskı makinası	Gürültülü
Otoyol trafiği	31	70	–	Gürültülü
Vakum temizleyici	31	60	Kalabalık ofis	Daha az gürültülü
Hafif trafik	31	50	Küçük ofis	Gürültülü
RT < 1 MW	200	49	–	Hafif gürültü
RT > 1 MW	300	45	–	Hafif gürültü
Büyük trafo	61	40	–	Hafif gürültü
Fısıldama	2	30	–	Hafif gürültü

Çizelge 5,2'den de görüleceği gibi, 1 MW'tan büyük bir RT için 200–300 m mesafe gürültü için yeterlidir. 1 MW'tan büyük bir RT 8 m'de, 100 dB civarında bir gürültü seviyesine sahiptir. Desibel skalası RT'ler yan yana yerleştirilirken dikkat

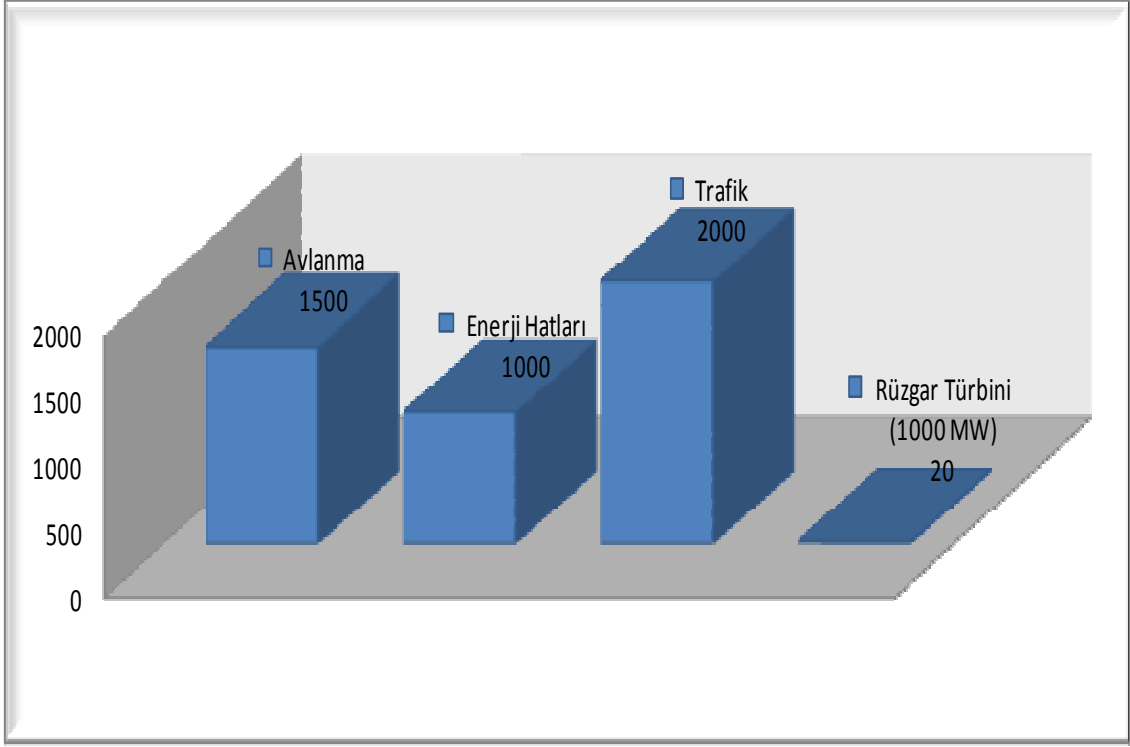
edilmelidir. 1 MW Kurulu gücünde bir RT’de 100 db ise, ikinci RT monte edildiğinde gürültü seviyesi sadece 3 dB artacaktır. Gürültünün bağlı olduğu diğer bir faktör de zamandır. Rüzgârın esmesine göre gürültü de değişebilmektedir. Çok iyi rüzgâr potansiyeline sahip bir sahanın, %40 kapasite faktörü veya yılda 3000 saat işletmeye denk geldiği göz önüne alınmalıdır.

5.2. Kuş Zaiyatı

Rüzgâr türbinlerinin eleştirilen olumsuz çevre etkilerinden birisi de, kuş ölümlerine sebebiyet vermesidir. Bununla beraber yapılan araştırmalar, rüzgâr kaynaklı enerji üretiminde çevredeki yabani ve evcil hayvanlar için iddia edildiği gibi bir olumsuz bir etki yaratmadığı saptanmıştır. RT’ler yüzünden meydana gelen kuş ölümleri kuşların RT kule ve özellikle de kanadına çarparak meydana gelmektedir. Bird Life isimli kuruluşun 2003 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, RT’lere 600 m kala civardaki kuşların sayısında azalma meydana gelmektedir.

5.2.1. AB Ülkelerinde Kuş Zaiyatı

Çevre bilincinin oldukça yüksek olduğu AB Ülkelerinde kuş ölümleri ile ilgili hassasiyet yüksektir. İspanya La Tarifa’daki RES’te de akbaba ölümleri görülmüştür. Bu saha, kuşların göç yolu üzerinde bulunmaktadır. Bu örnek aslında RT’lerin kötü yerleşimi ve çevre planlamasındaki hataları işaret etmektedir. Almanya ve Danimarka’daki RES’ler bu durum için en iyi örnektir. Doğru planlama ve RT yerleşimi sayesinde çok fazla kuş ölümü görülmemektedir. AB Ülkelerinde yapılan bir araştırma sonuçları şekil 5.3 ile verilmiştir.



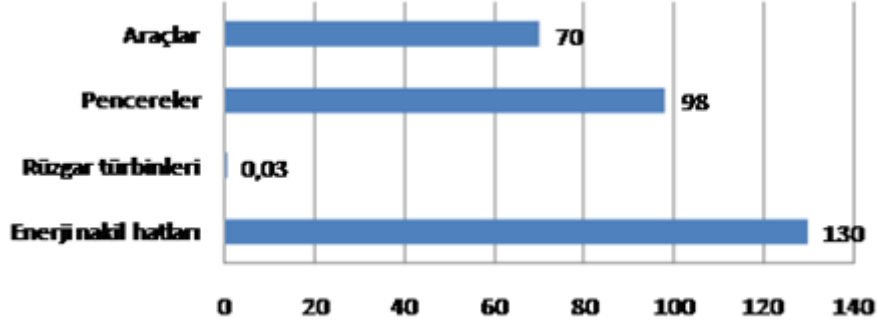
Şekil 5.3 AB Ülkelerinde Kuş Ölümleri (Durak M, Özer S,2008, s.436)

Şekil 5,3'den de görüldüğü gibi RT'lerden meydana gelen kuş ölümleri trafik ve avlanma sebebiyle meydana gelen kuş ölümleriyle kıyaslanmayacak derecededir.

5.2.2 Amerika Birleşik Devleti'nde RES'lerin Neden Olduğu Kuş Ölümleri

Amerika Birleşik Devleti'nde kuş ölümleri ile ilgili bilinen en dramatik olaylar California Altamont Pass'ta bulunan RES'lerde meydana gelmiştir. 1984–1988 yılları arasında California'da 99 kuş ölümü gerçekleşmiştir. Altamont Pass'ta bulunan RES dünyadaki en yoğun şekilde RT'lerin bulunduğu santraldır. Ayrıca bu RES'te farklı kurulu güç ve dolayısıyla farklı boylarda RT'ler bulunmaktadır. Şekil 5.6 ile Amerika Birleşik Devleti'nde meydana gelen kuş ölümlerinin nedenleri görülmektedir.

YILLIK YAKLAŞIK ÖLEN KUŞ SAYISI



Şekil 5.4 Amerika Birleşik Devleti'nde Kuş Ölümleri (Durak M, Özer S,2008, s.436)

5.3 Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı açısından RES yapıldığında sahanın mevcut ve gelecekteki kullanımının nasıl etkileneceğine de dikkat edilmelidir. RES proje geliştiricisi saha kullanımı ile ilgili hususlara çok dikkat etmelidir. RES sahası, tarım, hayvancılık (mera olarak kullanım) gibi hususlara açıktır. Özellikle Almanya ve Hollanda'daki RES sahaların çoğu çiftçilere aittir ve RT'nin altında rahatlıkla tarım faaliyetlerini sürdürebilmektedir. RES sahasında ağaçlandırma faaliyetlerine de devam edilebilir.

RES proje sahasının bütünü düşünüldüğünde aslında sahanın %4-%5 civarı kullanıldığı görülür. Yani sahanın geri kalan %96-%95 kısmı diğer aktivitelere açıktır. Avrupa'daki birçok proje RES sahası yerleşim yerlerine yakındır. Özellikle Almaya ve Hollanda'da bunun örnekleri sıklıkla görülmektedir. Bu iki ülke nüfusu, bir bölgede yoğunlaşma yerine ülkeye homojen bir şekilde yayılarak yerleşim merkezleri oluşturmuştur. Bu yüzden bazı Avrupa Ülkeleri'nde arazi kullanımı ve gürültü ile ilgili kurallar çok sıkıdır. Ülkemiz gibi nüfusun belirli bölgelerde yoğunlaştığı ülkelerde arazi kullanımı ve gürültü büyük bir sorun teşkil etmemektedir.

5.4 Elektromanyetik Etkileşim

Alıcı veya verici gibi elektromanyetik dalga ile çalışan sistemlerin yakınında ister hareketli olsun isterse de hareketsiz büyük bir yapı bulunduğu etki söz konusu olabilmektedir. RT'ler elektromanyetik dalga yayan iletişim sistemlerinde bazı etkilerde bulunabilirler. Bu etki RT kanadı yüzünden meydana gelmektedir. RT kanadı döndüğünden gelen sinyallere çarparak yönünün değişimine sebep olmaktadır.

Bununla beraber uygulamaya bakıldığında özellikle Almanya'da RT'lerin gerek evlere gerekse de havaalanı, radyo link istasyonu gibi yerlere yakın olduğu dikkat çekmektedir ve herhangi bir sorun görülmemektedir.

5.5 Toplumun Rüzgâr Enerjisine Bakışı

Rüzgâr enerjisi, toplum tarafından çoğunlukla pozitif olarak görülmektedir. Toplum genel olarak çevre ile dost teknolojilere daha sıcak bakmaktadır. İklim değişimi gerçeği, enerjide dışa bağımlılığın azalması ve bedava hammadde rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan sempatiyi artırmaktadır. Geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre üzerinde yerel, bölgesel ve hatta küresel ölçekte olumsuz etkilere neden olması toplum tarafından yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve sempatiyi artırmaktadır.

RES proje gelişimi sürecinde yerel ahalinin aktif olarak katılımının sağlanması aşağıdaki açılardan büyük önem taşımaktadır:

- Yerel ahali tarafından bilgi paylaşımı olur ve bilgi paylaşımı önemli geri beslemelere neden olarak proje için önemli kazanımlar sağlar,
- İzin ve onay prosedürü hızlanır,
- Bölgede yaşayanların projeye inanması ve merak duyması halkın çevre bilincinin oluşmasında olumlu etki yapar.

Enerjinin toplum tarafından algılanması ile ilgili AB Araştırma Direktörlüğü tarafından Nisan 2002 yılında bir çalışma yaptırılmıştır. Bu çalışmada 16000 kişi ile görüşülmüştür. AB-15 ülkede yapılan bu çalışma özellikle rüzgâr enerjisi için yapılmamıştır fakat çok çarpıcı sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçlar Çizelge 5.5 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 - AB ülkeleri Anket Sonuçları (Durak M, Özer S,2008, s.439)

AB ülkelerinin enerjisinin %50'den fazlası kömürden karşılanmaktadır.	
Evet biliyorum	%21
Hayır sanmıyorum	%49
Fikrim yok	%31
AB ülkelerinin enerjisinin %15'ten fazlası nükleerden karşılanmaktadır.	
Evet biliyorum	%55
Hayır sanmıyorum	%16
Fikrim yok	%29
AB ülkelerinin enerjisinin %50'den fazlası rüzgâr, hidroelektrik ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaktadır.	
Evet biliyorum	%30
Hayır sanmıyorum	%43
Fikrim yok	%27

Bu araştırmaya göre AB ülke vatandaşlarının %49'u enerji üretiminin %50'sinden fazlasının kömürden üretildiğini bilmemektedir.

