

**RÜZGAR ENERJİSİ VE SİVAS ŞARTLARINDA BİR
RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI**

**Veysel ŞİMŞEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
2007**

RÜZGAR ENERJİSİ VE SİVAS ŞARTLARINDA BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI

Veysel ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

2007

Danışman: Doç. Dr. Rafael HÜSEYNOV

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

Üye:

Üye:

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

.../.../2007

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Halil GÜRSOY

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

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Konunun Tanımı.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Çalışmanın Yöntemi.....	3
2. RÜZGAR ENERJİSİ VE UYGULAMALARI.....	4
2.1. Rüzgar Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi.....	4
2.2. Rüzgar Enerjisinin Üstünlükleri.....	5
2.3. Rüzgar Enerjisinin Diğer Enerji Türleri İle Karşılaştırılması.....	5
2.4. Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi.....	7
2.4.1. Rüzgar verilerinin istatistiksel analizi.....	7
2.5. Rüzgar Gülü.....	8
2.5.1 Rüzgar gülleri değişir.....	9
2.5.2. Rüzgar gülü kullanımı.....	10
2.6. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Durumu.....	10
2.6.1. Dünya’da rüzgar potansiyeli.....	10
2.6.2. Dünya’da rüzgar kaynağı kullanım hedefleri.....	12
2.6.3. Avrupa birliği ülkelerinde rüzgar enerjisi.....	15
2.7. Rüzgar Enerjisinin Türkiye’deki Durumu.....	21
2.7.1. Türkiye rüzgar atlası.....	26
2.8. Avrupa Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Yatırımlarına Verilen Teşvikler.....	28
2.8.1. Teşvik türleri.....	28
2.8.1.1. Mali teşvikler.....	28
2.8.1.2. Vergi teşvikleri.....	28
2.8.1.3. Üretim teşvikleri.....	29
2.8.2. Çeşitli avrupa birliği ülkelerinde verilen teşvikler.....	29
3. RÜZGAR ENERJİSİ METODOLOJİSİ.....	33
3.1. Rüzgardaki Enerji.....	33
3.2. Güç Kayıpları.....	37
3.2.1. Profil kayıpları.....	37
3.2.2. Uç kayıpları.....	38
3.2.3. Girdap kayıpları.....	38
3.3. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu.....	39
3.4. Hellmann Yükseltme Bağıntısı.....	40
3.4.1. Pürüzlülük sınıfları ve rüzgar hızı grafikleri.....	40
4. RÜZGAR ENERJİSİNİN FİYAT VE MALİYET ANALİZİ.....	44
4.1. Rüzgar Enerjisinin Mali Analizi.....	44
4.1.1. Ekonomik avantajlar.....	44
4.1.2. Kapasite bakımından maliyet ekonomikliği karşılaştırılması.....	45
4.1.3. Ekonomik değerlendirme.....	46
4.1.4. Rüzgar enerjisi maliyet analizi.....	46
4.1.5. Rüzgar santrali kurulumu esnasında oluşan masraflar.....	48
4.1.6. İşletme aşamasındaki masraflar.....	48
4.1.7. Muhtelif enerji kaynaklarının maliyet karşılaştırması.....	49

4.1.8. Türkiye’de rüzgar enerjisinin sübvansede edilmesi.....	49
4.1.9. Sistem maliyeti.....	50
4.1.10. Tesis edilecek yer maliyeti.....	50
4.1.11. Türbin maliyeti.....	51
4.1.12. İletim maliyeti.....	52
4.1.13. Bakım maliyeti.....	52
4.1.14. Birim enerji maliyeti.....	52
4.1.15. Finansal faktörler ve mali değerlendirme.....	53
5. MATERYAL VE METOD.....	55
5.1. Kurulması Tasarlanan Rüzgar Santralinin Yeri.....	55
5.2. Hız ve Yön Ölçümü.....	57
5.3. Türbin Seçimi.....	57
6. BULGULAR.....	64
6.1 Günlük Rüzgar Ölçüm Sonuçları ve Enerji Potansiyeli.....	64
6.2. Aylık Rüzgar Hızı Ortalamaları.....	81
6.3. Rüzgar Hızı Frekans Dağılımı.....	82
6.4. Hakim Rüzgar Yönü.....	83
6.5. Üretilen Elektriğin Birim Fiyatının Hesaplanması.....	85
7. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı

Veysel ŞİMŞEK

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rafael HÜSEYNOV

Bu çalışmada genel olarak; rüzgara özgü tanımlar ve rüzgar enerjisi incelenmiş olup rüzgar enerjisinin Türkiye’de ve Dünya’daki durumu ile ilgili teorik ve istatistikî bilgiler verilmiştir. Özelde ise, Sivas Meraküm Tepe’ye ait 2005 yılı günlük rüzgar hızı verileri incelenmiştir. Bu bağlamda Meraküm Tepe’nin; rüzgar enerjisi potansiyeli ve rüzgar frekans dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca bölge şartlarında kurulması tasarlanan 2300 KW ve 5 KW gücündeki iki farklı rüzgar türbininin üreteceği elektriğin birim fiyatı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: rüzgar enerjisi, rüzgar gücü, rüzgar santrali

SUMMARY

MSc Thesis

Wind Energy And Designing A Wind Power Plant in Sivas Condition

Veysel ŞİMŞEK

Cumhuriyet University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rafael HUSEYNOV

In this work, in generally, wind characteristics and wind energy has been investigated and in addition, theoretical and statistical information about situation of wind energy in Turkey and World has been given. In particular, daily wind speed data in year of 2005 relating to Sivas Merakum Hill has been investigated. In a conclusion the potential of wind energy, wind frequency distribution has been defined. Additionally, two different wind generators, which have 2300 KW and 5 KW powers, have been projected in the region conditions and unit price of energy has been calculated.

Keywords: wind energy, wind power, wind power plants

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıŐması sűresince deęerli fikir ve eleŐtirileri ile araŐtırmama katkıda bulunan, ilgi ve hoŐęörűsűnű benden esirgemeyen sevgili danıŐman hocam, Sayın Doç. Dr. Rafael HÜSEYNOV'a ve Bölűm BaŐkanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa HOŐTUT'a teŐekkűrű bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1- Türkiye’de kaynaklara göre enerji üretimi.....	2
Şekil 2.1- Weibull ve Rayleigh modellerindeki hata yüzdeleri.....	7
Şekil 2.2- Weibull şekil katsayısının hız dağılımına etkisi.....	8
Şekil 2.3- Rüzgar gülü için kullanılan yön isimleri ve açıları.....	9
Şekil 2.4- Örnek bir rüzgar gülü.....	9
Şekil 2.5- Dünyanın teknik rüzgar potansiyel dağılımı.....	11
Şekil 2.6- Dünyanın ekonomik rüzgar potansiyel dağılımı.....	12
Şekil 2.7- Dünya rüzgar enerjisi kurulu güç hedefi.....	14
Şekil 2.8- Dünyanın rüzgar kurulu güç hedefleri dağılımı.....	15
Şekil 2.9- AB-15’de rüzgar kurulu güç gelişimi.....	16
Şekil 2.10- AB-15 ülkelere göre rüzgar kurulu gücü.....	17
Şekil 2.11- Türkiye'nin ilk rüzgar santrali, (1.5 MW) Çeşme-Alaçatı, Şubat 1998.....	24
Şekil 2.12- Bozcaada Rüzgar Santrali, 17 x 600 KW = 10.2 MW Haziran 2000.....	25
Şekil 2.13- Aero, Rüzgar Türbin Kanat Fabrikası, İzmir 2002.....	25
Şekil 2.14- Türkiye rüzgar potansiyel dağılımı.....	27
Şekil 3.1 - Yavaşlatma faktörü değişimi.....	36
Şekil 3.2- CPschmitz- A, a eğrisi.....	38
Şekil 3.3- Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği ($Z_0=0,0002$ m).....	40
Şekil 3.4- Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği ($Z_0=0,03$ m).....	40
Şekil 3.5- Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi ($Z_0=0,10$ m).....	41
Şekil 3.6- Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi ($Z_0=0,40$ m).....	41
Şekil 4.1- Rüzgar türbini toplam maliyetleri.....	51
Şekil 5.1- Kurulması tasarlanan rüzgar santralinin yerinin kuşbakışı görünüşü.....	55
Şekil 5.2- Kurulması tasarlanan rüzgar santralinin yerinin havaalanından görünüşü.....	56
Şekil 5.3- Kurulması tasarlanan rüzgar santralinin yerinin havaalanı kulesinden görünüşü.....	56
Şekil 5.4- Enercon E-70 türbinin görüntüsü.....	58
Şekil 5.5- Enercon E-70 türbinine ait güç eğrisi grafiği.....	58
Şekil 5.6- Fortis Montana türbinin görüntüsü.....	61
Şekil 5.7- Fortis Montana türbinine ait güç eğrisi grafiği.....	61
Şekil 6.1- Ocak ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	77
Şekil 6.2- Şubat ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	77
Şekil 6.3- Mart ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	77
Şekil 6.4- Nisan ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	78
Şekil 6.5- Mayıs ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	78
Şekil 6.6- Haziran ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	78
Şekil 6.7- Temmuz ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	79

Şekil 6.8- Ağustos ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	79
Şekil 6.9- Eylül ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	79
Şekil 6.10- Ekim ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	80
Şekil 6.11- Kasım ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	80
Şekil 6.12- Aralık ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği.....	80
Şekil 6.13- 2003-2005 yılları arası aylara göre ortalama rüzgar hızları grafiği.....	81
Şekil 6.14- Rüzgar Hızı Frekans Dağılımı (113 m yükseklik için).....	82
Şekil 6.15- Bölgenin yönlere göre rüzgar hızı frekans dağılımı (Rüzgar gülü).....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye’de kaynaklara göre elektrik üretimi	2
Çizelge 2.1. Enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri açısından kıyaslaması.....	6
Çizelge 2.2. Enerji üretim metotlarının maliyet ömür ilişkisi.....	6
Çizelge 2.3. Dünya 2020 talep projeksiyonu ve ekonomik rüzgar potansiyeli.....	11
Çizelge 2.4. Dünyada planlanan rüzgar enerjisi gelişmesi.....	13
Çizelge 2.5. Dünya rüzgar kurulu gücünün dağılımı (2020 projeksiyonu IEA World Energy).....	15
Çizelge 2.6. 2003 yılı itibariyle Avrupa Birliği’nde kurulan rüzgar kurulu gücü.....	20
Çizelge 2.7. Bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ve hızları.....	22
Çizelge 2.8. Türkiye'deki rüzgar santralleri.....	23
Çizelge 2.9. Batı Anadolu Bölgesindeki sekiz yörenin rüzgar gücü yoğunluğu.....	24
Çizelge 3.1. Pürüzlülük uzunluğu ve yüzey yapısı özelliklerine göre pürüzlülük sınıfları.....	42
Çizelge 3.2. Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi.....	43
Çizelge 4.1. Muhtelif enerji kaynaklarının kapasite maliyeti kıyaslaması.....	45
Çizelge 4.2. Termik santral maliyetleri.....	46
Çizelge 4.3. Elektrik santrallerinin kıyaslanabilir kuruluş maliyetleri.....	47
Çizelge 4.4. Maliyet hesabı kabulleri.....	47
Çizelge 4.5. İşletme aşamasında kıyaslanabilir maliyetler.....	48
Çizelge 4.6. Temel yakıt tiplerinin maliyeti.....	49
Çizelge 5.1. E-70 türbininin rüzgar hızına göre ürettiği güç ve güç faktörü.....	59
Çizelge 5.2. E-70 türbinine ait teknik bilgiler.....	60
Çizelge 5.3. Fortis Montana türbininin rüzgar hızına göre ürettiği güç tablosu.....	62
Çizelge 5.4. Fortis Montana türbinine ait teknik bilgiler.....	63
Çizelge 6.1. Ocak ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	65
Çizelge 6.2. Şubat ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	66
Çizelge 6.3. Mart ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	67
Çizelge 6.4. Nisan ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	68
Çizelge 6.5. Mayıs ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	69
Çizelge 6.6. Haziran ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	70
Çizelge 6.7. Temmuz ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	71
Çizelge 6.8. Ağustos ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	72
Çizelge 6.9. Eylül ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	73
Çizelge 6.10. Ekim ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	74
Çizelge 6.11. Kasım ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	75
Çizelge 6.12. Aralık ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç.....	76
Çizelge 6.13. 1990-2005 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları (m/s).....	81

Çizelge 6.14. İstatistiki rüzgar hız dağılım değerleri.....	82
Çizelge 6.15. 2005 yılı aylık rüzgar hızlarının yönlere göre dağılımı ve esme sayısı (saatlik).....	83
Çizelge 6.16. Yönlere göre ortalama rüzgar hızları ve frekansları.....	84

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
AWEA	American Wind Energy Association (Amerika Rüzgar Enerjisi Birliği)
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EEG	Erneubare-Energien-Gesetz (Yenilenebilir Enerji Knunu)
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EWEA	European Wind Energy Association (Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Temsilciliđi)
IEC	International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi
TÜREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
WEC	World Energy Council (Dünya Enerji Kurulu)
WF	Wind Force (Rüzgar Gücü)
YİD	Yap İşlet Devret

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanımı

Enerjiye olan büyük ihtiyaç, nüfus artışı, ilerleyen sanayi ve fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenirliği; kurum, kuruluş ve hükümetleri yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Dünya üzerinde bulunduğumuz yüzyıla kadar fosil yakıtla dayalı olan enerji kullanımı; çevre kirlenmesi, rezervlerin azalması, rezervleri azalan fosil yakıtların her geçen gün biraz daha pahalılaşması, atmosferde oluşan sera etkisi, doğal bitki örtüsünün yanı sıra insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri gibi önemli nedenlerle hızla yeni enerji kaynakları bulunması zorunluluğunu doğurmuştur.

Enerji kaynakları; üretim, taşınım ve tüketim safhalarında doğaya zararlı atık ve gazlar bırakmaktadır. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların yakılması sonucunda küresel, bölgesel ve lokal ölçekte kirlenme problemi meydana gelmektedir. Bugün bütün kesimleri ile kamuoyunu en çok etkileyen ve meşgul eden çevre kirliliği, mühendislik disiplinlerinde önemli yer tutmaktadır. Dünya üzerinde genel bir tehdit oluşturmaya başlayan çevre kirliliğindeki en büyük pay fosil kökenli yakıtlara aittir. Son yüzyılda hızla gelişen sanayileşme ile birlikte aşırı derecede fosil yakıt kullanılması sonucu, yakacağın türüne ve yakma sürecine bağlı olarak açığa çıkan kirleticilerden; SO₂, NO₂, CO, CO₂, HC, uçucu kül, parçacık madde ve atık ısılar birçok çevre problemine sebep olmaktadır. Bunların her biri, canlı yaşamını tehdit ettikleri gibi, üretim kayıplarına neden olmakta, doğal hayata çeşitli olumsuz etkilerde bulunmakta ve ekolojik dengeyi bozmaktadırlar (Köse,1998).

Dünyada 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi; enerji üretimi, enerji tüketimi ve enerji yapılarında önemli değişikliklere yol açmıştır. Enerji tasarrufu politikaları uygulanmış, petrole olan bağımlılık azaltılmaya çalışılmış, kömür ve doğalgaz önem kazanmış, alternatif enerji kaynaklarından daha etkin ve yaygın şekilde istifade edilmesi için çalışmalar başlatılmıştır. Enerji temininde süreklilik, güvenilirlik, temizlik ve ekonominin sağlanması, enerji yapılarının tek kaynağa bağımlı kalmasından kaçınılması genel olarak benimsenen politikalar olmuştur. Böyle olmasına rağmen 1970'lerden bu yana dünya birincil enerji tüketimi yaklaşık %50, ham petrol tüketimi ise %25 oranlarında artmıştır. Bu dönemde tüketimin önemli bir bölümü doğalgaz ve kömüre kaydırılmış olmasına rağmen petrol tüketimi azaltılamamıştır. Önümüzdeki yüzyılda fosil enerji kaynaklarının ne kadar dayanabileceği tartışılırken, bu kez dünyamız son derece yaşamsal bir çevre krizi ile karşı karşıya kalmıştır. Sera etkisi ve ozon tabakasının delinmesi sonucunda dünyanın ısınması ve bunun neden olabileceği sorunlar gündeme gelmiştir.

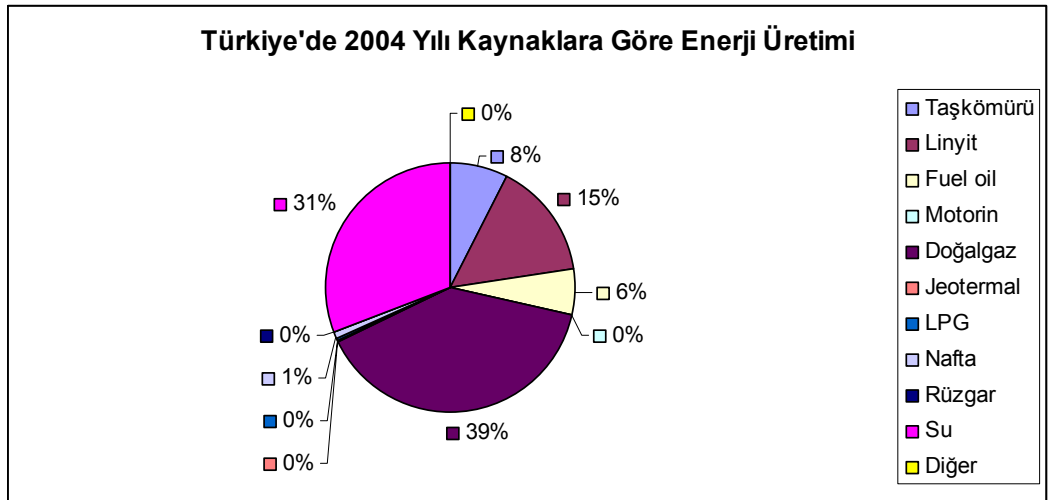
Türkiye'de enerji ihtiyacı; taşkömürü ve linyit (%22,50), petrol ve doğalgaz (%45,39), su kaynakları (%30,77) ile karşılanmaktadır. Son yıllarda taşkömürü ithal edildiği gibi, doğalgaz ithaline de 1987 yılından itibaren başlanmıştır. Halen Türkiye'de tüketilen toplam enerjinin %60'ı ithal edilmektedir. Çizelge 1.1'de Türkiye'de 2003–2004 yılları kaynaklara göre enerji üretim

miktarları görülmektedir. İleriki yıllara ait kestirimler incelendiğinde, bugün için bilinen kaynaklara ilave kaynaklar bulunmadığı takdirde, enerji sorununun devam edeceği aşıkardır.

Çizelge 1.1. Türkiye’de kaynaklara göre elektrik üretimi (DİE verilerinden yararlanılmıştır)

ÜRETİM TİPİ	2003 YILI TOPLAMI		2004 YILI TOPLAMI	
	Miktar (GWh)	Oran (%)	Miktar (GWh)	Oran (%)
Termik	104.898,3	74,77	103.518,6	69,19
Rüzgar	61,4	0,04	54,9	0,04
Hidrolik	35.326,9	25,18	46.034,8	30,77
Toplam	140.286,6	100,00	149.608,3	100,00

ENERJİ KAYNAĞI	2003 YILI TOPLAMI		2004 YILI TOPLAMI	
	Miktar (GWh)	Oran (%)	Miktar (GWh)	Oran (%)
Taşkömürü	8.718,8	6,21	11.286,5	7,54
Linyit	23.624,4	16,84	22.378,8	14,96
Fuel Oil	8.661,5	6,17	9.168,2	6,13
Motorin	0,2	0,00	17,5	0,01
Doğalgaz	62.300,9	44,41	58.728,6	39,25
Jeotermal	88,5	0,06	93,2	0,06
LPG	368,9	0,26	387,3	0,26
Nafta	1.059,3	0,76	1.396,3	0,93
Rüzgar	61,4	0,04	54,9	0,04
Su	35.326,9	25,18	46.034,8	30,77
Diğer	75,8	0,05	62,2	0,04
Toplam	140.286,6	100,00	149.608,3	100,00



Şekil 1.1– Türkiye’de kaynaklara göre enerji üretimi

Fosil yakıtların tüketiminden kaynaklanan karbondioksit, azot oksit ve metan gibi gazlar dünyamıza gelen güneş ışınlarının atmosfere yansımaya engel olarak sera etkisine neden olmaktadır. Bu arada kloroflorokarbon gazlarının, ozon tabakasının delinmesine yol açtığı ve ultraviyole ışınların ozon tabakasından süzülmeden dünyaya ulaşarak dünyanın ısınmasına neden olduğu bilinmektedir. Diğer yandan fosil yakıt tüketen termik santrallerden çıkan SO₂ ve NO₂ gazları, asit yağmurlarına sebep olup, gölleri ve nehirleri kirletmekte, ormanlara zarar vermektedir. Doğal bir CO₂ emicisi olan ormanların azalması atmosferde karbondioksit gazının daha fazla artmasına neden olmaktadır. Kısaca, fosil yakıtların büyük miktarlarda gelişi güzel tüketimi dünyamızda yaşamın sürdürülebilirliğini tehdit eder seviyelerde bir çevre sorununa yol açmıştır. Bu şartlarda; fosil yakıtların tüketimini azaltmak, hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal ve dalga enerjisi gibi temiz, yerli ve yenilenebilir kaynaklara yönelecek enerji politikaları oluşturulmalıdır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında asıl hedeflenen; enerji ihtiyacının önemine dikkat çekmek, yapılan yanlış uygulamaları bir ölçüde engellemek ve konuya bir açıklık getirmektir. Bu bağlamda, enerji konusunun çok geniş kapsamlı olmasından dolayı, tezin adından da anlaşılacağı üzere; özelde rüzgar enerjisi konusuna inilerek bir sınırlama getirilmeye çalışılmıştır. Son yıllarda sağladığı avantajları nedeniyle, elektrik enerjisinin rüzgar enerjisi yardımıyla elde edildiği uygulamalar artmaktadır. Bu durum doğal olarak, elektrik enerjisi üretimi konusuna yeni bir boyut kazandırmıştır. Ancak, yapılan gözlemler ve araştırmalar sonucunda kuruluş aşamasında düşünülmesi gereken konum, türbin v.s. seçimi gibi faktörlerin genellikle üstün körü hesaplanarak bilinçsizce uygulandığı görülmüştür. Bu bağlamda, böyle bir konunun araştırılmasının, ileriki çalışmalar ve yapılan uygulamalar için yol gösterici ve faydalı olacağı beklenmektedir. Özetle bu tezde amaçlanan; mühendislerin rüzgar enerjisi konusunda kullanabileceği, somut örneklerle desteklenmiş bir çalışma ortaya koymaktır. Buradaki somut örnek, Sivas için rüzgar enerjisinin analizini yaparak üretilebilecek elektriğin birim maliyetini çıkarmaktır.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Genel anlamda "rüzgar enerjisi" konusunun incelendiği ve özelde ise Sivas'ta rüzgardan elektrik üretiminin ele alındığı bu tez çalışmasında izlenen yöntem; rüzgar enerjisi ve rüzgar enerjisinin Türkiye'de ve Dünya'daki durumu ile ilgili teorik ve istatistikî bilgiler verip bu bilgileri kullanarak Sivas'ta kurulabilecek bir rüzgar santralinin elektrik üretim potansiyelinin ve maliyetinin belirlenmesi için gerekli hesaplamalar yapmaktır. Bu doğrultuda, öncelikle, konu ile ilgili bir çok; kitap, dergi, makale, yüksek lisans tezi ve internet üzerinde geniş kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu tez çalışmasında örnek olarak seçilen Sivas'ın Meraküm Tepesine ait 2005 yılı rüzgar hızı verileri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

2. RÜZGAR ENERJİSİ VE UYGULAMALARI

2.1. Rüzgar Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi

Rüzgar enerjisinin ana kaynağı güneştir. Güneş dünyanın bir tarafındaki havayı, toprağı ve suyu ısıtırken dünyanın diğer tarafı soğur. Günlük soğuma ve ısınma değişimleri gün boyunca dünyanın çevresinde devam eder. Ekvator bölgesi kutuplara göre daha fazla güneş enerjisi depo eder. Ekvatorda ısınan hava yükselerek kutuplara doğru gider, soğuyan hava ise ağırlaşarak geri döner. Hava 300 kuzey enleminde yığılma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak bu bölgede basınç yüksek ve iklim ılımandır. Bazı hava kütleleri bu yüksek basınç bölgesinin dışında güney doğuya doğru eser ve dünyanın dönmesinin oluşturduğu etki ile batıya sapar, bu rüzgarlar Alize Rüzgarları olarak adlandırılır (www.meteor.gov.tr).

İnsanoğlu yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisini yüzyıllardır kullanmaktadır. Hollanda'dan Amerika'ya birçok farklı coğrafyada rüzgar enerjisi yel değirmenleri vasıtasıyla un üretilmekte ve su kuyularında su çekmekte kullanılmıştır. Günümüzde ise modern rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek insanoğlunun kullanımına sunulmaktadır. Rüzgar enerjisinin bazı özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz: Rüzgar enerjisinden elde edilen güç Betz teoremine göre rüzgar hızının kübü ile orantılı olarak değişim gösterir. Rüzgar enerjisi yoğunluğu bölgesellik arz eder. Rüzgar enerjisinden faydalanmak için başka bir enerji türüne dönüştürülmesi gerekir. Enerjinin hammaddesi rüzgardır ve rüzgar atmosferde bol ve serbest olarak bulunur. Güneş ve Dünya var olduğu sürece rüzgar enerjisinden yenilenebilir enerji kaynağı olarak faydalanmak mümkündür.

