

RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ ÖLÇÜMÜ

Savaş ALTUNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ ÖLÇÜMÜ

Savaş ALTUNER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ali PINARBAŞI
(Danışman)

Makine Mühendisliği, Doç Dr.
(Bölümü, Unvanı)

(İmzası)

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Üye

Üye

Üye

Üye

Onay

Yukarıda ki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

..../..../2009

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Sezai ELAGÖZ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜRLER	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
SİMGELER DİZİNİ	X
KISALTMALAR DİZİNİ	XII
GİRİŞ	1
1.1 Ön Bilgi	1
RÜZGÂR ENERJİSİ	4
2.1 Rüzgâr Oluşumu	4
2.2 Rüzgâr Enerjisinin Kullanım Tarihçesi	5
DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE RÜZGÂR ENERJİSİ	7
3.1 Dünya Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	7
3.2 Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi	9
RÜZGÂR ENERJİSİ TÜRBİNLERİ	12
4.1 Rüzgâr Enerjisi Türbinlerinin Tanımı	12
4.2 Rüzgâr Enerjisi Türbinlerinin Sınıflandırılması	12
4.2.1 Rüzgâr ın Kuvvetinden Yararlanılma Şekline Göre Sınıflandırılması	12
4.2.2 Rüzgâr ın Direnç Kuvvetinden Yararlanan Türbinler	12
4.2.3 Rüzgâr ın Kaldırma Kuvvetinden Yararlanan Türbinler	12
4.2.4 Yükselen Hava Akımlı Rüzgâr Türbinleri	13
4.2.2 Pervane Ekseninin Konumuna Göre Sınıflandırılması	14
4.2.2.1 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri	14
4.2.2.2 Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	15
4.2.2.3 Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri	16
MODERN YATAY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN ELEMANLARI	17
5.1 Nacelle (Gövde veya Kapak) Kısım	17
5.2 Rotor Kanatları	17
5.3 Hub (Kanatların Rotora Bağlantısını Sağlayan Kısım)	18
5.4 Düşük Hız Şaftı	18
5.5 Yüksek Hız Şaftı ve Mekanik Fren	18
5.6 Dişli Kutusu	18
5.7 Elektrik Jeneratörü	19

5.8	Yaw Mekanizması	19
5.9	Elektronik Kontrol Ünitesi	20
5.10	Hidrolik Sistemi	20
5.11	Soğutma Ünitesi	20
5.12	Kule	20
5.13	Anemometre ve Rüzgâr Gülü	20
	RÜZGÂR TÜRBİNİNİN SEÇİMİ VE PROJELENDİRİLMESİ	21
6.1	Yöre İncelenmesi	21
	RÜZGÂR ENERJİSİ METODOTOLOJİSİ	22
7.1	Rüzgârdaki Enerji	22
7.2	Güç Kayıpları	27
7.2.1	Profil Kayıpları	27
7.2.2	Uç Kayıplar	28
7.2.3	Girdap Kayıpları	28
7.3	Rayleigh Dağılım Fonksiyonu	28
7.4	Hellmann Yükseltme Bağıntısı	29
7.4.1	Pürüzlülük Sınıfları ve Rüzgâr Hızı Profilleri	29
	RÜZGÂR ENERJİSİNİN FİYAT VE MALİYET ANALİZİ	33
8.1	Rüzgâr Enerjisinin Mali Analizi	33
8.1.1	Ekonomik Avantajlar	33
8.1.2	Kapasite Bakımından Maliyet Ekonomikliği Karşılaştırılması	34
8.1.3	Ekonomik Değerlendirme	35
8.1.4	Rüzgâr Enerjisi Maliyet Analizi	35
8.1.5	Rüzgâr Santrali Kurulumunda Oluşan Masraflar	37
8.1.6	İşletme Aşamasındaki Maliyetler	37
8.1.7	Çeşitli Enerji Kaynaklarının Maliyet Karşılaştırılması	38
8.1.8	Türkiye’ de Rüzgâr Enerjisinin Sübvans Edilmesi	38
8.1.9	Sistem Maliyeti	39
8.1.10	Tesis Edilecek Yer Maliyeti	40
8.1.11	Türbin Maliyeti	40
8.1.12	İletim Maliyeti	41
8.1.13	Bakım Maliyeti	42
8.1.14	Birim Enerji Maliyeti	42
8.1.15	Finansal Faktörler ve Değerlendirme	43
	MATERYAL VE METOD	45
9.1	Kullanılan Materyal	45
9.1.1	Sabit Anemometrenin Teknik Özellikleri	46

III

9.1.2 Rüzgâr Hızının Bulunuşu	47
9.1.3 Türbin Seçimi	48
BULGULAR	55
10.1 30 m ve 113 m Rüzgâr Hızlarına Göre Enercon ve Fortis Montana Türbinlerinin Ürettiği Enerji Tabloları	75
10.2 Üretilen Elektrığın Birim Fiyatının Hesaplanması	87
TARTIŞMA VE SONUÇ	89
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	93

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ ÖLÇÜMÜ

Savaş ALTUNER

Cumhuriyet Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali PINARBAŞI

Bu çalışma da genel olarak; rüzgâra özgü tanımlar ve rüzgâr enerjisi incelenmiş olup rüzgâr enerjisinin Türkiye’de ve Dünya’daki durumu ile ilgili teorik ve istatistikî bilgiler verilmiştir. Özelde ise, Cumhuriyet Üniversitesi Kampus Alanına ait rüzgâr hızı verileri incelenmiştir. Bu bağlamda Cumhuriyet Üniversitesi Kampus Alanının; rüzgâr enerjisi potansiyeli belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: rüzgâr enerjisi, rüzgâr gücü, rüzgâr santrali, rüzgâr potansiyeli,

SUMMARY

M.Sc. Thesis

MEASUREMENT OF WIND ENERGY POTENTIAL

Savaş ALTUNER

Cumhuriyet University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

In this study, definitions with wind energy are given. Wind energy is investigated and theoretical and statistical information about potential of Turkey and World are given. Then, wind speed distribution of Cumhuriyet University is obtained. In this respect wind energy potential of Cumhuriyet University is determined

Key Words: wind energy, wind power, wind power plants, wind potential

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarımnda bana her zaman en büyük desteği vermiő olan danıőmanım Doç. Dr. Ali PINARBAŞI' na değerli katkılarımndan dolayı Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve desteğini esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Savaş ALTUNER

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4–1 Yükselen Hava Akımlı Rüzgâr Türbini	13
Şekil 4–2 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinin Çalışma Şeması	14
Şekil 4–3 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri	15
Şekil 4–4 Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	15
Şekil 5–1 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinin Kesit Görünümü	17
Şekil 5–2 Dişil Kutusu	18
Şekil 5–3 Yaw Mekanizması	19
Şekil 7–1 Yavaşlatma Faktörü değişimi	26
Şekil 7–2 $CP_{schmitz} - A, a$ eğrisi	28
Şekil 7–3 Pürüzlülük Sınıfı 0 Olan Arazi Örneği ($Z_0 = 0,0002 m$)	29
Şekil 7–4 Pürüzlülük Sınıfı 1 Olan Arazi Örneği ($Z_0 = 0,03 m$)	29
Şekil 7–5 Pürüzlülük Sınıfı 2 Olan Arazi Örneği ($Z_0 = 0,10 m$)	30
Şekil 7–6 Pürüzlülük Sınıfı 3 Olan Arazi Örneği ($Z_0 = 0,40 m$)	30
Şekil 8–1 Rüzgâr Türbini Toplam Maliyetleri	41
Şekil 9–1 Meslek Yüksek Okulu Otopark Alanı Önünden Görünüm	45
Şekil 9–2 Anemometrenin Genel Görünümü	46
Şekil 9–3 Sabit Anemometre	47
Şekil 9–4 Enercon E–70 Türbininin Genel Görünümü	49
Şekil 9–5 Enercon E–70 Türbinine Ait Güç Eğrisi Grafiği	49
Şekil 9–6 Fortis Montana Türbininin Genel Görünümü	52
Şekil 9–7 Fortis Montana Türbinine Ait Güç Eğrisi Grafiği	52
Şekil 10–1 Mart Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	68
Şekil 10–2 Nisan Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	68
Şekil 10–3 Mayıs Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	69
Şekil 10–4 Haziran Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	69
Şekil 10–5 Temmuz Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	70
Şekil 10–6 Ağustos Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	70
Şekil 10–7 Eylül Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	71
Şekil 10–8 Ekim Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	71
Şekil 10–9 Kasım Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	72
Şekil 10–10 Aralık Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	72
Şekil 10–11 Ocak Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	73
Şekil 10–12 Şubat Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları Grafiği	73

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1–1 Tükenebilirliğine Göre Enerji Kaymakları, Avantaj ve Dezavantajları	2
Tablo 1–2 Yenilebilir Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	3
Tablo 2–1 Genel Olarak Rüzgârların Sınıflandırılması	5
Tablo 3–1 1995–2005 Yılları Arası Dünya Rüzgâr Enerji Kurulu Gücü	8
Tablo 3–2 Dünyada Yıllık Yeni Kurulu Rüzgâr Gücü	8
Tablo 3–3 2000–2005 Dünyada Yılları Dünyada Toplam Kurulu Rüzgâr Gücü	9
Tablo 3–4 Türkiye nin Çeşitli Bölgelerinde 10 m Yükseklikte Yapılan Ölçümler	10
Tablo 3–5 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Açısından Süreklilik ve Yoğunluk Gösteren Yöreler	11
Tablo 7–1 Pürüzlülük Uzunluğu ve Yüzey Yapısı Özelliklerine Göre Pürüzlülük Sınıfları	31
Tablo 7–2 Yüzey Farklılıklarının Rüzgâr Hızına Etkisi	32
Tablo 8–1 Muhtelif Enerji Kaynaklarının Kapasite Maliyeti Kıyaslaması	34
Tablo 8–2 Termik Santral Maliyetleri	35
Tablo 8–3 Elektrik Santrallerinin Kıyaslanabilir Kuruluş Maliyetleri	36
Tablo 8–4 Maliyet Hesapları Kabulleri	36
Tablo 8–5 İşletme Aşamasında Kıyaslanabilir Maliyetler	38
Tablo 8–6 Temel Yakıt Tiplerinin Maliyeti	38
Tablo 9–1 E–70 Türbininin Rüzgâr Hızına Göre Ürettiği Güç ve Güç Faktörü	50
Tablo 9–2 E–70 Türbinine Ait Teknik Bilgiler	51
Tablo 9–3 Fortis Montana Türbininin Rüzgâr Hızına Göre Ürettiği Güç ve Güç Faktörü	53
Tablo 9–4 Fortis Montana Türbinine Ait Teknik Bilgiler	54
Tablo 10–1 Mart Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	56
Tablo 10–2 Nisan Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	57
Tablo 10–3 Mayıs Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	58
Tablo 10–4 Haziran Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	59
Tablo 10–5 Temmuz Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	60
Tablo 10–6 Ağustos Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	61
Tablo 10–7 Eylül Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	62
Tablo 10–8 Ekim Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	63
Tablo 10–9 Kasım Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	64
Tablo 10–10 Aralık Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	65
Tablo 10–11 Ocak Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	66
Tablo 10–12 Şubat Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları	67
Tablo 10–13 Yıllık Rüzgâr Ortalaması	74
Tablo 10–14 Mart Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	75
Tablo 10–15 Nisan Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	76

Tablo 10–16 Mayıs Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	77
Tablo 10–17 Haziran Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	78
Tablo 10–18 Temmuz Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	79
Tablo 10–19 Ağustos Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	80
Tablo 10–20 Eylül Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	81
Tablo 10–21 Ekim Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	82
Tablo 10–22 Kasım Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	83
Tablo 10–23 Aralık Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	84
Tablo 10–24 Ocak Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	85
Tablo 10–25 Şubat Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç	86

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama	Birim
E_k	Rüzgârdaki kinetik enerji	(J)
V_r	Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı	(m/s)
m_h	Havanın kütlesi	(kg)
ρ_h	Havanın yoğunluğu	(kg/m ³)
V_h	Hava hacmi	(m ³)
v_r	Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı	(m/s)
s	Rotor süpürme alanı	(m ²)
t	Ölçüm zamanı	(s)
E_y	Enerji yoğunluğu	(Wh/m ² .yıl)
s	Rotor süpürme alanı	(m ²)
f	Yıllık esme saat sayısı	(h/yıl)
λ_A	Tasarım devirlilik sayısı	
V_ξ	Çevresel hız	
ε	Kayma sayısı	
C_A	Kaldırma kuvveti katsayısı	
C_W	Direnç kuvveti katsayısı	
h	Pürüzlülük elemanın yüksekliği	(m)
S	Rüzgâra karşı gelen dikey kesit alanı	(m ²)
A_H	Arazi üzerine dağılmış ortalama yatay kesit alanı	(m ²)
V_{ist}	İstenen yükseklikteki rüzgâr hızı	(m/s)
$V_{ölç}$	Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı	(m/s)
Z	Hızı istenen yükseklik/kule yüksekliği	(m)
Z_{ref}	Rüzgâr hızı ölçüm yüksekliği	(m)
Z_0	Pürüzlülük uzunluğu katsayısı	(m)
i	Faiz oranı	(%)
n	Amortisman süresi	(yıl)
\ddot{U}	Üretim maliyeti	(YTL/KWh)

XI

I	Servis, bakım ve sigorta (işletme) giderleri	(%)
C_T	Rüzgâr türbininin toplam kuruluş maliyeti	(YTL)
E	Yıllık üretilen enerji miktarı	(KWh)
Δt_i	Zaman aralığı	(h)
v_r	Rüzgâr hızı	(m/s)
ρ_h	Havanın yoğunluğu	(kg/m ³)
s	Rüzgâr türbinin taradığı alan	(m ²)
C_p	Güç katsayısı	
η_{kay}	Mil yataklarındaki sürtünme kayıpları	

KISALTMALAR DİZİNİ

AB: Avrupa Birliği

AWEA: American Wind Energy Association (Amerika Rüzgâr Enerjisi Birliği)

DMİ Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

EEG Erneubare-Energien-Gesetz (Yenilenebilir Enerji Kurumu)

EİE Elektrik İşleri Etüt İdaresi

EWEA European Wind Energy Association (Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği)

IEA International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)

IEC International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)

RES Rüzgâr Enerjisi Santrali

TEİAŞ Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TÜBİTAK Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜREB Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği

WEC World Energy Council (Dünya Enerji Kurulu)

WF Wind Force (Rüzgâr Gücü)

YİD Yap İşlet Devret

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Ön Bilgi

Enerjiye olan büyük gereksinim, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli gündemde olmasının nedenidir. Alternatif kaynaklar olarak da adlandırılan bu enerji kaynaklarından biriside rüzgâr enerjisidir.

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtların tükeneceğinin anlaşıldığı son yıllarda, enerji sorununa çözüm olarak görülen kaynaklardan birisidir. İlk kullanım örneklerinin bundan 3000 yıl öncesinde rastlanılmasına rağmen rüzgâr enerjisi son on yıl öncesine kadar yeterince irdelenmemiş ve değerlendirilmemiştir.

Enerji, dünyanın var olma süresinin referans olarak alındığı bir sınıflandırmaya göre; tükenen ve kendisini dünya var olukça yenileyebilen, yani tükenmeyen enerji olarak İki grupta incelenebilmektedir. (Tablo 1.1) Yenilenebilir enerji kaynakları da enerjinin ana kaynağına göre; güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak üç grupta incelenebilmektedir. Tablo 1.2 'nin incelenmesinden de anlaşıldığı gibi güneş kaynaklı olan rüzgâr enerjisi, doğal enerji dönüşümü sonucunda kendisini atmosferde hava hareketi ve denizlerde dalga hareketi olarak hissettirmektedir. Bu kinetik enerjide, rüzgâr enerjisi ve dalga enerjisi tesislerinde elektrik enerjisine, su pompalama tesislerinde mekanik enerjiye dönüştürülebilmektedir.

Dünya enerji gereksiniminin karşılanmasında ağırlıklı olarak kullanılan fosil yakıtlar ve atom enerjisi, kendine özgü ve tüm insanları doğrudan ilgilendiren sorunlara neden olurlar.

Bu sorunların başında, 2001 yılı kaynaklarına göre; atom enerjisinin kaynağı olan uranyumun 50 yıl, petrolün 44 yıl, doğalgazın 64 yıl ve kömürün 185 yıl sonra, bugüne kadar bulunmuş rezervlerinin tükenecek olmasıdır Fosil yakıtlar ile ilgili diğer bir sorunda, çevreye verdikleri zararlarıdır. Örneğin 1 kWh 'lik elektrik enerjisi elde etmek için fosil yakıtlar yerine rüzgâr santrali kullanıldığında, ortalama olarak 750–1250 gr karbondioksit, 40–70 gr kül, 5–8 gr kükürt dioksit, 3–6 gr azot oksit'in atmosfere şahnişi engellenmiş olunacaktır.

Bu nedenlerden dolayı son yıllarda büyük dünya ülkeleri, enerji gereksinimlerinin karşılanabilmesi için rüzgâr, güneş, jeotermal, biomas, gelgit ve hidrolik enerjiden oluşan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmişlerdir.

TÜKENEBİLEN ENERJİ	TÜKENMEYEN (YENİLENEBİLİR) ENERJİ
<p>Kömür, Linyit, Petrol, Doğalgaz, Nükleer (Uranyum) gibi kaynaklardan Elde edilen enerji</p>	<p>Su (Hidrolik), Güneş, Rüzgâr, Dalga, Jeotermal, biomas, gelgit olayı gibi Kaynaklardan elde edilen enerji</p>
<p>Çevreyi kirletirler ve dünyanın var olma sürecinde tükenirler</p>	<p>Çevre dostudurlar ve dünya Var oldukça tükenmezler.</p>

Tablo1.1 Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri, Avantaj ve Dezavantajları

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI					
Ana Kaynak	Birincil Enerji Kaynakları	Doğal Enerji Dönüşümü	Teknik Enerji Dönüşümü	Kullanım Enerjisi	
GÜNEŞ	Su	Buharlaştırma, Yağış	Su Güç Tesisleri (Hidroelektrik Santralleri)	Elektrik Enerjisi	
	Rüzgâr	Atmosferdeki Hava Hareketi	Rüzgâr Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji	
		Dalga Hareketi	Dalga Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji	
	Güneş Işımları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompası	Isı Enerjisi	
		Güneş Işımları	Kollektörler	Isı Enerjisi	
			Solar Hücreler (Güneş Pilleri–Fotovoltaikler)	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 Tesisleri	Elektrik Enerjisi

Tablo 1. 2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

BÖLÜM II

RÜZGÂR ENERJİSİ

2.1 Rüzgâr Oluşumu

Gerekli enerjisini güneşten alan bir ısı makinası olarak nitelendirilebilecek atmosferde, ısıl potansiyel farklara sahip olan hava kütleleri, soğuk ve yüksek basınç alanı olan bir noktadan, daha sıcak ve alçak basınç alanına hareket ederler. Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü bu doğa olayındaki hava kütlesi hareketine, rüzgâr adı verilir.

Rüzgârlar, sürekliliklerine göre bütün bir yıl boyunca esen sürekli rüzgârlar ve belli zamanlarda esen harikeyn, tayfun, tornado ve girdaplar gibi süreksiz rüzgârlar olarak iki grupta incelenebilir. (Tablo 2.1) Alizeler, her mevsim kuzey ve güney yarım kürede 30° enlem üzerinde bulunan yüksek basınç kuşağından, ekvator üzerindeki alçak basınç kuşağına doğru eserler. Kontralize rüzgârları ise, atmosferin yükseklerinde alize rüzgârlarının ters yönünde eserler ve oluşmalarının nedeni, ekvatorda ısınan hava kütlelerinin yükselmesi ve ekvatorдан uzaklaşacak şekilde hareket etmeleridir. Meltem rüzgârları, karaların denizlerden ve dağların vadilerden daha çabuk ısınıp soğuması sonucu, üzerlerinde bulunan hava kütlelerini etkilemesi nedeni ile oluşur. Gündüzleri; denizlerden, çabuk ısınan karalara doğru deniz meltemleri, geceleri de; çabuk soğuyan karalardan, denizlere doğru kara meltemleri eser. Deniz ve kara meltemleri, sahilden 40 km. içlere kadar etkili olurlar. Aynı şekilde, gündüzleri, vadilerden çabuk ısınan dağlara doğru vadi meltemleri, geceleri de; çabuk soğuyan dağlardan vadilere doğru dağ meltemleri eserler. Hareket halindeki bir hava kütesinin; yükseldikçe bir dağa çarparak her 100 metrede 0.5 °C soğuyarak yükselmesi, daha sonrada dağın diğer yamacına her 100 metrede 1 °C ısınarak inmesine föhn rüzgârları adı verilir.

Anadolu, kışın Sibiryaya yüksek basıncının etkisinde bir yüksek basınç alanı, Karadeniz ve Akdeniz ise bir alçak basınç alanıdır. Bu nedenle; kışın rüzgârların karalardan denizlere doğru esmesi beklenir. Yazın ise Anadolu güneyden gelen tropikal hava kütlelerinin etkisindedir ve Kuzeybatı Avrupa üzerinde yerleşen yüksek basınç alanından, Basra alçak basıncına yönelmiş rüzgârların etkisinde kalır. Yazın; eteziyen adı verilen ve kuzeybatıdan esen rüzgârlar, Marmara ve Ege'yi etkiler.

Sürekli Rüzgârlar					Süreksiz Rüzgârlar		
Alize R.	Kontr-Alize R.	Muson R.	Meltem R.		FöhnR.	Siklon R.	Antisiklon R
			Kara ve Deniz Meltemi	Dağ ve Vadi Meltemi			

Tablo 2-1 Genel Olarak Rüzgârların Sınıflandırılması

2.2 Rüzgâr Enerjisinin Kullanım Tarihçesi

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca rüzgârdan ve onun gücünden etkilenmiş. İlk kez M.Ö. 4000 yıllarında Mısır'lıların, kürek mahkûmlarının gücüne ek olarak rüzgâr enerjisini kullandıkları biliniyor. Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgâr gücünden yararlanmışlar. M.Ö. 1700'lerin başlarında Babil kralı Hammurrabi, Mezopotamya'yı sulama konusunda rüzgâr enerjisinden faydalanmak için çeşitli planlar yapmış.

Yazılı belgeli tarihe geçen ilk yel değirmeni M.S. 644 yılına ait İran-Afganistan sınırındaki Seistan'dadır. Yel değirmenleri, Çin'de M.S. 750-850 yıllarında pirinç tarlalarının sulanmasında kullanılmıştır. İlk olarak Doğuda kullanılan düşey eksenli yel değirmenleri, Batılılar tarafından geliştirilmiş ve yatay eksenli hale getirilmiştir. Yatay eksenli ilk yel değirmeni örneği, 1180 yılında Hormandiya krallığı zamanına aittir.

Yatay eksenli ve mekanik enerji amaçlı yel değirmenlerinin gelişimi, ayaklı yel değirmeni (Almanya), kule tipi yel değirmeni (Akdeniz Ülkeleri, Alaçatı), döner çatılı Hollanda tipi yel değirmeni (Hollanda) ve 1850 yılında Daniel Hallady tarafından rüzgâr yönü yönlendiricisi takılan çok kanatlı Amerikan tipi yel değirmeni olarak sıralanabilir.

1882 yılında NewYork'da elektrik santrali kurulmuş ve daha sonra da elektrik enerjisi kullanımı yaygınlaşmıştır. İlk rüzgâr elektriği de, Danimarkalı Profesör Paul La Cour tarafından 1891 yılında üretilmiştir. Doğru akım elde eden Paul La Cour, elektroliz yoluyla hidrojen gazı elde etmiş ve bu şekilde rüzgâr enerjisini depolamış. 1918 yılı sonrasında büyük şehirler elektriğe kavuşmuş ve

dizel yakıtların ucuzluğu nedeniyle rüzgâr enerjisini değerlendirme çabaları, bir kenara bırakılmıştır. Rüzgâr enerjisinin bu bir kenara itilmişliği, enerji sıkıntısı nedeniyle 2. Dünya Savaşı'na kadar sürmüştür.

Rüzgâr enerjisi kullanımının tarihsel gelişimine; 1942 yılında üretilen 17.5 m. pervane çaplı ve 50 kW nominal güçlü Smidth rüzgâr türbini ve 1957 yılında üretilen 24 m. pervane çaplı ve 200 kW nominal güçlü Gedser rüzgâr türbini verilebilir.