5.6 Emisyonlar

Geleneksel enerji kaynaklarını kullanarak elektrik üretimi yapılan santralardan atmosfere verilen en önemli emisyonlar CO₂, NO_x, SO₂ ve PM10 dur.(10 mikronluk küçük partiküller). Emisyonlar, genellikle kullanılan yakıtı göre değişmektedir. CO₂

emisyonları karbon içeren yakıtlarda;SO₂ sülfür içeren yakıtlarda, NO_x ise, yakıttan ziyade havanın yanması sürecinde oluşan nitrojenden sülfürizasyon ünitesi veya filtresi kullanılarak azaltılabilmekte iken; NO_x ancak düşük sıcaklıkta yanma veya denitrifikasyon ünitesi kullanımı ile azaltılabilmektedir. Rüzgâr enerjisinin çevre açısından en önemli avantajı herhangi bir emisyon yaymasıdır. Amerika Rüzgâr Enerjisi Birliği tarafından yapılan bir çalışmada global iklim değişimindeki en önemli kirleticiler olan CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonları ile ilgili bilgi verilmiştir. Çizelge 5.6, bu çalışma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge.5.4 - Birim kWh Başına Emisyon Miktarı (Durak M, Özer S, 2008, s.441)

Yakıt	CO₂(pound)	SO₂(pound)	No_x(pound)
Kömür	2, 13	0, 0134	0, 0076
Doğalgaz	1, 03	0, 000007	0, 0012
Fuel-oil	1, 56	0, 0112	0, 0021
Rüzgâr	0	0	0

BÖLÜM 6

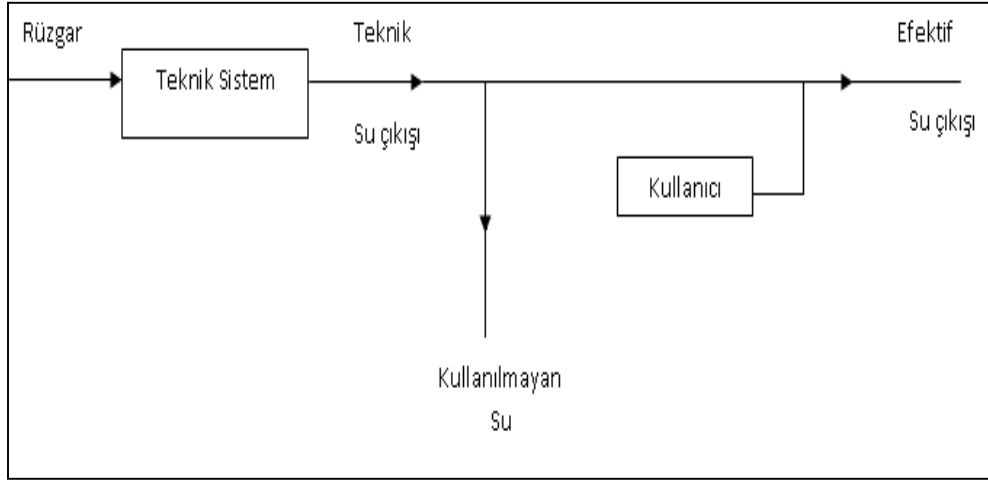
RÜZGÂR ENERJİSİNİN DİĞER UYGULAMALARI

Büyük güçlü elektrik santrallerinden olan üretime yönelik modern rüzgâr türbinlerinin üretiminin yanında, rüzgâr enerjisinin diğer kullanım alanlarından da bahsetmek gerekirse; rüzgâr enerjisinden su çekme amaçlı kullanılan sistemler, küçük güçlü elektrik üretimi ve ada elektrik üretim (stand alone system) amaçlı kullanılan küçük sistemler, güneş, dizel ile birlikte kullanılan hibrid sistemler sayılabilir.

6.1 Rüzgâr Su Çekme Sistemi (Windpumping)

İngilizce “wind pumping” olarak bilinen bu sistemler rüzgâr su çekme sistemi olarak; “wind mill” olarak bilinen ve tahıl öğüten sistemlerse yel değirmeni adını almıştır. Asya’da en az 1500 yıldır, Avrupa’da 500 yıldır ve Amerika’da 19.yy’dan bu yana su çekme amacına yönelik sayısız yel değirmeni kullanılmıştır. Günümüzde de bu tip sistemlerin kullanımı çok yaygındır. Rüzgâr su çekme sistemleri planlanırken önemli olan ne kadar suya ihtiyaç olduğu ve bunu müteakip gerekli pervanenin tasarlanmasıdır. Rüzgârın değişken bir meteorolojik parametre olduğu düşünülürse, güç ve talebin ayarlanmasının pek de kolay olmadığı anlaşılır. Örneğin, güçlü rüzgârlarda su tankını taşıracak kadar su çekebilirken; zayıf rüzgârlarda çiftçi için az su gelebilmektedir. Ayrıca çiftçinin su ihtiyacı da mevsimler ve bitkinin gelişimi gibi nedenlerden dolayı değişkendir. Herhangi bir bölgenin rüzgâr potansiyeli biliniyorsa, verilen yel değirmeninin teknik çıkışı hesaplanabilir. Teknik çıkıştan kasıt, rüzgârın yerin altından çıkarabileceği su miktarıdır. Efektif çıkış (effective output) ise çiftçinin kullandığı su miktarıdır ve çiftçinin su ihtiyacına bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin, çiftçi hasat dönemi boyunca suya gereksinim duymayabilir. Teknik ve efektif su çıkışı arasındaki ilişki şekil 6.1 ile verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, rüzgâr su çekme sisteminin ilk girdisi rüzgârdır. Rüzgârın sistemden (pervane +dişli kutusu+borular+piston) çıkardığı teknik su çıkışının belli bir miktarı kullanılmayabilir.

Kullanıcı yani çiftçi tarafından toplama havuzundan alarak tarlasının sulanmasında kullandığı su ise, efektif su çıkışıdır.



Şekil 6.1 Teknik ve Efektif Su Çıkışı (Durak M, Özer S,2008, s.443)

Efektif su çıkışı, yerel şartlar ve su değirmeninin kullanım amacına göre değişmektedir. Rüzgâr su çekme sistemi denildiğinde, sadece görünen mekanik aksam(yel değirmeni) akla gelmemelidir. Yel değirmeninden başka su kaynağı, suyu çekmek için kullanılan pompa ve pistonlar, su depolama tankı, suyun dağıtımını sağlayan dağıtım borusu ve sulanan bölge kastedilmektedir.

Rüzgâr su çekme sistemi, sulama yapılan kanal ve sulanacak alandan oluşan sistem bir bütün olarak tasarlanmalıdır. Sistemin ekonomik olabilmesi için dikkatli bir tasarım yapılmalıdır. Bu tip sistemlerde planlanması gereken ilk şey, ihtiyaç duyulan su miktarının belirlenmesidir. Sistemin yatırım tutarı ve enerji üretimi (suyun istenilen yüksekliğe çıkarılabilmesi için gerekli enerji miktarı) pervane alanının büyüklüğüne göre değişmektedir. Efektif su çıkışı belirlendikten sonra, gereken su miktarı da belirlenir. Belirlenen hacimdeki suyun çıkarılabilmesi için gerekli enerji miktarının

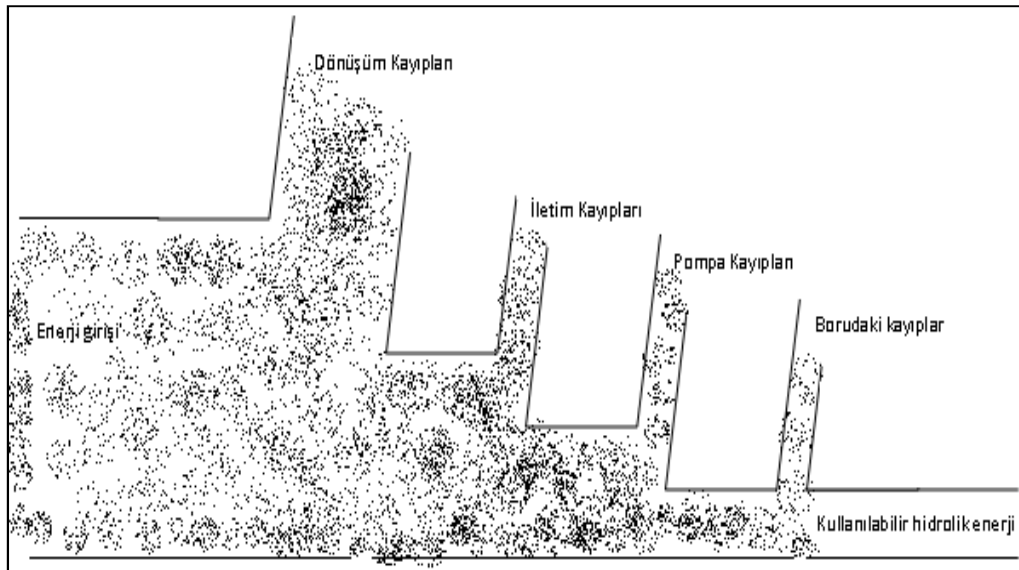
belirlenmesi gerekmektedir. H yüksekliğindeki bir yerden suyu çıkarabilmek için gerekli enerji miktarı aşağıdaki eşitlikte verilmektedir:

$$E = \rho g H Q \text{ (Joule)} \dots \dots \dots (6.1)$$

Eşitlikten de anlaşılacağı gibi su hacmi iki katına çıktığında gerekli enerji miktarı da iki katına çıkacaktır. Rüzgâr su çekme sisteminde kWh ile MJ birimleri birbirine eşittir. Eğer özellikle enerji göz önüne alınıyorsa h alt indisi kullanılmaktadır ve kWh_h olur.

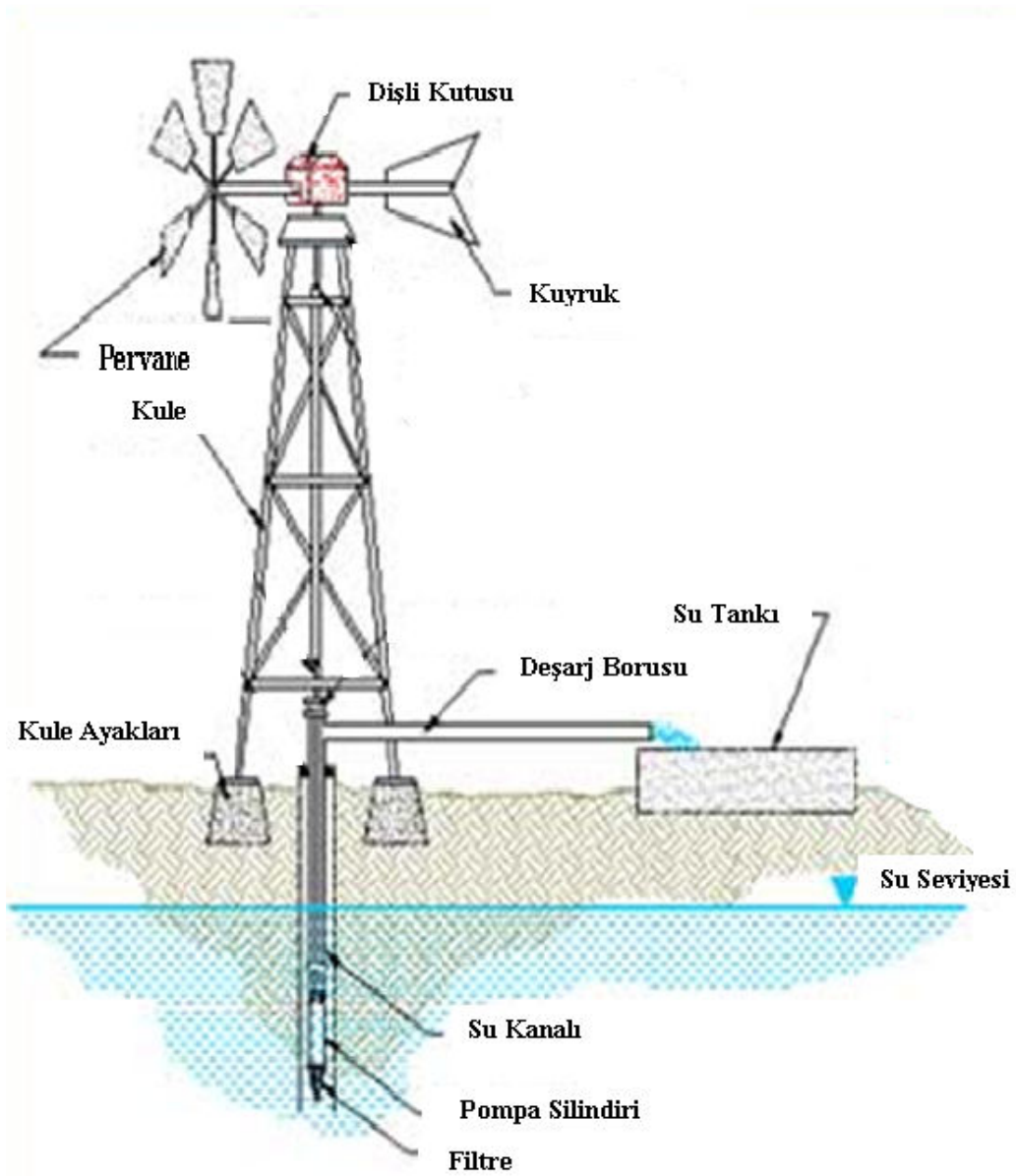
$$1 \text{ kWh} = 367 \text{ m}^3 \dots \dots \dots (6.2)$$

Yukarıdaki eşitlik bize 1 m yükseklikten 367 m^3 hacim su çekilişini veya 10 m yükseklikten $36,7 \text{ m}^3$ veya 100 m yükseklikten $3,67 \text{ m}^3$ su çıkarıldığını göstermektedir. ($1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$)



Şekil 6.2 Sistemdeki Enerji Kayıpları (Durak M, Özer S, 2008,s.445)

Pratikte yukarıda yazılan enerji miktarından daha büyük enerji gerekmektedir. Şekil 6.2. ile rüzgâr su çekme sistemindeki enerji kayıpları görülmektedir. Giriş enerjisi, gerekli hidrolik enerjiye dönüşmeden önce bazı kayıplara uğramaktadır. Bu kayıplar, dönüşüm kayıpları, iletim kayıpları, pompa kayıpları ve borudaki kayıplardır. Özellikle dönüşüm nedeniyle meydana gelen kayıplar rüzgâr su çekme sisteminin en büyük kayıplarını oluşturmaktadır. Bu yüzden enerji girişiyle kullanılacak yararlı hidrolik enerji arasında bir fark oluşmaktadır.



Şekil 6.3 Rüzgâr Su Çekme Sistemindeki Genel Tasarım (Durak M, Özer S, 2008, s.445)

Rüzgâr su çekme sistemindeki yel değirmeni kısmının genel sistem tasarımı şekil-6.3 de gösterilmektedir. Rüzgâr su çekme sistemi sadece sulama amaçlı değil, hayvancılıkta da kullanılabilir. Böyle bir sistem tasarımı yapmadan önce bölgede ki suyun analizi de yapılmalı ve canlıların içmesinde herhangi bir sakıncanın olmadığından emin olunmalıdır. Rüzgâr su çekme sisteminin civarındaki evlerde kullanılan sistem tasarımı da özellikle yerleşime uzak bölgelerde ve orman yangınlarının söndürülmesinde kullanılacak su ihtiyacı için kullanılabilir.