İnsanoğlunun, rüzgarın gücünü keşfedip onun gücünden yararlanmaya başlaması çok eski dönemlere dayanır. Rüzgar gücünden ilk yararlanma şekli olarak yelkenli gemilerin hareket ettirilmesi ve yel değirmenlerinin çalıştırılması gösterilebilir. İlk kez M.Ö. 2800 yıllarında Mısırlıların kürek mahkumlarının gücüne ek olarak rüzgar enerjisini kullandıkları bilinmektedir. Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgarın gücünden yararlanmışlardır. Buharlı gemilerin icadına kadar yelkenliler, kıtalararası ulaşım ve ticarete büyük rol oynamıştır. Kıtalar arası ulaşımın gelişmesinde en önemli katkıyı Fenikeliler yapmıştır. Hatta bu yüzden İngilizler, Batı rüzgarlarına Ticaret rüzgarları (Trade winds) adını vermişlerdir. Yel değirmenlerinin M.Ö 2000 yıllarında eski Mısır, Çin ve Japonya'da icat edildikleri ve tahıl öğütme işleminde başarıyla kullanıldıkları kabul edilir. Yel değirmenlerinin merkezi olarak Hollanda kabul edilmektedir. Yel değirmenlerinin icadı Batıya, Haçlı Seferleri (1096–1270) sırasında Türkler yoluyla geçmiştir. Zamanla Fransa, Almanya ve İngiltere'de inşa edilmeye başlanan değirmenler; 18. yüzyıl sonlarına doğru Avrupa'da giderek yaygınlaşmıştır. Rüzgar enerjisi tür olarak, endüstriyel devrimde yararlı bir enerji kaynağı olarak benimsenmemiştir. Ancak, 1973–1974 yıllarında ortaya çıkan petrol krizi, uzak bölgelerin beslenmesi amacıyla elektrik üretimi ve suyun pompalanması için bu teknolojiye gösterilen ilgiyi yeniden canlandırmıştır. 1987'de Kaliforniya'da uygulamaya konulan bir vergi indirimi sistemi,

rüzgar endüstrisine yönelik bir atılımın öncüsü olmuştur. Halen dünyada, otuz kadar ciddi rüzgar türbini yapımcısı mevcuttur. Bunların çoğu Avrupa Birliğine üye ülkelerde bulunmaktadır. Yel değirmenlerinin en modern şekli olarak kabul edilen ve onun prensiplerine göre çalışan ilk rüzgar türbini 1890'da Danimarka'da üretilmiştir. Rüzgar enerjisinden en yoğun yararlanan ülke olan ABD'de ilk kez rüzgar enerjisinden yararlanma çalışmalarını 1944 yılında gerçekleştirmiştir. Elektrik enerjisi üreten ilk rüzgar santrali ise, ABD'de Vermont eyaletinin Montpelier kenti yakınlarında 1940 yılında General Elektrik firması tarafından inşa edilmiştir. ABD'de de başlayan bu rüzgar enerjisinden yararlanma durumunu zamanla Danimarka, Hollanda, İsveç ve Almanya izlemiştir. Rusya federasyonunda ilk deneme rüzgar türbinleri istasyonu 1952'de Yalta' da kurulmuştur. Kule yüksekliği 50 m olan rüzgar türbinlerinin kurulu gücü 1000 KW civarındadır. İngiltere'de ülkenin sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyeli etüt edilmiş ve kurulu gücü 2000 KW–3000 KW arasında olabilecek çok sayıda santral kurulabileceği ortaya konmuştur. Bu ülkelerden başka Arjantin, Mısır, İspanya, Hollanda, Danimarka, İsveç ve Avustralya'da bu konuda çalışmalar yapılmaktadır (www.gyte.edu.tr).

2.2. Rüzgar Enerjisinin Üstünlükleri

Rüzgar enerjisi herhangi bir radyoaktif ışınım tahribatı yapmaz. Enerjinin hammadde bedeli ücretsiz olup, herhangi bir atık meydana getirmemektedir. Atmosfere ve yakınındaki göl ve nehirlerle herhangi bir ısı emisyonu bulunmamaktadır. Geleneksel metotlarla enerji üretirken oluşan su kayıpları ve CO₂, CO gazları zararları rüzgar enerji santrallerinde olmamaktadır. Rüzgar türbinleri güvenlik açısından başarılı bir geçmişe sahiptirler. Kullanım sonrasında tasfiye edilmeleri diğerlerine göre çok daha kolaydır. Rüzgar bir lokal enerji kaynağıdır ve dünya enerji pazarında büyük ölçüde bağımsız olma özelliğine sahiptir. Rüzgar teknolojisinin tesisi diğerlerine göre daha basittir. Rüzgar türbinleri modüler olup, herhangi bir büyüklükte imal edilebilmekte ve tek olarak ya da gruplar halinde kullanılabilir. Rüzgar türbininin işletmeye alınması inşaata başlamasından ticari üretime geçişine kadar üç ay gibi kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir (Onat,2001).

2.3. Rüzgar Enerjisinin Diğer Enerji Türleri İle Karşılaştırılması

Enerji üretimi için seçilecek yöntem karar verilmesinde en etkili olan dört önemli faktör şunlardır: Kaynağın elde edilebilirliği, çevreye etkisi, yatırım ve üretim maliyetleri, kaynağın ömrü. Rüzgar enerjisini çevresel etkiler konusunda diğer enerji üretim metotları ile kıyaslayacak olursak; Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi rüzgar enerjisinin tek çevresel etkisi gürültü olmakla birlikte, rüzgar enerjisinden faydalanmak açısından tercih edilen arazilerin genel olarak yerleşim yerlerinden ve ormanlar gibi doğal yaşamın olduğu yerlerden uzakta olması bu sorunu hafifletmektedir. Diğer üç kriter açısından kıyaslanma ise Çizelge 2.2.'de sunulmaktadır.

Çizelge 2.1. Enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri açısından kıyaslaması

	İklim Değişikliği	Asit Yağmuru	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	Var	Var	Var	Var	Var	–
Kömür	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Doğal Gaz	Var	Var	Var	–	Var	–
Nükleer	–	–	Var	Var	–	Var
Hidrolik	Var	–	–	–	–	–
Rüzgar	–	–	–	–	(çok az)	–
Güneş	–	–	–	–	–	–
Jeotermal	–	–	Var	Var	–	–

Çizelge 2.2’de Enerji üretim metodlarının kaynak elde edilebilirliği, maliyet ve ömür açısından kıyaslaması ise şu şekildedir: Rüzgar enerjisi, maliyeti açısından hidrolik ve doğal gaza karşı dezavantajlı durumda olsa da, pek çok ülkede devlet teşviki uygulaması ile desteklenmektedir. Bunun yanında, ülkemizde doğal gaz bulunduğu gibi yurt dışından ithal edilmekte olup, ülkenin enerji ihtiyacı konusunda bu dışa bağımlılığı çeşitli sakıncalar doğurmaktadır. Ayrıca, uzun vadeli düşünüldüğünde rüzgar enerjisi alanında yapılacak yatırımlar ve araştırmalar, enerji kaynağı üzerinde bir ömür sınırı olmadığından her zaman için geçerliliklerini koruyacaklardır (Çağlar,2002).

Çizelge 2.2. Enerji üretim metodlarının maliyet ömür ilişkisi

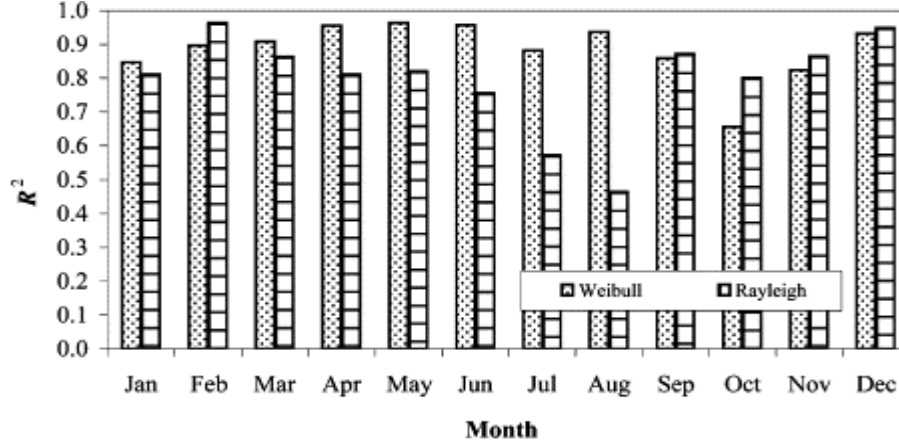
Enerji Türü	Dışa Bağımlı / Yerel	Kalan Ömür (yıl)	Yatırım Maliyeti (\$/KWh)	Üretim Maliyeti (\$c/KWh)
Petrol	Dışa bağımlı	40–45	1.500–2.000	6,0
Kömür	Yerel/Dışa bağımlı	200–250	1.400–1.600	2,5–3,0
Doğal Gaz	Dışa bağımlı	60–65	600–700	3,0
Nükleer	Dışa bağımlı	–	3.000–4.000	7,5
Hidrolik	Yerel	–	750–1.200	0,5–2,0
Rüzgar	Yerel	–	1.000–1.200	3,5–7,0
Güneş	Yerel	–	Yüksek	10,0–20,0
Jeotermal	Yerel	–	1.500–2.000	3,0–4,0

2.4. Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi

2.4.1. Rüzgar verilerinin istatistiksel analizi

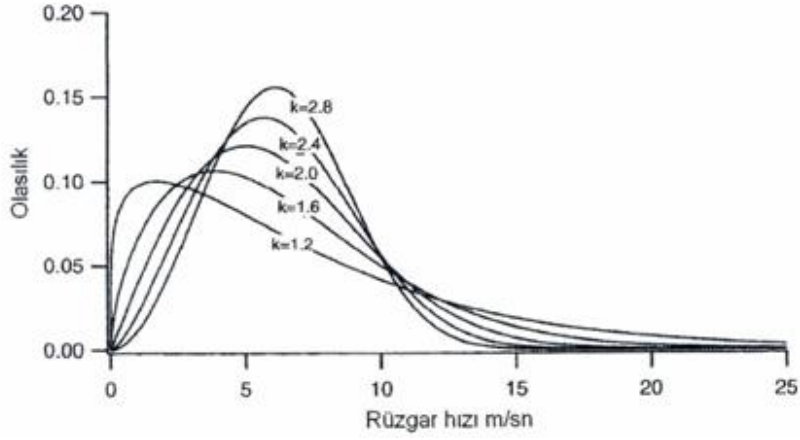
Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde, ham verilerin işlenmesi yoluyla elde edilmiş olan istatistiksel veriler kullanılır. Bu amaçla kullanılan istatistiksel metotlar arasında en yaygın kullanılan iki tanesi Rayleigh ve Weibull dağılımlarıdır. Rayleigh dağılımı, frekans dağılımı hesabı için sadece ortalama hıza ihtiyaç duyan bir dağılım olduğu için kullanımı daha kolaydır fakat Weibull dağılımının sahip olduğu hassasiyet derecesine sahip değildir. Örnek olarak Şekil 2.1’de belli bir bölgede yapılan rüzgar ölçüm sonuçları kullanılarak Weibull ve Rayleigh dağılımları ile elde edilmiş sonuçların hata kıyaslaması yapılmıştır.

$$Hata = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left| \frac{P_{W,R} - P_{\dot{O}}}{P_{\dot{O}}} \right|$$



Şekil 2.1– Weibull ve Rayleigh modellerindeki hata yüzdeleri

Bu örnekte yıllık ortalama enerji hesabında, Weibull dağılımı kullanıldığında %4,9 hata yapılmakta iken Rayleigh dağılımı ile yapılan hesabın içerdiği hata % 36,5’tir. Bu örnekte de daha düşük hata yüzdesine sahip olduğu görülen Weibull dağılımı rüzgar enerjisi konusundaki çalışmalarda tercih edilen metottur. Verilen işlenmesi yoluyla elde edilen Weibull parametreleri kullanılarak herhangi bir rüzgar hızının frekansı konusunda hassas bir tahminde bulunmak mümkün olabilmektedir. Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir. Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu, rüzgarın herhangi bir hızda esme sıklığını gösteren fonksiyondur ve buna rüzgar hızı frekansı adı da verilir. Olasılık yoğunluğu fonksiyonunun elde edilmesi, şekil katsayısı (k) ile büyüklük katsayısı (c)’ nin bilinmesini gerektirir ve bu iki katsayı, ortalama hız ile standart sapmanın fonksiyonudur. Weibull şekil katsayısı (k), oluşacak olasılık yoğunluğu eğrisinin biçimi konusunda da fikir vermektedir. Bu katsayının büyümesi ile eğri daha sivrileşmekte ve hız değişimi aralığı daralmakta iken, değerin düşmesi eğrinin daha fazla hız değerinin içerecek şekilde yayılması sonucunu vermektedir. Şekil katsayısının olasılık dağılımı üzerindeki etkisi Şekil 2.2’de görülmektedir (Çelik,2004; Carta and Ramirez,2006).

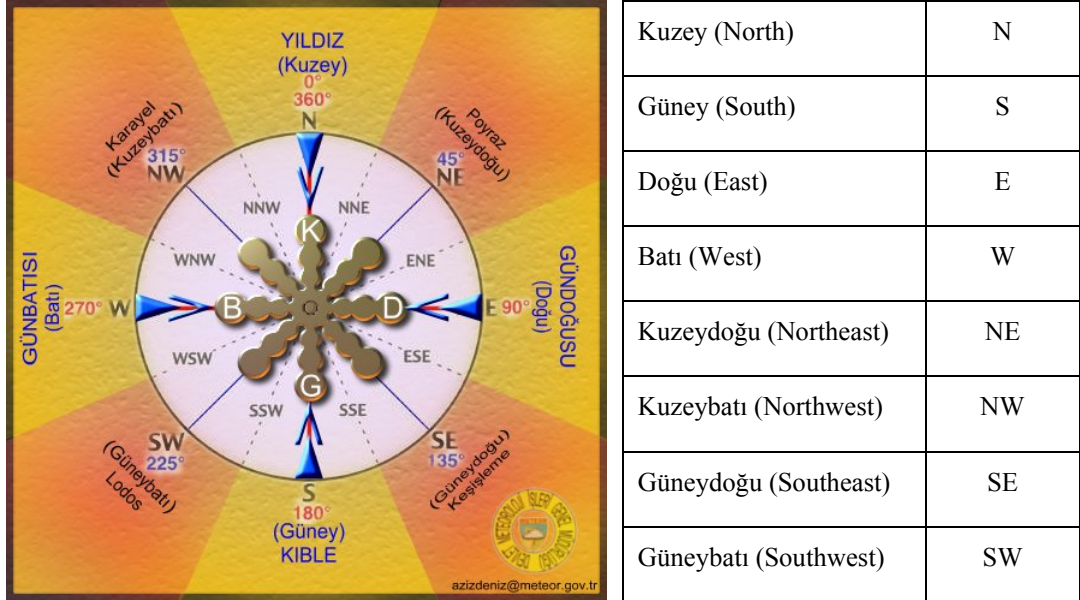


Şekil 2.2– Weibull şekil katsayısının hız dağılımına etkisi

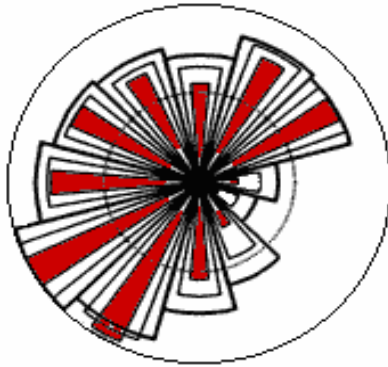
2.5. Rüzgar Gücü

Kuvvetli rüzgarlar, ekseriya özel bir yönden gelir bu durum gözlemler sonucu fakedilebilir. Rüzgar yönlerinin değişen frekanslarını ve rüzgar hızlarının dağılımını göstermek için, rüzgar hızı ve yönünün meteorolojik gözlemleri esas alınarak, rüzgar gücü şeklinde bir çizim yapılmaktadır. Bir rüzgar gücü 8 veya 16 yöne göre olabilir, ya da Avrupa Rüzgar Atlasında esas alındığı gibi 12 yöne, 30 ar derecelik yön aralıklarına göre de olabilir. Şekil 2.4'teki rüzgar gücü 12 yöne göredir, en dıştaki çizim 12 yönün her birinin birbirine göre nisbi durumunu göstermektedir, yani, herhangi bir yönden esen rüzgarın zamanın yüzdelik esme oranını göstermektedir. Dıştan içe ikinci çizim, aynı şekilde her bir yöne ait ortalama rüzgar hızı değerini gösterir. Sonuç %100'e göre normalize edilmiştir. Bu durum bize, bulunduğumuz yerde ortalama rüzgar hızına her bir yönün ne kadar katkıda bulunduğunu söyler. En içteki kırmızı çizim de benzer bilgiyi, rüzgar hızlarının kübü olarak verir. Sonuç %100'e göre normalize edilmiştir. Bu durum bize, bulunduğumuz yerde ortalama rüzgar enerjisine her bir yönün ne kadar katkıda bulunduğunu söyler. Rüzgardaki Enerjinin, rüzgar hızlarının kübü ile değiştiğini göz önünde tutarsak, buradaki kırmızı çizgi ile gösterilenler gerçekte en ilginç olanlardır. Onlar, bize rüzgar türbinlerini çalıştırmak için en fazla gücün nereden olduğunu gösterir (www.windpower.org).

Şekil 2.4'te görülen örnek rüzgar gücündeki hakim rüzgar yönü Güneybatı (SW) yönüdür. Bir rüzgar gücü farklı yönlerdeki nisbi rüzgar hızları hakkında bilgi verir, yani verinin üç seti hakkında, (frekans, ortalama rüzgar hızı ve ortalama rüzgar hızı küpleri) diyagramdaki en dış dairenin yarıçapı ile en uzun kenar tam olarak eşleşecek şekilde ayarlanır.



Şekil 2.3– Rüzgar gülü için kullanılan yön isimleri ve açıları



Şekil 2.4– Örnek bir rüzgar gülü

2.5.1. Rüzgar gülleri değişir

Rüzgar gülleri bir yerleşimden diğerine göre değişir. Rüzgar gülleri gerçekte bir parmak izi gibidirler. Bir örnek olarak Şekil 2.4'teki rüzgar gülüne bakalım. Hakim yön Güneybatı olmasına rağmen, fark edileceği gibi tüm rüzgar enerjisi Batı ve Güneybatıdan gelmektedir. Böylece biz o yerde, diğer yönlerle ilgilenme ihtiyacı duymayız. Komşu alanların rüzgar gülleri sıkça birbirine benzer, böylece pratikte çevredeki gözlemlerden rüzgar gülleri interpole etmek emniyetli olabilir. Kompleks bir bölgeye sahipseniz, yani: dağlar ve vadiler farklı yönlerde veya kıyıları farklı yönlerde bakıyorlarsa, bu tür kolay kabuller yapmak, genellikle uygun değildir.

Tekrarlarsak, rüzgar gülü sadece nisbi rüzgar yönleri hakkında bilgi verir, o yerdeki ortalama rüzgar hızının gerçek seviyesi hakkında bilgi vermez (www.windpower.org).

2.5.2. Rüzgar gülü kullanımı

Rüzgar gülünün varlığı bir rüzgar türbin yeri için oldukça faydalıdır. Eğer rüzgar enerjisinin büyük bir kısmı tek bir yönden geliyorsa ve o araziye rüzgar türbinleri kurmak isteniyorsa o zaman o yönde mümkün olduğunca az engellerin olması ve yüzeyin mümkün olduğunca az pürüzlü olması istenir. Örnek rüzgar gülünde enerjinin çoğu Güneybatıdan gelmektedir. Bu sebeple biz Doğuda bulunan veya rüzgar türbininin Güneydoğusundaki engellerle çok fazla ilgilenmeye gerek duymayız, çünkü o yönlerden enerji gelmemektedir. Buna rağmen, rüzgar yapılarının ve enerji içeriklerinin yıldan yıla değişebildiği not edilmelidir. İnanılır ortalamalara sahip olmak için gözlem süresinin biraz uzun olması en iyisidir. Büyük rüzgar enerji parklarını planlayanlar ekseriya bir yıllık lokal ölçümlere güvenirlir, bu ölçümleri ayarlamak ve güvenilir uzun süreli bir ortalama elde etmek için en yakın meteoroloji istasyonu hava gözlemlerini kullanırlar (www.windpower.org).

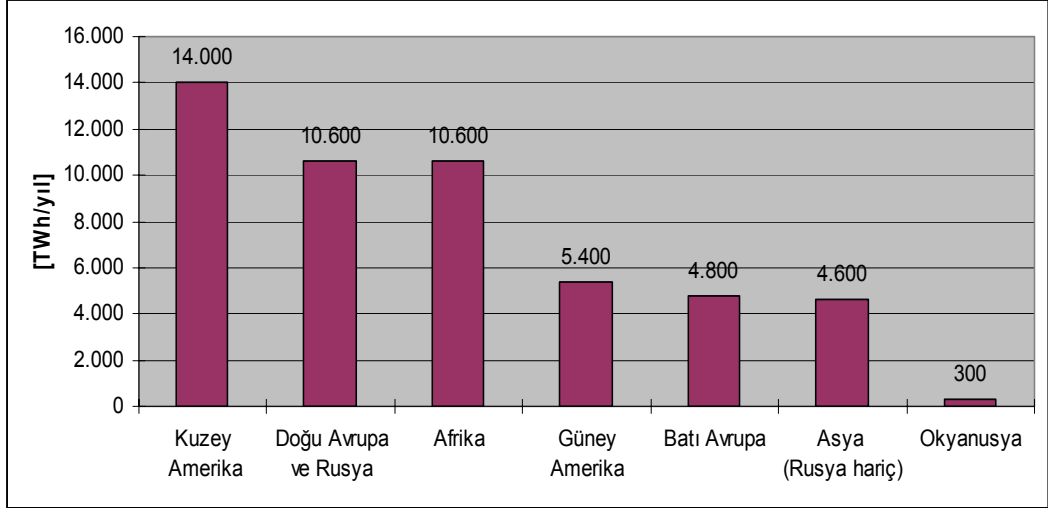
2.6. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Durumu

2.6.1. Dünyada rüzgar potansiyeli

Grubb ve Meyer tarafından yapılan ve “ IEA – World Energy “ tarafından yayınlanmış çalışmada, 5,1 m/s üzerinde Rüzgar kapasitesine sahip bölgelerin, uygulamaya dönük ve toplumsal kısıtlar nedeni ile %4'ün kullanılacağı esasına dayalı çalışmada, Dünya Potansiyeli 53.000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değerın Dünyadaki dağılımı, Şekil 2.5’de verilmektedir.

Bu çalışmalarda, dikkate alınmayan 4–5 m/s rüzgar hızına sahip bölgeler de ayrıca ciddi bir potansiyeldir. (Sadece Almanya’da bu değerın 90 TWh / yıl olduğu tespit edilmiştir) Ayrıca, bu hesaplamalar sadece karasal bölgeler için yapılmıştır, dikkate alınmayan denizsel (offshore) bölgelerin de ihmal edilemeyecek ciddi bir potansiyeli mevcuttur. (Matthies ve Garrad 'm AB için yaptığı çalışmada, bu değerın sadece Avrupa için 2.500 TWh / yıl olacağı hesap edilmiştir).

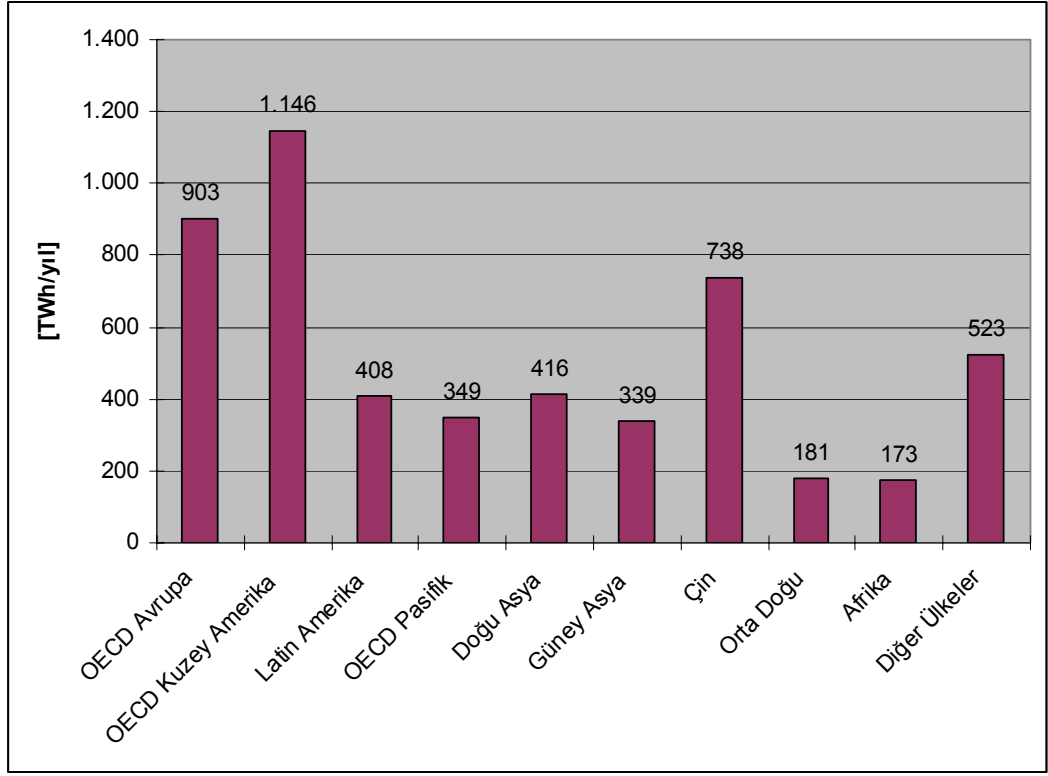
Şekil 2.5’te belirtilen, Teknik Potansiyel’in (53.000 TWh / yıl) 2020 yılı için tahmin edilen Dünya tüketiminin 25.900 TWh / yıl civarında olacağı düşünülünce, ne denli ciddi olduğu görülmektedir. Normal şebekeler üzerinde yapılan çalışmalarda ve çok sayıdaki değerlendirmelerde, rüzgar enerjisi kapasitesinin, şebekeye % 20 düzeyine kadar girişinde, hiçbir teknik sorun yaratmadığı tespit edilmiştir (Dengeleme sorununu Norveç ve İsveç’le ara bağlantılar ile hallederek, Danimarka Enerji Planlamasında 2030 yılında, elektrik tüketiminin % 50’sini sürekli olarak rüzgar enerjisinden sağlamayı planlamıştır). Bu % 20 oranı temel alınarak, IAE World Energy’nin 2020 Dünya Talep Projeksiyonuna dayandırıldığı ve Ekonomik Rüzgar Potansiyeli denilebilecek değerler, Çizelge 2.3 ve Şekil 2.5’te gösterilmiştir (Akalm,2005; Özerdem,2006).



