



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ AVŞAR
KAMPÜSÜNDE RÜZGÂR ENERJİSİ VERİMLİLİĞİNİN
İZLENMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ALİ HAKAN YAZAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2013

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
AVŞAR KAMPÜSÜNDE RÜZGÂR ENERJİSİ
VERİMLİLİĞİNİN İZLENMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

ALİ HAKAN YAZAR

**Bu tez,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
Derecesi için hazırlanmıştır.**

KAHRAMANMARAŞ 2013

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Ali Hakan Yazar tarafından hazırlanan “KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ AVŞAR KAMPÜSÜNDE RÜZGÂR ENERJİSİ VERİMLİLİĞİNİN İZLENMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tez, jürimiz tarafından / 01 / 2013 tarihinde oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Muharrem İmal (DANIŞMAN)
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Doç. Dr. Ahmet Kaya (ÜYE)
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Doç. Dr. Mahit Güneş (ÜYE)
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ali Hakan YAZAR

Bu çalışma herhangi bir kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ AVŞAR KAMPÜSÜNDE RÜZGÂR ENERJİSİ VERİMLİLİĞİNİN İZLENMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Rüzgâr hava akımıdır. Meteorolojide ise hareket eden havadır. İlk insanlar rüzgârın kaynağının nedenin bilmemekle beraber, onu kullanmışlardır.

Dünyamızın sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli yeryüzündeki ülkelerin enerji ihtiyaçlarının önemli bir kısmını karşılayacak kapasitededir. Örneğin, günlük Rüzgâr enerjisi miktarı 53 TWh/yıl'dır. Günümüzde rüzgâr enerjisi yeterli miktarda üretilmemektedir. Rüzgâr enerjisinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ise, Danimarka'da başlamıştır.

Bu çalışmada; rüzgâr enerjisi potansiyeli izlenmesi ve rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretim imkânları araştırılmıştır. Bu amaçla; Sütçü İmam Üniversitesi bölgesinde kurulan rüzgâr ölçüm istasyonunda 40 m ve 10 m'de yapılan ölçümlerden elde edilen veriler değerlendirilerek, bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmiştir.

Bu amaçla Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ana kampus içerisinde bir rüzgâr ölçüm direği ve gerekli ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Ekim-2010 ve Nisan-2012 tarihleri arasında bölgeye ilişkin rüzgâr değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Elde edilen veriler Rüzgâr Atlası Analizi ve Uygulaması (WAsP) programı ile analiz edilmiştir.

**WIND ENERGY EFFICIENCY IN UNIVERSITY CAMPUS OF
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM AVŞAR INVESTIGATION OF MONITORING
AND ELECTRICITY PRODUCTION POTENTIAL**

SUMMARY

Wind is general airflow. In meteorology that is moving air. The first reason people did not know the source of the wind, they have preferred use it.

Earth's renewable energy potential of the earth is an important part of the countries' capacity to meet their energy needs. For example, the amount of wind energy per day 53 TWh year. Today, wind energy is not produced enough. The use of wind power is increasing day by day. The production of electrical energy from wind power, Denmark has started.

In this study, statistical analysis of wind energy potential and possibility of producing electricity from the wind have been investigated. For this reason, wind energy potential of University of Sütçü İmam region has been predicted by making measurements at 10 and 40 meters of a wind station.

In the statistical analysis of wind potential, Weibull distribution has been employed. This purpose in Kahramanmaras Sutcu Imam University main campus is located in a wind measuring mast and the necessary measuring devices. Between October 2010 and April-2012 wind values were measured and recorded for the region. The data obtained from Wind Atlas Analysis and Application (WAsP) were analyzed with the program.

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmalarım boyunca yüksek lisans tezimi yneten ve her konuda kendisinden destek gördüğüm danışman hocam **Sayın Yrd. Doç. Dr. Muharrem İMAL** hocama samimi teŐekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
SUMMARY.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
1.1. Rüzgâr Hızı.....	6
1.1.1. Rüzgâr Hızının Değişimi.....	6
1.1.2. Rüzgâr Hızının Türbülansı.....	8
1.1.3. Rüzgâr Hızının Yükseklikle Değişimi.....	8
1.1.4. Rüzgâr Ölçüm Sistemleri.....	12
1.1.4.1. Rüzgâr Ölçüm Cihazları.....	12
1.1.4.2. Rüzgâr Ölçüm İstasyonu.....	15
1.1.5. WAsP Yazılımı.....	16
1.1.6. Weibull Dağılımı.....	20
1.2. Rüzgâr Türbinleri.....	22
1.2.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	29
1.2.2. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	33
1.2.3. Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	34
1.2.4. Güç İletimi ve Verimlilik.....	34
1.2.5. Rüzgâr Enerjisi Üretiminde Yeni gelişmeler.....	35
1.3. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi.....	40
1.3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle İlgili Çalışmalar.....	56

1.3.1.1. Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi(RİTM).....	57
1.3.1.2. Milres Projesi.....	59
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	62
2.1. Rüzgârın Enerji Üretimi İçin İlk Kullanımı.....	62
2.2. Maden-Elazığ İçin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi.....	64
2.3. Nurdağı-Gaziantep İçin Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma... 65	
2.4. Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli.....	66
2.5. Kütahya İli İçin Rüzgâr Verileri ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Analizi... 66	
2.6. Gökçeada'daki Rüzgâr Enerji Potansiyeli.....	69
2.7. Gevaş-Gürpınar Bölgesinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Saptanması.....	70
2.8. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Üzerine Yapılmış Diğer Çalışmalar.....	71
3. . MATERYAL VE METOT.....	74
3.1. Rüzgâr Potansiyeli Ölçüm Bölgesi.....	77
3.2. Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	88
4. ELDE EDİLEN BULGULAR.....	93
4.1 Rüzgâr Gücü Rüzgar Hızı Dağılım Fonksiyonu.....	93
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
5.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	97
5.2. Öneriler.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Kişi başına yıllık elektrik enerjisi tüketimi.....	3
Çizelge 1.2. Türkiye’ de illere göre kişi başına düşen net elektrik tüketim miktarı kWh/kişi	3
Çizelge 1.3. Tükene bilirlğine göre enerji türleri	5
Çizelge 1.4. Enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri açısından değerlendirilmesi	6
Çizelge 1.5. Yüzey şekline göre pürüzlülük değerleri ve enerji göstergeleri.....	9
Çizelge 1.6. Kaba tahmin için rüzgâr hızı ve alana bağlı elde edilebilecek güç miktarları	10
Çizelge 1.7. Beaufort rüzgâr ölçeği.....	10
Çizelge 1.8. Değişik ölçekli türbinler için genel rotor çapı, süpürme alanı ve yaklaşık güç değerleri.....	29
Çizelge 1.9. Klasik rüzgâr türbiniyle loopwing türbinlerinin karşılaştırılması.....	38
Çizelge 1.10. Kullanılmakta olan rüzgâr türbinleri ve bunların kullanım yerleri.....	40
Çizelge 1.11. Türkiye rüzgâr enerji potansiyeli.....	42
Çizelge 1.12. Dünya ve ülkeler bakımından rüzgâr enerjisi kurulu gücü.....	45
Çizelge 1.13. Türkiye’de rüzgâr enerjisi için mümkün hedefler.....	47
Çizelge 1.14. Enerji üretim metotlarının maliyet - ömür ilişkisi.....	48
Çizelge 1.15. Çeşitli ülkelerin tahmini rüzgâr enerjisi potansiyelleri.....	49
Çizelge 1.16. Dünya fosil yakıt rezervleri.....	49
Çizelge 1.17. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri.....	50
Çizelge 1.18. Rüzgârların sınıflandırılması.....	50
Çizelge 1.19. Türkiye'nin birincil enerji üretimi ve talebi.....	50
Çizelge 1.20. Genel enerji sektörel talebi.....	51
Çizelge 1.21. Türkiye elektrik enerjisi brüt - net üretimi, ithalat, ihracat ve iletim kayıplarının yıllar itibariyle gelişimi.....	51

Çizelge 1.22. Birincil enerji kaynakları tüketimi.....	52
Çizelge 1.23. Birincil enerji kaynakları üretimi (Orijinal Birimler).....	53
Çizelge 1.24. Birincil Enerji Kaynakları Rezervi (2011 Yılı).....	53
Çizelge 1.25. Birincil Enerji Kaynakları Üretimi (Orijinal Birimler).....	55
Çizelge 2.1. Kaba tahmin için $h= 10$ m, $h= 50$ m, $h= 70$ m elde edilen rüzgâr hızları ve pervanenin süpürme alanına bağlı elde edilebilecek güç değerleri.....	70
Çizelge 3.1. Aylara göre ortalama rüzgâr hızı.....	90
Çizelge 4.1. Türbinin yerleştirileceği koordinatlar ve diğer özellikleri.....	94
Çizelge 5.1. Vestas V47-660 dan elde edilebilecek güç miktarları.....	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Perdeleyici engellerin rüzgar akışına etkisi.....	7
Şekil 1.2. Rüzgarın rotor düzlemine gelişinin şematik görünüşü.....	7
Şekil 1.3. Süpürme alanı ve sapma açısı.....	12
Şekil 1.4. Anemometreler.....	13
Şekil 1.5. Veri toplayıcı (Data logger) ve muhafaza kutusu	15
Şekil 1.6. WAsP programının temel input ve output ları.....	17
Şekil 1.7. WAsP programında proje başlangıç penceresi.....	18
Şekil 1.8. WAsP programından örnek görüntüler.....	19
Şekil 1.9. Farklı k değerleri için $f(v)$ değişimi($\zeta=0$).....	21
Şekil 1.10. Farklı c değerleri için $f(v)$ değişimi($\zeta=0$).....	22
Şekil 1.11. Senkron bir rüzgâr türbininin iç yapısı.....	24
Şekil 1.12. Asenkron bir rüzgar türbininde nasele(nacelle)'in iç yapısı.....	26
Şekil 1.13. Rüzgâr türbin kanat palalarının bombeli yapılma nedenini gösteren Solidworks programında örneksel animasyonu.....	27
Şekil 1.14. Dünyanın en uzun türbin kanadının (fiberglas) üretiminden görünüm.....	28
Şekil 1.15. Boy ve güç miktarlarına göre küçük-orta-büyük ölçekli türbin gösterimi	28
Şekil 1.16. Yatay eksenli rüzgâr türbini.....	30
Şekil 1.17. Çok kanatlı rüzgâr türbini.....	32
Şekil 1.18. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rüzgâr alım şekilleri.....	33
Şekil 1.19. Dikey eksenli rüzgar türbini.....	34
Şekil 1.20. Rüzgâr türbini elektrik üretim sistemi.....	34
Şekil 1.21. Alaeos rüzgâr türbini.....	36
Şekil 1.22. Piezoelektrik prensibine göre çalışan rüzgâr tarlası.....	37
Şekil 1.23. Loopwing rüzgâr türbinlerinin görünümü.....	38

Şekil 1.24. Boulder Rüzgâr Enerjisi şirketi tasarımı rüzgâr türbini.....	39
Şekil 1.25. Türkiye’de 50 m yükseklikte rüzgâr hızı.....	43
Şekil 1.26. Türkiye’de rüzgâr güç yoğunluğu.....	44
Şekil 1.27. Türkiye rüzgâr enerjisi kurulu güç gelişimi.....	44
Şekil 1.28. Yıllık global rüzgâr enerjisi kurulu gücü artışı.....	45
Şekil 1.29. Türkiye’de yenilenebilir enerji üretim yerleri.....	47
Şekil 1.30. Kahramanmaraş ili ve il çevresindeki RES haritası.....	48
Şekil 1.31. Rüzgar gücü izleme ve tahmin merkezi çalışma prensibi.....	58
Şekil 1.32. Türkiye geneli izlenebilen RES’lerin toplam güç üretimi ve tahmini.....	59
Şekil 2.1. Smith- Putnam rüzgar türbin makinesi.....	63
Şekil 2.2. Gedser türbini	64
Şekil 2.3. Maden-Elâzığ için aylık rüzgar hızı değişimi, 1998–2002.....	65
Şekil 2.4. Nurdağ / Gaziantep ilçesi aylık rüzgâr hızı değişimi.....	65
Şekil 2.5. Türkiye’ de 10 m yüksekliğinde rüzgâr hızı değişimi.....	67
Şekil 2.6. Kampüste ana direğin inşası.....	67
Şekil 2.7. Kütahya ili için (a) ana rüzgar yönleri, (b) ortalama rüzgar hızları.....	68
Şekil 2.8. Uzun dönem aylık ortalama rüzgâr hızları dağılımı.....	68
Şekil 2.9. Frekans Histogramı ve Rayleigh, Weibull Dağılımı.....	69
Şekil 2.10. Aydıncık, Uğurlu ve Ulusal Hava istasyonları yıllık Weibull dağılımı.....	69
Şekil 3.1. Kahramanmaraş’a ait rüzgâr hızı dağılımı.....	76
Şekil 3.2. Kahramanmaraş’ın coğrafi haritası.....	76
Şekil 3.3. Üniversite kampus topoğrafik haritası.....	77
Şekil 3.4. Ölçüm sonuçlarının alındığı yerin çevresel görünümü.....	78
Şekil 3.5. Ölçüm sonuçlarının alındığı yerin yakından görünümü.....	78
Şekil 3.6. Kahramanmaraş 1980–2000 yılları arasında gerçekleşen ortalama rüzgâr hızları ve yönlerine ait rüzgargülü.....	79

Şekil 3.7. Kahramanmaraş uzun yıllar ortalama sıcaklık değerleri.....	79
Şekil 3.8. Rüzgâr ölçüm istasyonunun genel konstrüksiyon şeması.....	80
Şekil 3.9. Rüzgâr ölçüm istasyon direğinin genel şeması.....	81
Şekil 3.10. Deneysel rüzgâr türbinine bir örnek.....	82
Şekil 3.11. Rüzgâr ölçüm istasyonunun kurulmadan önceki işlemler ve ölçüm direğinin ilk hali.....	82
Şekil 3.12. Rüzgâr ölçüm direğinin yerden kaldırılması.....	83
Şekil 3.13. Genel olarak rüzgâr ölçüm direğinin montajlanmış hali.....	83
Şekil 3.14. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin kuruluş aşamaları.....	84
Şekil 3.15. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direği.....	84
Şekil 3.16. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin orta kısmı	85
Şekil 3.17. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin temel kısmı.....	85
Şekil 3.18. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin destek halatları.....	86
Şekil 3.19. Data logger ın muhafaza kutusuna montajlanması.....	86
Şekil 3.20. Data logger ın data işlemci programı ara yüzü.....	87
Şekil 3.21. Data logger temel bağlantı şeması.....	87
Şekil 3.22. WAsP programından çalışma esnasındaki görüntüsü.....	89
Şekil 3.23. WAsP programın veri işleme esnasındaki görüntüsü.....	89
Şekil 3.24. WAsP programı rüzgâr türbini seçme interface'i.....	90
Şekil 3.25. WAsP programında bulunan ön tanımlı rüzgar türbin markalarından bir görünüm.....	91
Şekil 3.26. 10 m – 40 m 'de ortalama rüzgar hızları.....	91
Şekil 3.27. WAsP programı rüzgâr hızı zaman serisi.....	92
Şekil 4.1. Kampüs bölgesi Weibull dağılımı.....	94
Şekil 4.2. Ortalama rüzgâr hızı haritası.....	95
Şekil 4.3. Bölgenin rüzgârgülü haritası.....	96

Şekil 5.1. Vestas V47-660 dan elde edilebilecek güç eğrisi..... 97

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	: Weibull ölçek parametresi
C_p	: Rüzgâr türbini performans katsayısı, 0.25 – 0.45 arasında değişir, boyutsuzdur (teorik olarak maksimum = 0.59)
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
EİE	: Elektrik işleri etüt idaresi
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
E_k	: Kinetik enerji
ENVERZİYON	: Sıcaklık, normal atmosfer koşulları içerisinde yerden itibaren yükseldikçe her 100 m’de 0,5 ile 1,0 °C arasında azalma eğilimi göstermektedir. Sıcaklığın yükseklikle azalacağı yerde artış göstermesi durumuna sıcaklık terselmesi (temperature of inversion) ya da sıcaklık enverziyonu denilmektedir.
EPDK	: Enerji piyasası denetleme kurumu
$f(v) = f(x)$: WD olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F(v)$: WD eklemeli (kümülatif) olasılık fonksiyonu
k	: Weibull şekil parametresi
Milres	: Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi (MİLRES) projesi
REPA	: Rüzgâr enerjisi potansiyel atlası
RES	: Rüzgâr santral alanı
RİTM	: Rüzgâr gücü izleme ve tahmin merkezi
RT	: Rüzgâr türbini
TEP	: Ton eşdeğer petrol (~10.500.000 kcal)
WAsP	: Rüzgâr atlası analizi ve uygulaması programı (The wind atlas analysis and application program)

WD : Weibull dağılımı
Z₀ : Pürüzlülük uzunluğu
 ρ : Hava yoğunluğu

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Rüzgâr kelime anlamı olarak, devir, hengam ve alem anlamlarını içermektedir. Meteorolojide ise hareket eden havadır. İlk insanlar rüzgârın kaynağının nedenin bilmemekle beraber, onu kullanma yoluna gitmişlerdir.

Enerji, insan hücresinden başlayarak, en gelişmiş medeniyetlere kadar her birimin gereksinim duyduğu ve duymaya da devam edeceği bir ihtiyaçtır. Fosil enerji kaynağına sahip olamayan ülkeler için iki alternatif vardır; ya kaynağına sahip olmadıkları enerjiyi ithal ederek yüksek maliyetli enerji tüketmek, yada enerji üretimi için farklı metotlar bulmaktır.

Bu kapsamda, tüm dünya ülkelerinin önemli amaçları arasında minimum maliyetle enerjiyi üretebilmek ve enerji tüketim maliyetini minimum da tutarak, uzun vadeli enerji elde etmektir. Bu maksatla günümüzde ülkeler, alternatif enerji kaynaklarına yönelmiş ve dışa olan bağımlılıklarını en aza indirme çabasına girmişlerdir.

Ülkemiz, zengin yeraltı ve yerüstü enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen, enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu ithal etmektedir. Ülkemiz için en uygun alternatif enerji kaynağı olarak, rüzgâr enerjisi sayılabilir.

Ülkemizin ortalama rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 200 milyar KW/yıl' dır. Buna karşılık olarak ise, 2006 yılında elektrik enerjisi tüketim miktarımız ise 173 milyar KW dır. Rüzgâr potansiyelimizin bu kadar büyük olmasına rağmen, ülkemizde bu potansiyelin sadece %0.9'u kullanılabilir.

Rüzgâr enerjisi, ısıları farklı olan hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşur. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr türbinleri, yenilenebilir nitelikte olan hava akımını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Rüzgâr türbinlerinin çalışması çevreye zararlı gaz emisyonuna neden olmadığından enerji geleceğimizde ve iklim değişikliğini önlemede büyük bir role sahiptir.

Geleneksel güç santrallerinin aksine, enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen ve ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı azaltan yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır. Ancak rüzgâr türbinlerinin büyük alan kaplaması, gürültü kirliliği oluşturması ve üretilen elektriğin kalite sorunları gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Dünya rüzgâr kaynağı 53 TWh/yıl olarak hesaplanmakta olup, günümüzde toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücü 40.301 MW'tır. Bunun üçte biri Almanya'da bulunmaktadır. 2020 yılında 1.245 GW dünya rüzgâr gücü hedefine

ulaşmak için gereken yatırım miktarı 692 milyar Euro'dur. Bu süre içinde üretim maliyetlerinin 3,79 E-cents/kWh'dan 2,45 Euro-cents/kWh'a düşmesi beklenmektedir. Rüzgâr türbinlerinde küresel piyasa 2020 yılına kadar şimdiki 8 milyar Euro'dan 80 milyar Euro yıllık iş hacmine çıkacaktır. Toplam potansiyeli en az 48.000 MW olan, yıllık ortalaması 7,5 m/s 'nin üzerindeki bölgelerde günümüz fiyatlarıyla ekonomik olabilecek yatırımlar yapmak mümkündür. 2007 yılında gerçekleştirilmiş olan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile ülkemizde yıllık rüzgâr hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW büyüklüğünde rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir.

2004 yılı itibariyle sadece 18 MW düzeyinde olan rüzgâr enerjisi kurulu gücünün artırılmasında aşama kaydedilmiştir. 2009 yılı sonu itibariyle rüzgâr kurulu gücümüz 802,8 MW düzeyine ulaşmıştır. Yenilenebilir Enerji Kanununun yürürlüğe girmesinden sonra 3.363 MW kurulu gücünde 93 adet yeni rüzgâr projesine lisans verilmiştir. Bu projelerden yaklaşık 1.100 MW kurulu gücünde santrallerin yapımı devam etmektedir (ETKB(a), 2013).

Türkiye yüzölçümü ve nüfusu itibariyle dünya üzerinde kayda değer bir duruma sahiptir. Nüfusu 71,5 milyonu aşmaktadır. 2008 verileriyle GSYİH olarak 742 milyar \$'lık bir büyüklüğe sahiptir. Kişi başına düşen milli gelir 10.000 \$ seviyesindedir. Milli gelirin %8'i tarımdan, % 30'u sanayiden (% 4 inşaat dahil) ve % 62'si hizmetlerden oluşmaktadır. 2008 yılı sonunda 41.817,2 MW olan Türkiye elektrik kurulu gücü, 2009 yılında 2.950 MW (% 7,06) gibi kayda değer bir artış ile 44.766,7 MW seviyesine ulaşmıştır. Öte yanda, 2008 yılında 198,058 Milyar kWh olan toplam Türkiye elektrik tüketimi 2009 yılında % 2,32 azalarak 193,472 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye'de kişi başına birincil enerji tüketiminin düşük olduğu görülür. Aynı şekilde kişi başına elektrik enerjisi tüketimi de 2.791 kWh (brüt) seviyesinde olup, bu değer 8.900 kWh'lık gelişmiş ülkeler ortalamasının üçte birinin altındadır(EBSO, 2013).

Türkiye'nin elektrik üretim kurulu gücü 2010 ve 2011 yılları için sırasıyla 49.524 MWh, 52.911 MWh' dır. Türkiye'nin elektrik üretimi 2010 ve 2011 yılları için sırasıyla 211.208 GWh, 229.395GWh' dır. Türkiye'nin elektrik tüketimi ise 2010 ve 2011 yılları için sırasıyla 210.434GWh, 230.306 GWh' dır. 210.434 (EBSO, 2013).

Çizelge 1.1. Kişi başına yıllık elektrik enerjisi tüketimi(EBSO, 2013)

Ülkeler	Kişi başına tüketim (kWh)
Dünya ortalaması	2.500
Gelişmiş Ülkeler Ortalaması	8.900
ABD	12.322
Türkiye	2.791

Çizelge 1.2. Türkiye’ de illere göre kişi başına düşen net elektrik tüketim miktarı kWh/kişi(EMO, 2013)

İLLERDE KİŞİ BAŞINA DÜŞEN NET ELEKTRİK TÜKETİMLERİ (2009)			
			Birim: kWh/kişi
ADANA	1 879	GÜMÜŞHANE	947
ADYAMAN	1 420	HAKKARİ	642
AFYONKARAHİSAR	1 445	HATAY	3 398
AĞRI	534	ISPARTA	2 259
AMASYA	1 379	MERSİN	1 725
ANKARA	1 852	İSTANBUL	2 257
ANTALYA	2 437	İZMİR	3 469
ARTVIN	1 477	KARS	844
AYDIN	1 565	KASTAMONU	1 714
BALIKESİR	1 891	KAYSERİ	1 885
BİLECİK	4 800	KIRKLARELİ	4 816
BİNGÖL	547	KİRŞEHİR	1 346
BİTLİS	692	KOCAELİ	6 638
BOLU	2 655	KONYA	1 967
BURDUR	3 852	KÜTAHYA	1 756
BURSA	2 990	MALATYA	1 388
ÇANAKKALE	6 299	MANİSA	1 799
ÇANKIRI	1 171	KAHRAMANMARAŞ	2 685
ÇORUM	1 159	MARDİN	1 016
DENİZLİ	2 289	MUĞLA	2 386
DIYARBAKIR	736	MUŞ	696
EDİRNE	2 264	NEVŞEHİR	1 876
ELAZIĞ	1 485	NİĞDE	2 024
ERZİNCAN	1 124	ORDU	1 180
ERZURUM	1 083	RİZE	1 932
ESKİŞEHİR	2 297	SAKARYA	2 082
GAZİANTEP	2 329	SAMSUN	1 542
GİRESUN	1 000	SİİRT	1 025
		SİNOP	1 190
		SİVAS	1 658
		TEKİRDAĞ	5 986
		TOKAT	997
		TRABZON	1 281
		TUNCELİ	982
		ŞANLIURFA	780
		UŞAK	2 582
		VAN	626
		YOZGAT	1 077
		ZONGULDAK	4 053
		AKSARAY	1 265
		BAYBURT	822
		KARAMAN	2 002
		KIRIKKALE	1 861
		BATMAN	849
		ŞİRNAK	777
		BARTIN	1 380
		ARDAHAN	700
		İĞDIR	588
		YALOVA	2 640
		KARABÜK	3 409
		KİLİS	970
		OSMANİYE	1 961
		DÜZCE	1 918

Gün geçtikçe gelişen teknoloji ve hızlı makineleşme süreci, enerji ihtiyacının artırmaktadır. Temel enerji ihtiyacı olarak fosil yakıtlar olarak adlandırılan kömür, petrol, doğalgaz gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtlarının yakın gelecekte bitmesi mümkün gözükmemektedir. Ayrıca fosil yakıtlarının çevreye verdiği zararlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır.

Enerji üretirken özellikle karbon salınımı yaparak çevreyi kirletmek yerine çevreyi kirletmeyen enerji üretim sistemlerini ve kaynaklarını geliştirmek daha mantıklı gözükmemektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynağı olarak isimlendirilen güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrojen, deniz-dalga enerjileri gibi enerji kaynakları üzerinde çok ciddi çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde rüzgâr enerjisi, enerji açığını kapatabilecek miktarlarda üretilmese bile, kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ise, Danimarka'da başlamıştır.

Bu çalışmada Kahramanmaraş ilindeki rüzgâr potansiyelini araştırmaya yönelik bir uygulama ve analiz yapılmıştır. Bu amaçla Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ana kampus içerisinde bir rüzgâr ölçüm direği ve gerekli ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Ekim-2010 ve Nisan-2012 tarihleri arasında bölgeye ilişkin Rüzgâr değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Elde edilen veriler Rüzgâr Atlası Analizi ve Uygulaması (WAsP) programı ile analiz edilip değerlendirilmiştir.

Analiz sonucunda ölçümü yapılan kampus alanına ait ortalama yıllık Rüzgâr hızı ve Rüzgâr yönü değerleri elde edilmiştir. Ayrıca Bölgenin Rüzgâr haritası çıkarılmış, Rüzgâr türbini değeri ve yerleşim yerinin optimum koordinatları tespit edilmiştir. Bu sayede elektrik enerjisi üretimi potansiyeli de araştırılmıştır.

Bu çalışmada çok sık kullanılan watt güç birimi hakkında kısaca değinilmelidir. Watt güç birimidir. Watt, SI 'de, uluslararası standart güç birimidir. Buhar makinesi kaşifi James Watt'a (1736-1819) atfen SI birim sisteminde güç birimi olarak kabul edilmiştir. Kısaca W harfiyle gösterilir (Güç = iş /zaman). Watt/saat Watt / saat ise enerji birimidir. Gücün saatteki değişimidir. (W/h), Bir terawatt saatlik enerjiyi, yaklaşık 114 megawattla ($114\text{MW} \times 24 \times 365 = 998.640 \approx 1\text{TW/saat}$) bir yıl boyunca aralıksız çalışmayla ulaşılır.

Çizelge 1.3. Tükenebilirliğine göre enerji türleri

Yenilenebilir Enerji Kaynakları				
Ana kaynak	Birincil enerji kaynakları	Doğal enerji dönüşümü	Teknik enerji dönüşümü	Kullanım enerjisi
Güneş	Su	Buharlaştırma, yağış	Su güç tesisleri	Elektrik enerjisi
	Rüzgâr	Atmosferdeki hava hareketi	Rüzgâr enerjisi tesisleri	Elektrik ve mekanik enerji
		Dalga hareketi	Dalga enerjisi tesisleri	Elektrik ve mekanik enerji
	Güneş ışınları	Yer, atmosferin ısınması	Isı pompaları	Isı enerjisi
		Güneş ışınları	Kolektörler	Isı enerjisi
			Güneş pilleri	Elektrik enerjisi
	Biyomas	Biyomas Üretimi	Isı güç tesisleri	Isı ve elektrik enerjisi
			Dönüşüm tesisleri	Yakıt enerjisi
Dünya	Yer merkezi ısı	Jeotermal enerji	Jeotermal güç tesisleri	Isı ve elektrik enerjisi
Ay	Ay çekimi gücü	Gel-git Olayı	Gel-git güç santralleri	Elektrik enerjisi

Çizelge 1.4. Enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri açısından değerlendirilmesi(Özcan İ., 2011)

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

1.1. Rüzgâr Hızı

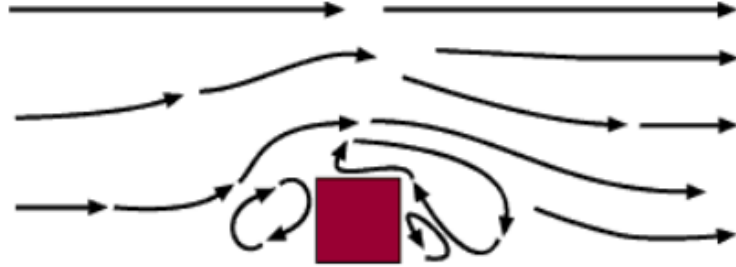
Rüzgâr hızı; yer yüzeyinin topoğrafı yapısından oldukça fazla etkilendiğinden dolayı devamlı olarak değişkenlik gösterir. Rüzgâr hızında meydana gelen değişimin büyüklüğü tam olarak hava, yüzeyin topoğrafik yapısı ve mevcut engellere bağlıdır.

1.1.1. Rüzgâr Hızının Değişimi

Atmosferin alt katmanlarında rüzgâr hızları; yüzeyin pürüzlülüğü ve engellerden dolayı sürekli olarak sürtünmeye uğrarlar. Rüzgâr hızı azalır, yönü değişir.

Bunun sonucu olarak rüzgârın sahip olduğu enerji veya rüzgârdan alınabilecek enerji miktarı, rüzgâr hızı değişimi ile önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Çok engebeli ve pürüzlü araziler, binalar, ağaçlar v.b. gibi engellerin arkasında, rüzgâr akışı bozulur ve bozulmuş akış alanları meydana gelir. Bunun sonucu olarak benzer alanlarda düzenli

olamayan türbülans olarak adlandırılan akışlar oluşur. Türbülanslar engellerin arka tarafında daha belirgindir. Engel dalgaları ve türbülanslar rüzgâr akışını olumsuz etkileyerek rüzgâr hızını azaltırlar (Özgür, 2006).



Şekil 1.1. Perdeleyici engellerin rüzgâr akışına etkisi (Durak ve Özer, 2008)

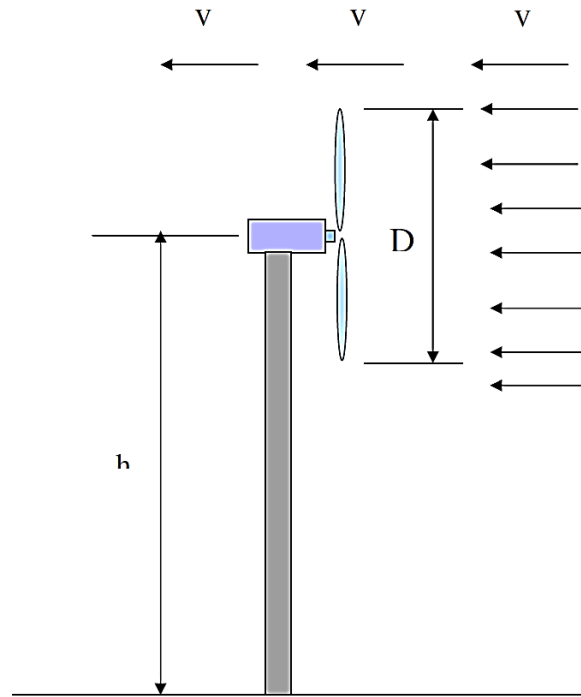
Rüzgâr enerjisi,

1-Pervanenin süpürme alanına

2-Rüzgâr hızının kübüne

3-Havanın yoğunluğuna bağlıdır.

Güç yoğunluğunun hesabında kullanılan büyüklükler aşağıda gösterilmiştir (Vardar, 2005).



Şekil 1.2. Rüzgârın rotor düzlemine gelişinin şematik görünüşü (Vardar, 2005)

1.1.2. Rüzgâr Hızının Türbülansı

Türbülans; bir rüzgâr türbini için verimliliği olumsuz etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Türbülans, rüzgâr türbininde enerji üretim verimliliğini azaltır ve türbinde yıpranma ve hasarlara yol açar. Rüzgâr türbinlerinin kuleleri, yer seviyesine yakın rüzgârlardan kaynaklanan türbülansın sakınmak için yeterli yükseklikte inşa edilmesi gerekir.

Türbülans yoğunluğunun belirlenmesi için öncelikle rüzgâr hız ölçüm serilerinin ortalama hızı ve standart sapması belirlenmelidir. Standart sapma önemli bir kavram olup rüzgâr hızlarındaki dalgalanmaları tanımlamak için kullanılır. Rüzgâr hız verilerinin standart sapması 0 ile 3 m/s arasında olmalıdır. Herhangi bir alandaki standart sapmanın küçük olması demek o alandaki rüzgâr rejiminin son derece düzenli olması anlamına gelmektedir. Rüzgâr hız verilerinin standart sapma miktarının bu verilere ait ortalama hız değerine oranı ise türbülans yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır. Hesaplanan türbülans yoğunluğu 0.0 - 0.10 değerleri arasında ise düşük yoğunluklu, 0.10 - 0.25 değeri arasında ise orta yoğunluklu ve 0.25 değerinden büyükse yüksek yoğunluklu olarak sınıflandırılır. Türbülans yoğunluğunun yüksek olduğu alanlara rüzgâr enerji santrali kurmaktan kaçınılmalıdır (WAsP, 2013).

Düşük türbülans yoğunluğu, rüzgâr türbin ömürlerinin daha uzun olmasını sağlar(Özgür, 2006). Rüzgâr hız verilerinin standart sapma değerinin (σ), ölçülen ortalama hız değerine (V_m) oranı; türbülans yoğunluğu olarak ifade edilmektedir. Türbülans yoğunluğu seviyesinin 0,25 değerinden az olması, orta yoğunlukta bir türbülansın olduğunu ifade etmektedir (Köse ve Özgören 2005). Türbülans yoğunluğu I , aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (Burton ve ark., 2001).

$$I = \frac{\sigma}{V_m} \quad (1.1)$$

1.1.3. Rüzgâr Hızının Yükseklikle Değişimi

Rüzgâr hızı, yükseklik arttıkça arazi pürüzlülüğüne bağlı olarak logaritmik şekilde artmaktadır. Belirli bir yükseklikte ölçülmüş rüzgâr hızları kullanılarak istenilen herhangi bir yükseklikteki rüzgâr hızları; aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir (Durak ve Özer, 2008; Adekoya ve Adewale, 1992; Gökçek ve ark., 2007; Justus ve Mikhail, 1976).

$$\frac{V_1}{V_2} = \left\{ \frac{h_1}{h_2} \right\}^\alpha \quad (1.2)$$

Bu eşitlikte, V_1 ; h_1 yüksekliğinde ölçülen rüzgâr hızını, V_2 ; hesaplanması istenilen h_2 yüksekliğindeki rüzgâr hızını ve α ise pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir. Eşitlikte kullanılan üstel terim α pürüzlülük katsayısı; yüzey pürüzlülüğüne ve incelenen iki nokta arasındaki yükseklik farkına bağlı olup, düşük bir hata yüzdesi ile aşağıdaki eşitlikten bulunabilir (Durak ve Özer, 2008).

$$z_0 = 15,25 \exp\left\{ \frac{-1}{\alpha} \right\} \quad (1.3)$$

Çizelge 1.5. Yüzey şekline göre pürüzlülük değerleri ve enerji göstergeleri (Vardar, 2005).