Rüzgârın enerji üretiminde kullanımı, 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra başlamıştır. 1980–1985 yıllarında Amerika'da toplam 1580 MW güce sahip rüzgâr çiftlikleri kurulmuştur. Kurulu güç değeri 1998 sonu itibarıyla 146 MW'a ulaşmıştır. Avrupa'da, Danimarka, Hollanda ve Almanya'da kurulmaya başlanan rüzgâr çiftlikleri hızla gelişmiş, 1991 yılında yeniden düzenlenen enerji kanunu ile Almanya rüzgâr enerjisinde 1. sıraya çıkmıştır. Dünya'da kurulu gücün %60'ı Avrupa'da, %20'si Amerika'dadır. 1998 yılında eklenen 2100 MW'lık kapasite ile dünyadaki kurulu rüzgâr gücü 9.600 MW'a ulaşmıştır.

Özellikle 1980'li yıllardaki gelişmeler sonucunda, seri olarak üretilen ve yaygın olarak kullanılan rüzgâr türbini nominal güçleri 600 kW, 750 kW, 1000kW, 1500kW ve 2000kW'dır. Gelecekte üretilen rüzgâr türbinlerinin nominal güçlerinin daha da artması beklenmelidir.

BÖLÜM III

DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ

3.1 Dünya Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerjiler arasındaki en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli enerji türüdür. Tamamıyla doğa ile uyumlu olup hem çevreye zarar vermeyen hem de tükenme ihtimali olmayan bir enerji kaynağıdır. Çevresel avantajları açısından da pek çok ülke, resmi teşviklerle rüzgâr enerjisini desteklemektedirler. Tüm bunların amacı, pazarı harekete geçirmek, maliyetleri düşürmek ve resmi teşviklerle şu an fosil yakıtların sahip olduğu haksız üstünlüğü ortadan kaldırmaktır. Çeşitli ülkelerde pazarı harekete geçirmeye yönelik farklı politikalar izlenilmektedir. Rüzgâr teknolojisinin araştırma ve geliştirme girişimlerine verilecek destek bu teknolojinin elektrik enerjisi pazarında adil olarak rekabet edebilmesi ve son yıllardaki başarısını sürdürmesi için son derece önemlidir.

Dünyada rüzgâr santrallerinin kurulu gücü hızlı bir artış göstermektedir. 1995–2005 yılları arasında rüzgâr türbini satışlarında yıllık %40’lık bir büyüme gerçekleşmiştir. 1990 yılında dünyanın kurulu gücü 2160 MW iken, 1994 yılında 3488 MW’a, 1995 yılında 4800 MW’a, 1996 yılında 6100 MW’a, 1997 yılında 7600 MW’a, 1998 yılında 10200 MW’a, 1999 yılında 13600 MW’a, 2000 yılında 17400 MW’a, 2001 yılında 23900 MW’a, 2002 yılında 31100 MW’a, 2003 yılında 39413 MW’a, 2004 yılında 47620 MW’a ve 2005 yılında 59632 MW’a çıkmıştır. (Tablo 3.1)

Dünya rüzgâr enerjisinin toplam kurulu gücünün yaklaşık %74’ü Avrupa kıtasında, %15’i Amerika kıtasında, %9’u Asya kıtasında ve kalan yüzdelik dilimde diğer kıtalarda bulunan dünya ülkelerindedir.

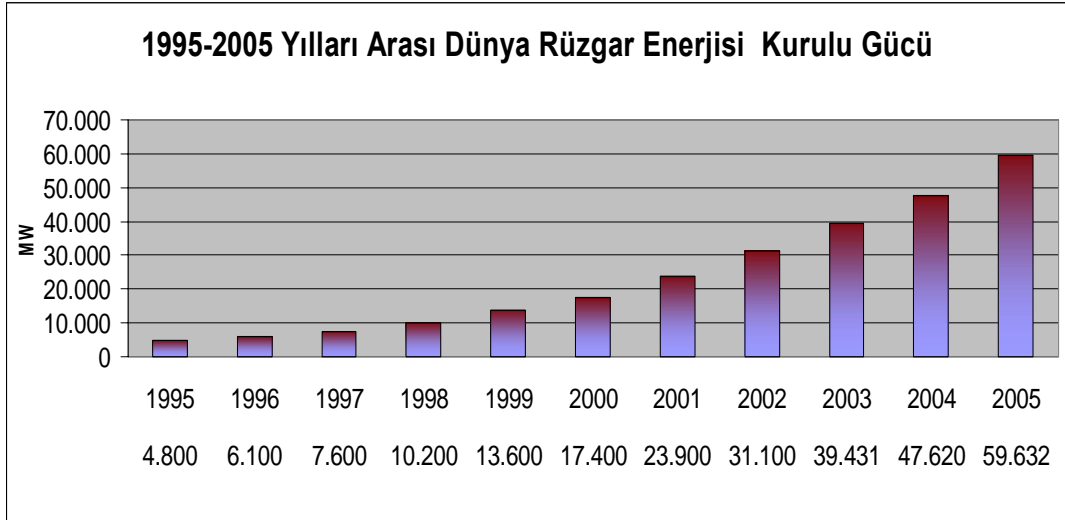
Avrupa’da en büyük kurulu güç Almanya’da olup, onu İspanya, Danimarka, Hollanda, İngiltere, İtalya, Yunanistan ve İsveç izlemektedir. Amerika kıtasında en büyük kurulu güç Amerika Birleşik Devletleri’nde olup onu çok geriden Kanada takip etmektedir. Asya’da Hindistan, Çin ve Japonya rüzgâr santrallerine önem vermektedir.

Son on beş yıldır Amerika’da yeni bir rüzgâr endüstrisi doğmuştur. 1982–1992 yılları arası California’da yaklaşık 15000 rüzgâr türbini kurulmuştur. 370 MW gücündeki Kenetech Rüzgâr Çiftliği dünyanın en büyük rüzgâr santralidir. 8160 hektar alan kaplayan bu çiftlikte 100 kW 'lık 3500 adet 300–400 kW 'lık 40 adet türbin bulunmaktadır. Ancak kısa zaman da bu türbinlerden daha modernleri geliştirilmiştir. Avrupa’da rüzgâr teknolojisi hızla gelişmektedir 1995

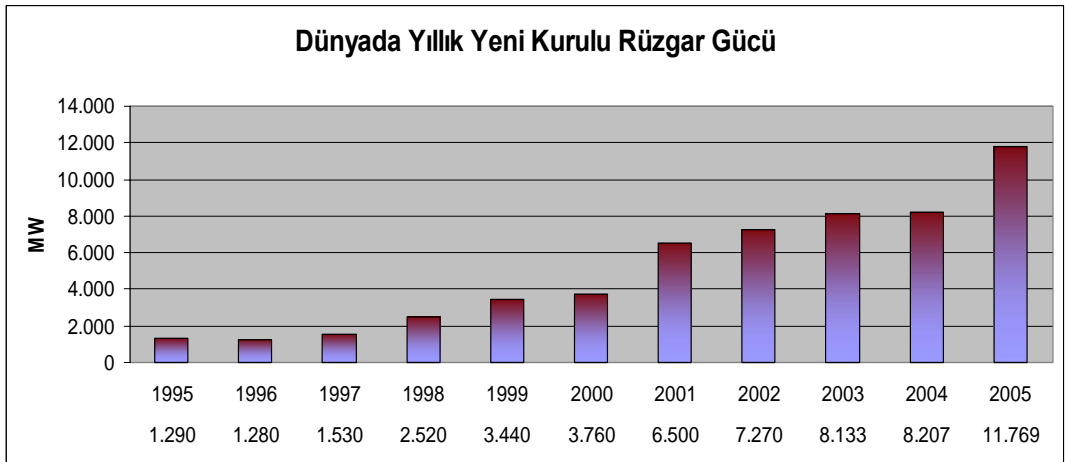
yılında yeni türbinler 600 kW güçte iken bugün geliştirilen türbinlerin gücü 2 MW' tır. Almanya yaptığı atakla 1998 sonunda rüzgâr kurulu gücünü 2875 MW'a çıkarmış, kurulu gücü 1820 MW 'ta kalan ABD yi geçmiş ve birinciliği elde etmiştir.

Avrupa'da şu anda 12 MW 'lık deniz üstü rüzgâr santrali çalışır durumdadır ve deniz üstü kurulu gücün kısa zamanda 180 MW 'a çıkarılması planlanmıştır. 2030 yılında rüzgâr kurulu gücünün deniz üstü payının % 25' den az olmayacağı beklenmektedir.

Teknolojik gelişimle rüzgâr türbinlerinin ünite güçleri arttırılırken son beş yıl içerisinde fiyatları düşürülmüştür. Karada kurulan türbinlerin birim fiyatları 1600–1800 dolar/kW'a kadar çıkabilmekte ise de ABD iç piyasasında 750 dolar/kW düzeyine inildiği belirtilmektedir.



Tablo 3-1 1995–2005 Yılları Arası Dünya Rüzgâr Enerji Kurulu Gücü



Tablo 3-2 Dünyada Yıllık Yeni Kurulu Rüzgâr Gücü

ÜLKELER	KURULU GÜÇ (MW)	
	2000 (yılı)	2005 (yılı)
ALMANYA	6107	18428
İSPANYA	2836	10027
AMERİKA	2610	9149
HİNDİSTAN	1220	4430
DANİMARKA	2341	3122
İTALYA	424	1717
ÇİN	262	1260
JAPONYA	142	1231
TÜRKİYE	19	20,1
DİĞER DÜNYA ÜLKELERİ	1439	10067
TOPLAM	17400	59632

Tablo 3-3 2000–2005 Yılları Dünyada Toplam Kurulu Rüzgâr Gücü

3.2 Türkiye de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye coğrafi konumu ve hüküm süren iklim koşulları itibarı ile rüzgâr enerjisi kaynakları bakımından, teorik olarak elektrik enerjisinin tamamını karşılayabilecek düzeydedir. Ülkemiz toplamı 8000 km²'yi bulan ve bunun büyük bir kısmının rüzgâr enerjisi kullanılabilecek durumda bulunan sahil şeridinde sahiptir. Türkiye, Avrupa'da rüzgâr enerjisi potansiyeli en zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin teorik olarak hesaplanan potansiyeli 83.000 MW değerindedir. Bu Türkiye'nin biran önce kullanması gereken önemli bir rüzgâr enerjisi potansiyeli olduğunu göstermektedir. Fakat rüzgâr enerjisinin mevcut olan enerji sistemine girişini sağlayabilmek için gerekli teknik ve ekonomik fizibilite çalışmaları yapılmalıdır. Çünkü bu enerji kullanılmadığı her zaman dilimi için aynı zamanda kayıp olan enerji anlamına gelmektedir.

Türkiye'de 2005 yılı kaynaklarına göre rüzgâr enerjisi kurulu gücü 20,1 MW değerindedir. Ancak bu değer ülkemizin teknik potansiyeli göz önüne alındığında düşük bir değerdir. Avrupa'da elektrik enerjisi planlamalarında, enerjinin şu an % 8, 2030 yılında ise %10'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir. Benzer yaklaşımla Türkiye'nin hedefi, toplam kurulu gücünü 25000 MW'a çıkarmak olmalıdır.

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli çalışmalarının ortak bulgusu, yerden 10 m. yükseklikte yıllık ortalama 2,7 m/sn (10km/h) hız sınırı ile ülkemizin elektrik üretimine elverişli

yörelere bulundudur. DMİ istasyonlarında yapılmış uzun dönemli ölçümlere dayalı istatistikler, EİE tarafından 1984'te tamamlanan "Türkiye Rüzgâr Enerjisi Doğal Potansiyeli" çalışmasında değerlendirilmiştir. 10 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu açısından en yüksek değer 3,29 m/sn ve 51,91 W/m² ile Marmara'da saptanmıştır. En düşük değer ise, 2,12 m/sn hız ve 13,19 W/m² güç yoğunluğu ile Doğu Anadolu'da bulunmuştur. Bu çalışmaya göre Türkiye'nin %64,5'de rüzgâr enerjisi güç yoğunluğu 20 W/m² 'yi aşmazken, %16,1 'inde 30–40 W/m² arasında, %5,9'unda 50W/m²'nin ve %0,08'inde de 100W/m²'nin üzerindedir. EİE, bazı özel alanlardaki 11 istasyonda enerji ölçümleri ve yöresel potansiyeli belirleme çalışmaları yapmaktadır

Türkiye rüzgâr bakımından zengin yöreleri olan bir ülkedir. Brüt potansiyelinin yılda 400 milyar kWh, teknik potansiyelinin ise, 120 milyar kWh olduğu düşünülmektedir. Söz konusu teknik potansiyel yıllık elektrik üretiminin 1,2 katıdır. Ancak, Türkiye genelinde 10 metre yükseklikteki rüzgâr yoğunluğunun alansal ve zamansal dağılımı ile teknolojik kısıtlılıklar göz önünde tutulduğunda, güvenilir rüzgâr enerjisi potansiyeli, 12 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır. Ayrıntılı ölçümler ve yeni verilerle bu değer artması olasıdır.

Türkiye'de 10 metre yükseklikte yapılan ölçümlere göre tespit edilen rüzgâr hızları Tablo 3.4'de verilmiştir. Tablo 3.5'de ise Türkiye'de rüzgâr yoğunluğunun en fazla olduğu yöreler görülmektedir.

BÖLGE	Yıllık ortalama rüzgâr hızları (m/sn)
Bandırma	5,12
Sinop	4,73
Nurdağı (K.Maraş)	7
Datça	5,85
Yalıkavak (Bodrum)	5,68
Göktepe (Bitlis)	5,66
Belen (İskenderun)	7,01
Zengen (Bor)	3,54
Didim	4,81
Kocadağ (Çeşme)	9,28

Tablo 3-4 Türkiye'nin Çeşitli Bölgelerinde 10 m Yükseklikte Yapılan Ölçümler

İSTASYON ADI	Rüzgâr gücü yoğunluğu (W/m²)
Bandırma	152,6
Antakya	108,9
Kumköy	82
Mardin	81,4
Sinop	77,9
Gökçeada	74,5
Çorlu	72,3
Çanakkale	71,3

Tablo 3-5 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Açısından Süreklilik ve Yoğunluk Gösteren Yöreler

BÖLÜM IV

RÜZGÂR ENERJİSİ TÜRBİNLERİ

4.1 Rüzgâr Enerjisi Türbinlerinin Tanımı

Tahrik edilen kısmı dönme hareketi yapan ve bir akışkanda bulunan enerjiyi milinde mekanik enerjiye dönüştüren makinalara türbin denir. Türbinler, en genel halde; buhar, gaz, su ve rüzgâr türbinleri olarak dört grupta incelenir. Rüzgâr türbinleri ile ilgili tanımlar, değişik kaynaklarda birbirleriyle çelişmektedir. Bu konudaki en genel tanımlama aşağıdaki gibidir: Pervane kanatları, pervane göbeği ve pervane miline rotor veya türbin denilir. Pervane mili dişli kutusuna bağlıdır. Dişli kutusunu jeneratöre bağlayan mile de, jeneratör mili denir. Bunların tümü kule tarafından taşınır. Kule ile yer bağlantısı da temel aracılığıyla sağlanır. Tüm bu elemanlara, en genel halde rüzgâr enerjisi tesisi adı verilir. Bu gerçeğe rağmen, yerli ve yabancı literatürde, rüzgâr enerjisi tesisi yerine, rüzgâr türbini denmesi alışkanlık olmuştur.

4.2 Rüzgâr Enerjisi Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri, direnç, kaldırma ve yükselen hava kuvvetinden yararlanmalarına göre, pervane ekseninin yatay yada düşey olmasına göre sınıflandırılabilirler.

4.2.1 Rüzgârın Kuvvetinden Yararlanma Şekline Göre Sınıflandırma

4.2.1.1 Rüzgârın Direnç Kuvvetinden Yararlanan Türbinler

Direnç kuvvetinden yararlanan türbinlerde, rüzgâra karşı bir düzey tutulur ve rüzgâr basıncından dönme hareketi oluşur. Örnek olarak; kepçe tipi anemometreler, Fars çarkı ve Savonius türbini gösterilebilir. Direnç kuvvetinden yararlanan türbinler, pistonlu pompalar ile su pompalanması gibi yüksek moment gereken yerlerde kullanılır ve elektrik üretimi gibi yüksek güç gereken alanlarda kullanılmazlar.

4.2.1.2 Rüzgârın Kaldırma Kuvvetinden Yararlanan Türbinler

Kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinlerde rüzgâr; yüzeye belli bir açıyla gelir ve yüzeye etkileyen hava hızının doğrultusuna dik olarak oluşan kaldırma kuvveti, dönme hareketine dönüşür. Yüzey öncesinde yüksek basınç, yüzey arkasında ise alçak basınç oluşmaktadır. Örnek

olarak, dişey eksenli Darrius türbini ve kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinleri gösterilebilir. Rüzgâr türbinleri, nominal güçlerine göre de 5 kW'a kadar küçük güçlü, 5 kW 'ın üstünde ise büyük güçlü rüzgâr türbinleri olarak sınıflandırılır.

4.2.1.3 Yükselen Hava Akımlı Rüzgâr Türbinleri

Yükselen hava akımlı rüzgâr türbinleri, hava hareketindeki kinetik enerjiden yararlanan türbinlerdir. Enerji dönüştürücüsü yükselen hava akımlı rüzgâr türbinleri (güneş enerjisi konveksiyon bacası), güneş ışınları enerjisi tarafından ısıtılan havanın yükselmesi ve yükselen havadaki kinetik enerjinin de rüzgâr türbinini tahrik etmesi ilkesine göre çalışır. Isıtılarak yükselmesi istenen hava, üstten cam veya plastik malzemeden yapılmış geçirgen bir çatı ile örtülüdür ve bu çatının ortasında yer alan betonarme bacada yükselir.

Yükselen hava akımlı rüzgâr türbinlerinde elde edilen güç; kolektör verimi, kolektör enine kesit alanı, havanın sabit basınçta özgül ısı kapasitesi, dış ortam sıcaklığı, güneş sabiti ve bacanın yüksekliğine bağlıdır Buradaki baca yüksekliği arttıkça, elde edilen güç de artmaktadır Bu baca, alttan ankastre mesnet üstten serbest bir çubuk olarak idealleştirilmektedir. Baca boyu, yapım ve montajındaki teknik kısıtlar gibi; burkulma problemi ile de sınıflandırılmaktadır. Yükselen hava akımlı rüzgâr türbinleri ile ilgili kurumsal ve deneysel araştırmalar devam etmektedir. (Şekil 4.1)



Şekil 4-1 Yükselen Hava Akımlı Rüzgâr Türbini

4.2.2 Pervane Ekseninin Konumuna Göre Sınıflandırılması

4.2.2.1 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel ve kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Ticari türbinler genellikle yatay eksenslidir Rotor, rüzgârı en iyi alacak şekilde döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir. Yatay eksenli türbinlerin çoğu rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin ise, yaygın bir kullanım alanları yoktur. (Şekil 4.2)



Şekil 4-2 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbininin Çalışma Şeması

Yatay eksenli kanatlı rüzgâr türbinlerinden daha fazla enerji alabilmek için, tarih boyunca öneriler yapılmıştır. Bunlardan birisi, iki pervanenin arka arkaya yerleştirilerek, aynı jeneratör milinin döndürülmesidir. Arkadaki pervaneye, öndeki pervaneye gelen rüzgâr hızının optimum durumda ancak üçte biri geleceğinden, bu öneri verimli olmamıştır. Pervanenin önüne bir nozul yerleştirilerek, rüzgâr hızının artırılması önerisi de, hava debisinin küçük kesit tarafından belirlenmesi ve rüzgâr yönüne ters hava sirkülasyonu oluşturması nedeniyle, bekleneni verememiştir. Rüzgâr türbini pervanesinin bir difüzör içine yerleştirilmesi sonucunda, rüzgâr yönünde hava sirkülasyonu oluşması ve bunun da hava hızını arttırması nedeniyle, serbest pervaneye nazaran 3,5 kat daha fazla enerji elde edilmiştir. Fakat bunun için difüzör boyunun pervane çapının 2-3 katı olması gerekmektedir. Difüzörün ağırlığı, hem ek bir yükür, hem pervane düzleminin rüzgâr hızına dik konuma getirilmesi daha zor olmaktadır. Bu gibi nedenlerle, difüzörden elde edilen ek kazanç, sistemin serbest pervaneye göre daha ekonomik olması için yeterli olmamaktadır. (Şekil 4.3)



Şekil 4-3 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

4.2.2.2 Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerin dönme eksenleri düşey ve rüzgâra diktir. Kanat kirişleri dönme eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Düşey eksenli türbinlerde, kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Aynı ilke Savonius rotorlarda daha özel bir şekilde kullanılır. Bu rotorda güç katsayısı 0,15'den daha azdır. Bu nedenle güç üretiminde tercih edilmezler. (Şekil 4.4)



Şekil 4-4 Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

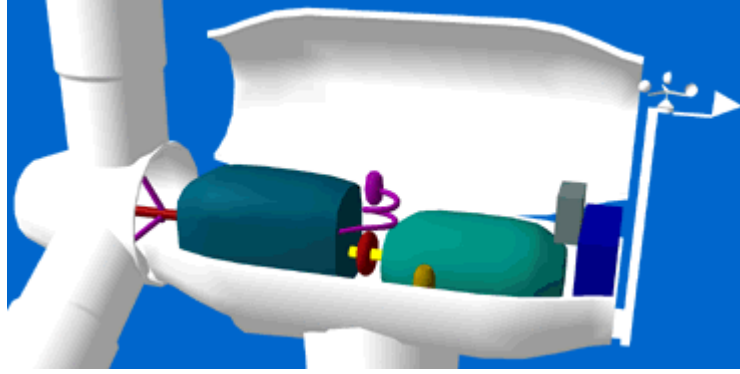
4.2.2.3 Eğik Eksenli Türbinler

Dönme eksenleri, düşeyle rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Ayrıca kanatlar ve dönme eksenini arasında da belirli bir açı bulunmaktadır. Yaygın bir kullanım alanı yoktur.

BÖLÜM V

MODERN YATAY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNİNİN ELEMANLARI

Aşağıda modern yatay eksenli rüzgâr türbinine ait elemanlar Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5-1 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinin Kesit Görünümü

1. Nacelle (Gövde veya kapak kısmı)
2. Rotor Kanatları
3. Hub (Kanatların rotora bağlantısını sağlayan parça)
4. Düşük Hız Şaftı
5. Yüksek Hız Şaftı ve Mekanik Fren
6. Dişli Kutusu
7. Elektrik Jeneratörü
8. Yaw Mekanizması (Türbinin yatay ekseninde hareketini sağlar)
9. Elektronik Kontrol Ünitesi
10. Hidrolik Sistem
11. Soğutma Ünitesi
12. Kule
13. Anemometre ve Rüzgâr Gülü

5.1 Nacelle (Gövde veya Kapak) Kısmı

Rüzgâr türbininin dişli kutusunu ve jeneratör dahil ana parçalarını içine alan kısımdır.

5.2 Rotor Kanatları

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan rüzgâr türbinleri, bir, iki veya üç kanadı olan yüksek hızda çalışan makinalardır. Türbin kanatları sabit veya değişken açılı olabilir. Bazı tasarımlarda rotor frenlendiğinde açığı arttıran özel bir regülâtör kullanılarak başlatma

kolaylaştırılır. Sabit kanat açılı yüksek hızlı rüzgâr türbinlerinde jeneratör başlama esnasında motor gibi davranır ve dönme hızı nominal hıza ulaştığında jeneratöre dönüşür.

5.3 Hub (kanatların rotora bağlantısını sağlayan kısım)

Kanatların rotora bağlantısını sağlayan kısım.

5.4 Düşük Hız Şaftı

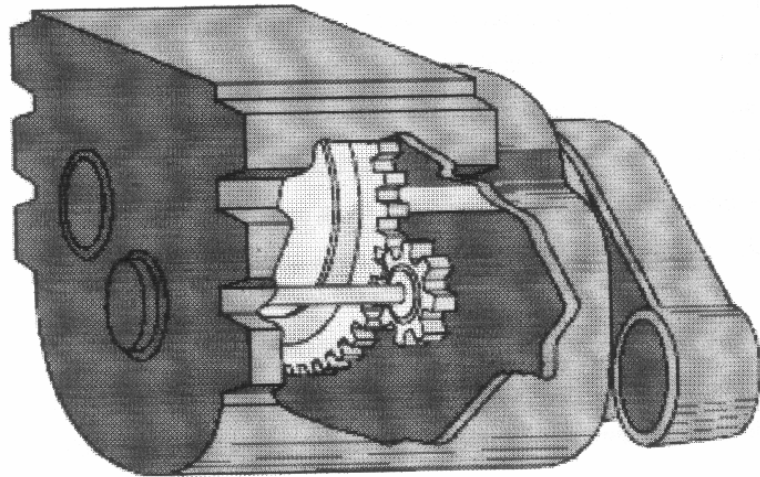
Rüzgâr türbinini rotor hub yüksekliğinden dişli kutusuna bağlar.