Şekil 2.5– Dünyanın teknik rüzgar potansiyel dağılımı (Dünya toplamı 53.000 TWh/yıl)

Çizelge 2.3. Dünya 2020 talep projeksiyonu ve ekonomik rüzgar potansiyeli

Bölgeler	Elek. Enerj. Talep Proj. TWh/yıl	Ekonomik Rüzgar Potansiyeli TWh/yıl
OECD Avrupa	4.515	903
OECD Kuzey Amerika	5.729	1.146
Latin Amerika	2.041	408
OECD Pasifik	1.745	349
Doğu Asya	2.081	416
Güney Asya	1.695	339
Çin	3.691	738
Orta Doğu	907	181
Afrika	864	173
Diğer Ülkeler	2.615	523
Dünya Toplamı	25.883	5.176



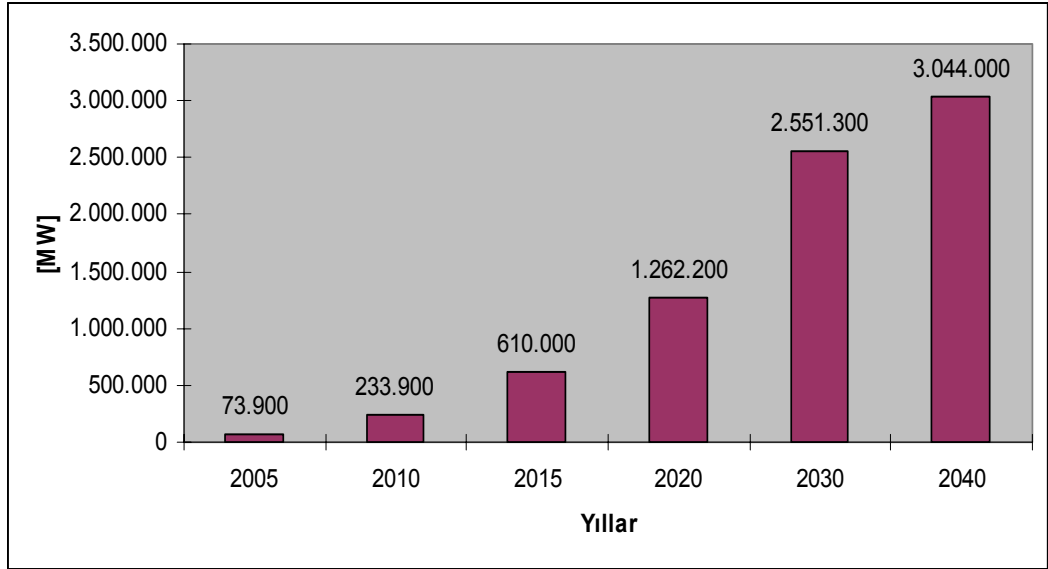
Şekil 2.6- Dünyanın ekonomik rüzgar potansiyel dağılımı (2020 yılı tüketiminin %20'si bazında, Dünya toplamı 5.180 TWh/yıl)

2.6.2. Dünyada rüzgar kaynağı kullanım hedefleri

Dünya elektrik enerjisi talebi, WEC ve IEA tarafından sürekli değerlendirilmektedir. WF-10 ve WE Outlook, bunlardan en önemlileridir. WF-10 bilahare (1998) WF-12 olarak yeniden revize olarak ortaya konmuştur. 2000 yılında güncelleştirilen, dünya elektrik enerjisi talep projeksiyonu ve rüzgar kaynaklı üretim hedefleri, Çizelge 2.4'teki gibi yayınlanmıştır. Burada %12 hedefine bağlanan, 2020 yılındaki hedeflenen 3.093,4 TWh-yıl Rüzgar kaynaklı elektrik enerjisinin, küresel ısınma nedeniyle elektrik talebinde beklenen artışın olmaması halinde, daha da yüksek oranlara çıkabileceği söylenebilir (Bu değer, 2001 tüketiminin % 20'si civarındadır).

Çizelge 2.4. Dünyada planlanan rüzgar enerjisi gelişmesi

Yıllar	Yeni Kapasite ilavesi [MW]	Kümülatif Kapasite [MW]	Rüzgar'dan Üretim [TWh / yıl]	Dünya Elektrik Talep Prj. [TWh / yıl]	Rüzgar Oranı [%]
2001	6.800	24.900		15.578	0,35%
2002	8.500	33.400		16.014	0,46%
2003	10.625	44.025		16.463	0,59%
2004	13.281	57.306	125,5	16.924	0,74%
2005	16.602	73.908	161,9	17.397	0,93%
2006	20.752	94.660	207,3	17.885	1,16%
2007	25.940	120.600	264,1	18.385	1,44%
2008	31.128	151.728	332,3	18.900	1,76%
2009	37.354	189.082	414,1	19.429	2,13%
2010	44.824	233.906	512,3	19.973	2,56%
2011	53.789	287.695	705,7	20.493	3,44%
2012	64.547	352.242	864,0	21.025	4,11%
2013	74.229	426.471	1.046,0	21.572	4,85%
2014	85.363	511.834	1.255,4	22.133	5,67%
2015	98.168	610.002	1.496,2	22.708	6,59%
2016	107.985	717.987	1.761,1	23.299	7,56%
2017	118.783	836.770	2.052,4	23.905	8,59%
2018	130.661	967.431	2.372,9	24.526	9,68%
2019	143.727	1.111.158	2.725,4	25.164	10,83%
2020	150.000	1.261.158	3.093,4	25.883	11,95%
2030	150.000	2.551.277	6.306,8	31.318	20,14%
2040	150.000	3.044.025	7.999,7	36.346	22,01%



Şekil 2.7– Dünya rüzgar enerjisi kurulu güç hedefi

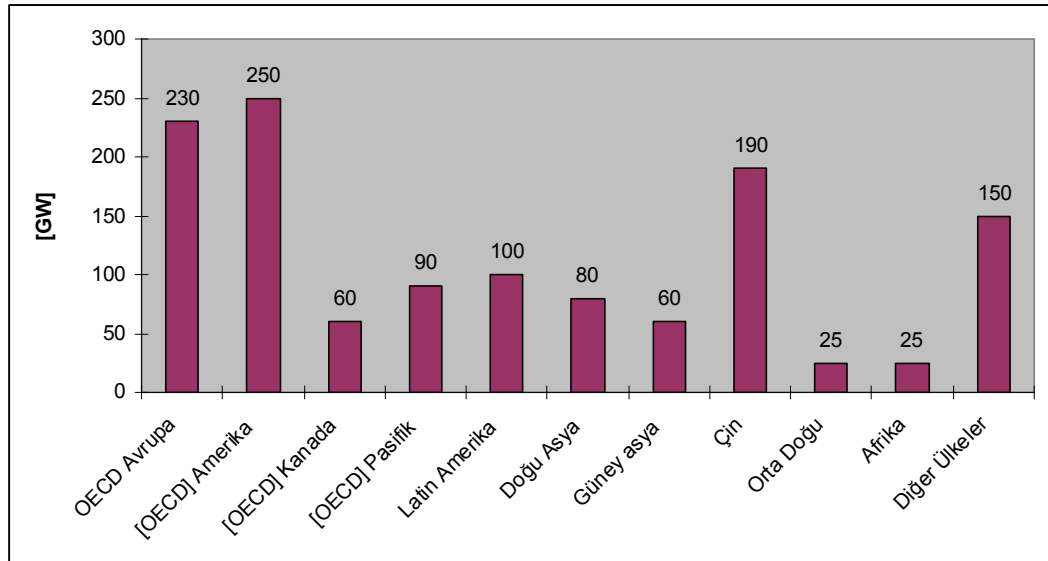
2001 yılında 24.700 MW olan Rüzgar Kurulu Gücünün 2007 yılında 120.600 MW'a yıllık % 25'lik bir artışla yükseleceği, daha sonra bu artış oranının düşerek, Kurulu Gücün 2020 yılında 1.261.158 MW'a çıkacağı, bu tarihten sonra sıfır artış hızı ile (yılıda sabit 150.000 MW Kurulu Güç ilavesi ile) 2030 yılında 2.551 GW, 2040 yılında ise 3.044 GW Kurulu Güce ulaşılacağı hedeflenmiştir. Bu tarihte, Rüzgar Enerjisi kullanımında doyum noktasına gelineceği varsayılmaktadır. Ayrıca, 20 yıl olarak tahmin edilen türbin ömürlerinin sonunda % 5'inin yeni teknolojiye dayalı türbinler ile değiştirileceği düşünülmektedir. İleride tesis bedellerinin % 50'sine kadar düşebileceği varsayılan rüzgar enerjisi tesislerinin, birim elektrik enerjisi maliyetinin de 3,61 €/KWh seviyelerine inebileceği düşünülmektedir.

Dünyada Rüzgar Enerjisi konusunda asıl büyüme oranının, Kuzey Avrupa, ABD ve Japonya'da denizsel kapasitelerde olacağı tahmin edilmektedir. Bu potansiyelin, özellikle ABD ve Japonya'da oluşmakta olan elektrik enerjisi talebinin, iki katına yakın (%180) potansiyel içerdiği hesap edilmektedir.

Rüzgar santrallerinde, kapasite kullanımının bugünkü ortalama değeri % 25'ten 2010'da %28'e, 2035'te ise %30'a çıkabileceği hedefi alınmıştır. Esasen bunu %50 seviyelerine yükseltmenin mümkün olabileceği kuvvetle tahmin edilmektedir. Türkiye'de ise rüzgar tesisleri'nin kapasite kullanım oranı, bugün %28 ile %40 arasında değişmekte olup, Dünya ortalamasının çok üstündedir. 2020 yılı itibari ile dünyada planlanan, rüzgar kaynağına dayalı elektrik üretimi ile ilgili kurulu güç ve yıllık üretim ile, dünyanın 2020 yılındaki elektrik enerjisi talep tahmininin dağılımı, Çizelge 2.5 ve Şekil 2.8'de verilmektedir (Akalin,2005).

Çizelge 2.5. Dünya rüzgar kurulu gücünün dağılımı (2020 projeksiyonu IEA World Energy)

Bölgeler	Kurulu Güç Dağılımı [MW]	Kurulu Güç Dağılım Oranı [%]	2020 Toplam Elektrik Talep Tahmini Dağılımı [TWH / yıl]
OECD Avrupa	230.000	18,3 %	4.514
[OECD] Amerika	250.000	19,8 %	5.729
[OECD] Kanada	60.000	4,8 %	–
Latin Amerika	100.000	7,9 %	1.745
OECD Pasifik	90.000	7,1 %	2.041
Doğu Asya	80.000	6,3 %	2.081
Güney Asya	60.000	4,8 %	1.695
Çin	190.000	15,1 %	3.691
Orta Doğu	25.000	2,0 %	907
Afrika	25.000	2,0 %	2.615
Diğer Ülkeler	150.000	11,9 %	864
Dünya Toplamı	1.260.000	100,0%	25.882

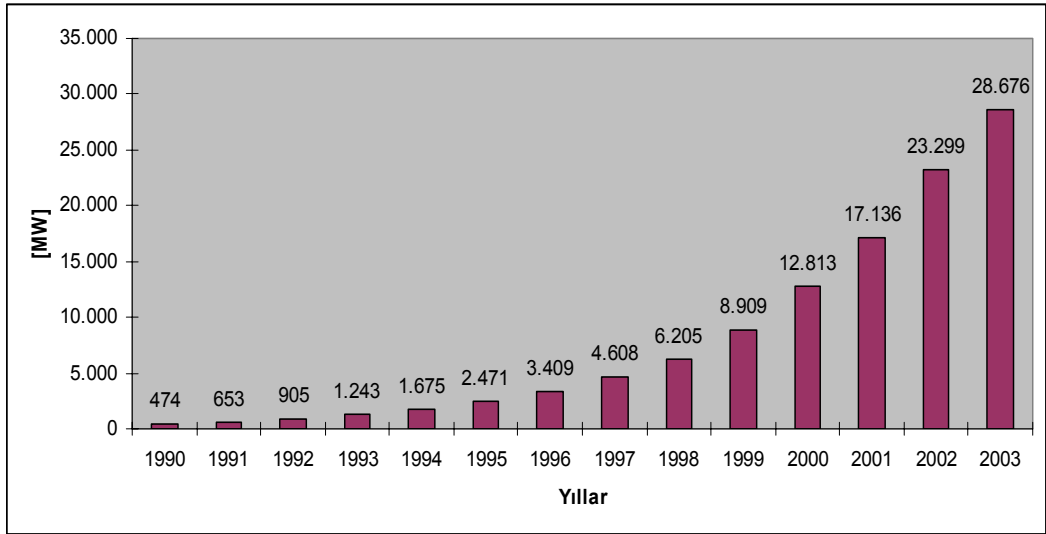
**Şekil 2.8–** Dünyanın rüzgar kurulu güç hedefleri dağılımı (2020 yılı Tüketiminin % 20 'si bazında, Dünya toplamı 1.260 GW)

2.6.3. Avrupa birliği ülkelerinde rüzgar enerjisi

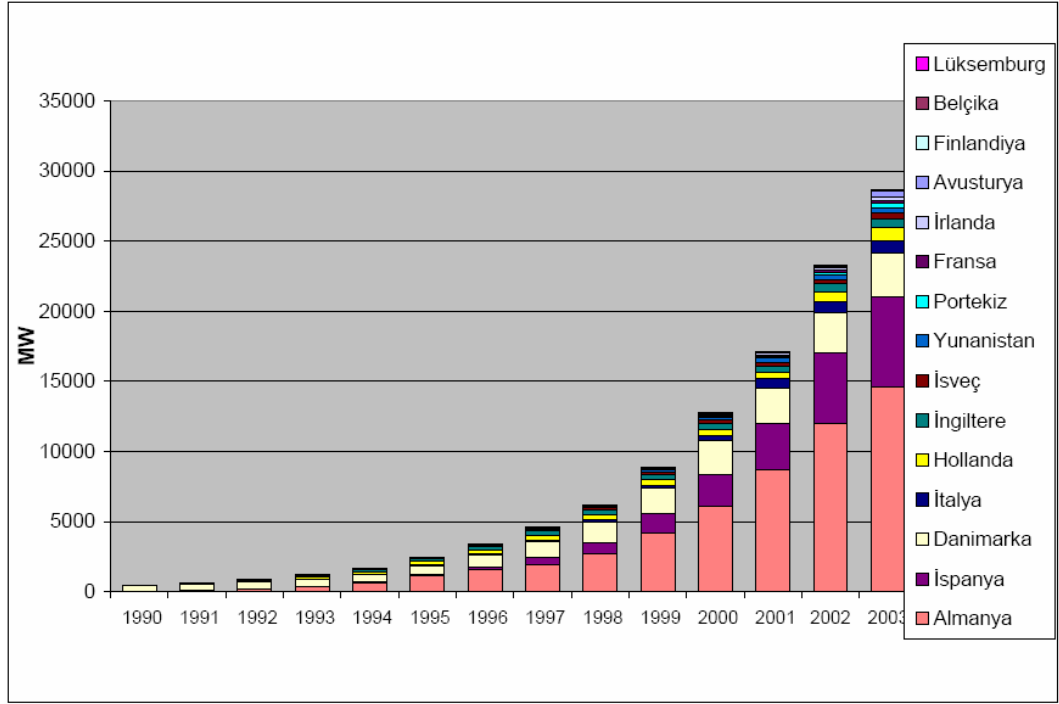
Teknolojik gelişmelerinde etkisiyle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında konvansiyonel kaynaklarla en rekabet edebilir kaynak durumuna gelen rüzgar enerjisi; özellikle Danimarka, Almanya ve son yıllarda İspanya'da uygulanan teşvik politikaları ile hızlı bir gelişim göstermiştir. 1990 yılında AB–15'te sadece 474 MW olan rüzgar kurulu gücü, 2003 yılına kadar

olan 13 yıllık dönemde tam 60 kat artarak 2003 yılında 28.676 MW'a ulaşmıştır. Dünyadaki kurulu rüzgar gücünün yaklaşık %74'üne karşılık gelen bu kurulu güç ile Avrupa, rüzgar enerjisi konusunda dünyadaki lider konumunu sürdürmektedir. AB ülkelerinde rüzgar kurulu gücünün 1990'dan günümüze kadar olan gelişimi ve rüzgardan üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarı Şekil 2.9–10'da verilmektedir. Buna göre AB ülkelerinde son 10 yılda yaklaşık 27.400 MW, son 5 yılda ise 22.400 MW rüzgar santrali tesis edilmiştir. Böylece son 10 yıllık dönemde yıllık ortalama %37 artan rüzgar kurulu gücü 23 katına çıkmış, son 5 yıllık dönemde ise kaydedilen yıllık ortalama %36'lık artış kurulu gücü 5 yılda 4,6 katına çıkarmıştır.

Kurulu güç ve üretim şekillerinde görüldüğü üzere rüzgar santrallerinin elektrik enerjisi üretimi kurulu güç gelişimine paralel olarak hızlı bir artış göstermiştir. 1990 yılında 1 TWh'in altında olan elektrik üretimi 2003 yılında 43,3 TWh'e kadar yükselmiştir. Son 5 yıllık dönemde üretimdeki artış 3,8 kata karşılık gelmektedir. Elektrik üretimindeki artışın kurulu güç gelişiminin bir miktar altında kalması, sektörün gelişimi ve sağlanan teşviklerle daha önce ekonomik olmayan üretimi nispeten az sahaların son yıllarda geliştirilmesi ve meteorolojik koşullarla açıklanabilir.



Şekil 2.9– AB-15’de rüzgar kurulu güç gelişimi (1990-2001 yılları için IEA istatistikleri, 2002-2003 yılları için EurObserv’ER istatistikleri kullanılmıştır)



Şekil 2.10– AB-15 ülkelere göre rüzgar kurulu gücü (1990–2001 yılları için IEA istatistikleri, 2002-2003 yılları için EurObserv'ER istatistikleri kullanılmıştır)

2003 yılında AB'deki rüzgar gücü kapasitesi 2002 yılı sonuna göre %23,1 artarak 23.299 MW'tan 28.676 MW'a çıkmıştır. 2003 yılında AB ülkelerinde kurulan 5.443 MW rüzgar kapasitesi yıl içinde dünyada kurulan toplam rüzgar kapasitesinin %68,5'ine karşılık gelmektedir. 2003 yılında tesis edilen yeni rüzgar kapasitesinin 2002 yılındakinin altında kalmasına rağmen, Almanya bu yıl da Avrupa piyasasının lideri olma konumunu sürdürmeye devam etmiştir. Almanya Rüzgar Enerji Kurumu (German Wind Energy Institute-DEWI)'ye göre 2003 yılında 2.645 MW (2002 yılında 3.240 MW) rüzgar santrali kurularak, Almanya'nın toplam kapasitesi 14.609 MW'a (39 MW devre dışı) ulaşmıştır. Almanya'da rüzgar kurulu gücü gelişim hızındaki bu düşüş, daha zor finansman koşulları ve yenilenebilir enerji satın alma fiyatını belirleyen EEG kanununun (EEG law) değiştirilmesi konusundaki belirsizlikle ilişkilendirilmektedir.

İspanya; 2003 yılında kurulan 1.369 MW ile toplam rüzgar gücünü 6.411 MW'a çıkararak rüzgar gücü konusunda lider ülkelerden biri olduğunu bir kez daha göstermiştir. Bu, İspanya'da kaydedilen en yüksek yıllık kapasite gelişimine karşılık gelmektedir. İspanya'daki rüzgar santrallerinin kurulu gücünün çokluğu ve son yıllarda kısa sürede hızla tesis edilmiş olmasının nedenleri arasında İspanya'nın dünyadaki sayılı rüzgar türbini üreticileri (Almanya, Danimarka gibi) arasında olması da bulunmaktadır. Ancak, İspanya'da rüzgar santrallerinin hızla artan sisteme bağlantı taleplerinin, mevcut şebekeye bağlantı şartları yönetmeliğindeki kısıtlar nedeniyle sınırlandırılabilir veya ertelenebileceği bildirilmektedir.

Danimarka (off-shore) açık deniz rüzgar santralleri gelişimi ve 10 yaşından eski rüzgar türbinlerinin yenilenmesini teşvik eden ulusal programı çerçevesinde rüzgar gücünün gelişimi konusunda 2002 yılında tekrar yakaladığı ivmeyi 2003 yılında da sürdürmüştür. Danimarka'da 2003 yılında kurulan 243 MW yeni kapasite devre dışı bırakılan eski türbinlere rağmen rüzgar kurulu gücünü 3.110 MW'a çıkarmıştır. Ayrıca Danimarka yıl içinde devreye giren üç açık deniz rüzgar santrali ile bu konudaki lider konumunu sürdürmüştür. Ancak Danimarka Sanayi ve Ekonomi Bakanlığı tarafından 2008 yılına kadar açık deniz rüzgar santrallerinin 450 MW artırılması projesinin iptal edilmesi önerilmiştir.

2002 yılı sonunda toplam rüzgar kurulu gücü açısından AB ülkeleri arasında beşinci sırada yer alan Hollanda, 2003 yılında tesis edilen 232 MW ilave kapasite ile 910 MW toplam kurulu güce ulaşarak, 904 MW'a ulaşan İtalya'nın önünde dördüncü sıraya yükselmiştir.

İngiltere'de 2003 yılında tesis edilen rüzgar gücü 103 MW düzeyinde kalmış olmakla birlikte, tesis aşamasındaki ya da tesis için gerekli izinleri almış projelerin toplam kurulu gücü 2.257 MW'a (1.109 MW'ı açık deniz) ulaşmıştır. 2003 yılı sonu itibarıyla İngiltere'de 648 MW kurulu güçte rüzgar santrali işletmede olup, AB Yenilenebilir Enerji Kaynakları Direktifi'nde öngörülen hedeflerin İngiltere için teknik ve ekonomik olarak fizibil bulunmadığı, elektrik arz güvenliği ve kalite kriterleri sağlanarak bu hedeflerin tutturulmasının mümkün olmadığı bildirilmektedir.

Avusturya'da 1 Ocak 2003 tarihinde yürürlüğe giren ve önemli tarife garantileri sağlayan yeşil elektrik yasası ile 2003 yılında 276 MW rüzgar gücü kurularak toplam rüzgar kurulu gücü 415 MW'a çıkmıştır.

Fransa'da rüzgar enerjisini geliştirme konusunda politik irade mevcut olsa da (ortalama 7 €/KWh fiyattan 15 yıl alım) teknik, idari ve hatta psikolojik engeller hala mevcuttur. Fransa'da rüzgar türbinlerinin çevreye yaptığı görsel ve gürültü etkilerine hala şüpheyle yaklaşılmaktadır. Bunların sonucunda rüzgar kurulu gücü açısından AB ülkeleri arasında 11. sırada yer alan Fransa'da 2003 yılında kurulan ilave güç sadece 100 MW'ta kalarak toplam kurulu güç 253 MW'a ulaşmıştır.

İrlanda 2003 yılında 49 MW rüzgar santrali kurarak, 2003 yılı sonu itibarıyla rüzgar kurulu gücünü 187 MW'a (rüzgarın toplam kurulu güçteki payı %3) çıkarmıştır.

2004 yılında, geçen yılın sonunda tamamlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Harekete Geçirme Kampanyasının sonuçlarının değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu kampanya ile yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek bir endüstri düzeyine yükseltilmesi ve böylece bunların geliştirilmesi ile Beyaz Bildiri (White Paper) hedeflerine ulaşılması amaçlanmıştır. Rüzgar enerjisinde 2003 yılı sonunda 10.000 MW kurulu güce ulaşılması konusundaki özel hedef 28.700 MW civarındaki kurulu güç ile büyük miktarda aşılmıştır.

Uzun dönemde Almanya pazarında öngörülen daralmaya rağmen, AB'de sektörün hızlı gelişiminin aynen sürmesi beklenmektedir. Açık deniz rüzgar santrali pazarının kalıcı olarak

ortaya çıkışı, İspanya'daki gelişimin sürmesi ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisiyle ilgili yeni yasalar sayesinde Hollanda, Belçika, Portekiz ve Avusturya'da kaydedilen kapasite artış rekorları bu görünümü desteklemektedir. Bu faktörlerin ışığında; Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (EWEA) tarafından, 2010 yılı sonu için daha önce 5.000 MW'ı açık denizde olmak üzere 60.000 MW olarak belirlenen kurulu güç hedefi 10.000 MW'ı açık denizde olmak üzere 75.000 MW olarak revize edilmiştir. EWEA'ya göre bu hedef Avrupa Birliği elektrik üretiminin %5,5'ine karşılık gelecek 168 TWh üretimi mümkün kılacaktır. 2010 yılı için Observ'ER 20 tarafından yapılan daha mütevazı 67.600 MW kurulu güç tahmini Danimarka pazarında olduğu gibi Almanya'da da pazarın daha çok açık denizde gelişimi ve eski türbinlerin yenilenmesine yoğunlaşarak küçüleceği konusundaki tahminleri dikkate almaktadır. Pazarın durumu ile ilgili diğer belirsizlikler yenilenebilir enerji geliştirme planında 2010 yılı için 8.974 MW olarak belirlenen kurulu güç hedefine yakında ulaşacak olan İspanya ve bir mucize olmaması durumunda yükümlülüklerini yerine getiremeyecek olan Fransa (yükümlülükleri yerine getirmek için tesisi gerekli en az 14.000 MW'a karşılık tahmin edilen 6.000 MW) ile ilgili olarak ortaya çıkmaktadır. Daha kısa dönem için Danimarka danışmanlık şirketi BTM Consult tarafından 2003 Mart ayında yayımlanan raporda 2007 yılı sonunda AB-15'te 56.800 MW kurulu güç hedefi verilmektedir. Bu eğilimin sürmesi durumunda Beyaz Bildiri (White Paper) hedefleri kapsamında 2010 yılı sonunda 40.000 MW hedefinin iki katından fazlasına ulaşarak hedeften sapılacaktır. 2003 yılı AB ülkelerine ait rüzgar kurulu güçleri Çizelge 2.6'da verilmiştir (TEİAŞ raporu,2005).