Pürüzlülük Sınıfı	Pürüzlülük Uzunluğu (z_0) (m)	Enerji Göstergesi (%)	Yüzey şekli
0	0.0002	100	Su yüzeyleri
0.5	0.0024	73	Açık araziler (Beton, uçaklar için iniş alanı, otoban, biçilmiş çim vb.)
1	0.03	52	Uzak aralıklı yapılara sahip çitsiz ve engelsiz açık tarımsal araziler. (Çok hafif engebeli)
1.5	0.055	45	Birkaç binalı ve 1250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler
2	0.1	39	Birkaç binalı ve 500 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
2.5	0.2	31	Pek çok bina, çalı ve bitkiye sahip, yada 250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
3	0.4	24	Köyler, küçük şehirler, çok yada yüksek çitli tarımsal araziler, ormanlar, çok yoğun ve pürüzlü bölgeler.
3.5	0.8	18	Yüksek yapılara sahip büyük şehirler
4	1.6	13	Yüksek binalara ve gökdelenlere sahip büyük şehirler

Seçilen rüzgâr hızında, alana bağlı olarak, tahmini oluşan güç miktarları çizelgeden anlaşılabilir üzere değişmektedir.

Çizelge 1.6. Kaba tahmin için rüzgâr hızı ve alana bağlı elde edilebilecek güç miktarları (Demir, 2007)

	Rüzgâr hızı= 5 m/s	Rüzgâr hızı=10 m/s	Rüzgâr hızı=15 m/s
1 metre yarı çaplı pervane (A ~ 3 m)	Güç ~ 75 W	Güç ~ 600 W	Güç ~ 2 kW
3 metre yarı çaplı pervane (A ~ 27 m)	Güç ~ 700 W	Güç ~ 6 kW	Güç ~ 20 W
10 metre yarı çaplı pervane(A~300 m ²)	Güç ~ 7.5 kW	Güç ~ 60 kW	Güç ~ 200 W
30 metre yarı çaplı pervane(A~2700 m ²)	Güç ~ 70 kW	Güç ~ 600 kW	Güç ~ 2 MW

Çizelge 1.7. Beaufort rüzgâr ölçeği

No	Rüzgâr Hızı		Tanım	Açıklama
	(km/saat)	(m/s)		
0	<1	0.0 - 0.2	Sakin	Duman dikey olarak yükselir
1	1 -5	0.3 - 1.5	Esinti	Duman hafif esinti ile yükselir. Rüzgâr yönü belirsizdir.
2	6-11	1.6 - 3.2	Hafif Rüzgâr	Yapraklar kıpırır. Esinti insan yüzünde hissedilir. Rüzgâr yönü yoktur.
3	12-19	3.3-5.4	Tatlı Rüzgâr	Yapraklar ve ince dallar hareket eder.
4	20-28	5.5 - 7.9	Orta Rüzgâr	İnce dallar hareket eder. Kâğıt ve tozlar yükselir.
5	29-38	8.0 - 10.7	Sert Rüzgâr	Ağaçlar sallanmaya ballar.
6	39-49	10.8 - 13.6	Şiddetli Rüzgâr	Büyük ağaç dalları hareket eder. Şemsiyenin kontrolü zorlaşır.
7	50-61	13.9 - 17.0	Çok Şiddetli Rüzgâr	Büyük ağaçlar sallanır. Yürüme zorluğu fark edilir
8	62-74	17.2 - 20.6	Fırtına	Ağaçlardaki ince dallar kırılır, yürümek iyice zorlaşır.
9	75 - 88	20.5 - 24.4	Şiddetli Fırtına	Binalarda hafif hasar oluşur. Çatı kiremitleri sökülmeğe başlar.
10	89 - 102	24.5 - 28.4	Tam Fırtına	Binalarda hasarlar oluşur. Büyük ağaçlar kökünden sökülür.
11	103 - 117	28.6-32.5	Çok Şiddetli Fırtına	Geniş ölçekli hasarlar oluşur
12	>118	>32.5	Tayfun	Aşırı derecede hasarlar meydana gelir.

Rüzgâr enerjisi; rüzgârı meydana getiren hava akımının sahip olduğu hareket veya kinetik enerjidir. Bu enerjinin bir bölümü yararlı olan mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bir cismin hızı veya hareketi sebebiyle sahip olduğu enerjiye kinetik enerji denir. V hızı ile hareket eden m kütleli bir cismin sahip olduğu kinetik enerji E_k ;

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.4)$$

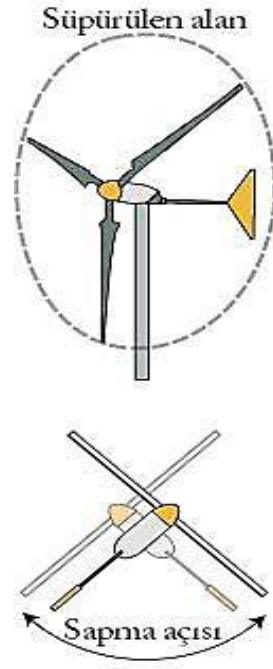
eşitliği ile ifade edilebilir (Çengel, 1996; Bueche, 2003). Rüzgâr, hareket halinde bir hava hareketi olduğundan kinetik enerjiye sahiptir. V hızında, m kütesine sahip, Δt zaman periyodu için bir rüzgârın sahip olduğu kinetik enerji;

$$E_k = \frac{1}{2}\phi Av^3\Delta t \quad (1.5)$$

eşitliği ile ifade edilebilir (Özerdem ve Türkeli, 2005; Arslan, 2010; Johnson, 2001) Burada ϕ , havanın yoğunluğunu, A ise akış yönündeki kesit alanı ifade etmektedir. Bu şartlardaki rüzgârın sahip olduğu güç ise; kinetik enerjinin zamana göre türevinde bulunabilir. Bu eşitliğin zamana göre birinci türevinden, P rüzgâr gücü;

$$P = \frac{1}{2}\phi Av^3 \quad (1.6)$$

eşitliği ile ifade edilebilir (Çelik, 2003; Akpınar ve Akpınar (b), 2004; Johnson, 2001). Bu son eşitlikten görülebileceği gibi; rüzgâr akımının taşımakta olduğu güç, rüzgâr hızının küpü ile orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca rüzgâr gücünü etkileyen diğer bir faktör de havanın yoğunluğudur.



Şekil 1.3. Süpürme alanı ve sapma açısı

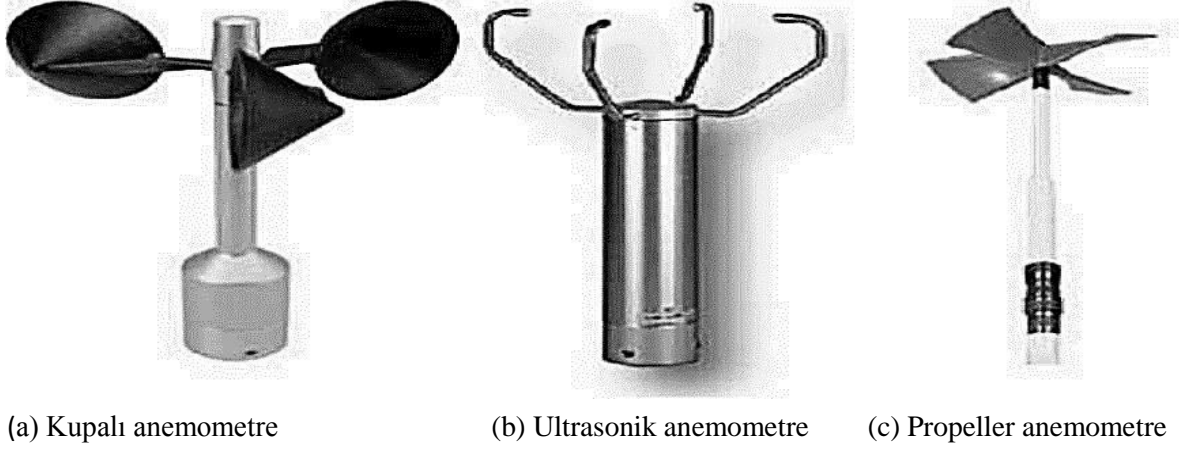
1.1.4. Rüzgâr Ölçüm Sistemleri

Rüzgâr ölçümleri; meteorolojik, iklim, tarım, endüstriyel uygulamalar ve bilimsel araştırmalar gibi değişik amaçlar için yapılmaktadır. Enerji üretim amaçlı bir bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenebilmesi için; rüzgâr hızı ve yön değerlerinin standartlara uygun ölçülmesi gerekmektedir.

Enerji üretim amaçlı yapılan rüzgâr potansiyeli ölçümleri, çok hassas ve dikkat gerektirmektedir. Ölçümlerde çok ufak gibi görülen bir fark bile yatırımın ekonomikliğini ve planlamasını ciddi bir biçimde olumsuz etkilemektedir. Ölçümlerin en az 12 ay boyunca ve sürekli olarak yapılması gerektiği dikkate alınırsa çok küçük bir veri kaybı dahi büyük problemlere yol açabilmektedir (Oral ve Ekmekçi, 2007; Durak ve Özer, 2008).

1.1.4.1. Rüzgâr Ölçüm Cihazları

RES'lerin projelendirmelerinin yapılması amacıyla, TR'lerin kurulacağı alanlarda, rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin sağlıklı olarak belirlenmesi için; rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, nem ve basınç gibi.



Şekil 1.4. Anemometreler

RES'lerin projelendirmelerinin yapılması amacıyla, RT'lerin kurulacağı alanlarda, rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin sağlıklı olarak belirlenmesi için; rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, nem ve basınç gibi meteorolojik parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla; standartlara uygun, kalibrasyon sertifikalı rüzgâr ölçüm cihazlarının kullanılması gerekmektedir. Rüzgâr ölçüm cihazları olarak; anemometre, yön sensörü, sıcaklık sensörü, nem sensörü ve basınç sensörü kullanılmaktadır. Anemometreler; rüzgâr hızı ölçümlerinde kullanılan cihazlardır.

Anemometreler, rüzgâr hızını elektriksel sinyale dönüştüren sensörlerdir. Kupalı, ultrasonik ve propeller anemometre olmak üzere 3 tip anemometre vardır (Oral ve Ekmekçi, 2007; Atasaven ve Ataseven, 2009). Rüzgâr hızı ölçümlerinde çoğunlukla kupalı anemometreler kullanılmaktadır.

Bu anemometreler, dikey bir eksene sahip olup rüzgârı yakalayan 3 kupası bulunmaktadır. Kupaların dakikadaki dönme sayıları elektronik olarak kaydedilerek rüzgâr ölçümünü yaparlar. Ayrıca elektriksel olarak ısıtılmış şaftlı özel modelleri ile kupalı olan anemometreler soğuk iklim şartlarında da ölçme amacı ile kullanılabilir (Oral ve Ekmekçi, 2007; Durak ve Özer, 2008).

Ultrasonik anemometre ölçüm sistemi; tamamen yenidir ve rüzgâr hızı ile yönünün çok hassas bir şekilde ölçümünü sağlamaktadır. Bu sistemde; ultrasonik bir dalganın bu amaç ile özel üretilmiş bir sistem içinde rezonansa tabi tutulmasına dayanmaktadır. Mekanik aşınmaya maruz kalacak hiçbir parçasının olmaması nedeniyle tüm hava koşullarına karşı son derece güvenli ve hassas ölçüm imkânı sunmaktadır. Düşük elektrik tüketimi ve buzlanma gibi diğer klasik ölçüm sistemlerini tamamen fonksiyon dışı bırakan koşullara karşı otomatik

önlem alması diğer önemli özelliklerinden biridir. Ultrasonik anemometreler; her bir uçtan yayılan ses dalgasının diğer kol tarafından alınması sırasında geçen sürenin ölçülmesi prensibi ile çalışmaktadır. Kısaca seste oluşan faz kaymalarını ayırt ederek ölçüm yapmaktadır (Oral ve Ekmekçi, 2007; Durak ve Özer, 2008; Atasaven ve Ataseven, 2009).

Propeller anemometreler, pervaneli anemometre olarak bilinirler. Bu anemometrelerin çalışma prensibi de kupalı anemometreler ile aynıdır. Kupalı anemometreler rüzgâr yönüne dik olarak yerleştirilirken, propeller anemometreler ise rüzgârın esme yönüne paralel olarak yerleştirilirler. Ayrıca bu tip anemometreler rüzgâr yönüne paralel monte edildiğinde yatay rüzgâr hızını, dik monte edildiğinde dikey rüzgâr hızını ölçerler. Propeller anemometre aslında kombine bir sensördür. Hem hız hem de yön ölçümleri yapabilmektedir. Genelde pervane kısmı alüminyumdan, kuyruk kısmı cam fiberden yapılmaktadır. Böylece hafif olması dolayısıyla rüzgâr tarafından kolay hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Bu tip anemometreler 90 m/s'lik hızlara kadar ölçebilmektedir (Durak ve Özer, 2008).

Rüzgâr ölçümlerinde ana cihazlar, anemometre ve yön sensörü olmakla beraber yardımcı cihazlar olan, sıcaklık, nem ve basınç sensörleri de kullanılmaktadır. Termometre olarak bilinen sıcaklık sensörü, ortamın çevre sıcaklık değerini ölçmektedir. Genellikle ölçüm direğinin 2 veya 3. metresine monte edilir. Rüzgâr ölçüm amaçlı kullanılan nem sensörleri, tek veya bazen de sıcaklık sensörü ile beraber kombine olabilmektedir. Neme karşı duyarlı olan materyal karbondan yapılmış olup nem değişiminde direnci değişmektedir. Bu direnç değişiminden yararlanılarak ortamın bağıl nem değerini ölçmektedir. Rüzgâr ölçüm ortamının basınç değeri ise basınç sensörü ile ölçülmektedir (Durak ve Özer, 2008).

Data logger; anemometre, yön sensörü ve rüzgâra ait çeşitli özellikleri ölçen sensörlerden gelen bütün verilerin elektronik olarak saklandığı ve değerlendirilmesinin yapıldığı ortamı sağlayan teçhizattır. Kısaca rüzgâr veri toplayıcılarıdır. Farklı markalara ait ve değişik dizaynlarda bulunabilirler. Data logger'lar; rüzgâr verilerini, üzerlerinde bulunan data chiplerinde depolarlar. Veri toplayıcılar; 1 veya 10 dakikalık ve saatlik olarak düzenli aralıklar ile ortalama ve ekstrem verilere ek olarak standart sapma da hesaplanıp vermektedir (Oral ve Ekmekçi, 2007; Durak ve Özer, 2008).

Symphonie™ Data Logger and Accessories



Şekil 1.5. Veri toplayıcı (Data logger) ve muhafaza kutusu

1.1.4.2. Rüzgâr Ölçüm İstasyonu

Rüzgâr ölçüm istasyonu; bir ölçüm direği üzerine yerleştirilmiş ölçüm sensörlerinden meydana gelir. RES santral sahasının topoğrafik durumuna göre, sahayı en iyi temsil edecek bir yada daha fazla ölçüm noktası belirlenir ve bu ölçüm direkleri bu noktalara konuşlandırılır. Ölçüm direkleri santral sahasındaki hakim rüzgâr yönüne dik olacak şekilde yerleştirilir. Ölçüm direğinin yüksekliği en az RT'nin kule yüksekliğinin 2/3 katı kadar yapılır. Ayrıca ölçüm yapılacak arazinin topoğrafik koşullarına göre ölçüm yüksekliği değişmektedir (Türkyılmaz, 2007; TÜSİAD, 2009; Durak ve Özer, 2008).

Günümüzde ölçüm sisteminde; boru ve kafes konstrüksiyon olmak üzere iki tip çelik direk kullanılmaktadır. Ölçüm direğinin mekanik ve elektronik olmak üzere iki önemli kısmı mevcuttur. Mekanik kısmı; taban ankraj plaka, çelik halatlar, borular, kızaklar ve diğer ek malzemeler; elektronik kısmı ise; anemometre, yön sensörü, veri toplayıcı, kablolar vb. gibi diğer elektronik cihazlardan oluşur (Durak ve Özer, 2008).

1.1.5. WAsP Yazılımı

WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) yazılımı, rüzgâr atlası istatistiklerini elde etmek için Danimarka Meteoroloji Teşkilatı'nın Riso Meteoroloji Laboratuvarında hazırlanmış ve geliştirilmiştir. Avrupa Rüzgâr Atlasının (European Wind Atlas) ve Türkiye rüzgâr atlasının hazırlanmasında kullanılmıştır.

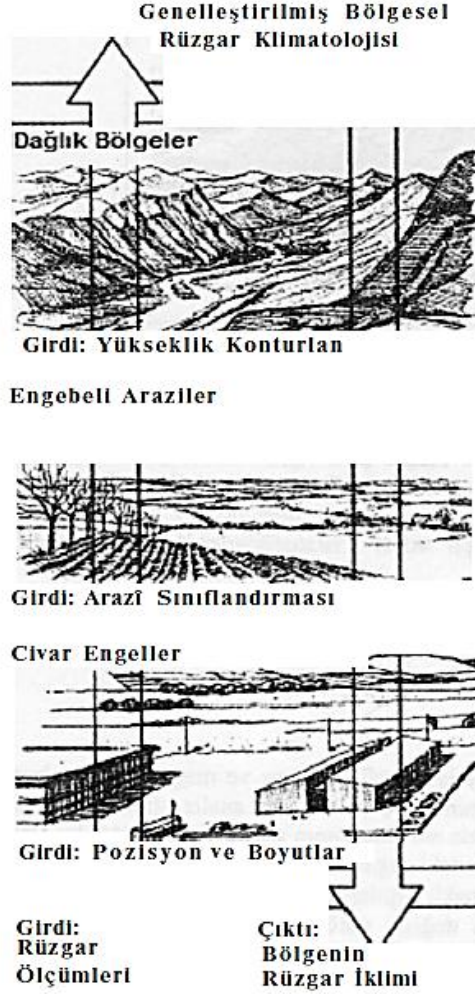
Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama Programı (WAsP) rüzgâr verisinin yatay ve dikey ekstrapolasyon için bir PC programdır. Program engeller, yüzey pürüzlülüğü değişiklikleri ve arazi yükseklik varyasyonlarının rüzgâr etkilerini hesaplamak için modeller içeren komple bir set içerir.

Günümüzde rüzgâr enerjisi ile ilgili birçok çalışmada da kullanılmaya devam edilmektedir. WAsP yazılımı, veri analizlerini, rüzgâr hız verilerinin 2 parametrelili Weibull dağılımına uygun bir dağılım gösterdiğini varsayarak yapmaktadır. Bu yazılım, dört değişik girdi bilgisini kendi alt modellerinde değerlendirerek, bölgesel rüzgâr atlası istatistiklerini hesaplamaktadır. WAsP yazılımının kullandığı temel bilgiler şunlardır:

- i) saatlik rüzgâr verisi,
- ii) bölge pürüzlülük bilgileri,
- iii) yakın çevre engel bilgileri,
- iv) bölgenin topoğrafyası.

WAsP programı bir bütün olmakla birlikte, yukarıdaki bilgilerin değerlendirilmesinde bir takım alt modeller kullanmaktadır. Program temel olarak 5 hesaplama bloğundan oluşmaktadır. Bu bloklarda gerçekleştirilen işlemler;

1. Zamana göre sıralı olan verilerin analizi,
2. Rüzgâr atlası verilerinin üretilmesi,
3. Rüzgâr rejiminin tahmini,
4. Rüzgâr gücü potansiyelinin tahmini ve kurulacak olan rüzgâr tarlasının toplam enerji üretiminin hesaplanması olarak özetlenebilir.



Şekil 1.6. WASP programının temel input ve output ları

WASP aşağıdaki gibi özetlenebilir analiz ve uygulama parçaları içeren program şeklinde de tanımlamak mümkündür.

Analiz :

Rüzgâr hızı ve yönü, zaman serisi → gözlenen rüzgâr iklimi (OWC)

Gözlenen rüzgâr iklimi + meteorolojik olarak yerel istasyonun özellikleri → bölgesel rüzgâr iklimi (RWC, rüzgâr atlas verileri)

Uygulama :

Bölgesel rüzgâr iklimi + site açıklaması → tahmin rüzgâr iklimi (PWC)

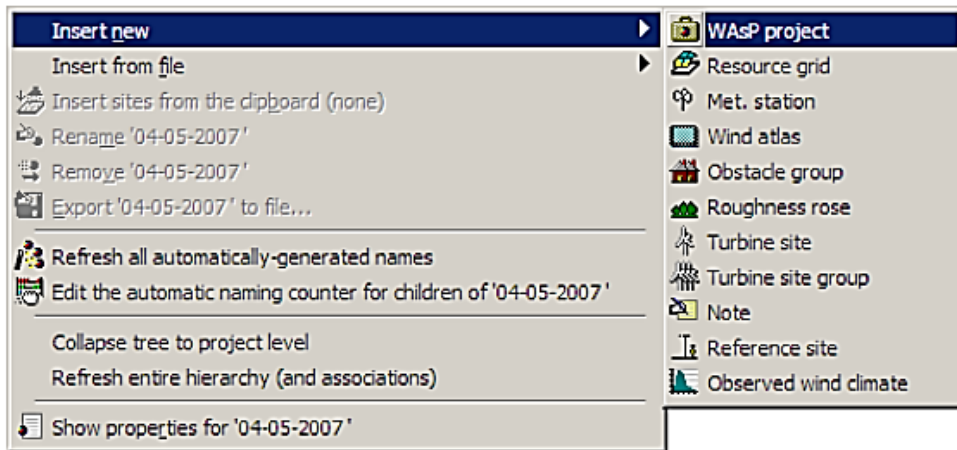
Tahmini rüzgâr iklimi + güç eğrisi → rüzgâr türbininin yıllık enerji üretimi (AEP)

Rüzgâr çiftliği üretimi :

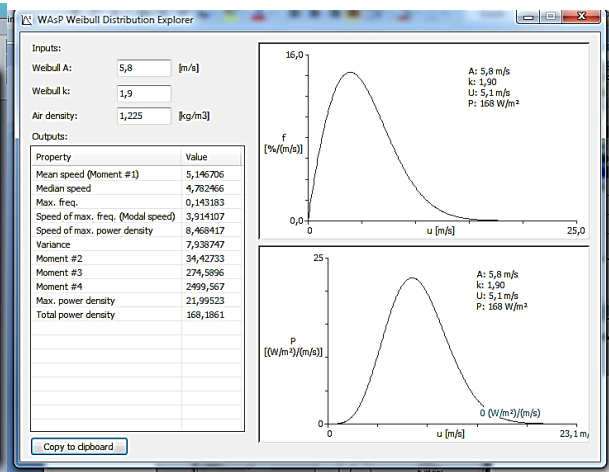
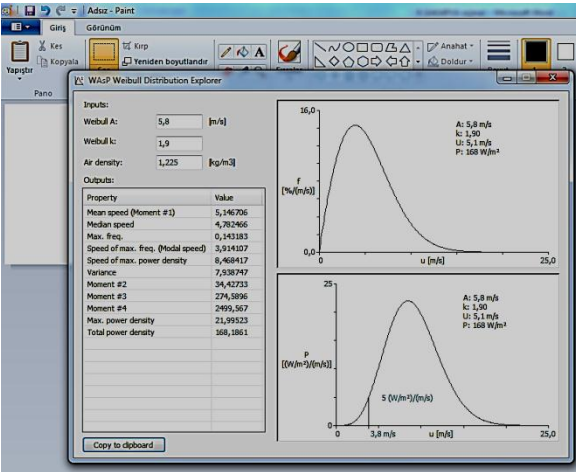
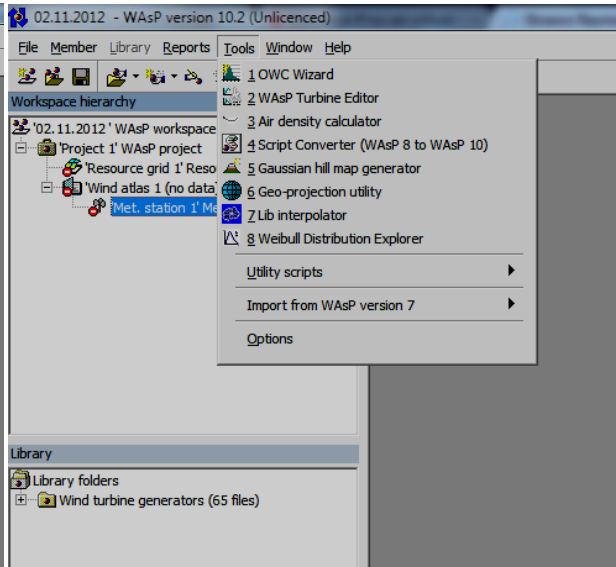
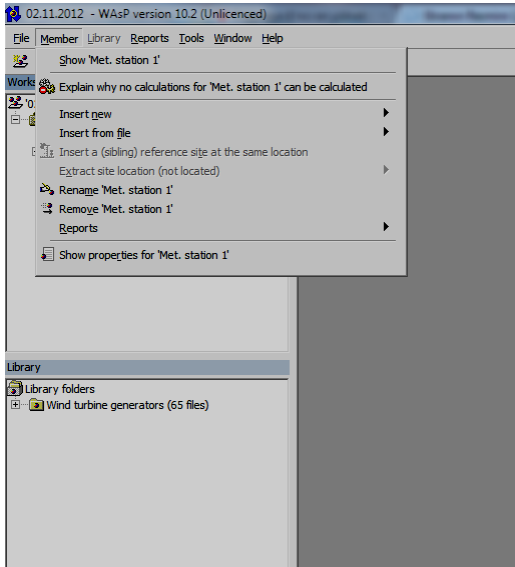
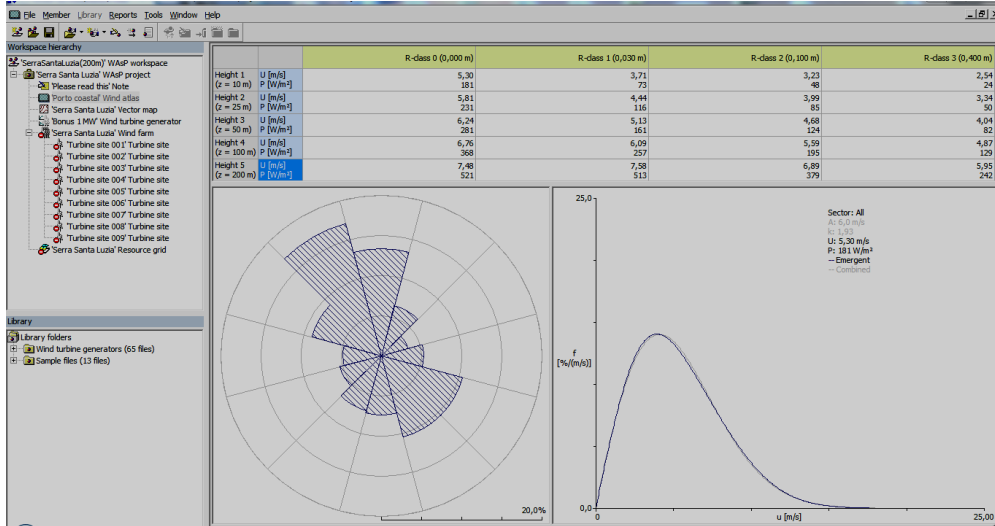
Tahmin edilen rüzgâr iklimlerde + rüzgâr çiftliğinin WTG özellikleri → brüt yıllık enerji üretimi

Tahmin edilen rüzgâr iklimlerde + rüzgâr çiftliğinin WTG düzeni → rüzgâr çiftliği kayıpları

Brüt yıllık enerji üretimleri + rüzgâr çiftliğinin ilk tahrik giderleri → yıllık net enerji üretimi



Şekil 1.7. WASP programında proje başlangıç penceresi



Şekil 1.8. WAsP programından örnek görüntüler

1.1.6. Weibull Dağılımı

Rüzgâr enerjisi potansiyeli çeşitli programlar kullanılarak belirlenebildiği gibi istatistiksel olarak da tahmin edilebilir. Yapılan araştırmalar neticesinde istatistiksel olarak yapılan çalışmalar rüzgâr enerjisi Weibull dağılımı kullanarak projeksiyon yapılmasının çok iyi sonuçlar verebilmektedir. Weibull dağılımının parametrelerini belirlemek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak belirlenen Weibull parametrelerinin kullanılması ekonomik analizde farklı yönlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Dünyada, birçok bölgenin rüzgâr hız dağılımını temsil etmek için iki parametrelili Weibull dağılımı yaygın olarak kullanılmaktadır (Akdağ ve Güler, 2008). Bir bölgenin rüzgâr hızı frekans dağılımı belirlenerek, o bölge için en uygun rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi seçilebilir. Bölge için uygun dağılımın belirlenmesi ile en ekonomik sonuçlara ulaşmak mümkün olur. Literatürde yapılan çalışmalarda rüzgâr hızı frekans dağılımı Gamma, log normal, Rayleigh gibi farklı dağılımlar kullanılarak gösterilmektedir.

İki parametrelili Weibull dağılımı dünyanın birçok bölgesinin rüzgâr dağılımını temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin en fazla kullanılmasının nedeni ise, rüzgâr dağılımına çok iyi uyması, dağılımın esnek bir yapıya sahip olması, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık, parametre sayısının az olması, parametrelerin bir yükseklik için belirlenmesinin ardından farklı yükseklikler için tahmin edilebilmesi gibi faktörlerdir.

Rüzgâr gözlem istasyonlarından belli bir yükseklikten alınan rüzgâr hızı verilerinin frekans dağılımları elde edilerek veri değerlendirme işlemine başlanılır. Bu frekans dağılımı yardımıyla hangi rüzgâr hızı değerlerinin sık gözlemlendiği belirlenebilir.

x rastgele bir değişken olmak üzere, üç parametrelili (ζ , c , k) WD olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{k}{c} \left(\frac{x - \zeta}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{x - \zeta}{c} \right)^k \right], \quad x \geq \zeta \quad (1.7)$$

şeklinde dir (Almalı, 2005; Aytaç 2004; Rinne, 2009; Heo ve ark, 2001).

WD eklemeli (kümülatif) olasılık fonksiyonu ise;

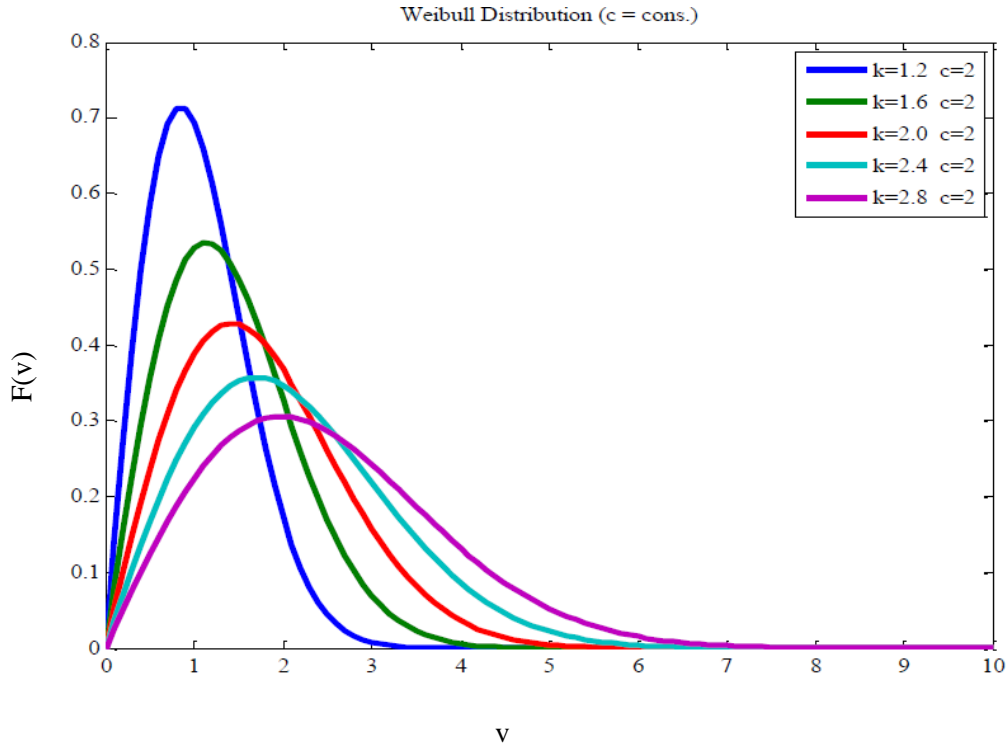
$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v-\zeta}{c}\right)^k\right], \quad v \geq \zeta \quad (1.8)$$

şeklindedir(Rinne, 2009; Heo ve ark, 2001). Yukarıdaki eşitliklerde ζ yer, c ölçek ve k ise şekil parametresi olarak adlandırılır. Bu eşitliklerde, ζ yer parametresi 0 alındığında, dağılım iki parametrelili bir dağılıma dönüşür ve iki parametrelili Weibull dağılımı olarak isimlendirilir.

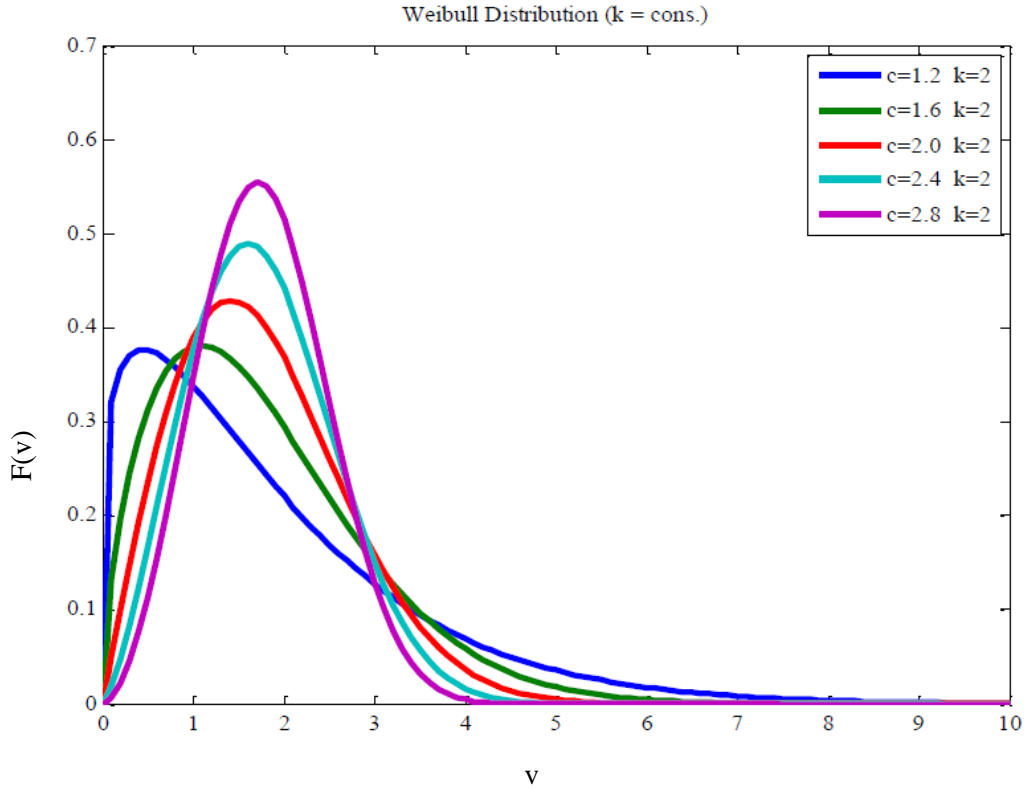
$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right], \quad v \geq \zeta \quad (1.9)$$

Weibull dağılımının ölçek parametresi olan c aynı zamanda rüzgâr hızının bir biriminin referans değeridir. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgâr hızının, belli bir v değerinden küçük yada eşit gerçekleşme olma olasılığını verir(Kurban ve ark., 2007).

