

YAPILARDA RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI

Sevil TUTUNCHIAN

**YÜKSEK LİSAN TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENİSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2012

ANKARA

Sevil TUTUNCHIAN tarafından hazırlanan “YAPILARDA RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Cüneyt KURTAY
Tez Danışmanı, Yapı Anabilim Dalı

.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Cüneyt KURTAY
Yapı Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Yrd.Doç. Dr. Feriha YILDIRIM
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Yrd.Doç.Dr.İbrahim ATILGAN
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Tarih:21/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
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 bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sevil TUTUNCHIAN

YAPILARDA RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Sevil TUTUNCHIAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2012

ÖZET

Elektrik tüketiminin her geçen yıl artması, kullanılan kaynakların ise ağırlıklı olarak fosil kaynaklar oluşu ve bu kaynakların rezervlerinin sınırlı olması, elde edilme zorluğu ve dışa bağımlık gibi etkenler, yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemi artırmıştır. Ayrıca, fosil kaynakların kullanımı sonucu açığa çıkan sera gazlarının etkisi ile meydana gelen küresel ısınma ve hava kalitesinin bozulması gibi çevresel sorunlarda, yenilenebilir enerji kaynaklarını öne çıkaran diğer etkenlerdir. Enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgar enerjisinin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Türkiye’de de son yıllarda rüzgar enerjisinden yararlanarak elde edilen enerji üretimi artmıştır ve artmaya da devam etmektedir.

Bu çalışmanın ilk kısmında rüzgarın niteliği ve onu etkileyen faktörlerden bahsedilmiştir. Bunun yanı sıra dünya ve Türkiye’nin rüzgar potansiyeli ve rüzgar haritaları gözden geçirilmiştir. Sonrasında ise yükseklik, pürüzlülük ve türbülans gibi değerlerin rüzgardan elde edilen enerji üzerinde etkisi, Weibull ve rayleigh gibi farklı yöntemler kullanarak rüzgarın dağılımı ve potansiyelinin hesaplanma yöntemi incelenmiştir. Bu kısmın sonunda ise, rüzgar türbinlerinin yapısı ve sınıflandırması ele alınmıştır.

Çalışmanın uygulama bölümünde ise. Ankara kentinin güney batısında, İncek bölgesinde yer alan bir yapının enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Daha sonra bölgenin rüzgar karakteristiği ve saha topografisinin özellikleri de hesaba katılarak binanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek en uygun rüzgar türbin tipi seçimi yapılmıştır. Sahanın rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve optimizasyon çalışmalarında, Danimarkalı EMD International Firması tarafından geliştirilmiş olan WindPRO 2.7 ve Danimarka Teknik Üniversitesi'ne bağlı Risø Ulusal Laboratuvarı'nda geliştirilmiş olan WAsP 9.0 programları kullanılmıştır.

Bilim Kodu : 801.1.233
Anahtar Kelimeler : Rüzgar Enerjisi, Yenilenebilir enerji, Rüzgar türbini, Yapılarda rüzgar enerjisi
Sayfa Adedi : 130
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Cüneyt KURTAY

**THE USE OF WIND ENERGY IN BUILDINGS
(M.Sc. Thesis)**

Sevil TUTUNCHIAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2012**

ABSTRACT

Because of the increasing electrical consumption every year and the sources, which gets electrical energy, mostly depends on fossil sources, raises the importance of the renewable energy. Besides these, limited fossil sources, dependence on foreign country to get these sources and greenhouse gases, which arise from the use of fossil sources, cause global warming and deteriorate of the air quality another reasons to put forward of the renewable energy sources. Using windpower energy among the other energy sources to provide increasing energy demand has become prevalent in recent years. In Turkey, windpower energy production has increased and expected to increase continuously.

In the first part of this study, the quality of wind and it's effecting factors are discussed. In addition, wind potential and wind maps of world and Turkey has been reviewed. Then, the height, roughness and turbulence effects on energy which is obtained by wind, and also using different methods like Weibull and Rayleigh, calculation of distribution and potential of wind is investigated. At the end of this part, structure and classification of wind turbines are discussed.

In the application part of study, considering buildings, firstly, energy requirements for a structure in Incek, south-west part of Ankara, is calculated.

Then, considering wind characterization and site topography features, the most appropriate type of wind turbine, which is able to meet the needs of building's energy, is selected. In order to define wind potential of the site and optimization studies, WindPRO 2.7 software which is developed by Danish EMD International Company and WAsP 9.0 software which is developed by Risø National Laboratory of Danish Technical University were used.

Science Code : 801.1.233

Key Words : Wind energy, Renewable energy, Wind turbine, Wind energy in buildings

Page Number : 130

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Cüneyt KURTAY

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Sn. Doç. Dr. Cüneyt KURTAY'a ve Üniversite hayatım boyunca her zaman yol gösteren, desteğini esirgemeyen değerli hocalarım, Sn. Doç. Dr. Beril AKIN SALMAN, Yrd. Doç. Dr. Sn. Meltem YILMAZ, Doç. Dr. Sn. A. Çağlan KARASU BENLİ, Yrd. Doç. Dr. Sn. Feriha YILDIRIM sonsuz teşekkürlerimi bildiririm.

Maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın yapılmasında, değerli zamanlarını ayırarak çalımamı yönlendiren ve gerekli bilgi ve belgelerin sağlanmasında yardımcı olan ; ENERMET Enerji Meteoroloji Müşavirlik ve Mümessillik Limited Şirket'in Müdür, Meteoroloji Müh. Dr. Sn. Murat DURAK ve Proje Müdür Yardımcısı Sn. Dolunay GÜÇLÜER, ESS-ENERGY'nin Genel Müdür Sn. Kubilay ŞAHİN ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden Elektrik Mühendisi Sn. Bekir TURHAN ÇORBACIOĞLU'na çok teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
HARİTALARIN LİSTESİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xx
1. GİRİŞ	1
2. RÜZGARIN TANITIMI	6
2.1. Rüzgar	6
2.2. Rüzgarın Hareketine Etki Eden Faktörler	6
2.3. Rüzgar Türleri	9
2.4. Rüzgar Potansiyeli Ve Belirlenmesi	10
2.5. Dünya Rüzgar Haritası	11
2.6. Avrupa’da Rüzgar	13
2.7. Türkiye’yi Etkileyen Hava Kütleleri, Yerel Rüzgarlar ve Rüzgar Haritası	14
3. RÜZGAR ENERJİSİ	17
3.1. Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi	17
3.2. Rüzgar Enerjisi Ve Meteorolojisi	20

Sayfa

3.3. Dünyada Rüzgar Enerjisi	22
3.4. Avrupa’da Rüzgar Enerjisi	25
3.5. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi	27
3.6. Rüzgar Enerjisini Etkileyen Faktörler	30
3.6.1. Yükseklik	30
3.6.2. Pürüzlülük	31
3.6.3. Türbülans	34
3.6.4. Rüzgar engelleri	35
3.6.5. Wake (Iz) etkisi	37
3.6.6. Tepe etkisi	38
3.6.7. Tünel etkisi	39
3.7. Rüzgar Enerjisinin Hesaplamaları	40
3.8. Rüzgar İstatistikleri.....	42
3.8.1. Normal dağılımı	43
3.8.2. Weibull dağılımı	43
3.8.3. Rayleigh dağılımı	47
3.8.4. Aşırı hız dağılımı	47
3.9. Rüzgar Enerjisi SWOT Analizi	47
3.10. Rüzgar Enerjisinin Ekonomik Analizi	49
4 .RÜZGAR TÜRBİNLERİ	50
4.1. Tarihçe	50
4.2. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	52
4.2.1. IEC Türbin sınıflandırılması	52

Sayfa

4.2.2. Türbinlerin boyut ve güçlerine göre sınıflandırılması	53
4.2.3. Rüzgar geliş yönüne göre sınıflandırma	54
4.2.4. Rüzgar türbinlerinin kanat sayılarına göre sınıflandırma	54
4.2.5. Onshore ve offshore türbinler	56
4.2.6. Rüzgar yakalama tertibatları bakımından türbinleri sınıflandırma	57
4.2.7. Rotor ekseninin pozisyonuna göre sınıflandırma	58
4.2.8. Güçlerine göre rüzgar türbinleri	61
4.3. Rüzgar Türbinlerinin Parçaları	62
4.3.1. Kanatlar (Palalar)	63
4.3.2. Rotor	63
4.3.3. Düşük ve yüksek hızlı miller	63
4.3.4. Dişli kutusu	63
4.3.5. Jeneratör	64
4.3.6. Anemometre	64
4.3.7. Kontrol birimi	64
4.3.8. Regülatörler (Düzenleyiciler)	64
4.3.9. Hatve mekanizması	64
4.3.10. Rüzgar gülü	64
4.3.11. Sapma mekanizması ve sapma motoru	64
4.3.12. Disk fren	65
4.3.13. Kaporta (Nacelle)	65
4.3.14. Kule	65
5. ÖRNEK ÇALIŞMA	66

Sayfa

5.1. Örnek Yapının Tanıtılması	66
5.2. Örnek Yapının Elektrik İhtiyacı	67
5.3. Bölgenin Rüzgar Enerjisini Detaylı Hesaplaması ve Rüzgar Türbini Seçimi .	73
5.3.1. EMD' nin tanıtımı	73
5.3.2. WindPRO'nun tanıtımı	74
5.3.3. Haritayı tanıttirmek	74
5.3.4. Harita üzerinde topografyayı belirtmek	75
5.3.5. Harita üzerinde pürüzlülüğü belirtmek	76
5.3.6. Rüzgar dataları	78
5.3.7. Rüzgar istatistiklerinin hesaplanması	88
5.3.8. Türbin seçimi	93
6. DEĞERLENDİRME	113
7. SONUÇ	116
KAYNAKLAR	118
EKLER	123
EK-1.....	124
EK-2.....	129
ÖZGEÇMİŞ	130

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dünya üzerindeki farklı enlemlerde baskın rüzgar yönleri	8
Çizelge 3.1. Atmosferik hareketlerin zaman ve alan ölçeği	21
Çizelge 3.2. Beufort Skalası	22
Çizelge 3.3. 2009 yılı sonunda Dünyada toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke	24
Çizelge 3.4. 2009 yılı sonunda Avrupa’da toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke	27
Çizelge 3.5. 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle işletmedeki rüzgar santralleri	29
Çizelge 3.6. 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle inşaatı devam eden rüzgar santralleri	30
Çizelge 3.7. Rüzgar hızı ve Weibull parametrelerinin yönlere göre gösterimi	45
Çizelge 4.1. IEC Türbin sınıfları	53
Çizelge 4.2. Türbinlerin boyut ve güçlerine göre sınıflandırılması	53
Çizelge 5.1. örnek yapının elektrik ihtiyacı, tip A-I	68
Çizelge 5.2. örnek yapının elektrik ihtiyacı, tip A-II	69
Çizelge 5.3. örnek yapının elektrik ihtiyacı, tip B-I	70
Çizelge 5.4. örnek yapının elektrik ihtiyacı, tip B-II	71
Çizelge 5.5. örnek yapının elektrik ihtiyacı, tip B-III	72
Çizelge 5.6. örnek yapının elektrik ihtiyacı, tip B-IV	73
Çizelge 5.7. Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği	79
Çizelge 5.8. NCAR’a ait istatistikler	80
Çizelge 5.9. Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği	81
Çizelge 5.10. QSCAT’a ait istatistikler	83