Rüzgâr su çekme sisteminin tasarım adımları

Rüzgâr su çekme sisteminin tasarlanabilmesi için bazı hususlara dikkat etmek gerekmektedir. Bunlar yapım süreci adımlarıdır;

Adım 1: Su ihtiyacının belirlenmesi

İlk adım olarak ihtiyaç olan suyun belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla gereken enerji ihtiyacı da belirlenmelidir. Ortalama günlük su tüketimi($m^3/gün$) bütün yıl boyunca hesaplanmalıdır. Buda arazideki verilerden yola çıkılarak bulunabilir. Su tüketimi hesaplanırken, ev, hayvanlar ve sulama amaçlı bütün parametrelerin yanında; pompalama yüksekliği, statik yükseklik ve dinamik kayıplarda dikkate alınarak su ihtiyacı belirlenmelidir. Su ihtiyacının belirlenmesinde en basit yol sistemi kuran kişinin tecrübelerine göre yaptığı hesaplamalardır. Sistemi kuracak kişi bütün ihtiyaçlarını belirleyerek gereken suyu hesaplayabilir. Su ihtiyacı belirlendikten sonra toplam pompalama yüksekliği belirlenir. Bu çalışmalar yapılırken sistemi kuracak kişiden de gerekli destek alınabilir.

Adım 2 : Rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi

Rüzgâr su çekme sisteminin kurulacağı arazinin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi önemli bir aşamadır. En sağlıklı yol sistemin kurulması düşünülen arazide 10m (kurulacak sisteme göre bu yükseklik azaltılıp-artırılabilir) yükseklikte 1 yıllık rüzgâr hız ve yön ölçümlerinin yapılmasıdır. Ancak bu yol böyle bir sistemin kurulması için çok pahalıdır ve ayrıca kırsal bir bölgede pek de kolay değildir. En azından en

yakındaki meteoroloji istasyon verileri alınarak arazi için korelasyon yöntemiyle yaklaşık bir değer bulunabilir. Pürüzlülük uzunluğu (z_0) değerleri ile ilgili olarak Çizelge 6.1. incelenmelidir.

Çizelge 6.1 - Yüzey Pürüzlülük Uzunluğu (Durak M,Özer S,2008,s.447)

Arazi	Özellikler	Z_0 değeri (m)
Düz	Kumsal, buz, kar, okyanus	0, 005
Açık	Kısa çim, havaalanı, boş tarla	0, 03
Pürüzlü	Uzun çalı, kısa ağaç	0, 10
Çok Pürüzlü	Ormanlık, meyva ağaçları	0, 50
Aşırı Pürüzlü	Köy, kasaba	1–3

Rüzgâr hızı ve pürüzlülük uzunluğu bulunduktan sonra;

$$V_z = V_{zr} \frac{\ln(60/Z_{0r}) \ln(Z/Z_0)}{\ln(60/Z_0) \ln(Z_r/Z_{0r})} \dots \dots \dots (6.3)$$

yukarıda verilen eşitlikten bölgenin rüzgâr potansiyeli bulunabilir. Açıkça görüleceği gibi, sistemin tasarımını yapan kişi z yüksekliği ile bu yükseklikteki V_z rüzgâr hızını hesaplamalıdır. Bu adımdan sonra, bölgedeki aylık ortalama rüzgâr hızı bulunmuş olunur. Bir sonraki adımda ise aşağıda verilen eşitlik ile ortalama aylık rüzgâr gücü hesaplanmalıdır.

$$P = \frac{\rho V_z^3 (EPF)}{2} \dots \dots \dots (6.4)$$

Çizelge 6.2 ile iki farklı sıcaklık ve denizden olan yüksekliğe göre hava yoğunluğu değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2 - Hava Yoğunluğu Değerleri (Durak M, Özer S,2008 s.447)

Yükseklik (m)	Yoğunluk 20 ⁰ C	Yoğunluk 30 ⁰ C
0	1.204	1.166
500	1.134	1.098
1000	1.068	1.034
1500	1.005	0.974
2000	0.945	0.915
2500	0.887	0.859
3000	0.781	0.807

Enerji patern faktörü, rüzgâr hızındaki enerji miktarını belirlemek için kullanılan bir katsayıdır ve Weibull dağılımını oluşturan k şekil faktörüne bağlıdır.

Çizelge 6.3 - k ve Enerji Patern Faktörü

k değeri	Enerji patern faktörü
1, 2	3, 99
1, 4	3, 03
1, 6	2, 48
1, 8	2, 14
2, 0	1, 91
2, 2	1, 75
2, 4	1, 63
2, 6	1, 53
2, 8	1, 46
3, 0	1, 40
3, 2	1, 36
3, 5	1, 30
4, 0	1, 23
5, 0	1, 15

Şekil faktörü genellikle 1,5–3 arasında değişim göstermektedir. Genelde, yüksek değişkenliğe sahip rüzgârların (kara ve deniz meltemi veya gündüz ve gece rüzgârları) olduğu bölgelerde k değeri düşüktür ve enerji patern faktörü yüksektir. Düzenli rüzgârların (örneğin ticaret rüzgârları) bulunduğu bölgelerde k değeri yüksek; buna karşılık enerji patern faktörü düşüktür. Çizelge 6.3 ile farklı k değerlerine göre enerji patern faktörleri görülmektedir

Adım 3: Ön Fizibilite Yapılması

Üçüncü adım, rüzgâr türbininin boyutlarının belirlenmesidir. Ayrıca toplam su ihtiyacı ve aylık tasarım rüzgâr hızının hesaplanarak ön fizibilite hazırlanmalıdır. Ön fizibilitenin yapılmasındaki en önemli adımlardan birisi de, pervane boyutunun belirlenmesidir. Sistemin ekonomikliği ve verimi açısından en önemli tasarımıdır. Pervane çapı için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

$$D^2 = \frac{QH \cdot 9,81}{86,4 \left(\frac{\pi}{4}\right) \eta \left(\frac{1}{2\rho V^3}\right) (EPF)} \dots\dots\dots (6.5)$$

Yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi de basitleştirilebilir:

$$D = \sqrt{\frac{CQH}{V^3}} \dots\dots\dots (6.6)$$

Eşitlikteki C sistemin geri kalanı için sistem katsayısıdır ve genellikle 0, 97 alınmaktadır. Çizelge 6.4 ile toplam su ihtiyacı (QH), hava yoğunluğu (1, 225 kg/m³), EPF: 1, 91, C:0, 97 ve sistem verimi η %12 olarak kabul edilip farklı rüzgâr hızlarında pervane çapları verilmiştir.

Çizelge 6.4 - Rüzgâr Su Çekme Sistemi İçin Pervane Çapı

QH	Rüzgâr Hızları (m/s)								
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
250	3,9	3,0	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9
500	5,6	4,2	3,4	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3
750	6,8	5,2	4,1	3,4	2,8	2,4	2,1	1,8	1,6
1000	7,9	6,0	4,8	3,9	3,3	2,8	2,4	2,1	1,9
1250	8,8	6,7	5,3	4,4	3,6	3,1	2,7	2,4	2,1
1500	9,7	7,3	5,8	4,8	4,0	3,4	3,0	2,6	2,3
1750	10,4	7,9	6,3	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,5
2000	11,1	8,5	6,7	5,5	4,6	3,9	3,4	3,0	2,7
2500	12,5	9,5	7,5	6,2	5,2	4,4	3,8	3,4	3,0
3000	13,7	10,4	8,2	6,7	5,7	4,8	4,2	3,7	3,3
3500	14,7	11,2	8,9	7,3	6,1	5,2	4,5	4,0	3,5
4000	15,8	12,0	9,5	7,8	6,5	5,6	4,8	4,2	3,8
4500	16,7	12,7	10,1	8,3	6,9	5,9	5,1	4,5	4,0
5000	17,6	13,4	10,6	8,7	7,3	6,2	5,4	4,7	4,2
5500	18,5	14,1	11,2	9,1	7,7	6,5	5,7	5,0	4,4
6000	19,3	14,7	11,7	9,5	8,0	6,8	5,9	5,2	4,6
6500	20,1	15,3	12,1	9,9	8,3	7,1	6,2	5,4	4,8
7000	20,9	15,9	12,6	10,3	8,6	7,4	6,4	5,6	5,0

Adım 4: Teçhizat Seçimi

Kaba da olsa bir tasarım yapıldıktan sonra, temel fizibilite ortaya çıkmış olup, bu sistem için kullanılacak teçhizatların seçimi yapılmalıdır. Seçimler, rüzgâr türbini, kule, pompa, kontrol sistemi ve depolama için kullanılacak teçhizatlardır. Buradaki seçim, maliyet ve sistem çıkışına göre yapılmaktadır.

Adım 5: Sistem çıkış tahmini

Kullanılacak teçhizatlar seçildikten sonra, sistemin çıkışı hesaplanmalıdır. Sistem çıkışı, sistemi oluşturan bütün teçhizatlar dikkate alınarak yapılmalıdır. Üçüncü adımda verilen ve pervane çapının belirlenmesi için kullanılan eşitlikten sistem çıkışı aşağıdaki gibi verilebilir:

$$Q = \frac{86,4 \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 \eta \left(\frac{1}{2\rho V^3}\right) (EPF)}{H^{0,81}} \dots\dots\dots (6.7)$$

Yukarıdaki eşitlik, verim η %12, hava yoğunluğu $1,225 \text{ kg/m}^3$ ve EPF: 1,91 alınır ise, aşağıdaki gibi basitleştirilebilir:

$$Q = \frac{CD^2V^3}{H} \dots\dots\dots (6.8)$$

eşitlikte $C=0,97$ olarak alınmıştır.

Adım 6: Maliyet tahmini

En önemli adımdır. Kullanılacak teçhizatlar seçildikten sonra ve önceki adımda yapılan ön fizibiliteye istinaden teçhizat fiyatları ve sistemin çıkışı arasında gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra sistemin kurulması ile ilgili nihai karar verilir.

Adım 7: Tekliflerin toplanması

Farklı üreticilerden çeşitli teklifler toplanması ve iş için en uygun teklife işin verilmesi kısmıdır.

6.1.1 İşletme ve Bakım

Rüzgâr su çekme işletmesi yapılırken şu noktalara dikkat edilmelidir:

- Yel değirmeninin insan veya hayvanların vereceği zararlardan korunması,
- Su tankı dolduğunda yel değirmeninin durması

Bakımı ise 2 türlü yapılabilir. Birincisi yel değirmeninin sahibinin yapabileceği bakımlar; diğeri de profesyonel yardım alarak yapılacak bakımlardır. Sahibinin yapacağı bakımlar arasında;

- Hareketli parçaları gres yağı veya diğer makine yağları ile bakım (örneğin ayda bir),
- Bazı parçaların temizlenmesi,
- Korozyona karşı önlemler sayılabilir.

Profesyonel bakım için ise;

- Dişli kutusu yağının değişimi(yılda bir),
- Vida, cıvata ve diğer mekanik aksamın bakımı(genellikle yılda bir)
- Bozulan parçaların onarımı ve değişimi,
- Korozyon koruma için boyama sayılabilir

6.1.2 Ülkemizde Kullanım

Rüzgâr su çekme sistemleri ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle İzmir, Manisa, Bursa, Balıkesir civarında birçok yel değirmeni bulunmaktadır. İzmir ve Manisa'da bu tip sistemleri üreten işletmeler bulunmaktadır.

6.2 Küçük Güçlü Rüzgâr Türbinlerinden Elektrik Üretimi

Bu tip sistemler, şebeke ile paralel çalışan veya şebekeden bağımsız çalışan sistemler olarak iki genel grupta incelenebilir. Şebekeden bağımsız çalışanlara ada sistemler (stand alone sistemler) denmektedir. Sadece tek bir kaynaktan (güneş, rüzgâr vey hibrid) çalışan sistemlerdir. Ada sistemi, genellikle elektrik enerjisi üreten ve depolayan bir sistemdir. Depolama işlemi akülerde olur. Birden fazla enerji kaynağı ile elektrik üretimi gerçekleştiren sistemler ise hibrid sistemler olarak bilinmektedir. Rüzgâr enerjisi uygulamalarında genellikle güneş enerjisi ve dizel jeneratörler ile beraber kullanılır. Bu tip sistemler, rüzgâr olmadığı zamanlarda da enerjinin sürekliliği için gerekli bir sistemdir fakat maliyeti daha yüksektir.

6.3 Ada Sistemleri (Stand Alone System)

Ada sistemleri, yerleşim merkezlerinden çok uzakta bulunan yerlerde elektrik gereksinimi için kullanılabilirler ve şebekeden bağımsız olarak çalışırlar. Ada sistemleri, ülkemizde de bazı orman yangın gözlem istasyonları, radyo–link istasyonları ile İstanbul–Ankara otoyolunda kullanılmaktadır.

6.4 Hibrid Sistemler

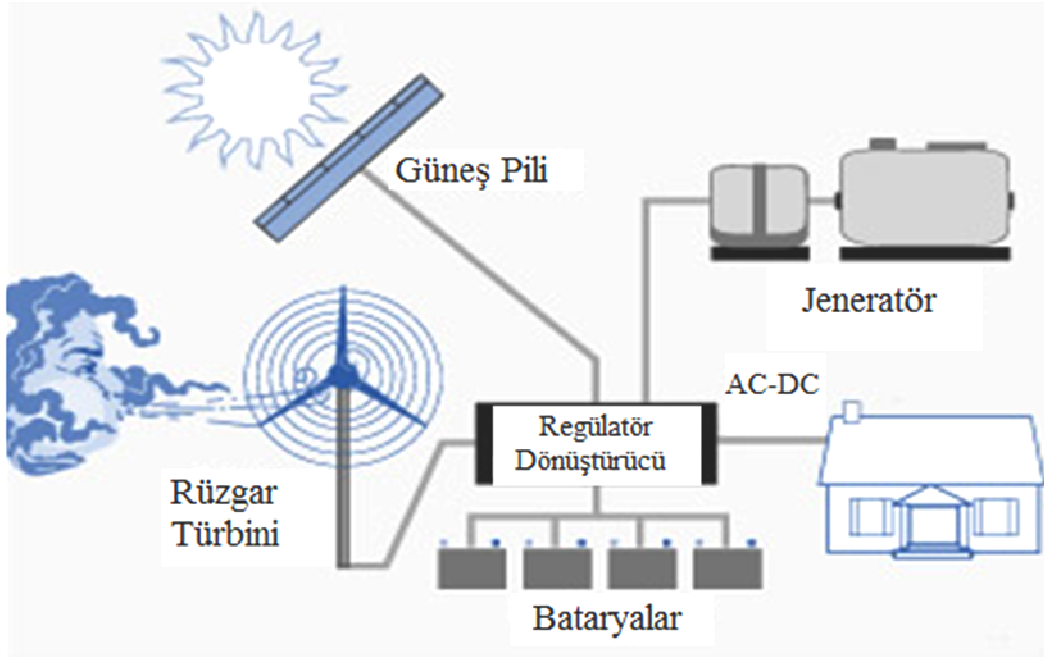
En az iki enerji kaynağının bir araya gelerek enerji ürettiği sistemlerdir. .