Standart WD'nin yoğunluk fonksiyonunun örnek olarak ζ , c , k parametresinin farklı değerleri için değişimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.9. Farklı k değerleri için $f(v)$ değişimi($\zeta=0$)(Barutçu, 2008)



Şekil 1.10. Farklı c değerleri için $f(v)$ değişimi ($\zeta=0$) (Barutçu, 2008)

Buradaki şekil parametresi olan k , $k=1$ için çoğunluğu rüzgarsız ($v=0$) geçen günler için, $k=2$ birçok gün ortalama hızın altında bazı günlerde bu değer üstünde hız değerleri görüldüğünde (gözlemlenen tipik rüzgar dağılımı) için, $k=3$ ise düşük değerlerde hız değerleri gözlemlenen günlere eşit yük sek hız değerlerinin gözlemlendiği zamanlar için kullanılır (Patel, 1999).

c parametresinin aldığı değerlerin anlamı; c değerlerinin artmasıyla birlikte eğri sağa doğru kayacak yani daha yüksek hız değerlerine geçilecektir (Şekil 3.3). Bu yüzden büyük c değerleri yüksek hız gözlemlenen gün sayısının da fazla olduğunu gösterir (Patel, 1999).

1.2. Rüzgâr Türbinleri

1981 yılında Paul la Cour ve Danimarka Askov Folk High School bilim adamlarının oluşturduğu bir grup rüzgârdan elektrik enerjisi üreten ilk tribünü yaptılar. Danimarka hükümetinin desteğiyle de test amaçlı bir rüzgâr santrali kurdular. 1918 Yılına gelindiğinde Danimarka'da rüzgârdan elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan 120 adet RT bulunmaktaydı. Güçleri 20–30 KW arasında değişen bu rüzgâr türbinlerin toplu güçleri 3 MW civarındadır (Turhal, 2009).

Rüzgâr Enerjisinin Avantajları :

Atmosferin kirlenmesine sebep olan gazların oluşmaması.

Doğayı kirletmeden enerji elde edildiği için temiz bir enerji kaynağı olması.

Yenilenebilir enerji kaynağı olması. Başka bir deyişle kaynağının tükenmemesi.

Diğer tesislerle kıyaslanacak olursa, rüzgâr tesislerinin kurulumunun ve işletilmesinin daha kolay olması.

Enerji üretim maliyetinin düşük olması. Gelişen teknoloji sayesinde enerji üretim maliyetinin daha da düşüyor olması talebi arttırmaktadır.

Güvenirliğin yüksek olması.

Her yerde olması yani bölgesel bir özelliğe sahip olduğundan dolayı, kişilerin kendi elektriğini üretebilmesi (Anonim, 2007).

Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları:

Rüzgâr sürekliliğe sahip olmadığından dolayı, üretim değerinin de sabit olmaması.

Rüzgâr türbinlerinin çok büyük olmasından dolayı rüzgâr tesislerinin büyük yer kaplaması.

Gürültü kirliliğine yol açması. Ancak gelişen teknolojiyle bu sorunu gidermek için önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Fosil ve nükleer atıklara oranla bakılacak olursa rüzgâr enerji üretimin daha düşük olması.

Tesislere yapılacak maliyetin yüksek olması.

Diğer tesislere oranla daha fazla dinamik parçalar bulundurduğundan dolayı işletme açısından riskin biraz daha çok olması (Anonim, 2007).

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir rüzgâr türbini genel olarak;

Kule,

Jeneratör,

Hız dönüştürücüleri (dişli kutusu),

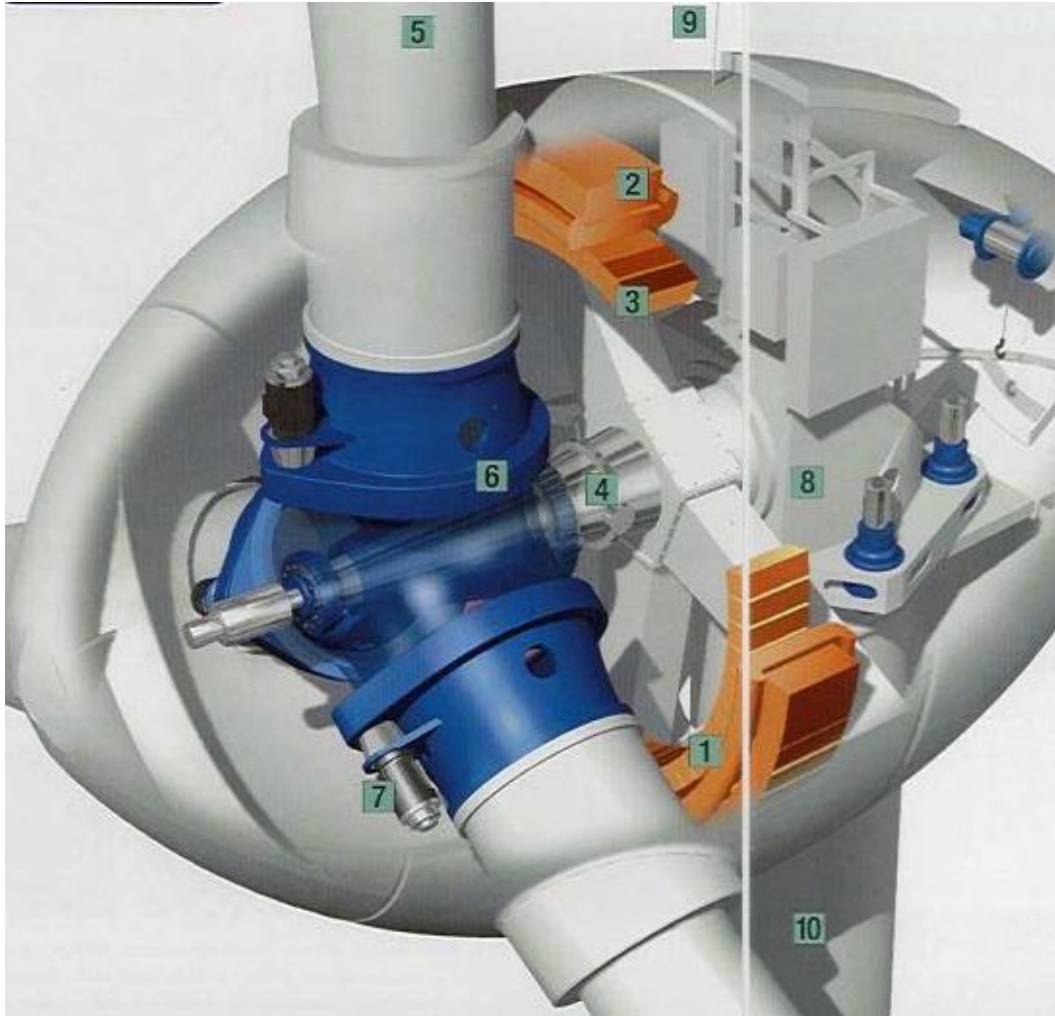
Elektrik-elektronik elemanlar,

Pervaneden(pala) oluşur.

Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Pervane(pala) milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır(Turhal, 2009).

Rüzgâr türbinleri tarih boyunca çeşitli değişimler geçirerek bugünkü modern rüzgâr türbinleri haline gelmiştir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştirilen rüzgâr türbinlerinden bazıları günümüzde önemsenerek boyutta ticari hale gelmiştir. Rüzgâr türbinleri; dönme eksenlerine göre, pervane çapı ve kurulu güçlerine göre, pervane veya kanat sayısına göre sınıflandırılırlar. Kullanımdaki RT'ler boyut ve tip olarak çok çeşitlilik gösterse de genelde türbinler, dönme eksenine göre adlandırılırlar.

Kullanımdaki rüzgâr türbinleri boyut ve tip olarak çeşitlilik gösterse de, genelde dönme eksenine göre sınıflandırılırlar. Rüzgâr türbinleri dönme eksenine göre “Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri” (YERT) ve "Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri” (DERT) ve “Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri” olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar(Turhal, 2009).



Şekil 1.11. Senkron bir rüzgâr türbininin iç yapısı

Genel hatları ile bir senkron rüzgâr türbini aşağıdaki gibi çalışır(Turhal, 2009).

1. Jeneratör kanatlardan gelen mekanik enerjiyi 2. stator ve 3. rotor arasında elektrik enerjisine dönüştürür. 4. Ana mil kanatları taşır. 5. Kanatlar rüzgârın enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. 6. Kanat flanşı ve 7. kanat çevirme motoru kanadın ideal açısını ayarlar. 8. Kabin çevirme motoru 9. Rüzgâr ölçüm sensöründen gelen bilgilere göre kabin önünü rüzgâra çevirir. 10. Kule pervaneyi rüzgârın fazla olduğu yükseklerle taşır.

Klasik bir rüzgâr türbinin iç yapısı

1- Makina Yeri (Nacelle) : Rüzgâr Türbini ve jeneratör olmak üzere ana parçaları içerir (Fıçıcı ve ark., 2007).

2- Pervane Kanatları (Rotor Blades) :Rüzgârı yakalar ve rüzgâr gücünü rotor göbeğine aktarır (Anonim, 2007).

3- Blade Pitch Control ve Kapatma Sistemleri : Bir rüzgâr türbini aşırı kuvvetleri önlemek zorundadır. Aksi takdirde yanabilir ya da bir şekilde kendine zarar verebilir. Aşırı rüzgâr hızlarından korunmak için kapatma mekanizmalarına başvurulur. Yaygın olarak kullanılan kapatma mekanizmaları rüzgârdan kaçınma (furling) ve kanat açısı kontrol (blade pitch control) metotlarıdır. Rüzgârdan kaçınma metodunda kapanan kuyruk sayesinde pervane rotoru rüzgâr esme yönünün dışına çıkar. Bazı rüzgâr türbinleri aşırı rüzgâr hızlarında kanatların açısını değiştirerek dönüş hızının azaltılmasını sağlar. Böylece verim ve türbinin güç çıkışı da azaltılmış olur. Yukarıda anlatılan her iki sistem de pasif metotlar üzerine inşa edilmiştir. Bu sistemler rüzgârın ya da kanat rotorunun hızına göre harekete geçer. Son zamanlarda daha sık kullanılmaya başlanan elektrikli frenlemede rüzgâr türbininin hızı otomatik olarak denetlenmektedir(Anonim(a), 2013).

4- Düşük Hız Mili (Low speed shaft) : Pervane göbeğini dişli kutusuna bağlar (Anonim, 2007).

5- Dişli Kutusu (Gear Box) : Yüksek hız milinin, düşük hız milinden 50 kat fazla dönmesini sağlar (Anonim, 2007).

6- Mekanik Frenli Rüzgâr Hız Mili (High speed shaft with its mechanical brake) : 1500 dev/dak ile döner ve bu sayede jeneratörün çalışmasını sağlar. Bakım onarım gibi durumlarda sistemi frenleyerek, durmasını sağlar (Anonim, 2007).

7- Elektrik Generatörü (Electrical Generator) : Elektrik generatörü genelde ya senkron generatörü ya da asenkron generatörüdür(Anonim, 2007).

8- Elektronik Kontrol Ünitesi (Electronic controller) : Rüzgâr türbinindeki bazı durumları kontrol eden birimdir. Örneğin generatör ısındığı zaman uyarı verir. Ya da yaw mekanizmasının çalışmasını sağlar (Anonim, 2007).

9- Hidrolik Sistem (Hydraulics System) : Rüzgâr türbinin frenleme sistemini kapsar (Anonim, 2007).

10- Soğutma Ünitesi (Cooling Unit) : Elektrik Jeneratörünü soğutmak için kullanılır (Anonim, 2007).

11- Kule (Tower) : Rüzgâr türbinin kulesi makine yerini ve pervanenin taşınmasını sağlar (Anonim, 2007).

12- Eğim Mekanizması (Yaw Mechanism) : Rüzgârın farklı yönlerden geldiği durumlarda pervanenin ve makine yerinin döndürülmesini sağlar (Anonim, 2007).

13- Anemometre ve Yelkovan (Anemometer and Wind Wane) : Kısaca Anemometre ve Yelkovan, rüzgar hızı ve yönünün ölçmeye yarar. Ölçülen rüzgar hızları ve yönleri data logger a aktarılarak depolanır (Anonim, 2007).

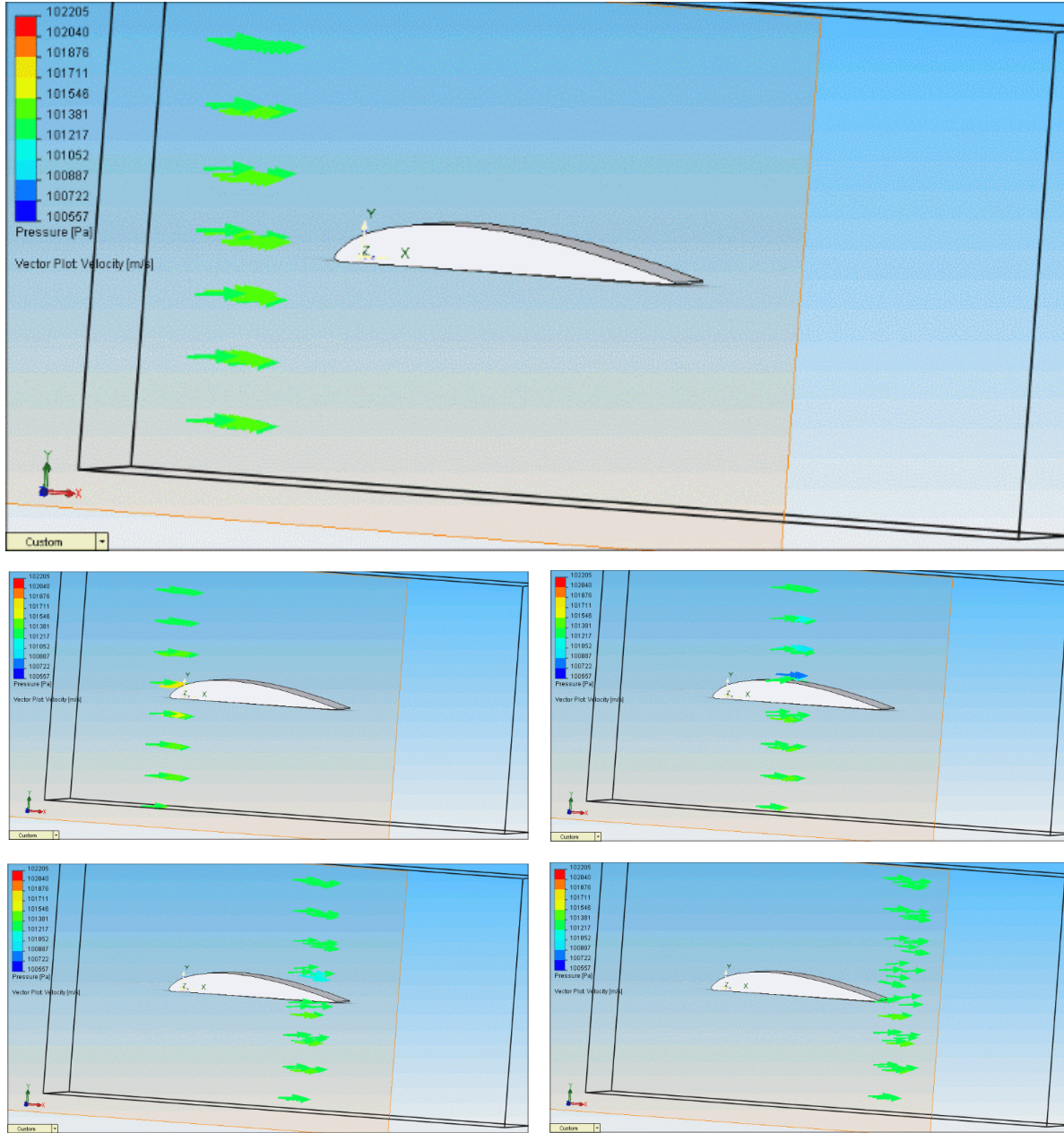


1- Kanatlar
2-Rotor
3-Açı düzenleyici
4- Fren
5- Düşük hızlı mil
6- Dişli Kutusu
7- Generatör
8- Hız ve yön düzenleyici
9- Anomometre
10- Rüzgar yön sensörü
11- Nasel
12- Yüksek hız mili
13- Yönlendirme mekanizması(yaw mechanism)
14- Yönlendirme motoru
15- Kule

Şekil 1.12. Asenkron bir rüzgar türbininde nasele(nacelle)'in iç yapısı(Demir, 2007)

Rüzgâr türbin kanat palalarının uçak kanadına benzetilmesinin en önemli nedeni Bernoulli prensibine dayanmaktadır. Akışkanların hızı arttıkça basınçları azalır prensibine göre teorik olarak kanada çarpan havanın yarısı alttan, yarıda üstten geçtiği farz edildiğinde; üstten geçen havanın ilerleyeceği mesafe daha uzun olduğundan basıncı düşer, alt taraftaki

havanın basıncı daha yüksek olur. Alt tarafın yüksek basıncından dolayı kaldırma kuvveti oluşur(Anonim(b), 2013).



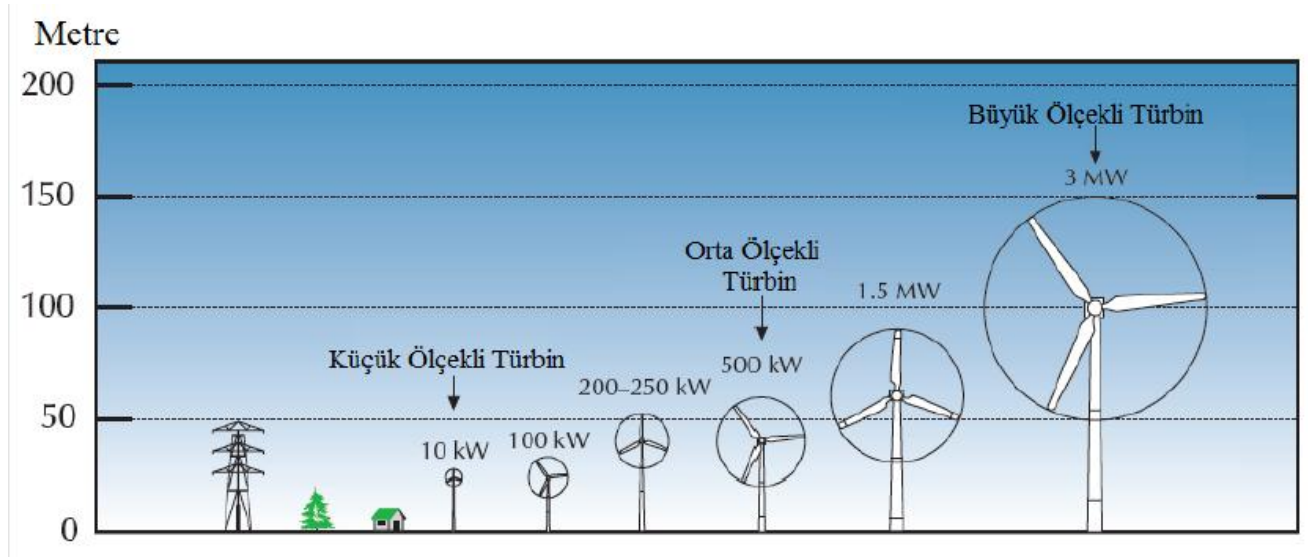
Şekil 1.13. Rüzgâr türbin kanat palalarının bombeli yapıma nedenini gösteren Solidworks programında örneksel animasyonu(Anonim, 2013)

Siemens'in deniz üstü rüzgâr türbinlerinde kullanım için geliştirdiği yeni 75 metrelik B75 türbin kanatları, daha geniş bir alana etki edebilmesi sayesinde verimlilik artışı sağlamıştır. İlk olarak Danimarka'nın Osterild bölgesinde test edilen B75 türbinler, buradaki 6 MW gücündeki SWT-6.0-154 model rüzgâr türbinlerine takılarak fiberglas malzeme sayesinde düşük ağırlıklarıyla lojistik süreçlerini de kolaylaştıran B75 kanatlar, düşük rüzgâr güçlerinden bile yüksek performans elde edilebilmesini sağlamaktadır(Siemens, 2013).



Şekil 1.14. Dünyanın en uzun türbin kanadının (fiberglas) üretiminden görünüm

Türbin mekanizmaları temelde aynı sisteme dayansa da büyük ve küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinin çalışma alanları üretim amaçları açısından farklılıklar gösterirler. Örneğin küçük ölçekli türbinler, büyük ölçekli türbinler gibi rüzgârın yoğun olduğu yerin aksine enerji ihtiyacının olduğu yerde kurulurlar. Bu tarz yerler genellikle rüzgârın turbülanslı ve durağan olmadığı bölgelerdir (Wang ve ark., 2008). Büyük ve küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinde dikkat çeken bir diğer fark ise büyük ölçekli türbinlerde kontrol mekanizmasının küçük ölçeklilere oranla verimi artırmak amaçlı daha gelişmiş olmasıdır. Küçük ölçekli türbinlerde bu mekanizma, maliyet açısından geri plandadır (Barutçu, 2008).



Şekil 1.15. Boy ve güç miktarlarına göre küçük-orta-büyük ölçekli türbin gösterimi (Gape, 2009)

Rüzgâr enerjisinde, rotor çapı büyüklüğün bir ölçütüdür. Diğer bir deyişle rüzgar türbininin rotoru tarafından süpürülen alan rüzgar türbininin en önemli özelliğidir. Ancak rüzgar türbininin büyüklüğünde kesin bir ölçüt yoktur (Gape, 2009).

Çizelge 1.8. Değişik ölçekli türbinler için genel rotor çapı, süpürme alanı ve yaklaşık güç değerleri (Gape, 2009)

	Rotor Çapı (m)	Süpürme Alanı (m ²)	Yaklaşık Güç Değerleri (kW)
Mikro	0.5-1.25	0.2-1.2	0.04-0.25
Mini	1.25-3.0	1.2-7.1	0.25-1.4
Ev Tipi	3.0-10.0	7.0-79	1.4-1.6
Küçük Ticari	10.0-20.0	79-314	25-100
Orta Ticari	20-50	314-1963	100-1000

1.2.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin yaygın bir kullanım yeri yoktur. Rüzgârı önden alan türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgâr gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgâra bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır (Gipe,1993).

Rüzgâr türbinleri tarih boyunca çeşitli değişimler geçirerek bugünkü modern rüzgâr türbinleri haline gelmiştir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştirilen rüzgâr türbinlerinden bazıları günümüzde önemsenecek boyutta ticari hale gelmiştir. Rüzgâr türbinleri; dönme eksenlerine göre, pervane çapı ve kurulu güçlerine göre, pervane veya kanat sayısına göre sınıflandırılırlar. Kullanımdaki RT'ler boyut ve tip olarak çok çeşitlilik gösterse de genelde türbinler, dönme eksenine göre adlandırılırlar (Akpınar ve Akpınar 2004(a); Nurbay ve Çınar, 2005).

RT'ler dönme eksenine göre; yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde (YERT); dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Bu türbinlerde; rotor kanatlarının sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu nedenle bu türbinler, dönme hızlarına göre; yavaş hızlarda çalışan YERT (çok kanatlı) ve yüksek hızlarda çalışan YERT (kanat sayısı 1 ile 4 arasındadır) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Yavaş hızlarda çalışan RT'lerde; kanat sayısı fazladır ve genellikle su pompalama işlerinde kullanılırlar. Yüksek hızlarda çalışan rüzgâr türbinlerinde ise kanat sayısı 1 ile 4 adet arasındadır. En çok kullanılan tip, üç kanatlı olanlarıdır. Bu tip türbinler günümüzde elektrik üretimi için kullanılırlar. YERT'lerde rotor, rüzgârı en iyi alacak şekilde,

döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık % 45'dir. YERT'ler genel olarak, en az yerden 20-30 m yükseklikte bir kule üzerinde olacak şekilde yerleştirilirler (Akpınar ve Akpınar 2004; Nurbay ve Çınar, 2005).

Rotor kanadı uç hızının, rüzgâr hızına bölünmesi ile elde edilen orana, kanat uç hız oranı denir ve λ sembolü ile ifade edilir. YERT'lerin kanat sayıları bu orana göre sınıflandırılır bir rüzgâr türbininin kanat uç hız oranı λ ,

$$\lambda = \frac{u}{v} \quad (1.10)$$

eşitliği ile ifade edilir (Karşlı ve ark., 2007; Atılğan ve ark., 2009).

Burada u , rotor kanadı uç hızını ifade etmektedir. Rüzgâr türbin rotorunun açısal hızı ω , türbin devri n_t , rotor çapı D ve rotor yarıçapı R olması durumunda, eşitlik daha genel halde,

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} = \frac{\pi D n_t}{60v} \quad (1.11)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$\lambda = 1-5$	çok kanatlı
$\lambda = 6-8$	üç kanatlı
$\lambda = 9-15$	iki kanatlı
$\lambda > 15$	tek kanatlı



Şekil 1.16. Yatay eksenli rüzgâr türbini

Rotor, dişli çark, jeneratör ve fren bir kule üzerinde yatay safta bağlanmışlardır. Büyük türbinlerde (1 MW' dan büyük) transformatör de kulenin tepesinde türbin gövdesinde yer alır. Küçüklerde, transformatör şebeke bağlantı sistemleri ile birlikte yerde bulunur. Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin yaygın bir kullanım yeri yoktur.

Rüzgârı önden alan türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgâr gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgâra bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır. Yatay eksenli türbinlere örnek olarak pervane tipi rüzgâr türbinleri verilebilir. Bu tip türbinlerin kanatları tek parça olabileceği gibi iki ve daha fazla parçadan da oluşabilir. Günümüzde en çok kullanılan tip üç kanatlı olanlardır. Bu türbinler elektrik üretmek için kullanılır.

Tek kanatlı rüzgâr türbinlerinin yapılmasının sebebi; kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makina kütlesi ile rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Tek kanatlı rüzgâr türbinlerinin kanat uç hız, üç kanatlı türbinlere göre iki kat daha yüksektir ve daha fazla gürültü içermektedir. Önceleri tek kanatlı RT'lerin, daha ekonomik bir çözüm olabileceği düşünülmüştür. Fakat sanılanın aksine; tek kanatlı RT'ler ticari bir çözüm halini alamamıştır. Yüksek rotasyonel hıza ek olarak yüksek gürültü ile çalışmaktadır. Ayrıca, kanadı dengelemek için karşı tarafa da bir ağırlık konulması gerekmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı tek kanatlı RT'ler istenilen gelişmeyi gösterememiştir (Nurbay ve Çınar, 2005; Durak ve Özer, 2008).

Üç kanatlı RT'lere göre, rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi, çift kanatlı türbin fikrini doğurmuştur. İki kanatlı RT'ler de tek kanatlı RT'ler gibi yüksek rotasyonel hızla ve yüksek gürültü ile çalışması gibi nedenlerden dolayı istenilen ilerlemeyi sağlayamamıştır (Nurbay ve Çınar, 2005; Durak ve Özer, 2008).

Üç kanatlı RT'ler; günümüzde dünyanın her tarafında yaygın olarak en çok kullanılan türbinlerdir. Elektrik üretim amaçlı kullanılırlar ve bu nedenle ticari amaçlı kullanılan türbinlerdir. Üç kanatlı kullanımın asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde; türbini yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momentinin olmaması nedeniyle, hub içerisinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70 m/s'nin altında olduğundan, gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli bir avantaj olup, daha çok kullanımı tercih edilmiştir. Küçük güçlü RT'lerde, üç kanatlı rotor kullanıldığında güç problemi ortaya çıkar. Bu problemin

çözümü için, düşük devirde dönen rotorun devir sayısını artıran dişliler kullanılır ve "cut in" olarak adlandırılan hız değerine ulaşınca kadar jeneratör boşa çalışır (Nurbay ve Çınar, 2005).

Çok kanatlı rüzgâr türbinleri, RT'lerin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Bu türbinler düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım gösterir. Üzerinde; rüzgârgülü pervane düzleminin, rüzgâr hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için, rüzgârgülü yönlendiricisi taşımaktadır (Köse ve Özgören, 2005).

Günümüzde 12 ile 24 adet arasında değişen kanatlar, rotorun ya tüm yüzeyini, yada önemli bir bölümünü kaplar. Bu tip rüzgâr türbinlerinin çapı, 5 ile 8 m arasında değişir. Genellikle hızları 3-7 m/s arasında değişen rüzgârlarda kullanılır. Elektrik üretimi için verimleri düşüktür. Bu tipteki türbinler, daha çok su pompalama işi için idealdirler (Şen, 2003).



Şekil 1.17. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri



Şekil 1.18. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rüzgâr alım şekilleri(Çolak ve Demirtaş, 2008)

1.2.2. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. Bu türbinlerin rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğü vardır. Kanatların güç üretebilmeleri için rüzgârdan daha hızlı dönmeleri gerektiğinden, ilk harekete geçimleri güvenli değildir.

Düşey eksenli türbinlerin bir diğer üstünlüğü ise makine aksamı, hız yükselticisi ve jeneratörün toprak üzerine konulabilmesidir. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri mutfakta kullanılan yumurta çırpacağına benzer. Kanatlar bir düşey safta bağlanmıştır. Bu türbinler G.J.M. Darrieus isimli bir Fransız mühendisi tarafından 1931'de keşif edildiğinden Darrieus türbini olarak da isimlendirilir.



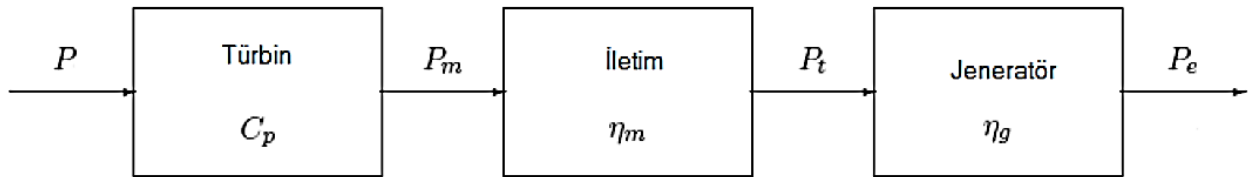
Şekil 1.19. Dikey eksenli rüzgâr türbini

1.2.3. Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Dönme eksenleri düşeyle rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı vardır.

1.2.4. Güç İletimi ve Verimlilik

Rüzgâr türbinlerinde elektrik üretimini, temel sistem olarak aşağıdaki şekilde gösterebiliriz. Burada başlangıçta rüzgârın sahip olduğu güç P , türbinden geçtikten sonra P_{mek} mekanik güce dönüşür. Mekanik gücün jeneratöre iletilmesi sonucu belirli taşıma kayıplarından sonra jeneratör girişinde P_t transmisyon güç değerine düşmektedir. Benzer şekilde bu güç jeneratörde P_e elektriksel güce dönüşmektedir.



Şekil 1.20. Rüzgâr türbini elektrik üretim sistemi

Burada η_m mekanik verim ve η_g jeneratör verimini ifade etmesi durumunda, güçler arasında aşağıdaki eşitlikler azılabilir (Johnson, 2001).

$$P_{mek} = C_p P \quad (1.12)$$

$$P_t = \eta_m P_{mek} \quad (1.13)$$

$$P_e = \eta_g P_t \quad (1.14)$$

Bu eşitlikler;

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P \quad (1.15)$$

eşitliği şeklinde yazılabilir. η_t toplam verim olarak alınırsa;

$$\eta_t = C_p \eta_m \eta_g \quad (1.16)$$

Eşitliği yazılabilir. Bir RT için Jeneratör çıkış gücü veya elektriksel güç, en genel halde;

$$P_e = \eta_t P \quad (1.17)$$

eşitliği ile ifade edilebilir (Johnson, 2001).

1.2.5. Rüzgâr Enerjisi Üretiminde Yeni gelişmeler

Rüzgâr enerjisinin ilk kullanımları suyun pompalanmasıyla başladığı kabul edilirse özellikle 1974 yılından sonra başlayan araştırma ve geliştirme faaliyetleri ile elektrik üretim amacı kabul görmüştür. Günümüzde rüzgâr santrallerinde kullanılmak üzere 100 kW ile 2000 kW arasında değişen güçlerde rüzgâr türbinleri üretilip piyasaya çıkarılmış olmakla birlikte, yoğunluk 450-1000 kW güçlü türbinler üzerinde toplanmıştır (en önemli rüzgâr türbini üreticileri arasında Gamesa, Enercon, e.on, Vestas, Iberdrola, Siemens, GE, NextEra, Sinovel, Suzlon, RWE, Nordex vs.. sayıla bilinir, şu an test aşamasında olan Enercon, E-126 modeli ile dünyanın en büyük rüzgâr türbini, E-126 da resmi olarak 6 MW güç için piyasaya sürüldü ancak 7 MW'tan yüksek bir güç üretebilecek (yılda 20 milyon kW-saat)) . Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ekonomik hale gelmiş ve fosil yakıtlarla yarışabilir hale gelmiştir.

Pürüzlülük faktörü, dağlık, tepelik yerler için önemli bir argümandır. İç bölgelerde deniz kıyı bölgelerine göre pürüzlülük daha fazladır, denizden uzak bölgelerde kurulacak

santrallerden yeterli verim sağlanamayabilinir. Üzerinde çalışılan bölge pürüzlülük açısından elverişli bir bölge olduğu düşünülmele birlikte ortalama rüzgâr hızlarının da yüksek olması beklenebilir. Fizibilite çalışması yapılırken sadece pürüzlülük değerlerine göre değil, ortalama rüzgâr hızı, sıcaklık, nem vb. parametrelerini de hesaba katmak gerekir.

Deniz seviyesinden yukarılara çıkıldığında türbülans riskinin arttığı da göz önüne alınmalıdır.