5.5 Yüksek Hız Şaftı ve Mekanik Fren

Yaklaşık 1.500 devir/dak. (rpm) ile döner ve elektrik jeneratörünü çalıştırır. Acil bir mekanik disk freni ile birlikte. Aerodinamik frenler kusurlu olduğu zaman veya türbin hizmette olduğu zaman mekanik fren devreye girer.

5.6 Dişli Kutusu

Pervane milindeki enerji, jeneratöre bir dişli sistemi ile (örneğin, çevrim oranı; 1:15) aktarılır. Dişli sistemi, pervane milinin devir sayısını jeneratörün gerek duyduğu devir sayısına çıkarır.



Şekil 5-2 Dişli Kutusu

5.7 Elektrik Jeneratörü

Rüzgâr enerjisi tesislerinde kullanılan jeneratörler, alternatif akım veya doğru akım jeneratörleri olabilir. Burada elde edilen elektrik akımı, yetersiz kalitede alternatif akım veya doğru akım bile olsa, çeşitli güç elektroniği düzenekleriyle şebekeye uygun hale getirilebilir.

Doğru akım jeneratörleri, büyük güçlü rüzgâr enerjisi tesislerinde tercih edilmemektedir. Bunun nedeni, sık bakım gereksinimi ve alternatif akım jeneratörlerine göre daha pahalı olmasıdır. Doğru akım jeneratörleri, günümüzde sadece küçük güçlü rüzgâr enerji tesislerinde akülere enerji depolamak için kullanılır.

Doğrudan şebekeye bağlantı sistemlerinde; alternatif akım jeneratörlerini oluşturan asenkron veya senkron jeneratörlerin millerinin devir sayısı:

$$N_{\text{senkron}} = 60.f/p \text{ (d/d)}$$

bağlantısı ile verilir. Burada f Hertz biriminde elektrik şebekesi frekansı, p çift kutup sayısı ve n dakikada devir sayısıdır. Dişlideki kayıplar ve gürültünün önlenmesi amacıyla, çok kutuplu jeneratörü olan dişli kutusuz türbinler de kullanılmaktadır. Bu bağımdan da anlaşılabilir gibi, jeneratörün kutup sayısı arttıkça, 50 Hz'lik elektrik şebekesi frekansına uygun akım için gereken jeneratör mili devir sayısı da azalmaktadır. Bu nedenle, yüksek kutup sayılı jeneratörlerde dişli kutusuna gerek kalmamaktadır.

5.8 Yaw Mekanizması

Genellikle bütün yatay eksenli türbinlerde kullanılır. Bu mekanizma ile motor, dişli kutusu ve rotor rüzgâra doğru yöneltilir. Şekilde 750 kW lık bir türbinin YAW mekanizması görülmüyor.



Şekil 5-3 Yaw Mekanizması

Şeklin en dışında YAW taşıyıcısı görülüyor. Daha içte YAW motoru tekerlekleri ve en içte YAW frenleri bulunur. Genellikle tüm üreticiler frenli YAW sistemlerini tercih eder.

YAW mekanizması elektronik kontrolör ile çalıştırılır. Bu sistem YAW konumunu saniyede birkaç kez kontrol eder. Konum verileri rüzgârgülünden elde edilen yön bilgileri ile karşılaştırılıp YAW mekanizmasına gerekli komut verilir.

5.9 Elektronik Kontrol Ünitesi

Elektronik kontrol ünitesi, rüzgâr türbininin koşullarını sürekli olarak izleyen ve rota mekanizmasını denetleyen bir bilgisayar bulunur. Her hangi bir bozukluk (dişli kutusu ve jeneratörün aşırı ısınması gibi) durumunda türbini otomatik olarak durdurur. Türbinin çalışma hız konumlarına göre tasarlanmıştır ve rüzgârın hızı giriş hızına ulaştığı zaman türbini çalıştırır, rüzgârın hızı çıkış hızını aştığı zaman türbini güvenlik amacıyla durduran sistemdir.

5.10 Hidrolik Sistem

Türbininin aerodinamik frenlerini ayarlamak için kullanılır.

5.11 Soğutma Sistemi

Elektrik jeneratörünü soğutur. Ayrıca dişli kutusunun yağını soğutan bir yağ soğutma ünitesi de bulunmaktadır.

5.12 Kule

Kule malzemesi, genelde çelik veya betondur. Modern rüzgâr türbinleri, halka enine kesitli kulelere sahiptir. Kule yüksekliği, yüksekteki rüzgâr hızlarından yararlanmanın getirisi ile boya bağlı artış gösteren kule maliyeti arasındaki optimum çözümlerle belirlenir. Kule boyutlandırılmasındaki bir diğer parametre de, eğilme doğal frekansı, kule malzemesi ve dolayısıyla maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgâr türbinlerinin tüm imalat giderlerinin % 11–20' si kule imalatına aittir.

5.13 Anemometre ve Rüzgâr Gülü

Rüzgârın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Rüzgâr hızı ortalama 5 m/s ye ulaştığında türbini harekete geçirmek için anemometrenin gönderdiği elektronik sinyaller kullanılır. Rüzgâr hızı 25 m/s geçtiğinde bilgisayar türbini ve çevresindekileri korumak amacıyla rüzgâr türbinini otomatik olarak durdurur. Rüzgâr fırılacağından gelen sinyaller, rüzgâr türbini elektronik kontrolcüsü tarafından alınarak, rota (yaw) mekanizması yardımıyla rüzgâra karşı türbini döndürmek amacıyla kullanılır.

BÖLÜM VI

RÜZGÂR TÜRBİNİNİN SEÇİMİ VE PROJELENDİRMESİ

6.1 Yöre İncelenmesi

Bir yer hakkında bilgi edinmek için pek çok donanım kullanılır. Şerit metreler, fotoğraf makineleri ile çeşitli anemometrelerle veriler toplanır. Bir yerin incelenmesinden sağlanan veriler bir plan doğrultusuna sistematize edilmelidir.

Rayleigh dağıtımı ve ani hamle rüzgâr tablosu basit bir tetkik yapılmasına izin verir. Basit istatistiksel veriler ile yapılan testler mümkün olabilecek hatanın %10 veya daha az olacağını gösterir. Fakat bu veriler o yerdeki gerçek rüzgâr karakteristiklerini tanımlamaz.

Rayleigh dağılımı ortalama rüzgâr hızı 5 m/s ve daha az olan bölgelerde sağlıklı sonuç vermez. Buna rağmen havanın iyi olduğu zamanlarda rüzgâr davranışını kestirmenizi sağlar.

Bir yerin tetkikinde rüzgâr kaynağı ve rüzgâr türbini ilk olarak ele alınması gereken değişkenlerdir. Geri kalan değişkenler sırasıyla;

- Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı
- Rüzgâr Hız Dağılımı
- Rüzgâr Yönü
- Rüzgârın Kesilmesi
- Yüzey Yapısı
- Bölgenin Denizden Yüksekliği

Rüzgâr kaynağı ile ilgili olan karakteristikler;

- Çok kuvvetli rüzgâr (fırtına, kasırga v.s.) ihtimali
- Buz, sulu seipken, yağmur, dolu, kar ve don gibi hava olayları
- Kum fırtınası
- Ağır nesnelere beraberinde taşınması

Rüzgâr türbini tasarımını etkileyen fakat rüzgâra ait olmayan diğer faktörler;

- Göçmen kuşlar
- Televizyon sinyal parazitleri
- Toprak koşulları
- Sismik (Depremsel) dayanıklılık
- Bölgesel, sosyal, yasal ve çevresel kısıtlamalardır.

BÖLÜM VII

RÜZGÂR ENERJİSİ METODOLOJİSİ

7.1. Rüzgârdaki Enerji

Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için temel veriler rüzgârın hızı ve esme saat sayısıdır. Bu veriler kullanılarak bir yöreye ait potansiyel enerji değerini ortaya koymak olanaklıdır. Bunun için, rüzgâr potansiyelini tanımlayan kinetik enerjinin hesaplanması gerekir. Havanın bir kütlesi ve hızı olması nedeniyle bir kinetik enerjisi vardır.

Rüzgâr türbinleri ile ilgili ilk teori 1926 yılında Göttingen Institute'de Dr. Albert BETZ tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoremden, Betz rüzgâr rotorunun ideal olduğu varsayılır. Diğer bir ifade ile rotor, havaya karşı sürüklenme direnci göstermeyen sonsuz sayıda kanattan oluşmaktadır. Bu şekilde, rüzgâr rotorunun mükemmel bir enerji dönüştürücüsü olduğu varsayılmıştır. Bu teoriye göre; Rüzgâr hareket halindeki hava olup sahip olduğu kinetik enerji şu şekildedir:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m_h \cdot v_r^2 \quad 7.1$$

Burada;

E_k : Rüzgârdaki kinetik enerji (J)

v_r : Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)

m_h : Havanın kütlesi (kg)

Havanın kütlesi (m_h) aşağıdaki formül ile belirlenir:

$$m_h = \rho_h \cdot V_h \quad 7.2$$

Burada;

ρ_h : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

V_h : Hava hacmi (m^3)

Hava hacmi (V_h):

$$V_h = v_r \cdot t \cdot s \quad 7.3$$

formülü ile hesaplanır.

Burada;

v_r : Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)

s: Rotor süpürme alanı(m^2)

t: ölçüm zamanını (s)

Böylece, (7.3) bağıntısı (7.2) bağıntısında yerine konularak, kinetik enerji eşitliğinde gerekli düzenlemeler yapılacak olursa, Rüzgâr enerjisi (E_r) Joule cinsinden şu bağıntı ile tanımlanmış olur;

$$E_r = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \cdot t \quad 7.4$$

Bu eşitlikte t = 1 alınacak olursa, Birim zamandaki enerji yani, rüzgârın anlık gücü (P_r);

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \quad 7.5$$

olur, burada;

P_r : Rüzgârın anlık gücü'dür (W)

Değişik rüzgâr hızlarına sahip yörelerin rüzgâr güç ve enerjilerini karşılaştırmak amacıyla, rüzgâr güç ve enerji yoğunluğu teriminden yararlanır. Buna göre (7.5) eşitliği düzenlenecek olursa; P_y ,

Ölçüm yüksekliğindeki güç yoğunluğu (W/m^2) şu şekilde olur:

$$P_y = \frac{P_r}{s} = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot v_r^3 \quad 7.6$$

Bu sonuca göre enerji yoğunluğunu (E_y) bulacak olursak;

$$E_y = P_r \cdot \frac{f}{s} = P_y \cdot f = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot v_r^3 \cdot f \quad 7.7$$

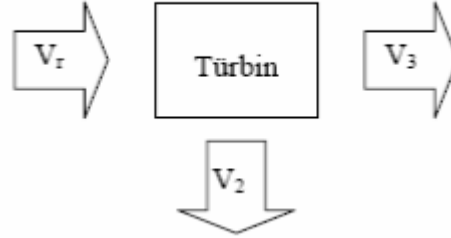
Burada;

E_y : Enerji yoğunluğu ($Wh/m^2 \cdot yıl$)

s : Rotor süpürme alanını (m^2)

f : Yıllık esme saat sayısını (h/yıl) göstermektedir.

Rüzgâr, kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Bunun bilinen fiziksel konular ve teknolojik olanaklar sayesinde yararlı enerjiye çevrilen miktarına “Rüzgâr enerjisi teknik potansiyeli” denir.



Bu durumda türbinin gücü;

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot v_2 \cdot (v_r^2 - v_3^2) \quad 7.8$$

Froude- Rankie teoreminden ortalama türbin içindeki rüzgâr hızı,

$$v_2 = \frac{(v_r + v_3)}{2} \quad 7.9$$

olarak hesaplanır. Türbin gücü (7.8) formülünde v_2 yerine yazılırsa,

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot \left(\frac{v_r + v_3}{2} \right) \cdot (v_r^2 - v_3^2) \quad 7.10$$

veya;

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_3}{v_r}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{v_3}{v_r}\right)^2\right) \quad 7.11$$

Burada (7.5) denklemi (7.11) denkleminde yazılırsa;

$$P_T = P_r \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\left(1 + \frac{v_3}{v_r}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{v_3}{v_r}\right)^2\right) \right] \quad 7.12$$

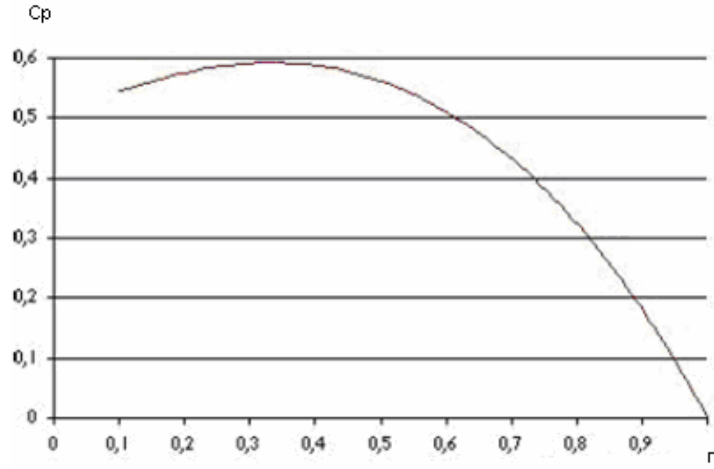
elde edilir. Burada güç faktörü $C_p = P_T / P_r$ yavaşlatma faktörü $n = v_3 / v_r$ olarak tanımlanırsa (7.12) denklemi;

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot (1 + n) \cdot (1 - n^2) \quad 7.13$$

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

$$\begin{aligned} \frac{d}{d_n} C_p &= \frac{1}{2} \frac{d}{d_n} (1 - n^2 + n - n^3) = 0 \\ n_1 &= \frac{1}{3} \quad n_2 = -1 \end{aligned} \quad 7.14$$

Bulunur. Yavaşlatma faktörünün değişimi Şekil 7.1 'de verilmiştir.



Şekil 7-1 Yavaşlatma faktörü değişimi (www.windpower.org)

Yavaşlatma faktörü n , hiçbir zaman negatif değer olamayacağından $1/3$ alınır ve (7.13) denkleminde yerine konursa;

$$C_{P_{\max}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{3} \right) \left(1 - \frac{1}{9} \right)$$

$$C_{P_{\max}} = 0,5926$$

Serbest pervaneden alınacak maksimum verim olarak bulunur. Yani bir rüzgâr türbiniyle, rüzgârın tüm enerjisinden faydalanmak olanaksızdır. Rüzgâr; rüzgâr türbininden, rüzgârdan aldığımız enerji ölçüsünde yavaşlamış olarak çıkar. Eğer rüzgârdaki tüm enerjiyi alabilseydik, rüzgârın türbinden durgun halde çıkması gerekirdi. Fakat bu durumda da türbine rüzgârın diğer taraftan girmesi engellenir ve hiç enerji elde edilmezdi. Çağdaş rüzgâr türbinleri için C_p değeri yaklaşık olarak 0,35–0,40'tır. Bunun nedeni hava direnci, rotorun oluşturduğu türbülans ve aktarma organları ile elektrik sistemi gibi noktalardaki kayıplardır. Rüzgâr türbinlerinde oluşan gücü güç faktörünü de katarak yeniden tanımlarsak, sonuç aşağıdaki gibi olur.

$$P_h = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot C_p \cdot s \cdot v_r^3 \quad 7.15$$

Eğer (7.15) formülünde; $k = \frac{1}{2} \rho_h \cdot C_p$ seçilirse, güç formülü aşağıdaki gibi olur.

$$P = k \cdot s \cdot v_r^3 \quad 7.16$$

Burada k ; Rüzgâr türbininin tipine göre 0,1 ile 0,3 arasında değişen bir katsayıdır. İdeal bir rüzgâr türbini için “ k ” katsayısının değeri 0,37’dir. Bu durumda ise gelen rüzgârın kinetik enerjisinin %59,3’ü geri kazanılır (Polat,2000; Şen,2003; Jaramillo and Borja,2004).

7.2. Güç Kayıpları

Optimal bir rüzgâr türbini pervanesinden alınabilecek güç en fazla:

$$P_p = C_{P_{Bez1}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot v_r^3 \quad 7.17$$

$$P_p = 0,5926 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v_r^3$$

olabilir. Fakat uygulamada bu değere ulaşamaz çünkü bunun nedenleri kayıplardır. Pervanedeki bu kayıplar üç ana başlık altında toplanırlar.

7.2.1. Profil kayıpları

İhmal edilen direnç kuvvetlerinden kaynaklanırlar. Hesaplamalarda,

$$\lambda_A = \frac{V_\zeta}{V_r} = R \cdot n \cdot \frac{\pi}{30 \cdot v_r} \quad 7.18$$

$$\varepsilon = \frac{C_A}{C_W} \quad 7.19$$

$$\xi_{Pr ofil} = (\Delta_{A,\varepsilon}) = 1 - \frac{\lambda_A}{\varepsilon} \quad 7.20$$

İle dikkate alınır. Burada;

λ_A : tasarım devirlilik sayısı

V_ζ : çevresel hız

ε : kayma sayısı

C_A : kaldırma kuvveti katsayısı

C_W : direnç kuvveti katsayısı’dır.

7.2.2. Uç kayıpları

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

$$\xi_{U\zeta}(Z_1, \lambda_A) = 1 - \left(\frac{1,84}{Z\lambda_A} \right) \quad 7.21$$

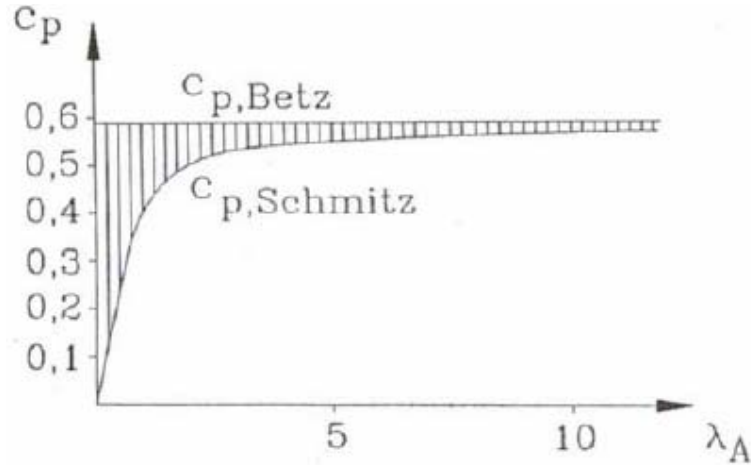
ile dikkate alınır. Burada kanat sayısı (Z) ile gösterilir.

7.2.3. Girdap kayıpları

Betz Kriteri'ne göre rüzgâr hızı, pervane düzlemi öncesi ve sonrasında doğrultusunu değiştirmez. Hâlbuki kanada çarpan hava kütlesi, kanat sonrasında doğrultusunu değiştirir ve girdap oluşturur. Girdap kayıpları Schmitz tarafından verilen Cpschmitz-A, a eğrisi yardımıyla hesaba katılır. Cpschmitz-A, a eğrisi Şekil 7.2 verilmiştir. Sonuçta, bir rüzgâr türbini pervanesinin gerçek güç faktörü;

$$C_{PGeçek} = C_{PSchmitz}(\lambda_A) \cdot \xi_{Profil}(\lambda_A, \varepsilon) \cdot \xi_{U\zeta}(Z, \lambda_A) \quad 7.22$$

Bağıntısı ile bulunur (Polat,2000; Şen,2003; Jaramillo ve Borja,2004).



Şekil 7-2 CPschmitz- A, a eğrisi

7.3. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Rüzgârın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, enerji üretimi değerlendirmeleri için çok önemlidir. Türbin tasarımcıları; türbin iyileştirmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgâr dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Bir yerde sadece ortalama rüzgâr hızı

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

$$h_r = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_{ri}}{V_{r_{ort}}^2} \cdot e^{-(\pi/4)(V_{ri}/V_{r_{ort}})^2} \quad 7.23$$

olarak bulunur (Şen,2003).

7.4. Hellmann Yükseltme Bağntısı

7.4.1. Pürüzlülük sınıfları ve rüzgâr hızı profilleri

Pürüzlülük, rüzgâr hızı profile üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu nedenle rüzgâr enerjisi incelemelerinde alan pürüzlülüğü önemli bir parametredir. Rüzgâr atlası çalışmalarında dört pürüzlülük sınıfı tanımlanmaktadır. Z_0 Pürüzlülük uzunluğunu göstermek üzere, bu pürüzlülük sınıflarının özelliklerini gösteren şekiller, Şekil 3.3–6'da gösterilmiştir.



Şekil 7-3 Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği ($Z_0=0,0002$ m) Bu sınıf; su alanları, deniz ve gölleri kapsar.



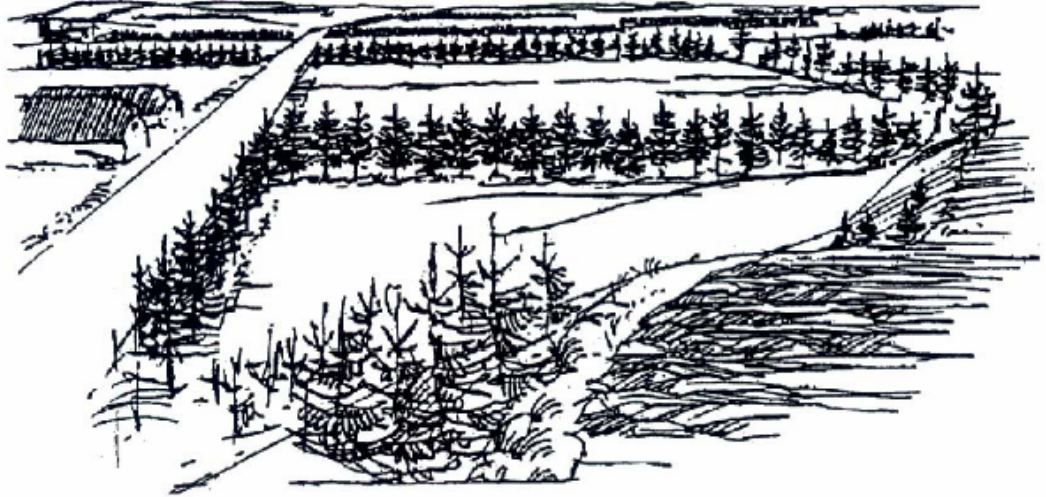
Şekil 7-4 Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği ($Z_0=0,03$ m)

Bu sınıftaki alanlarda, açık alanda birkaç rüzgâr kırıcı engel bulunur. Açıklık, düz alanlar veya yumuşak engebeli alanlar bu sınıfa girer. Basit şekiller, ağaç veya çalılıklar bulunabilir.



Şekil 7-5 Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi ($Z_0=0,10$ m)

Rüzgâr kırıcılardan oluşmuş bir alandır. Bu sınıfta rüzgâr kırıcılar arasında araziye açık görünüş veren geniş alanlar bulunabilir. Arazi düz veya dalgalı olabilir, arazi üzerinde çok sayıda ağaç ve bina bulunabilir.



Şekil 7-6 Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi ($Z_0=0,40$ m)

Şehir alanları, ormanlar ve ortalama birkaç yüz metre aralıklarla çok sayıda rüzgâr kırıcısı olan çiftlikler bu sınıfa girerler.

Bir arazinin pürüzlülüğü genellikle Z_0 pürüzlülük uzunluğu parametresi ile belirtilir. Pürüzlülük elemanları ile pürüzlülük uzunluğu arasındaki ilişki, Lettau (1969) tarafından ortaya konmuştur. Lettau'ya göre pürüzlülük uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır (Dündar ve ark.2002).

$$Z_0 = 0,5 \cdot \frac{h \cdot S}{A_H} \quad 7.24$$

Burada;

h: pürüzlülük elemanın yüksekliği (m)

S: rüzgâra karşı gelen dikey kesit alanı(m²)

A_H : arazi üzerine dağılmış ortalama yatay kesit alanı(m²)

A_H 'in S'den çok büyük olduğu durumlarda, hesaplanan Z_0 daha gerçekçidir. Yüzey yapısı özelliklerine göre seçilmesi gereken pürüzlülük uzunlukları (Z_0) ve pürüzlülük sınıfları Tablo 7.1'de verilmiştir (Dündar ve ark.,2002; Jaramillo and Borja,2004).