6.4.1 Rüzgâr–Güneş Hibrid Sistemler

Rüzgâr türbini ile güneş panellerinin (photovoltaic) birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Şekil 6.4 ile basit bir rüzgar güneş hibrid sistem elemanları görülmektedir.

Rüzgâr güneş hibrid sisteminde, rüzgâr türbini, güneş modülü, regülasyon ünitesi, jeneratör ve akü sistemi bulunmaktadır.

Rüzgâr türbini, güneş pili ve fosil yakıtlı jeneratörün ortak kullanıldığı karma bir sistem



Şekil 6.4 Rüzgâr Güneş Hibrid Sistemi (Durak M,Özer S, 2008,s.473)

Dünyanın birçok bölgesinde kullanılan rüzgâr güneş hibrid sistemine Bengal Körfezi civarında bulunan St Martin adasında rastlanabilir. 10 kW kurulu güçlü bu sistemler, civarda bulunan otel, pansiyon ve araştırma laboratuvarının elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Bu tip sistemler de rüzgâr estiği zamanlarda, rüzgârdan elektrik üretimi yapılmakta ve güneş panelinin gündüz depo ettiği enerji, akü sisteminde biriktirilmektedir. Ayrıca, ev ve endüstriyel tesislerde bu tip sistemler çatıya da rahatlıkla monte edilip kullanılabilir.

Şebeke ile paralel çalışan bir sistemde ise, hava koşullarının(gerek rüzgâr ve gerekse de güneş enerjisi açısından) yeterli olmadığı durumlarda şebekeden elektrik alabilmek için bu sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin maliyeti daha yüksektir.

Şebeke ile paralel çalışan bu sistemlerden DC çıkışı, evirici yardımıyla AC olarak değiştirilerek son kullanıcıya verilmektedir.

6.4.2 Rüzgâr Dizel Hibrid Uygulamalar

Genellikle enerji ihtiyacının süreklilik gerektirdiği bölgelerde kullanılan bu sistem, hibrid sistemler içinde en pahalı olanıdır.

6.5 Diğer Uygulamalar

Rüzgâr türbinlerinden elektrik üretimi amaçlı bazı diğer fakat yaygınlaşmamış uygulamalar da bulunmaktadır. Buna en iyi örnek olarak bazı araçların (recreational vehicles) üstüne monte edilerek kullanılan sistemler örnek verilebilir.

BÖLÜM 7

RÜZGÂR ENERJİSİ PİYASASI

7.1.Ülkemizde Durum

Ülkemizde elektrik sektörünün özelleştirilme süreci Mart 2001’de 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile başlamıştır. Bu kanunun amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanması olarak açıklanmıştır. Kanun kapsamında piyasasının düzenlenmesi ve kontrolü için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu oluşturulmuştur. 07.02.2007 tarihi itibari ile 40175, 6 MW kurulu güce sahip ülkemizde kaynakların dağılımı ile yüzdesi Çizelge 7.1 ile görülmektedir.

Çizelge 7.1 - Ülkemizin Kurulu Güç Dağılımı ve Yüzdesi (Durak M,Özer S, 2008,s.510)

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Fuel-oil	2218, 4	%5, 5
Motorin	214, 4	%0, 5
Kömür(Linyit+ithal)	9836, 8	%24, 4
Doğalgaz	12748, 6	%31, 7
LPG+Nafta	47, 2	%0, 1
Hidrolik	13062, 4	%32, 5
Çok yakıtlılar	1923, 4	%4, 8
Diğer yenilenebilir (Jeotermal+atık)	64, 3	%0, 2
Rüzgâr	90, 15	%0, 2

07.02.2007 tarihi itibari ile ülkemizde kaynakların kuruluşlara göre dağılımı ile yüzdesi Çizelge 7.2 ile görülmektedir.

Çizelge 7.2 Ülkemizin Kurulu Gücünün Kuruluşlara Göre Dağılımı ve Yüzdesi (Durak M,Özer S, 2008,s.510)

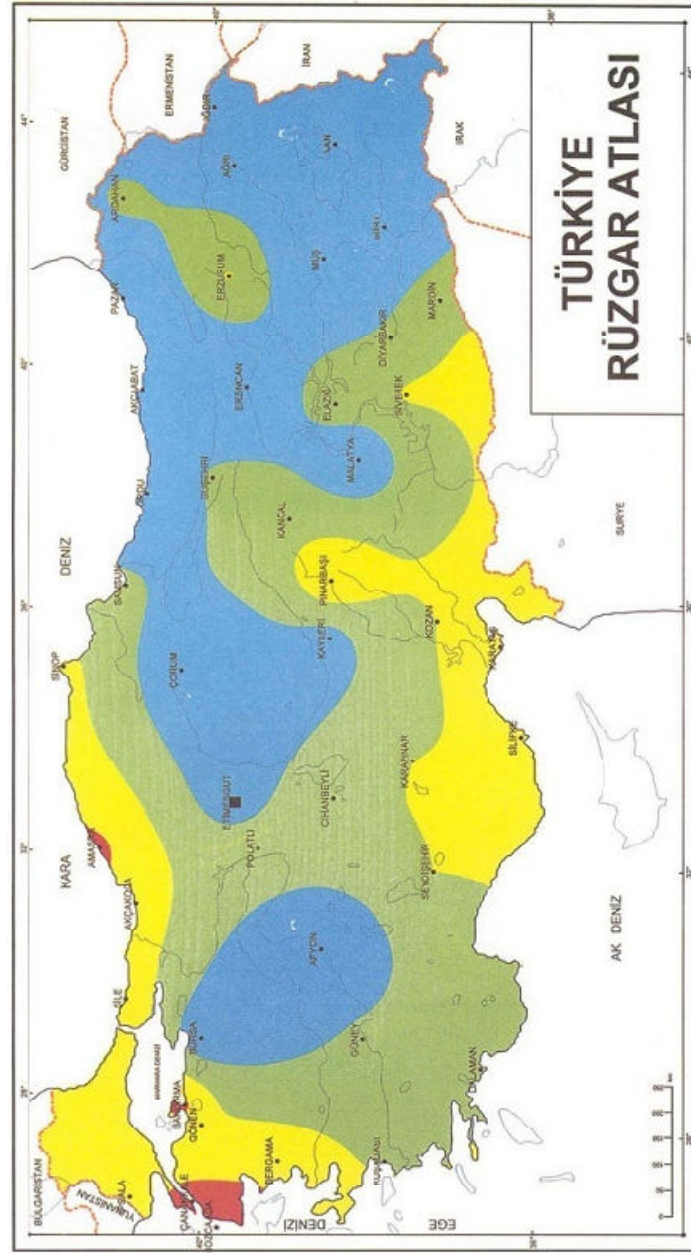
Kuruluşlar	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
EÜAŞ	19521, 9	%48, 6
EÜAŞ'a bağlı ortaklık santralleri	3834	%9, 5
İşletme hakkı devredilen santraller	650, 1	%1, 6
Mobil santraller	721, 8	%1, 8
Yap-İşlet santralleri	6101, 8	%15, 2
Yap-İşlet-Devret santralleri	2449	%6, 1
Serbest üretim şirketleri	2789, 6	%6, 9
Otoprodüktör santralleri	4107, 4	%10, 2

7.2.Türkiye Rüzgâr Atlası Projesi

Türkiye rüzgâr atlası ile ilgili ilk çalışma, EİE ve DMİ tarafından ortaklaşa yapılmıştır. Rüzgâr atlasının hazırlanması için aşağıdaki bilgiler kullanılmıştır:

- Kullanılan istasyonların rüzgâr için ölçüm verileri,
- Arazi pürüzlülük bilgileri,
- Yakın çevresel engel bilgileri,
- Harita bilgileri(topoğrafya)

Ülkemizin sadece Batı kısmının yer aldığı rüzgâr atlası için DMİ'nin rüzgâr ölçümlerinin WASP formatına dönüştürülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır ve Surfer bilgisayar programı ile çıktılar alınarak ilgili haritalar oluşturulmuştur.



1. Rüzgar potansiyeli, rüzgarın gücünü temsil etmektedir. Rüzgar türbini halihazırda potansiyelin % 20 ile % 30 luk bölümünü kullanabilir. Potansiyel hesaplamaları; deniz seviyesinde 1 Altım lik standart basınç ve 15 °C sıcaklığa karşılık gelen 1.23 kg/m³ hava yoğunluğuna göre yapılmıştır.
2. Yerleşim alanları, ormanlar ve ağzgar kırıcıları yoğun olduğu tarım alanları (gürütüzlük sınıfı 3)
3. Az sayıda rüzgar kırıcını olduğu açık araziler (gürütüzlük sınıfı 1). İç bölgelerde en fazla tarım edilen alanlar genellikle bu sınıfta bulunmaktadır.
4. Çarpışma alanları ve çok az sayıda rüzgar kırıcılığı ile, potansiyel daha fazla olabilir. Aynı tarafta duruma ise potansiyel daha az olabilir.
5. Koylardan en az 10 km uzaklıktaki açık denizler (gürütüzlük sınıfı 0).
6. Bütün sınırlarda % 50 ye varan bir hız artışı görülmektedir ve bu sonuç 400 m yüksekliğinde ve 4 km çapındaki sismik bir tepede yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. Rüzgar hızındaki artış; tepenin yükseliğine, uzunluğuna ve yapısına bağlıdır.

Beş farklı topografik durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri ¹		Koylar ²		Açık Araziler ³		Açık Deniz ⁴		Tipe ve Bâylık ⁵	
Kapalı Araziler ³	Açık Araziler ³	Koylar ²	Açık Deniz ⁴	Tipe ve Bâylık ⁵	Kapalı Araziler ³	Açık Araziler ³	Koylar ²	Açık Deniz ⁴	Tipe ve Bâylık ⁵
m ²	m ²	m ²	m ²	ne ⁶	m ²	m ²	m ²	m ²	ne ⁶
>6.0	>2.0	>7.5	>3.0	>8.5	>7.00	>9.0	>8.00	>11.5	>1000
5.0-6.0	1.50-2.00	6.0-7.5	3.00-3.00	7.0-8.5	4.00-7.00	8.0-10.0	6.00-8.00	10.0-11.5	100-1000
4.5-5.0	1.00-1.50	5.5-6.5	2.00-3.00	6.0-7.0	2.50-4.00	7.0-8.0	4.00-6.00	8.0-10.0	700-1200
3.5-4.5	0.50-1.00	4.5-5.5	1.00-2.00	5.0-6.0	1.50-2.50	5.5-7.0	2.00-4.00	7.0-8.5	400-700
<3.5	<0.50	<4.5	<1.00	<5.0	<1.00	<5.5	<2.00	<7.0	<400

Şekil 7.1 Türkiye Rüzgâr Atlası (www.eie.gov.tr,2009)

Ülkemizin çeşitli bölgelerinde EİE'nin de ölçüm direkleri bulunmaktadır. Bu ölçümler proje sahalarına daha yakın olup daha iyi temsil edebilmektedir ve çalışmalarda da kullanılabilirler.

7.3. Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)

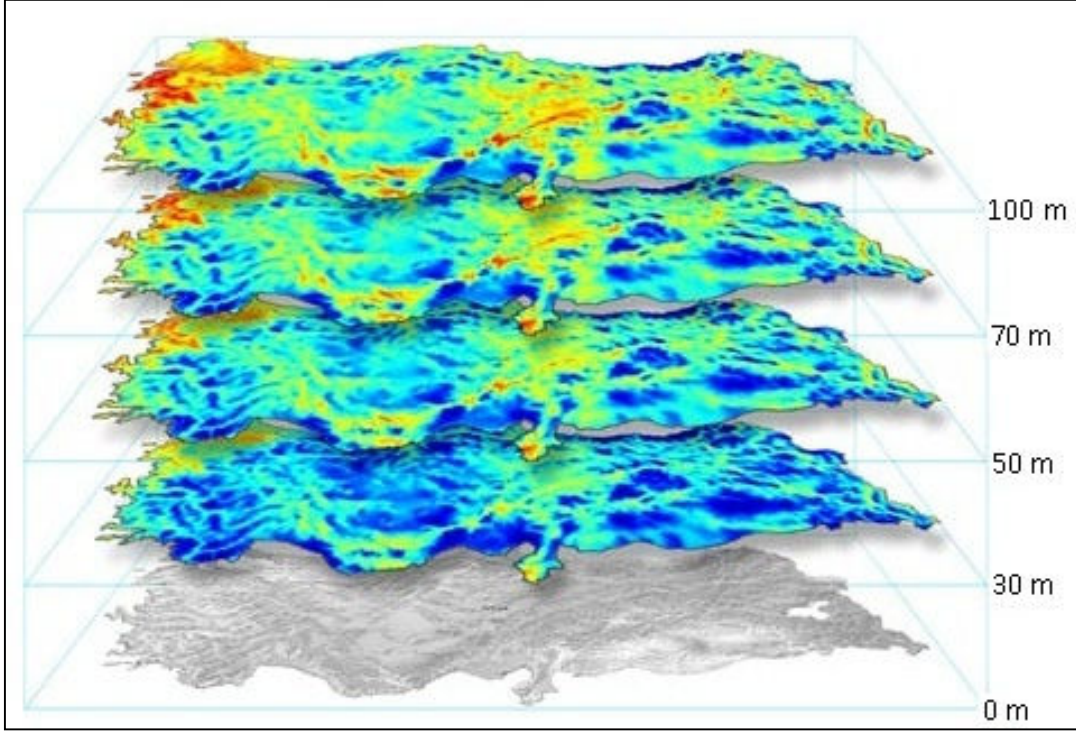
2006 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından geliştirilen Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile Türkiye rüzgâr enerjisi sektörünün gelişimine katkı sağlayacak bir meteorolojik araç sunulması hedeflenmiştir. REPA, Türkiye coğrafyasının tüm kara ve deniz alanlarını kapsayacak şekilde üç ayrı nümerik hava analiz modelinin uzun yıllara ait gerçekleşmiş meteorolojik parametrelerle geriye doğru çalıştırılması sonucu üretilmiş 200 m x 200 m çözünürlüğe sahip ileri tekniklerle gerçekleştirilmiş bir rüzgâr atlasıdır. REPA, Türkiye coğrafyası üzerinde 200 m x 200 m'lik alana sahip tüm noktalarda rüzgâr kaynak bilgilerine erişim sağlanmasına imkân tanımaktadır.