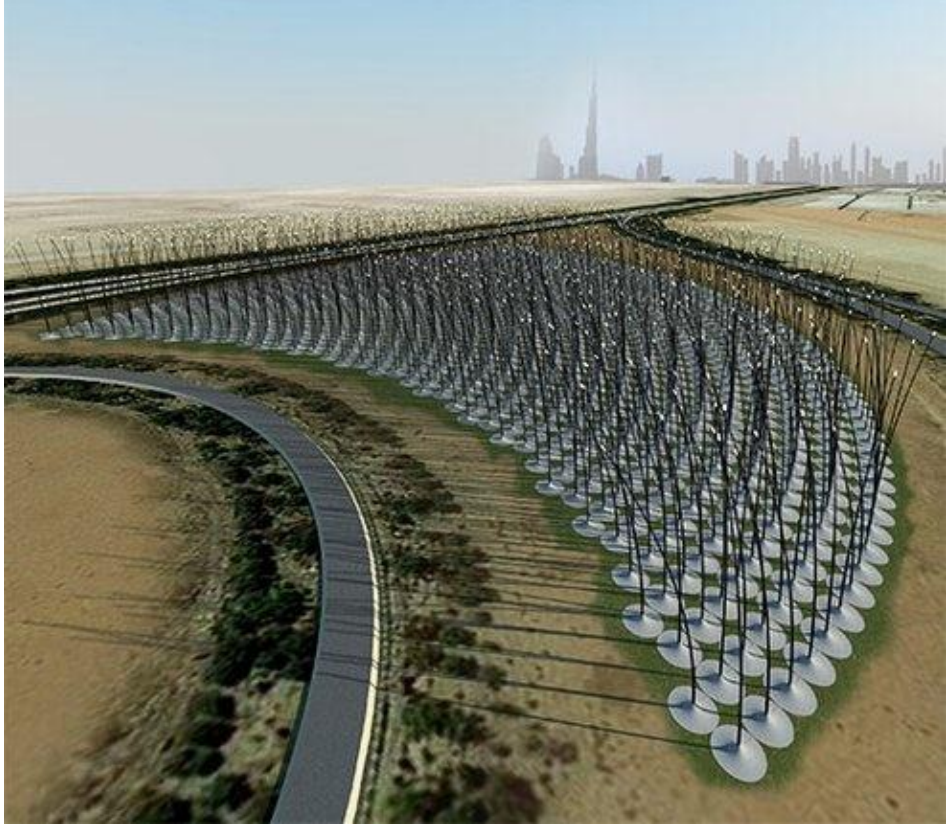
Yapılan bu çalışmada elde edilen değerlerin rüzgâr enerjisi santrali kurulması için uygun bir yer olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca yeni gelişen ve rüzgâr enerjisinin gelecekte teknolojisi olduğu düşünülen aşağıdaki gelişmeleri de göz önüne almak gerekliliği de söz konusudur



Şekil 1.21. Alaeos rüzgâr türbini

Alaeos cihazı helyum ile doldurulmuş, şişirilebilir bir yapıya sahiptir. Bu sayede sıfır maliyetle havada asılı kalabilmektedir. En büyük avantajı ise türbülans riskinin en az olduğu yükseklerde en yüksek yer tipi rüzgâr türbininden bile daha fazla güçlü rüzgâr alabilme kapasitesidir. Üretilen enerji kablo vasıtasıyla yeryüzüne ulaştırılmaktadır. Yüksek irtifa sayesinde ciddi yüksekliğe sahip klasik rüzgâr türbinlerinden bile daha güçlü rüzgâr kapasitesine sahip. Teorik olarak birkaç hafta içerisinde kurulum tamamlanabilmektedir.



Şekil 1.22. Piezoelektrik prensibine göre çalışan rüzgâr tarlası

Bitki sapına benzeyen devasa sapların rüzgârda salınım yapmasıyla elektrik üretiyor ve bu sistem temelinde piezoelektrik prensibine dayanıyor.

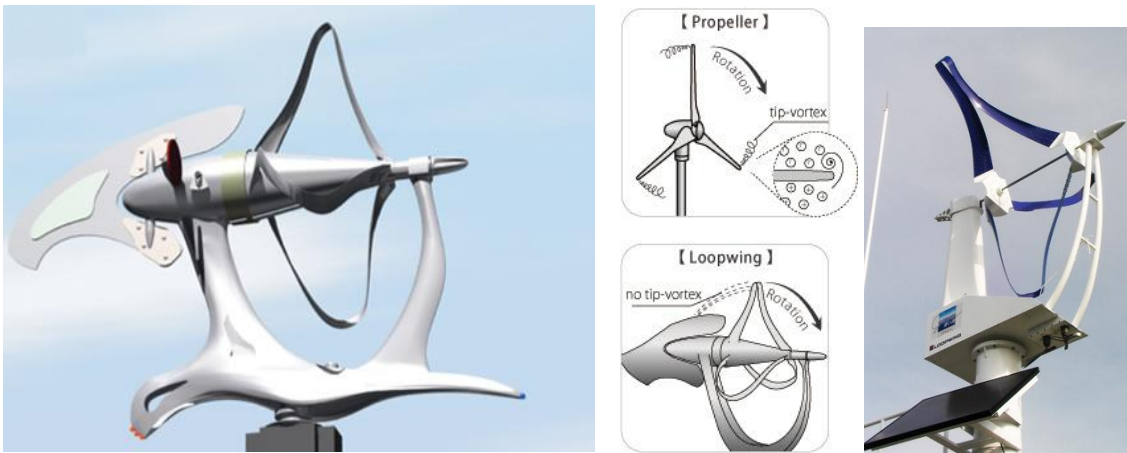
Rüzgâr türbini gelişim sürecinde diğer gelecek vaat eden teknoloji loopwing(döngülü kanat) olabilir.

Çizelge 1.9. Klasik rüzgâr türbiniyle loopwing türbinlerinin karşılaştırılması

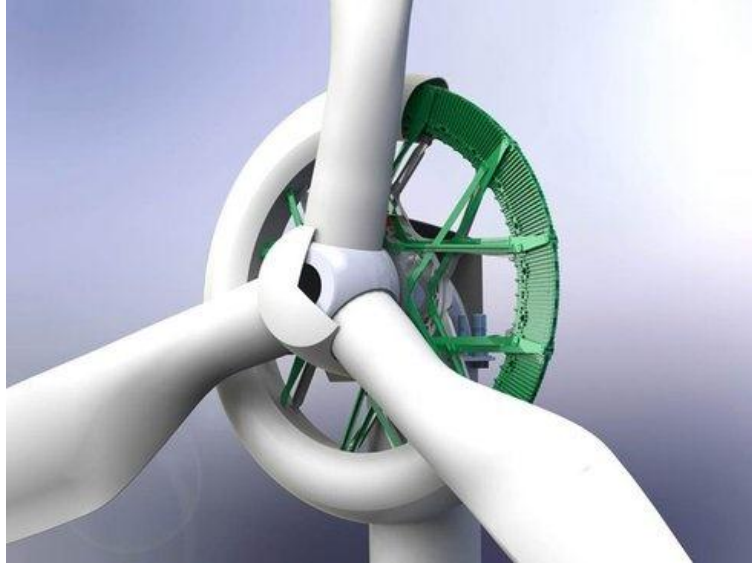
Türbin tipi	Kanat şekli	Start	Maksimum Verimlilik	Kanat ucu hızı	Gürültü ve kanat ucu vorteksi	Shaft vibrasyonu ve tork dengesizliği	Kule vibrasyonu	Turbine Type
Kanatlı	Bıçak	İlave güçle	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yok	Yüksek	Propeller
Çoklu	Bıçak	Kendi	Orta	Orta	Az	Yok	Yüksek	Multiple
Dikey	Bıçak	İlave güçle	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yok	Vertical
Svonius	Bıçak	Kendi	Çok düşük	Düşük	Yok	Yüksek	Yok	Svonius
Loopwing	Globe	İlave güçle	Yüksek	Orta	Yok	Yok	Yok	Loopwing

Gürültü nedeni kanat uçlarından oluşan girdaplar(vorteksler)dir. Gürültü kirliliği göz önüne alındığında, küçük rüzgâr türbinleri ön plana çıkmaktadır. Bir rüzgar türbini tarafından yayılan gürültü, her dönen bıçak (uç-vorteks) ucunda oluşturulan ses, farklı kaynaklardan oluşan seslerin (mekanik ve titreşimler) toplamıdır.

Loopwing kanat bıçağı döngü şeklinde olduğundan ve bu nedenle bir girdap oluşturmak için hiçbir sivri bir uca sahip olmadığından Loopwing tüm gürültüleri kaynağında oluşmadan keser.



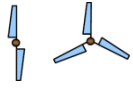







Şekil 1.23. Loopwing rüzgâr türbinlerinin görünümü



Şekil 1.24. Boulder Rüzgâr Enerjisi şirketi tasarımı rüzgâr türbini

Boulder Rüzgâr Enerjisi şirketi tasarımında stator için demir kullanmak yerine manyetik alan oluşturmak için bütün jeneratöre mıknatıs kaplı rotor tasarımı dikkat çekmektedir. Bu da 3MW türbin için %40 ağırlık azalması ve daha az operasyonel maliyet getirecektir. Aynı zamanda daha verimli ve daha düşük rüzgâr hızlarında çalışabilmektedirler. Sabit mıknatıslı rotor tasarımı, düşük işletim hızlarında yüksek verim elde edilirken, bir vites kutusu ile ilişkili mekanik kayıplar ortadan kaldırır.

Çizelge 1.10. Kullanılmakta olan rüzgâr türbinleri ve bunların kullanım yerleri(Vardar, 2005)

Rotor Tipi		Cp (Güç katsayısı)	Rpm	Tork	Kullanım Yeri
Pervane Tipi		0,42	Yüksek	Alçak	Elektrik üretimi
Darrieus Tipi		0,40	Yüksek	Alçak	Elektrik üretimi
Cyclogiro Tipi		0,45	Orta	Orta	Elektrik üretimi veya su pompalama
Çok kanatlı Tip		0,35	Orta	Orta	Elektrik üretimi veya su pompalama
Yelken kanat Tipi		0,35	Orta	Orta	Elektrik üretimi veya su pompalama
Fan tipi		0,30	Alçak	Alçak	Su pompalama
Savonius Tipi		0,15	Alçak	Yüksek	Su pompalama
Hollanda Tipi		0,17	Alçak	Yüksek	Su pompalama veya değirmen

1.3. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye’de elektrik sektörünün özelleştirme süreci Mart 2001’de 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile başlamıştır. Bu kanunun amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevre ile uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanması olarak açıklanmıştır. Kanun kapsamında enerji piyasası düzenleme ve kontrolü için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu oluşturulmuştur. 18.05.2005 tarih ve 25919

sayılı resmi gazetede yayınlanarak, 5346 sayılı yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun, yürürlüğe girmiştir (Durak ve Özer, 2008).

Türkiye'de rüzgâr enerjisinden elektrik elde etme amacına yönelik çalışmalar 1990'lı yılların hemen başında başlanmışsa da, daha çok teorik çalışmalar seviyesinde kalmıştır. Bununla beraber esas gelişme 1996 yılından itibaren başlamıştır. Ülkemizde birçok özel sektör firması konu ile ilgili yatırımlara başlamıştır ve ülkemizin büyük bir kısmında rüzgâr ölçümleri yapılmıştır. Ülkemizde ilk rüzgâr elektrik santrali, 1997 yılında devreye girmiştir (TMMOB, 2010).

Türkiye'de şebekeye bağlı ilk rüzgâr elektrik santrali 1998 yılında kurulmuştur. Bu yıldan sonra oldukça yavaş bir şekilde gelişen rüzgâr enerjisi, 2005 yılında 5346 sayılı kanunun yürürlüğe girmesinden sonra artmaya başlamıştır. Şekil 3.23'de Türkiye'de rüzgâr enerjisi kurulu güç gelişimi verilmiştir (Altuntaşoğlu, 2009).

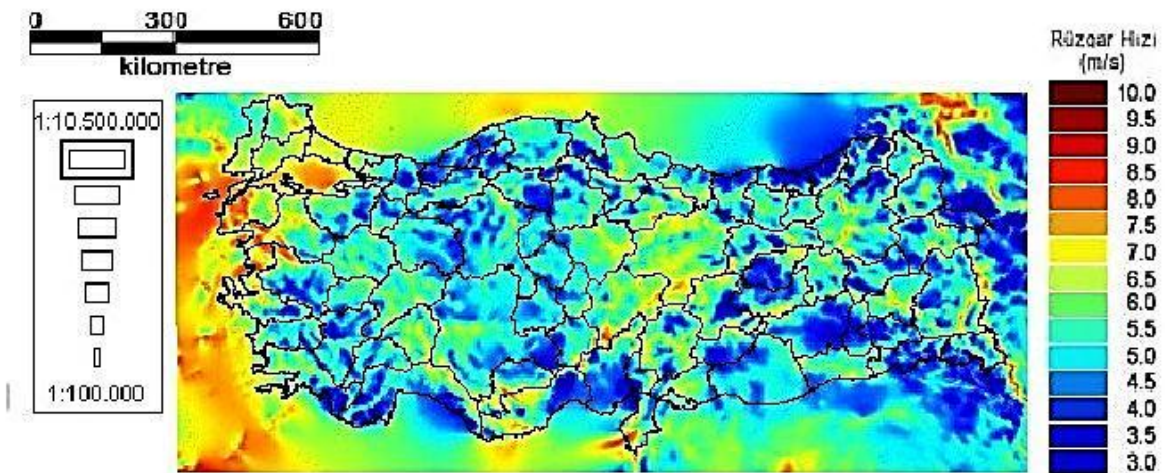
2006 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından geliştirilen Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile Türkiye rüzgâr enerjisi sektörünün gelişimine katkı sağlayacak bir meteorolojik araç sunulması hedeflenmiştir. REPA, Türkiye coğrafyasının tüm kara ve deniz alanlarını kapsayacak şekilde üç ayrı nümerik hava analiz modelinin uzun yıllara ait gerçekleşmiş meteorolojik parametrelerle geriye doğru çalıştırılması sonucu üretilmiş 200 m x 200 m çözünürlüğe sahip ileri tekniklerle gerçekleştirilmiş bir rüzgâr atlasıdır. REPA oluşturulurken Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı rüzgâr haritalama tekniği kullanılmıştır. Şekil 3.24'de görüldüğü gibi Türkiye'de 100 m yükseklik için yıllık ortalama rüzgâr hızı haritası verilmiştir. 100 m yükselti REPA'da görüleceği gibi; Marmara Denizi çevresinde, Çanakkale Boğazı kesimlerinde, Ege Denizi kıyıları ve Antakya yakınlarında yıllık ortalama rüzgâr hızlarının 8 m/s'lik hız değerinin üzerinde seyrettiği görülmektedir. Bu rüzgâr atlasında görülebileceği gibi; Türkiye'nin en iyi rüzgâr kaynağı alanları; kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde yada açık alanların yakınında bulunmaktadır (Durak ve Özer, 2008; TMMOB, 2010).

Çizelge 1.11. Türkiye rüzgâr enerji potansiyeli (Malkoç, 2009)

Rüzgâr kaynak derecesi	Rüzgâr sınıfı	50 m'de Rüzgâr Gücü(W/m ²)	50 m'de Rüzgâr hızı(m/s)	Toplam alan km ²	Rüzgârlı arazi yüzdesi	Toplam kurulu güç MW
Orta	3	300-400	6.5-7.0	16.781,39	2,27	83.906,96
İyi	4	400-500	7.0-7.5	5.351,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500-600	7.5-8.0	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600-800	8.0-9.0	1.079,93	0,15	5.399,92
Sıra dışı	7	>800	>9.0	39,17	0,01	195,84
Toplam				26.351,28	3,57	131.756,40

Rüzgâr potansiyeli değerlendirilirken rüzgâr hızının 7-7,5 m/s'den fazla olan yerler seçilmelidir. Bu hızı yakalayabilmek için seçilen türbinlerin yerden ne kadar yüksek olması gerektiği tespit edilmeli ve bu kıstaslara projelendirilmelidir.

50 metreden sonra Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesinin kıyı kesimlerinde rüzgâr hızı yükselmektedir. Bu koşullar da 50 metreyi asan rüzgâr türbinlerinden oluşan projeler ekonomiktir. Gelişen teknoloji sayesinde yenilenen rüzgâr türbinleri, Türkiye'nin birçok bölgesinde 100 m ve üzeri yüksekliklerde artan rüzgâr hızlarıyla daha verimli ve ekonomik çalışabilir. Bu nedenle rüzgâr enerjisi sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kesinlikle değerlendirilmelidir.



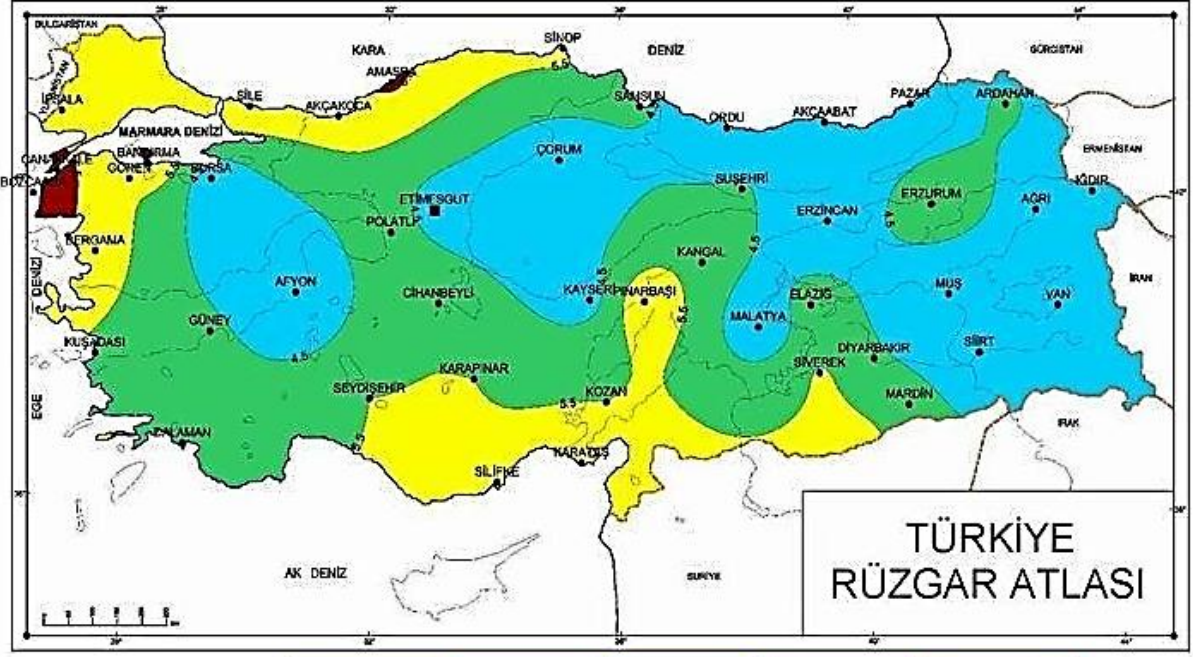
Şekil 1.25. Türkiye'de 50 m yükseklikte rüzgâr hızı(EİE, 2010)

2008 yılı başı itibariyle rüzgâr kurulu gücümüz 354,7 MW düzeyine ulaşmıştır. Bu rakam rüzgâr enerjisi potansiyelinin %1'inden daha azdır. Enerji Bakanlığı'nın rakamlarına göre yenilenebilir Enerji Kanununun yürürlüğe girmesinden sonra 3363 MW kurulu gücünde 93 adet yeni rüzgâr projesine lisans verilmiştir. Bu projelerden yaklaşık 1.100 MW kurulu gücünde santrallerin yapımı devam etmektedir. Lisansı verilen projeler yaklaşık %33 oranında inşasına başlanmaktadır. Bu durumun temelinde Avrupalı ABD'li üreticilerinin yükselen türbin talebi karşısında siparişler için iki yıl sonrasına gün vermeleridir.

Aşırı talep artışıyla yükselen fiyatlar, bekleyen projeler ve işletmeye alınması gereken rüzgâr potansiyeli atıl beklemektedir. Rüzgâr enerjisi, nükleer enerji gibi yoğun teknoloji gerektirmediği için rüzgâr teknolojilerinde yerli mühendisliğin geliştirilmesi ve içselleştirilen teknoloji ile orta vadede geniş rüzgâr kurulu gücü verimli bir şekilde arttırılmalıdır.

Coğrafik pozisyona bağlı olarak Türkiye'nin çeşitli hava alanlarında farklı değerlerde rüzgâr enerjisi potansiyeli mevcuttur. Özellikle Marmara ve Ege Bölgesinde ve Karadeniz kıyılarında yaz ayları dışında yoğun bir rüzgâr potansiyeli vardır. Karadeniz bölgesinin, rüzgâr enerjisi potansiyeli olmasına rağmen, coğrafik yapısı ve dağların uzanış şekli engel teşkil etmektedir.

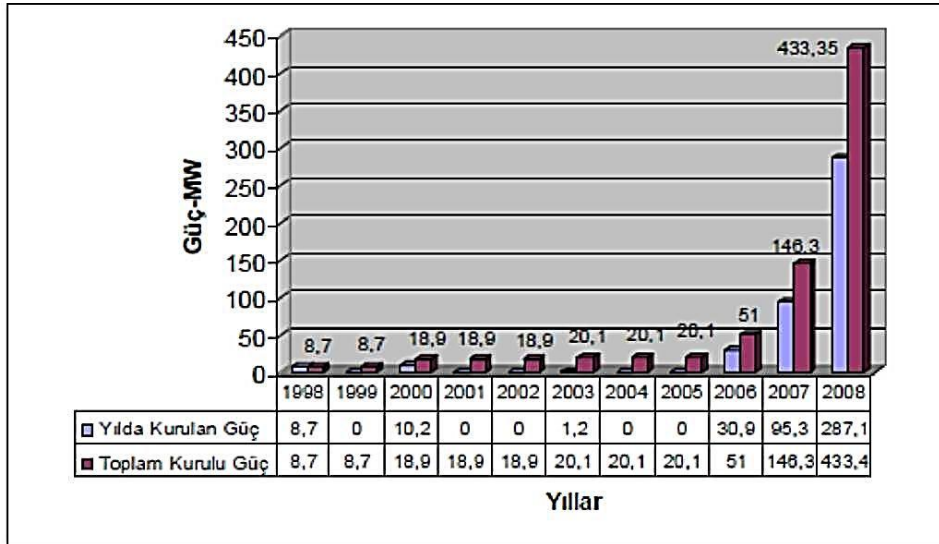
Rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından en cazip bölgeler Marmara denizi bölgesi, Akdeniz kıyıları, Ege denizi kıyıları ve Anadolu'nun bazı karasal kesimleridir. Literatürdeki en büyük hız değerleri Bandırma'da 5,1-5,2 m/s, Bozcaada'da 6,3-7 m/s, Karabiga ve Karaburun'da 6,4 m/s, Nurdağı'nda 7,1 m/s, Şenköy'de 7,4 m/s olarak ölçülmüştür. Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyeli olan alanların %89,3 ünde rüzgâr enerji yoğunluğu 40 W/m^2 'nin altındanken, %10,7 lik kısımda bu oran 40 W/m^2 'nin üzerindedir.



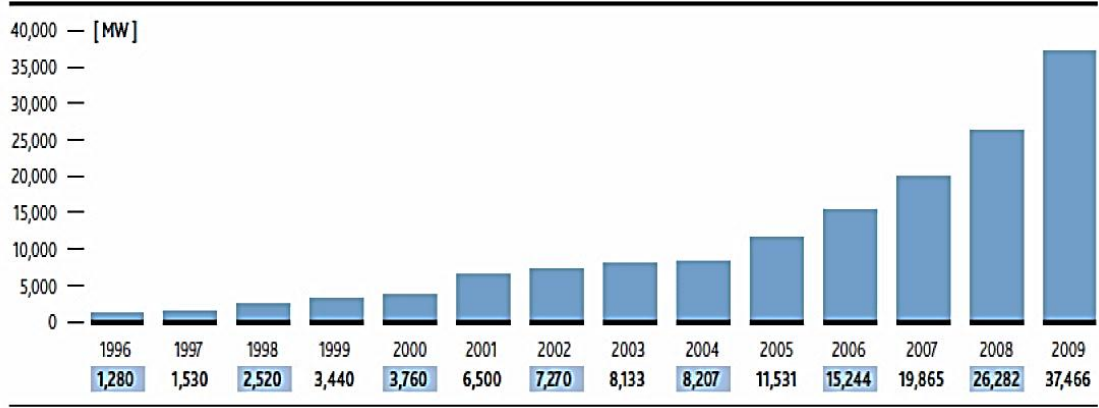
	Dark Blue	Red	Yellow	Green	Light Blue
U (m/s)	> 7.5	6.5 – 7.5	5.5 – 6.5	4.5 – 5.5	< 4.5
P (W/m ²)	> 500	300 - 500	200 - 300	100 - 200	< 100

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

Şekil 1.26. Türkiye’de rüzgâr güç yoğunluğu(MGM, 2013)



Şekil 1.27. Türkiye rüzgâr enerjisi kurulu güç gelişimi (Altuntaşoğlu, 2009)



Şekil 1.28. Yıllık global rüzgâr enerjisi kurulu gücü artışı (EWEA, 2010)

Çizelge 1.12. Dünya ve ülkeler bakımından rüzgâr enerjisi kurulu gücü (EWEA, 2010)

Ülkeler	2008 sonu (MW)	Toplam 2009 sonu (MW)
ABD	25237	35159
Almanya	23903	25777
Çin	12104	25104
İspanya	16689	19149
Hindistan	9655	10926
İtalya	3736	4850
Fransa	3404	4492
İngiltere	2974	4051
Portekiz	2862	3535
Danimarka	3163	3465
Kanada	2369	3319
Hollanda	2225	2229
Japonya	1880	2056
Avustralya	1306	1712
İsveç	1048	1560
İrlanda	1027	1260
Yunanistan	985	1087
Avusturya	995	995
Türkiye	458	801
Polonya	544	725

Ülkeler	2008 sonu (MW)	Toplam 2009 sonu (MW)
Brezilya	341	606
Belçika	415	563
Yeni Zelanda	325	497
Mısır	365	430
Fas	134	253
Dünya Toplam	120.550	157.899

Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki rüzgâr enerjisi yoğunluğu ortalama W/m^2 cinsinden verilmiştir. Rüzgâr enerjisi açısından verimli sayılan bölgelerdeki enerji yoğunluğunun $250 W/m^2$ 'den yüksek olması gerekmektedir. Türkiye'de bulunan 50 m yükseklikteki yerlerin rüzgâr güç yoğunluğu değerlendirildiğinde Marmara Ege ve Akdeniz bölgelerindeki potansiyeller göze çarpmaktadır.

100 m yükseklikteki rüzgâr güç yoğunluğu alanları daha da artmakta, Karadeniz ve Anadolu'nun bazı kesimlerinde uygun potansiyeller ortaya çıkmaktadır. Bu potansiyellerin değerlendirilebilmesinde için türbin yükseklikleri doğru olarak seçilmeli ve konumlandırılmalıdır. Türkiye'de rüzgâr türbini ilk defa Çeşme'de turistik bir tesisin elektrik ihtiyacı için 1985 yılında Vestas tarafından kurulmuştur (55 kW). 1997 yılına kadar rüzgâr enerjisi konusunda herhangi bir yatırım söz konusu değilken; 1998 yılında Alaçatı'da her biri 500 kW elektrik üreten Enercon E-40 türbinleri işletmeye alınmıştır. Üçüncü rüzgâr çiftliği ise 2000 yılında Bozcaada'da kurulan her biri 600 kW kapasiteli 17 türbinden oluşmaktadır. 2006 yılında Bandırma'da 30 MW'lık rüzgâr çiftliği işletmeye alınmıştır(Güneş, 2009).

Türkiye 2007 yılı elektrik enerjisi üretimi 191.558,1 GWh civarında gerçekleşmiştir. Gerçeklesen bu üretim düzeyinde birincil enerji kaynaklarını %81 oranında fosil kaynaklar, %19 oranında yenilenebilir kaynaklar oluşturmuştur. Bu dengede rüzgâr enerjisinin payı %1 civarında sınırlı kalmıştır.

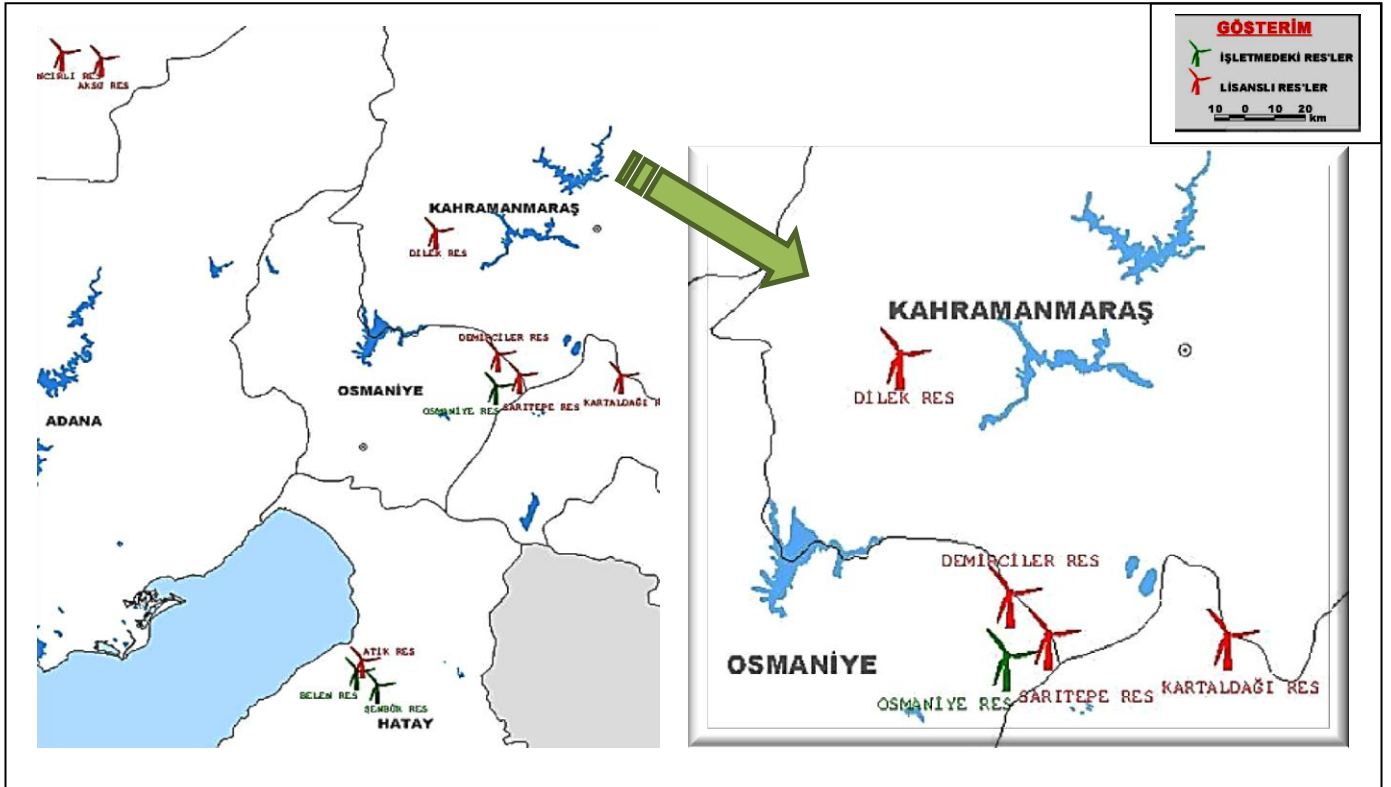
Yakıt maliyeti olamayan rüzgâr enerjisi enerji arz güvenliği açısından yakıt fiyatı risklerini ortadan kaldırmıştır. Bu nedenle politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı azaltan yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır. Türkiye'de rüzgâr farklı hızlarda esmektedir(Güneş, 2009).

Çizelge 1.13. Türkiye’de rüzgâr enerjisi için mümkün hedefler (Günday ve Küçükseller, 2008)

Y IL	Kurulu ve Hedeflenen Kapasite (MW)
2000	400
2003	1 400
2005	5 000
2010	10 000
2020	20 000



Şekil 1.29. Türkiye’de yenilenebilir enerji üretim yerleri



Şekil 1.30. Kahramanmaraş ili ve il çevresindeki RES haritası (YEGM, 2013)

Çizelge 1.14. Enerji üretim metotlarının maliyet - ömür ilişkisi (Çağlar ve Canbaz, 2002)

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
Doğalgaz	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

Çizelge 1.15. Çeşitli ülkelerin tahmini rüzgâr enerjisi potansiyelleri (Ural, 1994).

ÜLKE	TAHMİNİ KAYNAK
Finlandiya	7 TWh/yıl
İngiltere	114 TWh/yıl
Almanya	24 TWh/yıl
Yunanistan	44 TWh/yıl
Fransa	85 TWh/yıl
Rusya	2000 TWh/yıl

Çizelge 1.16. Dünya fosil yakıt rezervleri (Türkyılmaz, 2007)

Bölge	Petrol (Milyar Ton)	Doğal Gaz (Trilyon m ³)	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8,3	7,6	120,2	137,6
Orta ve Güney Amerika	13,7	7,2	7,8	14
Avrupa	2,6	7,9	47,5	77,9
Eski SSCB Ülkeleri	9,1	56,1	97,4	132,6
Bölge	Petrol (Milyar Ton)	Doğal Gaz (Trilyon m ³)	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Ortadoğu	93,3	56,9	1,7	-
Afrika	10	11,2	55,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,9	12,3	189,3	103
Toplam Dünya	142,9	155,1	519,1	465,4

Çizelge 1.17. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri(Türkyılmaz, 2007)

Bölge	Petrol	Doğal Gaz	Kömür
Kuzey Amerika	14	10	234
Orta ve Güney Amerika	39	72	381
Avrupa	8	16	167
Eski SSCB Ülkeleri	21	79	500
Ortadoğu	87	100	500
Afrika	27	90	246
Asya ve Okyanusya	16	44	147
Toplam Dünya	40	62	216

Çizelge 1.18. Rüzgârların sınıflandırılması (Özgür, 2006)

Sürekli Rüzgarlar				Süreksiz Rüzgarlar	
Alize Rüzgarlar	Kontralize Rüzgarlar	Meltem Rüzgarları		Föhn Rüzgarları	Antisiklon Rüzgarlar
		Kara ve Deniz Meltemleri	Dağ ve Vadi Meltemleri		

Çizelge 1.19. Türkiye'nin birincil enerji üretimi ve talebi (TMMOB, 2010)

Kaynaklar	Kömür	Odun + bitki	Petrol	Doğal gaz	Yenilenebilir	Toplam
Birincil enerji üretimi	16674	4813	2268	931	4506	29192
Üretim içindeki payı (%)	57,1	16,5	7,8	3,2	15,4	100,0
Birincil enerji talebi	31391	4813	31784	33807	4506	106273
Talep içindeki payı (%)	29,5	4,5	29,9	31,8	4,3	100,0
Üretimin talebi karşılama oranı (%)	53,1	100,0	7,1	2,8	100,0	27,5

Çizelge 1.20. Genel enerji sektörel talebi (bin TEP)(ETKB(b), 2013)

YILLAR	SANAYİ (rafineri talebi dahildir))	KONUT	ULAŞTIRMA	TARIM	ENERJİ DIŞI	TOP. NİHAİ EN. TALEBİ	ÇEVİRİM SEKTÖRÜ	TOP. BİRİNC. EN. TALEBİ
2012	49.270	32.650	22.370	4.775	2.640	111.705	31.156	142.861
2013	52.056	34.500	23.700	4.988	2.706	117.950	32.940	150.890
2014	54.766	36.450	25.100	5.210	2.774	124.300	35.911	160.211
2015	57.633	38.507	26.541	5.443	2.844	130.968	39.186	170.154
2016	60.991	40.400	28.000	5.690	2.915	137.996	40.459	178.455
2017	64.842	42.150	29.480	5.943	2.988	145.403	42.520	187.923
2018	69.144	43.900	31.000	6.203	3.063	153.310	45.601	198.911
2019	73.795	45.700	32.500	6.475	3.140	161.610	48.626	210.236
2020	78.732	47.549	34.039	6.753	3.219	170.292	52.132	222.424

Çizelge 1.21. Türkiye elektrik enerjisi brüt - net üretimi, ithalat, ihracat ve iletim kayıplarının yıllar itibariyle gelişimi (GWh (ETKB(b), 2013)

YILLAR	BRÜT ÜRETİM	İÇ İHTİYAÇ	NET ÜRETİM	İTHALAT	BRÜT TÜKETİM	İLETİM KAYBI	İHRACAT
2007	191.558,1	8.218,4	183.339,7	864,3	184.204,0	4.523,0	2.422,2
2008	198.418,0	8.656,1	189.761,9	789,4	190.551,3	4.388,4	1.122,2
2009	194.812,9	8.193,6	186.619,3	812,0	187.431,3	3.973,4	1.545,8
2010	211.207,7	8.161,6	203.046,1	1.143,8	204.189,9	5.690,5	1.917,6
2011	229.395,1	11.837,4	217.557,7	4.555,8	222.113,5	4.189,3	3.644,6

Toplam enerji ithalatının sürekli olarak yıllar bazında arttığı aynı şekilde toplam ithalat içinde enerji ithalatını miktarının da arttığı ve 2009 yılı için toplam ithalat içinde enerji ithalatının payı %21,2'lik bir değerde olduğu görülmüştür. Ayrıca, enerji ithalatı içinde en büyük payı, ham petrol ve doğal gaz almaktadır.