Çizelge 2.6. 2003 yılı itibariyle Avrupa Birliği'nde kurulan rüzgar kurulu gücü (Rüzgar kurulu gücü için EurObserv'ER 2004, toplam kurulu güç için Eurelectric istatistikleri)

Ülkeler	Rüzgar (MW)				Toplam Kurulu Güç (MW)		Rüzgarın Toplamdaki Payı (%)	
	2002	2003	2003'te giren	%	2002	2003	2002	2003
Almanya	11.994	14.609	2.645	21.8	124.420	126.531	9.6	11.5
İspanya	5.042	6.411	1.369	27.2	59.738	63.819	8.4	10.0
Danimarka	2.889	3.110	243	7.6	12.879	12.948	22.4	24.0
İtalya	788	904	116	14.7	76.950	78.358	1.0	1.2
Hollanda	685	910	232	32.8	20.813	20.965	3.3	4.3
İngiltere	552	648	103	17.3	77.133	78.200	0.7	0.8
İsveç	328	399	71	21.6	32.263	33.361	1.0	1.2
Yunanistan	302	390	88	29.1	10.990	10.990	2.7	3.5
Portekiz	194	301	107	55.2	11.450	11.654	1.7	2.6
Fransa	153	253	100	65.2	116.200	116.380	0.1	0.2
İrlanda	138	187	49	35.5	5.400	5.550	2.6	3.4
Avusturya	139	415	276	198.6	17.799	17.842	0.8	2.3
Finlandiya	43	51	8	18.6	16.566	16.647	0.3	0.3
Belçika	35	67	31	89.2	15.627	15.684	0.2	0.4
Lüksemburg	16	22	5	32.9	1.129	1.129	1.4	1.9
Avrupa Birliği (AB-15)	23.299	28.676	5.443	23.1	599.357	610.058	3.9	4.7
Polonya	29	60	31	108.8	31.013	31.699	0.1	0.2
Letonya	23	24	1	4.3	2.175	2.141	1.1	1.1
Çek	3	10	7	233.3	15.133	16.005	0.0	0.1
Estonya	5	5	0	0.0	2.427	2.427	0.2	0.2
Macaristan	3	3	0	0.0	7.492	7.998	0.0	0.0
Slovakya	0	3	3	0.0	7.757	7.777	0.0	0.0
Kıbrıs	2	2	0	0.0	988	988	0.2	0.2
Litvanya	0	0	0	0.0	5.761	5.784	0.0	0.0
Malta	0	0	0	0.0	577	577	0.0	0.0
Slovenya	0	0	0	0.0	2.729	2.772	0.0	0.0
Avrupa Birliği (AB-25)	23.360	28.780	5.486	23.2	675.409	688.226	3.5	4.2
Türkiye	19	19	0	0.0	31.846	35.587	0.1	0.1
Romanya	1	1	0	0.0	17.846	35.502	0.0	0.0

2.7. Rüzgar Enerjisinin Türkiye'deki Durumu

Gelişmekte olan ülkeler statüsündeki Türkiye'nin hızlı nüfus artışı ve sanayileşmesine paralel olarak enerjiye olan gereksinimi de artmaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de en büyük pay fosil yakıtlarına aittir. Enerji tüketimimizin yarıya yakınına karşılamanın petrol ve doğal gaz kaynakları Türkiye'de yeterli düzeyde değildir.

Türkiye'de 1970'li yıllarda yaşanan elektrik sıkıntısının başlıca sebebi, dünyada yaşanan petrol krizidir. Akaryakıt temininin zorlaşması nedeni ile ana üretim santrallerinden Ambarlı başta olmak üzere akaryakıt ile çalışan santraller kısıntılı çalışmak zorunda kalmıştır. 2000 yılında yaşanan elektrik sıkıntısının sebebi ise doğal gaz hatlarındaki basıncın düşmesidir. Bu iki kriz de dışa bağımlılığın sonucudur. 1970'li yıllardaki krizin bir başka sebebi de enerjiye talepteki artış ile kurulu santral gücünün paralel gitmemesidir. Örneğin, 1960 ile 1980 yılları arasında enerji talebi dokuz kat artarken santral kurulu gücümüz ancak dört kat artmıştır.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça iyi durumdadır. 1961 yılında yapılan bir araştırmaya göre dokuz ile yayılmış olarak 718 tane su çıkarma amaçlı ve 41 tane de elektrik üreten rüzgar türbini tespit edilmiştir. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının gerek ilk yatırım maliyeti gerekse üretim maliyeti açısından fosil yakıtlarla rekabet etmesi mümkün değildir. Fakat teknolojinin gelişmesiyle rekabet edebilecek duruma gelmeye başlamıştır. Öte yandan Türkiye'nin enerji geleceği sadece enerji üretim maliyetleri veya yatırım maliyetleri ile belirlemek de yeterli değildir. Bunların yanında çevre faktörü ve enerjide dışa bağımlılık gözden uzak tutulmamalıdır.

Türkiye'nin toplam rüzgar enerji potansiyeli 40.000 ile 80.000 MW düzeyindedir. Devlet Meteoroloji İşleri İstasyonlarının 1970-1980 dönemi rüzgar verilerinin değerlendirilme sonuçlarına göre, Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgar hızının yer yüzeyinden 10 metre yükseklikte, 2,54 m/s ve rüzgar gücü yoğunluğunun 24 W/m² olduğu belirlenmiştir. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli bölgelere göre değerlendirildiğinde, Marmara ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin rüzgar gücü yoğunluğu bakımından diğer bölgelere göre daha zengin olduğu görülmektedir. Türkiye'de Marmara, Ege ve Akdeniz kıyıları, dünyada rüzgar gücü potansiyeli açısından ilk %30'luk alana girmektedir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nde yapılan çalışmalara göre, ülke genelinde süreklilik ve yoğunluk açısından ümit veren yörelerdir (Köse ve ark.,2003).

Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda yenilenebilir enerji kaynaklarına yer verilmemiştir. Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı hazırlık çalışmalarının yapıldığı 1993 yılında, 1990 yılına kadar olan teknolojik gelişim göz önüne alınarak, yalnızca yeni teknolojileri izleyebilmek amacıyla, güneş pilleri ile elektrik üretiminin 1995'te 2,5 GWh'ten başlayarak 2010 yılında 61,1 GWh gibi sembolik bir düzeye çıkarılması, ayrıca 2010 yıllarında güneş termik santralleri kurulması üzerine durulması istenmişti. Bu istek Genel Enerji İhtisas Komisyonu Raporu'na geçirilmişti. Aynı raporda, yine yalnızca teknolojiyi izlemek amacıyla 50 MW'ı aşmayan bir deneysel kurulu güçle rüzgardan elektrik üretimi üzerinde durulmuş, 1995'te 3,7 GWh ile üretime

başlanarak 2010 yılında 183,3 GWh düzeyine çıkarılması planlanmıştır. Bu hedefler Türkiye'nin beklenen elektrik talebinin %0,006 ile %0,08 arasında kalmaktadır. Planlanan adımlar atılmadı, ama üç-beş yılın hızlı teknolojik gelişimi planlanan hedeflerin çok yetersiz düzeylerde kalmasına neden oldu (Güler,2005).

Çizelge 2.7. Bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ve hızları

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

Ülkemizde 1984 yılında kurulmuş olan 55 kW kapasiteli bir rüzgar türbini Çeşme'de turistik bir tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının %5'ini karşılamaktadır. Ticari amaçlı ilk rüzgar santrali olan Alaçatı'nın Germiyan Köyü'nde kurulmuş otoprodüktör statüsündeki 1,5 MW kurulu gücündeki santral, yılda yaklaşık 5.000.000 kWh enerji üreterek çevre bölgede yaşayan beş bin kişinin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca 7,2 MW kapasiteli Alaçatı Rüzgar Santrali 1998 yılında üretime başlamıştır. Bunların yanı sıra, Bodrum Belediyesi ve Çanakkale İntepe Belediyesi kendi elektrik ihtiyaçlarını rüzgar enerjisinden karşılamak için girişimlere başlamışlardır. Bodrum Yarımadası'nın 1998 yılı tüm elektrik ihtiyacını 100 adet rüzgar türbini ile karşılamak mümkündür. Çeşitli firmalar da rüzgar hızının fazla olduğu yerlerde, enterkonnekte sisteme bağlı rüzgar enerjisi projelerinin ön fizibilite çalışmalarına devam etmektedir (www.demirer.com.tr).

Çizelge 2.8. Türkiye'deki Rüzgar santralleri

Elektrik Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu güç (MW)	Firma	Yer
Şubat 1998	1,5	Demirer	Çeşme - İzmir
Kasım 1998	7,2	Güçbirliği	Çeşme - İzmir
Haziran 2000	10,2	Demirer-Enercon	Bores - Çanakkale
Kasım 2003	1,2	Sunjut-Demirer	Hadımköy - İstanbul
2004 Yılı Mevcut RES' ler	20,1		
Mayıs 2006	30,0	Bares -Bilgin	Bandırma
Ağustos 2006	39,2	Demirer-Enercon	Çeşme İzmir
Kasım 2006	30,4	Demirer-Ado	Çanakalan - Çanakkale
2006 sonunda üretime geçecek RES'ler	99,6		
Mart 2007	15,0	Demirer-Polat	Gelibolu - Çanakkale
Mayıs 2007	30,4	Demirer-Polat	Sayalar - Manisa
Aralık 2007	28,8	Demirer-Enercon	Dares - Datça
2007'de üretime geçmesi planlanan RES'ler	74,2		
TOPLAM	193,9		

Yapılan fizibilite çalışmaları, Türkiye'nin özellikle Marmara ve Ege Bölgelerinin rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri için uygun olduğunu göstermiştir. Elektrik sarfiyatının en yüksek olduğu bölgelerin Marmara ve Ege olduğu göz önüne alınırsa buralara kurulacak olan rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri ile elektriğin iletimi sırasında ortaya çıkacak kayıpların da azalacağı açıktır. Ayrıca, yapılan son kanuni düzenlemelerde özel şirketlerin kuracağı rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin ulusal şebekeye vereceği elektrik enerjisini satması veya verdiği elektrik enerjisi kadarını kullanması gündeme gelmiştir.

Çizelge 2.9. Batı Anadolu Bölgesindeki sekiz yörenin rüzgar gücü yoğunluğu (www.eie.gov.tr)

İstasyon Adı	Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Gökçeada	113	4,1
Bozcaada	320	6,4
Çanakkale	94	4,1
Edremit	20	2,4
Ayvalık	59	3,3
Dikili	21	2,5
İzmir	53	3,6
Bodrum	115	4,1

**Şekil 2.11–** Türkiye'nin ilk rüzgar santrali, 3 x 500 KW = 1.5 MW Çeşme-Alaçatı, Şubat 1998



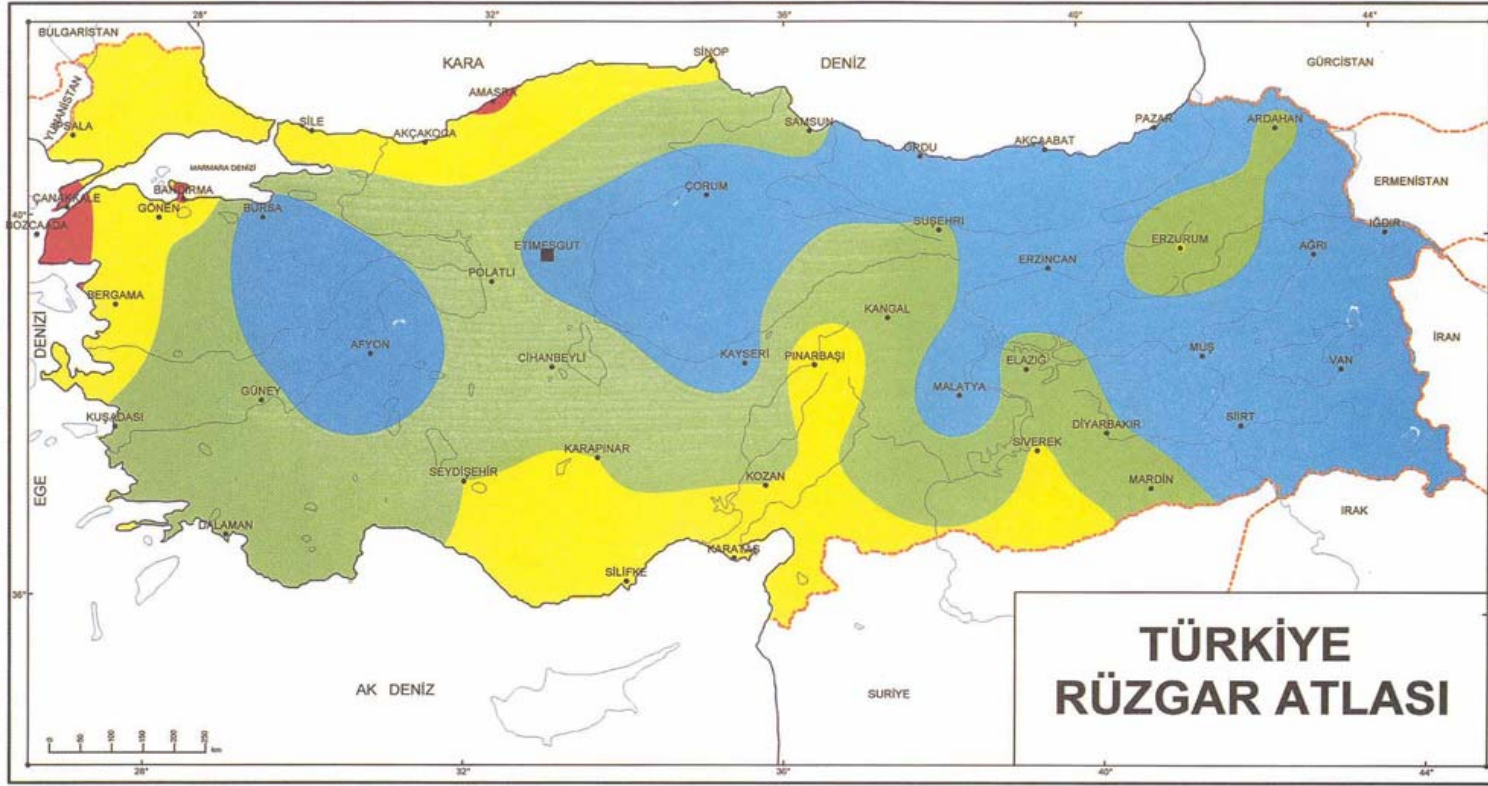
Şekil 2.12– Bozcaada rüzgar santrali, 17 x 600 KW = 10.2 MW Haziran 2000



Şekil 2.13– Aero, rüzgar türbin kanat fabrikası, İzmir 2002

2.6.1. Türkiye rüzgar atlası

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından hazırlanan bu haritalarda; seçilmiş büyük gözlem istasyonlarının, anemograf diyagramlarından bilgisayar ortamına aktarılmış olan saatlik ortalama rüzgar hız ve yön bilgilerinden oluşmuş on yıllık bir periyodun zaman serisi şeklinde kayıtlı verileri kullanılmıştır. Rüzgar hızı birimi m/s ve yönü derece olarak alınmıştır. Analizin amacı; meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş olan rüzgar hız ve yön datasına ölçüm etrafındaki yakın engeller, çevre pürüzlülük durumu ve yer şekillerinden dolayı olabilecek etkilerin hesaplanması ve datanın bu etkilerden arındırılmasıdır. Böylece serbest atmosferdeki rüzgar datasına erişilmiş olur. Bu datayı kullanarak rüzgar gücü yoğunluğunu ve yıllık rüzgar enerji potansiyelini daha sağlıklı hesaplamak mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda meteoroloji istasyonları için hesaplanan ortalama rüzgar hızları ile ortalama enerji yoğunlukları kullanılarak, DMİ Genel Müdürlüğü ve EİE tarafından, Türkiye'nin yeryüzünden 50 m yükseklik için "Türkiye Rüzgar Atlası" haritası hazırlanmıştır (Dündar ve ark.,2002).



Beş farklı topografik durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri ¹										
	Kapalı Araziler ²		Açık Araziler ³		Kıyılar ⁴		Açık Deniz ⁵		Tepe ve Bayırlar ⁶	
	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²
Red	>6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>9.0	>800	>11.5	>1800
Yellow	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
Green	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
Blue	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
Light Blue	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<5.5	<200	<7.0	<400

Şekil 2.14- Türkiye rüzgar potansiyel dağılımı

1. Rüzgar potansiyeli, rüzgarın gücünü temsil etmektedir. Rüzgar türbini halihazırındaki potansiyelini % 20 ile % 30 luk bölümünü kullanabilir. Potansiyel hesaplamaları; deniz seviyesinde 1 Atm lik standart basınç ve 15 °C sıcaklığa karşılık gelen 1.23 kg/m³ hava yoğunluğuna göre yapılmıştır.
2. Yerleşim alanları, ormanlar ve rüzgar kırıcıları yoğun olduğu tarım alanları (pürüzlülük sınıfı 3)
3. Az sayıda rüzgar kırıcının olduğu açık araziler (pürüzlülük sınıfı 1). İç bölgelerde en fazla tercih edilen alanlar genellikle bu sınıfta bulunmaktadır.
4. Düzgün kıyı alanları ve çok az sayıda rüzgar kırıcı içeren kara yüzeyleri (pürüzlülük sınıfı 1). Eğer hakim rüzgar yönü deniz tarafından ve sürekli ise, potansiyel daha fazla olabilir. Tam tersi durumda ise potansiyel daha az olabilir.
5. Kıyılardan en az 10 km uzaklıktaki açık denizler (pürüzlülük sınıfı 0).
6. Bütün sınıflarda % 50 ye varan bir hız artışı görülmektedir ve bu sonuç 400 m yüksekliğinde ve 4 km çapındaki simetrik bir tepede yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. Rüzgar hızındaki artış; tepenin yüksekliğine, uzunluğuna ve yapısına bağlıdır.

2.7. Avrupa Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Yatırımlarına Verilen Teşvikler

1990'lı yılların başından itibaren yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bütün dünyada ciddi bir hareketlenme başlamıştır. Özellikle Avrupa Birliği Ülkeleri bu konuda başı çekmektedirler. Avrupa Birliği ülkeleri, 2001/77/EC no'lu direktifine göre, 2010 yılında tükettikleri enerjinin ortalama %22'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacaklarını taahhüt etmişlerdir. Türkiye'de bu oran 2004 yılı itibarıyla %30,87'dir (su + rüzgar + jeotermal).

Dünyada son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin birçok haklı yanı vardır. Devletler sürdürülebilir bir çevre yönetimi ile enerji kaynaklarında dışa bağımlılığı önlemek ve kaynak çeşitliliği yapmak amacı için bu yolu seçmektedirler. Bu yüzden, birçok devlet yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemek için çeşitli teşvikler geliştirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen teşvikler, sektörün diğer enerji kaynakları ile rekabet edinceye kadar kaçınılmazdır. Avrupa Birliği ülkeleri, 2010 yılında ürettikleri enerjilerinin ortalama %22 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacaklarını planlayarak en büyük teşviki bir anlamda vermişlerdir (Durak,2005).

2.7.1. Teşvik türleri

Ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına farklı teşvikler vermektedirler. Bunlar mali, vergi ve üretim teşvikleri olarak üç başlık altında toplanabilir.

2.7.1.1. Mali teşvikler

Mali teşvikler genellikle iki alt başlıkta toplanmaktadır.

1. Yatırım Teşvikleri: Bu teşvik türünde devlet toplam yatırım tutarına belli bir oranda katkı da bulunmaktadır. Bu oran %20 – %40 arasında değişmektedir. Bazı devletler belli kaynaklar için bu teşviki vermektedirler.
2. Hükümet Destekli Kredi: Devlet veya uluslararası kuruluşlar, yatırımların finanse edilmesi için bu tip projelere normal ticari kredilerden daha cazip krediler vermektedir. Almanya'da Deutsche Ausgleichsbank ve Commerzbank kredileri bu duruma örnek olarak verilebilir (Durak,2005).

2.7.1.2. Vergi teşvikleri

Vergi teşviklerini iki alt başlıkta toplamak mümkündür.

1. Vergi Muafiyetleri: Bazı devletler 1–5 yıl arasında santralden elde edilen gelirden kurumlar ve/veya gelir vergisi almamaktadır. Hollanda'da uygulanmaktadır.
2. Gümrük Muafiyetleri: Devletler, rüzgar türbini, solar paneli gibi ekipman ithalat ve ihracatından düşük oranda veya bütünü ile gümrük vergi muafiyeti getirmektedir. Danimarka'da uygulanmaktadır (Durak,2005).

2.7.1.3. Üretim teşvikleri

Üretim teşviklerini ise üç alt başlıkta toplamak mümkündür.

1. Yenilenebilir Portföy Standardı: Bu teşvik türünde elektrik dağıtım şirketleri, dağıtımını yaptıkları elektriğin belli bir yüzdesini belirli bir zaman aralığında yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak zorundadır.
2. Üretilen Elektriğe Teşvik: Yenilenebilir kaynaklara verilen bir diğer teşvik türü de, üretilen elektriğin birim fiyatına verilen teşvik türüdür.
3. Sabit Tarife Uygulaması: Üretilen elektrik için belli bir zaman aralığında belli bir fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Örneğin, ilk 10 yıl ve ikinci 10 yıl olmak üzere 2 farklı periyotta sabit fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Santral kredi borcu ve faizlerini geri ödediğinden ilk 10 yıl daha yüksek tarife uygulanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir teşvik türüdür (Durak,2005).

2.7.2. Çeşitli avrupa birliği ülkelerinde verilen teşvikler

Daha öncede belirtildiği gibi, ülkeler farklı şekillerde teşvik mekanizmaları geliştirmişlerdir. Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere, seçilen bazı ülkeler ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

Almanya: 1991 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu (Erneuerbare Energien Gesetz, EEG) yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Almanya'da yürürlükte olan teşvikler: Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin fiyatı 9 €/KWh, Deutsche Ausgleichsbank ve Kreditanstalt für Wiederaufbau bankalarının rüzgar elektrik santrallerine normal ticari kredilerden daha cazip imkanlarda finans temin etmesi, 5 yıl öncesine kadar toplam yatırım tutarının %25'ini geçmeyecek şekilde devlet sübvansesi. Alman Hükümeti 1995–1997 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 343,2 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır

Avusturya: Biomass ve küçük güçlü hidroelektrik santralleri ile ilgili bazı teşvikler verilmektedir. Bu teşvikler genellikle yerel ve merkezi idarelerin sübvansesi şeklinde olmaktadır. Rüzgar enerjisinden kaynaklarından üretilen enerjiye 7,3–10,9 €/KWh arasında değişen tarife uygulanmaktadır. 1997 yılında kurulan yatırım fonu, yılda 6 milyon EURO yenilenebilir enerji kaynaklarına sübvansesi ayırmıştır. Avusturya Hükümeti 1995–1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 36 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Belçika: 3 federal bölgeye ayrılan (Flanders, Wallonia ve Brussels) Belçika'da bütün yenilenebilir enerji yatırımlarında %15'e kadar devlet yardımı yapılmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için ise, 7,68 €/KWh tarif uygulanmaktadır. Belçika Hükümeti 1995–1997 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 10,5 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Danimarka: Özellikle rüzgar türbini üretim piyasasına hakim olan Danimarkalı türbin üreticileri, dünya türbin üretiminin %60'ını gerçekleştirmektedirler. Rüzgar Gülü "Windmill Law" yasasına göre, Elektrik dağıtım şirketleri yenilenebilir enerji kullandıkları takdirde 1,5 \$/KWh teşvik

almaktadır. Dağıtım şirketleri kullandıkları yenilenebilir enerji birim KWh için 0,18 €/KWh genel karbon vergisi iadesi almaktadır. Ulusal şebeke bağlantısı, rüzgar santrali sahibi ile dağıtım şirketi tarafından ortak olarak inşa edilmektedir. Rüzgar türbini ihraç kolaylıkları, bazı vergi muafiyetleri yatırımcılara sağlanmaktadır. Danimarka hükümeti ayrıca 2005 yılına kadar tüketilen enerjinin %10'luk kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanacağını planladığından her yıl 100 MW'lık bir kapasite artırımı yapmaktadır. Danimarka Enerji Ajansı 1995–1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 36 milyon EURO'luk yatırım sübvansesi ayırmıştır. Rüzgar enerjisi projeleri için ise, 5,76 €/KWh tarife uygulanmaktadır.

Finlandiya: Yenilenebilir enerji yatırımlarında %30'a kadar devlet yardımı yapılmaktadır. 1998 yılında bu amaçla 22 milyon EURO sübvansesi edilmiştir. Finlandiya Hükümeti, 1995–1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 18 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Fransa: Eole 2005 programı çerçevesinde, rüzgar enerjisi kurulu gücü 2005 yılı hedefi 500 MW, 2010 yılı hedefi ise 10.000 MW olarak planlanmaktadır. Santralin işletildiği ilk 5 yıl elektrik satış fiyatı 8,38 €/KWh olarak belirlenmektedir. Bu rakamlar, kurulu gücü 12 MW'ı geçmeyen santralleri için geçerlidir. Ortalama tarife ise, 6 €/KWh'tir. Yenilenebilir enerji santral ekipmanlarından toplam vergi tutarının %25'i alınmamaktadır.

Fransa Hükümeti, 1995–1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 30,5 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Hollanda: 1996 yılında çıkarılan bir kanunla bazı vergi teşvikleri ve Yatırım indirimi verilmektedir. Yenilenebilir enerji, enerji vergisi'nden muaf tutulmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için 7,71 €/KWh tarife uygulanmaktadır.

İngiltere: Yenilenebilir enerji üretimi, Non Fossil Fuel Obligation (NFFO) isimli devlet programı çerçevesinde yürütülmektedir. Buna göre, elektrik dağıtımını yapan şirketler, tüketicilere tedarik ettikleri elektriğin belirli bir miktarını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamakla yükümlüdürler. İngiliz Hükümeti, 1995–1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 40,4 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır. Rüzgar enerjisi projeleri için, 4–7 €/KWh tarife uygulanmaktadır.

İrlanda: Rüzgar enerjisi ve biomass projelerine toplam yatırım tutarının %50'ye kadar olanı devlet tarafından sübvansesi edilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 4,70 €/KWh tarife uygulanmaktadır.

İspanya: Rüzgar santrallerinden 5 yıllık alım garantisi verilmekte ve 6,28 €/KWh fiyat tarifesi veya alternatif olarak, havuz tarifesi artı 0.029 €/KWh, olarak uygulanmaktadır. İspanya Hükümeti, 1994–1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 60 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır. 2010 yılı kurulu rüzgar santral kapasite hedefi 9.000 MW'tır.

İtalya: Uzun dönem enerji satış anlaşması yapılarak enerji alım garantisi verilmektedir. İlk 8 yıl 0.01 €/KWh, geri kalan ömürde de 0.05 €/KWh devlet sübvansesi enerji satış anlaşmalarında yer almaktadır. İtalya'da ayrıca 488/92 sayılı yasa ile yatırımların %40'a kadar olan kısmı devlet

veya yerel otoriteler tarafından sübvansede edilebilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 7,37 €/KWh tarife uygulanmaktadır. İtalya Hükümeti, 1995–1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 160 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır. 2010 yılı kurulu rüzgar santral kapasite hedefi 3.000 MW'tır.