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.11 Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği	84
Çizelge 5.12. METAR’a ait istatistikler	85
Çizelge 5.13. Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği.....	86
Çizelge 5.14. SYNOP’a ait istatistikler	88
Çizelge 5.15. NCAR’n rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu.	94
Çizelge 5.16. QSCAT’in rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu	95
Çizelge 5.17. METAR’n rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu	96
Çizelge 5.18. SYNOP’ın rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu	97
Çizelge 6.1. Türbinlerin ortalama üretim miktarının karşılaştırma tablosu	113
Çizelge 6.2. Türbinlerin kapasite faktörü karşılaştırma tablosu	114

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Coriolis kuvvetinin küresel rüzgarlara etkisi	8
Şekil 3.1. Pers Uygarlığında görülen dikey eksen tipli yel değirmeni diyagramı	17
Şekil 3.2. Pers Uygarlığında kullanılan bir başka yel değirmeni	17
Şekil 3.3. Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi	18
Şekil 3.4. Charles F. Brush tarafından yapılan rüzgar türbini	19
Şekil 3.5. Dünya teknik rüzgar potansiyel dağılım payları	23
Şekil 3.6. Dünya Toplam Rüzgar Kurulu Gücü	24
Şekil 3.7. 2009 yılı Eylül ayı sonu itibariyle birincil kaynaklara göre Türkiye'nin kurulu gücü	28
Şekil 3.8. Rüzgar kurulu gücünün yıllara göre artışı	28
Şekil 3.9. Rüzgar hızının yükseklikle değişimi	31
Şekil 3.10. Düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim	32
Şekil 3.11. Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği	33
Şekil 3.12. Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği	33
Şekil 3.13. Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi örneği	34
Şekil 3.14. Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi örneği	34
Şekil 3.15. Türbülansın hava akışına etkisi	35
Şekil 3.16. Doğal engellerin gösterimi	36
Şekil 3.17. Bir yapı üzerindeki akış için şiddet ve güç azalmasının ve türbülans artışının tahmini	37
Şekil 3.18. Wake (iz) etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri	38
Şekil 3.19. Tepe etkisi	39

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. Tünel etkisi	40
Şekil 3.21. Farklı şekil parametrelerine göre Weibull dağılımı	45
Şekil 3.22 Örnek hız dağılımları için oluşturulmuş Weibull dağılımı grafiği ve rüzgar gülü	46
Şekil 4.1. Poul la Cour'un test türbinleri	50
Şekil 4.2. Gedser rüzgar türbini	51
Şekil 4.3. Yıllara göre kurulu güç ve üretimin gelişimi	52
Şekil 4.4. Rüzgarın estigi yöne göre çalışma pozisyonu alan rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması	54
Şekil 4.5. Farklı Kanat Sayısında rüzgar türbinleri	55
Şekil 4.6 Günümüzde kullanılan offshore rüzgar türbini temelleri ve su derinlikleri	57
Şekil 4.7 Kuyruktan döndürme tertibatına sahip küçük rüzgar türbini	58
Şekil 4.8. Yatay eksenli sistem	59
Şekil 4.9. Düşey eksenli sistemler	60
Şekil 4.10. Modern bir rüzgar türbininin başlıca	62
Şekil 5.1. Örnek bina	67
Şekil 5.2. 42 ve 10 metre yüksekliğinin tüm eşzamanlı veriler için ortalama rüzgar ve arazi profili	79
Şekil 5.3 NCAR datalarına göre Rüzgar hızı/yönü	80
Şekil 5.4 İncelenen bölgenin 1981'den 2011'e kadar haftalık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü	81
Şekil 5.5. 10 metre yüksekliğin en sık gözüken sektörü için arazi profili	82
Şekil 5.6. QSCAT dataları için rüzgar hızı/yönü	82

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. İncelenen bölgenin 1999'dan 2008'e kadar haftalık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü	83
Şekil 5.8. 10 metre yüksekliğinin tüm eşzamanlı veriler için ortalama rüzgar ve arazi profili.....	84
Şekil 5.9. METAR datalarına göre rüzgar hızı/yönü	85
Şekil 5.10. İncelenen bölgenin 2003'ten 2010'a kadar günlük ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü	86
Şekil 5.11. 10 metre yüksekliğinin tüm eşzamanlı veriler için ortalama rüzgar profili ve en sık gözükten sektör için arazi profili	87
Şekil 5.12. SYNOP datalarına göre rüzgar hızı/yönü	87
Şekil 5.13. İncelenen bölgenin 2003'ten 2012'e kadar günlük ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü	88
Şekil 5.14. NCAR verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları	89
Şekil 5.15. NCAR verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini	90
Şekil 5.16. QSCAT verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları	90
Şekil 5.17. QSCAT verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini	91
Şekil 5.18. METAR verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları	91
Şekil 5.19. METAR verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini	92
Şekil 5.20. SYNOP verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları	92
Şekil 5.21. SYNOP verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini	93
Şekil 5.22. Proven WT6000-6 türbini başlıca bilgileri	99
Şekil 5.23. Üretim analizi	100

Şekil	Sayfa
Şekil 5.24. Güç eğrisi analizi	101
Şekil 5.25. Rüzgar dataları analizi	102
Şekil 5.26. Türbinin rüzgar data analizi	103
Şekil 5.27. Proven WT6000-6 türbininin Google earth ekranında görünümü	104
Şekil 5.28. THY MÖLLE -8 türbini başlıca bilgileri	105
Şekil 5.29. Üretim analizi	106
Şekil 5.30. Güç eğrisi analizi	107
Şekil 5.31. Rüzgar dataları analizi	108
Şekil 5.32. Türbinin rüzgar data analizi	109
Şekil 5.33. THY MÖLLE -8 türbininin Google earth ekranında görünümü	110

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Dünya Rüzgar Haritası	12
Harita 2.2. Avrupa rüzgar haritası	13
Harita 2.3. Türkiye Rüzgar Haritası	15
Harita 3.1. Avrupa Rüzgar Kurulu Gücünün Ülkelere Göre Dağılımı	25
Harita 3.5. Avrupa Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası	26
Harita 5.1. örnek binanın konumu	66
Harita 5.2. Bölgenin haritası	75
Harita 5.3. Sahanın topografyası	76
Harita 5.4. Pürüzlülük haritası	77
Harita 5.5. WasP programını kullanarak elde edilen pürüzlülük haritası	78
Harita 5.6. Harita üzerinde türbinin konumu	111

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Alan, m^2
A_H	Ortalama yatay kesit alanı, m^2
B	Basınç, mbar
b	Bina genişliği
C	Ölçek parametresi
e	Nisbi nem
E	Kinetik enerjinin, Wh
E_t	Toplam yıllık enerji üretim miktarı, Wh
$f(v)$	Rüzgar hızı olasılık fonksiyonudur
$Fe(v)$	Aşırı rüzgar hızı dağılımı fonksyonu
h	Yüksekli, m
K	Şekil parametresi
M	Ağırlık, kg
Mr	Aşırı rüzgar hızı tekrarlama periyodu
N	Örnek sayısı
P	Hava basıncı, bar
P_g	Rüzgar türbini güç eğrisi fonksiyonu, W
R	Gaz sabiti
S	Dikey kesit alanı, m^2
t	Zaman, sn
T	Sıcaklık, °C
V	Rüzgar hızı, m/sn
v_i	Rüzgar hızı, m/sn
$\bar{v}$	Rüzgar zaman serisinin ortalaması, m/sn
v_{max}	Devreden çıkma rüzgar hızı, m/sn

Simgeler v_{min} Z_0 A ρ ρ_t σ **Açıklama**

Devreye girme rüzgar hızı, m/sn

Pürüzlülük uzunluğu, m

Kanat hücum açısı, m^2 Havanın yoğunluğunu, kg/m^3 Yoğunluk, kg/m^3

Varyans

Ksaltmalar**CFRP****CISL****D.M.İ****DWIA****EEA****EFTA****EİE****EWEA****GRP****HAWT****IEC****KW****M.Ö.****MW****NASA****NCAR****NCEP****NSF****QSCAT****RDA****REPA****RGİ****Açıklama**

Carbon Fiber Reinforced Plastic

Computational and Information Systems Laboratory

Devlet Meteoroloji İşleri

Danish Wind Industry Association

European Enviroment Agency

European Free Trade Association

Elektrik İşleri Etüt İdaresi

European Wind Energy Association

Glass Reinforced Plastic

Horizontal Axis Wind Turbine

International Electrotechnical Commission

Kilowat

Milattan önce

Megawat

National Aeronautics and Space Administration

National Center for Atmospheric Research

National Cholesterol Education Program

National Science Foundation

QuikSCAT

Research Data Archive

Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası

Rüzgar Gözlem İstasyonu

Ksaltmalar**SRTM****TÜREB****VAWT****WasP****WMO****WWEA****Açıklama**

Shuttle Radar Topography Mission

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği

Vertical Axis Wind Turbine

Wind Energy Analysis and Application Program

Dünya Meteoroloji Organizasyonu

Danish Wind Energy Association

1. GİRİŞ

1850’li yıllarda başlayan sanayileşme ile birlikte özellikle fosil yakıtların kullanılması, arazi kullanımı değişiklikleri, ormanların tahribi ve çarpık sanayileşme gibi insan faaliyetleri neticesinde, sera gazları atmosferde birikerek atmosferin kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Uzun vadede ise sera etkisi yüzünden küresel ölçekte iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Dünya'nın atmosfere yakın yüzeyinin ortalama sıcaklığı 20. yüzyılda $0.6 (\pm 0.2) ^\circ\text{C}$ artmıştır ve eğer hiçbir önlem alınmazsa bu yüzyıl sonunda küresel sıcaklığın ortalama 2 derece artacağı tahmin edilmektedir. Bu da Tatlı su kaynaklarının azalması, gıda üretimi koşullarındaki genel değişiklikler ve seller, fırtınalar, sıcak dalgaları ve kuraklığa neden olmaktadır [kuresel-isinma.org].