Çizelge 1.22. Birincil enerji kaynakları tüketimi (orijinal birimler) (ETKB(b), 2013)

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ (Bin Ton)	LİNYİT (Bin Ton)	ASFALTİT (Bin Ton)	PETROL (Bin Ton)	DOĞAL GAZ (10 ⁶ m ³)	HİDROLİK ve JEOTERMAL ELEKTRİK (GWh)	JEOTERMAL ISI (Bin Tep)	RÜZGÂR (G Wh)	GÜNEŞ (Bin Tep)	ODUN (Bin Ton)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (Bin Ton)	ELEKTRİK İTHALATI (GWh)	ELEKTRİK İHRACATI (GWh)	BİYOYAKIT (Bin Ton)	TOPLAM (Bin Tep)
2001	11.176	61.010	31	29.661	16.339	24.100	687	62	287	16.263	5.790	4.579	-433		75.402
2002	13.830	52.039	5	29.776	17.694	33.789	730	48	318	15.614	5.609	3.588	-435		78.331
2003	17.535	46.051	336	30.669	21.374	35.419	784	61	350	14.991	5.439	1.158	-588		83.826
2004	18.904	44.823	722	31.729	22.446	46.177	811	58	375	14.393	5.278	464	-1.144		87.818
2005	19.421	56.571	738	31.062	27.171	39.655	926	59	385	13.819	5.127	636	-1.798		91.074
2006	22.798	60.184	602	31.395	31.187	44.338	898	127	403	13.411	4.984	573	-2.236	2	99.642
2007	25.388	72.317	632	32.143	36.682	36.007	914	355	420	12.932	4.850	864	-2.422	12	107.627
2008	22.720	75.264	630	30.877	36.928	33.432	1.011	847	420	12.264	4.883	789	-1.122	20	106.421
2009	23.698	75.641	1.010	29.845	35.800	36.395	1.250	1.495	429	11.766	4.862	812	-1.546	10	106.138

Çizelge 1.23. Birincil enerji kaynakları üretimi (Orijinal Birimler) (ETKB(b), 2013)

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ (Bin Ton)	LİNYİT (Bin Ton)	ASFALTİT (Bin Ton)	PETROL (Bin Ton)	DOĞAL GAZ (10 ⁶ m ³)	HİDROLİK ve JEOTERMAL	JEOTERMAL ISI (Bin Tep)	RÜZGÂR (GWh)	GÜNEŞ (Bin Tep)	O DUN (Bin Ton)	HAYVAN VE BİT Kİ ART. (Bin Ton)	BİYOYAKIT (Bin Ton)	TOPLAM (Bin Tep)
2001	2.494	59.572	31	2.551	312	24.100	687	33	287	16.263	5.790		24.576
2002	2.319	51.660	5	2.442	378	33.789	730	62	318	15.614	5.609		24.282
2003	2.059	46.168	336	2.375	561	35.419	784	48	350	14.991	5.439		23.783
2004	1.946	43.709	722	2.276	708	46.177	811	61	375	14.393	5.278		24.332
2005	2.170	57.708	888	2.281	897	39.655	926	58	385	13.819	5.127		24.549
2006	2.319	61.484	452	2.176	907	44.338	898	127	403	13.411	4.984	2	26.580
2007	2.462	72.121	782	2.134	893	36.007	914	355	420	12.932	4.850	14	27.455
2008	2.601	76.171	630	2.160	1.017	33.432	1.011	847	420	12.264	4.883	20	29.209
2009	2.863	75.577	1.058	2.237	685	36.395	1.250	1.495	429	11.766	4.862	10	30.328
2010	2.524	69.698	1.177	2.544	682	52.464	1.391	2.916	432	11.306	4.960	14	32.493

Çizelge 1.24. Birincil Enerji Kaynakları Rezervi (2011 Yılı) (ETKB(b), 2013)

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Taşkömürü (Milyon Ton)	526	425	368,4	1.319,4

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Linyit (Milyon Ton)				
Elbistan	4.381,3			4.381,3
Diğer	6.401	826,767	143,141	7.370,9
Toplam	10.782,3	826,767	143,141	11.752,2

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Asfaltit (Milyon Ton)	40,7	29,5	7,3	77,5

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Bitümler (Milyon Ton)	1.641,4			1.641,4

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Hidrolik				
GWh/Yıl	129.388			129.388
MW/Yıl	36.603			36.603

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Ham Petrol (Milyon Ton)	43,13			43,1

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Doğalgaz (Milyar m ³)	6,2			6,2

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Nükleer Kaynaklar (Ton)				
Tabii Uranyum	9.129			9129
Toryum	380.000			380.000

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Jeotermal (MW/Yıl)				
Elektrik	98		512	600
Termal	3.348		28.152	31.500

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Güneş (Milyon Tep)				
Elektrik				
Isı				32,6

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Rüzgâr				
Elektrik (MW)				48.000
Isı				

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Biyokütle (Milyon TEP)				
Elektrik				2,6
Isı				6,0

Çizelge 1.25. Birincil Enerji Kaynakları Üretimi (Orijinal Birimler) (ETKB(b), 2013)

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ (Bin Ton)	LİNYİT (Bin Ton)	ASFALT (Bin Ton)	PETROL (Bin Ton)	DOĞALGAZ (10 ⁶ m ³)	HİDROLİK (GWh)	JEOTERMAL		RÜZGÂR (GWh)	GÜNEŞ (Bin Tep)	NÜKLEER (GWh)	ODUN (Bin Ton)	HAYVAN VE BİT. ARTIK. (Bin Ton)	TOPLAM (Bin Tep)
							ELEKTRİK (GWh)	ISI (Bin Tep)						
2012	9.000	119.233	700	1.294	243	65.651	384	1.734	5.587	536	-	10.853	4.287	42.828
2013	9.000	130.382	700	1.204	247	71.770	384	1.949	5.938	558	-	10.648	4.194	44.888
2014	9.000	140.657	700	1.105	245	77.590	384	2.186	6.287	580	-	10.447	4.108	49.452
2015	9.000	151.659	700	1.018	234	82.095	384	2.446	6.636	605	-	10.250	4.026	54.124
2016	9.000	162.701	700	943	234	87.102	384	2.732	6.985	650	-	10.250	3.952	56.244
2017	9.000	174.559	700	871	233	92.415	384	3.047	7.334	697	-	10.250	3.878	58.634
2018	9.000	191.189	700	809	237	97.916	384	3.394	7.684	748	-	10.250	3.813	61.599
2019	9.000	202.334	700	718	242	103.86	384	3.775	8.033	803	9.671	10.250	3.752	63.774
2020	9.000	209.733	700	660	252	109.52	384	4.195	8.382	862	19.34	10.250	3.696	65.704

1.3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle İlgili Çalışmalar

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından hazırlanan 28001 sayılı “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik” 21 Temmuz 2011 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu Yönetmelik, elektrik piyasasında; yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulacaklara ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulanlara uygulanacak usul ve esaslar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ve mikro kojenerasyon tesisi kuran tüzel kişilerin ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisinin sisteme verilmesi halinde uygulanacak teknik ve mali usul ve esasları kapsar.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 27707 sayılı “Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Lisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği” 22 Eylül 2010 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu Yönetmeliğin amacı, 20.02.2001 tarihli ve 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu çerçevesinde, rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak üzere yapılmış lisans başvurularından aynı bölge ve/veya aynı trafo merkezi için birden fazla başvurunun bulunması durumunda, sisteme bağlanacak olan/olanları belirlemek için yapılacak yarışmanın ve yarışma sonunda belirlenen Rüzgâr Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Santrali Katkı Payının ödenmesine ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir. 6094 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” 29.12.2010 tarihinde kabul edilerek 08 Ocak 2011 tarihli ve 27809 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu Kanun ile yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminde fiyat destek mekanizması 2015 yılına kadar uzatılmış olup, ayrıca yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde yerli ekipman kullanımında ilave teşvikler yer almaktadır. Bu Kanun ile 5346 sayılı Kanun kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik üretimi yatırımcılarına sabit fiyat alım garantisinin yanı sıra hâlihazırda bütün kaynaklar için 5-5,5 Euro cent/kWh olan fiyat garantisi, son değişiklikle her bir kaynak için yeniden düzenlenmiştir.

Kanun ile ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretecek santrallerin kurulumunda kullanılan ekipmanların yurt içinde imal edilmesini teşvik etmek amacıyla

elektrik bedeline ilaveten ek ödemeler öngörülmüştür. Halihazırda 2011 yılı sonu olan ve Bakanlar Kurulu Kararı ile 2013 yılı sonu olarak değiştirilen santrallerin Kanun kapsamında sayılmaları için dikkate alınması gereken son tarih bu değişiklik ile 31.12.2015 olarak yeniden düzenlenmiştir. Buna göre 18 Mayıs 2005 tarihinden 31 Aralık 2015 tarihine kadar işletmeye girmiş ya da girecek yenilenebilir enerji santralleri için Kanun ekinde yer alan fiyatlar 10 yıl süreyle uygulanacaktır.

6094 sayılı Kanun ile Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Üretim Tesislerinde kullanılan mekanik/elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal edilmesi halinde; I sayılı cetveldeki fiyatlara Kanuna ekli II sayılı cetvelde belirtilen ve 0.4 ile 3.5 USD Cent/kWh arasında değişen fiyatlar ilave edilecek ve bu desteğin 5 yıl süreyle uygulanacağı belirtilmektedir. Söz konusu Kanun kapsamında çıkarılan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik” 19 Haziran 2011 tarih ve 27969 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Kanununun 4’üncü maddesi gereği, 31/12/2013 tarihine kadar iletim sistemine bağlanacak güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin bağlanabileceği trafo merkezleri ve kapasiteleri, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı internet sitesinde ve Resmi Gazete’de ilan edilmiştir. Bu Kanun kapsamında hazırlanan “Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik” 19 Haziran 2011 tarih ve 27969 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir(ETKB(b), 2013).

1.3.1.1. Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi(RİTM)

Bu merkezin amacı: Rüzgâr enerjisi santrallerinin (RES) Türkiye Elektrik Sistemi’ne geniş ölçekli entegrasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, bir rüzgâr gücü izleme ve tahmin sistemi geliştirilecek ve bu sistem Türkiye geneline yaygınlaştırılacaktır.

Teknik İçeriği ve Bileşenleri : Türkiye’de rüzgâr kaynağından büyük ölçekli elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve rüzgâr santrallerinin elektrik sistemine entegrasyonu için gerekli önlemlerin saptanması ve gerçekleştirilmesi amacıyla tasarlanan projede, izleme ve tahmin sistemi temel olarak beş alt sistemden oluşmaktadır(RİTM, 2013).

RES Ölçüm Alt Sistemi

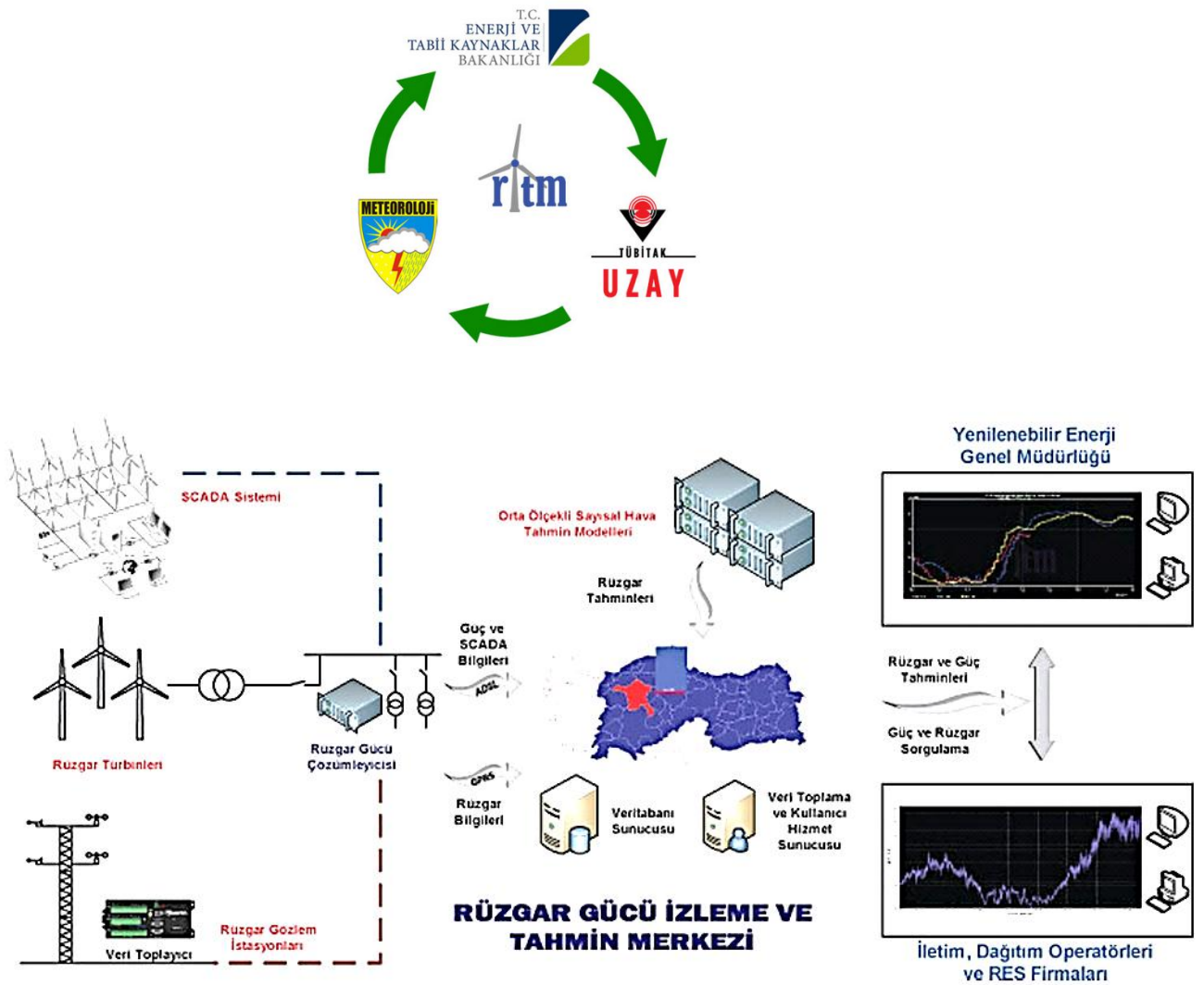
Rüzgâr Tahmin Alt Sistemi

Rüzgâr’dan Üretilen Olan Elektriksel Gücü Tahmin Alt Sistemi

İzleme ve Tahmin Merkezi Alt Sistemi

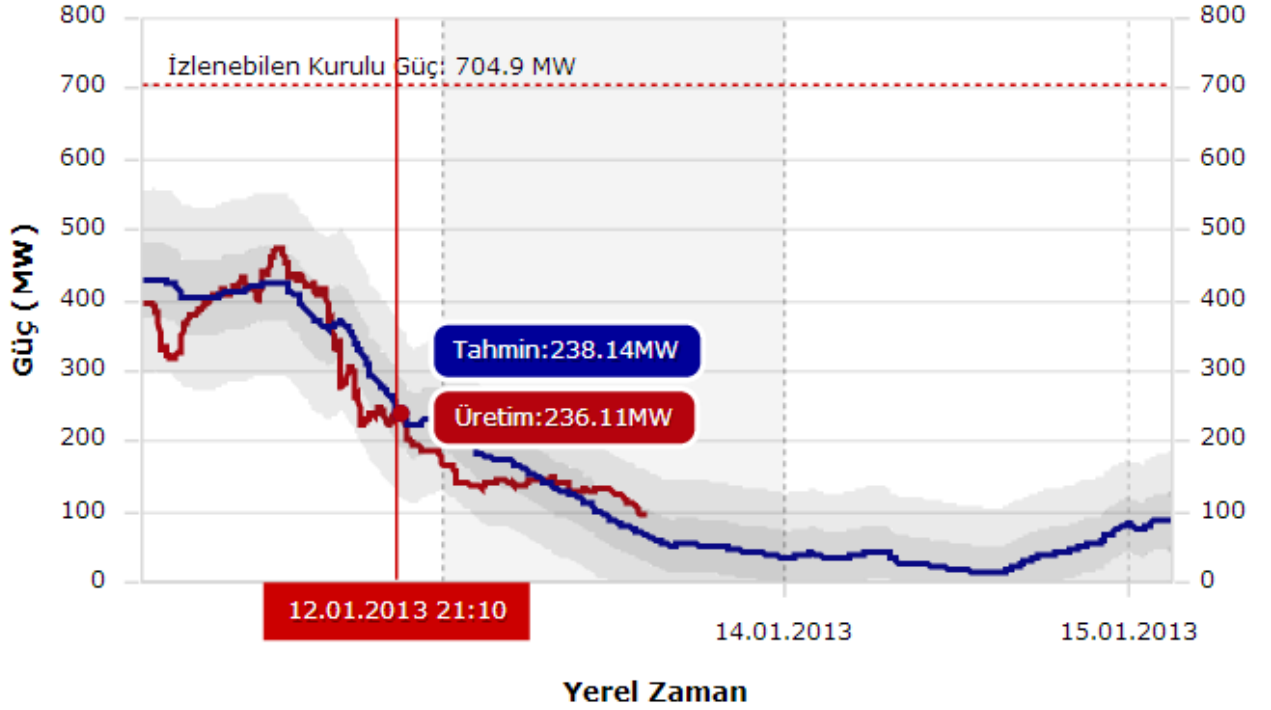
Kullanıcı Alt Sistemi

Sistemin genel işleyişi şu şekilde özetlenebilir: Mevcut RES'lerden meteorolojik veriler (hız, yön, sıcaklık vb.) rüzgâr ölçüm istasyonları aracılığı ile, türbin 'status' durumları ise SCADA'lar aracılığıyla alınmaktadır. Ayrıca, santrallerin transformatör merkezlerine tesis edilen "Monitörler" ile güç, akım, gerilim vb. veriler anlık olarak Rüzgâr Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezi'ne iletilmektedir. Bu verilere ek olarak orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli çıktıları kullanılarak her bir RES için 48 saatlik rüzgârdan üretilecek elektriksel güç tahminleri oluşturulmaktadır.



Şekil 1.31. Rüzgâr gücü izleme ve tahmin merkezi çalışma prensibi

TÜRKİYE Genelİ İzlenebilen RES'lerin Toplam Güç Üretimi ve Tahmini



Şekil 1.32. Türkiye geneli izlenebilen RES'lerin toplam güç üretimi ve tahmini

1.3.1.2. Milres Projesi

Ülkemizde gelişen elektromekanik, imalat ve inşaat sanayileri uluslararası pazarlarda yüksek rekabet gücüne sahip oldukları halde bu sanayilerin bir çeşit entegrasyonu sayılabilecek rüzgâr türbinleri teknolojisinde tam bir dışa bağımlılık söz konusudur. Üstelik tamamıyla yurtdışından ithalat yoluyla gelen rüzgâr türbinlerinin ülkemiz rüzgâr rejimine ve iklim şartlarına uygunlukları sınırlıdır, verim problemleri ve ciddi işletme zorlukları söz konusudur. Rüzgâr teknolojisindeki bu aşırı dışa bağımlılık önemli bir milli gelir kaybına yol açmaktadır.

2 Kasım 2011 tarihi itibarıyla 662 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile kuruluşuna dair kanunun yürürlükten kaldırılmasıyla "Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü" haline getirilen Elektrik İşleri Etüt İdaresi, ülke olarak halen 2 GW civarında işletmeye alınmış toplam RES kurulu gücümüzün önümüzdeki 10 yılda, Cumhuriyetimizin 100. yılı olan 2023'de, 20 GW olacağını öngörmektedir. 20 yıllık dönemde bu rakamın 40 GW olması beklenmektedir. Şu anda orta ve büyük ölçekli (500 kW ve üstü) endüstriyel rüzgâr türbinlerinin maalesef tamamı ithal edilmektedir. MW başına 1.5 milyon Amerikan doları

(USD) piyasa değerinden hesaplırsak 20 yıl içinde rüzgâr türbinleri için yurt dışına akacak milli kaynağın 60 milyar USD civarında olacağı beklenmelidir. Ülkemiz rüzgâr sınıfına uygun, özgün ve ulusal rüzgâr türbin tasarımları geliştirilerek 20 yıl içinde iç pazarın hiç değilse %25'inin yerli üretim olması ve dolayısıyla 15 milyar USD milli kaynağın yurtdışına akmasının önlenmesi hedeflenmelidir.

Bu düşünceyle çeşitli üniversiteler, araştırma kurumları ve özel sektörden firmaların oluşturduğu ülke çapında büyük bir konsorsiyum kurularak "Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi - MİLRES" başlıklı bir Ar-Ge ve uygulama projesi hazırlanmıştır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı için yapılacak olan bu TÜBİTAK projesi için beş yürütücü kurum ortaklığı kurulmuştur:

- Sabancı Üniversitesi,
- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ/TAI),
- İstanbul Ulaşım A.Ş.,
- TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü ve
- İstanbul Teknik Üniversitesi.

Bu beş yürütücü kurumun yönetiminde çalışan GYTE, YTÜ ve KOÜ (Kocaeli Üniversitesi) gibi başka üniversiteler ile imalatçı ve mühendislik firmaları bulunmaktadır. Endüstriyel ölçekli büyük rüzgâr türbinlerinin geliştirilmesi ve yerli imkânlarla imalatının gerçekleştirilmesi için başlatılacak proje ile ilk aşamada 500 kWlık rüzgâr türbinlerinin geliştirilmesi ve bu prototipler deneme amaçlı kullanılarak tasarımları olgunlaştırıldıktan sonra 2.5 MW'lık türbin prototipinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Şekil 3'de MİLRES projesi ve sonrası hedefler tasvir edilmiştir.

Projede geliştirilecek tasarımlar özgün olup bu tasarımlardan uygulamaya uygun olanlar bilimsel analizler ve prototip testleri ile belirlenecektir. Denemeleri başarıyla geçen tasarımlar 2.5 MW'lık türbin sistemlerine aktarılacaktır. Proje kapsamında hazır alınacak bazı alt sistemler (frenler, hidrolik ekipman, asansör, trafo, kaplin vb) dışında kule dâhil bütün ana bileşenler (kanatlar, göbek, dişli kutusu, generatör, evirici, makine dairesi vb) kurulan ekibin çalışmalarıyla geliştirilecek olup tamamen özgün tasarımlar olacaktır. Ortaya çıkacak tasarımlar olabildiğince yerli imkânlarla seri imalata geçirilebilecektir(Engin, 2011).

TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü MİLRES projesine önemli katkılarda bulunacak beş yürütücü ortak kuruluşun birisidir. Aşağıda MİLRES projesinin ana iş paketleri (İP) ve

sorumlu kurumlar listelenmiştir:

- İP (1.0) Mekanik Sistemler: Sabancı Üniversitesi (GYTE, YTÜ, İTÜ ve KOÜ'nden araştırmacılarla)
- İP (2.0) Kanat Grubu: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ/TAI)
- İP (3.0) Elektronik Sistemler: İstanbul Ulaşım A.Ş. (İTÜ Kontrol Mühendisliği ile birlikte)
- İP (4.0) Elektrik Sistemler: TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü (YTÜ ve İTÜ'den araştırmacılarla)
- İP (5.0) Rüzgâr Analizi ve Yapı Sistemleri: İstanbul Teknik Üniversitesi (YTÜ'den araştırmacılarla)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Rüzgâr enerjisinin kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. İlk olarak, Asya Medeniyetlerinden Çin, Tibet, Afganistan ve İran'da kullanıldığı bilinmektedir. Rüzgâr tribünlerinin kullanımına ait ilk yazılı bilgiler Büyük İskender tarafından M.Ö. 200-300 yıllarında basit yapıdaki yatay-eksenli rüzgâr türbinler hakkındadır.

Düşey eksenli ilk rüzgâr türbinleri, M.Ö. 500-900 yıllarında Farslılar tarafından dizayn edilip, buğday öğütme ve su pompalama amaçlı kullanılmıştır. Bu rüzgâr türbinler merkezi düşey bir şafta bağlı, ağaç ve kamış dallarından yapılan düşey yelkenlerden oluşmuş bir yapıya sahiptir (Golding, 1955).

Rüzgâr gücü kullanımı Asya'dan Avrupa'ya 10 yüzyıl civarında geçmiştir. Bu geçişin ilk belirtileri olarak 11. ve 12 yüzyılda İngiltere de rüzgâr değirmenlerinin kullanıldığı bilinmektedir.

Mesela, 1190'lı yıllarda Alman haclıları rüzgâr değirmenlerini Suriye'ye getirmiştir. Dolayısıyla Orta çağ döneminde rüzgâr enerjisinin Avrupa da kullanıldığını görmekteyiz. Hala günümüzde birçok ülkede çiftçiler tarafından kullanılan rüzgâr değirmenleri daha çok kuyulardan su çekmek amaçlı kullanılmaktadır (Bergey, 1997).

Endüstri devrimi ile birlikte, 18 yüzyılda buhar makinelerinin ortaya çıkması sonucunda dünya, enerji ihtiyacı temini için termodinamik işlemlere dayanan makinelerden yararlanmaya başlamıştır.

Özellikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımı ile beraber, bu makineler daha avantajlı bir duruma gelmiştir. İstenildiği anda enerji üretimi olanağı sağlamasından dolayı, rüzgâr enerjisinden daha popüler hale gelmişlerdir. Bu nedenle 19. yüzyılda ve 20. yüzyılın ortalarına doğru rüzgâr enerjisinin önemi azalmıştır. Sadece, Amerika, Rusya ve Avustralya gibi nüfusu geniş bir alana yayılmış olan ülkelerde rüzgâr enerjisi çiftçiler tarafından su çekmek için kullanılmıştır (Golding, 1955).

2.1. Rüzgârın Enerji Üretimi İçin İlk Kullanımı

1981 yılında Paul la Cour ve Danimarka Askov Folk High School bilim adamlarının oluşturduğu bir grup rüzgârdan elektrik enerjisi üreten ilk tribünü yaptılar. Danimarka hükümetinin desteğiyle de test amaçlı bir rüzgâr santrali kurdular (Bergey, 1997).

1918 yılına gelindiğinde Danimarka'da rüzgârdan elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan 120 adet RT bulunmaktaydı. Güçleri 20-30 KW arasında değişen bu rüzgâr türbinlerin toplu güçleri 3 MW civarındaydı. Bu değer bugünkü tek bir rüzgâr türbininin bile gücü altındadır.

İkinci Dünya Savaşı yıllarında rüzgâr enerjisinde büyük gelişmeler oldu. Danimarkalı bir şirket olan F.L. Smith 2 ve 3 kanatlı rüzgâr tribünleri inşa etmiştir. Bunların en büyüğü 1941 yılında Vermont'da inşa edilen 1.25 mega watt Smith- Putnam makinesidir. Yatay eksenli, 2 kanatlı ve 175 foot rotor çapına sahiptir.



Şekil 2.1. Smith- Putnam rüzgâr türbin makinesi

Bu zamana kadar inşa edilen türbinler doğru akım ürettiyordu. 1951 yılından sonra doğru akım jeneratörlerinin yerini alternatif enerji üreten 35 kW asenkron makineler almaya başladı. 1960 yılların başında, 200 kW gücünde Gedser türbine Juul tarafından SEAS elektrik şirketi için Gedser 'de yapılmıştır. Bu türbin 3 kanatlı, elektromanyetik yaw (yönerge) sistemini ve asenkron jeneratör kullanmaktaydı. Stall (durdurma) kontrol sistemine göre

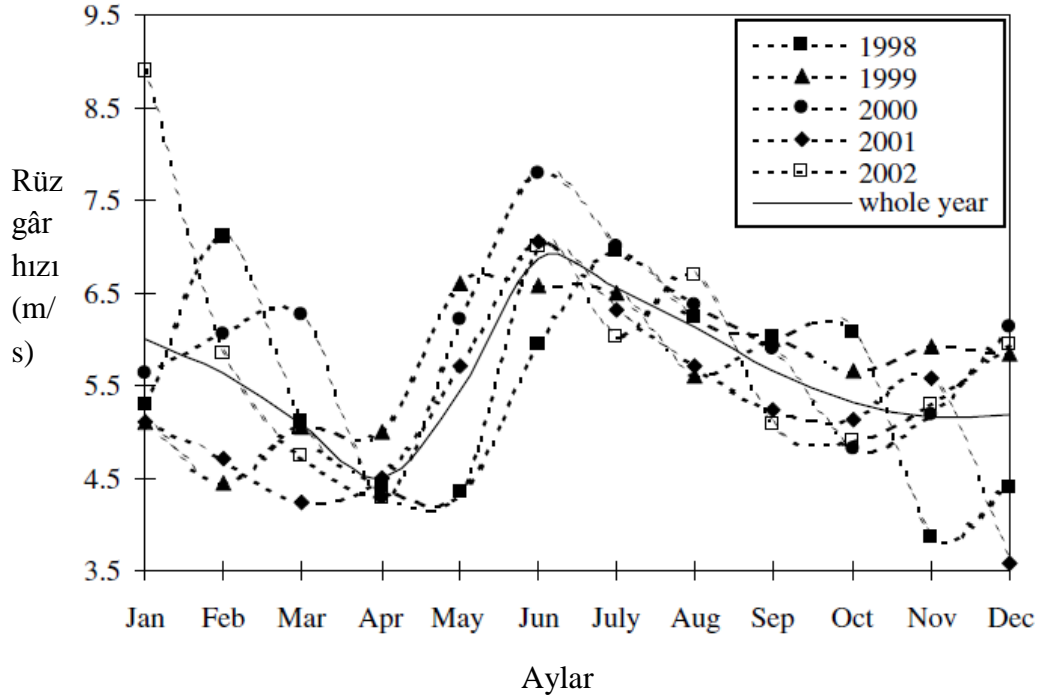
alışan Gedser türbinin de ayrıca, aerodinamik üç fren bulunmaktaydı. Bu sistem günümüzde kullanılan türbinlerde de bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Gedser türbini

2.2. Maden-Elazığ İçin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi

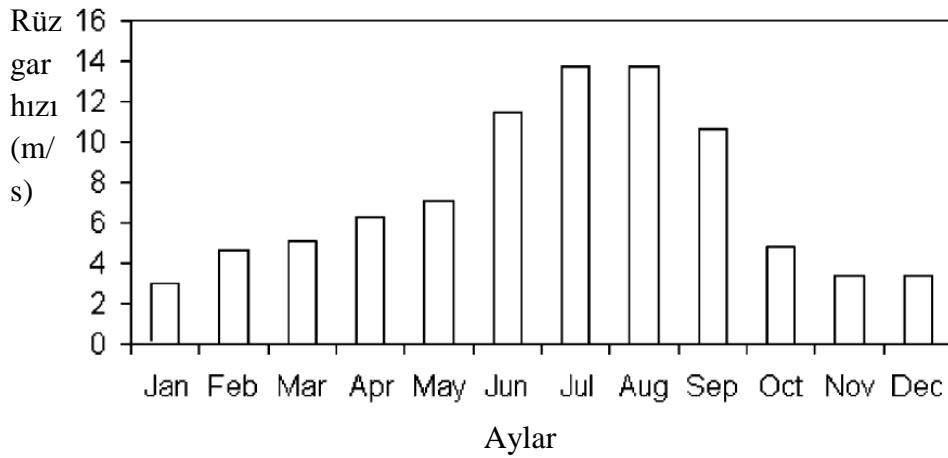
Weibull yoğunluk fonksiyonu Maden-Elazığ' nin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için kullanılıştır. . Uzun vadeli veri kaynağı, saatlik ortalama rüzgâr verileri beş yıl (1998-2002) kabul ve analiz edilmiştir. Bu verilere dayanarak, bu Maden-Elazığ meteorolojik istasyon için Şekil ve ölçek parametrelerin sayısal değerleri geniş bir yelpazede değişiklikler tespit edilmiştir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı ve Maden-Elazığ güç yoğunluğu anlamına sırasıyla, 5.63 m / s ve 244,65 W/m² olarak bulunmuştur. Sonuçlar Maden-Elazığ rüzgâr enerjisi potansiyeli için kullanılabilir bir bölge olduğunu göstermektedir(Akpınar ve Akpınar, 2003).



Şekil 2.3. Maden-Elâzığ için aylık rüzgâr hızı değişimi, 1998–2002(Akpınar ve Akpınar, 2003)

2.3. Nurdağı-Gaziantep İçin Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma

Bu çalışma Nurdağı'nda rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi bir çalışmadır. Çalışma yapılan yer Türkiye'nin güneyinde yer alır. EİE tarafından daha önce Nurdağı'nda 10 m yükseklikte 7.3 m / s ortalama rüzgâr hızı olduğunu gösterir ve en yüksek değeri rüzgâr hızı gözlenen 23.3 olduğunu m / s dir. Sistemin güç yoğunluğu ortalama 222 W/m² olarak bulunmuştur.



Şekil 2.4. Nurdağı / Gaziantep ilçesi aylık rüzgâr hızı değişimi(Karsli ve Geçit, 2002)

Türkiye'de rüzgâr enerjisi kullanımı çok sınırlıdır. Türkiye'nin değişik bölgelerinde rüzgâr santralleri kurmaya çalışan birçok şirket olmasına rağmen, bu alanda çalışmaları tatminkâr olduğu söylenemez. Nurdağ için rüzgâr verileri EİE İdaresi tarafından alınmıştır. Arazi genel itibarıyla düzdür. Rüzgâr verilerinin değerlendirilmesi ile ilçesinde 10 m' de 7.3 m / s ve ortalama rüzgâr hızı olduğunu göstermektedir.

Rüzgâr hızı gözlenen en yüksek değer 23.3 m / sn 'dir ve güç yoğunluğu 222 W/m² olarak bulunmuştur. Yukarıda belirtildiği gibi yer verilen ölçülen rüzgâr hızı 10 m alınmasına rağmen, türbin hub yüksekliği günümüzde genellikle bir 600 kW ve daha büyük rüzgâr jeneratörleri için 40 m veya daha yüksektir. Bu nedenle, rüzgâr jeneratörleri kolay ve ekonomik olarak monte edilebilir geniş bölgeler vardır. Sonuç da bu bölge, yatırımı teşvik eder ve gelecek vaat eden bir alanı temsil ettiğini düşündürmektedir (Karsli ve Geçit, 2002).

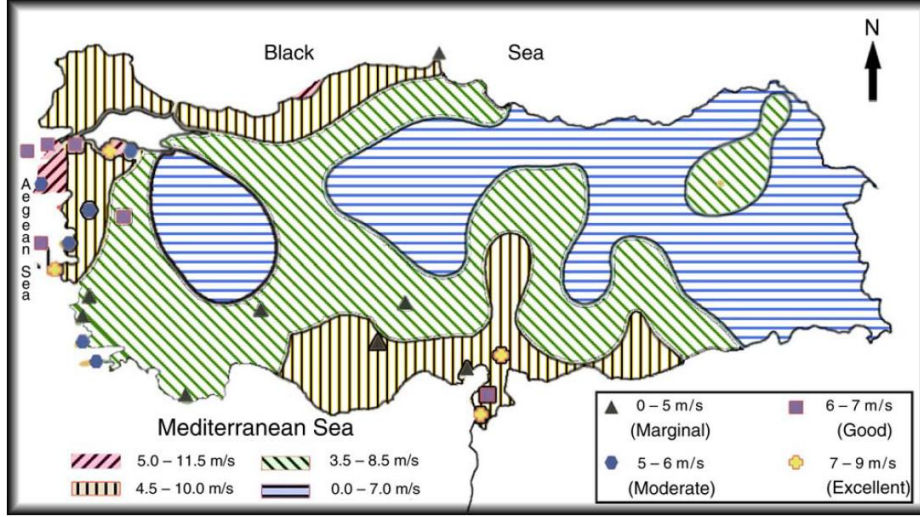
2.4. Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Doğu Akdeniz bölgesinde rüzgâr enerjisi potansiyeli Meteoroloji Servisi tarafından 1992-2001 döneminde yedi istasyon alınan saatlik rüzgâr verileri kullanılarak araştırılmıştır. Bu çalışma, Türkiye'nin doğu Akdeniz kıyısında, rüzgâr enerjisi kaynakları elektrik üretimi için uygun olduğunu göstermektedir.