Pürüzlülük uzunluğu Z_0 (m)	Yüzey yapısı karakteristikleri	Pürüzlülük sınıfı
0,50	Büyük şehirlerin varoşları, taşra kentleri	3
0,30	Siper kuşakları, orman, küçük binalı şehir	
0,20	Birçok ağaç ve/veya çalılar, tek yada iki katlı seyrek binalar	2
0,10	Kapalı görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	
0,05	Açık görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	1
0,03	Çok seyrek bina ve ağaçlı çiftlik arazisi	
0,02	Havaalanları(binaları ve ağaçları ile birlikte)	
0,01	Havaalanı pistleri	
0,007	Biçilmiş çim	0
0,005	Pürüzsüz çıplak toprak	
0,001	Pürüzsüz kar yüzeyleri	
0,0003	Pürüzsüz kum yüzeyleri	
0,0001	Su yüzeyleri (göller, fiyortlar, denizler)	

Tablo 7-1 Pürüzlülük uzunluğu ve yüzey yapısı özelliklerine göre pürüzlülük sınıfları

Rüzgâr yer yüzeyinden yaklaşık 1 km'ye kadar, yer yüzeyinin yüzey yapısından oldukça fazla etkilenir. Havakürenin alt katmanlarında rüzgâr hızları sürtünme etkisi altında kalırlar. Bu

duruma arazinin pürüzlü oluşu neden olur. Bir arazide pürüzlülük ne kadar çok ise rüzgâr hızı o kadar azalır. Su yüzeyi, rüzgâr hızını daha az etkileyen en pürüzsüz yüzeydir. Uzun ot, çalı ve çöp gibi pürüzlülük öğeleri rüzgâr hızını daha çok etkiler, azaltır. Rüzgâr enerjisinin hesaplanmasında pürüzlülük faktörü dikkate alındığında;

(V_{ist}), türbin yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s) hesabı iki eşitlikle ifade edilir.

Birincisi;

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \frac{\ln(Z / Z_0)}{\ln(Z_{ref} / Z_0)} \quad 7.25$$

Burada;

V_{ist} : istenen yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s)

$V_{ölç}$: ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)

Z : hızı istenen yükseklik/kule yüksekliği (m)

Z_{ref} : rüzgâr hızı ölçüm yüksekliği (m)

Z_0 : pürüzlülük uzunluğu katsayısını(m)

İfade etmektedir. İkincisi ise (Hellmann Yükseltme Bağlantısı):

$$\frac{V_{ist}}{V_{ölç}} = \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^\alpha \quad 7.26$$

Burada α : Yüzey farklılıklarının rüzgâr hızına etkisini belirleyen katsayıdır ve değişik arazi yapısına göre 0,1 ile 0,4 arasında değerler alır. Bu farklı arazi yapılarına göre α değerleri Tablo 7.2'de verilmiştir (Özdamar,2000; Dündar ve ark.,2002; Jaramillo and Borja,2004).

Durum	(Hellmann Katsayısı)
Açık deniz, kıyı şeridi	0,10 – 0,13
Yeşil ve ekili alan	0,13 – 0,20
Ağaçlı alan	0,20 – 0,27
Yüksek bina ve kentsel alan	0,27 – 0,40

Tablo 7-2Yüzey farklılıklarının rüzgâr hızına etkisi

BÖLÜM VIII

RÜZGÂR ENERJİSİNİN FİYAT VE MALİYET ANALİZİ

8.1. Rüzgâr Enerjisinin Mali Analizi

Günümüzde, elektrik şirketleri tarafından yürütülen rüzgâr projeleri herhangi bir destek olmaksızın 4–7 \$/kWh maliyetle üretim yaparak, fosil yakıtlı güç santralleriyle rekabet edebilmektedir. 1981 yılında yılda 45.000 kWh üreten 25 kW kapasiteli bir rüzgâr türbininin maliyeti 2600 \$/kW iken, bugünün tipik rüzgâr türbini olan 750 kW kapasiteli makineler 800 \$/kW yatırım maliyeti ile yılda 2,5 milyon kWh elektrik enerjisi üretebilmektedir. Yenilenebilir enerji politikaları projesi bulgularına göre 1997 yılında 1000 \$/kW olan rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri, 2006 yılında 600 \$/kW ‘a düşeceği öngörülmüştür. Yapılan hesaplamalar, 400 MW yeni rüzgâr güç kapasitesi geliştirilmesinin aynı kapasitedeki doğal gaz kombine çevrim santralinden %7 daha ucuz olduğunu göstermektedir. Pasific Gas & Electric ve Electric Power Research Institute tarafından yapılan ve rüzgâr enerjisinin en ucuz elektrik üretim kaynağı olacağına ilişkin uzun vadeli öngörüler artık hayal olmayıp gerçekleştirilmek üzeredir (Akyüz,2000).

8.1.1. Ekonomik avantajlar

Ortalama bir sahada modern bir rüzgâr türbini, üç dört ay içerisinde imalatında kullanılan miktarda enerjiyi üretebilmektedir. Rüzgâr çiftlikleri, kolayca sökülebilmekte ve arazi kolayca eski haline getirilebilmektedir. Böylece rüzgâr türbinlerinin geri kazanılabilirlik oranı artmakta ve hurda makinelerden daha çok enerji kurtarılabilir. 20 türbinden oluşan tipik bir rüzgâr çiftliği, yaklaşık 1 km^2 alan kaplar, ama bu alanın sadece %1’ini kullanmaktadırlar. Geri kalan alanlar çiftlik için doğal alan olarak kullanılabilir. Bunun gibi bir proje 6.500–10.000 arasında evin elektrik gereksinimini karşılayabilmektedir. Temel elektrik altyapısı ve gücün taşınması için şebeke yatırımları gerektiren büyük güç santralleri ile karşılaştırıldığında, göreceli olarak daha ucuz ve hızlı bir şekilde devreye sokulabilirler. Günümüzde elektrik şirketleri tarafından yürütülen rüzgâr projeleri, herhangi bir destek olmaksızın 4–7 \$/kWh maliyetle üretim yaparak, fosil yakıtlı güç santralleriyle rekabet edebilmektedir.

Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği’nin bir raporuna göre rüzgâr türbinlerinin fiyatı 1981–1991 yılları arasında 3 kat azalırken, rüzgâr enerji fiyatları yarı yarıya azalmıştır. Washington’daki Yenilenebilir Enerji Politikaları Projesi bulgularına göre ise 1997 yılında 1000 \$/kW olan rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri, 2006 yılında 600\$/kW’a düşecektir. Izaak Walton League isimli Amerikan arazi koruma grubu, Minnesota Kamu Elektrik Şirketleri Komisyonu’nda Temmuz 1998 tarihinde yaptığı sunuşta, uzun vadeli rüzgâr enerjisi maliyetlerinin en ucuz olarak bilinen

doğalgazın maliyetlerinin altına düşeceğini açıklamıştır. Açıklamaya göre, yapılan hesaplamalar, 400 MW yeni rüzgâr güç kapasitesi geliştirilmesinin aynı kapasitedeki doğalgaz kombine çevrim santralinden yüzde 7 daha ucuz olduğunu göstermektedir. Pasific Gas & Electric ve Electric Power Research Institute tarafından yapılan ve rüzgâr enerjisinin en ucuz elektrik üretim kaynağı olacağına ilişkin uzun vadeli öngörüler, rüzgâr enerjisinin en ekonomik enerji şekli olacağını göstermektedir. Rüzgâr maliyetleri, artık fosil yakıtların en ucuz seçenekleri olan kömür ve gaz ile rekabet edebilir duruma gelmiştir. Türkiye’de rüzgâr enerjisi kullanımı, termik sektörün zorla genişletilmesine karşı faydalı ve düşük maliyetli bir alternatiftir. Eğer, Türkiye’nin enerji ihtiyacının yalnız %10’u rüzgâr enerjisinden karşılanırsa, her yıl ithal fosil yakıtlı enerji kaynaklarına gidecek milyonlarca dolardan tasarruf edilerek, büyük bir ekonomik kayıp önlenmiş olacaktır. Rüzgâr enerjisi petrol masraflarını ve CO_2 çıkmasını önler. Bir adet 600 kW’lık rüzgâr türbini her yıl 1200 ton CO_2 çıkışını önler. Rüzgâr enerjisi, doğada bol ve serbest halde bulunduğu için diğer enerji türleri gibi büyük arama, sondaj ve teknik araç maliyetine neden olmayacağından büyük bir ekonomik fayda sağlar. Çevreye zararı olmadığından, arıtma araçlarına ihtiyaç duymayarak arıtma maliyetlerini ortadan kaldırır. Sistemin yaklaşık 3 ayda hazır olması, kısa sürede üretime geçilmesine neden olarak yatırımın kısa sürede gelir elde etmesini sağladığı gibi, sistemin söküm maliyeti de yoktur. Bunun nedeni de sökülen türbinlerin hurda maliyetinin, söküm maliyetini karşılamasıdır. Bu durum diğer enerji türlerine göre büyük ekonomik avantaj sağlamaktadır. Eğer iyi bir planlama yapılabilirse 2023’de Türkiye’de kullanılacak elektriğin 1/3 ü rüzgârdan temin edilebilir. 100.000 rüzgâr türbini 100 milyar dolarlık faaliyet ve milyonlarca insana aş ve iş demektir. En önemli ekonomik avantaj, sistemin enerjisinin ücretsiz olup, yakıt taşıma maliyetlerinin olmamasıdır (Akyüz, 2000).

8.1.2. Kapasite bakımından maliyet ekonomikliği karşılaştırılması

Kıyaslama yapılabilmesi amacıyla, Amerikan Rüzgâr Enerjisi Birliğinin (AWEA) yayınladığı ve Kaliforniya Enerji Komisyonunun 1996 yılı Enerji Teknolojileri Durum Raporuna göre çeşitli enerji kaynaklarının maliyetleri Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Yakıt	Yeni Kapasite Maliyeti (\$c/kWh)
Kömür	4,8 – 5,5
Gaz	3,9 – 4,4
Hidro	5,1 – 11,3
Nükleer	11,1 – 14,5
Rüzgâr	4,0 – 6,0

Tablo 8-1Çeşitli enerji kaynaklarının kapasite maliyeti kıyaslaması

8.1.3. Ekonomik değerlendirme

Rüzgârdan elektrik üretimi yeni bir endüstridir. Avrupa'da 15 yıl önce hiç bir ticari rüzgâr gücü bulunmamaktaydı. Rüzgâr gücünün çevresel yararları göz önüne alınmadan bile bazı ülkelerde rüzgâr enerjisi, daha şimdiden fosil ve nükleer güç ile rekabet edebilmektedir. Rüzgâr gücü; temiz, güvenilir ve fiyat yönünden ekonomik bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr türbinleri, düşük fiyatlı elektriğin, değerli bir kaynağı olabilir. Rüzgâr enerjisi üretimi, maliyetin azalması ve verimliliğin artması şeklinde iyileşmeye devam etmektedir. Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektriğin maliyeti kWh başına 5–8 €c olup, bu maliyetin 4 €c'e kadar düşmesi beklenmektedir. Rüzgâr enerjisi projelerinin, tesis edilmesi kolay olup bakımı da ucuzdur. Arazi sahibi çiftçilere ödenen kira bedelleri, kırsal alanlarda önemli bir ek gelir sağlamaktadır. İnşaat çalışmaları çoğu kez yöredeki işgücünü seferber eden yerel şirketlerce gerçekleştirilmekte ve bakım işleri için uzun dönemli iş olanakları yaratılmaktadır. Rüzgâr enerjisi, hızlı büyüyen, dünya çapında bir endüstridir. Avrupa bankalarının en az 10 tanesi ve kamu hizmet şirketlerinin en az 20 tanesi rüzgâr enerjisine yatırım yapmaktadır. Ekonomik yarar sağlamayan böyle bir projeye, bu güven duyulmaz ve bu derece büyük yatırımlar yapılmaz (Akyüz,2000).

Sonuç olarak: kapasitesi belli diğer enerji türlerinden; fiyat, maliyet ve çevre faktörü bakımından daha ekonomik olan rüzgâr enerjisini kullanmak, günümüz dünyası için kaçınılmazdır.

8.1.4. Rüzgâr enerjisi maliyet analizi

Rüzgâr Enerjisi, hâlihazırda mevcut üretim teknolojileri ile kilowatt başına yüksek sermaye gerektiren ancak yakıt ve işletme maliyeti en düşük olan bir enerji kaynağıdır. Yoğun sermaye gerektiren her yatırımda olduğu gibi rüzgâr enerjisi santrallerinin karlılığı sermayenin fiyatına, yani tesislerin öz sermaye ve kredi finansman koşullarına çok duyarlıdır. Örneğin faiz, geri ödeme planı ve vade gibi unsurlar kredi finansmanının maliyetini belirlediği gibi, tesis yıpranma payı dönemi ile öz sermaye geri ödeme süresi de öz sermaye finansmanının maliyetini etkilemektedir. Rüzgâr enerjisi sektöründeki teknolojik gelişmelerin, mevcut hızıyla devam etmesi halinde, ileride rüzgâr enerjisi santrallerinin maliyetlerinin önemli ölçüde düşmesi beklenmektedir. Amerikan Rüzgâr Enerjisi Birliğine göre, bir çalışmada, rüzgâr santralleri gaz santralleriyle aynı koşullarda finanse edilebilse maliyetlerin %40 düşebileceği hesaplanmıştır (Akyüz,2000).

Santral	Sermaye Maliyeti €/kW	Yakıt Maliyeti €/kWh	İşletme Maliyeti €/kWh	Toplam €/kWh
Doğal Gaz	450 – 700	1,7–2,0	0,4–0,6	3,1–4,0
Kömür	1.000 – 1.300	1,8–2,3	0,7–1,0	3,7–5,5
Nükleer	1.200 – 2.000	0,7–0,9	0,8–1,0	3,3–8,0

Tablo 8-2 Enerji santral maliyetleri

Elektrik santrallerinin ilk kuruluş maliyetleri, aşağıdaki Tablo 8.3’de kıyaslanabilir şekilde gösterilmiştir.

Santral	Kuruluş Maliyeti
Hidrolik Santraller	750 – 1200 \$/kW
Linyit Santralleri	1600 \$/kW
İthal Kömür Santralleri	1450 \$/kW
Doğal Gaz Santralleri	680 \$/kW
Nükleer Santraller	3500 \$/kW
Rüzgâr Santralleri	700 – 1450 \$/kW

Tablo 8-3 Elektrik santrallerinin kıyaslanabilir kuruluş maliyetleri

Son yıllarda, rüzgâr türbinlerinin siparişlerindeki artışlar ve türbin kapasitelerinin artması sonucu, \$/kW bazında önemli düşmeler sağlanmıştır. Fiyat düştükçe de türbin santrallerine yatırım artmıştır. Karada inşa edilen rüzgâr santrallerinin maliyeti 0,7–1,45 milyon \$/MW arasında değişmektedir. Deniz üstü santrallerde maliyet 1,9 milyon \$/MW değerine kadar yükselebilmektedir. Aradaki fark suda temel inşaatının ve deniz altı kablolarının getirdiği ilave masraflarla açıklanmaktadır. Senelik işletme ve bakım masrafları, toplam yatırımın yaklaşık %2,5’i kadar. Buna göre bazı kabullerle senelik yatırım ve işletme/bakım masraflarını hesaplayabiliriz:

Kapasite	1 MW
Kapasite faktörü	%25
Proje finans	%100 kredi
Kredi faizi	%10
Amortisman süresi	15 sene

Tablo 8-4 Maliyet hesabı kabulleri

1. Senelik enerji üretimi =

$$1 \text{ MW} * 365 \text{ gün} * 24 \text{ saat/gün} * \%25 = 2190 \text{ MWh} = 2.190.000 \text{ kWh}$$

2. kWh başına işletme/bakım maliyeti =

$(\%2,5 \times 1000 \text{ kW} * \$1000/\text{kW} * \$100 \text{ cent}/\$) / 2.190.000 \text{ kWh} = 1,1 \text{ cent}/\text{kWh}$

Senelik yatırım maliyeti=

$(130.000 \$ * 100 \text{ cent}/\$) / 2.190.000 \text{ kWh} = 5,9 \text{ \$c}/\text{kWh}$

(130.000\$ değeri ortalama bir santralin senelik yatırım maliyeti olarak alınmıştır).

Toplam senelik maliyet: $1,1 + 5,9 = 7 \text{ \$c}/\text{kWh}$

Yapılan kabullerden, daha uygun projeler ile masrafları azaltmak mümkündür. Ancak bugün için 5 \$c/kWh' in altına düşürmek oldukça güç görünmektedir. Gerçekçi değer ile maliyet, 7 \$c/kWh civarında olabilir. Ülkemizde kullanılan kredi faizleri ve vadelerinin, dış kaynaklı kredi bile olsa hem ABD'de kullanılan ve hem de Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde kullanılan kredilerden daha kötü koşullarla sağlandığı, dolayısıyla Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santrallerinin, sermaye maliyetinin daha yüksek olacağı bir gerçektir.

Yukarıdaki açıklamalardan da görüldüğü gibi, hâlihazırda iyi finansman koşullarıyla rüzgâr enerjisi santralleri, gaz, hidrolik, kömür ve nükleer enerji santrallerine göre dış maliyetler göz önüne alınmasa bile çok daha ucuzdur (Akyüz,2000; Onat ve Cambazoğlu,2002).

8.1.5. Rüzgâr santrali kurulumunda oluşan masraflar

a) Sermaye ve sermayenin maliyeti: Mevcut teknolojiye göre tesis edilmesi gereken santralin ve bu santralin inşası için gerekli olan finansmanın fiyatıdır. (faizi, geri ödeme planı, vadesi v.s.)

b) İşlenecek kaynağın maliyeti: Enerji kaynağının erişilebilirliğine, kullanıma uygun hale getirilebilmesine bağlı olarak değişen giderlerdir.

c) İşletme maliyeti: Mevcut tesislerin bakım, onarım ve işletmesi için karşılanacak giderlerdir.

d) Dış maliyetler: Direk olarak üretim veya tesisle ilgisi olmayıp, çevreye ve/veya enerji sektörüne veya diğer sektörlere verilen zararlar ile ilgili masraflardır.

8.1.6. İşletme aşamasındaki maliyetler

Marjinal maliyetler, yani işletme aşamasında bir kWh enerjinin üretilmesi için gerekli maliyet sıralaması kWh başına aşağıdaki şekildedir.

Santral	İşletme Maliyeti \$/kW
Hidrolik Santrallerde	0,0005 \$
Linyit Santrallerinde	0,0250 \$
Doğalgaz Santrallerinde	0,0300 \$
İthal Kömür	0,0350 \$
Rüzgâr Santrallerinde	0,0450 \$
Nükleer Santrallerde	0,0720 \$

Tablo 8-5 İşletme aşamasında kıyaslanabilir maliyetler

8.1.7. Muhtelif enerji kaynaklarının maliyet karşılaştırması

Rüzgâr enerjisi, gelecekteki pazar başarısı için en önemli ölçüt olan ekonomik maliyette, kararlı ve hızlı bir gelişme göstermektedir. Kaliforniya Enerji Komisyonu çeşitli enerji seçeneklerinin maliyetlerini ve pazara hazırlıklarını incelemektedir. Tablo 4.6'da temel yakıt tiplerinin maliyetini rüzgâr enerjisi ile karşılaştırması yapılmaktadır. (Akyüz,2000).

Yakıt	Maliyet (\$/kWh)
Kömür	4,8 – 5,5
Gaz	3,9 – 4,4
Hidrolik	5,1 – 11,3
Nükleer	11,1 – 14,5

Tablo 8-6 Temel Yakıt Tiplerinin Maliyeti

8.1.8. Türkiye'de rüzgâr enerjisinin sübvansiyonunun edilmesi

Fosil yakıtları kullanan tüm elektrik üreticilerinden bir karbondioksit emisyon vergisi alınmış olsaydı, bu vergi rüzgâr santrallerinin sübvansiyonunun finanse edilmesinde kullanılırdı. Böyle bir vergi, yılda yaklaşık toplam 300 milyon \$'lık bir fonda toplanabilir. Fosil yakıt kullanan elektrik üreticilerinin maliyeti, bilahare her bir son tüketiciye kanalize edilebilir ve bir aileye ödedikleri elektrik faturası üzerinden yaklaşık 2 \$'lık bir ek ödeme getirilebilir. Rüzgâr enerjisi sübvansiyonunun gerçek maliyeti 2010 yılında: 22.914 GWh rüzgâr enerjisi x 0,01\$ = 229,14 milyon \$ olurdu. Buna karşın, çevre vergisinden elde edilecek gelir: 206.229 GWh x 0,0015 \$ = 309,35 milyon \$ olurdu. Rüzgâr enerjisi sübvansiyonunun tüm hanelerin elektrik faturalarına paylaştırılacağı ve Türkiye'de her biri 5 kişilik 13 milyon hane olduğu düşünülecek olursa, bir

yılda hane başına düşecek olan pay: $(309 \text{ milyon } \$)/(13 \text{ milyon hane}) = 23,8 \text{ } \$/\text{yıl}$ veya ayda yaklaşık 2 \$'dır.

Rüzgâr enerji santralleri yatırım maliyetleri, genellikle yatırımcıların kendi öz kaynakları ile finanse edilebilecek boyutların dışındadır. Bu nedenle, yatırımcıların uluslararası finans kurumlarından temin edilecek finansman desteğine olan ihtiyacı kaçınılmazdır. Finans kurumları, destek olacakları projelerde, risklerini en düşük seviyede tutmak için bağımsız ve güvenilir mühendislik firmaları tarafından yapılmış rüzgâr ölçümleri ve buna bağlı fizibilite raporlarını esas alırlar. Türkiye'de, rüzgâr enerjisi ile ilgili asıl sorun piyasa katılımcılarına devlet sübvansiyonunun yapılmasına müsaade etmeyen yeni elektrik piyasası yasası olarak görülmektedir. Rüzgâr gücünden elde edilen elektrik için yapılan ödemede ülkeden ülkeye önemli farklılıklar bulunmaktadır, ancak zaman içinde giderek daha fazla ülkenin daha ucuz ikrazlar, vergi indirimi, vs. gibi yatırım desteklerinden ziyade tarifelere yapılan sübvansiyonlara bel bağladıkları dikkati çekmektedir (Akyüz,2000).

8.1.9. Sistem maliyeti

Rüzgâr türbinleri tarafından üretilen enerjinin maliyetini belirlemede, göz önüne alınması gereken en önemli faktörler, tesisin ilk maliyeti ve yıllık olarak üretilen enerjinin miktarıdır. Ekonomiklik açısından incelendiğinde, diğer teknolojilerle üretilen enerjinin birim maliyeti ve satış fiyatı da önem kazanmaktadır. Ticari amaçla, rüzgâr türbini tesis etmek isteyenlerin değerlendirmesi gereken konular aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir (Onat ve Cambazoğlu,2002).

a) İlk kuruluş maliyeti

- Alış fiyatı
- Nakliye
- Tesis maliyeti
- İthal vergisi tutarı
- Tesisin kapladığı alana ilişkin maliyet

b) Elektrik enerjisi üretimi

- Rüzgâr türbininin verimi
- Rüzgâr türbininin tipi ve büyüklüğü
- Rüzgâr rejiminde görülen yıllık değişimler

c) Sistem tarafından üretilen enerjinin, satış fiyatı ile diğer teknolojilerle üretilen enerjinin satış fiyatlarının karşılaştırılması

d) İşletme ve bakım masrafları

e) Yasal mevzuat

f) Enflasyon

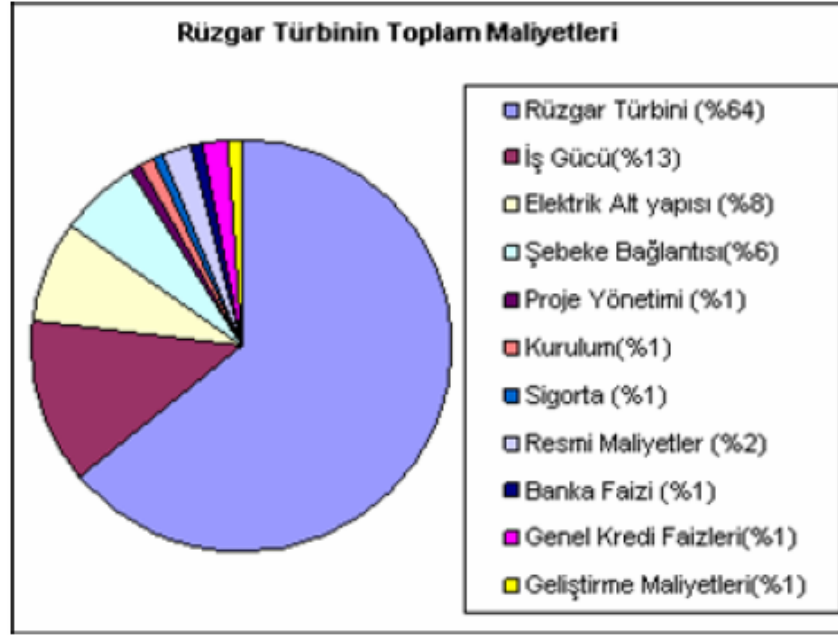
g) Amortisman

8.1.10. Tesis edilecek yer maliyeti

Rüzgâr türbini için tesis edilecek yer seçiminde dikkat edilecek birkaç husus vardır. Öncelikle tesis edilecek alan etrafında rüzgârın hızını kesebilecek türde yapılar bulunmamalıdır. Tesis edilecek yer göçmen kuşların geçiş yolu üzerinde bulunmamalıdır. Rüzgâr türbinleri şehir merkezine yakın bölgede kurulduğu takdirde ve verici ile alıcı arasında bulunmaları durumunda televizyon yayınlarının izlenmesinde problem yaratır. Türbinin kurulacağı alan bir tüzel kişi veya zümreye ait ise o kişilerden bu alan satın alınarak veya kiralanarak bu alan üzerine türbin tesis edilir. Eğer bu alan devlete ait ise gerekli prosedürler tamamlanarak satın alma veya kiralama gerçekleştirilir. Satın alma veya kiralama belli bir sabit gider oluşturur. Bu gider maliyet olarak karşımıza çıkar (Onat ve Cambazoğlu,2002).