Günümüzde enerji ihtiyacının giderek artması ve buna karşılık enerji kaynaklarının sınırlı olması “enerji sorununu” gündeme getirmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın temel girdilerinden olan enerji, 1970 yıllarında yaşanan petrol krizi pek çok ülkede olumsuz sorunlara yol açmıştır. Küreselleşen dünyada artan nüfus ve üretim miktarları, enerji arzında artışa neden olmuştur. Ülkenin ekonomik rekabet gücünü korumak, üretimin sürekliliğini sağlamak için sanayinin temel girdisi olan enerjinin zamanında ve yeterli miktarda temin etmek zorunda olan ülkeler yenilenebilir enerji kullanımına başvurmuşlardır.

Birinci enerji kaynaklarının eninde sonunda bitecektir. Petrol ve doğal gazın maksimum noktasına gelmiş bulunmaktayız. 2030 yılları civarında da kömürün maksimum elde edilme noktasına ulaşacağız. Bunun anlamıda 2050’le 2200 yılları arası bu kaynakların bitebileceğidir [wikipedia, 2011]. Birincil enerji kaynaklarında dışa olan bağımlılık, çeşitlendirmenin sınırlı kalması, çevresel etkiler göz önüne alınarak oluşturulacak enerji portföyünde yerli kaynak kullanımının verimli bir şekilde arttırılması gerekmektedir. Enerji çeşitliliği sağlayarak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için alternatif enerji kaynakları, Türkiye gibi kullandığı enerjinin %72’sini ithal eden ülkeler için son derece

önemli bir seçenektir. Türkiye'nin Elektrik üretimi için orta düzeyde verimli olan rüzgar enerjisi potansiyeli 40.000MW civarındadır. Bu potansiyel elektrik enerjisi üretimindeki kaynak dağılımındaki dengesizliğin düzlemesi için kullanılabilir.

Türkiye'de enerji ihtiyacının çoğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Global açıdan çevreye zarar veren kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtlar, çevre kirliliği bir yana ekonomik açıdan da Türkiye'yi üretici firmalara sahip ülkelere bağımlı hale getirmektedir. Bu nedenle, bugün dünyanın birçok ülkesinde yenilenebilir temiz enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu temiz enerji kaynakları güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biokütle olarak sıralanabilir[Güney, 1994]. Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu enerji, gelişmiş bir ülke olma çabalarından dolayı günden güne artmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın gereksinim duyduğu yenilenebilir enerji çeşitlerinin hepsi bulunmaktadır. Fakat kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve benzer etkiler nedeniyle bu enerji kaynaklarından istenildiği kadar yararlanılamamaktadır. Oysa Türkiye konumu dolayısıyla dünyanın kuvvetli ve etkin rüzgarlar bölgesinde yer almaktadır. Marmara, Ege, Akdeniz kıyıları dünya üzerinde rüzgar gücü potansiyeli en yüksek olan alanlar arasındadır. Türkiye'de rüzgar ölçümleri ve arazi durumu göz önüne alınarak yapılan teorik çalışmalar sonucunda, 400 Milyar kWh üzerinde doğal brüt potansiyel, 124 Milyar kWh civarında teknik potansiyel ve uygun yöreler için 14 milyar kWh 'ın üzerinde net ekonomik potansiyelin varlığı hesaplanmaktadır [Güney, 1994].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi, enerji miktarının belirlenmesinde ve planlanmasında güçlükler olması ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajlarının karşın, çevreyi kirletmemesi, hammadde maliyeti olmaması, ülkenin kendi kaynağı olup dışa bağımlılık yaratmaması gibi avantajları ile de öne çıkmaktadır. Rüzgar enerjisi teknolojileri giderek ilerlemekte ve ileriki yıllarda rüzgar enerjisinin bu talebi tatmin etmekte büyük rol oynayacağı açıkça görülmektedir.

Rüzgar enerjisi üzerinde çalışmaları bir kaç gruba ayırabiliriz. Bunlardan birisi rüzgar haritası oluşturmak ve bölgesel rüzgarların hızını ölçüp ve bölgenin türbin kurulması için uygun olup olmadığını belirlemek. Bir diğeri ise türbinlerin makine ve

elektrik kısmı ile ilgili araştırmalar ki sonuç yeni teknolojileri kullanmak anlamına gelmektedir. Üçüncü grup, türbinlerin kuruluşunun ekonomik boyutlarını araştırmaktır. Dördüncüsü ise türbinlerin çevresel etkileri üzerine yapılan çalışmalarıdır.

Rüzgar enerjisi ile ilgili bazı alışmalar :

Küresel rüzgar enerji politikası üzerine bir inceleme (R. Saidur, M.R. Islam, N.A. Rahim and K.H. Solang, Faculty of Engineering, University of Malaya, 2010), Rüzgar enerjisi ekonomisi (María Isabel Blanco, Department of Economics, University of Alcalá, 2008) bu iki yayın rüzgar enerjisinin ekonomikliği ve çalışmalarında izlenecek yol ile ilişkilidir.

Yařam döngüsü enerji ve rüzgar türbinlerinin sera gazı salınımını analizi ve enerji verimi üzerine büyüklüğünün etkisi (Faculty of Architecture, R.H. Crawford ,Building and Planning, The University of Melbourne, Australia, 2008), The dual sustainability of wind energy (Jonathan B. Welch and Anand Venkateswaran, Hayden Hall, College of Business, Northeastern University, 2008). Bu yayınlar rüzgar enerjisinin çevreye olan etkilerini incelemektedir.

Darrieus tipi düz kanatlı dikey eksen rüzgar türbinleri için Aerodinamik model (Mazharul Islam, David S.-K. Ting and Amir Fartaj, Department of Mechanical, Automotive and Materials Engineering, University of Windsor, Windsor, Ont., Canada, 2006), Rüzgar enerjisi teknolojilerini gözden geçirme (G.M. Joselin Herbert, S. Iniyan, E. Sreevalsan and S. Rajapandian, Department of Mechanical Engineering, St. Joseph's College of Engineering, India, 2005). Bu yayınlar ise rüzgar türbinlerinin teknolojisi ve tasarımı ile ilişkilidir.

Türkiye’ de rüzgar verilerini elde etmek ve rüzgar haritasını çizmekle Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) görevlendirilmiştir. Üniversite ve Enstitü olarak, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ege Üniversitesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitü’sünün çalışmaları var. Bunların bir kaçı bu şekilde sıralanabilir:

Denizli ilinin tavas ilçesine ait rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanması ve ekonomik analiz (İstanbul Teknik Üniversitesi, Serap Talayoęlu, 2010)

Farklı yükseklik ve örnekleme aralıklarındaki rüzgar verilerinin rüzgar potansiyeli tahminine etkisinin incelenmesi (İstanbul Teknik Üniversitesi, Ebubekir Fırtın, 2010)

Rüzgar Özellikleri Analiz ve Amasra için uygun Rüzgar Türbini Tayini (İstanbul Teknik Üniversitesi, S.A Akdağ, Ö. Güler., 2010)

Türkiye için Rüzgar Enerji Yatırım Faiz ve Elektrik Üretim Maliyet Analizi Değerlendirmesi (İstanbul Teknik Üniversitesi, S.A Akdağ, Ö. Güler., 2010)

Türkiyede kurulu olan büyük güçlü rüzgar santrallerinin genel değerlendirmesi (Atakan Şenkal, Ege Üniversitesi, 2009)

Rüzgar-pv otonom hibrid güç sistemlerinin algoritmik bir yaklaşımla optimal tasarımı (Fırat Salmanoğlu , Ege Üniversitesi, 2009)

Çeşme turizm ve otelcilik yüksekokulunda kurulu bulunan otonom rüzgar türbinlerinin modernizasyonu (K.Atilla Toker , Ege Üniversitesi , 2008)

Rüzgar enerjisi potansiyeli ve ekonomik analizinde weibull dağılımının kullanımı (İstanbul Teknik Üniversitesi, Seyit Ahmet Akdağ, 2008)

Rüzgar enerjisi üretiminde depolama tekniği ve tahmin sistemleri kullanılarak enerji yönetim sisteminin geliştirilmesi (İstanbul Teknik Üniversitesi, Bünyamin Yağcıtekin, 2008)

Türkiye'deki rüzgar enerji potansiyeline göre türbin güçlerinin saptanması ve tasarımı (İstanbul Teknik Üniversitesi, Barış Samsun, 2004)

Yapılaşma faaliyetleri, her yıl küresel olarak kullanılan enerjinin %40'ını tüketmektedir. Türkiye'de de konut/ hizmet sektörünün enerji tüketimindeki payı, yüksektir. Bu enerjinin genel olarak fosil kaynaklı olması sorunu artırmakta ve yapı sektörüne büyük sorumluluklar yüklemektedir. Bu nedenlerle, enerji kullanan her sektör gibi yapı sektörünün de enerjiyi etkin kullanma zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Yapılarda enerji korunumu sağlamanın etkili yöntemlerinden biri de, sınırlı kaynaklar yerine yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjiyi kullanmaktır [Yüksek ve ark, 2009].

Bu çalışmada rüzgarın niteliği ve onu etkileyen faktörlerden bahsedilmiştir. Bunun yanı sıra dünya ve Türkiyenin rüzgar potansiyeli ve rüzgar haritaları gözden geçirilmiştir. Üçüncü bölümde yükseklik, pürüzlülük ve türbülans gibi değerlerin rüzgardan elde edilen enerji üzerinde etkisi, ve Weibull ve rayleight gibi farklı yöntemler kullanarak rüzgarın dağılımı ve potansiyelinin hesaplanma yöntemi incelenmiştir. Dördüncü bölümdeyse rüzgar türbinlerinin yapısı ve sınıflandırması ele alınmıştır.

Beşinci bölümde, örnek olan seçilen bir yapının enerji ihtiyacının sağlanması için rüzgar türbinlerinin kurulup, kullanılması ele alınmıştır. Bunun için ankara kentine yakın, İncek bölgesi seçilerek örnek yapının enerji ihtiyacı hesaplamaları yapılmıştır, sonra Danimarkalı EMD International Firması tarafından geliştirilmiş olan WindPRO 2.7 ve Danimarka Teknik Üniversitesi'ne bağlı Risø Ulusal Laboratuvarı'nda geliştirilmiş olan WASP 10 programları kullanarak sahanın elde edilen topografik harita üzerinde pürüzlülük haritası oluşturulmuştur. Elde edilen rüzgar verileri ile rüzgar türbini kurulacak bölge için analizler yapılarak küçük ölçekli farklı rüzgar türbini arasından en uygun türbin seçimi yapılmıştır.

2. RÜZGARIN TANITIMI

2.1. Rüzgar

Rüzgar genel olarak hareket halindeki hava olarak tanımlanmaktadır. Atmosferdeki mevcut toplam enerji potansiyel ve kinetik enerji olarak ikiye bölünür. Rüzgarlar, basınç kuvvetlerinin bir ürünü olarak atmosferdeki potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün sonuçlarıdır.