REPA oluşturulurken CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) tabanlı rüzgâr haritalama tekniği kullanılmıştır. Bu tekniğin kullanılmasındaki amaçlar;

- Özellikle düzenli ve karmaşık bölgelerdeki rüzgâr kaynaklarının doğru ve tutarlı bir şekilde belirlenmesi,
- Rüzgâr potansiyelinin kullanılmasının imkânsız olduğu bölgelerin belirlenmesi,
- Yüksek kalitede haritaların oluşturulması,
- Kullanılması ve anlaşılması kolay çıktıların sağlanması,

Bu atlas yardımıyla Türkiye genelinde 200 m x 200 m çözünürlüğünde aşağıdaki meteorolojik parametrelere ulaşılabilmektedir:

- 30, 50, 70 ve 100 m yükseklikteki yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük rüzgâr hız ortalamaları (Şekil 7.2)
- 50 ve 100m yüksekliklerdeki yıllık, mevsimlik ve aylık rüzgâr güç yoğunlukları,
- 50 m yükseklikteki yıllık kapasite faktörü,
- 50 m yükseklikteki yıllık rüzgâr sınıfları,
- 2 ve 50 m yüksekliklerdeki aylık sıcaklık değerleri,
- Deniz seviyesinde ve 50m yüksekliklerdeki aylık basınç değerleri öğrenilebilmektedir.



Şekil 7.2 Farklı Seviyelerdeki Rüzgâr Sınıfları.(www.eie.gov.tr,2009)

7.4.Rüzgâr Enerjisinin Ülkemizdeki Durumu

Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi, Türkiye’de de rüzgâr enerjisinden yararlanma ilk önce tahıl öğütme ve su çekme amacı ile yapılmıştır. 1961 yılında Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından yapılan bir çalışmada 718’i kuyudan su çekme, 41’ide elektrik üretim amaçlı olmak üzere 759 adet yel değirmeni olduğu saptanmıştır. Ülkemizde rüzgâr enerjisinden elektrik elde etme amacına yönelik çalışmalar 1990’lı yılların hemen başında başlamışsa da, daha çok teorik çalışmalar seviyesinde kalmıştır. Bununla beraber, esas gelişme 1996 yılından itibaren başlamıştır. Birçok özel sektör firması konu ile ilgili yatırımlara başlamış ve hemen hemen ülkemizin tamamında ölçümler yapılmıştır. İlk rüzgâr elektrik santrali, 1997 yılında devreye girmiştir. Çizelge EK:1 2006 yılı sonu itibari ile ülkemizde faaliyette olan ve sonraki yıllarda

faaliyete geçmesi beklenen rüzgâr elektrik santralleri hakkında bilgi verilmiştir. Ülkemizin rüzgâr enerjisi kullanımında geri kalmasının birçok nedeni vardır. Bunlar arasından en önemlileri; bürokratik koordinasyonsuzluk, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yasal düzenlemenin istenilen seviyede yapılamaması ve projelere finansman imkânının kısıtlı olması sayılabilir.

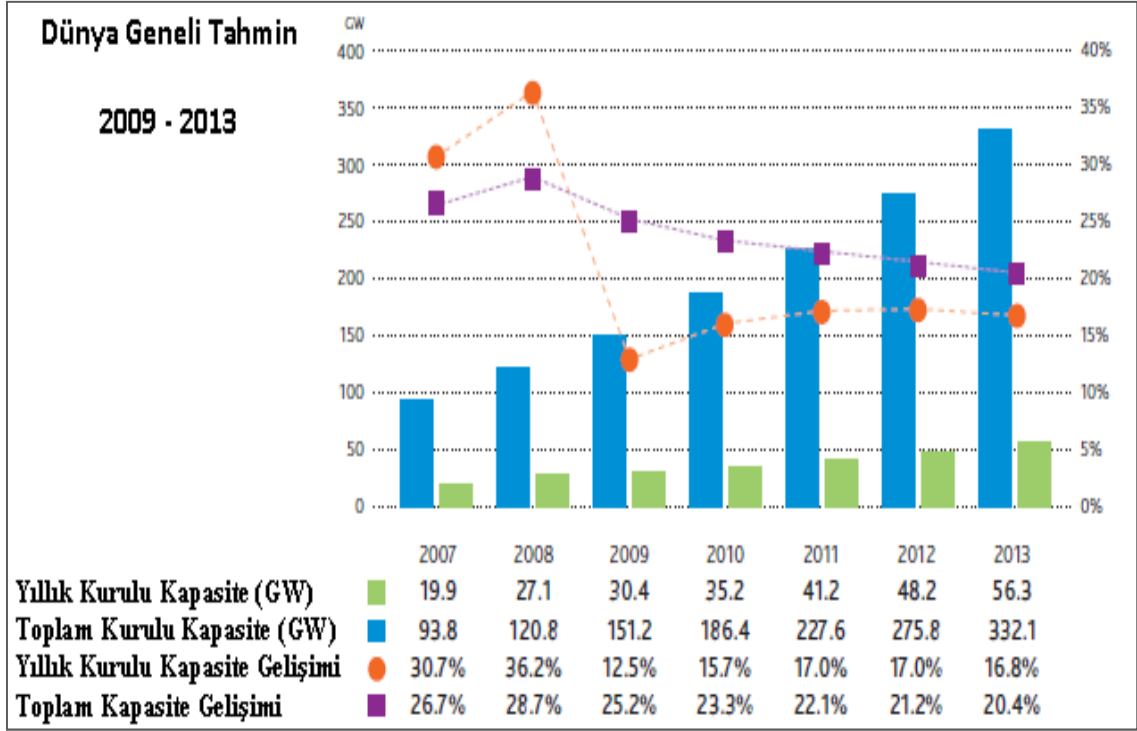
EK 1 ile 04.02.2009 tarihi itibari ile EPDK'dan alınan verilere göre hazırlanan bilgiler görülmektedir. EK 2'de ise RES projelerinin Türkiye'deki son durumu görülmektedir.

7.5. 2009–2013 Yılları Arasında Rüzgâr Enerjisinde Beklenen Gelişmeler

Küresel Rüzgâr Enerjisi Kurulu (GWEC-Global Wind Energy Council) tarafından her yıl hazırlanan raporda, gelecek 5 yıl için küresel rüzgâr enerjisindeki gelişmelere yönelik tahminler yer almaktadır. Geçtiğimiz yılların tahmin verilerine ve gerçekleşen değerlerine bakıldığında, tahmin edilenlerin üzerinde bir gerçekleşme olduğu görülmektedir. 2007 için 2006 yılında yapılan tahminde GWEC 16,8 GW kurulacağını tahmin etmiş, fakat gerçekleşen 20 GW'a yakın olmuştur. 2008 yılı içinse 2007 yılında yapılan tahmin 23,1 GW iken gerçekleşen değer 27 GW olmuştur.

Geçtiğimiz 3-4 yılın en iyi gelişmesi Amerika Birleşik Devletleri ve Çin'de yaşanmıştır. Bu yıl veya önümüzdeki yıl Amerika Birleşik Devletleri'ndeki gelişmeler, finans azlığından ve genel ekonomik krizden dolayı aksayacağı tahmin edilmekle birlikte, yeni seçilen Başkan Obama'nın yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik planlarına hız vermesi rüzgâr enerjisinin ülkeler için ne kadar önemli olduğunun en açık göstergelerinden birisidir.

GWEC, 2008 yılı sonu 120 GW olan küresel rüzgâr enerjisi üretim kapasitesinin 2013 yılında 332 GW'a ulaşacağını ve aynı zamanda küresel toplama 56,3 GW'lık yeni bir kapasite ekleneceğini tahmin etmektedir.



Şekil 7.3 Dünya Genelinde 2009 – 2013 Yılları Arası Beklenen Durum (GWEC-
www.gwec.net)

2009-2013 arasındaki 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 7.3'de dünya genelindeki beklenen durum grafiksel olarak verilmiştir.

BÖLÜM 8

ESKİŞEHİR, KÜTAHYA VE BİLECİK İLLERİ HAKKINDA BİLGİLER

8.1. ESKİŞEHİR



Şekil 8.1 Eskişehir İli Haritası (www.turkiyerehberi.gen.tr,2009)

İlin Kimliği:

Yüzölçümü: 13.555 km²

Nüfusu: 724.849

İlçeleri: Merkez, Alpu, Beylikova, Çifteler, Günyüzü, Han, İnönü, Mahmudiye, Mihalgazi, Mihaliçcik, Sarıcakaya, Seyitgazi, Sivrihisar.

En hızlı kalkınan illerimizden birisidir. 29°58 ve 32°04 doğu boylamları ile 39°06 ve 40°09 kuzey enlemleri arasında kalan il toprakları, Ankara, Afyonkarahisar,

Kütahya, Bilecik ve Bolu illeri ile çevrilidir. Topraklarının büyük kısmı İç Anadolu bölgesinde kalmasına rağmen, Seyitgâzi ilçesinde küçük bir alanı, Sarıcakaya ilçesinin tamamı, Merkez ve Mihaliççik ilçelerinin bir bölümü Karadeniz bölgesinde kalır. Trafik numarası 26dır.

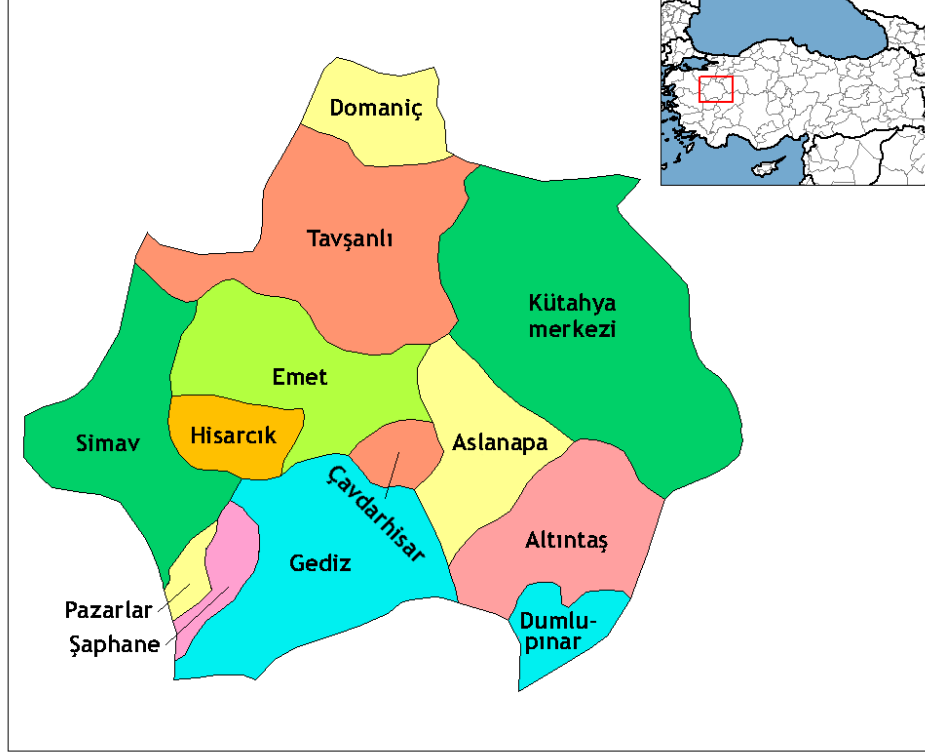
Fizikî Yapı

Eskişehir topraklarının yarısı plato, % 22'si dağlar ve % 26'sı ovalardan ibâettir. Dağları: Eskişehir topraklarındaki dağlar orta derecede yüksek dağlar olup, 2000 metrenin altındadırlar. Başlıca dağları Türkmenbaba Tepesi (1354 m), Kızıldağ (1818 m), Çal Dağı (1690 m), Arayit Dağı (1819 m), Bozdağ (1534 m), Kırgız Dağı (1302 m), Sündiken Dağı (1770 m), ilin en yüksek Dağı olan Türkmen Dağı (1826 m)dir. Dağ silsileleri ise Sündiken, Mihaliççik, Bozdağ, Sivrihisar, Kırgız ve Türkmen dağlarıdır.

Ovalar: Ovalar akarsu havzalarında yer alır. Ovaları çok bereketlidir. Step karakteri gösterir. Porsuk Ovası, Kütahya il sınırı ile Ankara il sınırı arasında Porsuk Çayı boyunca uzanan ovadır.