8.1.11. Türbin maliyeti

Tesis edilecek alan belirlendikten sonra optimum olarak türbin seçimi gerçekleştirilir. Rüzgâr türbini seçimine karar vermeden önce talep gücünün belirlenmesi gerekir. Belirtilen talep gücüne göre en uygun türbin tipi belirlenir. Örneğin elde edilecek olan enerji ile sadece su pompalama işlevi gerçekleştirilecek ise bu takdirde Savonius tipi rüzgâr türbini tercih edilir. Bir bölgenin elektrik ihtiyacı karşılanacaksa o takdirde büyük güçlü türbinler kullanılır. Türbin maliyetini belirleyen kriterler arasında türbinin birer parçası olan kule, pervane, dişli kutusu, kontrol sistemi, alternatör, gibi etmenler de maliyeti büyük ölçüde belirler. Kule malzemesinin çelik veya beton olmasına göre ve kule yüksekliğine bağlı olarak maliyet değişim gösterir. Rüzgâr pervanesinde ise pervanenin alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik gibi malzemelerden yapılması aynı şekilde maliyeti değiştirmektedir. Dişli sistemi pervane milinin devir sayısını alternatörün gereksinim duyduğu devir sayısına çıkarır. Bu devir sayısının artış ve azalışını karşılayacak olan alternatöründe değişmesi gerekir. Alternatördeki bu güç değişimi maliyetin artması yönünde etkili olur. Bu gibi etkenler göz önüne bulundurulup, optimum türbin tasarımı yapılırsa maliyet de optimize edilmiş olur.



Şekil 8-1Rüzgâr türbini toplam maliyetleri

Kurulum aşaması sırasında toplam maliyetin %64-75'si rüzgâr türbininden kaynaklanmaktadır. Şekil 8.1'de görüldüğü gibi toplam maliyetin büyük bir kısmı rüzgâr türbininden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı birçok firma rüzgâr türbini maliyetlerini düşürmek için yeni teknolojiler üzerinde uzun yıllardır çalışmaktadırlar. Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliğinin bir raporuna göre rüzgâr türbinlerinin fiyatı üç misli azalma göstermiştir. Washington'daki Yenilenebilir Enerji Politikaları Projesi bulgularına göre ise 1997 yılında 1000\$/kW olan rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri 2006 yılında 600\$/kW'a düşecektir. Türbin pervane çapı ne kadar uzun olursa, pervaneler o kadar çok geniş bir alanı süpürebilirler. Türbinden elde edilen enerji süpürülen alan ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Fakat buna mukabil kule uzunluğunun artması beraberinde de kulenin de mukavemetinin artırılmasını gerektirir. Bu durum bize ek maliyet olarak etki etmektedir (El-Osta and Kalifa,2002; Özerdem ve ark.2006, www.gyte.edu.tr).

8.1.12. İletim maliyeti

Üretilen elektrik enerjisinin türbin çıkışından itibaren son kullanıcı olan tüketicilere ulaştırılmasında iletim hatlarına gereksinim duyulur. İletim hatlarının yanı sıra üretilen elektrik enerjisinin kullanıcılara iletimi, trafolar sayesinde üretilen gerilim yükseltilerek iletimi sağlanır. Bu sayede iletim esnasında oluşacak kayıplar en aza indirgenmiş olur. Tüketicilere gelindiğinde elektrik enerjisi tekrar trafolar sayesinde kullanılacak seviyeye düşürülür. Enerji iletimi iki şekilde sağlanmaktadır. Genelde ülkemizde kullanılan iletim sistemi havai hatla gerçekleştirilmektedir. Havai hatta direkler vasıtasıyla enerji iletimi havadan sağlanır. Birde, diğer bir

iletim sistemi yeraltı kabloları ile gerçekleştirilen sistemdir. Bu sistemde hat üzerinde bir arıza gerçekleştiğinde arızanın tespiti zor olacağından pek tercih edilmemektedir. Bilindiği gibi iletim esnasında kullanılan trafolar, iletim hatları ve direkler birer maliyettir. İletim maliyetlerini en aza indirmek için rüzgâr türbininin kurulduğu yerin elektrik sağlayacağı bölgeye uzak olmaması gerekir. Uzaklık iletim maliyeti ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. İletim esnasında kullanılan iletkenlerin kalitesi de maliyeti üzerinde rol oynamaktadır (El-Osta and Kalifa,2002; www.gyte.edu.tr).

8.1.13. Bakım maliyet

Rüzgâr türbini işletilmeye başlandıktan sonra, ileriki zamanlarda rüzgâr türbininin randımanında düşüşlerle karşılaşılması ve etkin bir biçimde rüzgâr türbininin kullanılması için düzenli olarak bakımının yapılması gerekmektedir. Bakım maliyeti; pervane, alternatör, dişli kutusu, kanatlar gibi türbin parçalarının ve enerjinin iletimi sırasında kullanılan trafolar, elektrik direkleri, iletim hatlarının da bakımlarını içerir (El-Osta and Kalifa,2002; www.gyte.edu.tr).

8.1.14. Birim enerji maliyeti

Rüzgâr türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisi birim maliyetinin hesaplanabilmesi için kapitali geri kazanma faktörünün bilinmesi gerekir. (C), kapitali geri kazanma faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$C = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad 8.1$$

Burada;

i: Faiz oranı (%),

n: Amortisman süresi (yıl) dir.

Üretim maliyeti ise;

$$\dot{U} = \frac{C_T(C+I)}{E} \quad 8.2$$

'dir. Burada;

\dot{U} : Üretim maliyeti (YTL/kWh)

I : Servis, bakım ve sigorta (işletme) giderlerini (%),

C_T : Rüzgâr türbininin toplam kuruluş maliyetini (YTL),

E : Yıllık üretilen enerji miktarını(kWh)

göstermektedir. Rüzgâr türbininin tesisinin planlandığı yörede (E), rüzgâr türbininin üreteceği enerji (kWh/yıl) aşağıdaki formülle belirlenebilmektedir.

$$E = \eta_{kay} \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot s \cdot \sum_{i=1}^k \cdot \Delta t_i \cdot v_r^3 \quad 8.3$$

Burada;

Δt_i : Zaman aralığını (h)

v_r : Rüzgâr hızını (m/s)

ρ_h : Havanın yoğunluğunu (kg/m³)

s : Rüzgâr türbinin taradığı alan (m²)

C_p : Güç katsayısını

η_{kay} : mil yataklarındaki sürtünme kayıplarını (örneğin 0.996), dişli kutusundaki kayıpları (örneğin 0.972), elektrik jeneratöründeki kayıpları (örneğin 0.94) içeren ve bu kayıpların hepsinin çarpımına eşit olan bir genel toplam katsayıyı (hesaplamalarda yaklaşık olarak $\eta_{kay}=0.9$ olarak hesaba katılabilir.) göstermektedir (Onat ve Cambazoğlu,2002).

8.1.15. Finansal faktörler ve mali değerlendirme

Genel olarak rüzgâr enerjisi, finansa oldukça bağımlıdır. Bu da şu anlama gelir ki; rüzgâr enerjisinin ekonomik bir şekilde sürekliliği, ödünç alınan kaynağa uygulanan faiz oranlarına veya yatırım yapılan sermayeden beklenen orana ve projede kullanılmak üzere alınan kaynağın kaç yılda geri ödeneceği ile çok yakın ilişkilidir. Genel olarak, kısa bir geri ödeme dönemi ve yüksek oranda faiz uygulanması, üretilen enerjinin kWh başına maliyetini yükseltmek zorunda bırakır.

Gelişmekte olan rüzgâr enerjisi için itici güçlerden biri, ekonomidir. Bağımsız enerji üreticileri için ekonominin güvencede olması, son derecede önem arz eder. Rüzgâr enerjisi yatırım maliyetlerinin, son yıllarda hızla düşmesi yatırımı hızlandırmıştır. Günümüzde rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri 700 – 1450 \$/kW dolayındadır. Elektrik üretim maliyeti ise 4,5 – 7,0 \$c/kW civarında olup, teknolojik gelişmelerle birlikte bu değer 3 \$c' in altına düşeceği tahmin edilmektedir. Rüzgâr enerjisinin maliyeti, yakıt maliyetini içermediği için gelecekteki yakıt fiyatlarına bağımlı olan yakıt tüketen enerji üretim tesisleri ile karşılaştırıldığında, rüzgâr enerjisinin maliyeti gerçek maliyetine oldukça yakın bir şekilde hesaplanabilmektedir. Hiçbir yakıt maliyeti söz konusu olmadığından dolayı, projeye bir defa yatırım yapıldıktan sonra, sürekli tekrarlanan maliyetler arasında yalnızca işletim ve bakım maliyetleri bulunmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin kurulması, oldukça kolaydır ve böylelikle yüksek faize maruz kalmadan enerji

üretimine geçilmektedir. Rüzgâr enerjisinde karşılaşılan en önemli mali sorun, kaynak finansı ve enerji kanundaki bazı maddelerdir. Eğer bu sorunlarda aşılırsa, Türkiye'deki yatırımcılar daha cesur bir şekilde yatırımlara katılabilirler (Onat ve Cambaz oğlu,2002).

BÜLÜM IX

MATERYAL VE METOD

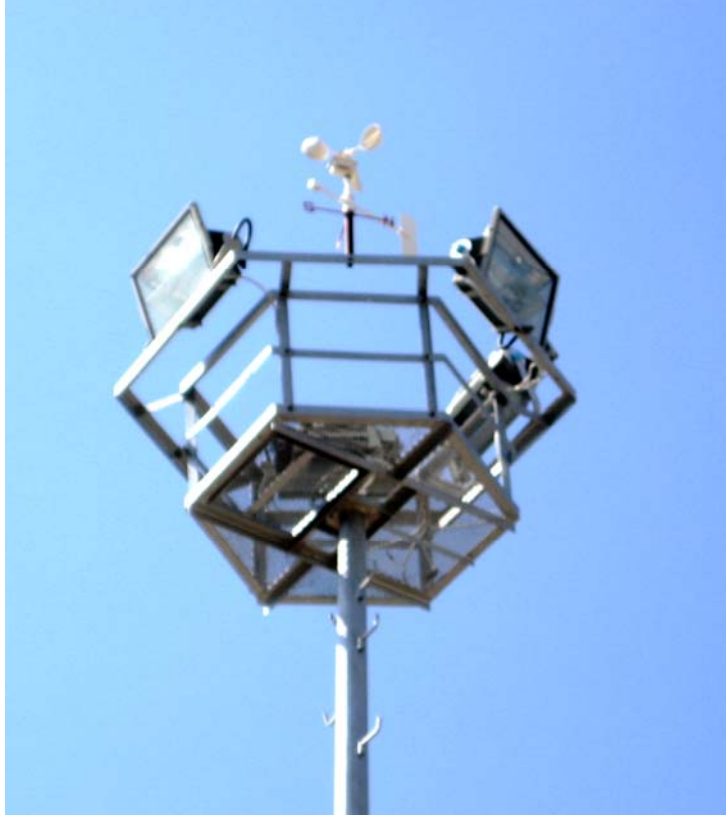
9.1. Kullanılan Materyal

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Kampus Alanı içerisinde Meslek yüksek Okulu Otopark sahası önündeki 17 metre yüksekliğindeki aydınlatma direğine takılan sabit bir anemometreden bir yıl süre ile günlük değerlerin alınıp aşağıdaki hesaplama yöntemi ile günlük rüzgâr hızlarının hesaplanarak kayıt altına alınması ile yapılmıştır.



Şekil 9-1 Meslek Yüksek Okulu Otopark Alanı Önünden

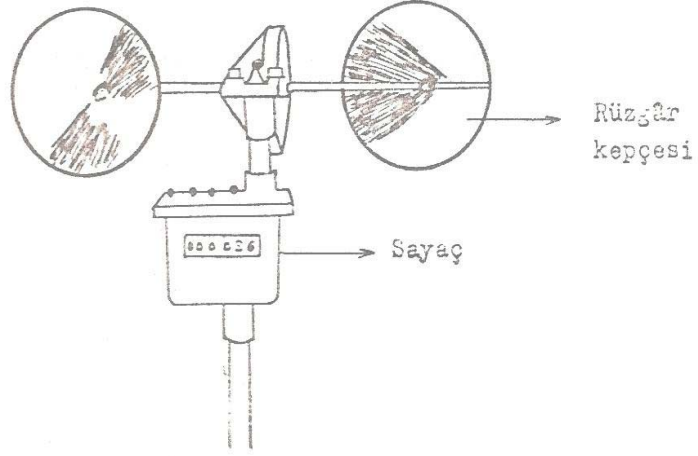
Bu projede rüzgâr hızının ölçümünde Sivas Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilen sabit anemometre kullanılmıştır. Sabit anemometredeki sayaç taksimatı dekametre cinsindedir.



Şekil 9-2 Anemometrenin genel görünümü

9.1.1 Sabit Anemometrenin Teknik Özellikleri

Sabit anemometrede istenen özellikler; anemometrenin yarım konik, şekil bakımından yarım küreye benzemesi ve kıvrık kenarlı olmasıdır. Üç kepçeli sistem, en fazla başlangıç salınımı verir ve yarım konik kapların kullanılması suretiyle de rüzgâr dalgalanmalarından meydana gelen fazla tahmin ihtimali azalır. Kıvrık kenarlar ise rüzgâr hızı ile kepçe hızı arasındaki sabiteyi artırır. Döner merkezin yatakları iyi imal edilmiş hava şartlarından korunmuş olmalı ve aynı zamanda kolayca yağlanabilecek bir özellikte bulunmalıdır.



Şekil 9-3 Sabit Anemometre

Sabit anemometrelerde, değerler üzerine tesir eden hava yoğunluğu ihmal olunabilir derecede azdır. Çok düşük rüzgâr hızları nazari itibari ile bu anemometrelerde $\pm 0,5$ m/sn lik hassasiyete ulaşmak mümkündür. Bununla beraber rüzgâr dalgalanmalarında artı hatalar meydana gelebilir.

9.1.2 Rüzgâr Hızının Bulunuşu

a) Sabit anemometredeki savaş taksimatı metre cinsinden ise, çarklardan okunana değer, Klimatolojik Rasat Eldefterinin ilk okunuş hanesine ve 10 dakika sonra tekrar aynı çarklardan okunan ikinci değer ise son okunuş hanesine kaydedilir. İkinci okunan değerden ilk okunana değer çıkarılmak suretiyle bulunan fark 10 dakikanın saniye sayı olan ($10 \times 60 = 600$) 600'e bölünerek rasattaki ortalama rüzgâr hızı saniyede metre (m/sn) olarak bulunur. Örnek olarak ilk okunan değer 150646, ikinci değer ise 154344 olsun. Bu durumda fark $154344 - 150646 = 3698$ olarak elde edilir. 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızı ise $3698/600 = 6,2$ m/sn olarak bulunur.

b) Sabit anemometredeki savaş taksimatı kilometre cinsinden ise, çarklardan okunan ilk ve son değerlerin sağına üç sıfır konmak sureti ile rüzgârın 10 dakikada aldığı yolun kilometre değeri metreye çevrilir. Yukarda (a), paragrafında açıklandığı, işlemler yapılarak rasattaki ortalama rüzgâr hızı saniyede metre (m/sn) olarak elde edilir.

c) Sabit anemometredeki savaş taksimatı dekametre cinsinden ise, çarklardan okunan ilk ve son değerlerin sağına tek sıfır konmak sureti ile rüzgârın 10 dakikada aldığı yolun dekametre değeri metreye çevrilir. Yukarda (a), paragrafında açıklandığı, işlemler yapılarak rasattaki ortalama rüzgâr hızı saniyede metre (m/sn) olarak elde edilir.

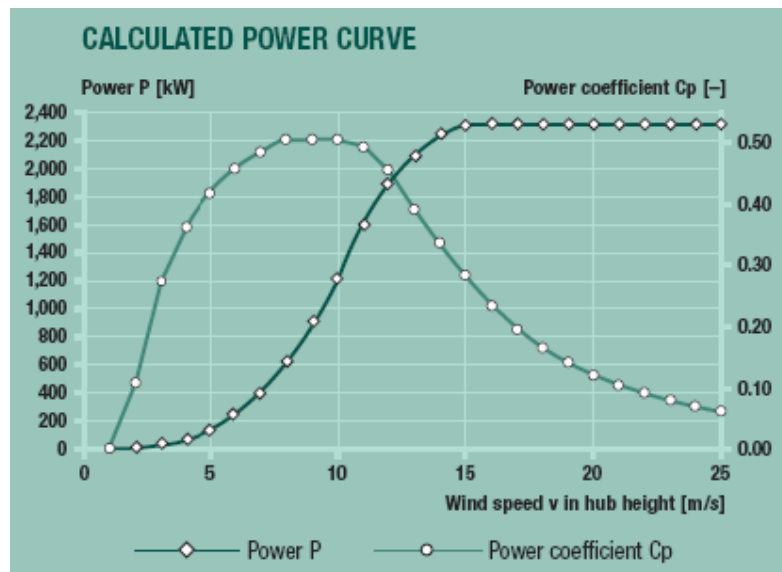
9.1.3 Türbin Seçimi

Bu çalışmada tasarlanan rüzgâr santralinde, bölge için ideal olan rüzgâr türbini modeli araştırması yapılmayacaktır. Bunun yerine Büyük güçlü ve küçük güçlü olmak üzere iki türbin üzerine hesaplamalar yapılacaktır. Büyük güçlü türbin olarak; Türkiye’de yaygın olarak kullanılan Enercon firmasının ürettiği 2300 kW gücündeki, E-70 modeli rüzgâr türbini kullanılacaktır. Enercon E-70 türbininin kullanılmasındaki en önemli nedenler şunlardır: Enercon marka rüzgâr türbinlerinin harekete başlama rüzgâr hızlarının düşük olması (2,5 m/s) ve E-70 modelinin 113 m kule yüksekliğine kadar destekleniyor olmasıdır. Küçük güçlü türbini olarak; Solarwall Türkiye yetkili distribütörü olan Alternatif Enerji Sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şirketinin pazarlamasını yaptığı 5 kW gücündeki Fortis Montana türbini kullanılacaktır. Fortis Montana türbininin seçilmesindeki nedenler ise; türbinin Türkiye’de temin edilebilmesi ve düşük rüzgâr hızında (2,5 m/s) elektrik üretimine başlamasıdır.

Fortis Montana ve E-70 türbinine ait resimler, türbinlerin teknik özellikleri ve türbinlerin güç eğrisi grafikleri Şekil 5.4-7 ve Çizelge 5.1-4’de verilmiştir.



Şekil 9-4 Enercon E-70 Türbinin Görüntüsü (www.enercon.de)



Şekil 9-5 Enercon E-70 Türbinine Ait Güç Eğrisi Grafiği (www.enercon.de)

Hız [v] (m/s)	Güç [P] (KW)	Güç Faktörü [C _p] (-)
1	0,0	0,00
2	2,0	0,10
3	18,0	0,27
4	56,0	0,36
5	127,0	0,42
6	240,0	0,46
7	400,0	0,48
8	626,0	0,50
9	892,0	0,50
10	1223,0	0,50
11	1590,0	0,49
12	1900,0	0,45
13	2080,0	0,39
14	2230,0	0,34
15	2300,0	0,28
16	2310,0	0,23
17	2310,0	0,19
18	2310,0	0,16
19	2310,0	0,14
20	2310,0	0,12
21	2310,0	0,10
22	2310,0	0,09
23	2310,0	0,08
24	2310,0	0,07
25	2310,0	0,06

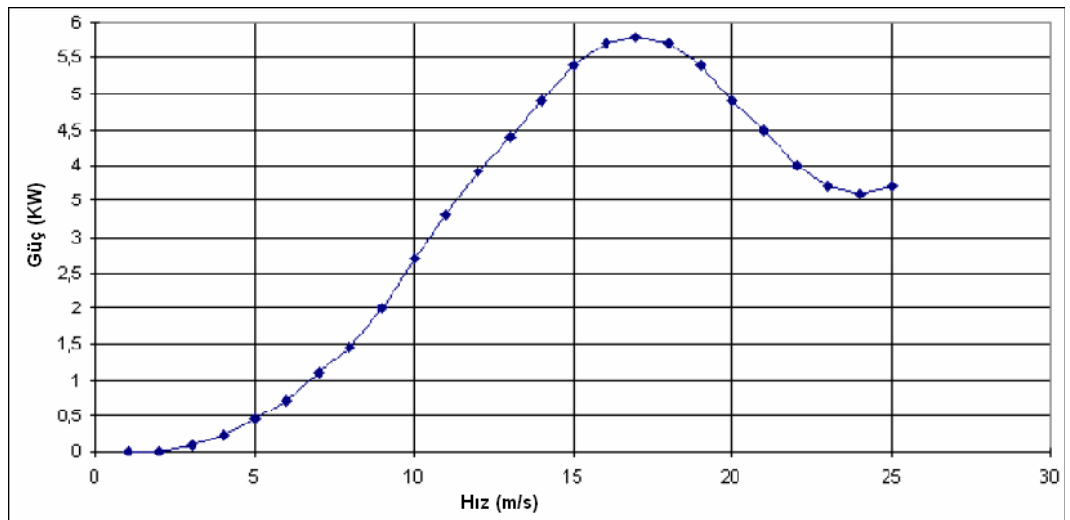
Tablo 9-1 E-70 Türbinin Rüzgâr Hızına Göre Ürettiği Güç ve Güç Faktörü

E-70 TÜRİNİNE AİT TEKNİK BİLGİLER	
Türbin gücü	2300 KW
Rotor (kanat) çapı	71 m
Kule yüksekliği	58 –113 m
Rüzgar sınıfı (IEC)	IEC/NVN I
Türbin oluşumu	Dişli sistemi yok, değişken hız, ayarlanabilir kanat güç ayar sistemi
Rotor	
Tip	Yatay eksenli türbin, ayarlanabilir kanat güç ayar sistemi
Dönme yönü	Saat yönünde
Kanat sayısı	3
Kanat stüpmürme alanı	3959 m ²
Kanat yapısı	Fiberglas (epoksi reçine); entegre yıldırım korumalı
Dönme hızı	Ayarlanabilir, 6 – 21,5 rpm
Güç kontrol	Her rotor kanadı için bağımsız eğim kontrol sistemi
Kule	Katı (sert)
Ana taşıyıcı	Çift sıra/ tek sıra yukarı doğru daralan silindirik taşıyıcı (çelik)
Generator	ENERCON direct-drive bilezikli senkron generator
Şebeke besleme	ENERCON converter
Frenleme sistemi	– 3 adet bağımsız kanat güç kontrol sistemi – Rotor freni – Rotor kilidi
Yön kontrolü	Rüzgar esme yönüne göre dişli sistemi ile dönüş yönü ayarı
Hız kesme rüzgar hızı	28 – 34 m/s (with ENERCON storm control)
Uzaktan görüntüleme	ENERCON SCADA

Tablo 9-2 E-70 Türbinine Ait Teknik Bilgiler (www.enercon.de)



Şekil 9-6 Fortis Montana Türbinin Görüntüsü (www.alternatifenerji.com)



Şekil 9-7 Fortis Montana Türbinine Ait Güç Eğrisi Grafiği (www.alternatifenerji.com)