Portekiz: Portekiz'de 1995–1999 yılları arasında 159 milyon EURO'luk kamu fonu sübvansede için ayrılmıştır. Yenilenebilir enerji ekipmanlarından %5 daha az KDV alınmaktadır. Portekiz Hükümeti, 1995–1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 5,3 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır. Rüzgar enerjisi projeleri için tarife üç farklı aşamada uygulanmaktadır. Tam kapasite 2000 saate kadar 9,0 €/KWh, 2000–2600 saate kadar 2,0 €/KWh'e kadar düşen tarife, 2600 tam kapasite saatten sonrası için 2 €/KWh sabit tarife.

Yunanistan: Rüzgar santrallerinin toplam yatırım tutarının %30'a kadarı devlet tarafından sübvansede edilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 6,10 €/KWh tarife uygulanmaktadır. Yunanistan hükümeti, 1994–1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 20 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Türkiye: Ülkemiz enerji piyasası ve mevzuatı şu anda bir geçiş dönemi içerisinde. Halihazırda, enerji sektörüne reel sektör yatırımlarında teşvik aracı olan yatırım indirimi teşviki uygulanmaktadır. Sektörün oluşabilmesi için bu yasal düzenlemeleri beklemek gerekmektedir. Bunlar mevcut teşviklerden olan yatırım indirimi'ne katma değer vergisi muafiyeti'nin de eklenmesi, Yenilenebilir enerji ile çalışan elektrik santrallerinde kullanılan ekipmanlara Gümrük Muafiyetleri, olarak sayılabilir. Ülkemiz, 1995–1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 0,15 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır. Rüzgar enerjisi projeleri için tarife iki farklı aşamada uygulanmaktadır (YİD projelerinde) ilk 10 yıl 6–7 €/KWh; Son 10 yıl 3–5 €/KWh'tir.

Sonuç olarak ülkeler çok değişik teşvik mekanizmaları geliştirmiştir. Ülkemizde konu ile ilgili yatırım indirimi teşvik mekanizması mevcuttur. Bununla beraber, yakın bir gelecekte ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına yukarıda sayılan teşvik mekanizmalarının da hayata geçirileceği yüksek bir olasılıktır. Kamu finansman ve sübvansede olanaklarının kısıtlı olduğu ülkemizde, devletin yatırıma doğrudan desteği yerine diğer teşvik mekanizmalarını çalıştırmak gerekmektedir. Bunlara örnek olarak, aşağıda verilen teşvik mekanizmaları üzerinde düşünülmesi gerekmektedir.

Yenilenebilir Portföy Standardı: Bu teşvik türünde, bölgesel elektrik dağıtımını yapan firmalar için yapılacak düzenlemelerde dağıtım yapılan elektriğin belli bir yüzdesinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması gerektiği konusunda yasal düzenlemeler yapılabilir.

Üretilen Elektriğe Teşvik: Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjiye havuz veya normal tarifeden daha yüksek bir tarife verilebilir.

Vergi Teşvikleri: Yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan elektrik santrallerinden santral kredi borcunu ödeyene kadar çeşitli vergi muafiyetleri ve istisnaları uygulanabilir.

Gümrük Muafiyetleri: Rüzgar türbini ve yenilenebilir santral ekipman ihracında gümrük ve vergi muafiyetleri verilebilir.

Diğer Teşvikler: Orman Bakanlığı'na ait arazilerde kurulacak olan tesisler için alınan tesis bedelinin %5'ten %1 'e indirilmesi, veyahut ta ödemenin yıllara yayılması verilebilir (Durak,2005).

3. RÜZGAR ENERJİSİ METODOLOJİSİ

3.1. Rüzgardaki Enerji

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

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

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m_h \cdot V_r^2 \quad 3.1$$

Burada;

- E_k : Rüzgardaki kinetik enerji (J)
- V_r : Ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
- m_h : Havanın kütlesi (kg)

Havanın kütlesi (m_h) aşağıdaki formül ile belirlenir:

$$m_h = \rho_h \cdot V_h \quad 3.2$$

Burada;

- ρ_h : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
- V_h : Hava hacmi (m^3)

Hava hacmi (V_h):

$$V_h = v_r \cdot s \cdot t \quad 3.3$$

formülü ile hesaplanır. Burada;

- v_r : Ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
- s : Rotor süpürme alanı (m^2)
- t : Ölçüm zamanını (s)

Böylece, (3.3) bağıntısı (3.2) bağıntısında yerine konularak, kinetik enerji eşitliğinde gerekli düzenlemeler yapılacak olursa, Rüzgar enerjisi (E_r) Joule cinsinden şu bağıntı ile tanımlanmış olur;

$$E_r = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \cdot t \quad 3.4$$

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

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \quad 3.5$$

olur, burada;

P_r : Rüzgarın anlık gücü'dür (W)

Değişik rüzgar hızlarına sahip yörelerin rüzgar güç ve enerjilerini karşılaştırmak amacıyla, rüzgar güç ve enerji yoğunluğu teriminden yararlanılır. Buna göre (3.5) eşitliği düzenlenecek olursa; P_y , Ölçüm yüksekliğindeki güç yoğunluğu (W/m^2) şu şekilde olur:

$$P_y = \frac{P_r}{s} = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot v_r^3 \quad 3.6$$

Bu sonuca göre enerji yoğunluğunu (E_y) bulacak olursak;

$$E_y = P_r \cdot \frac{f}{s} = P_y \cdot f = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot v_r^3 \cdot f \quad 3.7$$

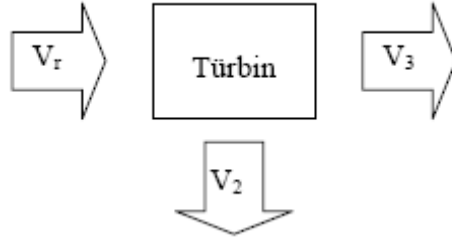
Burada;

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

s: Rotor süpürme alanını (m^2)

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

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



Bu durumda türbinin gücü;

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot v_2 \cdot (v_r^2 - v_3^2) \quad 3.8$$

Froude- Rankie teoreminden ortalama türbin içindeki rüzgar hızı,

$$v_2 = (v_r + v_3)/2 \quad 3.9$$

olarak hesaplanır. Türbin gücü (3.8) formülünde v_2 yerine yazılırsa,

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot \left(\frac{v_r + v_3}{2} \right) \cdot (v_r^2 - v_3^2) \quad 3.10$$

veya;

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_3}{v_r} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{v_3}{v_r} \right)^2 \right) \quad 3.11$$

Burada (3.5) denklemini (3.11) denkleminde yazılırsa;

$$P_T = P_r \cdot \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{v_3}{v_r} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{v_3}{v_r} \right)^2 \right) \right] \quad 3.12$$

elde edilir. Burada güç faktörü $C_p = P_T/P_r$ ve yavaşlatma faktörü $n = V_3/V_r$ olarak tanımlanırsa (3.12) denklemini;

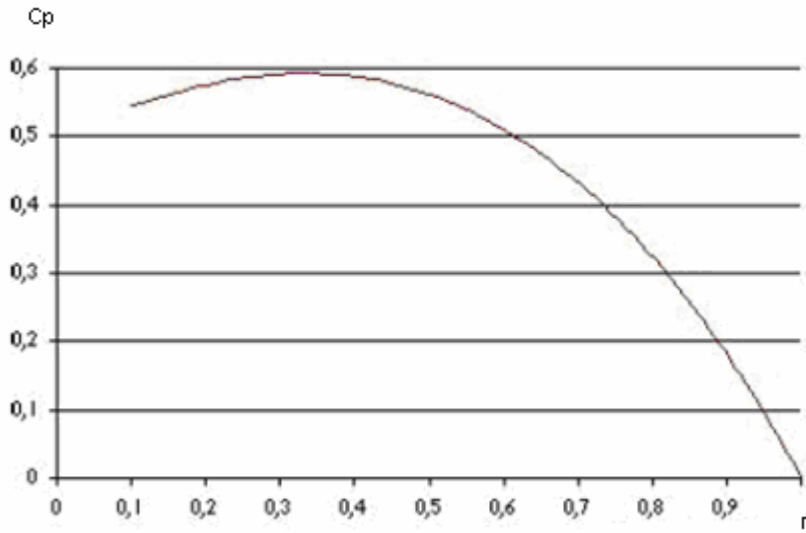
$$C_p = \frac{1}{2}(1+n)(1-n^2) \quad 3.13$$

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

$$\frac{d}{d_n} C_p = \frac{1}{2} \frac{d}{d_n} (1-n^2 + n - n^3) = 0 \quad 3.14$$

$$n_1 = \frac{1}{3}, \quad n_2 = -1$$

Bulunur. Yavaşlatma faktörünün değişimi Şekil 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.1 - Yavaşlatma faktörü değişimi (www.windpower.org)

Yavaşlatma faktörü n , hiçbir zaman negatif değer olamayacağından $1/3$ alınır ve (3.13) 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 rüzgar türbiniyle, rüzgarın tüm enerjisinden faydalanmak imkansızdır. Rüzgar; rüzgar türbininden, rüzgardan aldığımız enerji

ölçüsünde yavaşlamış olarak çıkar. Eğer rüzgardaki tüm enerjiyi alabilseydik, rüzgarın türbinden durgun halde çıkması gerekirdi. Fakat bu durumda da türbine rüzgarın diğer taraftan girmesi engellenir ve hiç enerji elde edilmezdi. Çağdaş rüzgar 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. Rüzgar türbinlerinde oluşan gücü güç faktörünü de katarak yeniden tanımlarsak, sonuç aşağıdaki gibi olur.

$$P = \frac{1}{2} \rho_h \cdot C_p \cdot s \cdot v_r^3 \quad 3.15$$

Eğer (3.15) formülünde; $k = \frac{1}{2} \rho_h \cdot C_p$ seçilirse, güç formülü aşağıdaki gibi olur.

$$P = k \cdot s \cdot v_r^3 \quad 3.16$$

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

3.2. Güç Kayıpları

Optimal bir rüzgar türbini pervanesinden alınabilecek güç en fazla:

$$P_p = C_{pBet} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot v_r^3 \quad 3.17$$

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

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

3.2.1. Profil kayıpları

İhmal edilen direnç kuvvetlerinden kaynaklanırlar. Hesaplamalarda,

$$\lambda_A = \frac{V_\xi}{V_r} = R \cdot n \cdot \frac{\pi}{30 \cdot V_r} \quad 3.18$$

$$\varepsilon = \frac{C_A}{C_W} \quad 3.19$$

$$\xi_{Pr ofil}(\lambda_{A,\varepsilon}) = 1 - \frac{\lambda_A}{\varepsilon} \quad 3.20$$

İle dikkate alınır. Burada;

λ_A : dizayn devirlilik sayısı

V_ξ : çevresel hız

ε : kayma sayısı

C_A : kaldırma kuvveti katsayısı

C_W : direnç kuvveti katsayısı'dır.

3.2.2. 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;

$$\xi_{uç}(Z, \lambda_A) = 1 - \left(\frac{1,84}{Z \cdot \lambda_A} \right) \quad 3.21$$

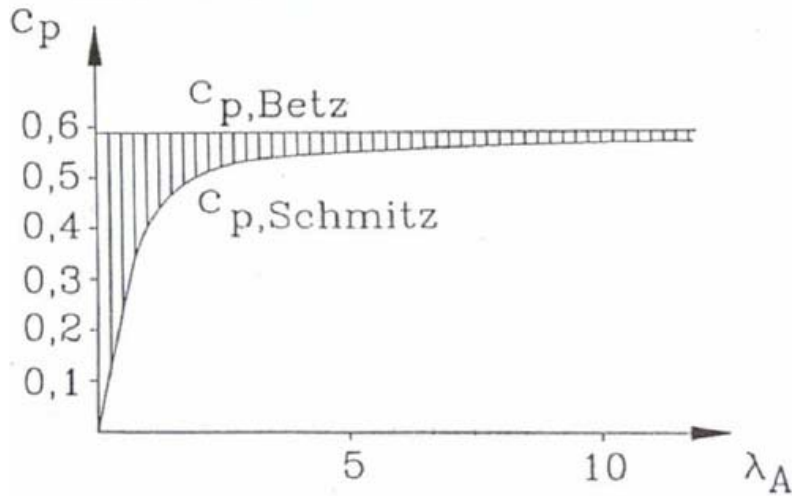
ile dikkate alınır. Burada kanat sayısı (Z) ile gösterilir.

3.2.3. Girdap kayıpları

Betz Kriteri'ne göre rüzgar hızı, pervane düzlemi öncesi ve sonrasında doğrultusunu değiştirmez. Halbuki, kanada çarpan hava kütlesi, kanat sonrasında doğrultusunu değiştirir ve girdap oluşturur. Girdap kayıpları Schmitz tarafından verilen $C_{pSchmitz}-A$, a eğrisi yardımıyla hesaba katılır. $C_{pSchmitz}-A$, a eğrisi Şekil 3.2 verilmiştir. Sonuçta, bir rüzgar türbini pervanesinin gerçek güç faktörü;

$$C_{pGerçek} = C_{pSchmitz}(\lambda_A) \cdot \xi_{Profil}(\lambda_A, \varepsilon) \cdot \xi_{uç}(Z, \lambda_A) \quad 3.22$$

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



Şekil 3.2– CPschmitz- A, a eğrisi

3.3. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Rüzgarın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, enerji üretimi değerlendirmeleri için çok önemlidir. Türbin tasarımcıları; türbin iyileştirmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgar dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Bir yerde sadece ortalama rüzgar hızı (V_{rort}) biliniyorsa; Rayleigh Dağılım Fonksiyonu yardımıyla herhangi bir rüzgar hızının (V_{ri}), esme saati (h_r) yüzdesi bulunabilir. Bunun sonucunda ortaya çıkan rüzgar hızları bir olasılık yoğunluğu dağılımıdır. Dağılım şematik olarak çizilirse bu dağılımın altında kalan alan 1'e eşittir. Çünkü, rüzgarın sıfır dahil herhangi bir hızda esme olasılığı % 100'dür. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu'na göre esme hızı saati,

$$h_r = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_{ri}}{V_{rort}^2} \cdot e^{(-\pi/4)(V_{ri}/V_{rort})^2} \quad 3.23$$

olarak bulunur (Şen,2003).

Örnek:

Sivas'ta 10 metre yükseklikte ölçülen ortalama rüzgar hızı 6,14 m/s'dir. Bir yıllık her bir rüzgar hızı için esme saatini bulunuz?

Denklem (3.21)'den

$$h_r = 0,29694 \cdot V_{ri} \cdot e^{(-0,1484685 \cdot V_{ri}^2)}$$

olarak bulunur. Buna göre yıllık esme saati aralıkları aşağıdaki gibi hesaplanır.

V_{ri} (m/s)	h_{ri}	Esme sıklığı %	Yıllık Esme Saati
0-1	0,25597	25,6	2497,5
1-2	0,32793	32,8	3200,0
2-3	0,23414	23,4	2282,9
3-4	0,11042	11,0	1073,2
4-5	0,03627	3,6	351,2
5-6	0,00850	0,8	78,1
6-7	0,00143	0,14	13,7
8 ve üzeri	0,00018	0,02	2,0

3.4. Hellmann Yükseltme Bağntısı

3.4.1. Pürüzlülük sınıfları ve rüzgar hızı profilleri

Pürüzlülük, rüzgar hızı profile üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu sebeple rüzgar enerjisi incelemelerinde alan pürüzlülüğü önemli bir parametredir. Rüzgar 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 3.3– Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği ($Z_0=0,0002$ m)

Bu sınıf; su alanları, deniz ve gölleri kapsar.



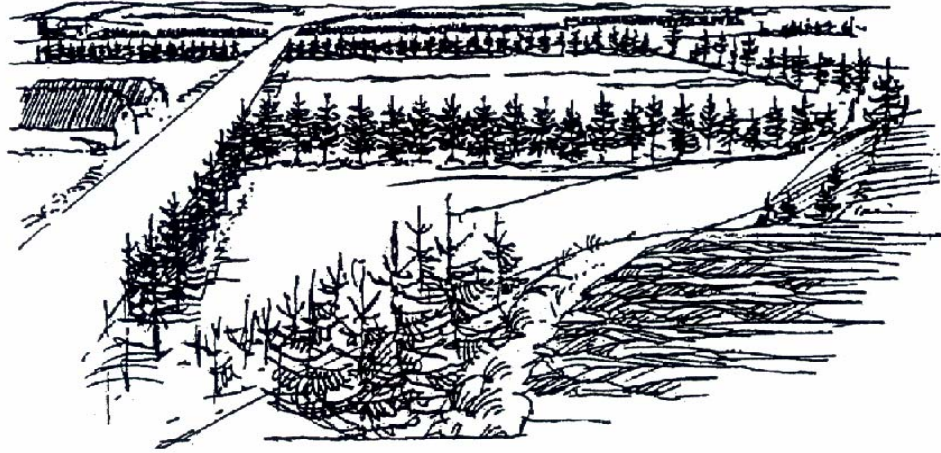
Şekil 3.4– Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği ($Z_0=0,03$ m)

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



Şekil 3.5– Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi ($Z_0=0,10$ m)

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



Şekil 3.6– Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi ($Z_0=0,40$ m)

Şehir alanları, ormanlar ve ortalama birkaç yüz metre aralıklarla çok sayıda rüzgar 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).

$$Z_0 = 0,5 \cdot \frac{h \cdot S}{A_H} \quad 3.24$$

Burada;

h : pürüzlülük elemanın yüksekliği (m)

S : rüzgara karşı gelen dikey kesit alanı (m²)

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

A_H'ın S'den çok büyük olduğu durumlarda, hesaplanan Z₀ daha gerçekçidir. Yüzey yapısı özelliklerine göre seçilmesi gereken pürüzlülük uzunlukları (Z₀) ve pürüzlülük sınıfları Çizelge 3.1'de verilmiştir (Dündar ve ark.,2002; Jaramillo and Borja,2004).

Çizelge 3.1. Pürüzlülük uzunluğu ve yüzey yapısı özelliklerine göre pürüzlülük sınıfları

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	
0,03	Çok seyrek bina ve ağaçlı çiftlik arazisi	1
0,02	Havaalanları (binaları ve ağaçları ile birlikte)	
0,01	Havaalanı pistleri	
0,007	Biçilmiş çim	
0,005	Pürüzsüz çıplak toprak	0
0,001	Pürüzsüz kar yüzeyleri	
0,0003	Pürüzsüz kum yüzeyleri	
0,0001	Su yüzeyleri (göller, fiyortlar, denizler)	

Rüzgar yer yüzeyinden yaklaşık 1 km'ye kadar, yer yüzeyinin yüzey yapısından oldukça fazla etkilenir. Havakürenin alt katmanlarında rüzgar hızları sürtünme etkisi altında kalırlar. Bu duruma arazinin pürüzlü oluşu neden olur. Bir arazide pürüzlülük ne kadar çok ise rüzgar hızı o kadar azalır. Su yüzeyi, rüzgar hızını daha az etkileyen en pürüzsüz yüzeydir. Uzun ot, çalı ve çöp gibi pürüzlülük öğeleri rüzgar hızını daha çok etkiler, azaltır. Rüzgar enerjisinin hesaplanmasında pürüzlülük faktörü dikkate alındığında;

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

Birincisi;

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \frac{\ln(Z / Z_0)}{\ln(Z_{ref} / Z_0)} \quad 3.25$$

Burada;

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

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

Z : hızı istenen yükseklik/kule yüksekliği (m)

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

Z_0 : pürüzlülük uzunluğu katsayısını (m)

İfade etmektedir. İkincisi ise (Hellmann Yükseltme Bağıntısı):

$$\frac{V_{ist}}{V_{ölç}} = \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^\alpha \quad 3.26$$

Burada α : Yüzeysel farklılıkların rüzgar hızına etkisini belirleyen katsayıdır ve değişik arazi yapısına göre 0,1 ile 0,4 arasında değerler alır. Bu farklı arazi yapılarına göre α değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir (Özdamar,2000; Dündar ve ark.,2002; Jaramillo and Borja,2004).

Çizelge 3.2. Yüzeysel farklılıkların rüzgar hızına etkisi

Durum	α (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

4. RÜZGAR ENERJİSİNİN FİYAT VE MALİYET ANALİZİ

4.1. Rüzgar Enerjisinin Mali Analizi

Günümüzde, elektrik şirketleri tarafından yürütülen rüzgar 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 rüzgar türbininin maliyeti 2600 \$/KW iken, bugünün tipik rüzgar 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 rüzgar türbinlerinin yatırım maliyetleri, 2006 yılında 600 \$/KW 'a düşeceği öngörülmüştür. Yapılan hesaplamalar, 400 MW yeni rüzgar 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 rüzgar enerjisinin en ucuz elektrik üretim kaynağı olacağına ilişkin uzun vadeli öngörüler artık hayal olmayıp gerçekleştirilmek üzeredir (Akyüz,2000).

4.1.1. Ekonomik avantajlar

Ortalama bir sahada modern bir rüzgar türbini, üç dört ay içerisinde imalatında kullanılan miktarda enerjiyi üretebilmektedir. Rüzgar çiftlikleri, kolayca sökülebilmekte ve arazi kolayca eski haline getirilebilmektedir. Böylece rüzgar türbinlerinin geri kazanılabilirlik oranı artmakta ve hurda makinelerden daha çok enerji kurtarılabilmektedir. 20 türbinden oluşan tipik bir rüzgar çiftliği, yaklaşık 1 km² 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 rüzgar projeleri, herhangi bir destek olmaksızın 4–7 \$/KWh maliyetle üretim yaparak, fosil yakıtlı güç santralleriyle rekabet edebilmektedir.

Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nin bir raporuna göre rüzgar türbinlerinin fiyatı 1981–1991 yılları arasında 3 misli azalırken, rüzgar enerji fiyatları yarı yarıya azalmıştır. Washington'daki Yenilenebilir Enerji Politikaları Projesi bulgularına göre ise 1997 yılında 1000 \$/KW olan rüzgar 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 rüzgar enerjisi maliyetlerinin en ucuz olarak bilinen doğalgazın maliyetlerinin altına düşeceğini açıklamıştır. Açıklamaya göre, yapılan hesaplamalar, 400 MW yeni rüzgar 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 rüzgar enerjisinin en ucuz

elektrik üretim kaynağı olacağına ilişkin uzun vadeli öngörüler, rüzgar enerjisinin en ekonomik enerji şekli olacağını göstermektedir. Rüzgar maliyetleri, artık fosil yakıtların en ucuz seçenekleri olan kömür ve gaz ile rekabet edebilir duruma gelmiştir. Türkiye’de rüzgar enerjisi kullanımı, termik sektörün zorla genişletilmesine karşı faydalı ve düşük maliyetli bir alternatiftir. Eğer, Türkiye’nin enerji ihtiyacının yalnız %10’u rüzgar enerjisinden karşılansa, her yıl ithal fosil yakıtlı enerji kaynaklarına gidecek milyonlarca dolardan tasarruf edilerek, büyük bir ekonomik kayıp önlenmiş olacaktır. Rüzgar enerjisi petrol masraflarını ve CO₂ çıkmasını önler. Bir adet 600 KW’lık rüzgar türbini her yıl 1200 ton CO₂ çıkışını önler. Rüzgar 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 maliyetininin, 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 rüzgardan temin edilebilir. 100.000 rüzgar 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).

4.1.2. Kapasite bakımından maliyet ekonomikliği karşılaştırılması

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

Çizelge 4.1. Muhtelif enerji kaynaklarının kapasite maliyeti kıyaslaması

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
Rüzgar	4,0 – 6,0

Amerikan Rüzgar Enerjisi Birliğine göre bir çalışmada, rüzgar santralleri gaz santralleriyle aynı koşullarda finanse edilebilse maliyetlerin %40 düşebileceği hesaplanmıştır. Bu durum rüzgar enerjisinin gelecekte ekonomikliğinin artacağına işaretler (Akyüz,2000).

4.1.3. Ekonomik değerlendirme

Rüzgardan elektrik üretimi yeni bir endüstridir. Avrupa'da 15 yıl önce hiç bir ticari rüzgar gücü bulunmamaktaydı. Rüzgar gücünün çevresel yararları göz önüne alınmadan bile bazı ülkelerde rüzgar enerjisi, daha şimdiden fosil ve nükleer güç ile rekabet edebilmektedir. Rüzgar gücü; temiz, güvenilir ve fiyat yönünden ekonomik bir enerji kaynağıdır. Rüzgar türbinleri, düşük fiyatlı elektriğin, değerli bir kaynağı olabilir. Rüzgar enerjisi üretimi, maliyetin azalması ve verimliliğin artması şeklinde iyileşmeye devam etmektedir. Rüzgar enerjisinden elde edilen elektriğin maliyeti KWh başına 5–8 €c olup, bu maliyetin 4 €c'e kadar düşmesi beklenmektedir. Rüzgar 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. Rüzgar enerjisi, hızlı büyüyen, dünya çapında bir endüstridir. Avrupa bankalarının en az 10 tanesi ve kamu hizmet şirketlerinin en az 20 tanesi rüzgar 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 rüzgar enerjisini kullanmak, günümüz dünyası için kaçınılmazdır.

4.1.4. Rüzgar enerjisi maliyet analizi

Rüzgar Enerjisi, halihazırda 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 rüzgar 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. Rüzgar enerjisi sektöründeki teknolojik gelişmelerin, mevcut hızıyla devam etmesi halinde, ileride rüzgar enerjisi santrallerinin maliyetlerinin önemli ölçüde düşmesi beklenmektedir. Amerikan Rüzgar Enerjisi Birliğine göre, bir çalışmada, rüzgar santralleri gaz santralleriyle aynı koşullarda finanse edilebilse maliyetlerin %40 düşebileceği hesaplanmıştır (Akyüz,2000).

Çizelge 4.2. Termik santral maliyetleri

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

Elektrik santrallerinin ilk kuruluş maliyetleri, aşağıdaki Çizelge 4.3'de kıyaslanabilir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Elektrik santrallerinin kıyaslanabilir kuruluş maliyetleri

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
Rüzgar Santralleri	700 – 1450 \$/KW

Son yıllarda, rüzgar türbinlerinin siparişlerindeki artışlar ve türbin kapasitelerinin artması sonucu, \$/KW bazında önemli düşmeler sağlanmıştır. Fiyat düştükçe de türbin santrallerine yatırım artmıştır. Karada inşa edilen rüzgar 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:

Çizelge 4.4. Maliyet hesabı kabulleri

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

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 =

$$(\%2,5 * 1000 \text{ KW} * \$1000/\text{KW} * \$100 \text{ cent}/\$) / 2.190.000 \text{ KWh} = 1,1 \text{ cent}/\text{KWh}$$

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: $1,1. + 5,9 = 7$ \$c/KWh

Yapılan kabullerden, daha uygun projeler ile masrafları azaltmak mümkündür. Ancak bugün için 5 \$c/KWh'ın 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 rüzgar enerjisi santrallerinin, sermaye maliyetinin daha yüksek olacağı bir gerçektir.