Göller: Eskişehir ilinde tabii göller yoktur. Baraj gölleri ve sunî göller (göletler) vardır. Gökçekaya Barajı, Gökçekaya köyü yakınında ve Sakarya Nehri üzerindedir. 1967–1972de yapılmıştır. 910 milyon m³ su toplanır. Yüksekliği 115 metredir. Senede 500 milyon kWh elektrik enerjisi istihsal edilir ve gücü 300 MW'dır. Sarıyar Barajı, Sakarya Nehri üzerindedir. Senede 400 milyon kwh elektrik enerjisi elde edilir. 1950–56 arasında inşâ edilmiştir. Gücü 160 MW'dır. 190 milyon m³ su birikir. Porsuk Barajı, Porsuk Irmağı üzerinde sulama, taşkınlardan koruma ve Eskişehir'in içme suyu temini için inşâ edilmiştir. Yüksekliği 98 metredir. 525 milyon m³ su toplanır. Balık yetiştirilir ve etrafı güzel bir mesire yeridir. Musaözü Barajı, Porsuk'un kollarından Mollaoğlu Deresi üzerinde sulama ve taşkın önleme maksadıyla kurulmuştur. 1.5 milyon m³ su toplanır, 350 hektar araziye sular. Dodurga Barajı, Porsuk'un kolu olan Sarısu üzerindedir. 21.5 milyon m³ su toplanır. 1670 hektar arâzi sulanır. Muhtelif göletler taşkınları önlediği gibi, 200 hektar arazinin sulanmasını temin eder. Kunduzlar Barajı, Seyitgazi ilçesinin 16 km güneybatısında Akin Deresi üzerinde inşâ edilmiştir.

8.2. KÜTAHYA



Şekil 8.2 Kütahya İli Haritası (www.turkiyerehberi.gen.tr,2009)

İlin kimliği

Yüzölçümü: 11.875 km²

Nüfusu: 578.020

İlçeleri: Merkez, Altıntaş, Aslanapa, Çavdarhisar, Domaniç, Dumlupınar, Emet, Gediz, Hisarcık, Pazarlar, Simav, Şaphane, Tavşanlı.

Rengârenk çinileriyle, Türkiye'nin çini atölyesi olarak bilinen, şifalı kaplıcaları ile meşhur, millî tarihimizde müstesna bir yeri bulunan, Ege bölgesinin İç batı Anadolu bölümünde yer alan şirin bir ilimiz. 38°70 ve 39°80 kuzey enlemleri ile 29°00 ve 30°30 doğu boylamları arasında yer alır. Kuzey ve kuzeybatıdan Bursa, kuzeydoğudan Bilecek, doğudan Eskişehir, güneydoğudan Afyonkarahisar, güneyden Uşak,

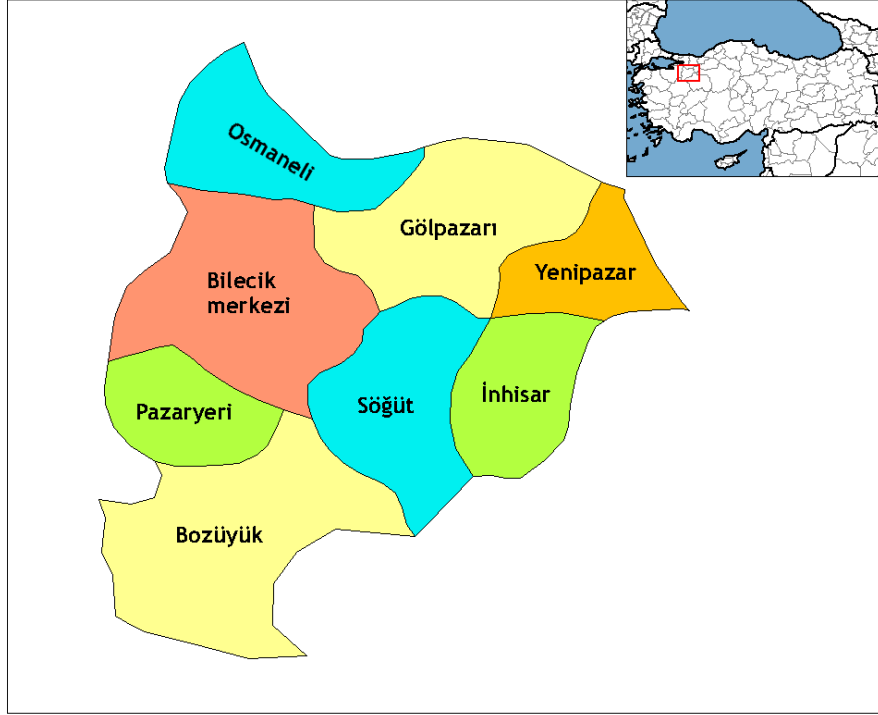
güneybatıdan Manisa, batıdan ise Balıkesir illeri ile çevrilidir. Ege, İç Anadolu ve Marmara bölgeleri arasında tarih ve kültür merkezi olarak köprü vazifesi görmüştür. Trafik numarası 43 tür.

Fizikî Yapı

Kütahya ili genel olarak bir yayla durumundadır. Arazinin dörtte üçü 1000–1500 m arasındadır. Coğrafi olarak bu bölgeye “Kütahya Yaylası” denir. İç Anadolu’dan Ege ovalarına ve Marmara havzalarına geçişte bu bölge eşik vazifesi görür. Topraklarının % 57si dağlardan, % 32si yaylalardan ve % 11’i ovalardan ibarettir. Ortalama yükseklik 1000–1200 m arasındadır. Volkanik toprakları çok verimlidir.

Dağları: Kütahya yaylaları üzerinde yükselen dağlar aralıklı sıralar hâlinde uzanırlar. Akdağ (2089 m), Eğrigöz dağlarının en yüksek yeri (2181 m), Vellice Dağı (1764 m), Gümüşdağ (1901 m), Yeşildağ (1953 m) ve Şaphâne Dağı (2121 m) başlıcalarıdır. Murad Dağı (2312 m) ilin en yüksek dağıdır. Ovaları: Ovalar dağ sıraları ve akarsu vâdilerinde yer alırlar. Simav ovası 100 km², Kütahya ovası 93 km², Altıntaş–Aslanapa, Örencik, Tavşanlı, Köprüören ve Yoncalı ovalarıdır. Hepsi verimli ve alüvyonla kaplıdır. Akarsuları: Kütahya akarsular bakımından zengin sayılır. Bu akarsuların bir kısmı Ege, Marmara ve Karadeniz’e dökülür. Bölgenin en büyük akarsuyu Porsuk Çayıdır. Porsuk Çayı Murad dağından çıkar, Eskişehir’e gelip Sakarya’ya karışır ve Karadeniz’e dökülür. Kirmasti Çayı, Simav (Susurluk) Çayı, Emet Çayı ve Kocaçay birleşerek Marmara Denizine dökülür. Gediz Çayı, Murat dağlarından iner, Uşak’tan sonra İzmir’e gidip İzmir Körfezinin yukarısında Ege Denizine dökülür. Bunlardan başka Karasu ve Felent Çayı vardır. Gölleri: Kütahya ilinde bir tabiî (Simav Gölü) ve bir sunî (baraj gölü) Enne Gölü vardır. Simav Gölü; Simav Ovasının ortasında 4 km² lik bir alanı kaplar. Bir kısmı bataklık ve sazlıktır. Denizden yüksekliği 724 mdir. Yazın suları azdır. Porsuk Baraj Gölü; Porsuk Çayı üzerine kurulmuştur. Bir kısmı Eskişehir sınırları içinde kalır su hacmi 525 milyon m³ ve yüksekliği 49, 70 m dir. Enne Baraj Gölü; Porsuk Çayının bir kolu olan Felent Çayı üzerindedir. Su hacmi 7 milyon m³ tür. İçme suyu olarak kullanılır. Barajın temelden yüksekliği 24, 50 m dir.

8.3.BİLECİK



Şekil 8.3 Bilecik İli Haritası (www.turkiyerehberi.gen.tr,2009)

İlin Kimliği

Yüzölçümü: 4.321 km²

Nüfusu: 203.777

İlçeleri: Bozüyük, Gölpazarı, İnhisar, Osmaneli, Pazaryeri, Söğüt ve Yenipazar'dır.

Osmanlı Devletinin temellerinin atıldığı, Marmara, Ege, İç Anadolu ve Batı Karadeniz bölgelerinin kesiştiği bir kavşak noktasında bulunan bir ilimiz. 39°39 ve 40°31 kuzey enlemleriyle 29°43 ve 30°40 doğu boylamları arasında bulunan Bilecik; Sakarya, Bolu, Eskişehir, Kütahya ve Bursa arasında yer alır. Gerek Osmanlı, gerekse Cumhuriyet devrinin kuruluşunda çok önemli rol oynayan Bilecik'in, Türk tarihinde mümtaz bir yeri vardır. Trafik kod numarası 11dir.

Fiziki Yapı

Bilecik çok engebeldir. Sakarya Nehri etrafındaki ovalar dışında geri kalanı yüksek olmayan dağ ve tepeler, derin ve dik vadiler, yayla ve platolardan ibarettir.

Dağlar: Bilecik'in üçte biri dağlıktır. Sakarya Nehrinin doğusundaki dağlar, Kuzey Anadolu dağlarının, batısındaki dağlar ise Uludağ'ın devamıdır. Sipahi Dağı (1324 m), Göl dağları (1250 m), Yirce Dağı (1790 m), Kela Dağı (1906 m), Ahı Dağı, Abbaslık Dağı, Yeşil Dağ ve Bozdağ 1000 metreden yüksek dağ ve tepelerdir.

Ovalar: Bilecik'te ova çok azdır. Sakarya Irmağının etrafındaki bazı düzlükler dışında büyük ovalar yoktur. 60 km²'lik Bozüyük Ovası, Göksu, Göynük ve Karasu vadileri başlıca ova ve vadileridir. Sakarya Irmağı ve kolları çok derin yataklar açtıklarından buradaki vadiler sarp ve kayalıktır. Osmanlıların meşhur ve tarihi Domaniç Yaylası Bilecik sınırları içindedir.

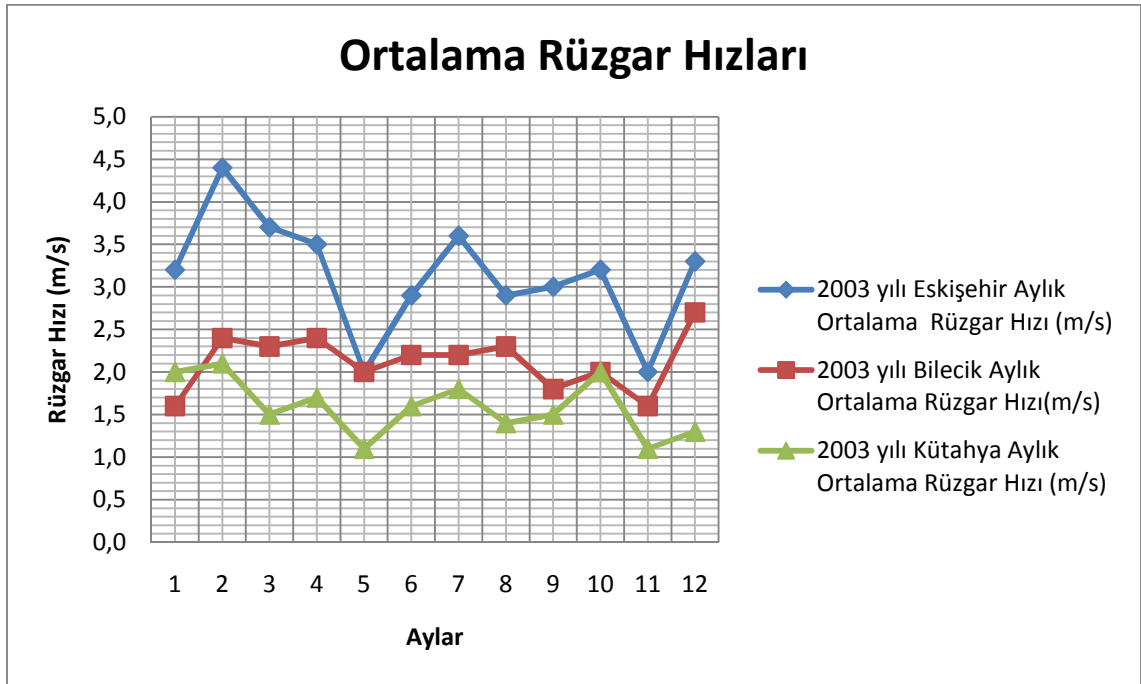
Akarsular: Bilecik toprakları içinde en önemli akarsu, Sakarya Irmağıdır. Bu ırmak Deresakarı köyü civarında Bilecik'e girip, 75 km yol aldıktan sonra ili terk eder. Kışın suyu boldur (saniyede 100 m³), yazın ise bu miktar 8 m³'e düşer. Bozalan köyü civarında çıkan Karasu, Osmaneli yakınında, Adapazarı'ndan gelerek Bilecik'e giren Göynük Çayı Osmaneli yakınlarında Sakarya'ya karışır. Sorğun Çayı, Karasuya, Sarısu, Porsuk Çayına karışır. Göksu, Hamsu Deresi, Sakarya'ya dökülür. Göller: Çerkesli Gölü, Yüzölçümü 45 hektar ve biriken su miktarı bir milyon m³'tür. Osmaneli yakınındadır. Dodurga Barajı, Sarısu üzerinde kurulmuş olup yüzölçümü 250 hektar ve su hacmi 35 milyon m³'tür. Sulama ve taşkınları önleme ve tarım arazilerini sulama amacıyla yapılmış bir baraj gölüdür.