Hız [v] (m/s)	Güç [P] (KW)
2,5	0,065
3,0	0,132
3,5	0,175
4,0	0,263
4,5	0,370
5,0	0,480
5,5	0,615
6,0	0,745
6,5	0,925
7,0	1,160
7,5	1,318
8,0	1,495
8,5	1,736
9,0	2,000
9,5	2,395
10,0	2,719
11,0	3,329
12,0	3,939
13,0	4,439
14,0	4,917
15,0	5,410
16,0	5,719
17,0	5,795
18,0	5,719

Tablo 9-3 Fortis Montana Türbinin Rüzgâr Hızına Göre Ürettiği Güç ve Güç Faktörü
(www.alternatifenerji.com)

Model	Fortis Montana
Tipi	Rüzgâra göre sabit kanat yapılı
Dönüş yönü	Saat yönünde
Kanat çapı	5 m
Süpürme alanı	19,63 m ²
Kanat malzemesi	Epoksi ile güçlendirilmiş fiberglass
Kanat boyu	2,85 m
Kanat sayısı	3
Hız ayarlama	Yan rüzgârlarda katlanan kuyruk
Yön Kontrol	Kuyrukla ayarlanma – pasif
Pitch kontrol	Sabit
Kalkış hızı	2,5 m/s
Anma hızı	13 m/s
Azami hızı	25 m/s
Anma gücü	5 kW
Azami gücü	5,8 kW (17 m/s)
Profili	NACA 4415
Devir sayısı	120 – 450 rpm
Eksen açısı	100
Çıkış gerilimi	24 – 120 – 400 Volt
Jeneratör	Sabit mıknatıslı, senkron

Tablo 9-4 Türbinine Ait Teknik Bilgiler (www.alternatifenerji.com)

BULGULAR

Günlük Rüzgâr Ölçüm Sonuçları ve Enerji Potansiyeli Cumhuriyet Üniversite Kampus Alanı rüzgâr hızı verileri, Meslek Yüksek Okulu Otopark sahası önündeki 17 metre yüksekliğindeki aydınlatma direğine takılan, sabit bir anemometreden bir yıl süre ile günlük değerlerin alınıp, rüzgâr hızlarının hesaplanarak kayıt altına alınması ile yapılmıştır. Bu çalışmadaki bütün hesaplamalar, bu anemometrenin Mart 2007 – Şubat 2008 ayları arasında ölçtüğü bir yıllık rüzgâr hızı ölçüm sonuçlarına göre yapılacaktır. Tablo 9,1–12’den de görüleceği üzere bölgenin rüzgâr hızı orta düzeydedir. Bundan dolayı rüzgâr türbininin düşük hızlarda bile devreye girmesi önem arz etmektedir. Ayrıca türbinin maruz kalacağı rüzgâr hızını arttırabilmek için, kule yüksekliğini mümkün olduğunca yüksek tutmak gereklidir. Yerden 17 m yükseklikteki günlük ortalama rüzgâr hızları; 30 m ve 113 m’ye yükseltilmiştir. Yerden 17 m yükseklikte ölçülen aylık maksimum rüzgâr hızı ile Fortis Montana türbininin yerden 30 m yükseklikte günlere göre ürettiği elektrik enerjisi ile Enercon E-70 türbininin yerden 113 m yükseklikte günlere (24 saatlik) göre ürettiği elektrik enerjisi bilgileri Tabloda’ da verilmiştir. Bu tablolar oluşturulurken Bölüm 9’te verilen Fortis Montana ve E-70 türbinine ait güç eğrisi grafiklerinden faydalanılmıştır. Ayrıca, bölgeye ait günlük ortalama rüzgâr hızlarının grafiksel gösterimleri ise Tablo 10,14-25’de verilmiştir. Ölçülen rüzgâr hızı verileri yerden 17 m yükseklikte ölçüldüğü için, bu hızlar Hellmann yükseltme bağıntısı ile 30 m ve 113 m yükseklikteki, rüzgâr hızına yani kule yüksekliğine yükseltilmiştir. Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızının 30 m ve 113 m yükseklikteki esme hızını bulabilmek için Bölüm 7’de verilen denklem 7.26’ya göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Denklemdeki α Hellmann katsayısı Tablo 7,2’den 0,27 olarak seçilmiştir. Burada katsayı seçilirken yerleşke alanına ait ölçüm yaptığımız anemometrenin çevresindeki pürüzlülükler dikkate alınmıştır.

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^{\alpha} = V_{ölç} \left| \frac{30}{17} \right|^{0,27} = 1,1657$$

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^{\alpha} = V_{ölç} \left| \frac{113}{17} \right|^{0,27} = 1,6676$$

İncelenen bölge için, ölçüm noktası çevresel pürüzlülükleri dikkate alınır; 17 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı değerlerinin 30 m’deki esme hızını bulabilmek için 1,1657 ile çarpılması, 113 m’deki esme hızını bulabilmek için 1,6676 ile çarpılması gerekir.

MART AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
Başlangıç	16:30	07.03.2007	46389	-
1	16:30	08.03.2007	53109	0,78
2	16:30	09.03.2007	59599	0,75
3	16:30	10.03.2007	67809	0,95
4	16:30	11.03.2007	71839	0,47
5	16:30	12.03.2007	83935	1,40
6	16:30	13.03.2007	94675	1,24
7	16:30	14.03.2007	115055	2,36
8	16:30	15.03.2007	133785	2,17
9	16:30	16.03.2007	151075	2,00
10	16:30	17.03.2007	181121	3,48
11	16:30	18.03.2007	201339	2,34
12	16:30	19.03.2007	213435	1,40
13	16:30	20.03.2007	221423	0,92
14	16:30	21.03.2007	234531	1,52
15	16:30	22.03.2007	247242	1,47
16	16:30	23.03.2007	271652	2,83
17	16:30	24.03.2007	323243	5,97
18	16:30	25.03.2007	351413	3,26
19	16:30	26.03.2007	366722	1,77
20	16:30	27.03.2007	371224	0,52
21	16:30	28.03.2007	384416	1,53
22	16:30	29.03.2007	396305	1,38
23	16:30	30.03.2007	411635	1,77
24	16:30	31.03.2007	422382	1,24
Mart Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,81

Tablo 10-1 Mart Ayı Rüzgâr Hızı Verileri

NİSAN AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	16:30	01.04.2007	445591	2,69
2	16:30	02.04.2007	462471	1,95
3	16:30	03.04.2007	476572	1,63
4	16:30	04.04.2007	490569	1,62
5	16:30	05.04.2007	508863	2,12
6	16:30	06.04.2007	526435	2,03
7	16:30	07.04.2007	543452	1,97
8	16:30	08.04.2007	556722	1,54
9	16:30	09.04.2007	560245	0,41
10	16:30	10.04.2007	571564	1,31
11	16:30	11.04.2007	590254	2,16
12	16:30	12.04.2007	602725	1,44
13	16:30	13.04.2007	613593	1,26
14	16:30	14.04.2007	624215	1,23
15	16:30	15.04.2007	642752	2,15
16	16:30	16.04.2007	668259	2,95
17	16:30	17.04.2007	680789	1,45
18	16:30	18.04.2007	692271	1,33
19	16:30	19.04.2007	711054	2,17
20	16:30	20.04.2007	743695	3,78
21	16:30	21.04.2007	761579	2,07
22	16:30	22.04.2007	780114	2,15
23	16:30	23.04.2007	797366	2,00
24	16:30	24.04.2007	813959	1,92
25	16:30	25.04.2007	824739	1,25
26	16:30	26.04.2007	833074	0,96
27	16:30	27.04.2007	846005	1,50
28	16:30	28.04.2007	875678	3,43
29	16:30	29.04.2007	907986	3,74
30	16:30	30.04.2007	930799	2,64
Nisan Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,96

Tablo 10-2 Nisan Ayı Rüzgâr Hızı Verileri

MAYIS AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLER				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	16:30	01.05.2007	939856	1,05
2	16:30	02.05.2007	942348	0,29
3	16:30	03.05.2007	965046	2,63
4	16:30	04.05.2007	975539	1,21
5	16:30	05.05.2007	985718	1,18
6	16:30	06.05.2007	993363	0,88
7	16:30	07.05.2007	2375	1,04
8	16:30	08.05.2007	20503	2,10
9	16:30	09.05.2007	40473	2,31
10	16:30	10.05.2007	47991	0,87
11	16:30	11.05.2007	49191	0,14
12	16:30	12.05.2007	110043	7,04
13	16:30	13.05.2007	111193	0,13
14	16:30	14.05.2007	112493	0,15
15	16:30	15.05.2007	128255	1,82
16	16:30	16.05.2007	136595	0,97
17	16:30	17.05.2007	146255	1,12
18	16:30	18.05.2007	162485	1,88
19	16:30	19.05.2007	175010	1,45
20	16:30	20.05.2007	198452	2,71
21	16:30	21.05.2007	216148	2,05
22	16:30	22.05.2007	241855	2,98
23	16:30	23.05.2007	273465	3,66
24	16:30	24.05.2007	296545	2,67
25	16:30	25.05.2007	323017	3,06
26	16:30	26.05.2007	350121	3,14
27	16:30	27.05.2007	381205	3,60
28	16:30	28.05.2007	410053	3,34
29	16:30	29.05.2007	424570	1,68
30	16:30	30.05.2007	439817	1,76
31	16:30	31.05.2007	453820	1,62
Mayıs Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,95

Tablo 10-3 Mayıs Ayı Rüzgâr Hızı Verileri

HAZİRAN AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	16:30	01.06.2007	462950	1,06
2	16:30	02.06.2007	479643	1,93
3	16:30	03.06.2007	486788	0,83
4	16:30	04.06.2007	497933	1,29
5	16:30	05.06.2007	508495	1,22
6	16:30	06.06.2007	518343	1,14
7	16:30	07.06.2007	531393	1,51
8	16:30	08.06.2007	543965	1,46
9	16:30	09.06.2007	556809	1,49
10	16:30	10.06.2007	568264	1,33
11	16:30	11.06.2007	581306	1,51
12	16:30	12.06.2007	595812	1,68
13	16:30	13.06.2007	611494	1,82
14	16:30	14.06.2007	628336	1,95
15	16:30	15.06.2007	642885	1,68
16	16:30	16.06.2007	659435	1,92
17	16:30	17.06.2007	676645	1,99
18	16:30	18.06.2007	695312	2,16
19	16:30	19.06.2007	714216	2,19
20	16:30	20.06.2007	730435	1,88
21	16:30	21.06.2007	747410	1,96
22	16:30	22.06.2007	764538	1,98
23	16:30	23.06.2007	782182	2,04
24	16:30	24.06.2007	799647	2,02
25	16:30	25.06.2007	816155	1,91
26	16:30	26.06.2007	831420	1,77
27	16:30	27.06.2007	844455	1,51
28	16:30	28.06.2007	858225	1,59
29	16:30	29.06.2007	873085	1,72
30	16:30	30.06.2007	888260	1,76
Haziran Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,68

Tablo 10-4 Haziran Ayı Rüzgâr Hızı Verileri

TEMMUZ AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	16:30	01.07.2007	903960	1,82
2	16:30	02.07.2007	919200	1,76
3	16:30	03.07.2007	936048	1,95
4	16:30	04.07.2007	953178	1,98
5	16:30	05.07.2007	970638	2,02
6	16:30	06.07.2007	987770	1,98
7	16:30	07.07.2007	5455	2,05
8	16:30	08.07.2007	22575	1,98
9	16:30	09.07.2007	38625	1,86
10	16:30	10.07.2007	54925	1,89
11	16:30	11.07.2007	69615	1,70
12	16:30	12.07.2007	88055	2,13
13	16:30	13.07.2007	109185	2,45
14	16:30	14.07.2007	131235	2,55
15	16:30	15.07.2007	153128	2,53
16	16:30	16.07.2007	176955	2,76
17	16:30	17.07.2007	207426	3,53
18	16:30	18.07.2007	223750	1,89
19	16:30	19.07.2007	238584	1,72
20	16:30	20.07.2007	252324	1,59
21	16:30	21.07.2007	269219	1,96
22	16:30	22.07.2007	286581	2,01
23	16:30	23.07.2007	300935	1,66
24	16:30	24.07.2007	314560	1,58
25	16:30	25.07.2007	329180	1,69
26	16:30	26.07.2007	344612	1,79
27	16:30	27.07.2007	358264	1,58
28	16:30	28.07.2007	370917	1,46
29	16:30	29.07.2007	382482	1,34
30	16:30	30.07.2007	394628	1,41
31	16:30	31.07.2007	406086	1,33
Temmuz Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,94

Tablo 10-5 Temmuz ayı günlük ortalama rüzgâr hızları

AĞUSTOS AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	16:30	01.08.2007	417172	1,28
2	16:30	02.08.2007	432796	1,81
3	16:30	03.08.2007	450039	2,00
4	16:30	04.08.2007	465069	1,74
5	16:30	05.08.2007	479195	1,63
6	16:30	06.08.2007	490151	1,27
7	16:30	07.08.2007	500409	1,19
8	16:30	08.08.2007	515032	1,69
9	16:30	09.08.2007	528997	1,62
10	16:30	10.08.2007	541861	1,49
11	16:30	11.08.2007	551917	1,16
12	16:30	12.08.2007	560871	1,04
13	16:30	13.08.2007	574229	1,55
14	16:30	14.08.2007	586697	1,44
15	16:30	15.08.2007	599591	1,49
16	16:30	16.08.2007	611745	1,41
17	16:30	17.08.2007	627642	1,84
18	16:30	18.08.2007	642627	1,73
19	16:30	19.08.2007	655592	1,50
20	16:30	20.08.2007	666578	1,27
21	16:30	21.08.2007	675543	1,04
22	16:30	22.08.2007	689508	1,62
23	16:30	23.08.2007	708162	2,16
24	16:30	24.08.2007	726027	2,07
25	16:30	25.08.2007	742556	1,91
26	16:30	26.08.2007	758228	1,81
27	16:30	27.08.2007	772082	1,60
28	16:30	28.08.2007	786754	1,70
29	16:30	29.08.2007	803699	1,96
30	16:30	30.08.2007	821596	2,07
31	16:30	31.08.2007	838955	2,01
Ağustos Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,63

Tablo 10-6 Ağustos ayı günlük ortalama rüzgâr hızları

EYLÜL AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	16:30	01.09.2007	855938	1,97
2	16:30	02.09.2007	872759	1,95
3	16:30	03.09.2007	888050	1,77
4	16:30	04.09.2007	895735	0,89
5	16:30	05.09.2007	905718	1,16
6	16:30	06.09.2007	916925	1,30
7	16:30	07.09.2007	928922	1,39
8	16:30	08.09.2007	942571	1,58
9	16:30	09.09.2007	956463	1,61
10	16:30	10.09.2007	969925	1,56
11	16:30	11.09.2007	982717	1,48
12	16:30	12.09.2007	995616	1,49
13	16:30	13.09.2007	8578	1,50
14	16:30	14.09.2007	19932	1,31
15	16:30	15.09.2007	30994	1,28
16	16:30	16.09.2007	41592	1,23
17	16:30	17.09.2007	49857	0,96
18	16:30	18.09.2007	58854	1,04
19	16:30	19.09.2007	66678	0,91
20	16:30	20.09.2007	75535	1,03
21	16:30	21.09.2007	83799	0,96
22	16:30	22.09.2007	91723	0,92
23	16:30	23.09.2007	98639	0,80
24	16:30	24.09.2007	112593	1,62
25	16:30	25.09.2007	122661	1,17
26	16:30	26.09.2007	129826	0,83
27	16:30	27.09.2007	137793	0,92
28	16:30	28.09.2007	146957	1,06
29	16:30	29.09.2007	156994	1,16
30	16:30	30.09.2007	166340	1,08
Eylül Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,26

Tablo 10-7Eylül ayı günlük ortalama rüzgâr hızları

EKİM AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	15:00	01.10.2007	178232	1,38
2	15:00	02.10.2007	190693	1,44
3	15:00	03.10.2007	204455	1,59
4	15:00	04.10.2007	216133	1,35
5	15:00	05.10.2007	228995	1,49
6	15:00	06.10.2007	242151	1,52
7	15:00	07.10.2007	253247	1,28
8	15:00	08.10.2007	265201	1,38
9	15:00	09.10.2007	273735	0,99
10	15:00	10.10.2007	282202	0,98
11	15:00	11.10.2007	293434	1,30
12	15:00	12.10.2007	303802	1,20
13	15:00	13.10.2007	319268	1,79
14	15:00	14.10.2007	338708	2,25
15	15:00	15.10.2007	352532	1,60
16	15:00	16.10.2007	373268	2,40
17	15:00	17.10.2007	382772	1,10
18	15:00	18.10.2007	393140	1,20
19	15:00	19.10.2007	406445	1,54
20	15:00	20.10.2007	421479	1,74
21	15:00	21.10.2007	435649	1,64
22	15:00	22.10.2007	448695	1,51
23	15:00	23.10.2007	456817	0,94
24	15:00	24.10.2007	470209	1,55
25	15:00	25.10.2007	485761	1,80
26	15:00	26.10.2007	503905	2,10
27	15:00	27.10.2007	513754	1,14
28	15:00	28.10.2007	525591	1,37
29	15:00	29.10.2007	537255	1,35
30	15:00	30.10.2007	549869	1,46
31	15:00	31.10.2007	559373	1,10
Ekim Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,47

Tablo 10-8 Ekim ayı günlük ortalama rüzgâr hızları

KASIM AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	15:00	01.11.2007	568877	1,10
2	15:00	02.11.2007	580973	1,40
3	15:00	03.11.2007	603956	2,66
4	15:00	04.11.2007	617348	1,55
5	15:00	05.11.2007	625729	0,97
6	15:00	06.11.2007	638257	1,45
7	15:00	07.11.2007	650007	1,36
8	15:00	08.11.2007	663572	1,57
9	15:00	09.11.2007	674977	1,32
10	15:00	10.11.2007	698218	2,69
11	15:00	11.11.2007	725089	3,11
12	15:00	12.11.2007	743492	2,13
13	15:00	13.11.2007	763709	2,34
14	15:00	14.11.2007	776756	1,51
15	15:00	15.11.2007	792135	1,78
16	15:00	16.11.2007	805181	1,51
17	15:00	17.11.2007	815895	1,24
18	15:00	18.11.2007	823498	0,88
19	15:00	19.11.2007	828337	0,56
20	15:00	20.11.2007	836890	0,99
21	15:00	21.11.2007	857108	2,34
22	15:00	22.11.2007	874474	2,01
23	15:00	23.11.2007	890804	1,89
24	15:00	24.11.2007	903245	1,44
25	15:00	25.11.2007	910935	0,89
26	15:00	26.11.2007	920698	1,13
27	15:00	27.11.2007	935041	1,66
28	15:00	28.11.2007	955258	2,34
29	15:00	29.11.2007	971415	1,87
30	15:00	30.11.2007	984980	1,57
Kasım Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,64

Tablo 10-9 Kasım ayı günlük ortalama rüzgâr hızları

ARALIK AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	15:00	01.12.2007	995607	1,23
2	15:00	02.12.2007	8235	1,97
3	15:00	03.12.2007	21800	1,57
4	15:00	04.12.2007	31563	1,13
5	15:00	05.12.2007	52472	2,42
6	15:00	06.12.2007	73985	2,49
7	15:00	07.12.2007	91697	2,05
8	15:00	08.12.2007	99733	0,93
9	15:00	09.12.2007	114161	1,67
10	15:00	10.12.2007	135502	2,47
11	15:00	11.12.2007	147857	1,43
12	15:00	12.12.2007	158312	1,21
13	15:00	13.12.2007	171445	1,52
14	15:00	14.12.2007	182158	1,24
15	15:00	15.12.2007	194513	1,43
16	15:00	16.12.2007	207646	1,52
17	15:00	17.12.2007	216373	1,01
18	15:00	18.12.2007	230801	1,67
19	15:00	19.12.2007	245749	1,73
20	15:00	20.12.2007	262597	1,95
21	15:00	21.12.2007	285493	2,65
22	15:00	22.12.2007	302859	2,01
23	15:00	23.12.2007	316165	1,54
24	15:00	24.12.2007	329211	1,51
25	15:00	25.12.2007	337246	0,93
26	15:00	26.12.2007	345713	0,98
27	15:00	27.12.2007	354785	1,05
28	15:00	28.12.2007	370942	1,87
29	15:00	29.12.2007	384161	1,53
30	15:00	30.12.2007	398677	1,68
31	15:00	31.12.2007	411809	1,52
Aralık Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,61

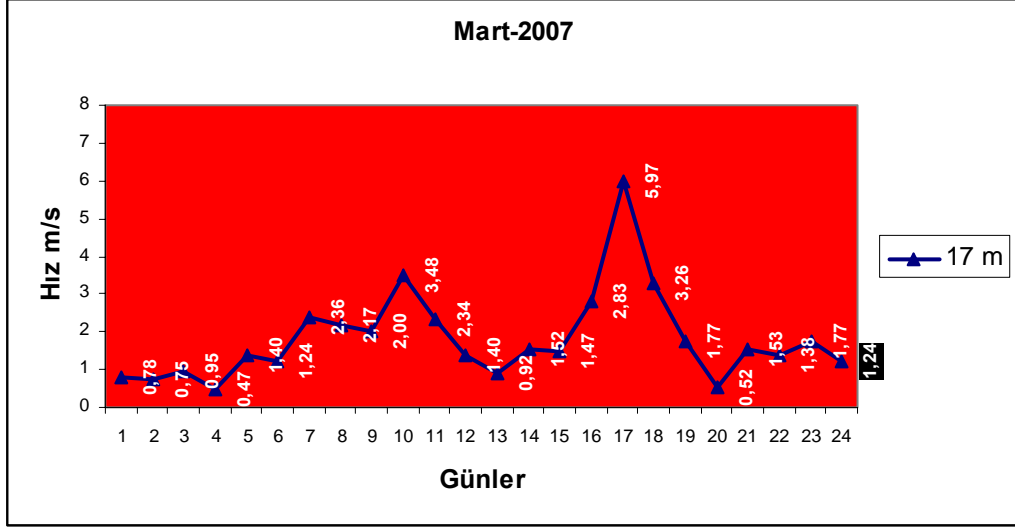
Tablo 10-10 Aralık ayı günlük ortalama rüzgâr hızları

OCAK AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	15:00	01.01.2008	423214	1,32
2	15:00	02.01.2008	435829	1,46
3	15:00	03.01.2008	445419	1,11
4	15:00	04.01.2008	467624	2,57
5	15:00	05.01.2008	481621	1,62
6	15:00	06.01.2008	493803	1,41
7	15:00	07.01.2008	505640	1,37
8	15:00	08.01.2008	513589	0,92
9	15:00	09.01.2008	518859	0,61
10	15:00	10.01.2008	523265	0,51
11	15:00	11.01.2008	529400	0,71
12	15:00	12.01.2008	537089	0,89
13	15:00	13.01.2008	550654	1,57
14	15:00	14.01.2008	561627	1,27
15	15:00	15.01.2008	579598	2,08
16	15:00	16.01.2008	592645	1,51
17	15:00	17.01.2008	601976	1,08
18	15:00	18.01.2008	615281	1,54
19	15:00	19.01.2008	627550	1,42
20	15:00	20.01.2008	635413	0,91
21	15:00	21.01.2008	647249	1,37
22	15:00	22.01.2008	657704	1,21
23	15:00	23.01.2008	665998	0,96
24	15:00	24.01.2008	674897	1,03
25	15:00	25.01.2008	683192	0,96
26	15:00	26.01.2008	696238	1,51
27	15:00	27.01.2008	726824	3,54
28	15:00	28.01.2008	743845	1,97
29	15:00	29.01.2008	755595	1,36
30	15:00	30.01.2008	770974	1,78
31	15:00	31.01.2008	794821	2,76
Ocak Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,43

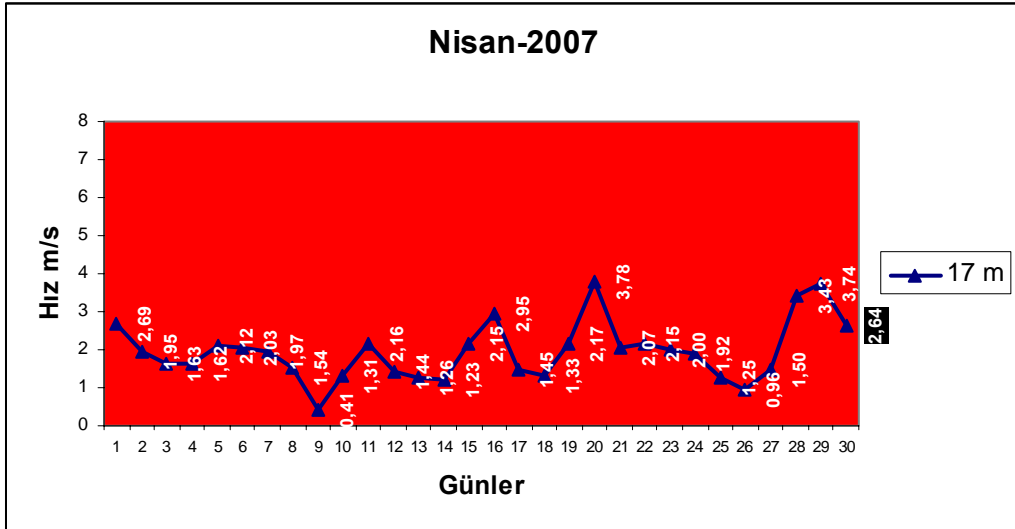
Tablo 10-11 Ocak günlük ortalama rüzgâr hızları