Yukarıdaki açıklamalardan da görüldüğü gibi, halihazırda iyi finansman koşullarıyla rüzgar 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).

4.1.5. Rüzgar 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.

4.1.6. İşletme aşamasındaki maliyetler

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

Çizelge 4.5. İşletme aşamasında kıyaslanabilir maliyetler

Santral	İşletme Maliyeti (\$/KWh)
Hidrolik Santrallerde	0,0005 \$
Linyit Santrallerinde	0,0250 \$
Doğalgaz Santrallerinde	0,0300 \$
İthal Kömür	0,0350 \$
Rüzgar Santrallerinde	0,0450 \$
Nükleer Santrallerde	0,0720 \$

4.1.7. Muhtelif enerji kaynaklarının maliyet karşılaştırması

Rüzgar 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. Çizelge 4.6'da temel yakıt tiplerinin maliyetini rüzgar enerjisi ile karşılaştırması yapılmaktadır (Akyüz,2000).

Çizelge 4.6. Temel Yakıt Tiplerinin Maliyeti

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

4.1.8. Türkiye'de rüzgar enerjisinin sübvansiyonunun edilmemesi

Fosil yakıtları kullanan tüm elektrik üreticilerinden bir karbondioksit emisyon vergisi alınmış olsaydı, bu vergi rüzgar 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. Rüzgar enerjisi sübvansiyonunun gerçek maliyeti 2010 yılında: 22.914 GWh rüzgar 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. Rüzgar 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 milyon \$)/(13 milyon hane) = 23,8 \$/yıl veya ayda yaklaşık 2 \$'dır.

Rüzgar 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 rüzgar ölçümleri ve buna bağlı fizibilite raporlarını esas alırlar. Türkiye'de, rüzgar enerjisi ile ilgili asıl sorun piyasa katılımcılarına devlet sübvansiyonunun yapılmasına müsaade etmeyen yeni elektrik piyasası yasası olarak görülmektedir. Rüzgar 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).

4.1.9. Sistem maliyeti

Rüzgar 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, rüzgar 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

- Rüzgar türbininin verimi
- Rüzgar türbininin tipi ve büyüklüğü
- Rüzgar 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

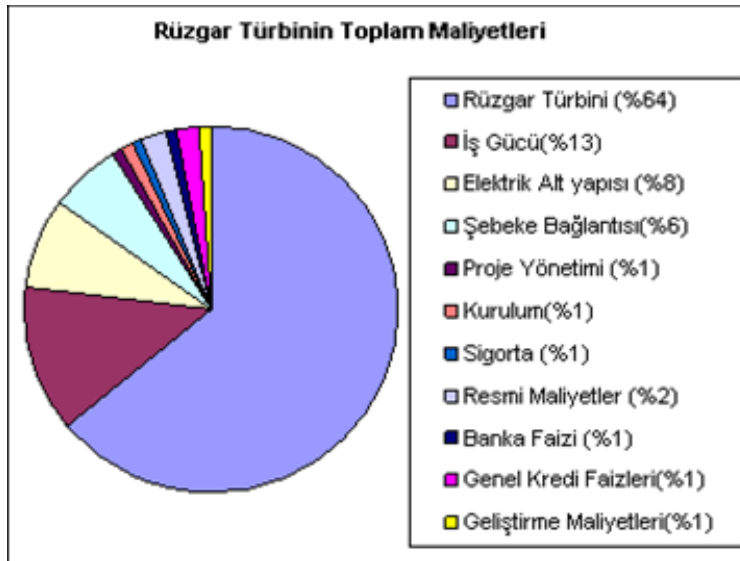
g) Amortisman

4.1.10. Tesis edilecek yer maliyeti

Rüzgar türbini için tesis edilecek yer seçiminde dikkat edilecek birkaç husus vardır. Öncelikle tesis edilecek alan etrafında rüzgarın hızını kesebilecek türde yapılar bulunmamalıdır. Tesis edilecek yer göçmen kuşların geçiş yolu üzerinde bulunmamalıdır. Rüzgar 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).

4.1.11. Türbin maliyeti

Tesis edilecek alan belirlendikten sonra optimum olarak türbin seçimi gerçekleştirilir. Rüzgar 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 rüzgar 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. Rüzgar 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 4.1- Rüzgar türbini toplam maliyetleri

Kurulum aşaması sırasında toplam maliyetin %64-75'si rüzgar türbininden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi toplam maliyetin büyük bir kısmı rüzgar türbininden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı bir çok firma rüzgar türbini maliyetlerini düşürmek için yeni teknolojiler üzerinde uzun yıllardır çalışmaktadırlar. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin bir raporuna göre rüzgar türbinlerinin fiyatı üç misli azalma göstermiştir. Washington'daki Yenilenebilir Enerji Politikaları Projesi bulgularına göre ise 1997 yılında 1000\$/KW olan rüzgar

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).

4.1.12. 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 kullanılabilir 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 rüzgar 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).

4.1.13. Bakım maliyet

Rüzgar türbini işletilmeye başlandıktan sonra, ileriki zamanlarda rüzgar türbininin randımanında düşüşlerle karşılaşılması ve etkin bir biçimde rüzgar 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).

4.1.14. Birim enerji maliyeti

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

$$C = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad 4.1$$

Burada;

i : Faiz oranı (%),

n : Amortisman süresi (yıl)' dir.

Üretim maliyeti ise;

$$\ddot{U} = \frac{C_T(C + I)}{E} \quad 4.2$$

'dir. Burada;

Ü : Üretim maliyeti (YTL/KWh)

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

C_T : Rüzgar türbininin toplam kuruluş maliyetini (YTL),

E : Yıllık üretilen enerji miktarını (KWh)

göstermektedir. Rüzgar türbininin tesisinin planlandığı yörede (E), rüzgar türbininin üreteceği enerji (KWh/yıl) aşağıdaki formülle belirlenebilmektedir.

$$E = \eta_{kay} \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot s \cdot \sum_{i=1}^k \Delta t_i \cdot v_r^3 \quad 4.3$$

Burada;

Δt_i: Zaman aralığını (h)

v_r: Rüzgar hızını (m/s)

ρ_h: Havanın yoğunluğunu (kg/m³)

s: Rüzgar 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 katsayısı (hesaplamalarda yaklaşık olarak η_{kay} =0.9 olarak hesaba katılabilir.) göstermektedir (Onat ve Cambazoğlu,2002).

4.1.15. Finansal faktörler ve mali değerlendirme

Genel olarak rüzgar enerjisi, finansa oldukça bağımlıdır. Bu da şu anlama gelir ki; rüzgar 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 rüzgar enerjisi için itici güçlerden biri, ekonomidir. Bağımsız enerji üreticileri için ekonominin güvencede olması, son derecede önem arz eder. Rüzgar enerjisi yatırım

maliyetlerinin, son yıllarda hızla düşmesi yatırımı hızlandırmıştır. Günümüzde rüzgar türbinlerinin yatırım maliyetleri 700 – 1450 \$/KW dolayındadır. Elektrik üretim maliyeti ise 4,5 – 7,0 \$c/KW civarında olup, teknolojik gelişmelerle birlikte bu değerin 3 \$c'in altına düşeceği tahmin edilmektedir. Rüzgar enerjisinin maliyeti, yakıt maliyetini içermediği için gelecekteki yakıt fiyatlarına bağımlı olan yakıt tüketen enerji üretim tesisleri ile karşılaştırıldığında, rüzgar 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. Rüzgar türbinlerinin kurulması, oldukça kolaydır ve böylelikle yüksek faize maruz kalmadan enerji üretimine geçilmektedir. Rüzgar 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 Cambazoğlu,2002).

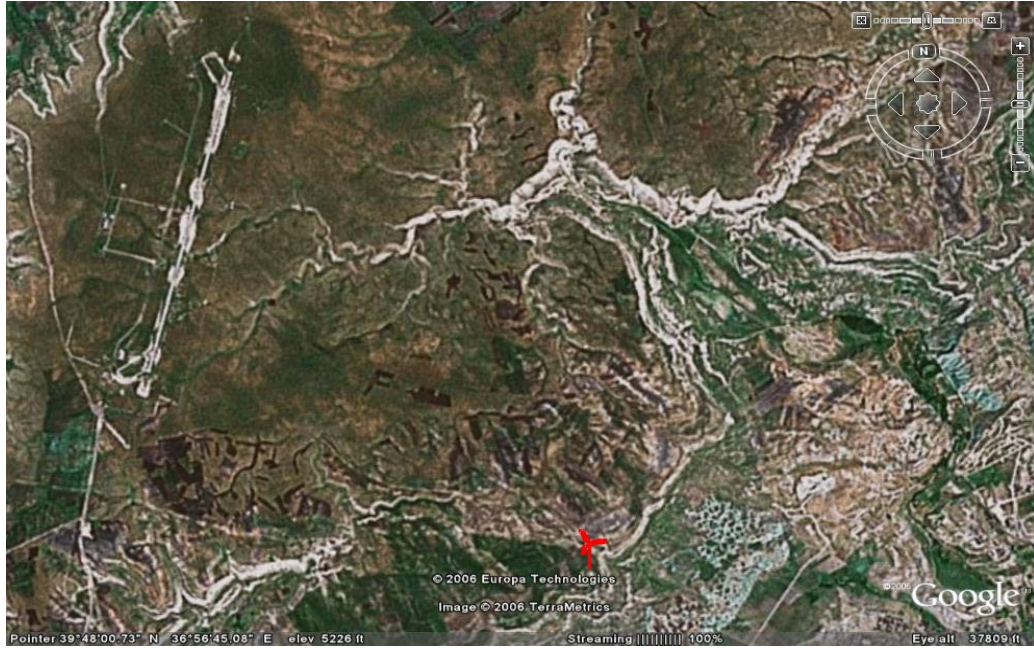
5. MATERYAL VE METOD

5.1. Kurulması Tasarlanan Rüzgar Santralinin Yeri

Bu çalışmada santral yeri olarak Sivas il merkezine 20 km (kuş uçuşu 6-7 km) uzaklıkta bulunan Meraküm Tepe (Meraküm platosu) seçilmiştir. Meraküm Tepe'nin santral yeri olarak seçilmesindeki en önemli etken bu bölgede Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Sivas Meydan İstasyonuna ait 14 no'lu rasadının burada olması ve dolayısıyla bu bölgeye ait rüzgar verilerinin kolaylıkla temin edilebilmesidir. Bunun dışında bu bölgenin il merkezi çevresindeki bölgelere göre yükseltisinin oldukça fazla olması, bu bölgede Sivas Hava Meydanı'nın bulunmasından dolayı ulaşımının kolay olması santral yeri olarak tercih edilmesinde etkili olmuştur.

Meraküm Platosu İl merkezinin kuzeybatısında uzanan geniş ve yüksek düzlüktür. Büyük kesimi 1500 metrenin üzerinde kalan Meraküm platosu, kuzeydeki Köse Dağları ile deniz etkisine kapatılmış durumdadır. Platonun bütününde İç Anadolu'nun karasal iklimi egemen durumdadır. Kimi kesimlerde orman kalıntılarına rastlanılmakla birlikte genellikle çıplaktır.

Rüzgar türbininin kurulacağı yer ise hava meydanına yaklaşık 5 km uzaklıktaki $39^{\circ} 47^1$ Kuzey enlemi ile $36^{\circ} 56^1$ Doğu boylamı koordinatında, 1621m (5320 ft) rakımlı bölgedir. Şekil 5.1'de bölgenin kuşbakışı görüntüsü üzerinde sol üst kısımda havaalanı pisti görülmekte ve aşağı kısımda kırmızı renkli çizilmiş rüzgar türbini sembolü, kurulması tasarlanan santral yerini belirtmektedir. Şekil 5.2-3' de ise kurulması tasarlanan rüzgar santralinin havaalanı ve havaalanı gözetleme kulesinden görünüşü görülmektedir.



Şekil 5.1– Kurulması tasarlanan rüzgar santralinin yerinin kuşbakışı görünüşü



Şekil 5.2– Kurulması tasarlanan rüzgar santralinin yerinin havaalanından görünüşü



Şekil 5.3– Kurulması tasarlanan rüzgar santralinin yerinin havaalanı kulesinden görünüşü

5.2. Hız ve Yön Ölçümü

Santral yeri için kullanılan rüzgar hızı verileri; $39^{\circ} 49^1$ Kuzey enlemi ile $36^{\circ} 54^1$ Doğu boylamı koordinatlarında bulunan, Sivas Hava Meydanı civarındaki meteorolojiye ait, yerden 10 m yükseklikte ölçüm yapan anemometrenin 2005 yılına ait ölçüm sonuçlarına göre yapılmıştır. Bu veriler şunlardır: 2005 yılı aylık rüzgar hız ve frekansının yönlere göre dağılımı, 2005 yılı aylara göre günlük rüzgar hızlar ve yönleri. Meteorolojiden temin edilen bu verilere ait çizelgeler ve oluşturulan grafikler Bölüm 6'da ele alınmıştır.

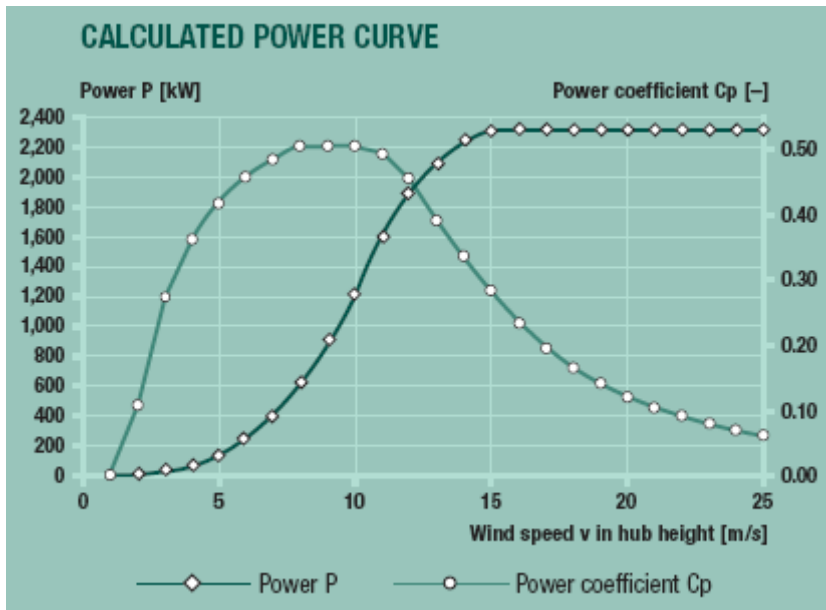
5.3. Türbin Seçimi

Bu çalışmada tasarlanan rüzgar santralinde, bölge için ideal olan rüzgar 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 rüzgar türbini kullanılacaktır. Enercon E-70 türbininin kullanılmasındaki en önemli nedenler şunlardır: Enercon marka rüzgar türbinlerinin harekete başlama rüzgar hızlarının düşük olması (2,5 m/s) ve E-70 modelinin 113 m kule yüksekliğine kadar destekleniyor olmasıdır. Küçük güçlü türbin 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 rüzgar 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 5.4– Enercon E-70 türbinin görüntüsü (www.enercon.de)



Şekil 5.5– Enercon E-70 türbinine ait güç eğrisi grafiği (www.enercon.de)

Çizelge 5.1. E-70 türbininin rüzgar hızına göre ürettiği güç ve güç faktörü (www.enercon.de)

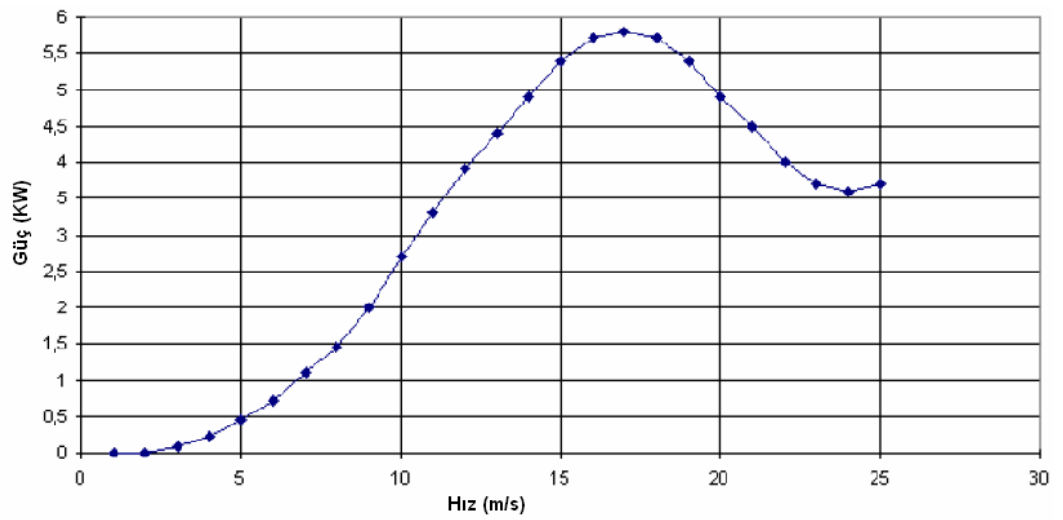
Hız [v] (m/s)	Güç [P] (KW)	Güç Faktörü [C_p] (-)
1	0,0	0,00
2	2,0	0,10
3	18,0	0,27
4	56,0	0,36
5	127,0	0,42
6	240,0	0,46
7	400,0	0,48
8	626,0	0,50
9	892,0	0,50
10	1223,0	0,50
11	1590,0	0,49
12	1900,0	0,45
13	2080,0	0,39
14	2230,0	0,34
15	2300,0	0,28
16	2310,0	0,23
17	2310,0	0,19
18	2310,0	0,16
19	2310,0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

Çizelge 5.2. E-70 türbinine ait teknik bilgiler (www.enercon.de)

E-70 TÜRBİNİNE 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 süpürme 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



Şekil 5.6– Fortis Montana türbinin görüntüsü (www.alternatifenerji.com)



Şekil 5.7– Fortis Montana türbinine ait güç eğrisi grafiği (www.alternatifenerji.com)

Çizelge 5.3. Fortis Montana türbininin rüzgar hızına göre ürettiği güç tablosu

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

Çizelge 5.4. Fortis Montana türbinine ait teknik bilgiler (www.alternatifenerji.com)

Model	Fortis Montana
Tipi	Rüzgara 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 rüzgarlarda 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	10 ⁰
Çıkış gerilimi	24 – 120 – 400 Volt
Jeneratör	Sabit mıknatıslı, senkron

6. BULGULAR

6.1. Günlük Rüzgar Ölçüm Sonuçları ve Enerji Potansiyeli

Sivas Meraküm Tepe'nin rüzgar hızı verileri, tepenin 1599 m rakımında, 39° 49¹ Kuzey enlemi ve 36° 54¹ Doğu boylamı koordinatında bulunan, meteorolojiye ait, yerden 10 m yükseklikteki elektronik kayıt yapabilen anemometrenin çıktıklarına göre alınmıştır. Bu çalışmadaki bütün hesaplamalar, bu anemometrenin Ocak 2005 – Aralık 2005 ayları arasında ölçtüğü bir yıllık rüzgar hızı ölçüm sonuçlarına göre yapılacaktır.

Çizelge 6.1-12'den de görüleceği üzere bölgenin rüzgar hızı orta düzeydedir. Bundan dolayı rüzgar türbininin düşük hızlarda bile devreye girmesi önem arz etmektedir. Ayrıca türbinin maruz kalacağı rüzgar hızını arttırabilmek için, kule yüksekliğini mümkün olduğunca yüksek tutmak gereklidir.

Meteorolojiden alınan, yerden 10 m yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızları; 30 m ve 113 m'ye yükseltilmiş rüzgar hızları ile yerden 10 m yükseklikte ölçülen aylık maksimum rüzgar hızı ve yönü 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 Çizelge 6.1-12'de verilmiştir. Bu çizelgeler oluşturulurken Bölüm 5'te verilen Fortis Montana ve E-70 türbinine ait güç eğrisi grafiklerinden faydalanılmıştır. Ayrıca, bölgeye ait günlük ortalama rüzgar hızlarının grafiksel gösterimleri ise Şekil 6.1-12'de verilmiştir. Meteorolojiden alınan rüzgar hızı verileri yerden 10 m yükseklikte ölçüldüğü için, bu hızlar Hellmann yükseltme bağıntısı ile 30 m ve 113 m yükseklikteki, rüzgar hızına yani kule yüksekliğine yükseltilmiştir. Ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızının 30 m ve 113 m yükseklikteki esme hızını bulabilmek için Bölüm 3'te verilen denklem 3.26'ya göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Denklemdeki α Hellmann katsayısı Çizelge 3.2'den 0,27 olarak seçilmiştir. Burada katsayı seçilirken meteorolojiye ait ölçüm yapan anemometrenin çevresindeki pürüzlülükler dikkate alınmıştır.

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^{\alpha} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{30}{10} \right)^{0,27} = V_{ölç} \cdot 1,3453$$

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^{\alpha} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{113}{10} \right)^{0,27} = V_{ölç} \cdot 1,9246$$

İncelenen bölge için, ölçüm noktası çevresel pürüzlülükleri dikkate alınır; 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı değerlerinin 30 m'deki esme hızını bulabilmek için 1,3453 ile çarpılması, 113 m'deki esme hızını bulabilmek için 1,9246 ile çarpılması gerekir.

Çizelge 6.1. Ocak ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen enerji

Ocak 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 10,0 m/s ESE]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	1,3	1,9	0	0
2	0,7	1,0	0	0
3	2,7	3,8	2,4	1.200
4	1,7	2,5	0	240
5	2,4	3,5	1,68	960
6	2,3	3,3	1,44	768
7	1,3	1,9	0	0
8	1,3	1,9	0	0
9	0,7	1,0	0	0
10	1,6	2,3	0	0
11	3,4	4,8	4,08	2.688
12	1,1	1,5	0	0
13	1,1	1,5	0	0
14	1,7	2,5	0	240
15	2,3	3,3	1,44	768
16	2,7	3,8	2,4	1.200
17	2,3	3,3	1,44	768
18	2,4	3,5	1,68	960
19	2,3	3,3	1,44	768
20	3,1	4,4	3,36	2.112
21	5,7	8,1	16,32	15.720
22	5,1	7,3	12,24	11.280
23	1,3	1,9	0	0
24	3,4	4,8	4,08	2.688
25	2,0	2,9	0	384
26	3,1	4,4	3,36	2.112
27	2,4	3,5	1,68	960
28	3,6	5,2	4,56	3.600
29	3,4	4,8	4,08	2.688
30	2,4	3,5	1,68	960
31	1,7	2,5	0	240
TOPLAM ENERJİ (KWh)			69,36	53.304

Çizelge 6.2. Şubat ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Şubat 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 12,0 m/s WSW]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	3,8	5,4	5,28	4.272
2	2,3	3,3	1,44	768
3	5,1	7,3	12,24	11.280
4	4,3	6,2	7,92	6.480
5	2,0	2,9	0	384
6	1,7	2,5	0	240
7	3,4	4,8	4,08	2.688
8	4,3	6,2	7,92	6.480
9	4,4	6,4	8,4	7.296
10	2,0	2,9	0	384
11	1,3	1,9	0	0
12	2,3	3,3	1,44	768
13	4,3	6,2	7,92	6.480
14	3,6	5,2	4,56	3.600
15	2,7	3,8	2,4	1.200
16	2,3	3,3	1,44	768
17	3,8	5,4	5,28	4.272
18	3,8	5,4	5,28	4.272
19	5,7	8,1	16,08	15.648
20	4,4	6,4	8,4	7.296
21	1,7	2,5	0	240
22	3,0	4,2	3,12	1.680
23	2,7	3,8	2,4	1.200
24	2,3	3,3	1,44	768
25	2,3	3,3	1,44	768
26	4,4	6,4	8,4	7.296
27	4,7	6,7	10,08	8.448
28	2,3	3,3	1,44	768
TOPLAM ENERJİ (KWh)			128,4	105.744

Çizelge 6.3. Mart ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Mart 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 18,0 m/s W]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	6,7	9,6	24,48	26.640
2	8,5	12,1	41,76	46.080
3	6,3	9,0	20,4	21.408
4	4,0	5,8	6,24	5.208
5	2,3	3,3	1,44	768
6	2,3	3,3	1,44	768
7	2,7	3,8	2,4	1.200
8	3,1	4,4	3,36	2.112
9	3,4	4,8	4,08	2.688
10	1,7	2,5	0	240
11	2,4	3,5	1,68	960
12	3,4	4,8	4,08	2.688
13	3,4	4,8	4,08	2.688
14	2,3	3,3	1,44	768
15	3,8	5,4	5,28	4.272
16	3,1	4,4	3,36	2.112
17	3,1	4,4	3,36	2.112
18	5,8	8,3	16,56	17.760
19	6,3	9,0	20,4	21.408
20	2,3	3,3	1,44	768
21	2,0	2,9	0	384
22	4,4	6,4	8,4	7.296
23	4,4	6,4	8,4	7.296
24	4,4	6,4	8,4	7.296
25	5,0	7,1	11,52	10.128
26	4,0	5,8	6,24	5.208
27	4,4	6,4	8,4	7.296
28	3,0	4,2	3,12	1.680
29	5,0	7,1	11,52	10.128
30	4,7	6,7	10,08	8.448
31	4,4	6,4	8,4	7.296
TOPLAM ENERJİ (KWh)			251,76	235.104

Çizelge 6.4. Nisan ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Nisan 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 13,6 m/s WSW]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	5,1	7,3	12,24	11.280
2	4,0	5,8	6,24	5.208
3	5,1	7,3	12,24	11.280
4	4,4	6,4	8,4	7.296
5	2,0	2,9	0	384
6	1,7	2,5	0	240
7	2,3	3,3	1,44	768
8	1,6	2,3	0	0
9	1,3	1,9	0	0
10	3,0	4,2	3,12	1.680
11	4,4	6,4	8,4	7.296
12	3,0	4,2	3,12	1.680
13	5,4	7,7	14,16	13.440
14	6,7	9,6	24,48	26.640
15	2,3	3,3	1,44	768
16	5,8	8,3	16,56	17.760
17	4,0	5,8	6,24	5.208
18	3,8	5,4	5,28	4.272
19	7,1	10,2	28,56	31.080
20	5,7	8,1	16,32	15.648
21	3,4	4,8	4,08	2.688
22	4,4	6,4	8,4	7.296
23	4,0	5,8	6,24	5.208
24	4,7	6,7	10,08	8.448
25	2,3	3,3	1,44	768
26	2,0	2,9	0	384
27	2,3	3,3	1,44	768
28	3,6	5,2	4,56	3.600
29	4,4	6,4	8,4	7.296
30	4,0	5,8	6,24	5.208
TOPLAM ENERJİ (KWh)			219,12	203.592