8.4. İllerin Rüzgâr Hızları Ölçümleri

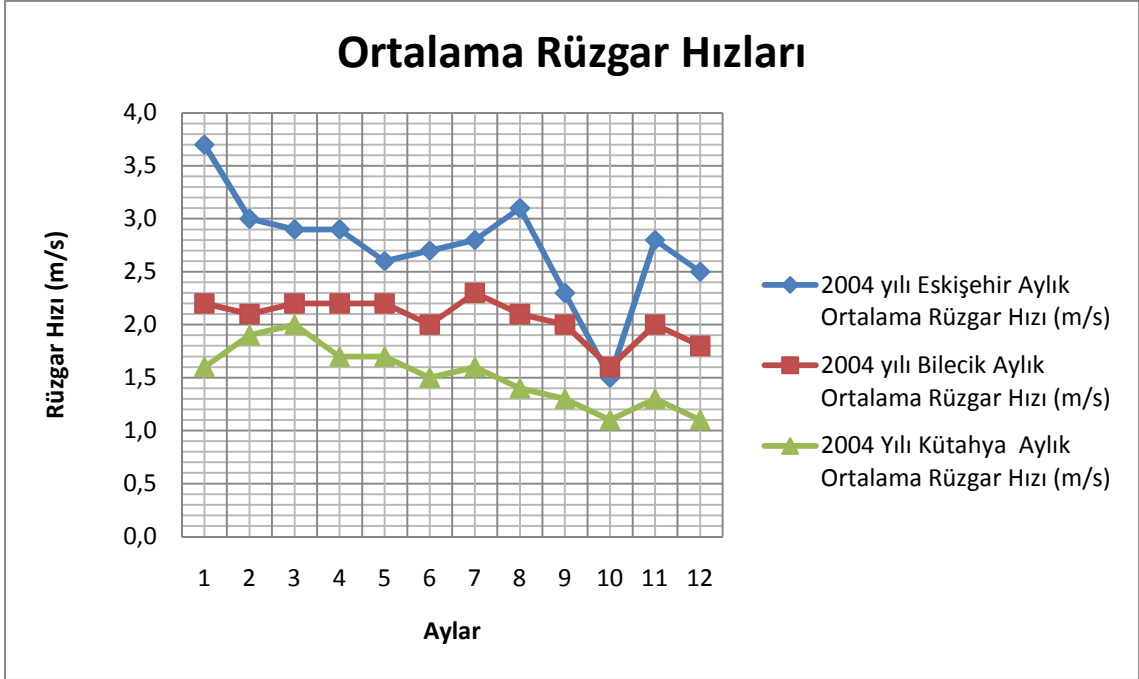
Eskişehir ilinin rüzgar hızları, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü Sivil Havacılık'ta konuşlu 17123 nolu Eskişehir Anadolu Meydan Meteoroloji İstasyonu'na ait rüzgar ölçüm direği olan data logger cihazı çıktılarına göre alınmıştır.

Kütahya ilinin verileri ise 17155 nolu Kütahya Meteoroloji istasyonu, Bilecik ilinin verileri ise 17120 nolu Bilecik Meteoroloji İstasyonundan alınmıştır.

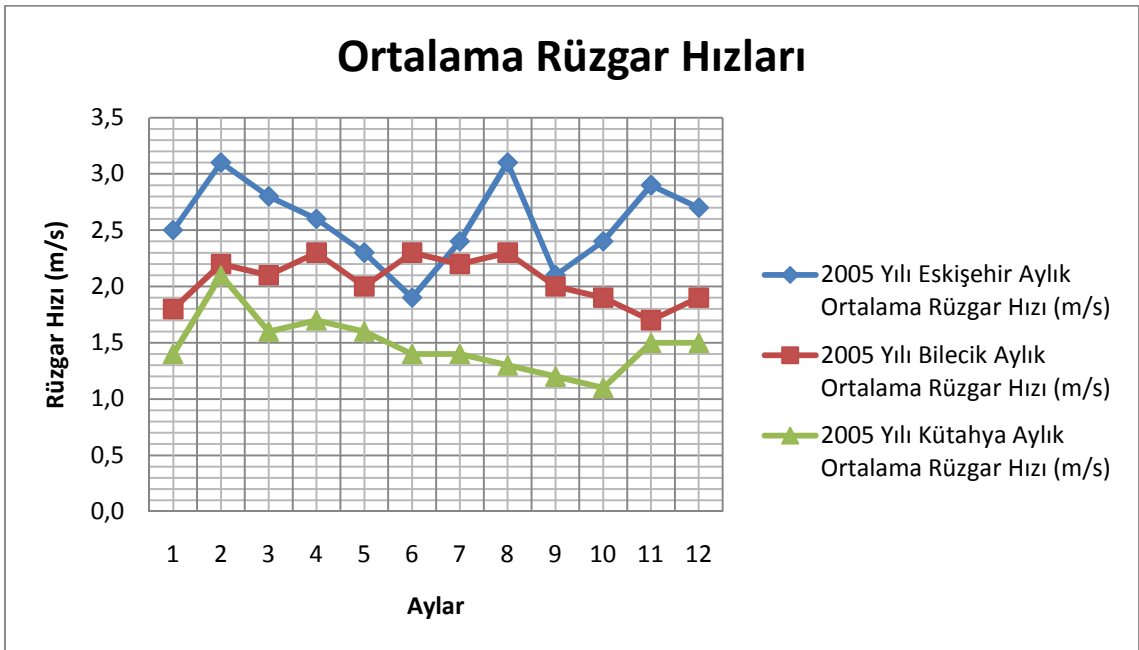
Aşağıda 2003–2006 yılları arasındaki tüm ölçüm verileri Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden sağlanmıştır. Bu tez çalışması sağlanan bu veriler ışığında değerlendirilip sonuçlandırılacaktır.



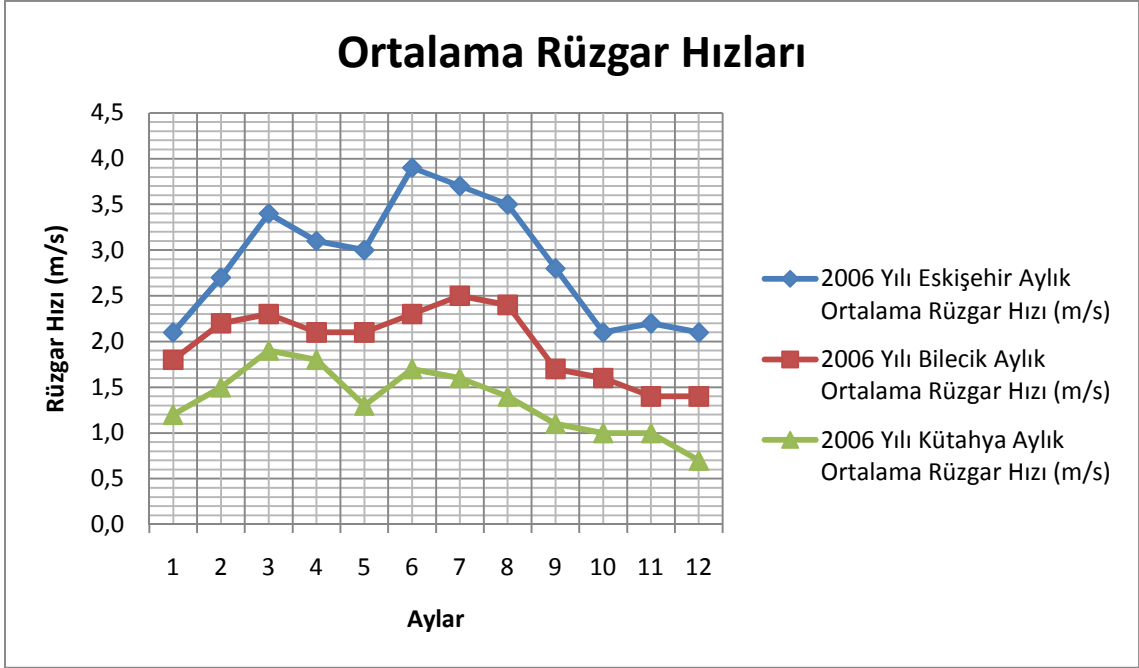
Şekil 8.4 2003 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü)



Şekil 8.5 2004 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü)



Şekil 8.6 2005 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü)



Şekil 8.7 2003 Yılı Ortalama Rüzgar Hızları (Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü)

Elde edilen tüm bilgiler değerlendirildiğinde Eskişehir ilinin verilerinin Bilecik ve Kütahya'dan daha yüksek olduğu grafiklerden de anlaşılmaktadır. Bundan dolayı türbin seçimi ve elektrik ihtiyacı gibi değerlendirmeler Eskişehir için yapılacaktır.

8.5. Türbin Seçimi

Bu tez çalışmasında De Wind firmasının çeşitli nominal güçlerindeki türbinleri seçilmiştir. Buradaki amaç, hangi nominal güçteki türbinin, Eskişehir ili için daha verimli olduğunu bulmaktır. İstenildiği takdirde, diğer firmalar için de bu karşılaştırma yapılabilir. 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.

Çizelge 8.1 Rüzgar Hızına Göre Türbin Güçleri (Özdamar,A,2000,s 5)

Rüzgar Hızı (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
Nominal Güç (kW)	500	600	1000	1250	1500	2000

Tam bir karşılaştırma olabilmesi için kule yükseklikleri hepsi için sabit tutularak 70m alınmıştır. Tüm türbinler 3 kanatlı olup, GRP/epoksi malzemeden yapılmıştır. Nominal rüzgar hızları 11,5-12 arasındadır. Devir sayıları 10-30d/dk arasında değişmektedir. Çizelge 8.1'de bu türbinlerin rüzgar hızına göre güçleri (kW) verilmiştir.

8.6. Eskişehir İlinin Elektrik Enerjisi İhtiyacı

Bu tez çalışmasında, Eskişehir ilinin elektrik enerjisi ihtiyacı, kişi başı ortalama elektrik ihtiyacı göz önüne alınarak yapılacaktır. 2008 yılı genel nüfus sayımına göre Eskişehir ili 724.849 'dir.(www.die.gov.tr)

Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ)'nin en son 2007 yılı içinde 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.

8.7. Eskişehir İli Rüzgâr Değerlendirmesi

Eskişehir'de rüzgar yılın dört ayı (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat) en fazla Doğu yönden, diğer sekiz ayı da (Marttan Ekime kadar) en fazla Batı yönden esmektedir. Dolayısıyla hakim rüzgar I.Derecede W (Batı), II Derece E(Doğu), III.Derece ise NW (Kuzeybatı) dır.

Rüzgâr öğle saatlerine kadar değişik yönlerden eserken, öğle saatlerinden sonra genelde Batı-Kuzeybatı yönlerden esmektedir. Kurutucu rüzgâr yönü Güney-Güneybatıdır. Kış aylarında hakim rüzgar yönü Doğu olmasına karşın, bahar ve yaz aylarında hakim rüzgar yönü Batıdır. Doğulu rüzgârların (E, ESE, ENE) esme sayılarının (8469) toplam esme sayılarına oranı (39458) % 21,5, Batılı rüzgârların (15464) (W, WNW, WSW) % 39,2, Kuzeyli rüzgârların (3471) (N, NNE, NNW) %8,8, Güneyli rüzgârların (2021) (S, SE, SSW) % 5,1 dir.

8.8.Türbin Sayısının Bulunması

Optimum türbin sayısı, bir günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacının, ortalama rüzgâr hızında üretilen bir günlük enerjiye bölünmesiyle bulunabilir. (Özdamar A,Şen Ç,2003,s 6)

Kişi başı yıllık ortalama elektrik tüketim miktarı ise 2367 kWh'tir. Eskişehir ilinin merkezdeki nüfusu ise 600000'dir.

Bir günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacı= $(2367 \div 365) \times 600000 = 3,89 \text{ MW}$

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

Ortalama rüzgar hızında üretilen bir günlük enerji hesaplanmak istenildiğinde bir problem karşımıza çıkmaktadır. Bölüm 8.4'te verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere Eskişehir ilinin 2003-2006 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızlarına çizelge 8.1'de karşılık gelen güç değerlerinin rüzgar türbinlerinden elektrik üretimi için çok küçük değerler olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kapasite faktörünün çok düşük olacağı bellidir.

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.

SONUÇ VE TARTIŞMA

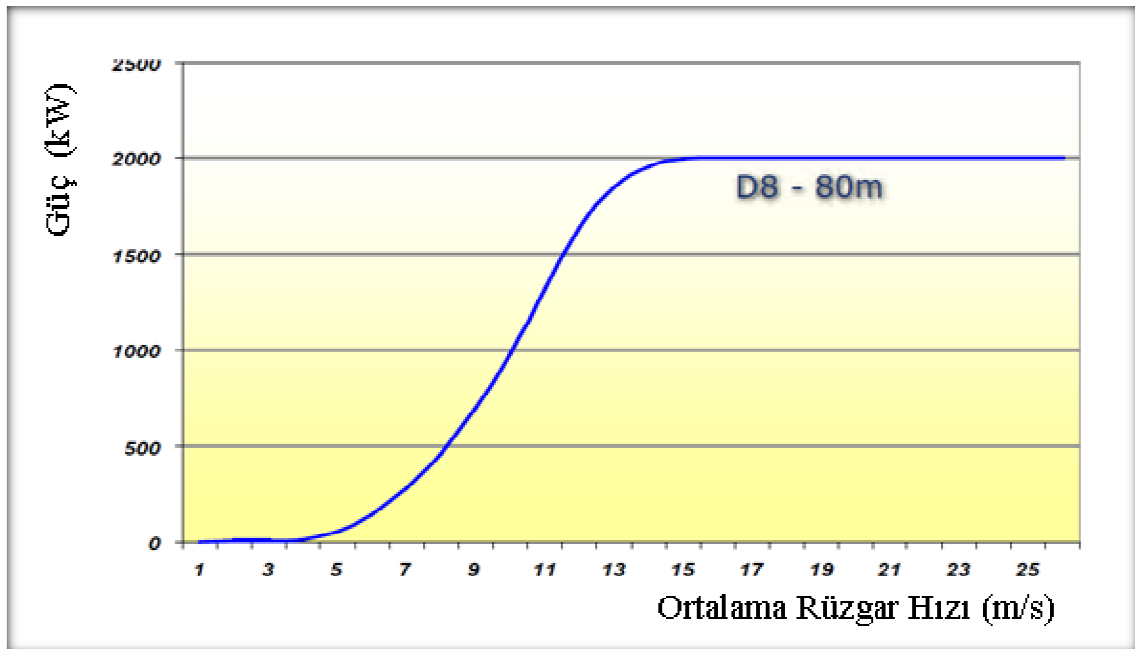
Günümüzde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında görülen artış son zamanlarda yaşanan enerji krizleri ve fosil yakıtların sürekli azalması olarak özetlenebilir. Doğada bol miktarda bulunan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kolay bulunabilmesi ve çevre dostu olmaları onları daha da cazip hale getirmektedir.