ŞUBAT AYI GÜNLÜK RÜZGÂR HIZI VERİLERİ				
Gün	Saat	Tarih	Sayaç D.	Ortalama Hız m/s
1	15:00	01.02.2008	805275	1,21
2	15:00	02.02.2008	815557	1,19
3	15:00	03.02.2008	837761	2,57
4	15:00	04.02.2008	849512	1,36
5	15:00	05.02.2008	862731	1,53
6	15:00	06.02.2008	882949	2,34
7	15:00	07.02.2008	897464	1,68
8	15:00	08.02.2008	909733	1,42
9	15:00	09.02.2008	921051	1,31
10	15:00	10.02.2008	928913	0,91
11	15:00	11.02.2008	937294	0,97
12	15:00	12.02.2008	947749	1,21
13	15:00	13.02.2008	955438	0,89
14	15:00	14.02.2008	965115	1,12
15	15:00	15.02.2008	977643	1,45
16	15:00	16.02.2008	989480	1,37
17	15:00	17.02.2008	10800	1,25
18	15:00	18.02.2008	22118	1,31
19	15:00	19.02.2008	34474	1,43
20	15:00	20.02.2008	47693	1,53
21	15:00	21.02.2008	60566	1,49
22	15:00	22.02.2008	70157	1,11
23	15:00	23.02.2008	78970	1,02
24	15:00	24.02.2008	96336	2,01
25	15:00	25.02.2008	109469	1,52
26	15:00	26.02.2008	121824	1,43
27	15:00	27.02.2008	137117	1,77
28	15:00	28.02.2008	154656	2,03
29	15:00	29.02.2008	173232	2,15
Şubat Ayı Rüzgâr Ortalama Hızı				1,47

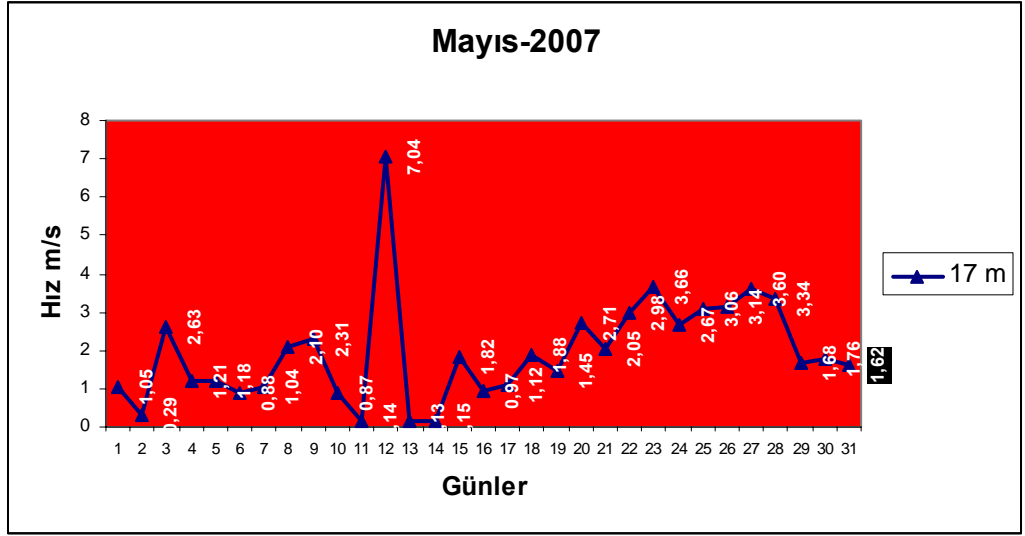
Tablo 10-12 Şubat ayı günlük ortalama rüzgâr hızları



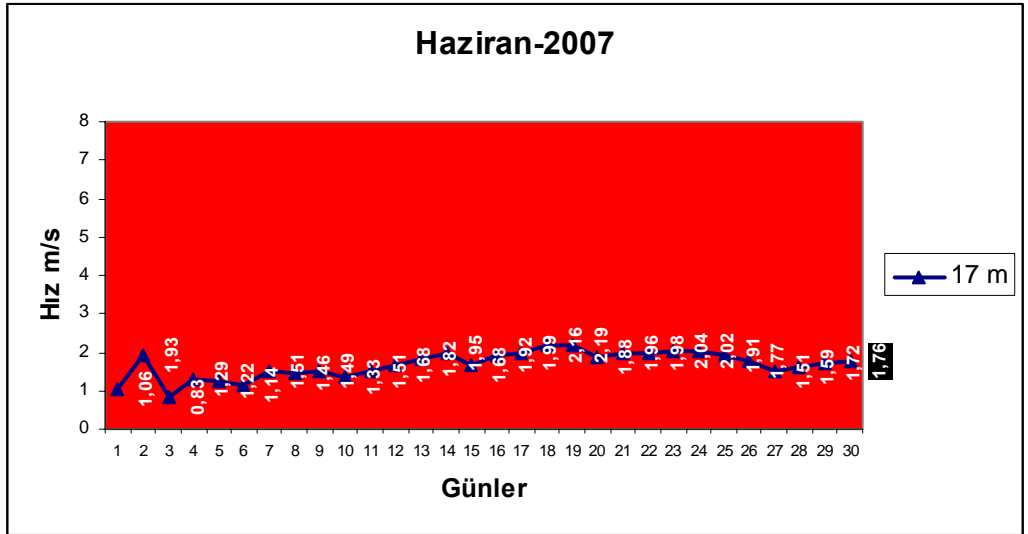
Şekil 10-1 Mart ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



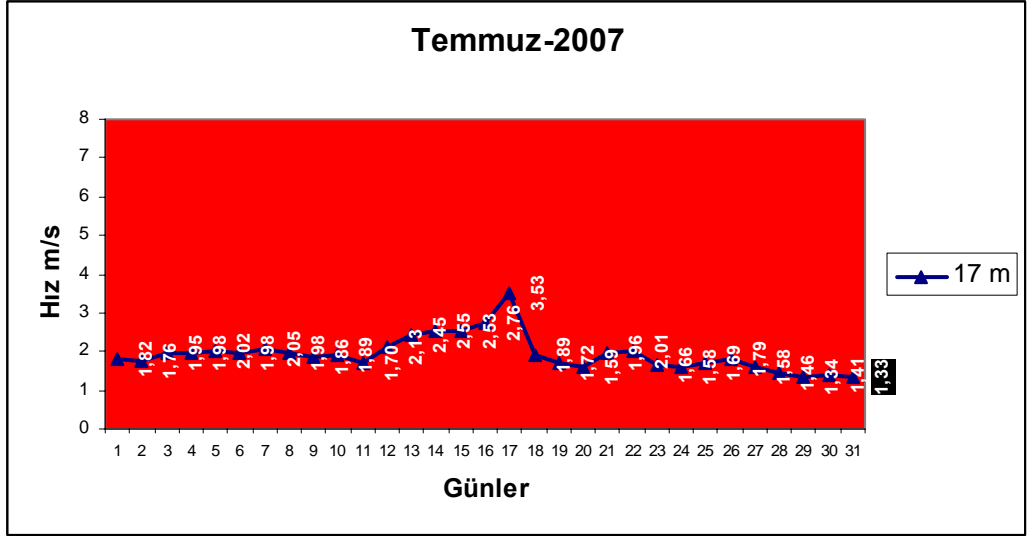
Şekil 10-2 Nisan ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



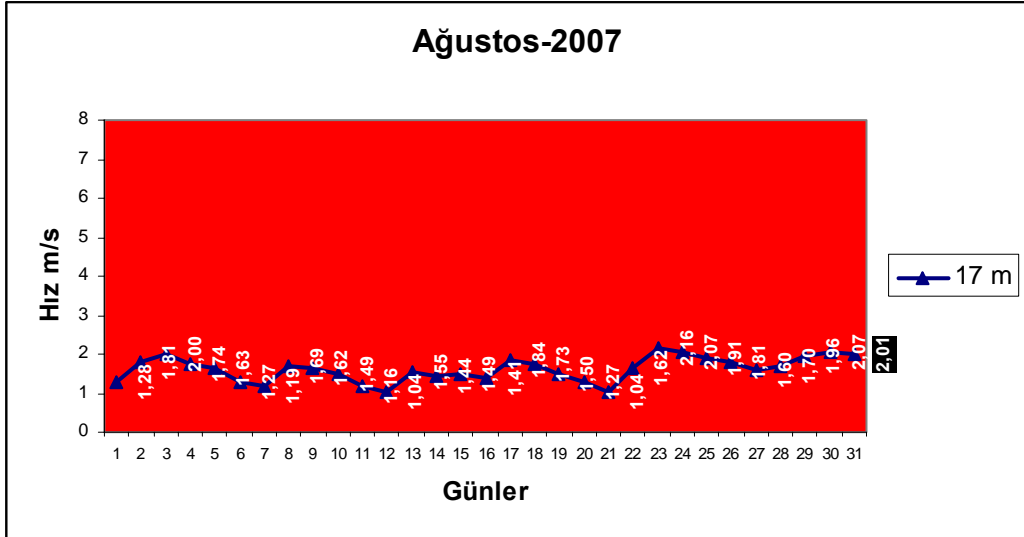
Şekil 10-3 Mayıs ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



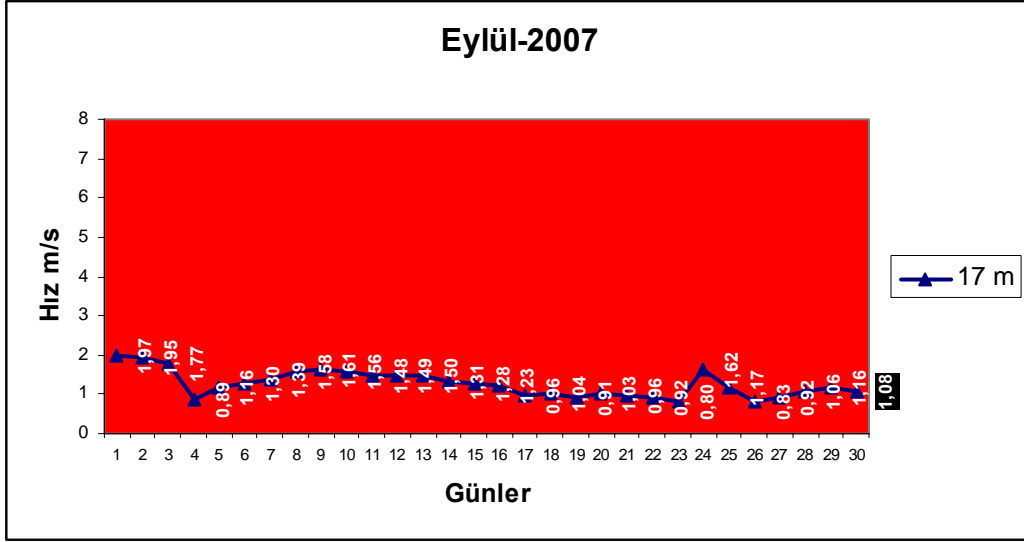
Şekil 10-4 Haziran ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



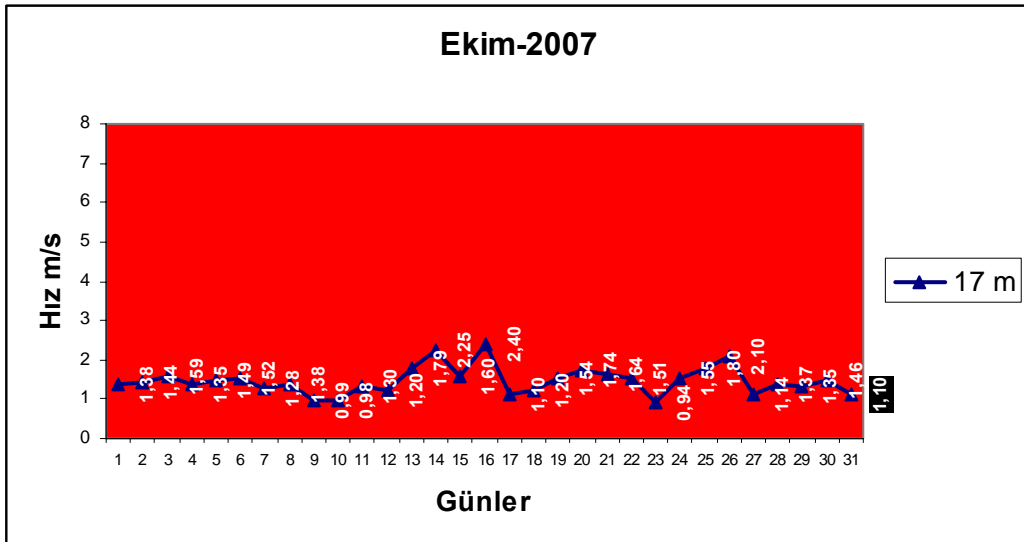
Şekil 10-5 Temmuz ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



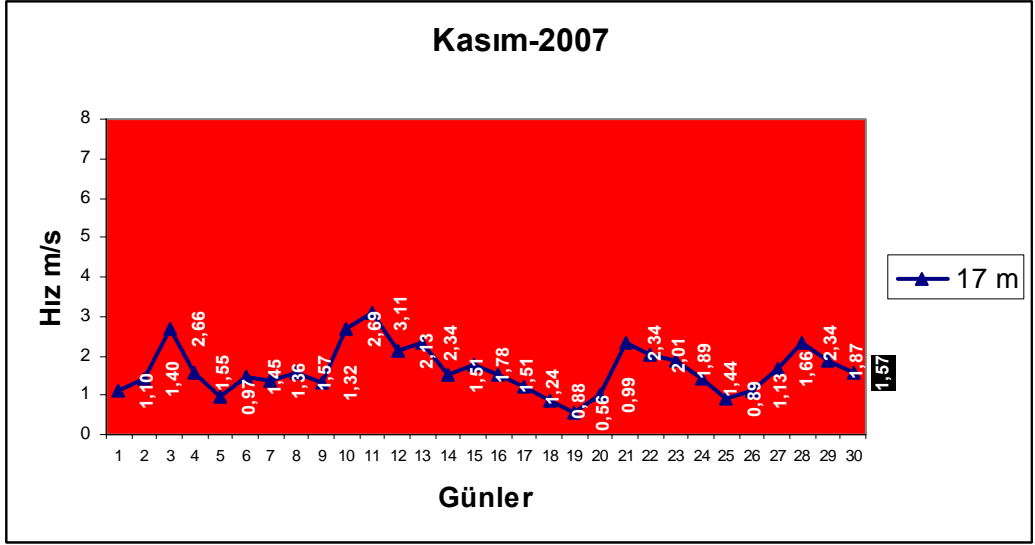
Şekil 10-6 Ağustos ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



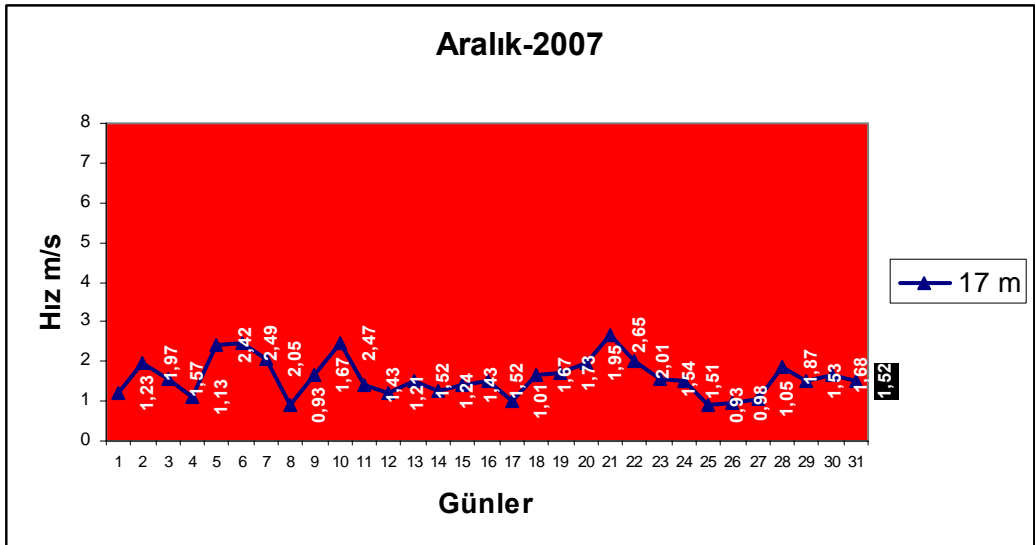
Şekil 10-7 Eylül ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



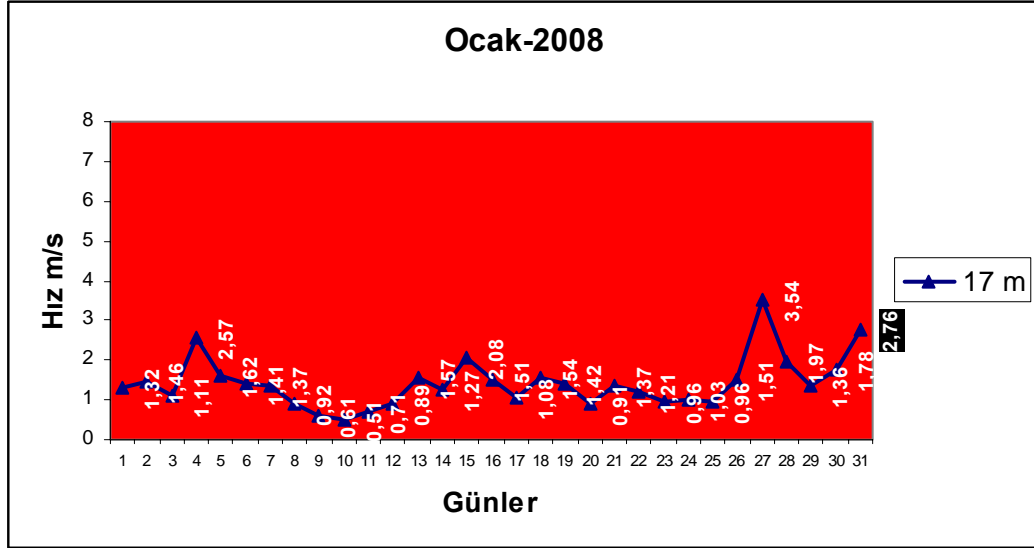
Şekil 10-8 Ekim ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



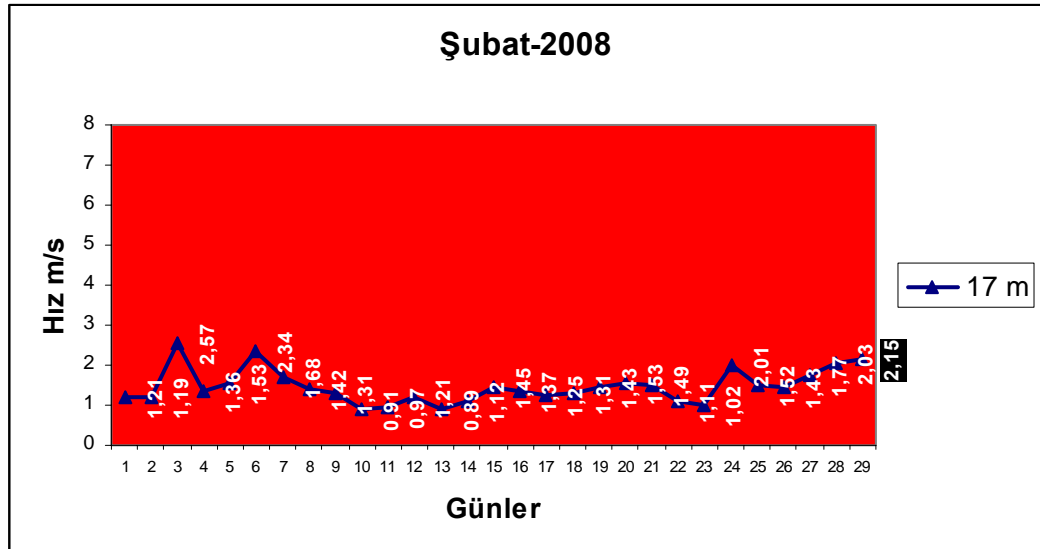
Şekil 10-9 Kasım ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



Şekil 10-10 Aralık ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



Şekil 10-11 Ocak ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği



Şekil 10-12 Şubat ayı günlük ortalama rüzgâr hızları grafiği

YILLIK RÜZGÂR ORTALAMASI	
Aylar	Ortalama Hız m/s
Mart-2007	1,81
Nisan-2007	1,96
Mayıs-2007	1,95
Haziran-2007	1,68
Temmuz-2007	1,94
Ağustos-2007	1,63
Eylül-2007	1,26
Ekim-2007	1,47
Kasım-2007	1,64
Aralık-2007	1,61
Ocak-2008	1,43
Şubat-2008	1,47
Mart-2008	2,02
Yıllık Ortalama Hız m/s	1,68

Tablo 10-13 Yıllık Rüzgâr Ortalaması

10.1 30m ve 113m Rüzgâr Hızlarına Göre Enercon ve Fortis Montana Türbinlerin Ürettiği Enerji Tabloları

Mart-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	0,9	1,3	0	0
2	0,9	1,3	0	0
3	1,1	1,6	0	0
4	0,5	0,8	0	0
5	1,6	2,3	0	0
6	1,4	2,1	0	0
7	2,7	3,8	1200	2,4
8	2,5	3,8	1200	1,56
9	2,3	3,3	768	0
10	4,0	5,8	5208	6,312
11	2,7	3,8	1200	2,4
12	1,6	2,3	0	0
13	1,1	1,5	0	0
14	1,8	2,5	240	0
15	1,7	2,5	240	0
16	3,3	4,8	2688	4,2
17	7,0	10,0	29352	27,84
18	3,8	5,4	4272	5,4
19	2,1	3,0	432	0
20	0,6	0,9	0	0
21	1,8	2,5	240	0
22	1,6	2,3	0	0
23	2,1	3,0	432	0
24	1,4	2,1	0	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			47.472	50,112

Tablo 10-14 Mart Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Nisan-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	3,1	4,4	2122	4,4
2	2,3	3,3	768	1,44
3	1,9	2,7	312	0
4	1,9	2,7	312	0
5	2,5	3,5	960	1,56
6	2,4	3,5	960	1,68
7	2,3	3,3	768	1,44
8	1,8	2,5	240	0
9	0,5	0,7	0	0
10	1,5	2,2	0	0
11	2,5	3,5	960	1,56
12	1,7	2,4	0	0
13	1,5	2,1	0	0
14	1,4	2,1	0	0
15	2,5	3,6		1,56
16	3,4	4,7	8448	4,08
17	1,7	2,4	0	0
18	1,5	2,2	0	0
19	2,5	3,6	1040	1,56
20	4,4	6,2	6480	8,4
21	2,4	3,5	960	1,68
22	2,5	3,6	1040	1,56
23	2,3	3,3	768	1,44
24	2,3	3,3	768	1,44
25	1,5	2,1	0	0
26	1,1	1,6	0	0
27	1,7	2,5	240	0
28	4,0	5,8	5208	6,24
29	4,4	6,2	6480	8,4
30	3,1	4,4	2112	3,36
TOPLAM ENERJİ (kWh)			40.946	51,8

Tablo 10-15 Nisan Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Mayıs-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,2	1,7	0	0
2	0,3	0,5	0	0
3	3,1	4,4	2112	3,36
4	1,4	2,0	0	0
5	1,4	2,0	0	0
6	1,0	1,5	0	0
7	1,2	1,7	0	0
8	2,4	3,5	960	1,68
9	2,7	3,8	1200	2,4
10	1,0	1,5	0	0
11	0,2	0,2	0	0
12	8,1	11,5	42.000	36,96
13	0,2	0,2	0	0
14	0,2	0,3	0	0
15	2,0	3,0	432	0
16	1,1	1,6	0	0
17	1,3	1,9	0	0
18	2,2	3,0	432	1,44
19	1,7	2,3	0	0
20	3,1	4,4	2114	4,4
21	2,4	3,3	768	3,5
22	3,5	5,0	3048	4,2
23	4,4	6,2	6440	8,4
24	3,1	4,4	2112	3,36
25	3,6	5,2	3600	4,56
26	3,8	5,2	3600	5,28
27	4,0	6,0	5760	6,24
28	3,8	5,4	4272	5,28
29	2,0	2,7	312	0
30	2,0	2,9	384	0
31	1,9	2,7	312	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			79.858	91,06