Ortalama güç yoğunluğu zemin seviyesinden 25m bu bölgenin birçok alanda 500W/m² olarak tespit edilmiştir. Rüzgâr enerjisi üretimi açısından en umut verici yerleri belirlenmiştir. Sürekli rüzgâr hızı ve güç potansiyeli konturları uygun rüzgâr çiftliklerinin yerle karar özel sektör elektrik geliştiriciler yol açabilir (Sahin ve ark., 2004).

2.5. Kütahya İli İçin Rüzgâr Verileri ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Analizi

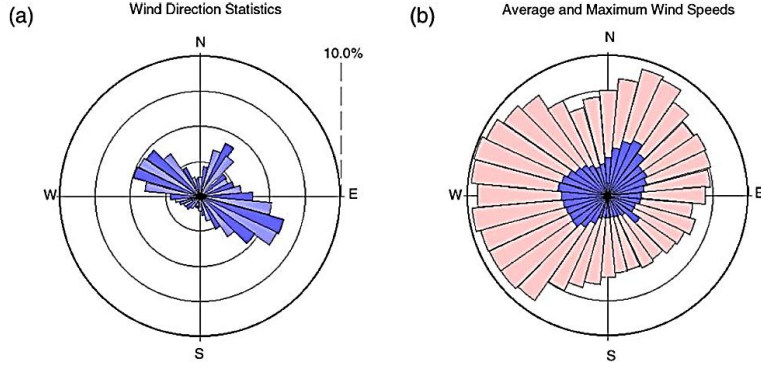
Kuzeybatı ve kuzey bölgelerinde ve Ege Denizi kıyılarında yakınlarında bulunan bu noktada potansiyel rüzgâr enerjisi verimli olup olmayacağı araştırılmıştır. Rüzgâr hızları bu alanların çoğunda 3 m / s'dir. Bu bölgeler, rüzgâr enerjisi üretimi için son derece verimli yerler vardır. Bu çalışmada, 20 ay süreyle Kütahya ölçülen ortalama rüzgâr hızı ve enerji yoğunluğu mevcut teknoloji rüzgâr enerjisi ve bu ölçümlerden ekonomik elektrik üretimi sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak her türlü kıstas teknolojik gelişmelere uygun ve uzun vadede değerlendirilmelidir(Kose, ve ark., 2003).



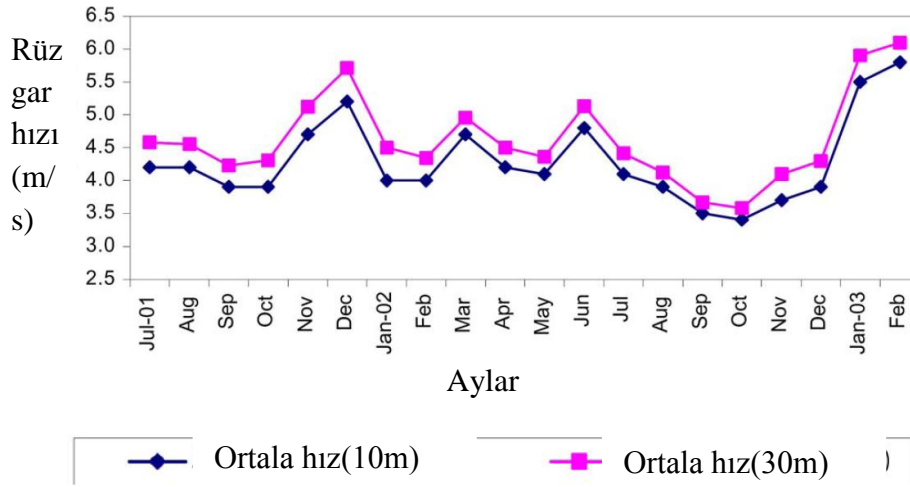
Şekil 2.5. Türkiye’ de 10 m yüksekliğinde rüzgâr hızı değişimi(Dundar ve ark., 2002)



Şekil 2.6. Kampüste ana direğin inşası

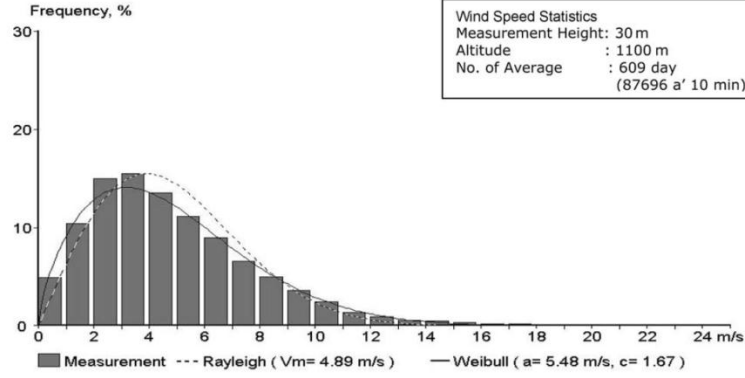


Şekil 2.7. Kütahya ili için (a) ana rüzgâr yönleri, (b) ortalama rüzgâr hızları



Şekil 2.8. Uzun dönem aylık ortalama rüzgâr hızları dağılımı

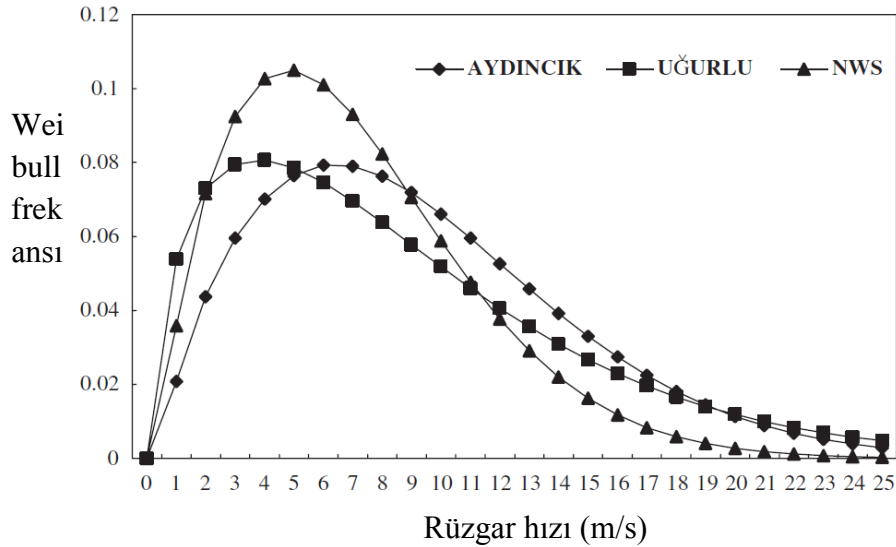
Dünyanın farklı yerler için çok sayıda çalışma Weibull iki parametrelili dağılımlar rüzgâr hızı dağılımı için mükemmel bir uyum verdiklerini göstermiştir. Bu nedenle, Weibull dağılımı ve onun özel durumda, Rayleigh dağılımı, rüzgâr verilerini incelemek için kullanılmıştır. Değişken en küçük kareler yöntemi gözlenen frekans dağılımı uygulanmış ve Weibull dağılımı sonucu ortalama rüzgâr hızı 5.48 m/s olarak ölçülmüştür(Kose, ve ark., 2003).



Şekil 2.9. Frekans Histogramı ve Rayleigh, Weibull Dağılımı(Kose, ve ark., 2003)

2.6. Gökçeada'daki Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de dört farklı noktada toplanan rüzgâr verileri kullanarak Kuzey Ege'de Gökçeada adası rüzgâr enerjisi potansiyelinin tahmin etmektir. Rüzgâr verileri en az 3 yıllık bir süre boyunca toplanan Uğurlu ve Çınaraltı istasyonlarından elde edilmiştir. Bu bağlamda, rüzgâr verileri zeminden yüksekliği 10 ve 30 m toplanan veriler rüzgâr verileri rüzgâr hızı dağılım eğrileri bulmak için Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonları tarafından analiz edilmiştir. Rüzgâr hızı dağılım fonksiyonunun iki Weibull parametreleri, şekil parametresi k (boyutsuz) ve ölçek parametresi c (m / s) rüzgâr profilleri bulmak için aylık ve yıllık bazda geliştirilen Fortran programı ile hesaplanmıştır (Eskina ve ark., 2006).



Şekil 2.10. Aydınçık, Uğurlu ve Ulusal Hava istasyonları yıllık Weibull dağılımı(Eskina ve ark., 2006)

2.7. Gevaş-Gürpınar Bölgesinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Saptanması

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi tesisinin kurulmasından önce o bölgenin rüzgâr özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu araştırmada, Gevaş- Gürpınar bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin bulunması amaçlanmıştır. Elde edilen ortalama rüzgâr hızı ve bölgenin ortalama rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanmış ve yatırım için elverişli olup olmadığı ortaya konmuştur. Gevaş- Gürpınar bölgesinde kurulan rüzgâr istasyonunda 10 metredeki rüzgâr hızları 30 s aralıklarla ölçülmüştür. Anemometre ile ölçülen değerler datalogger a istatistiksel değerlendirme yapılarak 10 ar dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Elde edilen veriler aylık olarak bilgisayara kaydedilip değerlendirilmiştir. Bu çalışmada NRG Symphonie 9300 tip data logger ile anemometre kullanılmıştır. Sonuç olarak, bu verilerden yola çıkarak her ay için h=10 m de için ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunlukları hesaplanmıştır. Bütün veriler dikkate alınarak h= 50 m ve h=70 m için toplamda ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunlukları tahmin edilmiştir. h= 10 m, h= 50 ve h=70 m için ortalama rüzgâr hızları sırasıyla 3.28 m/s, 4.59 m/s ve 4.8 m/s bulunmuştur. Ölçülen güç yoğunlukları ise sırasıyla 50.8 W/m², 138,3 W/m² ve 157.8 W/m² bulunmuştur. Bu değerler ışığında, Türkiye genelinde ölçülen rüzgâr parametrelerinin ortalamasının çok üstünde olduğu görülmüştür(Ete, 2010).

Çizelge 2.1. Kaba tahmin için h= 10 m, h= 50 m, h= 70 m elde edilen rüzgâr hızları ve pervanenin süpürme alanına bağlı elde edilebilecek güç değerleri

	h= 10 m de	h= 50 m de	h= 70 m de
z= 0.03 m	Rüzgar hızı 3.2783695 m/s	Rüzgar hızı 4.5902605 m/s	Rüzgar hızı 4.7984525 m/s
1 metre yarı çaplı pervane (A ~ 3,14 m ²)	Güç ~ 160 W	Güç ~ 435 W	Güç ~ 496 W
3 metre yarı çaplı pervane (A ~ 28.3 m ²)	Güç ~ 1.4 kW	Güç ~ 3.9 kW	Güç ~ 4.5 kW
10 metre yarı çaplı pervane(A~314 m ²)	-	Güç ~ 43.4 kW	Güç ~ 49.6 kW
25 metre yarı çaplı pervane(A~1963m ²)	-	-	Güç ~ 0.3 MW

2.8. Rüzgâr Enerjisi Üzerine Yapılmış Diğer Çalışmalar

Öztopal ve ark. (1998) Türkiye’de bulunan 42 rüzgâr istasyonunun coğrafik konumları ve deniz seviyesinden yükseklikleri belirlenerek bu istasyonlardaki rüzgâr hızlarının ölçümünün yerden 5 m (m) ve 50 m yüksekliğinde ölçülerek, ortalama rüzgâr hızları ve bu hızlara karşılık gelen enerji yoğunlukları hesaplanmıştır. Buna göre 5 m yükseklikte, ortalama en hızlı rüzgârın estiği bölge 6,2 m/s ile Bozcaada’dır. Bu hıza karşılık gelen enerji yoğunluğu ortalama 317 W/m² dir. 5 m’de rüzgârın en yavaş estiği bölge ise 1,2 m/s ile Köyceğiz’dir. Bu hıza karşılık gelen enerji yoğunluğu ortalama 5 W/m² dir. Ayrıca, potansiyel rüzgâr enerji bölgelerinin Türkiye’nin Ege Denizi kıyıları boyunca kuzeybatı ve kuzey bölgelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Durak ve Şen (2002), birlikte yaptıkları çalışmada; Türkiye’nin 10 yerinde bulunan kurulu rüzgâr santrallerinde ne kadarlık güç üretildiğine değinilmiş olup Ege Bölgesi’nde bulunan Akhisar, rüzgâr enerji üretimin açısından değerlendirilmiştir. 1997 Temmuz ayından 1998 sonuna kadar rüzgâr ölçümleri yapılarak birim alana düşen rüzgâr gücünün W/m² cinsinden değerleri hesaplanmıştır. Buna göre ortalama en yüksek rüzgâr hızı eylül ayında 8,2 m/s olarak tespit edilip bu hızdan 501,15 W/m² güç yoğunluğu hesaplanmıştır. Aynı şekilde ortalama en düşük rüzgâr hızı kasım ayında 3,2 m/s olarak tespit edilip bu hızdan 71,98 W/m² güç yoğunluğu hesaplanmıştır. Bölgeye 60 kW gücünde 20 adet rüzgâr türbini kurulmuş, yılda 34906- 46117 MWh arası enerji elde edildiği tespit edilmiştir.

Şahin (2003) tarafından 1993-1997 yılları arasında Türkiye’deki birbirinden farklı karakteristiğe sahip 68 rüzgâr istasyonunda ne kadar 10, 12, 15 ve 20 m/s rüzgâr hızını geçen değerler olduğu ölçülmüş, bunların yerleşim yerleri için risk durumları belirlenmiştir. Çalışmaya göre Bozcaada ve Çanakkale’nin bina, köprü ve rüzgâr erezyonu açısından yüksek risk altında olmasına karşın rüzgâr üretimi için güvenli olduğu değerlendirilmiş; ayrıca Giresun, Rize, Bolu, Çankırı, Sivas, Ağrı, Muş, Aydın, Urfa, Hakkâri, Adana ve Antakya’nın bina, köprü ve rüzgâr erezyonu açısından risk altında olmadığı belirlenmiştir.

Hepbaşı ve Özgener (2004), Ekim 2003 sonu itibariyle ülkemizdeki rüzgâr enerjisindeki gelişmeler araştırılmıştır. 2002 yılında Dünya üzerinde rüzgâr santrallerinin toplam gücü 32037 MW olduğu görülmüştür. 2002 yılının sonunda rüzgâr gücünün Dünya’da kurulu güce oranı %0,4’e ulaşmıştır. Ulusal Akademik Bilgi Merkezi verilerine göre rüzgâr enerjisi ile ilgili 1991-2002 yılları arasında 103’ü yüksek lisans, 9’u doktora olmak üzere

toplam 112 çalışma yapılmıştır. 45 değişik istasyondan veriler toplanıp Türkiye'nin Rüzgâr Atlası çıkarılmıştır. Çalışmanın özeti olarak;

- Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgeleri rüzgâr enerjisi üretiminde gelecek vaat etmektedir.
- Türkiye'nin teorik rüzgâr gücü 88000 MW'dır.
- 1998-2001 yılları arasında rüzgârdan 104 GWh enerji üretilmiştir.
- Enerji Bakanlığı, 2020 yılı sonunda 78 GW kurulu rüzgâr gücünü hedeflemektedir.

Özerdem ve Türkeli (2005), İzmir Teknoloji Enstitü Kampüsündeki rüzgâr enerjisinin içeriği tahmin edilmeye çalışılmıştır. 16 ay boyunca yer yüzeyinden 10 m ile 30 m yüksekliklerinde rüzgâr ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu ölçümlere göre rüzgâr hızının 10 m yükseklikte 7,03 m/s, 30 m yükseklikte ise 8,14 m/s olduğu ölçülmüştür. Mikro yerleştirme için kurulu olan 600-1500 kW'lık rüzgâr türbinleri yıllık enerji üretimi hesaplarında kullanılmıştır. Mikro yerleştirme yapılmış 600 ve 1500 kW'lık rüzgâr türbinlerinin yıllık enerji üretimi 100,3 ve 122,4 GWh olarak hesaplanmıştır. Buna göre Ege Denizi'ne kıyısı olan Batı Anadolu Bölgesi, gelecek için rüzgâr enerjisi üretmek için gelecek vaat etmektedir.

Güler (2009) Türkiye'nin kurulu elektrik güç kapasitesi ile elektrik enerji üretimi araştırılıp Türkiye'nin rüzgâr enerjisi durumu değerlendirilmiştir. 2005 yılı sonunda Türkiye'nin Kurulu gücü 38820 MW'dır. Türkiye Rüzgâr Atlas'ına göre 50 m yükseklikte rüzgâr hızı; Marmara'da 6,0-7,0 m/s, Batı Karadeniz'de 4,5-5,0 m/s, Kuzeybatı Ege Kıyılarında 7,0-8,5 m/s olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de 2005 yılı sonunda rüzgâr enerjisinin tüm üretilen enerjiye oranı %0,035'tir. Dünya'da kurulu rüzgâr gücü ise 58982 MW'dır. 2000-2005 yılları arasında Türkiye'de üretilen enerjideki doğalgazın % 40,8, hidroelektriğin %25,2, linyitin %21,3, fueloilin %6,3, kömürün %5,3 ve diğerlerinin %1,1 payı bulunmaktadır. Türkiye'de 2005 yılında kurulu rüzgâr enerjisinin toplam rüzgâr enerjisi potansiyeline oranı %0,22'dir. Lisans alma aşamasında olan projeler devreye girdiğinde rüzgâr enerjisinin, toplam rüzgâr enerjisi potansiyeline oranı %14,27 olacağı saptanmıştır.

Erdogdu (2008) yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli, doğa dostu ve sürdürülebilir olduğu vurgulanmıştır. Türkiye'nin 2006 yılı içerisinde doğalgazdan ürettiği enerji 72700 GWh olup bu enerjinin tüm üretilen enerjiye oranı %44,74'tür. Bunu sırasıyla 40800 GWh ve %25,11 oranla hidroelektrik enerjisi, 40700 GWh ve %25,05 oranla kömür, 8000 GWh ve %4,92 oranla petrol ve petrol türevleri, 150 GWh ve %0,09 oranla biokütle, 90 GWh ve

%0,06 oranla jeotermal ve 60 GWh ve %0,04 oranla rüzgâr enerjisi takip etmektedir. Bu enerji tiplerinin maliyetlerine bakıldığında 18,9 sent/KWh ile en pahalıya mal olan enerji hidroelektrik olup en ucuza mal olan enerji ise 5,4 sen/KWh ile doğalgazdır. Rüzgâr enerjisinin maliyeti ise 7,8 sent/KWh'dir. Yıllara sari rüzgârdan enerji üretimine bakıldığında 1998 yılında 23263 MWh olan üretim, 2007'de 40755 MWh'e yükselmiştir. Türkiye'nin bölgeleri incelendiğinde rüzgâr enerjisi akısı; Marmara Bölgesi'nde 51,9 W/m², Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 29,3 W/m², Ege Bölgesi'nde 23,5 W/m², Akdeniz Bölgesi'nde 21,4 W/m², Karadeniz Bölgesi'nde 21,3 W/m², Orta Anadolu Bölgesi'nde 20,1 W/m², Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise 13,2 W/m² olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Türkiye'nin ortalama rüzgâr enerji akısı 24,0 W/m² olarak saptanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Dünyada fosil yakıt rezervlerinin azalması ve çevreye olan olumsuz etkileri, araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasına sevk etmiştir (Köse, 2004). Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Özellikle su, güneş ve rüzgâr bunların başında gelmektedir. Rüzgâr enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında giderek daha fazla bir önem kazanmaktadır (Onat ve Ersoz, 2011).

Rüzgâr enerjisi gelecek için önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Uçar ve Balo, 2009). Rüzgâr enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması, bölgelerin rüzgâr potansiyellerinin hassas bir şekilde ölçülmesi ve değerlendirilmesi ile çok yakından ilgilidir (Erdogdu, 2009; Gökçek ve ark., 2007).

Bir bölgenin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi için en az bir yıl süre ile o bölgeye ait rüzgâr değerleri ölçülüp kayıt altına alınmalıdır. Özellikle yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü çok önemli iki parametredir. O bölgeye kurulacak rüzgâr türbini nominal çıkış gücü, ortalama rüzgâr hızının kübik değeri olarak değişmektedir(Şahin, 2008; Özerdem ve Türkeli, 2005)

Ayrıca rüzgâr türbini yüksekliği ve yönü için rüzgâr yönünün doğru bir şekilde belirlenmiş olması gereklidir (Abbes ve Belhadj, 2012). Elde edilen rüzgâr verilerinin değerlendirilmesi WAsP adı verilen ve yaygın olarak kullanılan bir programla yapılmaktadır(WAsP, 2012; Durisic ve Mikulovic, 2012).

Rüzgâr potansiyeli tahmini çalışmaları Türkiye’ de olduğu gibi Dünyada da yaygın bir şekilde yapılmaktadır(Onat ve Ersoz, 2011). Bu çalışmada Kahramanmaraş ilinin rüzgâr enerji potansiyeline katkısı olması bakımından, Üniversite kampüs alanına yerleştirilen bir ölçüm istasyonu sayesinde ölçümler ve analizler yapılmıştır.

Rüzgâr meteorolojik bir olaydır. Atmosfer ve yerküre arasında havanın soğuyup ısınmasından meydana gelir. Havanın bir kütlesi vardır ve rüzgâr şeklinde hareket eden hava bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgâr türbini bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgâr içerisindeki bu kinetik enerji aşağıdaki formülle ifade edilir (Şahin, 2004).

Enerji Bakanlığı özellikle yenilenebilir kaynakları kullanmaya ve enerji üretmeye, özel sektörü şiddetli bir şekilde teşvik etmektedir. Bu kaynaklardan üretilen enerjiyi öncelikli olarak satın alma garantisi verip, farklı fiyat uygulamasına gitmektedir(İmal ve ark., 2012).

Türkiye oldukça önemli rüzgâr enerji potansiyeline sahiptir. Bakanlık düzeyinde çalışmalar yapılmış ve Türkiye'nin rüzgâr enerji haritası çıkarılmıştır(İmal ve ark., 2012). Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından hazırlanan Kahramanmaraş'a ait rüzgâr hızı dağılımı ilerde verilmiştir (YEGM, 2013).

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.1)$$

Burada E rüzgârın kinetik enerjisini, m havanın kütlesini ve v ise ortalama rüzgâr hızını göstermektedir. Rüzgâr türbininden elde edilen ani güç değeri ise aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$P = \frac{1}{2}\rho v^3 \quad (3.2)$$

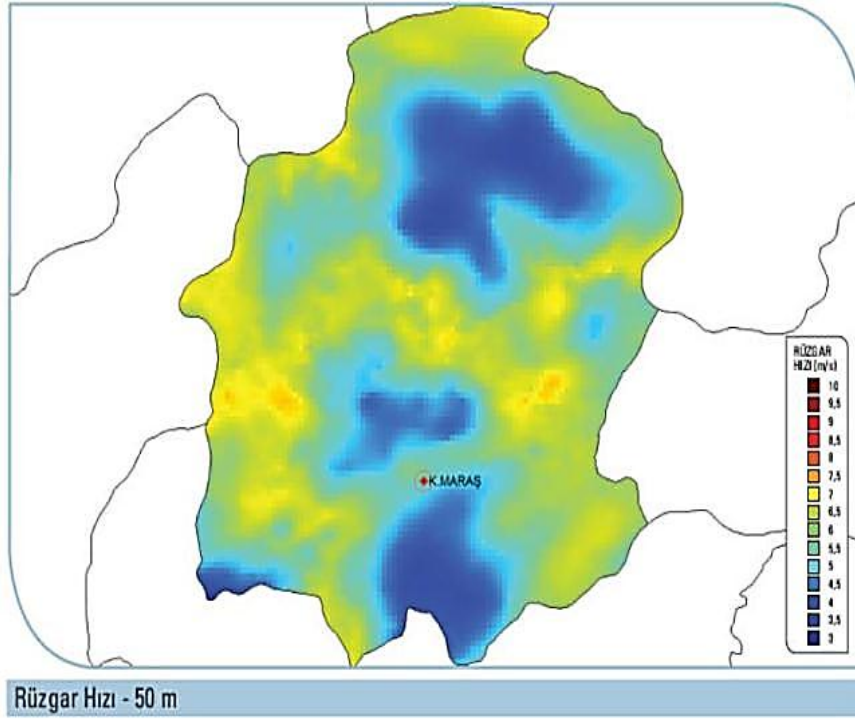
Burada P (KW) rüzgâr türbinin ani çıkış gücünü, V (m/s) rüzgârın ani hızını ve ρ (kg/m^3) ise hava yoğunluğunu göstermektedir. Hava yoğunluğu deniz seviyesinde 1.263 kg/m^3 değerine eşit bir sabite olduğu kabul edilir(Şahin, 2004; Şen, 2000).

Rüzgâr santrallerinde türbinler 3-25 m/s arasındaki ortalama rüzgâr hızı değerlerinde elektrik enerjisi üretirler. Fakat çok düşük ve çok yüksek rüzgâr değerleri olumsuz etkiler yapacağından istenmeyen değerlerdir. Her türbin için belirlenmiş devreye girme ve devreden çıkma rüzgâr hızı değerleri vardır. Genellikle 7 m/s ortalama rüzgâr hızı değeri en ideal elektrik üretme değeri olarak kabul edilirler (Şahin, 2004).

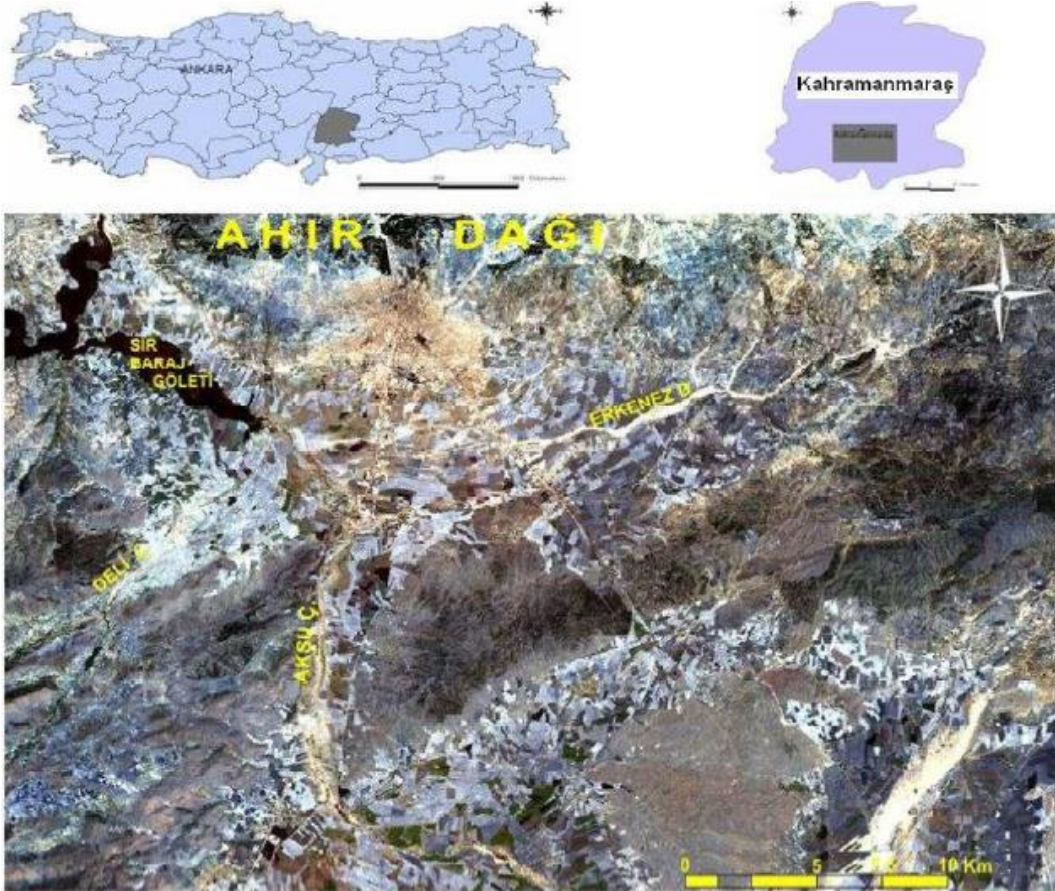
Son yıllarda Dünyada gelişen rüzgâr enerjisi teknolojisi ve kullanımına paralel olarak Türkiye de önemli gelişmeler kat edilmiştir. Türkiye coğrafik yapısı nedeniyle çok önemli yenilenebilir enerji potansiyellerine sahiptir(Onat ve Ersoz, 2011).

Türkiye'nin nüfus artışı ve hızlı bir şekilde büyüyen endüstrisine karşı ihtiyaç duyulan enerji, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaya çalışılmaktadır. Enerji Bakanlığı özellikle yenilenebilir kaynakları kullanmaya ve enerji üretmeye, özel sektörü şiddetli bir şekilde teşvik etmektedir.

Bu kaynaklardan üretilen enerjiyi öncelikli olarak satın alma garantisi verip, farklı fiyat uygulamasına gitmektedir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından hazırlanan Kahramanmaraş'a ait rüzgâr hızı dağılımı da verilmiştir(YEGM, 2013). Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurulu (EPDK) 'nın 31 Mart-2012 verilerine göre Türkiye de kurulmuş olup çalışmakta olan Rüzgâr santrali sayısı 52 adettir. Toplam rüzgâr santrali kurulu gücü ise 1875,7 MW değerindedir(EPDK, 2013).



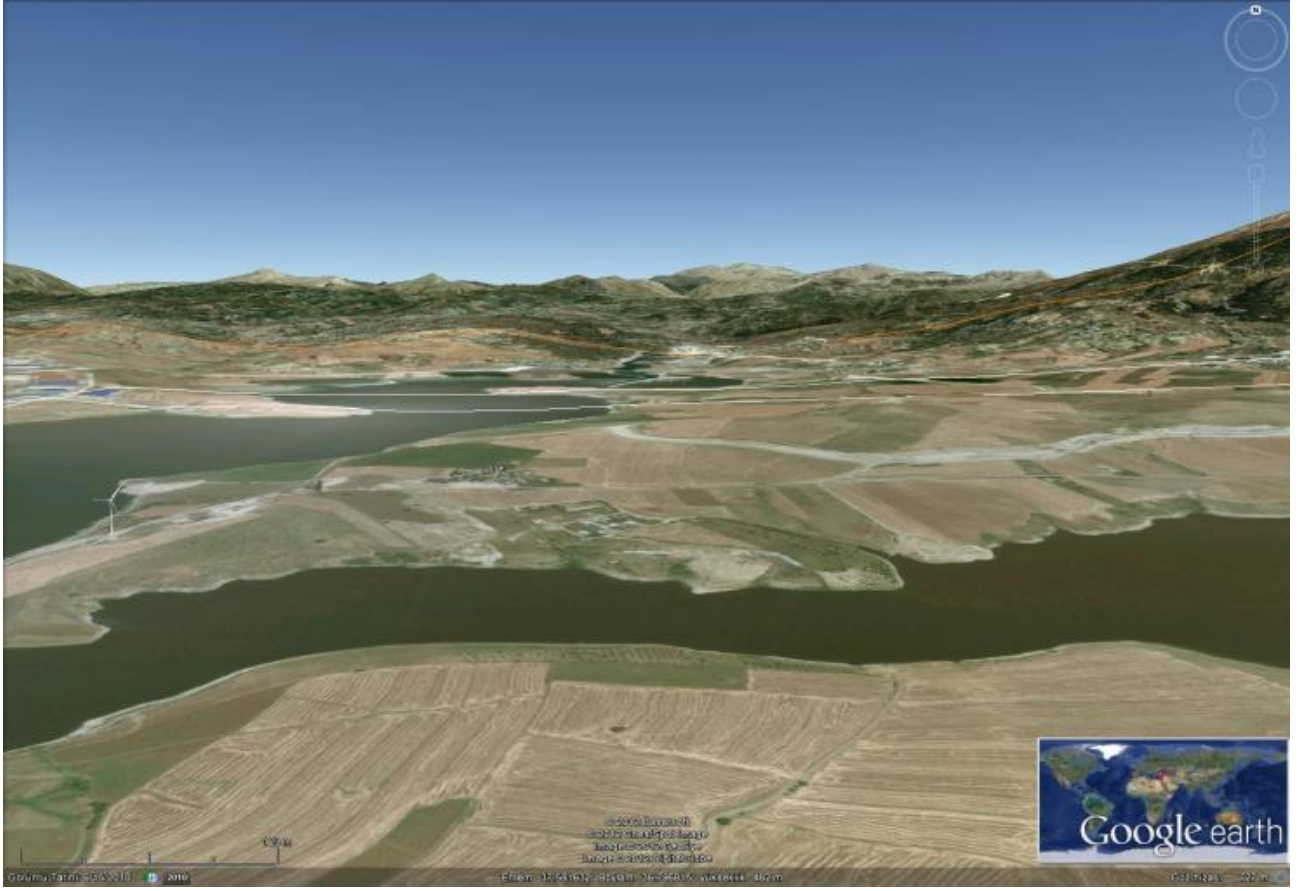
Şekil 3.1. Kahramanmaraş'a ait rüzgâr hızı dağılımı



Şekil 3.2. Kahramanmaraş'ın coğrafi haritası

3.1. Rüzgâr Potansiyeli Ölçüm Bölgesi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüs alanı rüzgâr potansiyeli ölçüm alanı olarak seçilmiştir. Toplam kampüs alanı 1800 dönüm civarındadır. Kampüs coğrafik yapı olarak yaklaşık düz bir alana sahiptir. Ölçüm yapılacak bölgede rüzgâra engel olacak herhangi bir şey bulunmamaktadır. Google earth programından alınan tomografik harita gösterilmiştir (İmal ve ark., 2012).