Yapılan çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi ele alınmıştır. Rüzgar enerjisi dünyada birçok alanda enerji temininde önemli bir rol oynamaktadır. Son on yıl içinde rüzgar türbini teknolojileri büyük bir gelişme göstermiş olup büyük ölçekli türbin tasarımlarında gözle görülür başarıya ulaşmıştır. Ancak, Rüzgar enerjisinin gelişimi adına bu alanda daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

Santralin kurulacağı bölgeye ait rüzgar potansiyelinin belirlenmesi, rüzgar elektrik santrallerinin projelendirilmesinde oldukça önemlidir. Rüzgarda yön, şiddet ve süreklilik en önemli hususlardır. Rüzgar santrallerinin şebeke bağlantı noktaları için gereken yerlerde iyileştirme amaçlı yeni hatlar çekilmelidir. Bunların yanı sıra rüzgar enerjisi yatırımlarına teşvikler artırılmalı, cazip koşullar için gerekli yasal ve hukuki düzenlemeler yapılmalıdır.

Bu çalışmada İç Anadolu Bölgesindeki Eskişehir, Bilecik ve Kütahya illerinin enerji ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması üzerine bir çalışma planlanmıştır. Bölüm 1’de enerjinin tanımı, enerji kaynakları ve ülkemizde rüzgar enerjisi kullanımı, Bölüm 2’de rüzgar enerjisi meteorolojisi, Bölüm 3’te rüzgar ölçüm yöntemleri ve kullanılan cihazlar, Bölüm 4 ‘te kullanılacak rüzgar türbinleri, Bölüm 5’te RES çevre etkileri, Bölüm 6’da rüzgar enerjisi diğer uygulamaları, Bölüm 7’de rüzgar enerjisi piyasasından bahsedilmiş. Bölüm 8’de ise Eskişehir, Bilecik ve Kütahya illeri

hakkında bilgiler verilmiş, Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınan 2003 – 2006 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları temin edilmiştir.



Şekil 9.1 Rüzgar Türbini Güç Eğrisi Grafiği (www.compositetechcorp.com)

Elde edilen bilgiler ve tüm bulgular çizelge 8.1'de verilen De Wind firmasının türbinlerinin hızlarına göre elde edilen güç değerleriyle kıyaslandığında, Şekil 8.4 – Şekil 8.7 arasındaki grafiklerden de anlaşıldığı üzere Eskişehir, Kütahya ve Bilecik illeri en yüksek rüzgar hızına sahip Eskişehir'de bile rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin olamayacağı anlaşılmaktadır. Şekil 9.1'de De Wind firmasının 2000 kW'lık De Wind D8 model türbininin güç eğrisi grafiği verilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı üzere 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 faktörleri %20'nin çok altında olacaktır. Bundan dolayı Eskişehir ilindeki rüzgar hızının bu rüzgar türbinlerini çalıştırıp onlardan elektrik üretimi sağlayamayacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, Eskişehir iline rüzgar çiftlikleri kurmanın Eskişehir iline fayda sağlayamayacağı, kurulması halinde ise uygun kapasite kullanımının gerçekleşmeyeceği, dolayısıyla yatırım maliyeti, işletme maliyeti vb. maliyetleri karşılanamayacaktır. Ancak Türkiye'de rüzgâr yönünden uygun bölgelere rüzgar santralleri kurularak mevcut şebeke yükü azaltımına ve ülke ekonomisinin genişlemesine aynı zamanda dışa bağımlılığın azalmasına mutlak katkı sağlayacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- Amerikan Nüfusu Bürosu, www.referansgazetesi.com, 2009
- Çağın,Ş., 2003, Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisiyle karşılanması, Doktora tezi, DokuzeYLül Üniversitesi
- Durak M, Özer S, Rüzgâr Enerjisi Teori ve Uygulama,2008, 543s.
- Turhan F, Eskişehir ilinin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgâr enerjisinden sağlanması, Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, 2009, 112s.
- Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
- Özdamar,A,2000, 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.
- Tetaş Bilişim, 2009, www.tetasbilisim.com.tr
- www.enerji.gov.tr
- www.wind-energie.de
- www.ewea.org
- www.enerji.gov.tr, 2009
- www.eie.gov.tr, 2009
- www.resimsite.com
- www.kayseri-bld.gov.tr
- www.pentaotomasyon.com.tr, 2009
- www.fmi.fi, 2009
- www.kuvang.blog.cz, 2009
- www.tezproje.8m.com, 2009
- www.bilgiustam.com, 2009
- www.enercon.de
- www.galefoce.niraland.co.uk

www.west.wind.com

www.synergypowercorp.org

www.danishwind.com

www.lorax-energy.com

www.montanagreenpower.com

www.eie.gov.tr,2009

www.gwec.net

www.turkiyerehberi.gen.tr,2009

www.die.gov.tr

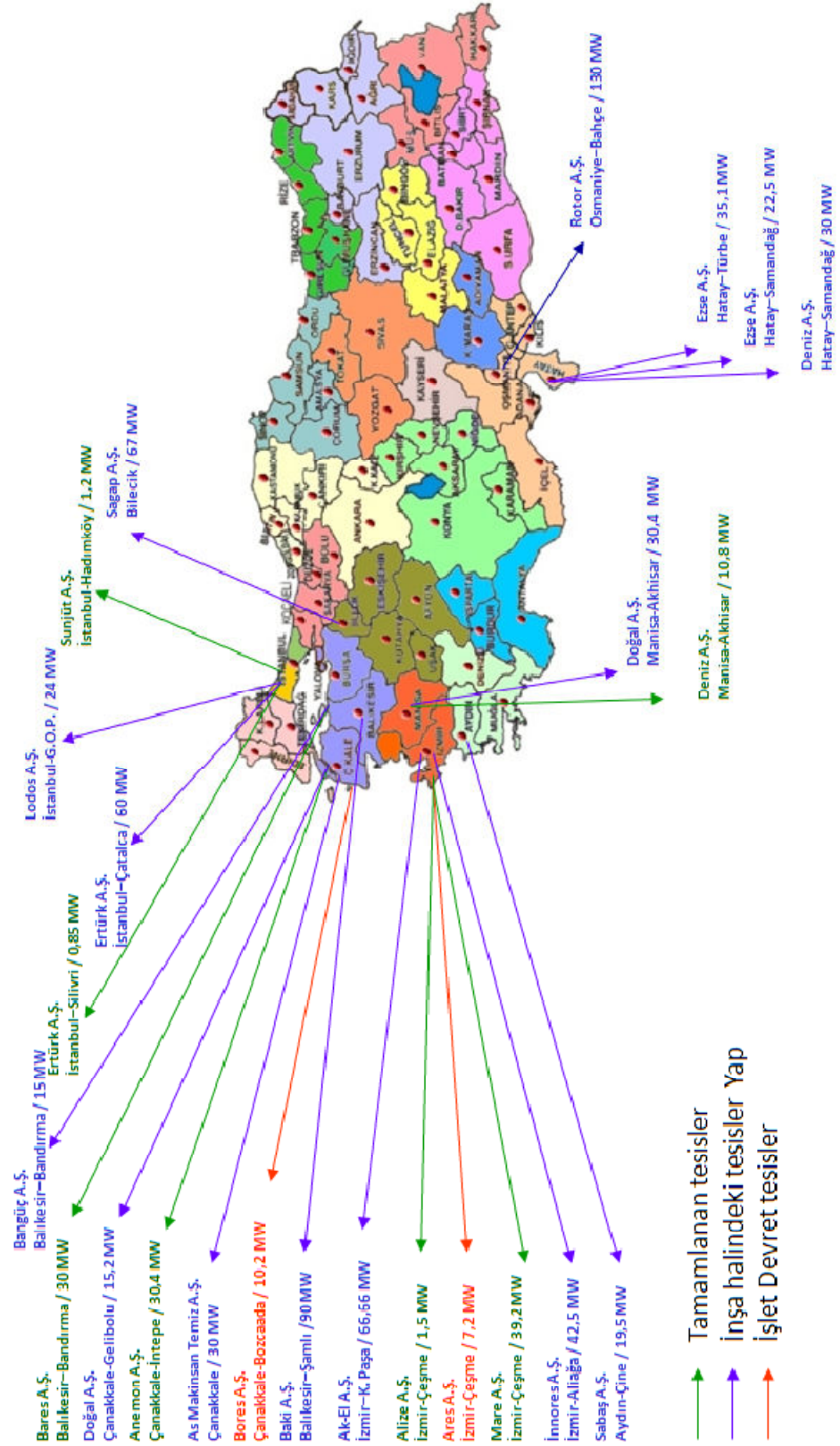
www.compositetechcorp.com

EK 1: 04.02.2009 itibariyle işletmede olan ve devreye alınacak rüzgâr santralleri

(www.eie.gov.tr)

Türkiye'deki Rüzgâr Santralleri					
Wind Projects in Türkiye					
Şirket	Mevki	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin imalatçısı	Türbin adet ve kapasitesi
Company	Location	Comm. Date	Installed Cap. (MW)	Turbine manufacturer	Turbine capacity
Akze A.Ş.	İzmir-Çeşme	1998	1,50	Enercon	3 adet 500 kW
Gaçbirliği A.Ş.	İzmir-Çeşme	1998	7,20	Vestas	12 adet 600 kW
Boreas A.Ş.	Çanakkale-Bozcaada	2000	10,20	Enercon	17 adet 600 kW
Sunjuv A.Ş.	İstanbul-Hadimköy	2003	1,20	Enercon	2 adet 600 kW
Yapısın A.Ş.	Bahçesir-Bandırma	I/2006	30,00	GE	20 adet 1.500 kW
Ertürk A.Ş.	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 A.Ş.	İzmir-Aliağa	I/2008	42,50	Nordex	17 adet 2.500 kW
Ledoc A.Ş.	İstanbul-Gaziosmanpaşa	I/2008	24,00	Enercon	12 adet 2.000 kW
Ertürk A.Ş.	İstanbul-Çarşıca	I/2008	60,00	Vestas	20 adet 3.000 kW
Baki A.Ş.	Bahçesir-Şanlı	II/2008	90,00	Vestas	38 adet 3.000 kW
Dares A.Ş.	Muğla-Datça	II/2008	10,00	Enercon	27 adet 800 kW + 8 adet 900 kW
İŞLETMEDEKİ KAPASİTE TOPLAMI			433,35		
CAPACITY UNDER OPERATION					
Ayen A.Ş.	Aydın-Diğir	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
Mazın-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
Scma A.Ş.	Manisa-Soma	II/2009	140,80	Enercon	176 adet 800 kW
İNŞA HALİNDEKİ KAPASİTE TOPLAMI			492,40		
CAPACITY UNDER CONSTRUCTION					
Akze A.Ş.	Bahçesir-Susurluk		19,00	Enercon	17 adet 800 kW ve 6 adet 900 kW
Borasco A.Ş.	Bahçesir-Bandırma		45,00	Vestas	15 adet 3000 kW
Akze A.Ş.	Tekirdağ-Şarköy		28,80	Enercon	14 adet 2000 kW ve 1 adet 800 kW
Akze A.Ş.	Bahçesir-Havran		16,00	Enercon	8 adet 2000 kW
Akze 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
Akze 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-Aliağa		30,00	Enercon	15 adet 2.000 kW
Yapısın İnş. Elk. San. Tic. A.Ş.	İzmir-Aliağa		90,00	Nordex	36 adet 2500 kW
Doğal A.Ş.	İzmir-Aliağa		30,00	Enercon	15 adet 2000 kW
Doğal A.Ş.	İzmir-Foça		30,00	Enercon	15 adet 2000 kW
Poyraz A.Ş.	Bahçesir-Kepsut		54,90	Enercon	61 adet 900 kW
Bilgin Elektrik Üretim A.Ş.	Manisa-Soma-Kırkağaç		90,00	Nordex	36 adet 2500 kW
Boreas Elektrik Üretim A.Ş.	Bahçesir-Kepsut		142,50	Nordex	57 adet 2500 kW
TÜRBİN TEDARİK SÖZLEŞMESİ İMZALI PROJE TOPLAMI			657,60		
PROJECTS WITH A TURBINE SUPPLY CONTRACT					
GENEL TOPLAM			1.533,35 MW		

EK 2: Türkiye RES projelerinin son durumu



EK 3: Çevrimler

1 metre / saniye (m/s)	=2.237 mil saat (mph)
1 metre / saniye (m/s)	=1.9426 knots (kts)
1 metre / saniye (m/s)	=3.60 kilometre saat (kph)
1 knot	=0.515 metre / saniye (m/s)
1 knot	=1.152 mil saat (mph)
1 knot	=1.85 kilometre saat (kph)
1 mil saat (mph)	=0.447 metre / saniye (m/s)
1 mil saat (mph)	=0.868 knot
1 mil saat (mph)	=1.61 kilometre saat (kph)

	m/s	km/s	mil saat	Knot
1 m/s	1.000	3.600	2.237	1.944
1 km/s	0.278	1.000	0.622	0.540
1 mil saat	0.447	1.609	1.000	0.869
1 knot	0.514	1.852	1.151	1.000

Fahrenheit—Derece Çevrimi $=F=1.8C+32=9/5C+32$

Derece—Fahrenheit Çevrimi $=C=0.56(F-32)=5/9 (F-32)$