Tablo 10-16 Mayıs Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Haziran-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,2	1,8	0	0
2	2,3	3,3	768	1,44
3	1,0	1,4	0	0
4	1,5	2,2	0	0
5	1,4	2,0	0	0
6	1,3	1,9	0	0
7	1,8	2,5	240	0
8	1,7	2,4	0	0
9	1,7	2,5	240	0
10	1,5	2,2	0	0
11	1,8	2,5	240	0
12	2,0	2,9	384	0
13	2,0	3,0	432	0
14	2,3	3,3	768	1,44
15	2,0	2,9	384	0
16	2,3	3,3	768	1,44
17	2,3	3,3	768	1,44
18	2,5	3,5	960	1,56
19	2,7	3,5	960	2,4
20	2,3	3,0	432	1,44
21	2,3	3,3	768	1,44
22	2,3	3,3	768	1,44
23	2,4	3,5	960	1,68
24	2,4	3,5	960	1,68
25	2,3	3,3	768	1,44
26	2,0	2,9	384	0
27	1,8	2,5	240	0
28	1,9	2,7	312	0
29	2,0	2,9	384	0
30	2,0	2,9	384	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			13272	18,84

Tablo 10-17 Haziran Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Temmuz-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	2,0	3,0	432	0
2	2,0	2,9	384	0
3	2,3	3,3	768	1,44
4	2,3	3,3	768	1,44
5	2,4	3,5	960	1,68
6	2,3	3,3	768	1,44
7	2,4	3,5	960	1,68
8	2,3	3,3	768	1,44
9	2,3	3,0	432	1,44
10	2,3	3,0	432	1,44
11	2,0	2,9	384	0
12	2,5	3,5	960	1,56
13	3,0	4,0	1344	3,12
14	3,0	4,4	2112	3,12
15	3,0	4,2	1680	3,12
16	3,1	4,8	2688	3,36
17	4,4	5,8	5208	6,24
18	2,3	3,3	768	1,44
19	2,0	2,9	384	0
20	1,9	2,7	312	0
21	2,3	3,3	768	1,44
22	2,3	3,5	960	1,44
23	1,9	2,9	384	0
24	1,8	2,5	240	0
25	2,0	2,9	384	0
26	2,0	3,0	432	0
27	1,8	2,7	312	0
28	1,7	2,3	0	0
29	1,6	2,3	0	0
30	1,6	2,3	0	0
31	1,5	2,2	0	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			25992	38,84

Tablo 10-18 Temmuz Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Ağustos-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,5	2,1	0	0
2	2,0	3,0	432	0
3	2,3	3,3	768	1,44
4	2,0	2,9	384	0
5	1,9	2,7	312	0
6	1,5	2,1	0	0
7	1,4	2,0	0	0
8	2,0	2,9	384	0
9	1,9	2,7	312	0
10	1,7	2,5	240	0
11	1,4	1,9	0	0
12	1,2	1,7	0	0
13	1,8	2,5	240	0
14	1,7	2,4	0	0
15	1,7	2,5	240	0
16	1,6	2,3	0	0
17	2,0	3,0	432	0
18	2,0	2,9	384	0
19	1,7	2,5	240	0
20	1,5	2,1	0	0
21	1,2	1,7	0	0
22	1,9	2,7	312	0
23	2,5	3,5	960	1,56
24	2,5	3,5	960	1,56
25	2,3	3,3	768	1,44
26	2,0	2,9	384	0
27	1,9	2,7	312	0
28	1,9	2,7	312	0
29	2,3	3,3	768	1,44
30	2,5	3,5	960	1,56
31	2,4	3,5	960	168
TOPLAM ENERJİ (kWh)			11.064	10,68

Tablo 10-19 Ağustos Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Eylül-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	2,3	3,3	768	1,68
2	2,3	3,3	768	1,68
3	2,0	2,9	0	0
4	1,0	1,5	0	0
5	1,3	1,9	0	0
6	1,5	2,2	0	0
7	1,6	2,3	0	0
8	1,8	2,5	240	0
9	1,9	2,7	312	0
10	1,8	2,7	312	0
11	1,7	2,5	240	0
12	1,7	2,5	240	0
13	1,7	2,5	240	0
14	1,5	2,2	0	0
15	1,5	2,1	0	0
16	1,4	2,0	0	0
17	1,1	1,6	0	0
18	1,2	1,7	0	0
19	1,1	1,5	0	0
20	1,2	1,7	0	0
21	1,1	1,6	0	0
22	1,1	1,5	0	0
23	0,9	1,3	0	0
24	1,9	2,7	312	0
25	1,4	1,9	0	0
26	1,0	1,4	0	0
27	1,1	1,5	0	0
28	1,2	1,8	0	0
29	1,4	1,9	0	0
30	1,3	1,8	0	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			3432	3,36

Tablo 10-20 Eylül Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Ekim-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,6	2,3	0	0
2	1,7	2,4	0	0
3	1,9	2,7	312	0
4	1,6	2,3	0	0
5	1,7	2,5	240	0
6	1,8	2,5	240	0
7	1,5	2,1	0	0
8	1,6	2,3	0	0
9	1,2	1,6	0	0
10	1,1	1,6	0	0
11	1,5	2,2	0	0
12	1,4	2,0	0	0
13	2,0	2,9	384	0
14	2,7	3,8	1200	2,4
15	1,9	2,7	312	0
16	2,7	4,0	1344	2,4
17	1,3	1,8	0	0
18	1,4	2,0	0	0
19	1,8	2,5	240	0
20	2,0	2,9	284	0
21	1,9	2,7	312	0
22	1,8	2,5	240	0
23	1,1	1,6	0	0
24	1,8	2,5	240	0
25	2,0	2,9	384	0
26	2,4	3,5	960	1,68
27	1,3	1,9	0	0
28	1,6	2,3	0	0
29	1,6	2,3	0	0
30	1,7	2,4	0	0
31	1,3	1,8	0	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			6692	6,48

Tablo 10-21 Ekim Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Kasım-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,3	1,8	0	0
2	1,6	2,3	0	0
3	3,1	4,4	2112	3,36
4	1,8	2,5	240	0
5	1,1	1,6	0	0
6	1,7	2,4	0	0
7	1,6	2,3	0	0
8	1,8	2,5	240	0
9	1,5	2,2	0	0
10	3,1	4,4	2112	3,36
11	3,6	5,1	1224	4,56
12	2,5	3,5	960	1,56
13	2,7	3,8	1200	2,4
14	1,8	2,5	240	0
15	2,0	2,99	384	0
16	1,8	2,5	240	0
17	1,4	2,1	0	0
18	1,0	1,5	0	0
19	0,7	0,9	0	0
20	1,2	1,7	0	0
21	2,7	3,8	1200	2,4
22	2,3	3,3	768	1,44
23	2,3	3,3	768	1,44
24	1,7	2,4	0	0
25	1,0	1,5	0	0
26	1,3	1,9	0	0
27	1,9	2,9	384	0
28	2,7	3,8	1200	2,4
29	2,3	3,0	432	1,44
30	1,8	2,5	240	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			13.944	24,36

Tablo 10-22 Kasım Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Aralık-2007				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,4	2,1	0	0
2	2,3	3,3	768	1,44
3	1,8	2,5	240	0
4	1,3	1,9	0	0
5	2,7	4,0	1344	2,4
6	3,0	4,2	1680	3,12
7	2,4	3,3	768	1,68
8	1,1	1,6	0	0
9	1,9	2,9	384	0
10	3,0	4,2	1680	3,12
11	1,7	2,4	0	0
12	1,4	2,0	0	0
13	1,8	2,5	240	0
14	1,4	2,1	0	0
15	1,7	2,4	0	0
16	1,8	2,5	240	0
17	1,2	1,7	0	0
18	1,9	2,9	384	0
19	2,0	2,9	384	0
20	2,3	3,3	768	1,44
21	3,1	4,4	2112	3,36
22	2,3	3,3	768	1,44
23	1,8	2,5	240	0
24	1,8	2,5	240	0
25	1,1	1,6	0	0
26	1,1	1,6	0	0
27	1,2	1,8	0	0
28	2,3	3,0	432	1,44
29	1,8	2,5	240	0
30	2,0	2,9	384	0
31	1,8	2,5	240	0
TOPLAM ENERJİ (kWh)			13536	19,44

Tablo 10-23 Aralık Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Ocak-2008				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,5	2,2	0	0
2	1,7	2,4	0	0
3	1,3	1,9	0	0
4	3,0	4,4	2112	3,12
5	1,9	2,7	312	0
6	1,6	2,4	0	0
7	1,6	2,3	0	0
8	1,1	1,5	0	0
9	0,7	1,0	0	0
10	0,6	0,9	0	0
11	0,8	1,2	0	0
12	1,0	1,5	0	0
13	1,8	2,7	312	0
14	1,5	2,1	0	0
15	2,4	3,5	960	1,68
16	1,8	2,5	240	0
17	1,3	1,8	0	0
18	1,8	2,5	240	0
19	1,7	2,4	0	0
20	1,1	1,5	0	0
21	1,6	2,3	0	0
22	1,4	2,0	0	0
23	1,1	1,6	0	0
24	1,2	1,7	0	0
25	1,1	1,6	0	0
26	1,8	2,5	240	0
27	4,1	5,8	5208	6,24
28	2,3	3,3	768	1,44
29	1,6	2,3	0	0
30	2,0	2,9	384	0
31	3,4	4,8	2688	4,08
TOPLAM ENERJİ (kWh)			13464	15,56

Tablo 10-24 Ocak Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

Şubat-2008				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	E-70 Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)	Fortis Montana Türbinin Ürettiği Enerji (kWh)
1	1,4	2,0	0	0
2	1,4	2,0	0	0
3	3,0	4,4	2112	3,12
4	1,6	2,3	0	0
5	1,8	2,5	240	0
6	2,7	3,8	1200	2,4
7	2,0	2,9	384	0
8	1,7	2,4	0	0
9	1,5	2,2	0	0
10	1,1	1,5	0	0
11	1,1	1,6	0	0
12	1,4	2,0	0	0
13	1,0	1,5	0	0
14	1,3	1,9	0	0
15	1,7	2,4	0	0
16	1,6	2,3	0	0
17	1,5	2,1	0	0
18	1,5	2,2	0	0
19	1,7	2,4	0	0
20	1,8	2,5	240	0
21	1,7	2,5	240	0
22	1,3	1,9	0	0
23	1,2	1,7	0	0
24	2,3	3,3	768	1,44
25	1,8	2,5	240	0
26	1,7	2,4	0	0
27	2,0	3,0	432	0
28	2,4	3,5	960	1,68
29	2,5	3,8	1200	1,56
TOPLAM ENERJİ (kWh)			8016	10,2

Tablo 10-25 Şubat Ayı Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Üretilen Güç

10.2 Üretilen Elektrik Birim Fiyatının Hesaplanması

Tablo 10.14–25’deki veriler yardımıyla, Fortis Montana ve Enercon E–70 türbininin bir yıl boyunca üreteceği elektrik enerjisi miktarları sırasıyla 340,732 kWh ve 277.678 kWh (12 ayın toplamı) olarak bulunmuştur. Bazı kabuller ve genellemeler yapılarak ve bazı değerler ortalama alınarak 5 kW ve 2,3 MW kapasiteli rüzgâr türbinlerinden bölge koşullarında üretilebilecek elektrikliğin birim fiyatının bulunabilmesi için şu hesaplamalar yapılabilir:

2,3 MW Kurulu güç için kabuller:

Kapasite: 2300 kW (1 adet Enercon E–70 rüzgâr türbini)

Türbinin ürettiği bir yıllık enerji: 277.678 kWh

Toplam yatırım maliyeti: Ortalama 1.875.000 € (%72 türbin maliyeti, %28 diğer maliyetler)

Proje Finansı: %100 kredi

Faiz: %6

Amortisman Süresi: 20 yıl

Türbin ömrü: 25 yıl

İşletme giderleri: Yatırım maliyetinin %2,5’i

Hurda Değer: Yatırım maliyetinin %5’i

Toplam Yıllık Maliyet Dünyada Ortalama: 4–6 €/kWh

Hesaplamalar:

Bölüm 8’deki denklem 8.1’den faydalanılarak geri kazanma faktörü (C) şu şekilde olur;

$$C = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,06(1+0,06)^{20}}{(1+0,06)^{20} - 1} = 0,08718$$

Denklem 8.2 yardımı ile üretilen elektrikliğin birim fiyatı;

$$\dot{U} = \frac{C_T(C+I)}{E} = \frac{1.875.000(0,08718+0,025)}{277.678} = 0,7574 \text{ €/kWh} = 75,74 \text{ €/kWh}$$

olarak bulunur. Bu sonucun dünya standartlarına göre (4–6 €/kWh) oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Tasarlanan santralin ekonomik olmamasının nedeni bölgenin rüzgâr kapasite faktörünün düşük olmasından dolayıdır. Dünyada kabul edilebilir en düşük kapasite faktörü %20 civarındadır. Kampus alanına ait kapasite faktörünü hesapladığımızda %20’nin altında çıkacağı aşikârdır.

Kapasite Faktörü=YÜE/TTKÜE

YÜE: Yıllık üretilen enerji

TTKÜE: Türbinin tam kapasitede ürettiği enerji

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{277.678 \text{ kWh}}{2300 \text{ kW} \cdot 24 \text{ saat} \cdot 365 \text{ gün}} = 0,0137 = \%1,37$$

Olarak bulunur. Eğer bölgenin kapasite faktörü %20 olsaydı bu durumda üretilen elektriğin birim fiyatı şu şekilde olur:

$$\text{Yıllık Enerji Üretimi} = 2300 \text{ kW} \cdot 24 \text{ saat} \cdot 365 \text{ gün} \cdot 0,20 = 4.029.600 \text{ kWh}$$

Geri kazanma faktörü daha önce hesaplanmıştı ($C=0,08718$) Üretilen elektriğin birim fiyatı ise:

$$\dot{U} = \frac{C_T (C + I)}{E} = \frac{1.875.000(0,08718 + 0,025)}{4.029.600} = 0,0522 \text{ €/kWh} = 5,22 \text{ €/kWh}$$

olur. Bu değer dünya standartlarında bir değerdir.

5 kW Kurulu güç için kabuller:

Kapasite: 5 kW (1 adet Fortis Montana rüzgâr türbini)

Türbinin ürettiği bir yıllık enerji: 340,732 kWh

Toplam yatırım maliyeti: Ortalama 12.240 €

Amortisman Süresi: 20 yıl

Türbin ömrü: 25 yıl

Bakım giderleri: 100 €/yıl

TEDAŞ elektrik satış fiyatı: 8 €/kWh

Hesaplamalar:

Ü: üretilen elektriğin birim fiyatı

YM: yatırım maliyeti

YBG: yıllık bakım giderleri

YÜE: yıllık üretilen enerji

AS: amortisman süresi (20 yıl)

$$\dot{U} = \frac{YM + YBG * AS}{YÜE * AS} = \frac{12.240 + 100 * 20}{340,732 * 20} = 2,0896 \text{ €/kWh} = 208,96 \text{ €/kWh}$$

Olarak bulunur. Bu değer E-70 türbini için bulunan değerden yaklaşık üç kat daha yüksektir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Cumhuriyet Üniversitesi Kampus Alanı içerisinde rüzgâr enerjisi yardımı ile elektrik üretimi sisteminde mevcut rüzgâr hızı verilerine göre; birim enerji maliyeti 2300 kW'lık türbin için 75,74 €/kWh ve 5 kW'lık türbin için 208,96 €/kWh olarak bulunmuştur. Diğer enerji sistemleri ve dünyadaki ortalama rüzgâr enerjisi üretim maliyetleri göz önüne alındığında bu değerlerin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sistem kendini bu fiyatlarla ancak 20 yılda amorti edebilmektedir. Türbin ömrünün 25 yıl olduğu göz önüne alındığında, Sivas'ta kurulacak olan ticari amaçlı bir rüzgâr santrali; mevcut ölçüm sonucu ve hesaplamalara göre karlı bir yatırım değildir, bunun yanında evler ve küçük işletmelerin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere kullanılan küçük güçlü rüzgâr türbinleri için de elverişli olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada piyasada bulunan rüzgâr türbinleri arasından düşük rüzgâr hızlarında elektrik üretmeye başlayan modeller seçilmesine rağmen sonuçlar ekonomik çıkmamıştır. Bunun nedeni: mevcut rüzgâr verilerine göre bölgenin rüzgâr hızının düşük olmasıdır. Türbinlerin güç eğrileri incelendiğinde türbinin ürettiği elektriğin ekonomik olabilmesi için, kısa zamanda türbin fiyatlarında büyük ucuzlamaların olmayacağını öngörürsek; kule yüksekliğindeki rüzgâr hızının yıllık ortalama 5,5–6,0 m/s ve üzerinde olması gerekmektedir. Diğer bir deyişle mevcut türbinlerin, bölge koşullarında kapasite faktörünün en az %20 olabilmesi için, bölgenin kule yüksekliğindeki yıllık ortalama rüzgâr hızının en az 5,5–6,0 m/s olması gerekir.

Bölüm 10'da, 2300 kW'lık türbin için yapılan ikinci hesaplamada ise; bölgenin rüzgâr kapasite faktörünün %20 olduğu kabul edilerek yeniden birim enerji maliyeti hesaplanmıştır. Bu kez bulunan 5,22 €/kWh değerinin oldukça makul olduğu görülmektedir. Ancak bu bir varsayımdır, fakat Sivas'ta kapasite faktörü %20 olan bölgeler bulunabilir. Bunun için rüzgâr hızının yüksek olacağı tahmin edilen birçok bölgede rüzgâr ölçümlerinin yapılması gerekir.

Yukarıdaki tanımlardan anlaşılacağı gibi 17m den alınan ölçümlerde ve anemometrenin bağlı olduğu aydınlatma direğinin etrafında ağaçlık alanların, yer şeklinin engebeli olması ve yüksek binaların bulunması yüzey pürüzlülüğünü artırmasından dolayı, rüzgâr hızlarının düşük çıkmasına neden olmuştur. Normal şartlar altında bu tip çalışmanın yapılması için ölçüm istasyonunun yerden yüksekliğinin en az 30 metre olması gerekmektedir. Ayrıca rüzgâr hızının yanında havanın sıcaklığı, yoğunluğu, rüzgârın frekansı ve rüzgârın yönü gibi önemli parametrelerin alınarak daha sağlıklı ve güvenilir bir çalışma yapılabilir. Ancak mevcut olduğumuz deney düzeneğinin mekanik bir anemometre olmasından dolayı sadece rüzgâr hızından yola çıkılarak böyle bir çalışma yapılmıştır.

Türkiye'de rüzgâr enerjisi kullanımının gelişimi için; bir "Ulusal Rüzgâr Enerjisi Programı" hazırlanarak uygulamaya konulmalıdır. Uzun dönemli olması gereken bu programda hedefler, yatırımlar, teşvikler, iletim hatları ve trafo güçleri, Ar-Ge konuları yer almalıdır. Aynı zamanda Türkiye'nin dört bir yanında yapılacak ölçümlerle Türkiye'nin rüzgâr haritası gerçekçi bir biçimde

çıkarılmalıdır. Çünkü hali hazırda yayınlanmış olan Türkiye Rüzgâr Haritası Meteoroloji istasyonlarına ait ve yerden 10 m yükseklikteki ölçümler sonucuna göre çıkarıldığından gerçeği tam yansıtmamaktadır. Zengin rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olan kıyı bölgelerimizden başlanarak, her bölgeye uygun projeler tasarlanmalıdır. Enerji amaçlı ölçümler santral kurucusu firmalar tarafından yapılabileceği gibi, ilgili kamu kuruluşları ve üniversiteler tarafından da yapılabilir. Rüzgâr türbini sistemleri, enterkonnekte sistemin güçlkle ulaştığı ve bu sistemden beslemenin yüksek maliyete sahip olduğu bölgelerde ve kırsal alanlarda öncelikli olarak hayata geçirilmelidir. Rüzgâr santralleri dönemine adım atılırken, başka ülkelerin eski rüzgâr santrallerini yenilemek için söküp ucuza satacakları küçük güçlü kullanılmış rüzgâr türbinleri ile rüzgâr çöplüğü alımından özenle kaçınılmalıdır ve yeni üretilmiş rüzgâr türbini olması koşulu mutlaka uygulanmalıdır. Yerli üretime dayalı, Orta Doğu ve Orta Asya pazarına ürün satabilecek rüzgâr türbin sanayii oluşturulması düşünülmelidir. Bu bağlamda, rüzgâr enerjisi sistemlerini temel alan dersler üniversitemizce mühendislik dallarında okutulmalıdır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından en elverişli yörelerden başlamak üzere, Dünya'daki gelişmeleri yakından izleyerek ve konvansiyonel enerji kaynakları ile rekabet koşullarını da dikkate alarak şebeke bağlantılı rüzgâr enerji santrallerinin kurulması, elektrik enerjisi üretimimize katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akalın, A. 2005, Dünyada Rüzgâr Enerjisi Kaynak Potansiyeli, TÜREB Yayınları

Akyüz, O. 2000, Rüzgâr Enerjisi İle Diğer Enerji Kaynaklarının Fiyat/Maliyet Analiz Raporu, Mayıs 2000, Ankara

Carta, J.A., Ramirez, P., 2006, Analysis of two-component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distributions, *Renewable Energy* 32 (2007) 518–531

Çağlar, M., Canbaz, M., 2002, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Ekim 2002, İstanbul

Çelik, A.N., 2004, A Statistical Analysis Of Wind Power Dencity Based On The Weibull And Rayleigh Models At The Region Of Turkey, *Renewable Energy*, 29(2004) 593–604

Durak, M., 2005, Avrupa Ülkelerinde Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarına Verilen Teşvikler ve Türkiye İçin Öneriler, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim 2005, Mersin

Dündar, C., Canbaz, M., Akgün, N., Ural, G., 2002, Türkiye Rüzgâr Atlası, DMİ yayınları, Haziran 2002, Ankara

El-Osta, W., Kalifa, Y., 2002, Prospects of wind power plants in Libya: a case study *Renewable Energy* 28 (2003) 363–371

Güler, Ö., 2005, Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi, V. Enerji Sempozyumu, Aralık 2005, Ankara

Jaramillo, O.A., Borja, M.A., 2004, Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bimodal probability distribution case, *Renewable Energy*, 29 (2004) 1613–1630

Köse, R., Özgür, M. A., Erbaş, O., Tuğcu, A., 2003, The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya, Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8 (2004) 277–288

Köse, R., 1998, Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi, 3 e Dergisi Temmuz 1998 sayısı, s. 68-72

Onat, C., Cambazoğlu, S., 2002, Rüzgâr Türbinlerinin Ekonomisi Üzerine Bir Araştırma, Mühendis ve Makine Dergisi, sayı: 504

Onat, C., 2001, Rüzgâr Türbini Pervanesi Dizaynı, İnönü Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Malatya

Özerdem, B., Özer, S., Tosun, M., 2006, Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 94 (2006) 725–743

Özdamar, A., 2000, Büyük Anma Güçlü Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, sayı: 32

Polat, U., 2000, Rüzgâr Santralleri ve Enerji Sistemlerine Bağlantılarının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Şen, Ç., 2003, Gökçeada'nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgâr Enerjisi İle Karşılanması, Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İzmir

TEİAŞ Raporu, 2005, Yenilenebilir Kaynaklardan Değişken Üretim Yapan Santrallerin Elektrik Üretim-İletim Sistemine Teknik ve Ekonomik Etkileri ve AB Uygulamaları, TEİAŞ Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı, Mart 2005, s. 36–67

Uyar, T.S., 1985, Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi, TÜBİTAK Bülteni, cilt2, sayı 6, s. 22-23

www.alternatifenerji.com

www.awea.org

www.demirer.com.tr

www.eie.gov.tr

www.enercon.de

www.ewea.org

www.gyte.edu.tr

www.meteor.gov.tr

www.windpower.org

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Sivas'ta doğdu. İlk ve orta ve lise öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Öğretmenliği Bölümü'nü kazandı ve 2004 yılında girdiği bölümden mezun oldu. 2005 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansına başladı. 2007 Yılında özel bir şirkette çalışmaya başladı. Halen devam etmektedir.