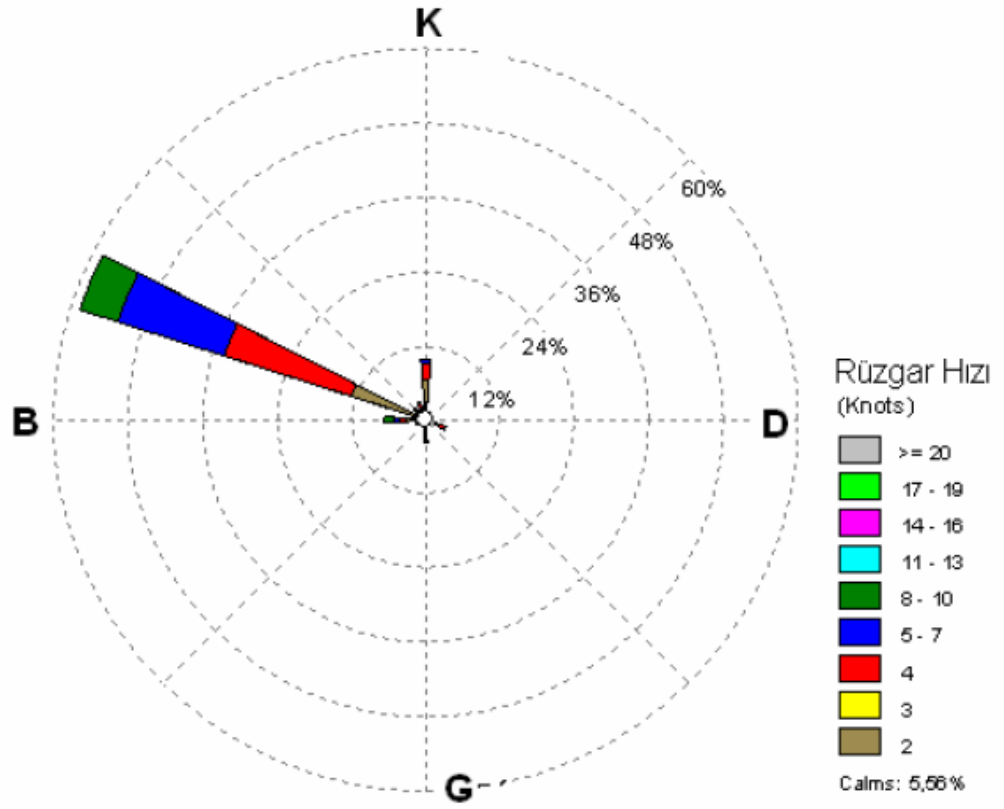
Şekil 3.3. Üniversite kampüs topoğrafik haritası



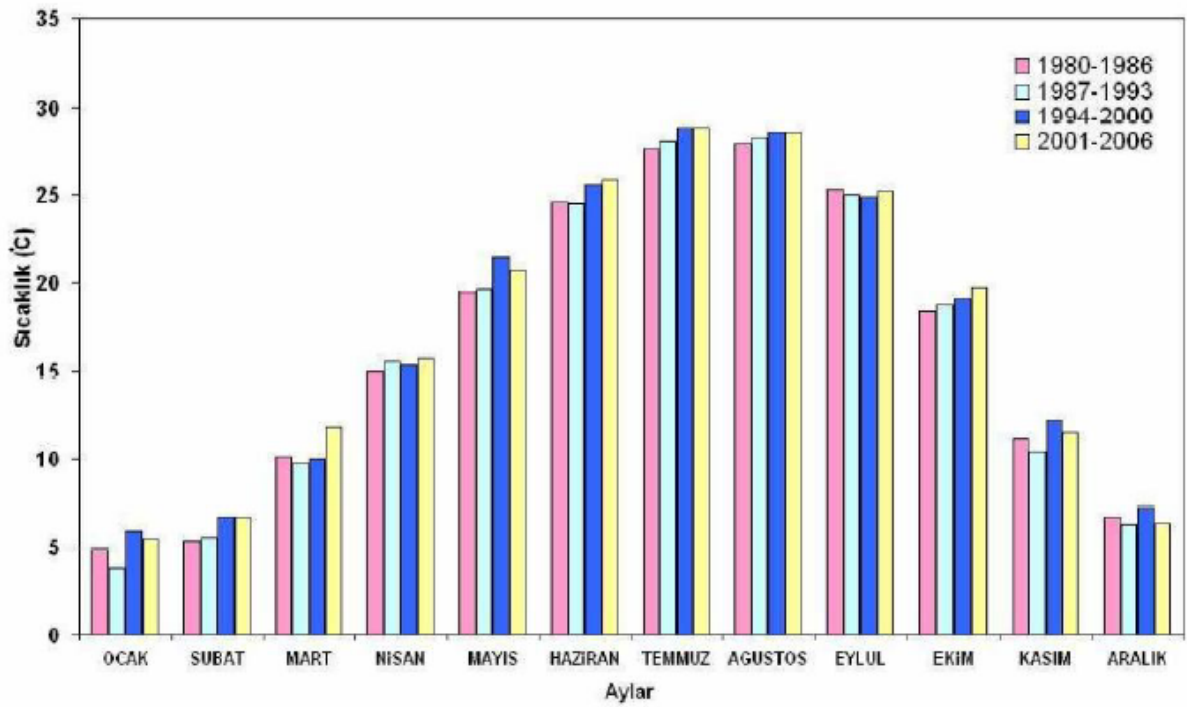
Şekil 3.4. Ölçüm sonuçlarının alındığı yerin çevresel görünümü



Şekil 3.5. Ölçüm sonuçlarının alındığı yerin yakından görünümü



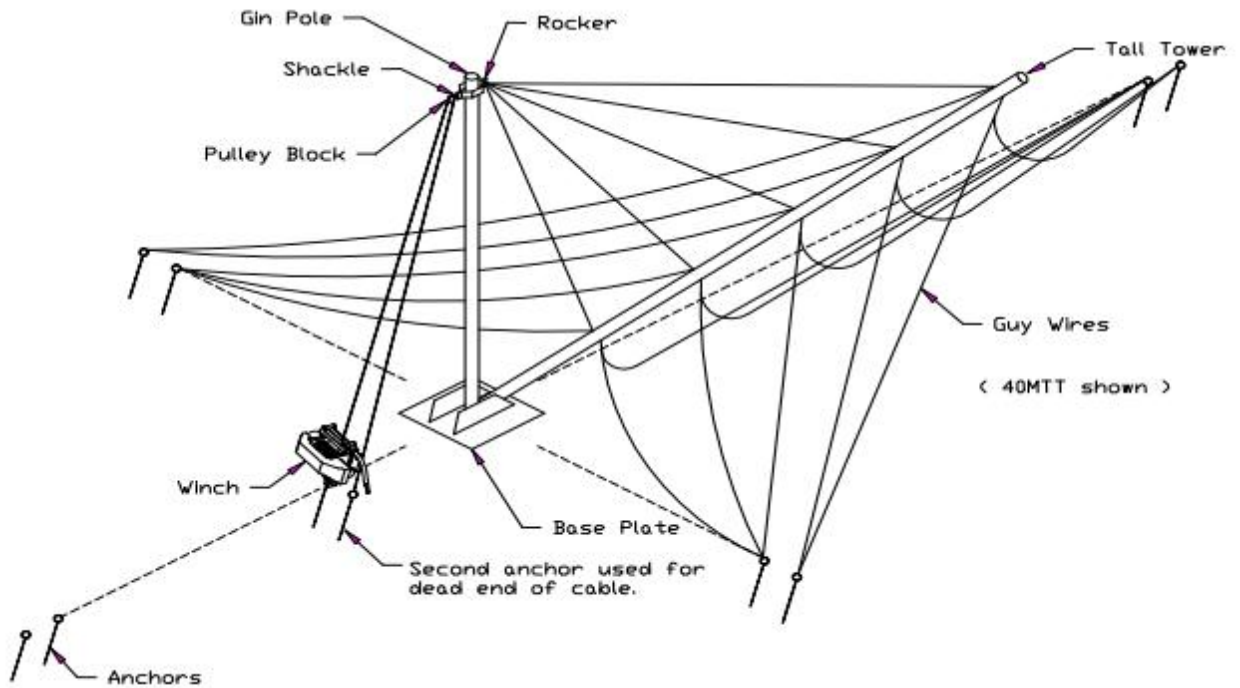
Şekil 3.6. Kahramanmaraş 1980–2000 yılları arasında gerçekleşen ortalama rüzgâr hızları ve yönlerine ait rüzgârgülü (1 knot = 0,514 m/s) (MGM(a), 2006)



Şekil 3.7. Kahramanmaraş uzun yıllar ortalama sıcaklık değerleri(MGM(a), 2006)

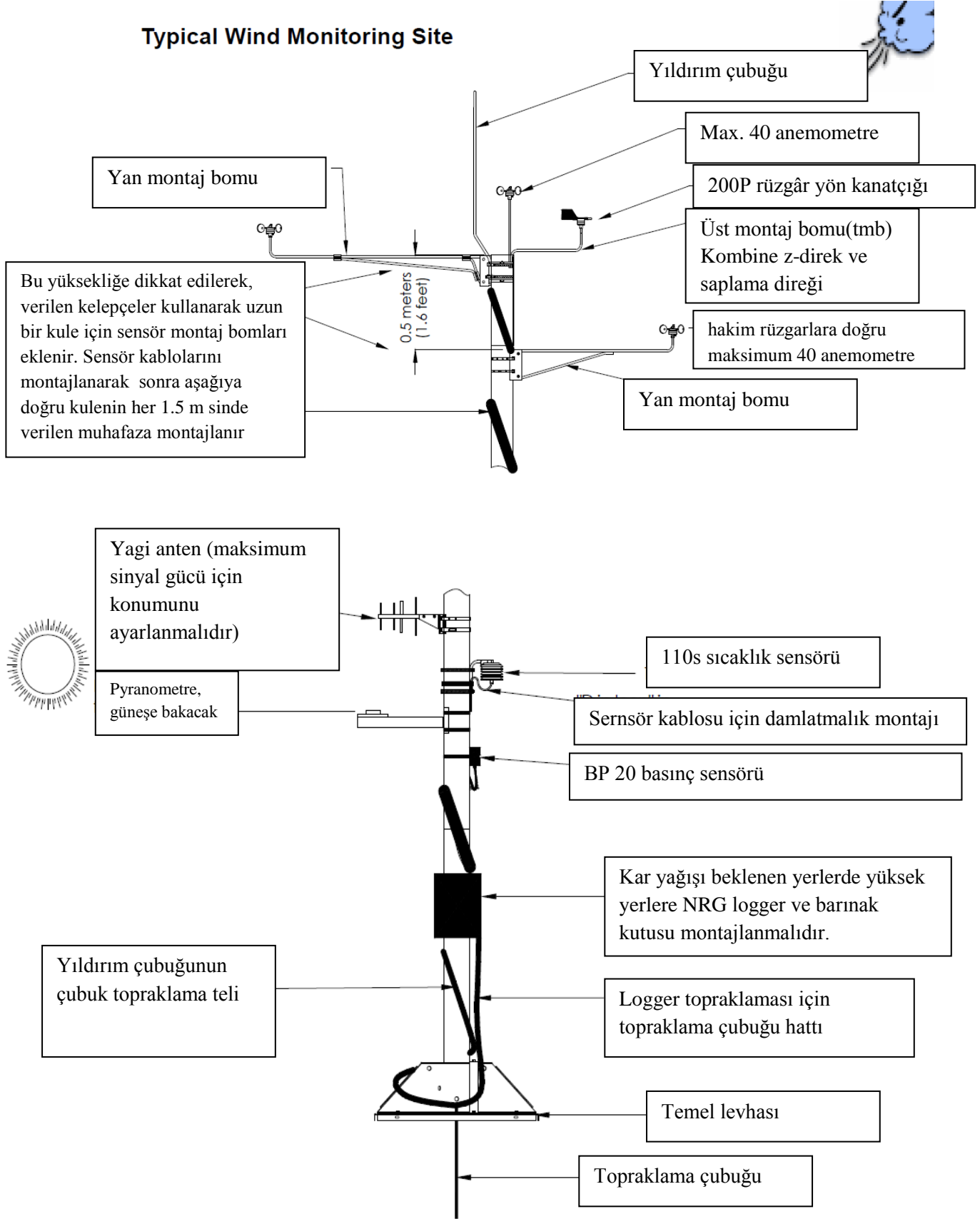
Bölgenin deniz seviyesine göre rakımı 530 m. dir. Rüzgâr ölçümü yapılacak yer çok iyi seçilmeye çalışılmıştır. Kampüste $37^{\circ} 35\text{dak. } 07.46''$ Kuzey ve $36^{\circ} 48\text{dak. } 36.86''$ doğu koordinatları ile verilen bölge ölçüm için en uygun yer olarak belirlenmiştir.

Bu bölgeye her biri 220 cm uzunluğunda çelik borulardan birbirine eklenerek teleskopik şekilde imal edilmiş 40 metre uzunluğunda ölçüm direği yerleştirilmiştir. Ölçüm direğini gösteren bir resim de verilmiştir. Direk üzerinde 10. m ve 40. metre olmak üzere 2 seviyeden ölçüm yapılmıştır. 10 m. seviyedeki yerde bir tane, 40 metre seviyede ki yerde ise iki adet rüzgâr ölçüm sensörü (Anemometre) monte edilmiştir. Anemometreler bölgenin ortalama rüzgâr hızını ölçmektedirler. Ayrıca 40 m. seviyeye rüzgâr yönü ölçen bir rüzgârgülü yerleştirilmiştir. Tüm verileri kaydetmek amacıyla bir adet Data logger monte edilmiştir. Tüm sensörler ve data logger 'in elektrik beslemesi dışarıdan bir batarya ile sağlanmıştır(İmal ve ark., 2012).



Şekil 3.8. Rüzgâr ölçüm istasyonunun genel konstrüksiyon şeması

Typical Wind Monitoring Site



Şekil 3.9. Rüzgâr ölçüm istasyon direğinin genel şeması



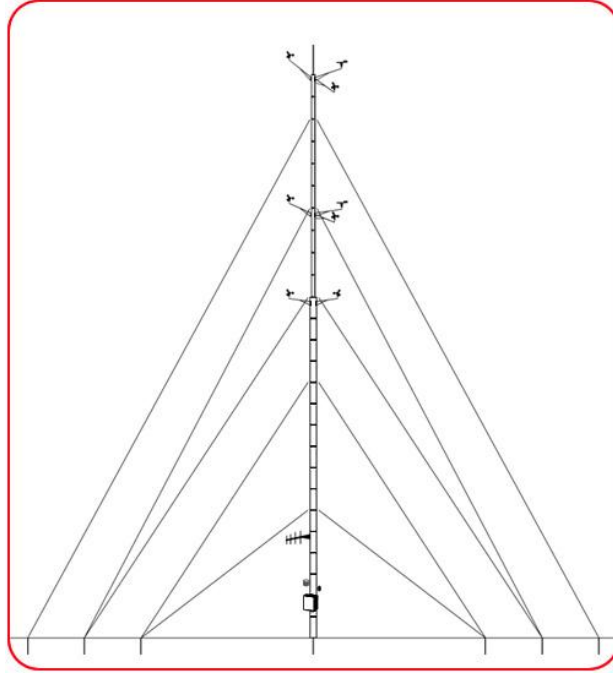
Şekil 3.10. Deneysel rüzgâr türbinine bir örnek



Şekil 3.11. Rüzgâr ölçüm istasyonunun kurulmadan önceki işlemler ve ölçüm direğinin ilk hali



Şekil 3.12. Rüzgâr ölçüm direğinin yerden kaldırılması



Şekil 3.13. Genel olarak rüzgâr ölçüm direğinin montajlanmış hali

Ekim 2010 ve Nisan 2012 yılları arasında sürekli olarak bölgeye ait otlama rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Rüzgâr hızı değerleri her 10 dakikada bir kaydedilmiştir(İmal ve ark., 2012).



Şekil 3.14. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin kuruluş aşamaları



Şekil 3.15. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direği



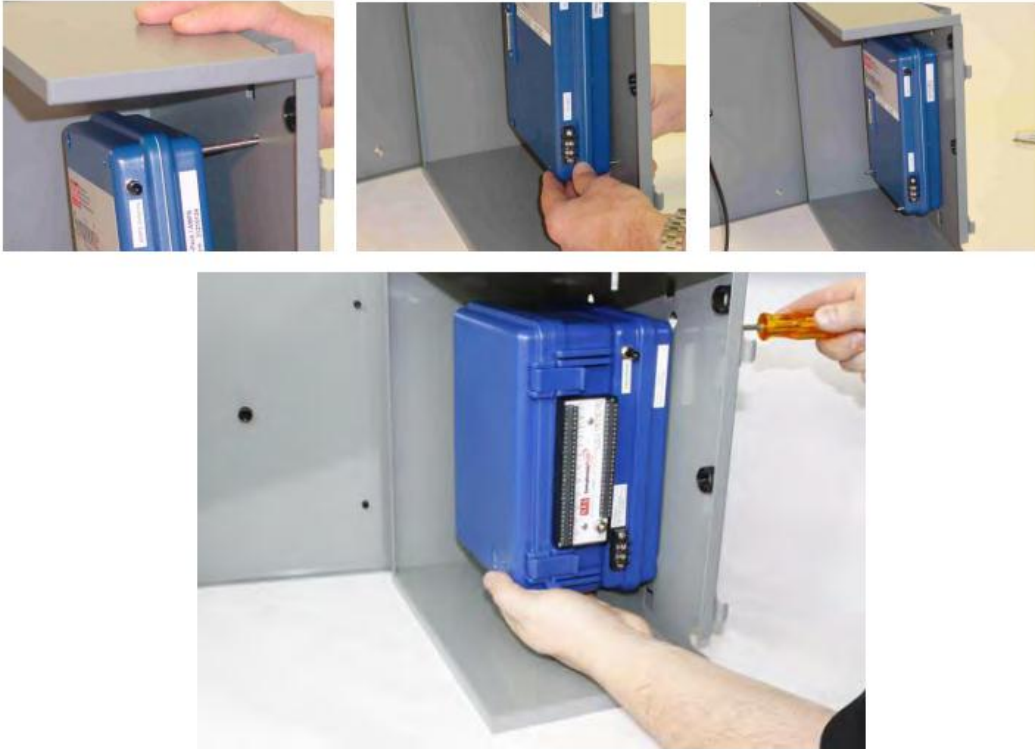
Şekil 3.16. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin orta kısmı



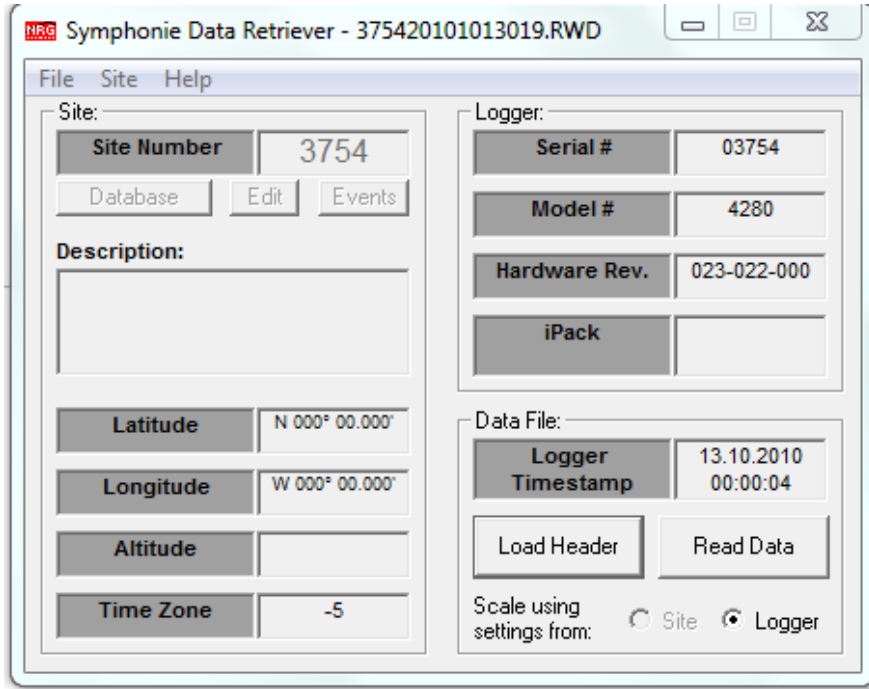
Şekil 3.17. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin temel kısmı



Şekil 3.18. Kampüste kurulan rüzgâr ölçüm direğinin destek halatları

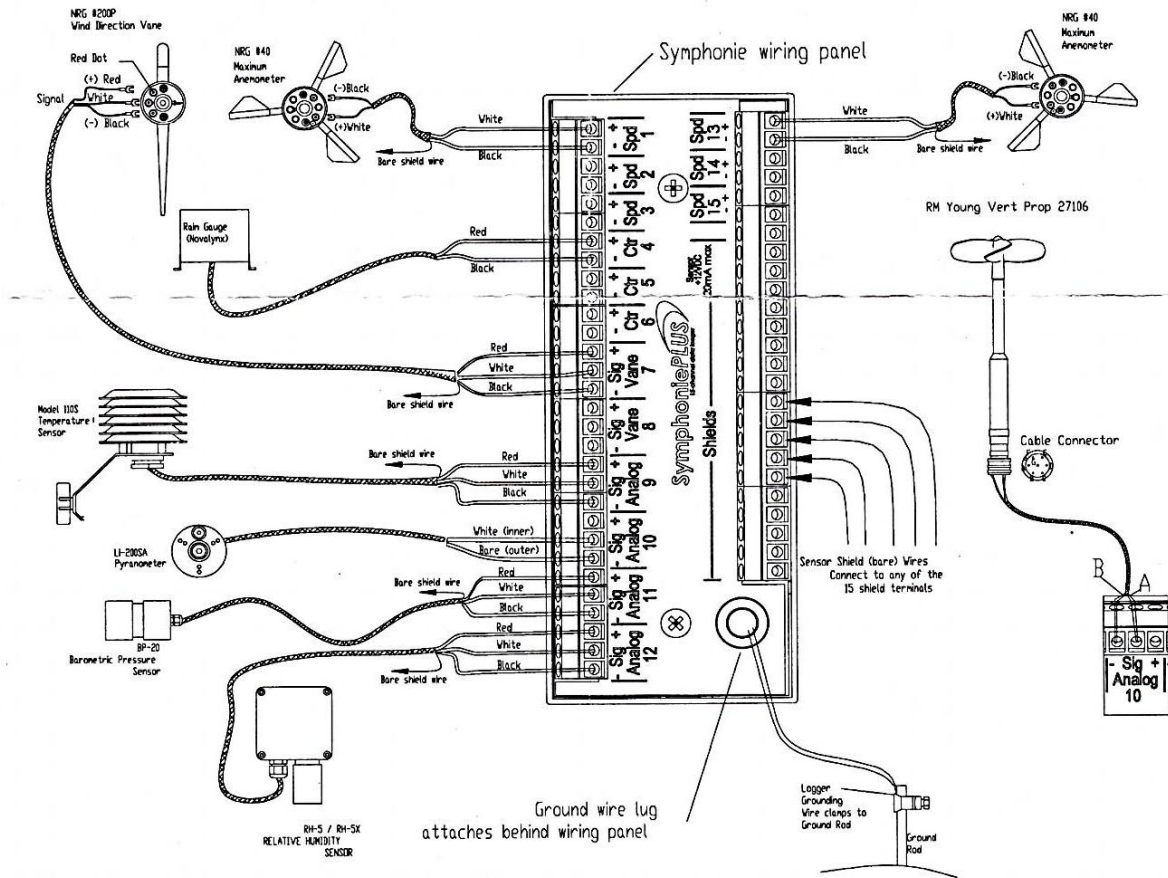


Şekil 3.19. Data logger ın muhafaza kutusuna montajlanması



Şekil 3.20. Data logger ın data işlemci programı ara yüzü

Connections



Şekil 3.21. Data logger temel bağlantı şeması

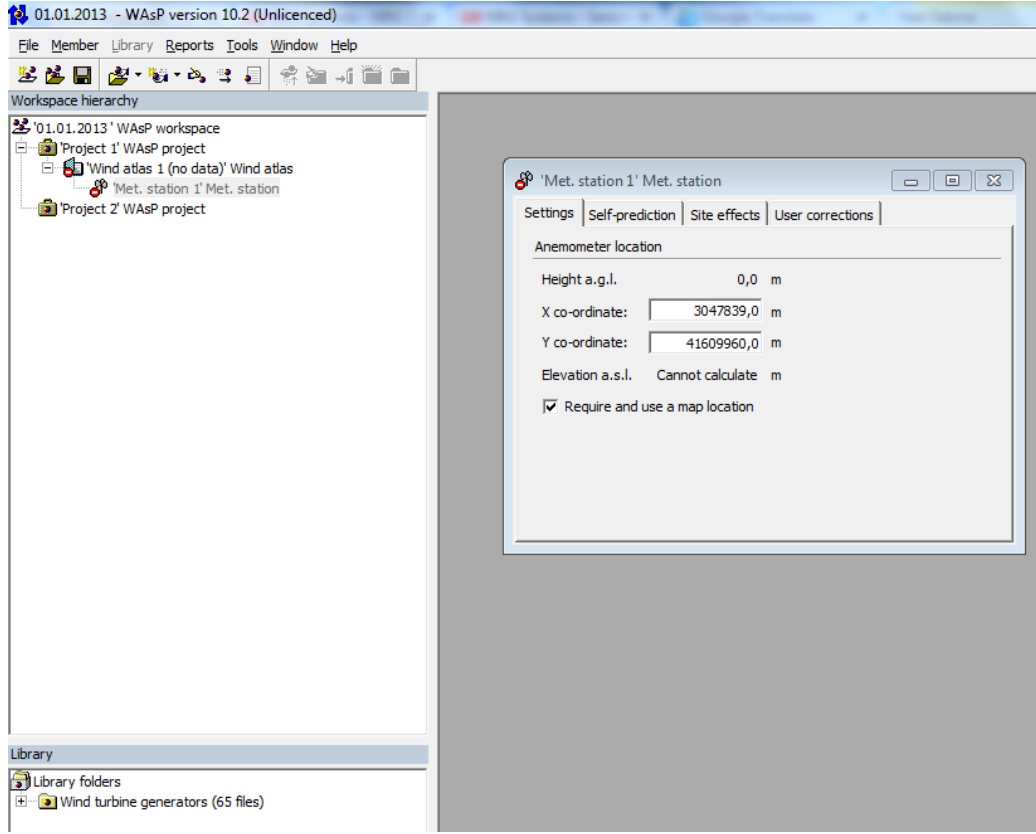
3.2. Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bir bölgenin rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesi için en az bir yıl boyunca ölçüm yapılması gerekmektedir (Özerdem ve ark., 2006). Bu çalışmada bölgenin rüzgâr değerleri 19 ay süreyle ölçülüp kaydedilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları Rüzgâr Atlası Analizi ve Uygulaması (WAsP) programı kullanılarak analiz edilmiştir. Aylık bazda 19 ay boyunca elde edilen 10 m. ve 40 m. yükseklikler için ortalama rüzgâr hızı değerleri de gösterilmiştir.

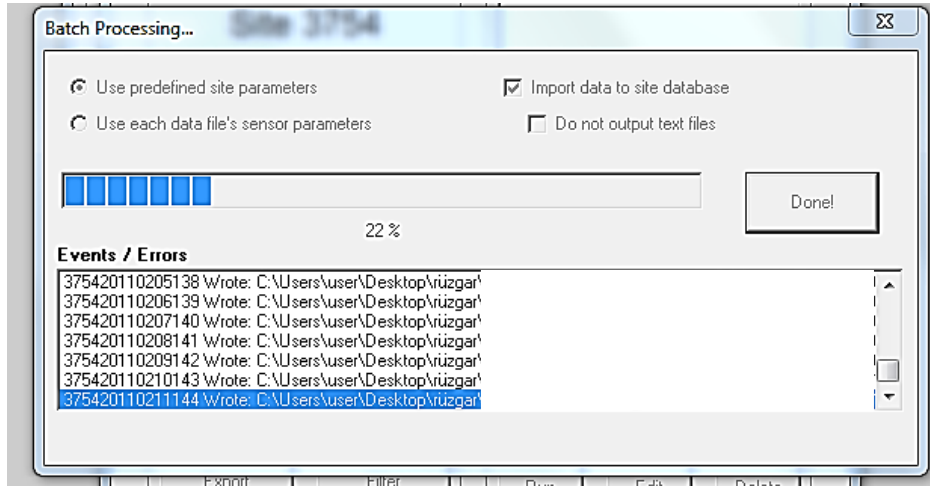
Ayrıca aylık değerler grafik olarak verilmiştir. WAsP programına ölçülen ortalama aylık rüzgâr değerleri ve rüzgâr yönü değerleri giriş büyüklüğü olarak verilir. Ayrıca ölçüm yapılan bölgenin topografik yapısı ve bölge düzgünlüğünü gösteren coğrafik bilgiler de giriş bilgisi olarak verilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler coğrafik bilgi haritasından elde edilmiş ve giriş olarak programa verilmiştir.

Çıkış olarak o bölgeden alınacak ortalama rüzgâr hızı değeri ve rüzgâr yönü elde edilir. Bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli, seçilmesi gereken rüzgâr türbini gücü ve Türbinin üreteceği yıllık ortalama elektrik enerjisi değerleri elde edilir. Görüldüğü gibi 10 metre yükseklikte elde edilen ortalama rüzgâr hızı değeri 4.70 m/s ve 40 metre için ölçülen değer ise 4.82 m/s olarak bulunmuştur.

Ayrıca ortalama rüzgâr hızı değeri 2 - 8 m/s değerleri arasında değişmektedir. Rüzgâr ortalama hızının en yüksek olduğu aylar Haziran, Temmuz ve Ağustos olarak görülmektedir. Buna karşılık Ekim, Kasım ve Aralık aylarında rüzgâr en düşük seviyede ölçülmüştür (İmal ve ark., 2012).



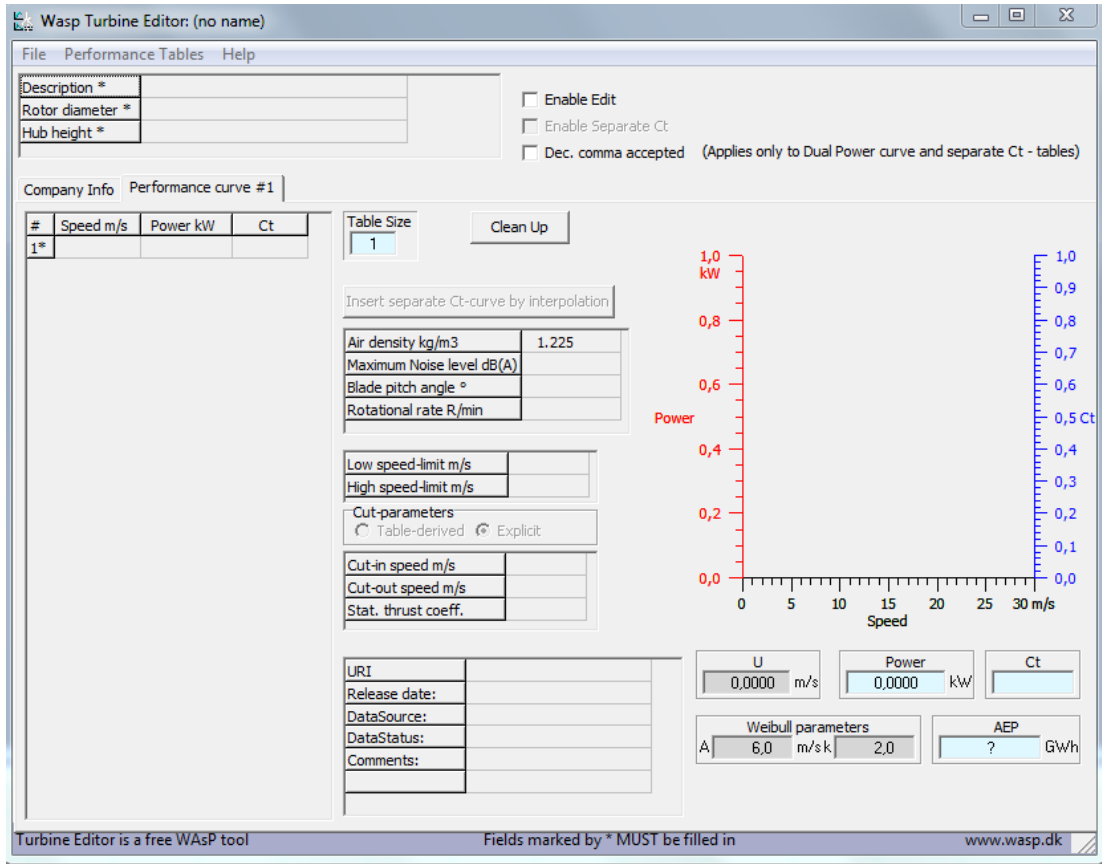
Şekil 3.22. WASP programından çalışma esnasındaki görüntüsü



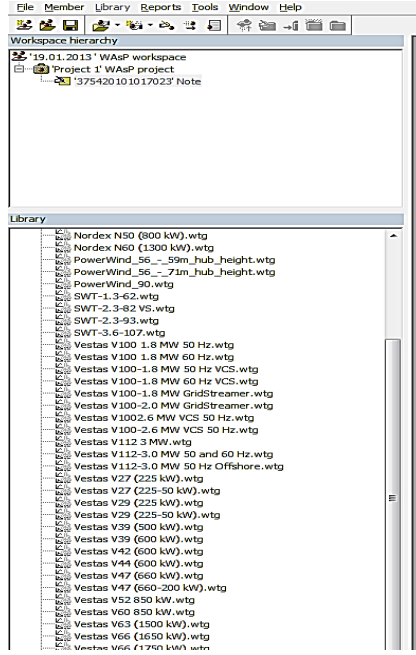
Şekil 3.23. WASP programının veri işleme esnasındaki görüntüsü

Çizelge 3.1. Aylara göre ortalama rüzgâr hızı(m/s)

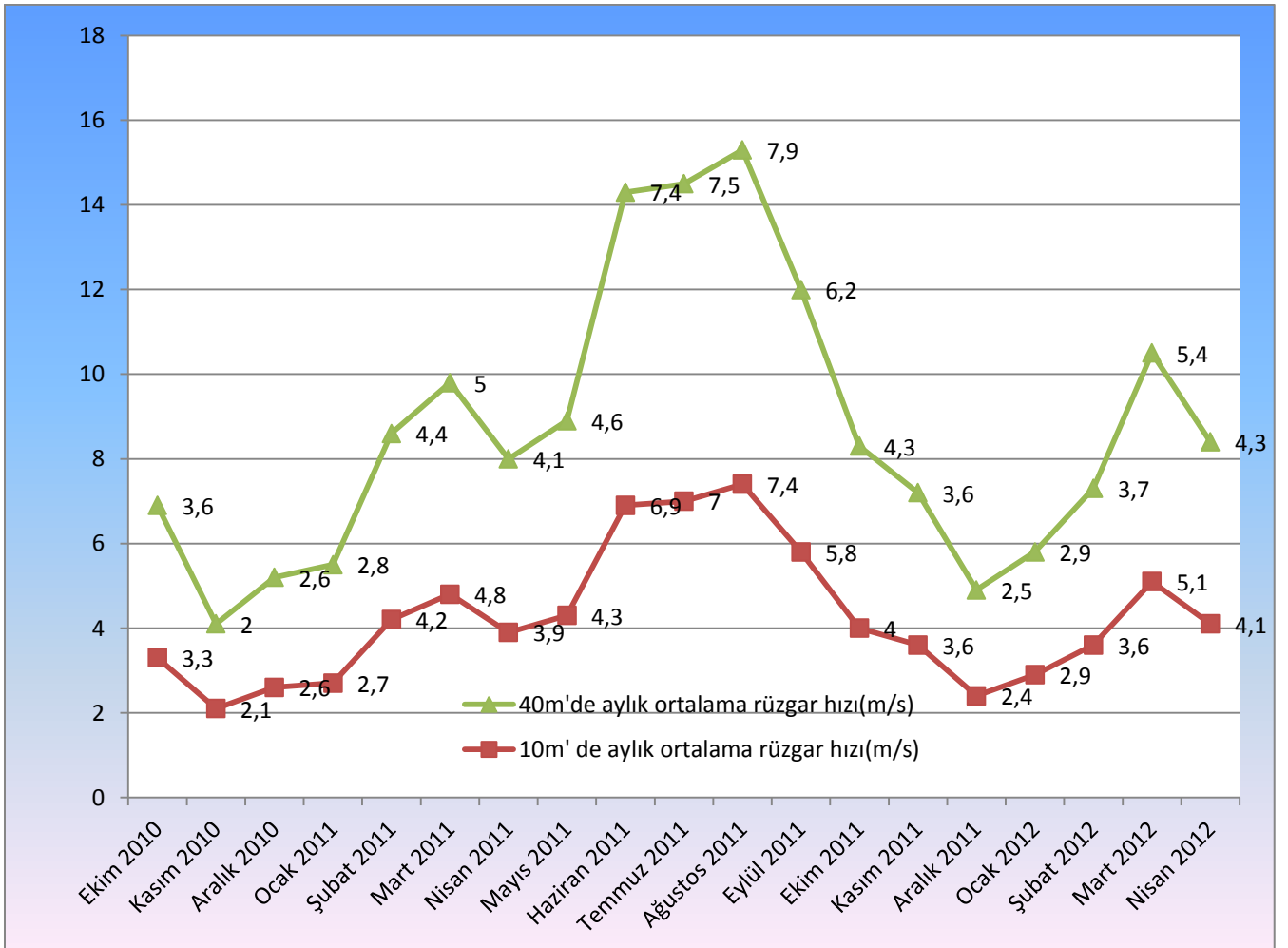
Yıllar	2010		2011												2012				
YÜKSEKLİK	AYLAR																		
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
10m	3,3	2,1	2,6	2,7	4,2	4,8	3,9	4,3	6,9	7,0	7,4	5,8	4,0	3,6	2,4	2,9	3,6	5,1	4,1
40m	3,6	2	2,6	2,8	4,4	5,0	4,1	4,6	7,4	7,5	7,9	6,2	4,3	3,6	2,5	2,9	3,7	5,4	4,3



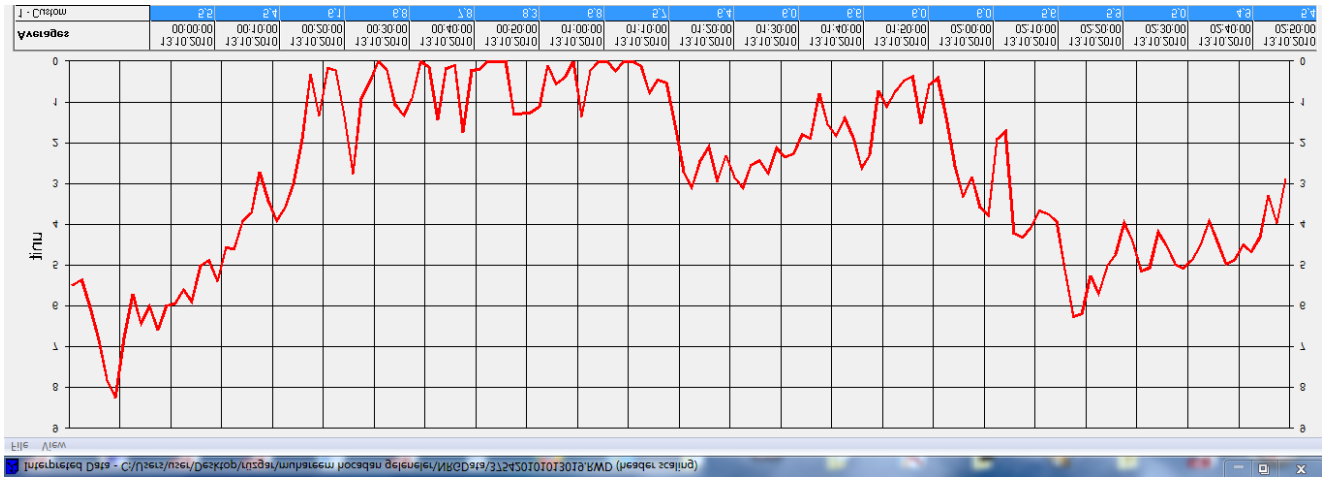
Şekil 3.24. WASP programı rüzgâr türbini seçme interface'i



Şekil 3.25. WAsP programında bulunan ön tanımlı rüzgâr türbin markalarından bir görünüm



Şekil 3.26. 10 m – 40 m 'de ortalama rüzgar hızları (m/s)



Şekil 3.27. WASP programı rüzgâr hızı zaman serisi

4. ELDE EDİLEN BULGULAR

4.1 Rüzgâr Gülü Rüzgâr Hızı Dağılım Fonksiyonu

Weibull ve Rayleigh gibi olasılık yoğunluk dağılım fonksiyonları genellikle rüzgâr enerjisi potansiyellerinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şahin, 2004; Weisser, 2003). Bu çalışmada Weibull dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Farklı yerlerden farklı rüzgâr hızı dağılımları elde edilir. Bu dağılım bize temel olarak hangi değerdeki rüzgâr hızlarının hangi sıklıklarda oluştuğunu gösterir. İki parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(v)$ aşağıdaki gibidir.