Çizelge 6.5. Mayıs ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Mayıs 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 13,4 m/s ENE]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	1,3	1,9	0	0
2	5,0	7,1	11,52	10.128
3	3,1	4,4	3,36	2.112
4	3,6	5,2	4,56	3.600
5	3,0	4,2	3,12	1.680
6	4,4	6,4	8,4	7.296
7	2,0	2,9	0	384
8	1,6	2,3	0	0
9	1,3	1,9	0	0
10	3,0	4,2	3,12	1.680
11	4,4	6,4	8,4	7.296
12	3,0	4,2	3,12	1.680
13	5,4	7,7	14,16	13.440
14	6,7	9,6	24,48	26.640
15	3,0	4,2	3,12	1.680
16	1,7	2,5	0	240
17	2,7	3,8	2,4	1.200
18	3,4	4,8	4,08	2.688
19	3,1	4,4	3,36	2.112
20	2,3	3,3	1,44	768
21	5,1	7,3	12,24	11.280
22	5,8	8,3	16,56	17.760
23	8,1	11,5	36,96	42.000
24	4,7	6,7	10,08	8.448
25	5,7	8,1	16,32	15.648
26	3,1	4,4	3,36	2.112
27	1,1	1,5	0	0
28	1,3	1,9	0	0
29	2,0	2,9	0	384
30	1,7	2,5	0	240
31	2,4	3,5	1,68	960
TOPLAM ENERJİ (KWh)			195,84	183.456

Çizelge 6.6. Haziran ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Haziran 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 12,0 m/s W]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	2,7	3,8	2,4	1.200
2	5,0	7,1	11,52	10.128
3	3,0	4,2	3,12	1.680
4	3,4	4,8	4,08	2.688
5	3,8	5,4	5,28	4.272
6	3,4	4,8	4,08	2.688
7	2,3	3,3	1,44	768
8	1,1	1,5	0	0
9	3,4	4,8	4,08	2.688
10	0,9	1,3	0	0
11	3,1	4,4	3,36	2.112
12	4,7	6,7	10,08	8.448
13	1,7	2,5	0	240
14	2,0	2,9	0	384
15	4,4	6,4	8,4	7.296
16	2,3	3,3	1,44	768
17	4,0	5,8	6,24	5.208
18	3,6	5,2	4,56	3.600
19	4,7	6,7	10,08	8.448
20	5,0	7,1	11,52	10.128
21	2,7	3,8	2,4	1.200
22	4,7	6,7	10,08	8.448
23	3,6	5,2	4,56	3.600
24	3,1	4,4	3,36	2.112
25	5,4	7,7	14,16	13.440
26	5,0	7,1	11,52	10.128
27	3,6	5,2	4,56	3.600
28	1,7	2,5	0	240
29	3,1	4,4	3,36	2.112
30	3,0	4,2	3,12	1.680
TOPLAM ENERJİ (KWh)			148,8	119.304

Çizelge 6.7. Temmuz ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Temmuz 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 15,3 m/s WNW]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	3,6	5,2	4,56	3.600
2	3,6	5,2	4,56	3.600
3	1,7	2,5	0	240
4	4,7	6,7	10,08	8.448
5	5,1	7,3	12,24	11.280
6	4,0	5,8	6,24	5.208
7	2,7	3,8	2,4	1.200
8	4,7	6,7	10,08	8.448
9	4,0	5,8	6,24	5.208
10	4,0	5,8	6,24	5.208
11	5,7	8,1	16,32	15.648
12	3,0	4,2	3,12	1.680
13	1,6	2,3	0	0
14	3,0	4,2	3,12	1.680
15	4,0	5,8	6,24	5.208
16	5,0	7,1	11,52	10.128
17	3,8	5,4	5,28	4.272
18	3,8	5,4	5,28	4.272
19	3,6	5,2	4,56	3.600
20	2,7	3,8	2,4	1.200
21	4,0	5,8	6,24	5.208
22	2,3	3,3	1,44	768
23	0,7	1,0	0	0
24	4,0	5,8	6,24	5.208
25	2,7	3,8	2,4	1.200
26	4,4	6,4	8,4	7.296
27	3,1	4,4	3,36	2.112
28	3,4	4,8	4,08	2.688
29	2,0	2,9	0	384
30	2,3	3,3	1,44	768
31	4,4	6,4	8,4	7.296
TOPLAM ENERJİ (KWh)			162,48	133.056

Çizelge 6.8. Ağustos ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Ağustos 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 12,4 m/s N]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	4,4	6,4	8,4	7.296
2	3,8	5,4	5,28	4.272
3	4,4	6,4	8,4	7.296
4	2,0	2,9	0	384
5	3,6	5,2	4,56	3.600
6	2,3	3,3	1,44	768
7	3,0	4,2	3,12	1.680
8	4,6	6,5	9,36	7.680
9	2,4	3,5	1,68	960
10	3,6	5,2	4,56	3.600
11	3,4	4,8	4,08	2.688
12	2,3	3,3	1,44	768
13	3,4	4,8	4,08	2.688
14	3,6	5,2	4,56	3.600
15	1,7	2,5	0	240
16	2,3	3,3	1,44	768
17	1,6	2,3	0	0
18	2,3	3,3	1,44	768
19	2,7	3,8	2,4	1.200
20	2,3	3,3	1,44	768
21	4,3	6,2	7,92	6.480
22	1,7	2,5	0	240
23	2,4	3,5	1,68	960
24	2,7	3,8	2,4	1.200
25	4,4	6,4	8,4	7.296
26	3,8	5,4	5,28	4.272
27	3,6	5,2	4,56	3.600
28	3,4	4,8	4,08	2.688
29	3,4	4,8	4,08	2.688
30	5,0	7,1	11,52	10.128
31	3,8	5,4	5,28	4.272
TOPLAM ENERJİ (KWh)			122,88	94.848

Çizelge 6.9. Eylül ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Eylül 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 13,0 m/s W]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	3,0	4,2	3,12	1.680
2	2,7	3,8	2,4	1.200
3	2,3	3,3	1,44	768
4	3,4	4,8	4,08	2.688
5	6,3	9,0	20,4	21.408
6	2,3	3,3	1,44	768
7	3,4	4,8	4,08	2.688
8	3,0	4,2	3,12	1.680
9	3,6	5,2	4,56	3.600
10	2,7	3,8	2,4	1.200
11	4,4	6,4	8,4	7.296
12	3,0	4,2	3,12	1.680
13	3,4	4,8	4,08	2.688
14	2,7	3,8	2,4	1.200
15	1,1	1,5	0	0
16	3,1	4,4	3,36	2.112
17	1,7	2,5	0	240
18	1,3	1,9	0	0
19	4,0	5,8	24	5.208
20	3,0	4,2	3,12	1.680
21	1,1	1,5	0	0
22	2,3	3,3	1,44	768
23	1,3	1,9	0	0
24	2,3	3,3	1,44	768
25	2,7	3,8	2,4	1.200
26	1,1	1,5	0	0
27	4,4	6,4	8,4	7.296
28	2,3	3,3	1,44	768
29	1,3	1,9	0	0
30	0,9	1,3	0	0
31	2,7	3,8	2,4	1.200
TOPLAM ENERJİ (KWh)			113,04	71.784

Çizelge 6.10. Ekim ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Ekim 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 8,6 m/s NNW]				
Günler	Hız (m/s) [10 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	1,6	2,3	0	0
2	2,5	3,6	1,56	1040
3	2,5	3,6	1,56	1040
4	2,5	3,6	1,56	1040
5	2,5	3,6	1,56	1040
6	2,5	3,6	1,56	1040
7	2,5	3,6	1,56	1040
8	2,5	3,6	1,56	1040
9	2,5	3,6	1,56	1040
10	2,5	3,6	1,56	1040
11	2,5	3,6	1,56	1040
12	2,3	3,3	1,44	768
13	1,3	1,9	0	0
14	2,3	3,3	1,44	768
15	1,3	1,9	0	0
16	1,7	2,5	0	240
17	3,1	4,4	3,36	2.112
18	2,5	3,6	1,56	1040
19	2,5	3,6	1,56	1040
20	2,5	3,6	1,56	1040
21	2,5	3,6	1,56	1040
22	2,5	3,6	1,56	1040
23	2,5	3,6	1,56	1040
24	2,5	3,6	1,56	1040
25	2,5	3,6	1,56	1040
26	2,5	3,6	1,56	1040
27	2,5	3,6	1,56	1040
28	2,5	3,6	1,56	1040
29	2,5	3,6	1,56	1040
30	2,5	3,6	1,56	1040
31	2,5	3,6	1,56	1040
TOPLAM ENERJİ (KWh)			43,68	28.848

Ekim ayının bazı günlerinde meteorolojide veri bulunmadığından bu günler için Ekim ayı için son üç yılın 10 metredeki ortalama hızı olan 1,9 m/s 'lik hız, ortalama hız olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.11. Kasım ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

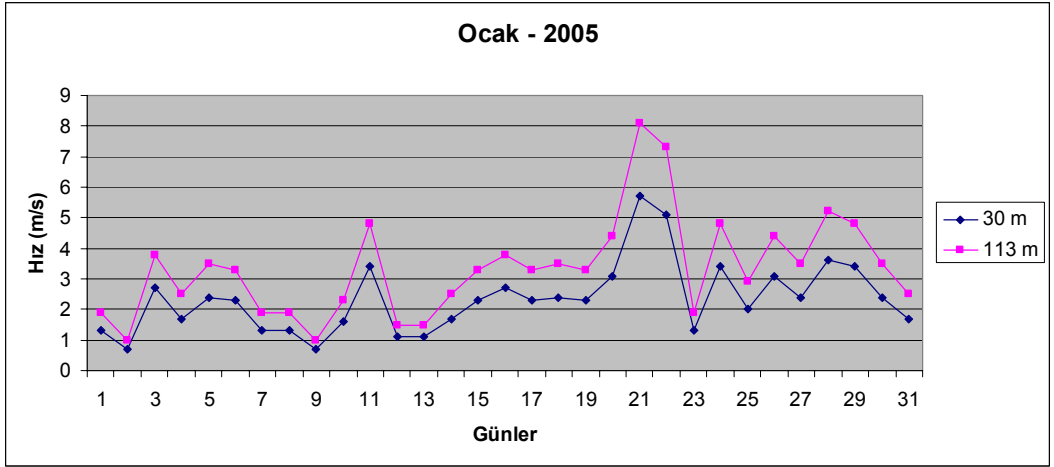
Kasım 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 12,0 m/s SSE]				
Günler	Hız (m/s) [10 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	1,9	2,7	0	312
2	1,6	2,3	0	0
3	2,3	3,3	1,44	768
4	3,8	5,4	5,28	4.272
5	2,3	3,3	1,44	768
6	2,7	3,8	2,4	1.200
7	2,7	3,8	2,4	1.200
8	4,7	6,7	10,08	8.448
9	2,3	3,3	1,44	768
10	1,1	1,5	0	0
11	1,3	1,9	0	0
12	1,3	1,9	0	0
13	0,9	1,3	0	0
14	2,3	3,3	1,44	768
15	1,9	2,7	0	312
16	1,1	1,5	0	0
17	1,6	2,3	0	0
18	1,3	1,9	0	0
19	2,0	2,9	0	384
20	4,0	5,8	0	5.208
21	1,3	1,9	0	0
22	1,6	2,3	0	0
23	1,9	2,7	0	312
24	1,9	2,7	0	312
25	1,9	2,7	0	312
26	1,9	2,7	0	312
27	1,9	2,7	0	312
28	1,9	2,7	0	312
29	1,9	2,7	0	312
30	1,9	2,7	0	312
TOPLAM ENERJİ (KWh)			25,92	26.904

Kasım ayının bazı günlerinde meteorolojide veri bulunmadığından bu günler için Kasım ayı için, son üç yılın 10 metredeki ortalama hızı olan 1,5 m/s 'lik hız, ortalama hız olarak kabul edilmiştir.

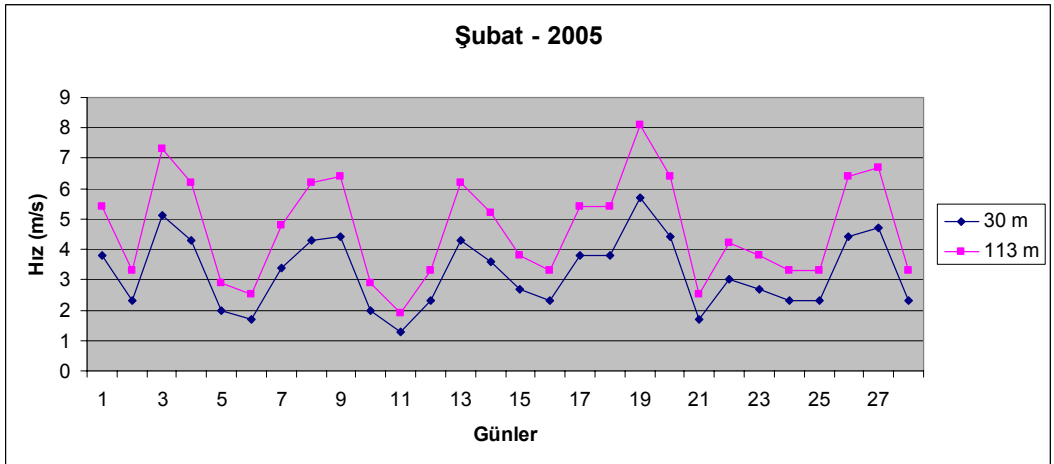
Çizelge 6.12. Aralık ayı günlük ortalama rüzgar hızları ve üretilen güç

Aralık 2005				
[Maksimum rüzgar hızı (10m) ve yönü 12,4 m/s SE]				
Günler	Hız (m/s) [30 m]	Hız (m/s) [113 m]	Fortis Montana Türbininin ürettiği enerji (KWh)	E-70 Türbininin ürettiği enerji (KWh)
1	2,4	3,5	1,68	960
2	2,4	3,5	1,68	960
3	2,4	3,5	1,68	960
4	2,4	3,5	1,68	960
5	2,4	3,5	1,68	960
6	2,4	3,5	1,68	960
7	2,4	3,5	1,68	960
8	2,4	3,5	1,68	960
9	2,4	3,5	1,68	960
10	2,4	3,5	1,68	960
11	2,4	3,5	1,68	960
12	2,4	3,5	1,68	960
13	2,4	3,5	1,68	960
14	2,4	3,5	1,68	960
15	2,3	3,3	1,44	768
16	2,4	3,5	1,68	960
17	3,0	4,2	3,12	1.680
18	6,7	9,6	24,48	26.640
19	4,0	5,8	6,24	5.208
20	2,3	3,3	1,44	768
21	0,7	1,0	0	0
22	2,3	3,3	1,44	768
23	3,1	4,4	3,36	2.112
24	1,6	2,3	0	0
25	2,3	3,3	1,44	768
26	0,9	1,3	0	0
27	2,0	2,9	0	384
28	1,6	2,3	0	0
29	1,6	2,3	0	0
30	2,0	2,9	0	384
31	1,7	2,5	0	240
TOPLAM ENERJİ (KWh)			68,16	54.120

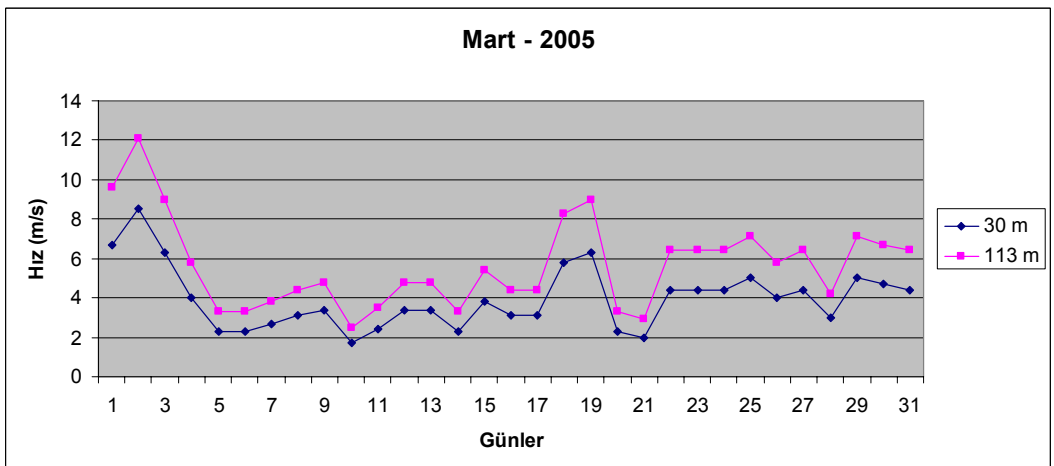
Aralık ayının bazı günlerinde meteorolojide veri bulunmadığından bu günler için Aralık ayı için 10 metredeki ortalama hızı olan 1,8 m/s 'lik hız, ortalama hız olarak kabul edilmiştir.



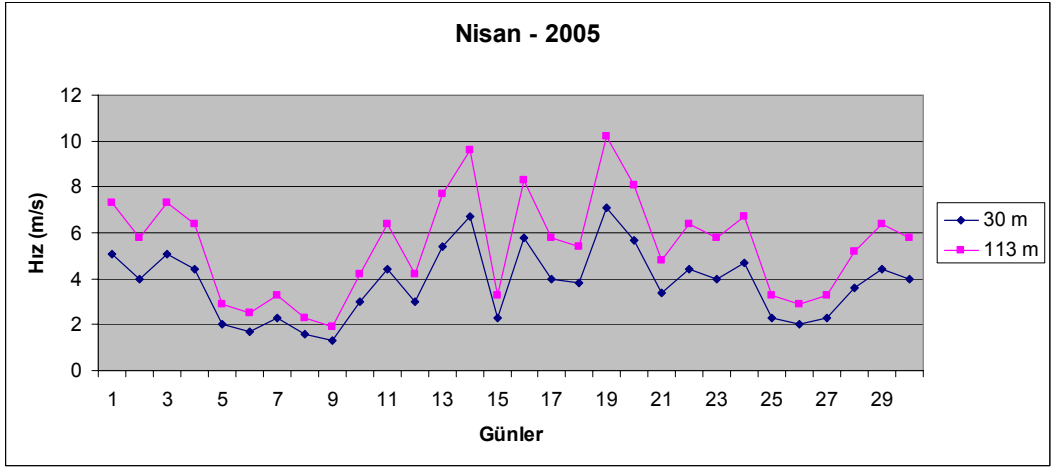
Şekil 6.1– Ocak ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



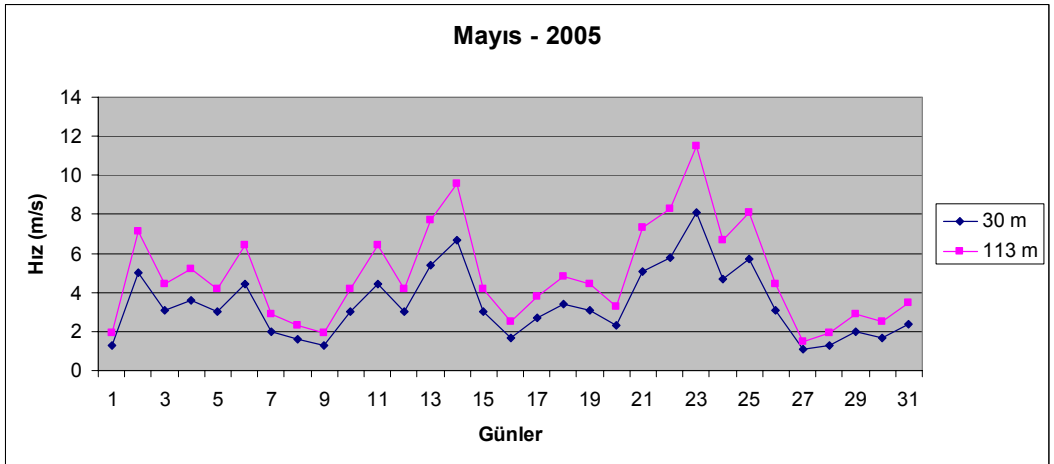
Şekil 6.2– Şubat ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



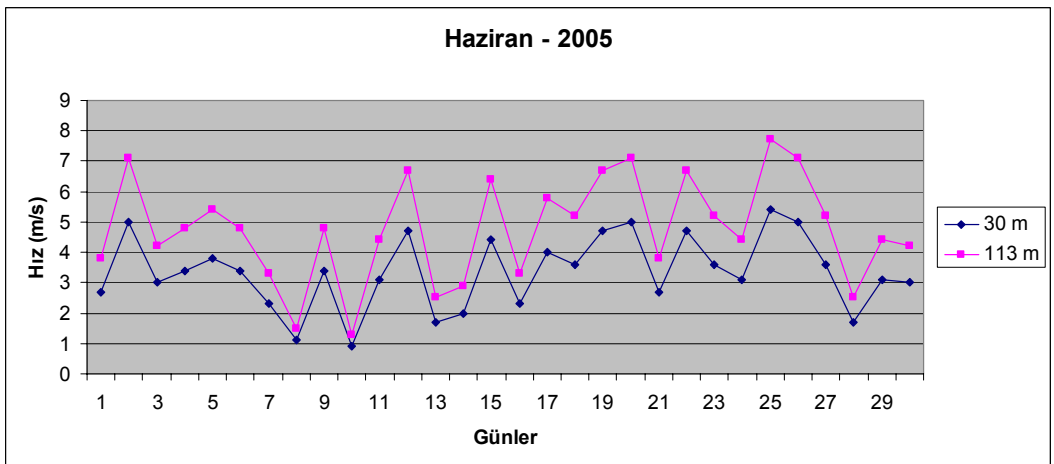
Şekil 6.3– Mart ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



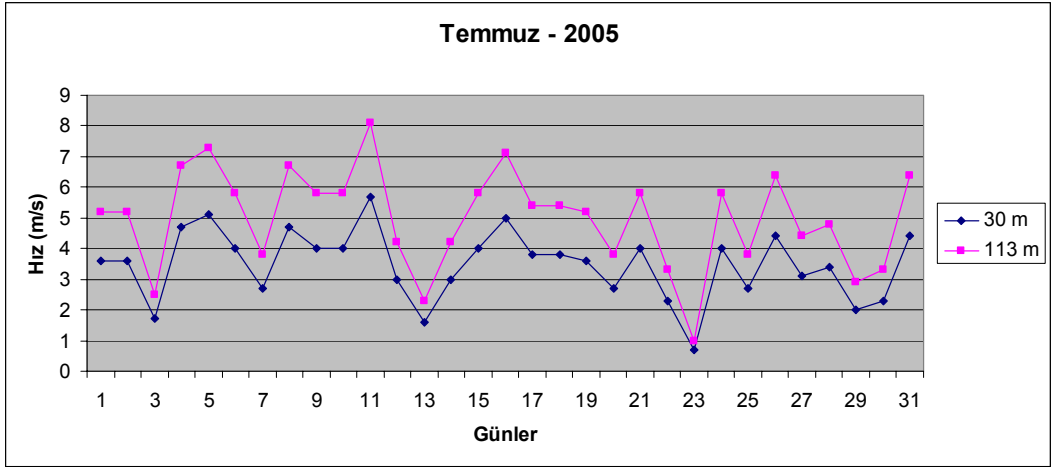
Şekil 6.4– Nisan ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



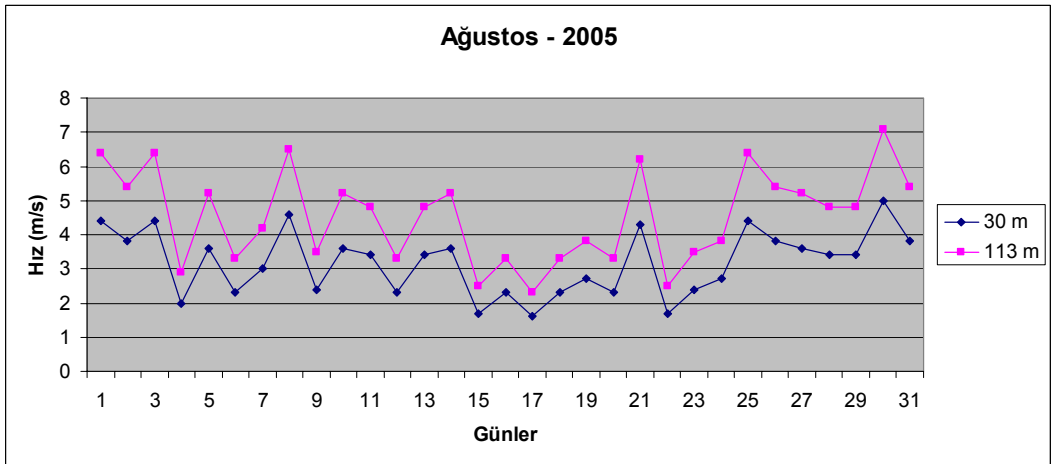
Şekil 6.5– Mayıs ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



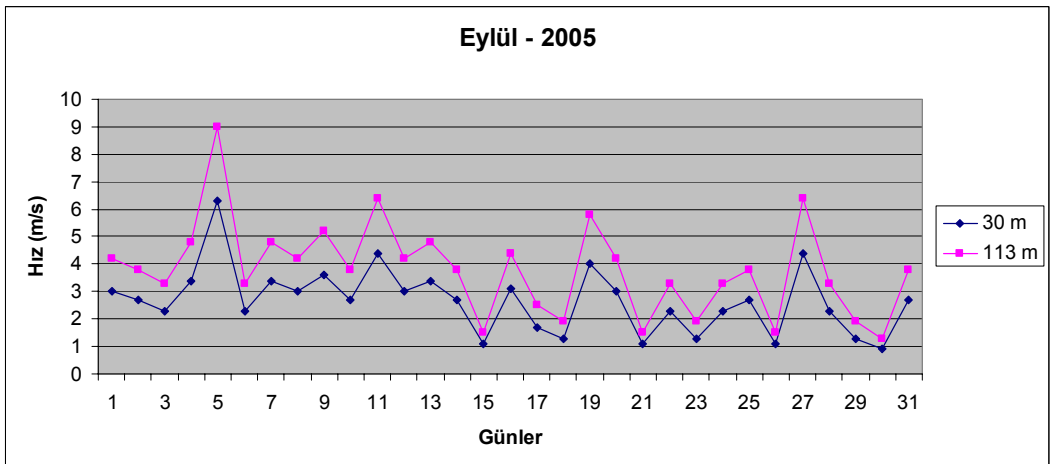
Şekil 6.6– Haziran ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