Ana enerji kaynağı güneş olan rüzgar, dünyanın eğriliği, dönme ekseninin eğimi ve dünya yüzeyinin homojen olmayan yapısı nedeniyle, yer yüzeyinin homojen olarak ısınamaması ve soğuyamamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan basınç farklılıkları ile havanın hareket etmesi sonucu oluşur.

Dünya’da yatay bir yüzeye ulaşan enerji miktarı, küresellik dolayısıyla, kutuplara doğru azalır. Yer yüzeyi tarafından absorblanan enerjiyi etkileyen diğer önemli faktörler bulutluluk ve yüzeyin elektromanyetik ışıınımı yansıtma oranıdır [Menteş, 2008].

Rüzgarlar yüksek basınç alanından, alçak basınç alanına akarken;

Dünyanın dönüşü,

Yüzey sürtünmeleri,

Yerel ısı yayılması,

Rüzgar önünde başka atmosferik hadiselerin oluşu,

Toprağın topoğrafik yapısı sebebiyle şekillenir[Turhan, 2009].

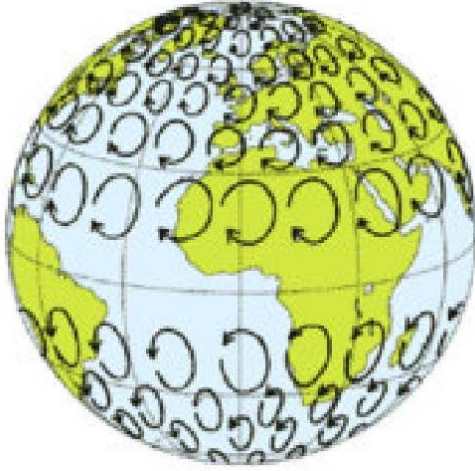
2.2. Rüzgarın Hareketine Etki Eden Faktörler

Hava hareketinin temel sebebi, basınç farklılığıdır. Ancak dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, rüzgarın hareketine etki eden büyük ölçekli hava hareketlerini ortaya çıkarır. Bunlar, Coriolis ve santrifüj etkisi olarak kabul edilmektedir [(Şen, 2002), (Burton, 2001), (Wizelius,2007)]. Hava hareketlerini etkileyen bu doğal

olaylar olmasaydı, rüzgar, dünya üzerinde tek düze bir hareket gerçekleştirecekti. Bu durum şu şekilde açıklanabilir;

Ekvator ve çevresi (0 derece enlemi) güneş ışınlarının yer yüzeyine geliş açılarındaki farklılıklardan dolayı, güneş tarafından diğer enlemlere göre daha çok ısıtılır. Farklı ısınma ve farklı sıcaklık derecesi sebebiyle meydana gelen basınç gradyenti, hava dolaşımını başlatmış olur. Sıcak hava soğuk havadan daha hafiftir. Isınma sonucunda sıcak hava yukarı doğru yükselir. Bu yükselme, yaklaşık olarak 10 km yüksekliğe kadar uzanır. Yükselen hava bu yükseklikte kuzeye ve güneye doğru ayrılır. Eğer yerküre dönmemiş olsaydı yükselen hava basit olarak kuzey ve güney kutuplara gidecekti, kutuplarda soğuyarak aşağı çöken hava, yeniden ekvatora doğru hareket ederek sürekli çevrimine devam edecekti. Ancak dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinden dolayı bu hava hareketleri tekdüze değildir. Isınarak kutuplara doğru hareket eden havanın, 30° enlemlerden daha yüksek enlemlere hareketi önlenerek kuzeye ve güneye doğru saptırılır. Fransız matematikçisi, Gustave Gaspard Coriolis'in (1792-1843) keşfettiği ve onun onuruna atfen Coriolis etkisi olarak anılan bu olay sayesinde, havada bulunan tüm partiküller ivmelenir ve dairesel bir hareket yapar. Kuzey yarım küre ile güney yarım kürede bu etki terstir. Şekil 2.1'de görüldüğü üzere Coriolis kuvveti sayesinde hava akımları dairesel bir hareket halini alırlar. Aslında Coriolis kuvveti bir kuvvet değildir, yalnızca dünyada belli bir yerdeki hava parselinin yatay olarak hareketine bir bakış açısı salar. Basınç gradyanları arasındaki akış, asıl rüzgarın hareket kuvvetidir [(Şen, 2002), (Burton, 2001), (Karadeli, 2001)].

Dönen bir cisim üzerinde yaptığınız doğrusal hareket, aslında bağıl olarak doğrusaldır. Ancak hareket, cismin dönmesi dolayısıyla dairesel bir hal alır.



Şekil 2.1. Coriolis kuvvetinin küresel rüzgarlara etkisi

Hava hareketleri durağan bir duruma ulaşınca Coriolis kuvvetleri basınç farkı (gradyenti) kuvvetleri ile dengelenir. Bunun sonucunda eşbasınç çizgileri boyunca bir hareket ortaya çıkar. İşte bu rüzgarlara da jeostrotofik rüzgar adı verilir. Gerçek hava akımları 600 m veya daha yukarıları için bu ideal hava hareketine uyar. Coriolis kuvvetinden dolayı baskın rüzgar yönleri enlemlere göre Çizelge 2.1’deki gibi oluşur ancak bunlar yerel coğrafik yapıdan da etkilenebilmektedir [(Şen, 2002), (Burton, 2001), (Karadeli, 2001)].

Çizelge 2.1.Dünya üzerindeki farklı enlemlerde baskın rüzgar yönleri [(Şen, 2002), (Burton, 2001), (Karadeli, 2001)]

Enlem	90-60 N	60-30 N	30-0 N	0-30 S	30-60 S	60-90 S
Yön	NE (Kuzeydoğu)	SW (Güneybatı)	NE (Kuzeydoğu)	SE (Güneydoğu)	NW (Kuzeybatı)	SE (Güneydoğu)

Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan bir diğer etki ise merkezkaç kuvvetidir. Dönme etkisi ile havadaki her partikülün batıdan doğuya doğru yönelmiş bir açısal momentumu vardır. Partikül kutuplara doğru hareket ederken (yaklaşık aynı yükseklikte kalmak şartı ile) dönme eksenine doğru daha da yaklaşırlar. Açısal momentumun korunumu dolayısıyla partikülün batı-doğu istikametinde kat ettiği yol kısaldığı için şiddet bileşeninde bir artma meydana gelir.

Bu etki, ekvator civarında çok azdır, ama orta bölgelerde bunlar batılı rüzgarları meydana getirir ve her iki yarım kürede de genel akım yönünün aksi istikametindedir. Ticaret ve Batılı rüzgarlar rüzgar enerjisi üretimi için en iyi yörelerdir [Şen, 2002].

2.3. Rüzgar Türleri

Tüm dinamik hava olayları, atmosferin yeryüzeyine en yakın tabakası olan toposfer denilen katman içerisinde meydana gelirler. Rüzgar türleri, kutuplar ile ekvator arasındaki hava hareketlerine bağlı olan küresel rüzgarlar, Coriolis ve merkezkaç kuvvetinin sebep olduğu bölgesel rüzgarlar ve özellikle rüzgardan enerji üretimi açısından oldukça önemli olan denizler, karalar, dalar ve vadiler arasındaki hava akımlarına dayalı yerel rüzgarlar olarak sayılabilir.

Yüzey rüzgarları, yeryüzeyinden yaklaşık 100 m yükseklik içerisinde tanımlanır ve yeryüzeyinden çok etkilenir. Yere yakın seviyelerde yüzey rüzgarlarının yönünün jeostrofik rüzgarlardan farklı olmasının sebebi budur. Rüzgar enerjisinden yararlanmanın asıl konusu da yüzey rüzgarlardır. Bunlar, belirli bir alanda baskın rüzgar yönünü belirlemede önemlidir. Yerel rüzgarlar büyük ölçekli rüzgarlara katkıda bulunurlar. Büyük ölçekli rüzgarlar zayıf olduklarında yerel rüzgarlar, rüzgarın şeklini belirler. Dağ, vadi rüzgarı ile deniz ve kara meltemi yerel rüzgarların önemlileridir [Karadeli, 2001].

Dağ ve Vadi Rüzgarları: Dağ ve vadilerin farklı ısınmasının sonucunda meydana gelirler. Burada etkiyi meydana getiren, nem oranlarının farklı olmasıdır. Dağlarda nem oranı az olduğundan vadi ve ovalara göre daha erken ısınır, daha erken soğurlar. Gündüz vadi meltemi, gece ise dağ meltemi olur [Karadeli, 2001].

Deniz Meltemi: Kara üzerindeki hava kütlesi, güneş tarafından gündüz deniz üzerindeki hava kütesinden daha çabuk ısıtılır. Deniz üzerindeki izafi olarak daha yüksek basınç alanına sahip hava kütlesi alçak basınç alanına doğru hareket ederek deniz meltemini meydana getirir [Karadeli, 2001].

Kara Meltemi: Akşam saatlerinde, kara ve deniz sıcaklıklarının eşitlenmesi sürecinde hava sakindir. Gece ise, kara denizden daha çabuk soğuduğu için deniz alçak basınç

alanı oluşturur ve tersine hareket başlar. Buna kara meltemi denir. Bu rüzgarların şiddetleri, kara ve deniz sıcaklıkları birbirine yakın olduğu için daha azdır [Karadeli, 2001].

2.4. Rüzgar Potansiyeli ve Belirlenmesi

Rüzgar enerjisi santrallerinin projelendirilmesi ve ekonomisi; seçilen santral sahasından üretililecek enerji miktarına bağlı olmaktadır. Bu enerji miktarının tespiti için seçilen proje sahasına ait topoğrafik yapı göz önüne alınarak uygun nokta veya noktalara rüzgar gözlem istasyonu (RGİ) kurulmalıdır. Rüzgar enerji sistemlerinin tasarımı, planlanması ve çalıştırılması için rüzgarın karakteristiklerinin tüm detaylarıyla bilinmesi gerekmektedir. Türbin yerleşimi ve rüzgar enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için uzun süreli güvenilir verilere ihtiyaç duyulmaktadır [EİE, 2011].

Rüzgar enerjisinden yararlanmak amacıyla sürdürülen çalışmaların ilkinin potansiyel belirleme çalışmaları oluşturmaktadır. Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli rüzgar hızlarının küpüyle orantılıdır. Bu nedenle rüzgar hızı ölçümlerinde yapılabilecek ölçüm hatası, santral sahasının rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesindeki doğruluğu etkiler. Ölçüm periyodunun uzatılması ve mümkünse türbin göbek yüksekliğinden alınacak rüzgar ölçümleri rüzgar potansiyelini daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır. Ayrıca, elde edilen rüzgar ölçüm kayıtları yakın istasyonlarla veya aynı ölçüm noktasından alınan uzun dönem rüzgar ölçüm kayıtlarıyla karşılaştırılıp değerlendirilmelidir. Rüzgar ölçüm verileri mümkün olduğunca sürekli olmalı, kesintili ve eksik olmamalıdır.