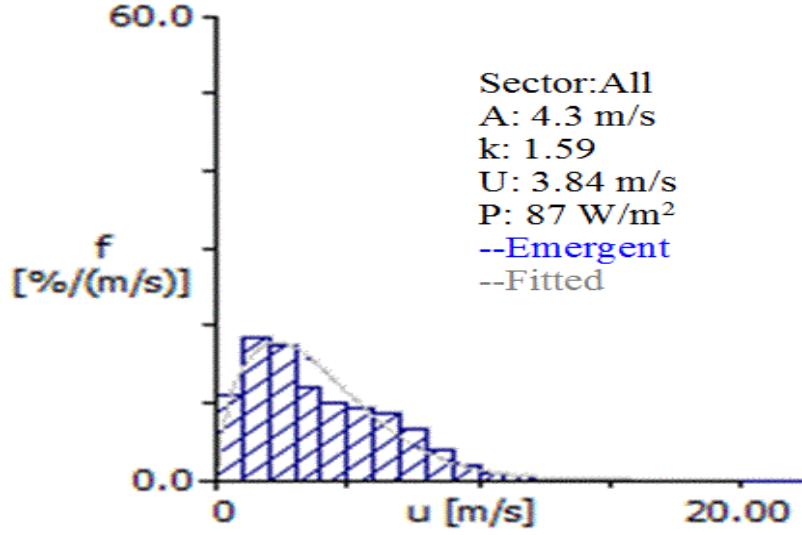
$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.1)$$

Burada v rüzgâr hızı (m/s), k ve c sırasıyla boyutsuz şekil ve ölçek parametreleridir. Weibull dağılımının birikimli (kümülatif) olasılık yoğunluk fonksiyonu ise

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.2)$$

dır. Şekil parametresinin(k) ekvator yakınlarında 1 civarında, ılıman enlemler için ise 2 ve sürekli rüzgâr alanları için ise 3 civarındadır (Weisser, 2003).

Bu çalışma da ölçüm yapılacak kampüs alanı 30 derece alıklarla 12 eşit parçaya bölünmüş ve her bir parça için rüzgâr hız değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca her bir parça analizlerde gerekli olacak parametreler hesaplanmıştır. Bölgenin rüzgâr hızı frekansları ve elde edilen Weibull dağılım aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kampüs bölgesi Weibull dağılımı

(A = c = skala parametresi, k=Weibull fonksiyonu için şekil parametre değeri, U= bölgeye ait yıllık ortalama rüzgâr hızı değeri, P=Güç yoğunluğu)

Şekilden de görüldüğü gibi grafiğin en üst değerleri ortalama rüzgâr hızının en sık ve fazla görüldüğü değerleri göstermektedir. Bu çalışmada Weibull fonksiyonu için k parametre değeri 1.59 ve skala parametresi c ise 4.3 m/s olarak hesaplanmıştır.

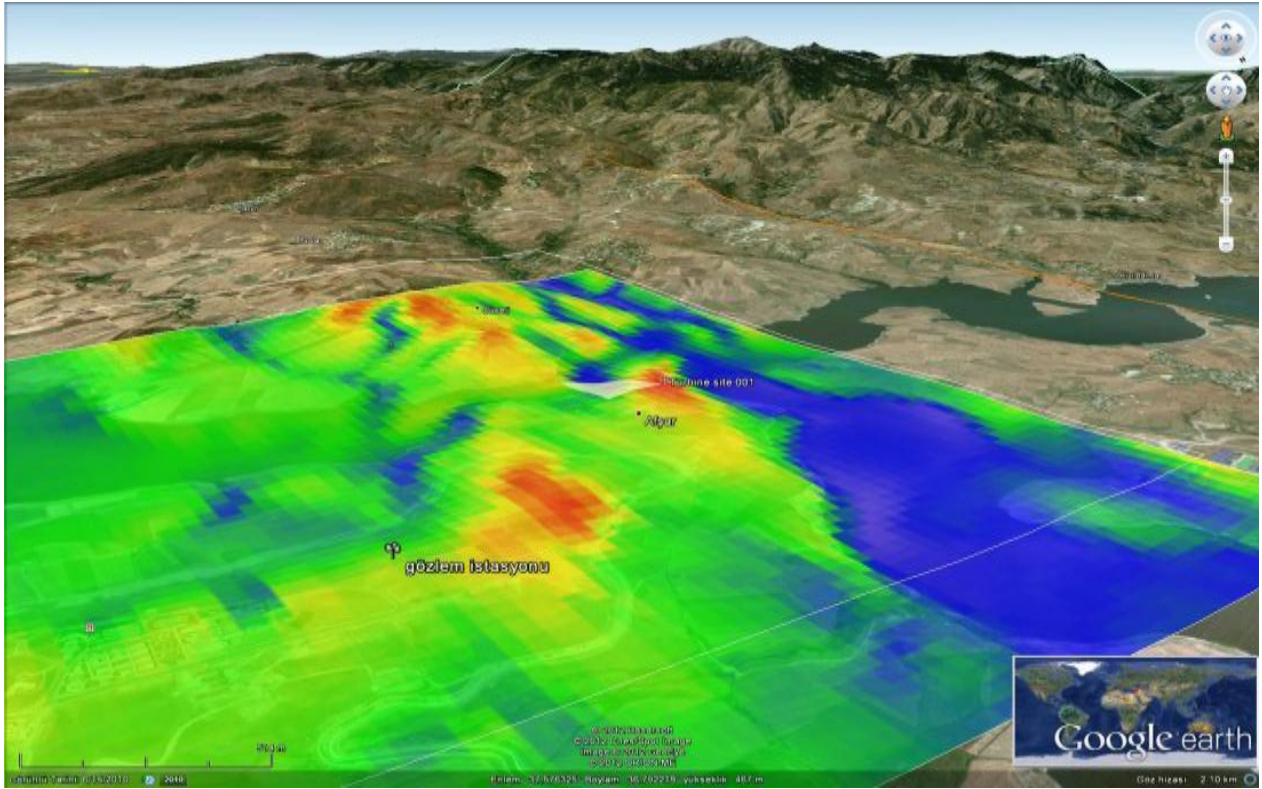
Ayrıca bölgeye ait yıllık ortalama rüzgâr hızı değeri 3.84 m/s olarak elde edilmiştir. Bu değerlere göre güç yoğunluğu 87 w/m² olarak hesaplanmıştır. Bu değerler kampüs alanına ait yıllık ortalama değerlerdir.

Çizelge 4.1. Türbinin yerleştirileceği koordinatlar ve diğer özellikleri

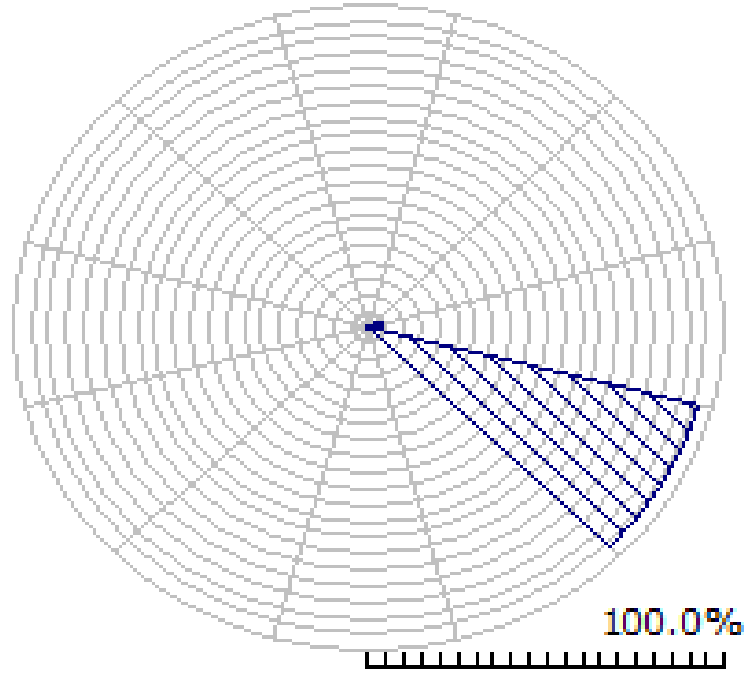
Bölge	Yerleşim koordinatları	Rüzgâr türbini	Türbin yüksekliği	Yıllık ortalama enerji üretimi	Ölçüm hatası
		(m)	(m)	(MWh)	(%)
Kampüs alanı	(304783.9,4160996.0)	VestasV47 (660kW)	45	851.530	0.0

Ayrıca bölge de 12 farklı yöne ait rüzgârgülü haritası da çıkarılmıştır. Rüzgârgülü rüzgar yönünü bulmak için kullanılır. Özellikle rüzgâr türbini yerleştirmedeki yön ve yükseklik rüzgârgülü değerlerine göre yapılır. Rüzgâr türbini yönü rüzgârın en yüksek değerde estiği yöne bakacak şekilde yerleştirilmelidir (Gökçek ve ark., 2007).

Ölçüm yapılan bölge için elde edilen rüzgârgülü haritası da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi rüzgârın en yüksek değerde estiği yön koordinatları $37.59^{\circ}K$, $36.81^{\circ}B$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre rüzgâr kuzey-batı yönünde esmektedir ve seçilecek rüzgâr türbini yönü bu koordinatlara doğru çevrilmelidir. Ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre bölgeye konması gereken rüzgâr türbini gücü 600 kW olarak seçilmiştir. Türbinin yerleştirileceği koordinatlar ve diğer özellikleri çizelgede verilmiştir. WAsP programı giriş bilgilerine göre rüzgâr türbini kurulacak bölgeye ilişkin rüzgâr haritası çıkarılmıştır. Kampüs bölgesine ait elde edilen rüzgâr dağılım haritası da gösterilmiştir. Haritada ortalama rüzgâr hızı değerleri mavi renkten kırmızı renge doğru artış göstermektedir.



Şekil 4.2. Ortalama rüzgâr hızı haritası



Şekil 4.3. Bölgenin rüzgârgülü haritası

Rüzgâr türbini dikilecek alan için hesaplanan değerler ise şu şekildedir. Seçilen rüzgâr türbini gücü 600 KW' dır. Ortalama rüzgâr hızı 4.82 m/s, Ortalama güç yoğunluğu 164 w/m^2 ve yıllık ortalama üretilecek elektrik enerjisi miktarı 851.530 GWh/yıl.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın amacı Kahramanmaraş bölgesinde rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yapmaktır. Üniversite kampüs alanına bir rüzgâr ölçüm direği dikilmiş ve 19 ay boyunca ortalama rüzgâr hızı ve yönü ne ait değerler ölçülmüştür. Kaydedilen bu değerlerin analizi yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

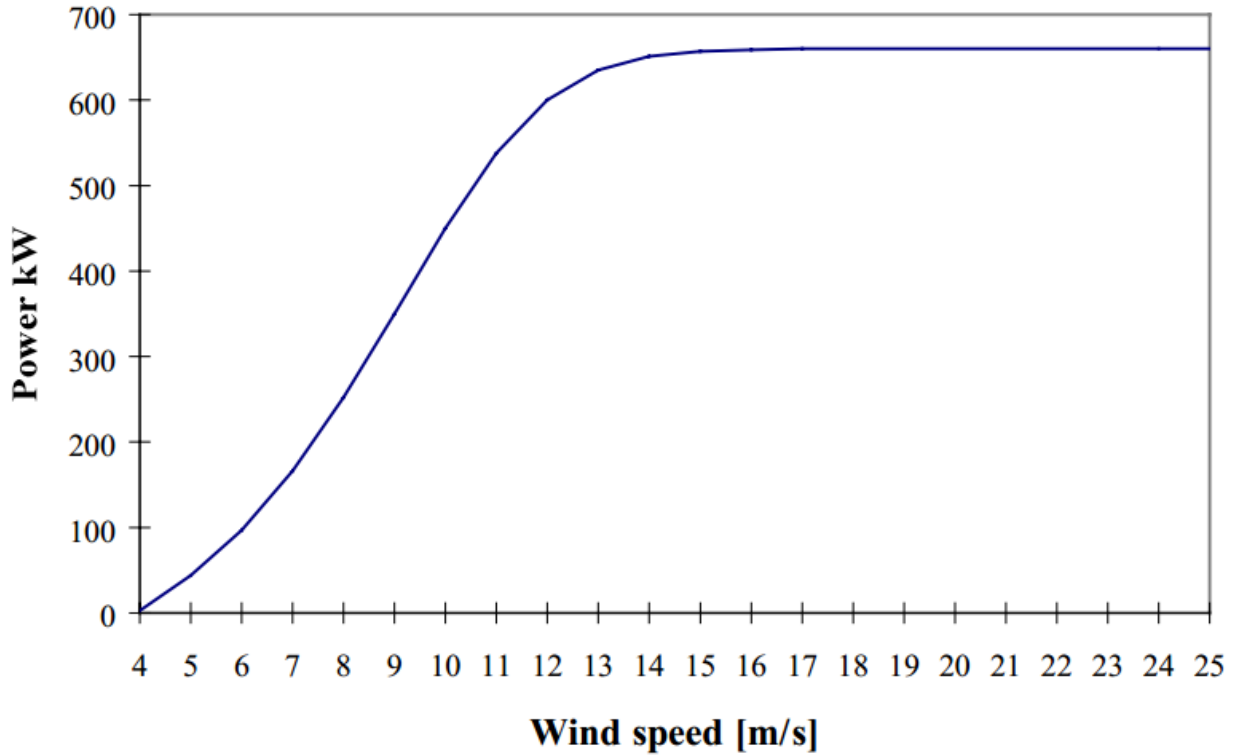
Rüzgâr türbini yerleştirilecek alana ait ortalama yıllık rüzgâr değeri 4.82 m/s dir.

Rüzgâr türbini göbek yüksekliği 45 m olarak hesaplanmıştır.

Bölgede hâkim rüzgâr yönü kuzey-batı ve yaz ayları olarak bulunmuştur.

Hesaplanan rüzgâr türbini nominal gücü 600 kW ortalama güç yoğunluğu 164 W/m^2 ve yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi 851.530 GWh/yıl dır.

V47-660 kW power curve



Şekil 5.1. Vestas V47-660 dan elde edilebilecek güç eğrisi

Çizelge 5.1. Vestas V47-660 dan elde edilebilecek güç miktarları

Vestas V47-660 dan elde edilebilecek güç miktarları		Havanın yoğunluğu (kg/m ³)								
		1.225	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27
Rüzgârın hızı (m/s)	4.0	2.9	0.6	1.1	1.5	1.9	2.3	2.7	3.1	3.5
	5	43.8	36.2	37.5	38.9	40.3	41.7	43.1	44.5	45.8
	6	96.7	81.8	84.5	87.2	89.9	92.6	95.4	98.1	101
	7	166	141	146	150	155	159	164	168	173
	8	252	215	222	228	235	242	248	255	262
	9	350	300	309	318	327	337	346	354	363
	10	450	392	402	413	424	435	446	455	464
	11	538	480	491	502	512	523	534	542	549
	12	600	554	563	572	580	589	598	602	607
	13	635	607	612	618	623	629	634	636	639
	14	651	637	640	643	646	648	651	652	653
	15	657	652	653	654	655	656	657	658	658
	16	659	657	658	658	659	659	659	659	659
	17	660	659	659	660	660	660	660	660	660
	18	660	660	660	660	660	660	660	660	660
	19-25	660	660	660	660	660	660	660	660	660

Üniversite Avşar kampüsü kurulu elektrik gücünün yaklaşık 2 MW olduğu hesaba katılırsa, böyle bir rüzgâr türbinin üreteceği elektrik enerjisi kurulu gücün yaklaşık 1/3 değerini karşılayacağı görülebilir.

Türbin hub yüksekliğinin artması ile ortalama rüzgâr hızının ve üretilebilecek enerji miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Türbin rotor çapının artması, türbinin daha küçük hızlarda enerji üretimine geçmesini sağlamasından, enerji üretim miktarını artırabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada ortalama rüzgâr hızı 7 m/s altında kaldığından çok verimli bir şekilde enerji üretilmesinin zor olabileceği gözlemlenmiş, ancak tamamen verimsiz de olabileceği söylenemez.

5.2. Öneriler

Meteorolojik bir olay olan rüzgâr hızı yıllar itibarıyla değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle ölçüm periyodunu uzun tutmak bu değişkenliğinden kaynaklanan riskleride azaltacaktır. Buda daha stabil ham verilerin oluşmasına katkıda bulunacaktır.

Rüzgâr ölçüm istasyonunda ölçülen rüzgâr hız ve yön değerleri; RES projesinin daha sonraki aşamaları olan verilerin değerlendirilmesi, üretilinecek enerji miktarının tahmin edilmesi açısından önem arz etmektedir.

Milres projesi kapsamında yapılacak ilk tasarım modellerinden birisinin de bu bölgede kullanılması mümkün gözükmektedir.

Rüzgâr enerjisi potansiyelin belirlenmesi sırasında kullanılan programlar daha da geliştirilmelidir. Bu yazılımların doğruluğu ve hata payları bilimsel olarak ortaya konulması gerekir. Bu konuda açık veya kapalı kaynak kodlu milli yazılımların geliştirilmesi gerekir.

Cari açığın büyük bir kısmını enerji ithalatımız oluşturmaktadır. Enerji üretimi esnasında sıfır karbon salınımı açısından önemli bir yer tutan ve vatanımızın sahip olduğu potansiyel pek çok ülkeye göre çok yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hem milli servetimizin yurt dışına çıkışını azaltacak, hem de küresel ısınma problemine katkı sağlayacaktır.

Rüzgâr enerjisi ile ilgili Ar-Ge faaliyetleri daha da desteklenmeli, rüzgâr ölçüm cihazlarının yerli imkânlarla geliştirilmesi içinde gerekli adımlar atılmalıdır.

Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi(RİTM)'nin rüzgâr ölçüm istasyonu sayısı artırılmalı, bu merkezin rüzgâr enerjisi santrallerinin (RES) Türkiye Elektrik Sistemi'ne geniş ölçekli entegrasyonunun sağlanmalıdır. Bu kapsamda, bir rüzgâr gücü izleme ve tahmin sistemi Türkiye geneline yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abbes M., Belhadj J., 2012. Wind resource estimation and wind park design in El-Kefregion, Energy 40 (2012) 348-57. Tunisia.
- Adekoya, L.O., Adewale, A.A., 1992. Wind energy potential of Nigeria. Renewable Energy; 2:35-39. Nigeria.
- Akdağ S. A., Güler Ö., 2008. Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metodlarının Karşılaştırılması. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu. UTES'2008 17-19 Aralık 2008. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Ayazağa Yerleşkesi. İstanbul.
- Akpınar, E.K., Akpınar, S., 2004(a). Statistical analysis of wind energy potential on the basis of the Weibull and Rayleigh distributions for Ağın-Elazığ. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 2004;218:557-565. Turkey.
- Akpınar E. K., Akpınar S., 2004(b). Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ. Energy Conversion and Management 45 (2004) 2901–2914. Turkey.
- Almalı, M.N., 2005. İki parametrelili Weibull dağılımında parametrelerin tahminlenmesi için farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve rüzgar hızı verilerine uygulanması. Doktora Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Altuntaşoğlu, Z.T., 2009. Dünyada ve Türkiye'de rüzgar enerjisindeki gelişmeler. II. Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu/RÜGES'2009. Samsun.
- Anonim, 2007. URL(erişim tarihi: 06.05.2009)
http://www.yonenerji.com/dosyalar/ruzgar_enerjisi.pdf .
- Anonim(a), 2013. URL(erişim tarihi: 10.01.2013).
<http://www.akademimuhendislik.net/ruzgar-turbini-anatomisi.html>.
- Anonim(b), 2013. URL(erişim tarihi: 10.01.2013).
http://forum.donanimhaber.com/m_3899535/mpage_10/tm.htm.
- Arslan, O., 2010. Techno economic analysis of electricity generation from wind energy in Kutahya. Energy 2010;35:120-131. Turkey.
- Atasaven, M.S., Ataseven, S., 2009. Rüzgar ölçüm sistemleri. II.Rüzgar Enerjisi Sempozyumu/RÜGES. Samsun.
- Atılğan, M., Altan, B.D., 2009. Atlıhan, A.B. Rüzgar türbini uygulamaları. II. Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu/RÜGES. Samsun.
- Aytaç, M., 2004. Matematiksel istatistik. Ezgi Kitabevi, 3.Baskı. Bursa.
- Barutçu, B., 2008. Wind Energy & Conversion Technology Lecture Notes.

- Bergey. B., 1997. "Wind Energy History". Windpower.com, USA Energy Investment in Ankara. Turkey.
- Besir S., Bilgili M., Akilli H., 2005. The wind power potential of the eastern. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 93 171–183 Mediterranean region of Turkey.
- Bueche, F. J., Jerde, D.A., 2003. Fizik ilkeler-1. Çeviri Editörü: Kemal Çolakoğlu Birinci Cilt Altıncı Baskıdan Çeviri, Düzeltilmiş 2. Türkçe Baskı. Palme Yayıncılık. Ankara.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyı, E., 2001. Wind energy handbook. John Wiley and Sons.
- Çağlar, M., Canbaz, M., 2002. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu. İstanbul.
- Çelik, A.N., 2003. A statistic alanalysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. Renewable Energy 2003;29:593-604.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 1996. Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik. Türkçesi: Taner Derbentli, Türkçe Birinci Basım. McGraw-Hil-Literatür ortak yayını. İstanbul.
- Çolak, İ., Demirtaş, M., 2008. Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin Türkiye'deki gelişimi. TUBAV Bilim Dergisi 2008 2(1):64-72.
- Demir, F. N., 2007. Rüzgar Türbinleri (Bitirme Projesi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. İzmir.
- Dundar C, Canbaz M, Akgun N, Ural G., 2002. Wind Energy Resource Atlas of Turkey. Ankara, Turkey: EIE&DMI; June 2002. p. 218.
- Durak M., Şen Z., 2002. Wind power potential in Turkey and Akhisar case study. Renewable Energy 25 (2002) 463-472.
- Durak, M., Özer, S., 2008. Rüzgar enerjisi: teori ve uygulama. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını. Ankara.
- Durisic Z., Mikulovic J., 2012. A model for vertical wind speed data extrapolation for improving wind resource assessment using WAsP, Renewable Energy 41 (2012) 407-11.
- EBSO(Ege Bölgesi Sanayi Odası). Türkiye'nin enerji görünümü raporu. URL(erişim tarihi: 10.01.2013) <http://www.ebso.org.tr/b2b/ebso/dergi/resimler/RAPOR.pdf>
- EİE (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü). URL(erişim tarihi: 09.03.2010) <http://repa.eie.gov.tr>.

- EMO(Elektrik Mühendisleri Odası). URL(erişim tarihi: 10.01.2013)
http://www.emo.org.tr/ekler/46f664ab2833d59_ek.pdf?dergi=619.
- Engin Ş. N., 2011. İzmir Rüzgâr Sempozyumu ve Sergisi / 23-24 Aralık 2011. Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü Rüzgâr Enerjisi Çalışma Alanları ve Milres Projesi. İzmir.
- EPDK(Enerji Piyasası Denetleme Kurumu). URL(erişim tarihi: 10.01.2013)
<http://www.epdk.gov.tr> .
- Erdogdu E., 2009. On the wind energy in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1361–71.
- Erdogdu, E., 2008. On the wind energy in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Rewiews xx (2008) xxx-xxx, in pres.
- Eskina N., Artara H., Tolun S., 2008. Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 839–851, 2006.
- Ete, T., 2010. Gevaş-Gürpınar Bölgesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Saptanması. Yüksek Lisans Tezi. Yüzüncüyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Van.
- ETKB(a) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı). URL(erişim tarihi: 10.01.2013)
<http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=rüzgar&bn=231&hn=&nm=384&id=40696> .
- ETKB(b) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı). Mavi Kitap. URL(erişim tarihi: 10.01.2013). http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Mavi_Kitap_2012.pdf.
- EWEA (European Wind Energy Agency). URL(erişim tarihi: 01.07.2010) http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics.
- Fıçıcı, F., Dursun, B., Gökçöl, C., 2007. Rüzgâr Enerji Sistemlerinden Kaynaklanan Gürültünün İncelenmesi. SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi. 11. Cilt, 1. Sayı, s. 54-62. Isparta.
- Gape, P., 2009. Wind Energy Basics A Guide to Home- and Community –Scale Energy Systems. Chelsea Green Publishing Company White River Junction. Vermont,978-1 – 60358-030-4.
- Gipe P., 2003. “Wind Energy Basics” Chelsea Gren Publishing Company. 125-146.
- Golding, E. W.,1955. "The Generation of Electricity by Wind Power". Pitman Press, London.
- Gökçek M., Bayülken A., Bekdemir Ş., 2007. Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kirklareli. Renewable Energy 32 (2007),1739–52. Turkey.

- Güler, Ö., 2009, Wind energy status in electrical energy production of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 473-478. Turkey.
- Günday U., Küçükseller D., 2008. Rüzgar Enerjisi ve Uygulamaları (Yıl İçi Projesi). T.C. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği. Sivas.
- Güneş, M. A., 2009. Türkiye'nin enerji sorunu için alternatif çözüm önerileri ve rüzgâr enerjisinin önemi. Yüksek Lisans Tezi. T.C. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Maliye Ana Bilim Dalı. MLY YL 2009 0004. Aydın.
- Heo, J.H., Salas, J.D., Kim, K.D., 2001. Estimate of confidence intervals of quantiles for the Weibull distribution. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 15:284-309.
- Hepbaşlı A, Özgener Ö., 2004. A Review on the Development of Wind Energy in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8, sayfa 257-276.
- İmal M., Şekkel M., Yıldız C., 2012. T. C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ana Kampüste Rüzgar Enerji Potansiyeli Araştırması ve Değerlendirmesi. T. C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Kahramanmaraş.
- Johnson, G.L., 2001. Wind energy systems. Electronic Edition, KS, Manhattan December 10.
- Justus, C.G., Mikhail, A., 1976. Height variation of wind speed and wind distribution statistics. *Geophys Res Lett* 1976; 3:261-264.
- Kurban M., Mert Kantar Y., Hocoğlu F. O., 2007. Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi. Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü. Eskişehir.
- Karadeli, S., 2001. Rüzgar enerjisi. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayınları. No:5, S:3-6.
- Karlı, V.M., 2007. Gaziantep Üniversitesi 11 kW yatay eksen rüzgar türbini tasarımı ve imalatı. IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu/YEKSEM'2007. Gaziantep.
- Karlı V.M., Geçit C., 2003. An investigation on wind power potential of Nurdağ'1-Gaziantep, Turkey. *Renewable Energy* 28 (2003) 823–830, 2002.
- Köse F., Özgören M., 2005. Rüzgar enerjisi potansiyeli ölçümü ve rüzgar türbini. *Mühendis ve Makina Dergisi* and 46(551).
- Köse R, 2004. An evaluation of wind energy potential as a power generation source in Kütahya Turkey. *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 1631–41).
- Köse R., Ozgur M. A., Erbas O., 2004. The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8 (2004) 277–288,

- 2003).
- Malkoç, Y., 2009. Rüzgar enerjisi kaynaklarımız. II. Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu/RÜGES'2009. Samsun.
- MGM(a)(Meteoroloji Genel Müdürlüğü), 2006. Kahramanmaraş İklim Verileri, Ankara.
- MGM(b)(Meteoroloji Genel Müdürlüğü). URL(erişim tarihi: 09.01.2013) <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası>
- Nurbay, N., Çınar, A., 2005. Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu/YEKSEM. Mersin.
- Onat N., Ersoz S., 2011. Analysis of wind climate and wind energy potential of regions in Turkey, Energy 36 (2011) 148-56.
- Oral, F., Ekmekçi, İ., 2007. Rüzgar ölçüm istasyonu standartları ve Sakarya-Esentepe rüzgar ölçüm istasyonu. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu/YEKS'2007 S:271-279. Kayseri.
- Özcan İ., 2011. Isparta İlinde Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bir Rüzgar Santrali Tasarımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Isparta.
- 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) 725-43.
- Özerdem, B., Türkeli, H.M., 2005. Wind energy potential and micro sitting on Izmir Institute of Technology Campus, Turkey, Renewable Energy 30 (2004-5) 1623-1633.
- Özgür, M.A.,2006. Kütahya rüzgar karakteristiğinin istatistiksel analizi ve elektrik üretimine uygulanabilirliği. Doktora Tezi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.
- Öztopal, A., Şahin, A.D., Akgün, N., Şen, Z., 2000. On the regional wind energy potential of Turkey Energy. 25, 189-200 s.
- Rinne, H., 2009. The Weibull distribution. Taylor and Francis Group.
- RİTM(Rüzgar gücü izleme ve tahmin merkezi), URL(erişim tarihi:10.01.2013) <http://www.ritm.gov.tr/aboutUs/ritm.php>.
- Siemens. URL(erişim tarihi: 10.01.2013) <http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-generation/renewables/wind-power/wind-turbines/swt-6-0-154.htm#content=Technical%20specification>.
- Şahin, A.D., 2003. Hourly wind velocity exceedence maps of Turkey. Energy Conversion and

- Management 44 (2003) 549-557.
- Şahin, A.D., 2004. Progress and recent trends in wind energy. Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 501–43.
- Şen Z., 2000. Stochastic wind energy calculation formulation. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 84 (2000) 227-34.
- Şen, Ç., 2003. Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- TMMOB, 2010. Makine Mühendisleri Odası yayını. Türkiye'nin enerji görünümü oda raporu. Yayın No: MMO/2010/528. Ankara.
- Troen, I., Petersen, L.E., 1989. European wind atlas. Commission of the European Communities. Riso National Laboratory. Denmark.
- Turhal, S., 2009. Rüzgâr Türbinleri ve Kontrol Sistemleri. Yüksek Lisans Tezi. T. C., Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Hatay.
- Türkyılmaz, O., 2007. Türkiye'nin yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu/YEKS'2007, S:25-44. Kayseri.
- TÜSİAD, 2009. Kopenhag İklim Zirvesi değerlendirmeleri. TÜSİAD Basın Bülteni.
- Uçar A., Balo F., 2009. Investigation of wind characteristics and assessment of wind-generation potentiality in Uludağ-Bursa. Applied Energy 86 (2009) 333–39. Turkey.
- Ural, G., 1994. Rüzgar Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri I .17-22 Ekim. İzmir.
- Vardar A., 2005. URL (erişim tarihi: 12.06.2009)
<http://www.alivardar.net/SEMINERLER/SUNU%20web%20dd%2022%2002%202005.ppt>.
- Wang, F., Bai, L., Fletcher, J., Whiteford, J. and Cullen, D., 2008. The Methodology For Aerodynamic Study On A Small Domestic Wind Turbine With Scoop. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96, 1–24.
- WAsP, 2013. The Wind Atlas Analysis and Application Program. Wasp 10 Help Facility. URL(erişim tarihi:10.01.2013) <http://www.wasp.dk/Support.aspx>.
- Weisser D., 2003. A wind energy analysis of Grenada. An estimation using the 'Weibull' density function. Renewable Energy 28 (2003) 1803–12.
- YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü). URL(erişim tarihi: 10.01.2013)
http://www.eie.gov.tr/images/res_haritasi.png.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Ali Hakan YAZAR
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 11.12.1972 Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (0505) 347 41 38
Faks :
e-posta : alihakanyazar@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	ERCİYES Ü/ Makine Mühendisliği	1996
Lise	Kahramanmaraş Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1996-1998	Çimteks	Bakım Mühendisi
1998-2000	K. Maraş Kağıt Fabrikası	Mekanik bakım ve kalibrasyon sorumlusu
2000-2012	Özel İdare	

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1.

Hobiler

Amatör Fotoğraf Çekimi, Yüzme