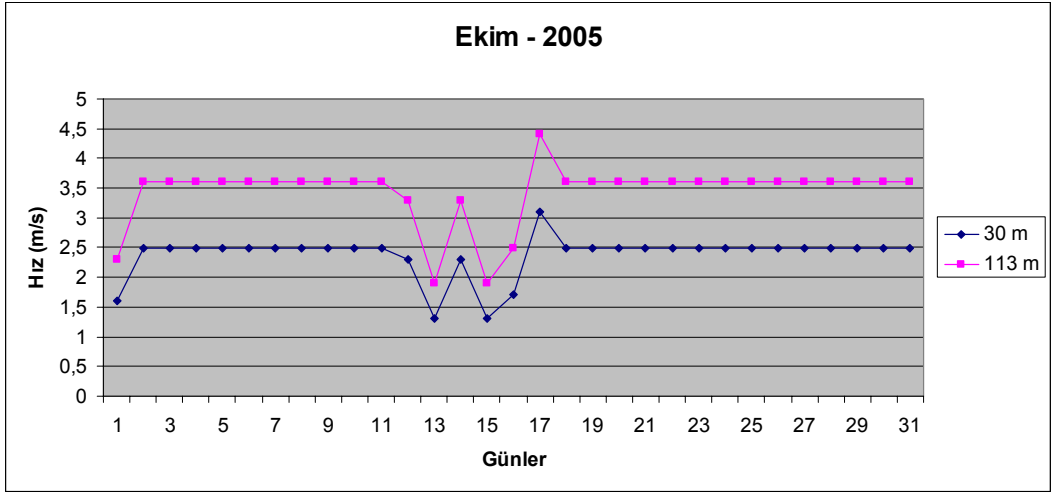
Şekil 6.7– Temmuz ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



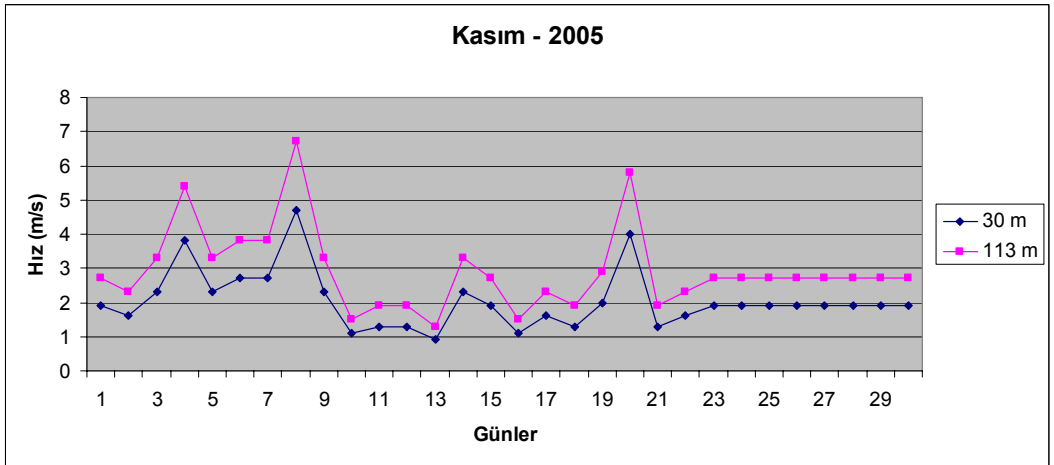
Şekil 6.8– Ağustos ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



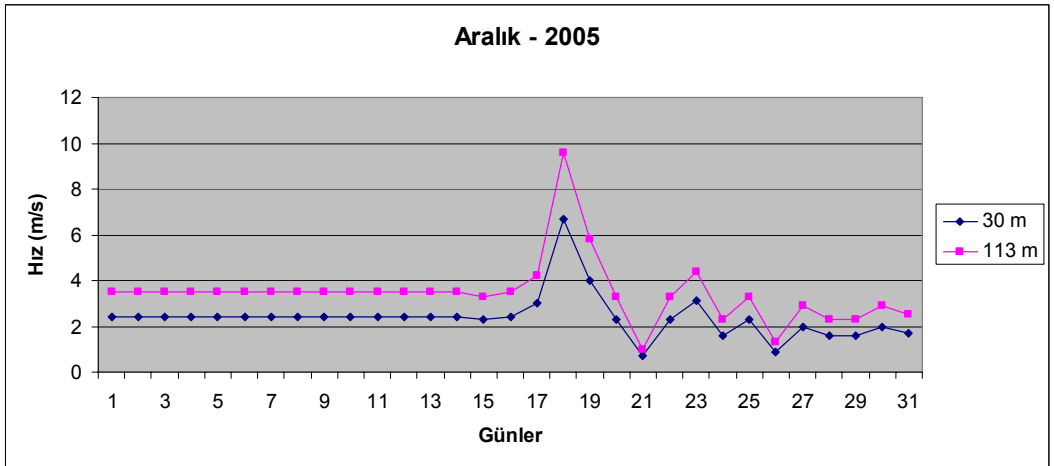
Şekil 6.9– Eylül ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



Şekil 6.10 – Ekim ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



Şekil 6.11–Kasım ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği



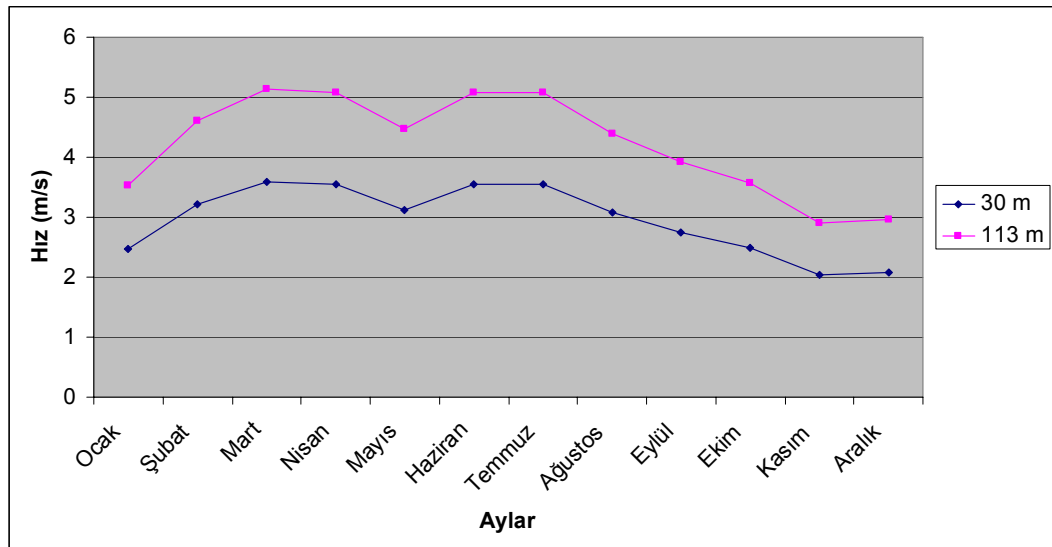
Şekil 6.12 – Aralık ayı günlük ortalama rüzgar hızları grafiği

6.2. Aylık Rüzgar Hızı Ortalamaları

Meteorolojiden alınan verilere göre rüzgar santrali kurulması tasarlanan bölgenin son 16 yıl içerisindeki, aylara göre ortalama rüzgar hızları (113 metreye yükseltilmiş) Çizelge 6.13'te verilmiştir. Ayrıca son 3 yılın aylık ortalama rüzgar hızları grafiği Şekil 6.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.13. 1990-2005 yılları arası aylık ortalama rüzgar hızları (m/s)

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
1990	3,3	4,8	5,0	5,6	4,8	5,4	4,8	4,8	4,4	3,5	2,5	3,7
1991	1,9	3,8	4,6	4,4	4,8	4,0	5,0	4,6	4,4	3,5	2,9	3,5
1992	3,8	4,0	4,8	5,6	4,8	4,4	5,4	5,0	4,0	4,2	3,5	3,1
1993	3,5	4,6	5,4	6,4	5,0	4,6	5,0	4,2	4,4	2,9	3,3	3,7
1994	3,8	4,0	4,2	6,0	5,0	6,2	5,0	5,6	4,4	2,7	3,7	2,9
1995	4,0	3,7	5,2	5,8	4,4	5,4	5,6	4,8	4,0	3,5	3,7	2,5
1996	3,1	4,8	4,0	4,0	4,4	4,8	4,6	4,6	4,4	3,3	2,5	3,7
1997	3,3	3,5	5,0	6,2	4,4	4,4	5,2	4,8	4,2	4,2	2,7	2,7
1998	2,9	3,1	4,2	4,4	3,7	4,6	4,4	4,2	3,8	4,0	3,1	2,9
1999	3,3	5,4	4,2	4,4	4,8	4,4	4,6	3,7	3,7	3,8	20,4	2,9
2000	3,1	3,1	4,4	5,2	5,0	4,4	4,6	4,6	4,2	2,9	2,3	2,9
2001	2,7	4,0	4,8	4,8	4,6	4,4	4,8	4,4	3,8	3,5	3,8	4,4
2002	2,9	3,3	4,8	4,6	5,0	5,2	14,4	-	4,2	2,3	2,7	3,3
2003	3,5	4,6	4,8	5,6	4,0	5,0	5,0	4,2	3,8	4,0	2,9	3,1
2004	3,8	4,6	5,0	4,2	5,0	5,4	5,2	4,4	4,2	3,8	3,1	2,3
2005	3,3	4,6	5,6	5,4	4,4	4,8	5,0	4,6	3,8	2,9	2,7	3,5



Şekil 6.13- 2003-2005 yılları arası aylara göre ortalama rüzgar hızları grafiği

Mevcut verilere göre elde edilen ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, (Şekil 6.1-12 ve Çizelge 6.13) rüzgar hızının aylara göre dağılımında, ilkbahar ve yaz aylarında rüzgar hızının belirgin bir artış gösterdiği görülmektedir. 113 m yükseklik için, Kasım ayında rüzgar hızı,

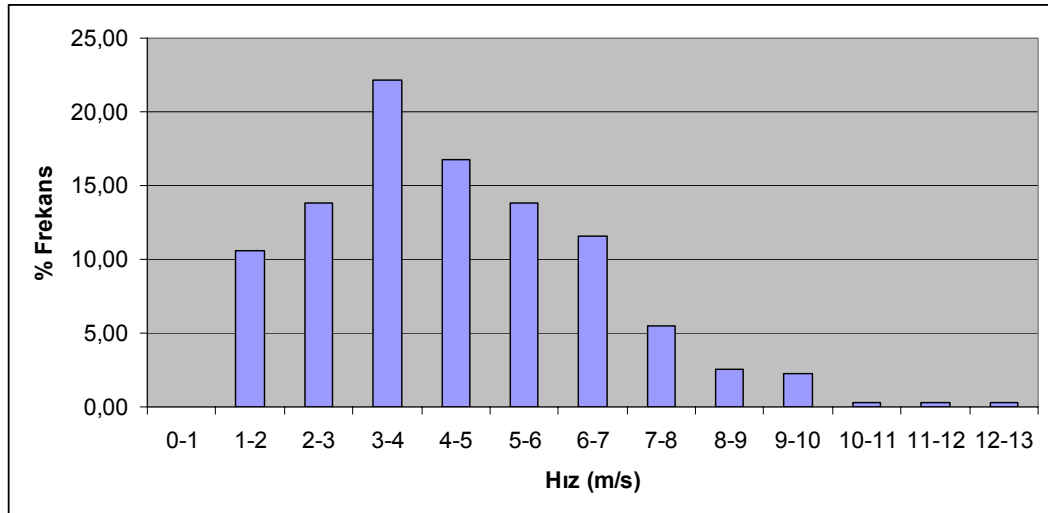
3 m/s'nin altına düşerek, bir yıl içerisinde en düşük potansiyele sahip ay olmaktadır. Ölçüm sonuçlarına göre ilkbahar ve yaz aylarında ise, rüzgar hızı (113 m'de) 4–5 m/s arasında yoğunluk göstermektedir. Bunun anlamı; ölçüm aldığımız bölgeye, rüzgar türbini kurulduğu takdirde buradan, ilkbahar ve yaz aylarında, diğer aylara göre, daha fazla elektrik üretimi olacaktır.

6.3. Rüzgar Hızı Frekans Dağılımı

Bölgenin 113 m yükseklik için günlük ortalama rüzgar hızları incelenerek (Çizelge 6.1–12) her 1m/s'lik aralıklar için rüzgar hızları ayrıştırılacak olursa sonuç Çizelge 6.14'deki gibi olur.

Çizelge 6.14. İstatistikî rüzgar hız dağılım değerleri (113 m)

Hız (m/s)	Frekans (%)
0-1	0,00
1-2	10,61
2-3	13,83
3-4	22,19
4-5	16,72
5-6	13,83
6-7	11,58
7-8	5,46
8-9	2,57
9-10	2,25
10-11	0,32
11-12	0,32
12-13	0,32
	100,00



Şekil 6.14 – Rüzgar hızı frekans dağılımı (113 m)

Çizelge 6.14. bilgiler yardımıyla oluşturulan Şekil 6.14 sayesinde, incelenen bölgede hangi rüzgar hızı değerlerinin daha sık gözlemlendiği tespit edilebilmektedir. Şekle göre bölgede en fazla meydana gelen rüzgar hızı 3–4 m/s'dir, bölgede ikinci en fazla meydana gelen rüzgar hızı ise 4–5 m/s'dir.

6.4. Hakim Rüzgar Yönü

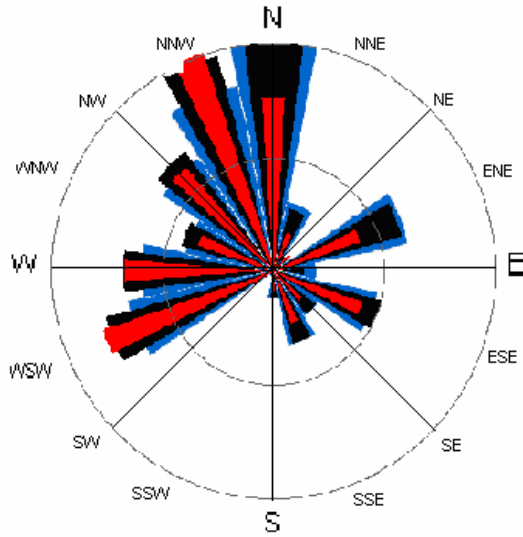
Rüzgarın hangi oranlarda hangi yönden estiğinin belirlenmesi rüzgar enerjisi çalışmalarında önemli olup aynı zamanda rüzgar üzerinde yeryüzü yapısının etkisini de göstermektedir. Yerden 10 m yükseklikte bulunan anemometrenin yön kontrol sensörünün referans noktası, yani 0° olduğu yön, Kuzey (N) yönüdür. Buna göre, Çizelge 6.15'te verilen yön dağılımı değerleri kullanılarak Çizelge 6.16 oluşturulmuştur. Çizelge 6.16'daki veriler, www.windpower.org web sitesindeki rüzgar gülü çizim programı kullanılarak Şekil 6.15'de görülen rüzgar gülü çizilmiştir. Bu çizime göre en çok rüzgar alan yönler; sırasıyla Güneydoğu (SE) ve Kuzeybatı (NW), en güçlü rüzgar yönü ise Kuzeybatı (NW) ve Güneybatı (SW) yönleri olmaktadır.

Çizelge 6.15. 2005 yılı aylık rüzgar hızlarının yönlere göre dağılımı ve saatlik esme sayısı

Yön	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağust.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Esmeye sayısı
N	4,2	12,4	1,0	8,1	9,4	17,3	27,4	41,7	41,3	1,9	9,7	4,1	178,5
NNE	4,7	12,7	5,3	3,8	1,0	2,8	14,0	30,2	7,2	0,7	1,4	0,5	84,3
NE	2,1	1,2	3,6	1,2	7,5	6,6	3,6	1,9	2,8	0,0	2,3	2,6	35,4
ENE	19,9	19,5	3,0	9,2	23,5	14,9	3,3	4,2	7,7	0,0	12,8	0,7	118,7
E	2,4	1,7	0,3	3,5	4,0	3,7	7,0	5,7	5,4	1,7	8,5	3,2	47,1
ESE	22,8	17,0	12,2	23,1	10,3	4,6	6,4	6,6	6,5	0,0	6,5	1,7	117,7
SE	5,0	14,9	10,7	4,1	6,6	2,3	3,8	4,2	2,9	0,7	6,2	9,3	70,7
SSE	7,2	4,0	10,3	7,8	2,0	3,0	0,3	5,5	1,0	0,0	3,0	10,1	54,2
S	0,7	2,5	3,0	3,8	5,5	0,0	0,0	1,2	0,8	0,0	0,0	10,1	27,6
SSW	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	4,2
SW	2,5	0,3	3,2	2,8	0,5	0,0	3,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	13,3
WSW	5,6	0,0	39,8	16,2	11,9	10,8	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	1,2	86,2
WSW	9,8	11,4	14,4	18,3	16,0	13,7	11,0	0,7	1,7	0,0	0,0	0,5	97,5
WNW	3,8	2,3	25,6	12,5	4,3	8,0	6,5	1,4	3,7	2,3	0,7	3,9	75,0
NW	3,5	5,8	21,3	14,3	15,5	15,7	12,7	4,0	6,9	0,0	3,9	5,0	108,6
NNW	3,2	17,4	3,7	13,7	4,4	37,3	35,4	31,5	7,0	7,5	5,6	1,7	168,4

Çizelge 6.16. Yönlere göre ortalama rüzgar hızları ve frekansları (113 m)

Yönlere	Frekans (%)	Ortalama Hız (m/s)
N	15,44%	4,4
NNE	4,78%	4,0
NE	1,10%	5,5
ENE	9,56%	4,2
E	2,94%	3,1
ESE	7,35%	4,7
SE	3,68%	4,3
SSE	5,15%	4,3
S	1,84%	4,3
SSW	0,00%	0,0
SW	0,37%	3,6
WSW	10,29%	5,2
W	9,19%	5,1
WNW	6,25%	4,7
NW	9,19%	4,9
NNW	12,87%	5,2
	100,00%	



Şekil 6.15 – Bölgenin yönlere göre rüzgar hızı frekans dağılımı (Rüzgar gülü)

Şekil 6.15'deki rüzgar gülünde mavi renkler frekansı, siyah renkler rüzgar hızının yöne göre yoğunluğunu, kırmızı renkler ise yönlere göre rüzgardaki enerjinin dağılımını göstermektedir. Buna göre rüzgar türbininin yönü N-NNW yönleri arasında olacak şekilde monte edilmelidir. Dolayısıyla rüzgar santrali için birden fazla rüzgar türbini kullanılacak olursa türbinlerin

birbirlerinin rüzgarlarını engellememesi için N–NNW yönlerine dik olacak şekilde, yan yana veya paralel yerleştirilmesi gerekir.

6.5. Üretilen Elektrik Birim Fiyatının Hesaplanması

Çizelge 6.1–12’deki veriler yardımıyla, Fortis Montana ve Enercon E-70 türbininin bir yıl boyunca üreteceği elektrik enerjisi miktarları sırasıyla 1.549 KWh ve 1.310.064 KWh (12 ayın toplamı) olarak bulunmuştur. Bazı kabuller ve genellemeler yapılarak ve bazı değerler ortalama alınarak 5 KW ve 2,3 MW kapasiteli rüzgar 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 rüzgar türbini)

Türbinin ürettiği bir yıllık enerji: 1.310.064 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 4’teki denklem 4.1’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 4.2 yardımı ile üretilen elektrikliğin birim fiyatı:

$$\dot{U} = \frac{C_T(C + I)}{E} = \frac{1.875.000 \text{ €} (0,08718 + 0,025)}{1.310.064 \text{ KWh}} = 0,1606 \text{ €/KWh} = 16,06 \text{ €/KWh}$$

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

Kapasite Faktörü=YÜE/TTKÜE

YÜE: Yıllık üretilen enerji

TTKÜE: Türbinin tam kapasitede ürettiği enerji

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{1.310.064 \text{ KWh}}{2300 \text{ KW} * 24 \text{ saat} * 365 \text{ gün}} = \%6,5$$

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

$$\text{Yıllık Enerji Üretimi} = 2300 \text{ KW} * 24 \text{ saat} * 365 \text{ gün} * 0,20 = 4.029.600 \text{ KWh}$$

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

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

olur. Bu değer dünya standartlarında bir değerdir.

5 KW Kurulu güç için kabuller:

Kapasite: 5 KW (1 adet Fortis Montana rüzgar türbini)

Türbinin ürettiği bir yıllık enerji: 1.549 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)

$$\dot{U} = \frac{YM + YBG * AS}{YÜE * AS} = \frac{12240 \text{ €} + 100 \text{ €} * 20}{1.549 \text{ KWh} * 20} = 0,4597 \text{ €/KWh} = 45,97 \text{ €c/KWh}$$

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

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sivas Meraküm Tepe’de rüzgar enerjisi yardımı ile elektrik üretimi sisteminde mevcut rüzgar hızı verilerine göre; birim enerji maliyeti 2300 KW’lık türbin için 16,06 €/KWh ve 5 KW’lık türbin için 45,97 €/KWh olarak bulunmuştur. Diğer enerji sistemleri ve dünyadaki ortalama rüzgar 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 rüzgar santrali; mevcut ölçüm sonucu ve hesaplamalara göre karlı bir yatırım değildir, bunun yanında evler ve küçük işletmelerin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere kullanılan küçük güçlü rüzgar türbinleri için de elverişli olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada piyasada bulunan rüzgar türbinleri arasından düşük rüzgar hızlarında elektrik üretmeye başlayan modeller seçilmesine rağmen sonuçlar ekonomik çıkmamıştır. Bunun nedeni: mevcut rüzgar verilerine göre bölgenin rüzgar hızının düşük olmasıdır. Türbinlerin güç eğrileri incelendiğinde türbinin ürettiği elektriğin ekonomik olabilmesi için, kısa zamanda türbin fiyatlarında büyük ucuzlamaların olmayacağını öngörürsek; kule yüksekliğindeki rüzgar hızının yıllık ortalama 5,5–6,0 m/s ve üzerinde olması gerekmektedir. Diğer bir değişle mevcut türbinlerin, bölge koşullarında kapasite faktörünün en az %20 olabilmesi için, bölgenin kule yüksekliğindeki yıllık ortalama rüzgar hızının en az 5,5–6,0 m/s olması gerekir.

Bölüm 6’da, 2300 KW’lık türbin için yapılan ikinci hesaplamada ise; bölgenin rüzgar 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 rüzgar hızının yüksek olacağı tahmin edilen birçok bölgede rüzgar ölçümlerinin yapılması gerekir. Bu çalışmada meteorolojiye ait veriler kullanılmıştır. Meteorolojinin rüzgar ölçümü yapmasındaki temel amaç, rüzgar potansiyelini belirlemek değil, yerleşim yerine ait meteorolojik bilgiler vermektir. Meteorolojiye ait rasatlar yıllar önce kurulmuştur. Bu nedenle rasat çevresinde zamanla bir çok rüzgar engelleyiciler meydana gelmiştir, bu da ölçülen rüzgar hızlarının gerçekten biraz daha düşük olacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenlerden ötürü bölgede bir rüzgar santrali kurulması planlandığında, o bölgede ve eğer mümkünse kule yüksekliğinde en az bir yıl süre ile rüzgar hızı ölçümleri yapılması gerekir. Bu tür ölçümler uzun zaman ve yüksek maliyet gerektirdiğinden bu çalışmada meteorolojiye ait rüzgar hızı verileri kullanılmıştır.

Türkiye’de rüzgar enerjisi kullanımının gelişimi için; bir “Ulusal Rüzgar 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 rüzgar haritası gerçekçi bir biçimde çıkarılmalıdır. Çünkü hali hazırda yayınlanmış olan Türkiye Rüzgar Haritası Meteoroloji istasyonlarına ait ve yerden 10 m yükseklikteki ölçümler sonucuna göre

çıkarıldığından gerçeği tam yansıtmamaktadır. Zengin rüzgar 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. Rüzgar türbini sistemleri, enterkonnekte sistemin güçlkle ulaştığı ve bu sistemden beslemenin yüksek maliyete sahip olduğu bölgelerde ve kırsal alanlarda öncelikli olarak hayata geçirilmelidir. Rüzgar santralleri dönemine adım atılırken, başka ülkelerin eski rüzgar santrallerini yenilemek için söküp ucuza satacakları küçük güçlü kullanılmış rüzgar türbinleri ile rüzgar çöplüğü alımından özenle kaçınılmalıdır ve yeni üretilmiş rüzgar türbini olması koşulu mutlaka uygulanmalıdır. Yerli üretime dayalı, Orta Doğu ve Orta Asya pazarına ürün satabilecek rüzgar türbin sanayii oluşturulması düşünülmelidir. Bu bağlamda, rüzgar enerjisi sistemlerini temel alan dersler üniversitemizde mühendislik dallarında okutulmalıdır. Rüzgar 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 rüzgar enerji santrallerinin kurulması, elektrik enerjisi üretimimize katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akalın, A., 2005, Dünyada Rüzgar Enerjisi Kaynak Potansiyeli, TÜREB Yayınları
- Akyüz, O., 2000, Rüzgar 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 Rüzgar 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 Rüzgar 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 Rüzgar 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 Rüzgar 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, Rüzgar Türbinlerinin Ekonomisi Üzerine Bir Araştırma, *Mühendis ve Makine Dergisi*, sayı: 504
- Onat, C., 2001, Rüzgar 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 Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, sayı: 32
- Polat, U., 2000, Rüzgar Santralleri ve Enerji Sistemlerine Bağlantılarının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Şen, Ç., 2003, Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar 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 Rüzgar 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

1974 yılında Adana’da doğdu. Lise öğrenimini Adana Borsa Lisesi’nde tamamladı. 1999 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2001 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Akdağmadeni Meslek Yüksek Okulu’nda öğretim görevlisi olarak çalışma hayatına başladı. Kasım 2006 tarihinde akademik görevinden ayrılarak İller Bankasında mühendis olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevinde çalışmaya devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.