Türkiye’de genel amaçlı rüzgar ölçümleri diğer meteorolojik ölçümlerle birlikte D.M.İ tarafından yapılmaktadır. Bu amaçla, D.M.İ.’ne ait istasyonların 1970-1980 yılları arasındaki kayıtları değerlendirilmiş ve ülke genelindeki doğal rüzgar enerjisi dağılımı genel olarak belirlenmiştir. Ancak, rüzgardan elektrik enerjisi üretimine yönelik çalışmalarda ayrıntılı rüzgar potansiyel değerlendirme çalışmaları gerekli olmaktadır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye’de, ilk aşamada belirlenmiş olan ve rüzgar enerjisi umut verici yerlerde yapılan etütler ile rüzgardan enerji üretimine

elverişli olabilecek bölgelere rüzgar enerji gözlem istasyonları kurulup veri toplanmaya başlanmıştır. Bu istasyonlarda düşük güçlü mikro işlemci kontrollü veri toplama sistemleri kullanılmaktadır. Ölçümler çoğunlukla 10 metre yükseklikte alınmakla birlikte 30 metre yükseklikte alınan ölçümlerde mevcuttur. Veriler birer saatlik ve 10 dakikalık periyotlarla toplanmakta, yazılım programı kullanılarak işlenmekte ve arşivlenmektedir.

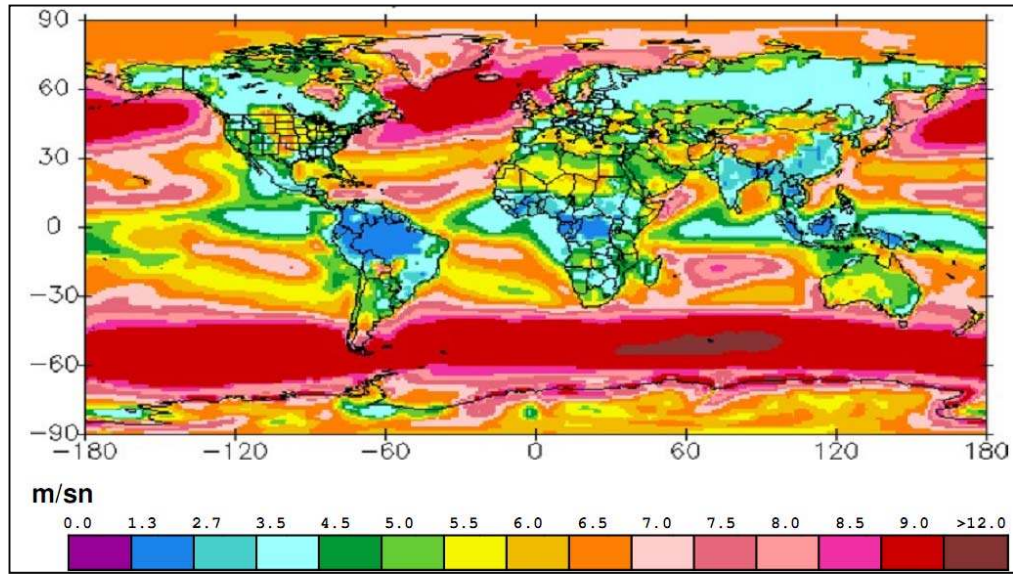
Çeşitli ülkelerce hazırlanıp kullanıma sunulan ve bir alandaki rüzgar ölçüm parametrelerini kullanarak rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesine yardımcı olan bilgisayar programları mevcuttur. Bu bilgisayar programların başında Danimarka RISO Ulusal Laboratuvarında geliştirilmiş olan ve Avrupa kıtasının rüzgar atlasının hazırlanmasında kullanılan WASP (Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı) bilgisayar programı gelmektedir. WASP bilgisayar programı rüzgar hız ve yön bilgileri ile rüzgar gözlem istasyonu çevresindeki engellerden, arazi yüzey pürüzlülüğü ve arazinin topoğrafik özelliklerinden yola çıkarak bölgesel rüzgar atlas istatistiklerinin ve enerji potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

2.5. Dünya Rüzgar Haritası

Rüzgarın oluşmasında en temel etken bölgesel sıcaklık farklılıklarıdır, sıcaklık farklılıkları çeşitli etmenlere bağlı olarak alçak ve yüksek basınç merkezleri meydana getirir. Harita 2.1’de görüldüğü gibi, ekvator bölgesinde genellikle yerel sıcaklık farklılıklarından ve yüzey ısınmasından kaynaklanan rüzgarlar oluşmaktadır. Ekvator bölgesinde rüzgarın daha az olmasının sebebi

ısıyan havanın ve Coriolis kuvvetin etkili olmamasındandır. Ekvator da meydana gelen rüzgar tiplerinin çoğu yerel sıcaklık farklılıklarından meydana gelen rüzgarlardır.

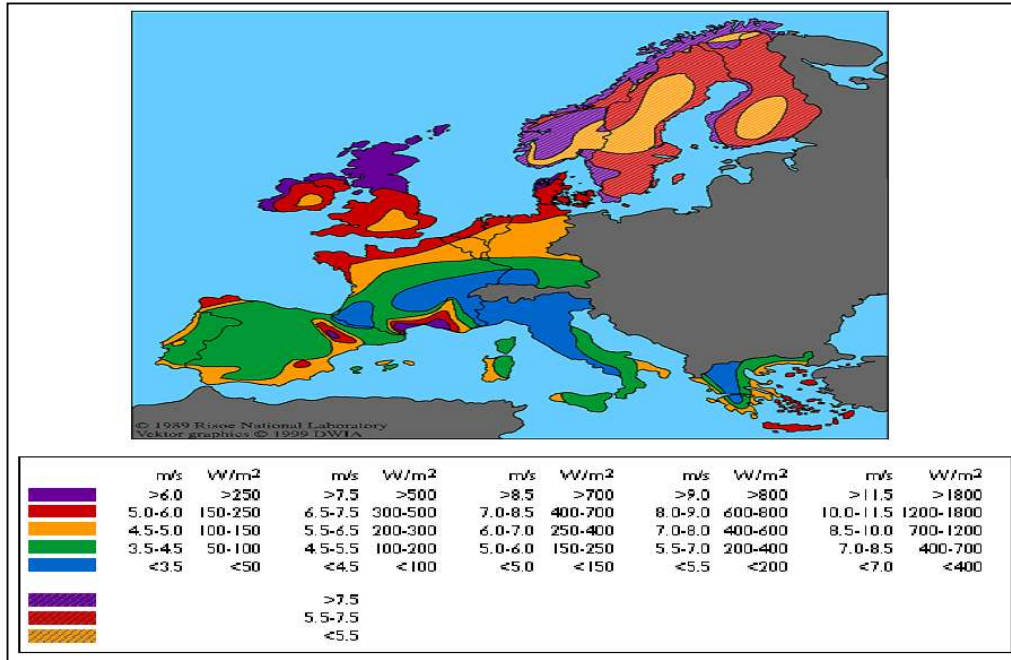
Ekvator gece gündüz sıcaklık farklılıkları çok olduğundan dolayı genelde meltem rüzgarları hüküm sürmektedir. Dünyanın en rüzgar alan bölgeleri 30-45 enlemleri arasındır..



Harita 2.1. Dünya Rüzgar Haritası (NASA surface meteoroloji and solar energy)

Rüzgar akımını yeryüzü şekilleri etkilemektedir. Açık denizlerde sürekli rüzgarlar bulunurken karalarda bu sürekli rüzgarlar bulunmayabilir bunun sebebi ise karalarda bulunan yükseltilerdir. Dağlar rüzgar akışını azaltmakta veya yönünü değiştirmektedir. Bu yüzden rüzgar türbinleri kurulurken tam dağların zirvelerine değil dağların boğaz kısımlarına kurulmaktadır. Buralarda rüzgar yönü şiddeti sabittir, çünkü rüzgar hızını engelleyebilecek alanlar yoktur [Yücel, 2009].

2.6. Avrupa’da Rüzgar



Harita 2.2. Avrupa rüzgar haritası [TÜREB, 2010]

Avrupa’nın rüzgar potansiyeli Türkiye ile karşılaştırıldığı zaman Türkiye Çanakkale civarındaki rüzgar çoğu Avrupa ülkesinden (Avrupa kıtası iç kısımlarında bulunan ülkeler) daha verimli konumdadır. Çanakkale yöresinde ortalama rüzgar 7-8m/sn iken Harita 2.2’de görülen sarı, yeşil, mavi olan bölgelerdeki ortalama rüzgar hızı daha düşük seviyelerdedir.

Rüzgar İngiltere başta olmak üzere, Almanya, Hollanda, Fransa ve İspanya, rüzgar potansiyeli konusunda verimli olduğu görülmektedir. Ortalama rüzgar hızı 5,2 m/sn üzerindeki bölgeler türbin kurulma açısından verimli olduğu kabul edilmektedir. Bu ülkeler geçen 20 yıl içinde kullandıkları %30’lara varan kısmını rüzgar gücünden faydalanarak üretmektedirler [TÜREB, 2010].

2.7. Türkiye'yi etkileyen hava kütleleri, Yerel Rüzgarlar ve Rüzgar Haritası

Hava kütlesi, büyük uniform(özellikleri her yerde aynı) yüzey üzerinde bu yüzeyle denge durumuna erişinceye kadar kalan yatay doğrultuda özellikle sıcaklık ve nem bakımından homojen olan büyük hava parçalarıdır. Türkiye soğuk aylarda kutuplardan gelen kutupsal, sıcak aylarda ise, tropiklerden gelen tropikal hava kütlelerinin etkisi altındadır. Bu hava kütlelerinin genel özellikleri [Durak, 2008]:

1. Sibirya üzerinden gelen cP hava kütlesi karasal karakterli soğuk ve kurudur. Kış aylarında sis ve ayaza neden olur, bazen Karadeniz'i geçerken nem kazanarak orografik yağışlar yağabilir.
2. Atlas okyanusundan gelen mP hava kütlesi, Avrupa ülkeleri ve balkanları geçerek Ülkemizi etkiler. Yerde belirgin olmayan alçak basınç sistemleri ile gelmedikleri için kararsızlık yağışları yapar. Yağış olarak Karadeniz sahilinde yağmur, iç kesimlerde kar bırakabilir. Akdeniz üzerinden geldiğinde ise daha fazla etkili olur ve her türlü yağış bırakabilir.
3. Akdeniz üzerinden gelen mT hava kütlesi sıcak ve nemli karakterli olduğu için batı bölgelerinde oldukça yağış bırakır.
4. cT hava kütlesi ise Kuzey Afrika üzerinden gelir karasal sıcak ve kurudur. Kuzey sistemlerle karşılaşır Akdeniz cephesini oluşturup yağış bırakabilir. Diğer taraftan Akdeniz'den geçerken yeterli ölçüde nem kazandığı takdirde yine yağış yapması söz konusudur. Zaman zaman gördüğümüz çamur yağışları da bu hava kütlelerinin Türkiye'yi etkilemesinin bir sonucudur.

Rüzgarlar estikleri yönler göre isim alırlar. Kuzeyden esene yıldız, güneyden esene kible, doğudan esene gündoğuğu, batıdan esene günbatısı, kuzeydoğudan esene poyraz, kuzeybatıdan esene karayel, güneydoğudan esene keşişleme, güneybatıdan esene ise lodos denir. Bazı rüzgarın özellikleri aşağıda verilmiştir[Durak, 2008]:

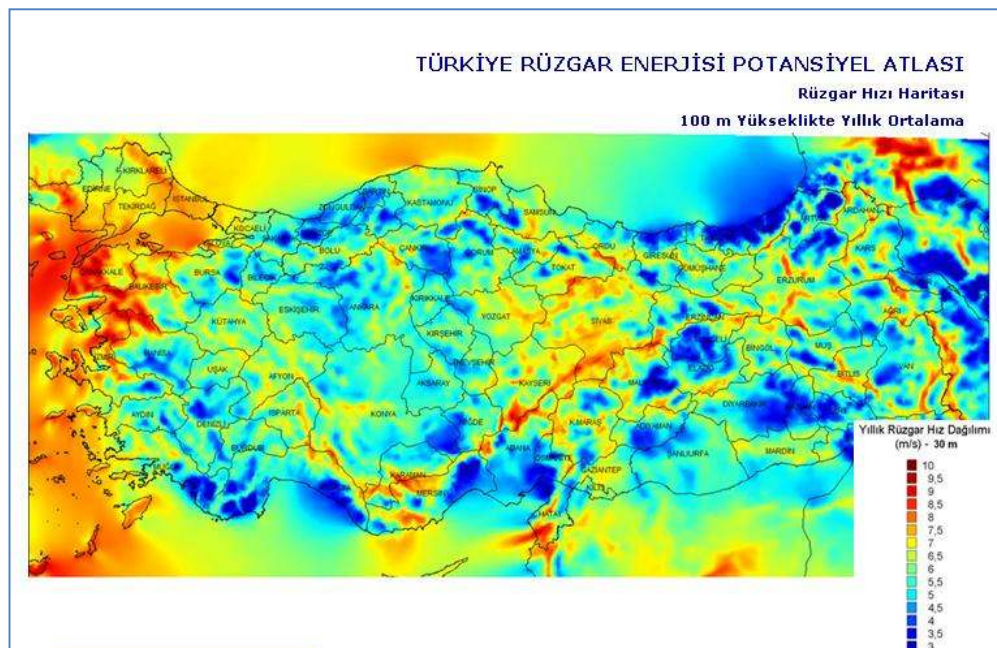
İmbat: İzmir ve çevresinde Ege denizinden yazın tam kuzeyden esen meltem rüzgarıdır.

Karayel: Kuzeybatı yönünden esen rüzgarlara verilen addır. Geçici siklonların sokulduğu kış mevsimlerinden görülür. Siklonların soğuk cephesinin geçişini izler. Genellikle sıcakların düşmesine ve yağmur veya kar yağışına sebep olur.

Lodos: Güneybatıdan esen rüzgarlara verilen addır. Gezici siklonlarının(fırtına) ülkemize sokulduğu kış mevsiminde çok görülür. Bu siklonların sıcak cephesinin geçişini izler. Sıcakların yükselmesine neden olur. Lodos özellikle İstanbul bölgesinde görülen güneybatılı bir rüzgardır. Daha çok kış aylarında görülür. Sıcak ve nemli rüzgarlardır.

Poyraz: Özellikle kış mevsiminde daha sık görülür. Bu mevsimde ülkemiz üzerine Rusya ve Sibiryâ üzerinden kutupsal havayı getirir. Sıcaklığın belirgin olarak düşmesine neden olur. Yaz mevsiminde aşırı yüksek basınç alanından Basra üzerindeki alçak basınç alanına doğru ilerleyen deniz üstü hava kütlelerinin Ege ve Türkiye üzerinde sapmaya uğrayarak kuzey doğudan esen poyraza dönüşür.

Bu mevsimde serinletici etkisi vardır. Karadeniz, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinde kuzeydoğudan esen soğuk ve şiddetli rüzgardır. İstanbul ve civarının hakim rüzgarıdır[Durak, 2008].



Harita 2.3. Türkiye Rüzgar Haritası [TÜREB, 2010]

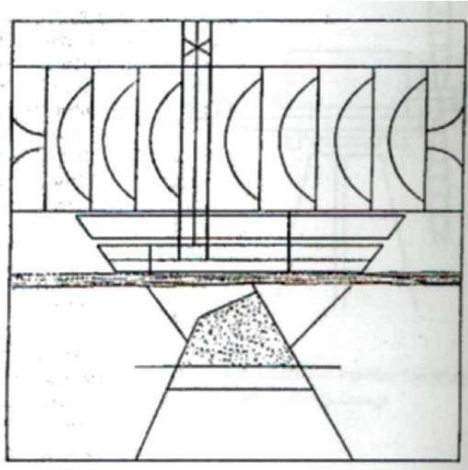
Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli konusunda Avrupa'daki çoğu ülkeden daha fazla şansa sahiptir. Bu potansiyeli değerlendirme konusunda ise Avrupa ülkelerinden geri konumdadır. Harita 2.3'de görüldüğü gibi Türkiye'nin batı kıyı bölgelerinde rüzgar potansiyeli daha çok yoğunlaşmıştır.

Haritadan Türkiye'nin en çok rüzgar alan bölgesinin, hem alan bakımından hem de rüzgar şiddeti bakımından Çanakkale ve çevresi olduğu görünmektedir. 100m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı 10 m/sn civarındadır[yücel, 2009].

3. RÜZGAR ENERJİSİ

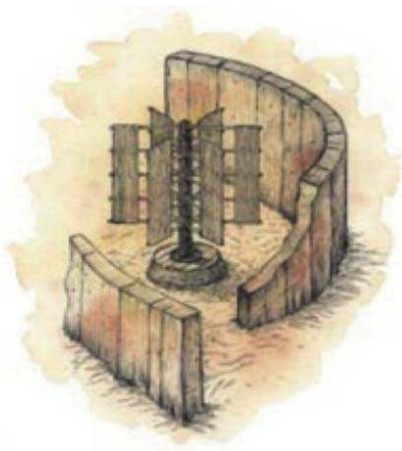
3.1. Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

Rüzgar enerjisi Milattan Önce (M.Ö.) 5000’li yıllarda ilk defa Nil nehrinde kayıkları hareket ettirmek amacıyla kullanılmıştır. M.Ö. 2000’li yıllarda Çin’de su pompalama amacıyla kullanılan, M.Ö. 700’lü yıllarda Farşlıların kullandığı rüzgar türbinleri hakkında yazılı ilk bilgiler Büyük İskender tarafından M.Ö. 200-300 yıllarında basit yapılı yatay eksenli rüzgar türbinleri hakkında yazılmıştır [Golding, 1955].



Şekil 3.1. Pers Uygarlığında görülen dikey eksen tipli yel değirmeni diyagramı

[Yalçın, 1998]



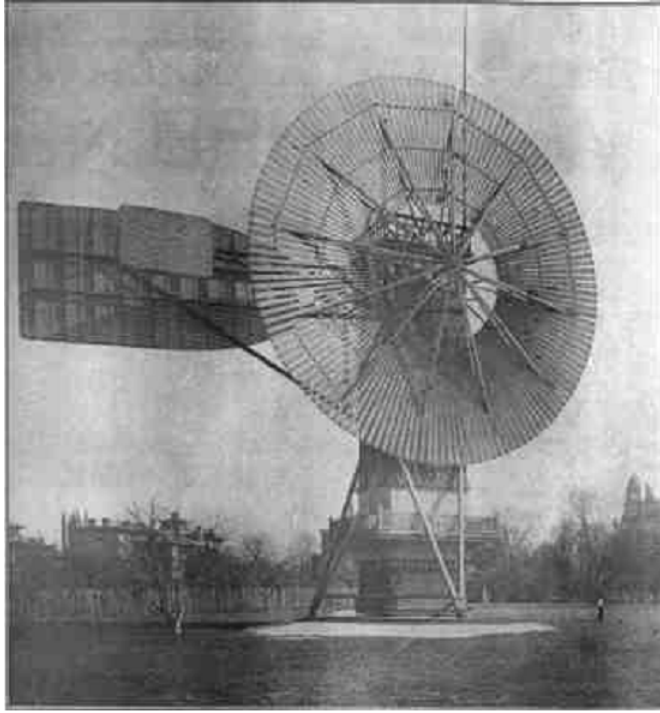
Şekil 3.2. Pers Uygarlığında kullanılan bir başka yel değirmeni [newton, 2011]

Rüzgar türbinlerinin Avrupa'ya ilk geçişi ise Haçlı seferleri sırasında Türkler'le yapılan temaslar sonrası olmuştur [Ültanır, 1996]. 11. ve 12. yüzyılda daha çok kuyulardan su çekmek amacıyla İngiltere'de rüzgar milleri kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi [newton, 2011]

18. yüzyılda Hollandalı göçmenler tarafından Amerika kıtasına taşınan rüzgar türbinleri, sanayi devrimi ile birlikte buhar makinelerine yenik düşmüş ve popüleritesini yitirmiştir. Elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan ilk rüzgar türbini ise 17 metre çapında 144 adet rotor kanadından oluşmaktadır ve 1890 yılında Amerika'da General Electric şirketinin kurucularından olan Amerikalı Elektrik Mühendisi Charles F. Brush tarafından yapılmıştır. Avrupa'da ilk rüzgar türbini ise 1891 yılında Danimarkalı Meteorolog Poul La Cour tarafından yapılmıştır.



Şekil 3.4. Charles F. Brush tarafından yapılan rüzgar türbini [www.newton.mec.edu]

İkinci dünya savaşı yıllarından 1956 yılına kadar Danimarka’da iki ve üç kanatlı bir çok türbin kurulmuş, bu dönemde ön plana çıkan üç kanatlı türbinler Danimarka konsepti olarak anılmaya başlanmıştır. Günümüzde kullanılan modern rüzgar türbinlerinin temelini ise 1957 yılında tasarladığı 200 kW’lık asenkron jeneratörlü, elektromekanik hareket ve yönelme kabiliyetine sahip türbin ile Poul La Cour’un öğrencisi Johannes Juul atmıştır [DWIA, 2009].

1960’lardan sonra motorların yaygınlaşması ve elektrik üretimindeki gelişmeler sonucu ekonomik nedenlerle ikinci planda kalan rüzgar türbinleri 1970’li yıllarda meydana gelen petrol krizi sonrası tekrar gündeme taşınmıştır. 1980’li yıllarda evlerin ihtiyacını karşılayabilecek küçük türbin tasarımlarının ardından 1981 yılında Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO)’nun yürüttüğü bazı deneylerde rüzgar enerji kaynağı olarak kullanılmış ve rüzgar çiftlikleri kurulmaya başlanmıştır [Durak, 2000].

3.2. Rüzgar Enerjisi Ve Meteorolojisi

Rüzgarın oluşumu ilk çağlardan bu yana insanları meşgul etmiştir. Konuyu ilk olarak Aristoteles “Meteorologica” isimli kitabında anlatmaya çalışmıştır. Meteoroloji biliminin ilk kitabı olan Meteorologica’da anlatılan şeylerin çoğu yanlış olsa da 17. Yüzyıla kadar doğru kabul edilmiştir [Durak ve ark, 2008].

Güneş’ten yeryüzü’ne 1 saatte 174 423 TWh enerji, güneş ışınları ile transfer olur. Güneş’ten Dünya’ya gelen bu enerjinin yaklaşık % 2’si rüzgar enerjisine dönüşür. Hareketli hava kütleleri hız ve basınçlarına bağlı olarak kinetik enerji ihtiva ederler. Eğer tüm yeryüzü düz ve pürüzsüz olsa idi, bir yerden diğerine rüzgar değişimi çok küçük olurdu. Tepelerin, vadilerin, akarsu vadilerinin, göllerin katılması ile karmaşık ve değişken bir rüzgar rejimi oluşur. Meteorolojik açıdan rüzgar aşağıdaki yerlerde ve koşullarda oluşabilir;

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

Rüzgarın oluşumunda topografya ile ilişkisi çok önemlidir. Örneğin dağ rüzgarı, vadi rüzgarı, kara ve deniz meltemleri, fön rüzgarları, anabatik-katabatik rüzgarlar bu etkileşimden meydana gelen rüzgarlardır. Atmosferde meydana gelen hareket, alan ve zaman ölçeklerine göre oluşmakta olup, Çizelge 3.1’de verilen dört farklı kategoride değerlendirilmektedir.

Çizelge 3.1. Atmosferik hareketlerin zaman ve alan ölçeği [Hatipoğlu, 2010].

Hava Hareketinin Ölçeği	Zaman ölçeği	Uzunluk	Örnek
Genel Sirkülasyon	Hafta-Yıl	1000 km-40 000 km	Ticaret Rüzgarlar, Jet Akımı
Sinoptik ölçek	Gün-Hafta	100 km-5 000 km	Basınç Sistemleri, Tayfun
Mezo ölçek	Dakika-Gün	1 km-100 km	Meltem,Oraj, Hortum
Micro ölçek	Saniye-Dakika	< 1 km	Türbülans

En küçük ve en hızlı hareketler, moleküler difüzyon ve ses dalgalarıdır (10-7 m). Bunu toz hareketleri (1 m- 10 m) izler.

Rüzgar şiddeti ile ilgili bir diğer sınıflandırma Francis Beaufort tarafından hazırlanmıştır. “Beaufort Skalası” adı verilen bu sınıflandırma, denizcilikte rüzgar ve deniz durumunu görsel müşahadelere göre belirlemeye çalışan bir skaladır. Skala rüzgar hızını ölçebilen mekanik anemometrelerin geliştirilmesiyle birlikte önemini yitirmesine rağmen hava tahminciler ve gemiciler tarafından hala bilinmekte ve deniz raporlarında ve karadaki rüzgarın şiddetini belirlemek için kullanılmaktadır. Rüzgarların şiddeti, Beufort ölçeğinden yararlanılarak tahmin edilir. Son yıllarda olağanüstü derecede güçlü rüzgarlar da tabloya alınmış ve bunlar 13'ten 17'ye kadar numaralandırılmıştır. Bu ölçekteki Beaufort sayısı ve ortalama rüzgar hızı uluslararası değerlerdir; ama rüzgarların adı ve tanımlanan belirtileri ülkeden ülkeye değişebilir. Çizelge 3.2’de sadece karasal rüzgarları gösteren Beaufort Skalası görülmektedir. Skaladaki rüzgar hızları yerden 10 m yükseklikte ölçülmüş olan rüzgar hızlarıdır.

Çizelge 3.2. Beaufort Skalası [Hatipoğlu, 2010].

Beaufort Ölçeği	Rüzgârın Tanımı	Rüzgâr Hızı (m/s)	Rüzgârın Oluşturduğu Etki
0	Sakin	0-0,2	Duman dikine yükselir
1	Esinti	0,3-1,5	Rüzgârın yönü rüzgar değil dumanın sürüklenmesinden belli olur
2	Hafif Rüzgâr	1,6-3,3	Rüzgar insan teninde hissedilir, yapraklar titreşir, rüzgar gülü harekete geçer
3	Tatlı Rüzgâr	3,4-5,4	Rüzgar yaprakları ve ince dalları devamlı hareket ettirir. Bayrakları hafif dalgalandırır
4	Orta Rüzgar	5,5-7,9	Rüzgar toz ve kağıt parçacıklarını uçurur, küçük dalları hareket ettirir
5	Sert Rüzgâr	8,0-10,7	Yapraklı küçük ağaçlar sallanmaya başlar, iç sularda tepeli dalgacıklar oluşur
6	Kuvvetli Rüzgar	10,8-13,8	Büyük dallar sallanır, telgraf tellerinde ısıklık sesi işitilir, şemsiye taşımak güçleşir
7	Fırtınamsı Rüzgâr	13,9-17,1	Bütün ağaçlar sallanır. Rüzgara karşı yürümek güçleşir
8	Fırtına	17,2-20,7	Rüzgar filizleri kırar ve rüzgara karşı yürümek genellikle zordur
9	Kuvvetli Fırtına	20,8-24,4	Zayıf yapıli binalarda hasar meydana gelir. Bacalar yıkılır, kiremitler uçar
10	Tam Fırtına	24,5-28,4	Karada nadir olup ağaçları kökünden söker, binalarda önemli zararlar yapabilir
11	Çok şiddetli fırtına	28,5-32,6	Ender rastlanır ve geniş çapta hasarlara neden olur
12	Kasırga	32,7 >	Bazı yapılar ağır hasar görür özellikle zayıf yapılar rüzgârla savrulur.

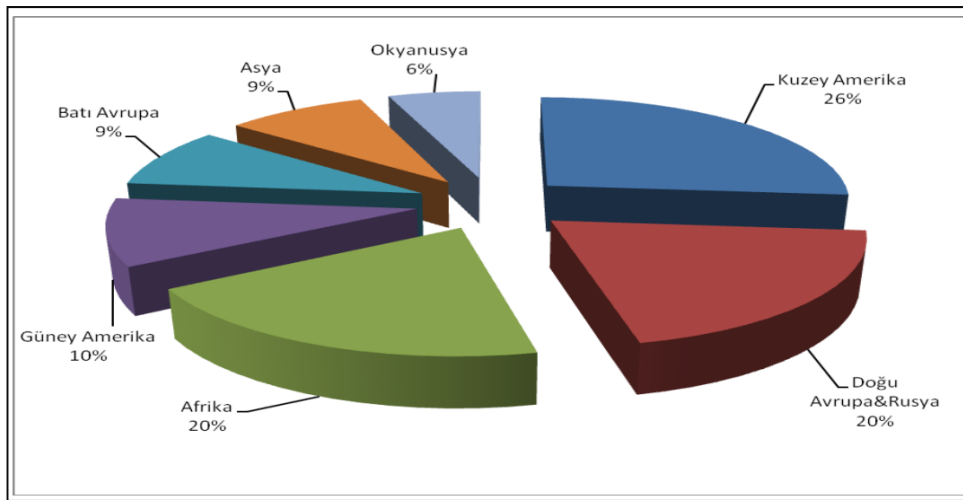
Rüzgarın karakteristiği ve hızı pek çok farklı etken tarafından değişime uğrar. Bu değişimler rüzgar santrali kurulması planlanan bir alanda enerji üretimini önemli oranda etkileyebilecek faktörlerdir. Topografyanın rüzgar üzerinde üç önemli etkisi vardır. Bunlar, pürüzlülük, perdeleme ve orografik etkilerdir [Hatipoğlu, 2010].

3.3. Dünyada Rüzgar Enerjisi

Dünyada birçok ülke rüzgar potansiyelinden yararlanmaya yönelik, yoğun araştırmalar yapmakta ve önemli teknolojik gelişmeler kaydetmektedirler. 2009 yılında rüzgar santrallerinin ürettiği toplam elektrik enerjisi 340 TWh ile küresel

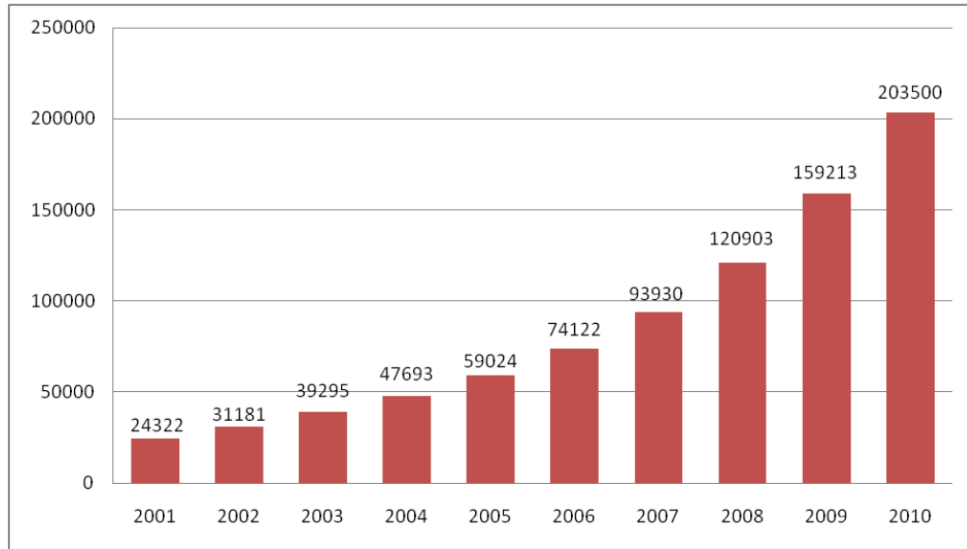
elektrik üretiminin %2'sini aşmıştır. İvmelenerek artan gelişme doğrultusunda 2020 yılında 1 500 000 MW global kapasiteye ulaşılması mümkün görülmektedir [WWEA, 2010].

Yapılan çalışmalarda dünyadaki teknik rüzgar potansiyelinin yılda 53 000 TWh olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu 53 000 TWh'lık teknik potansiyelin 14 000 TWh'lık kısmı Kuzey Amerika'da, 10 600 TWh'lık kısmı Doğu Avrupa&Rusya'da, 10 600 TWh'lık kısmı Afrika'da, 5 400 TWh'lık kısmı Güney Amerika'da, 4 800 TWh'lık kısmı Batı Avrupa'da, 4 600 TWh'lık kısmı Asya'da, 3 000 TWh'lık kısmı ise Okyanusya'da yer almaktadır. Şekil 3.5'te dünya teknik rüzgar potansiyelinin kıtalara göre dağılım payları gösterilmiştir [Akalin, 2009].



Şekil 3.5. Dünya teknik rüzgar potansiyel dağılım payları [Akalin, 2009]

Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği'nin 2009 yılı raporunda 2010 yılı için yapılan tahminlerde, dünya genelinde 2010 yılı sonunda toplam kurulu kapasitenin 203 500 MW olacağı bildirilmektedir. Şekil 3.6'da dünya genelinde toplam rüzgar kurulu gücünün yıllara göre değişimi görülmektedir. 2001 yılı sonunda 24 322 MW olan toplam kurulu güç, 2005'te 59 024 MW'a, 2008'de 120 903 MW'a, 2009 senesi sonunda ise 15 213 MW'a ulaşmıştır. 2010 senesi içerisinde 44, 87 MW daha rüzgar santralinin kurulacağı öngörülmektedir [WWEA, 2010].



Şekil 3.6. Dünya Toplam Rüzgar Kurulu Gücü (MW) [WWEA, 2010]

2009 yılı sonunda toplam kurulu güç sıralamasında Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) 35 159 MW'lık toplam kurulu güçle ilk sırada yer almaktadır. 26 010 MW'la Çin ikinci sırada yer alırken, Almanya 25 777 MW'la toplam kurulu güç sıralamasında üçüncü ülkedir. Çizelge 3.3'te 2009 yılı sonunda dünyada toplam kurulu güç sıralamasında ilk 10 ülke görülmektedir [WWEA, 2010].

Çizelge 3.3. 2009 yılı sonunda Dünyada toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke[WWEA, 2010]

Sıra	Ülke	Toplam Kurulu Güç Kapasitesi (MW)
1	A.B.D	35 159
2	Çin	26 010
3	Almanya	25 777
4	İspanya	19 149
5	Hindistan	10 925
6	İtalya	4 850
7	Fransa	4 521
8	İngiltere	4 092
9	Portekiz	3 535
10	Danimarka	3 497

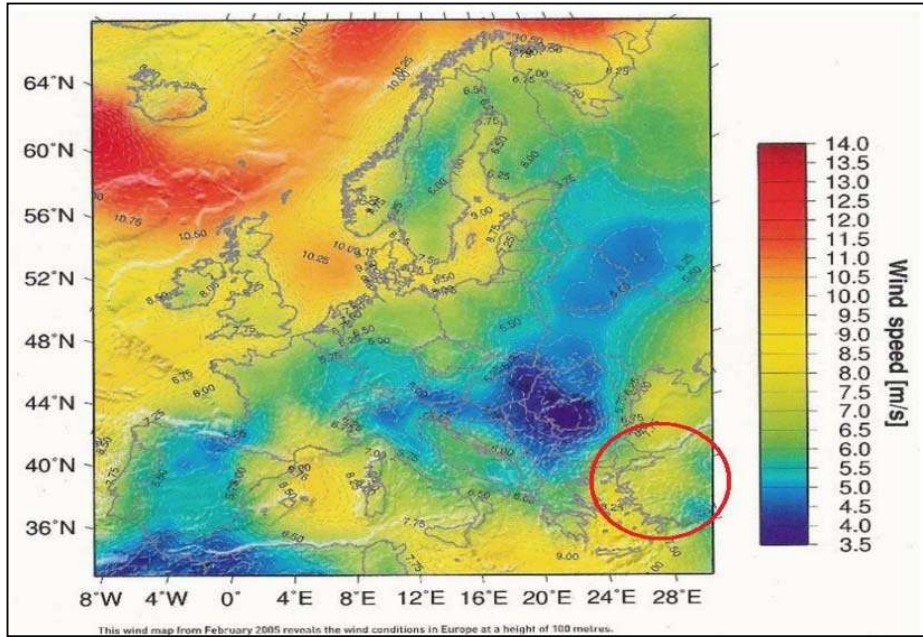
3.4. Avrupa’da Rüzgar Enerjisi

Avrupa’da uygulanan teşvik politikaları ile rüzgar enerjisi hızlı bir gelişim süreci göstermiştir. Avrupa toplam rüzgar kurulu gücü eklenen 10 474 MW’lık kapasite ile 2009 yılı sonu itibariyle 76 218 MW’a ulaşmıştır. Harita 3.1’de Avrupa rüzgar kurulu gücünün ülkelere göre dağılımı verilmiştir [WWEA, 2010].



Harita 3.1. Avrupa Rüzgar Kurulu Gücünün Ülkelere Göre Dağılımı (MW)
[WWEA, 2010]

Harita 3.2’deki Avrupa Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası’ndan da görüleceği gibi Avrupa’nın özellikle denizler üzerinde ciddi bir rüzgar enerjisi potansiyeli mevcuttur [Akalin, 2009, Tırıs, 2009].



Harita 3.2. Avrupa Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası [EWEA, 2009].

Avrupa Birliği, çevre ve enerji politikaları konularında iddialı hedefler belirlemiştir. AB Enerji İklim Değişikliği Paketi' nde belirlenen hedeflere göre 2020 yılı itibariyle toplam enerji tüketiminin %20'sinin yenilenebilir enerjilerden karşılanması gerekmektedir [EWEA, 2009]. Bu hedefe ulaşmak için rüzgar enerjisi de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çizelge 3.4'te 2009 yılı sonu itibariyle Avrupa'da rüzgar enerjisi kurulu gücü sıralamasında ilk 10 ülke görülmektedir.

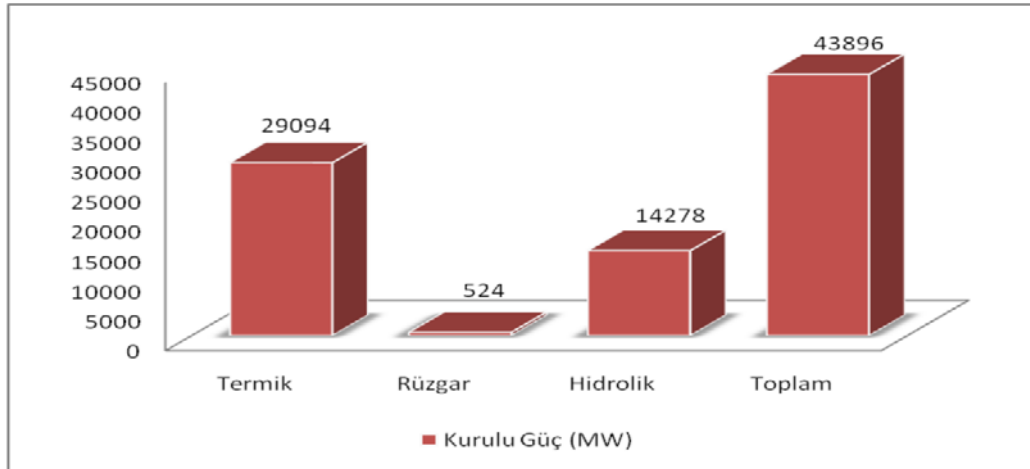
Çizelge 3.4. 2009 yılı sonunda Avrupa’da toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke
[EWEA, 2009]

Sıra	Ülke	Toplam Kurulu Güç Kapasitesi (MW)
1	Almanya	25 777
2	İspanya	19 149
3	İtalya	4 850
4	Fransa	4 492
5	İngiltere	4 051
6	Portekiz	3 535
7	Danimarka	3 465
8	Hollanda	2 229
9	İsveç	1 560
10	İrlanda	1 260

3.5.Türkiye’de Rüzgar Enerjisi

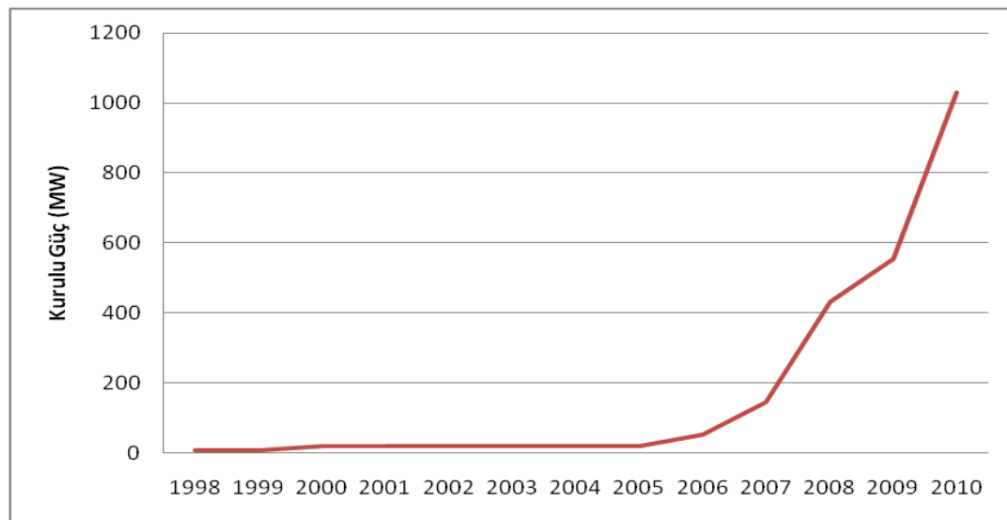
2007 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından geliştirilen Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile ortalama rüzgar şiddeti 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5 000 MW, 7 m/s’nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48 000 MW rüzgar enerjisi potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [Yanıktepe, 2009]. Tespit edilen bu 48 000 MW’lık potansiyelin 8 000 MW’lık kısmı çok verimli, 40 000 MW’lık kısmı ise orta verimli olarak sınıflandırılmıştır [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2009].

Türkiye sahip olduğu bu potansiyele rağmen rüzgar enerjisi kurulu gücü 2009 Eylül ayı sonu itibariyle termik ve hidrolik santrallerimizin yanında söz konusu edilemeyecek kadar azdır. Şekil 2.7’de 2009 yılı Eylül ayı sonu itibariyle birincil kaynaklara göre kurulu gücü görülmektedir. 43 896 MW’lık toplam kurulu gücümüzün 29 094 MW’lık kısmını termik santraller, 14 278 MW’lık kısmını hidrolik santraller, 524 MW’lık rüzgar santralleri oluşturmaktadır [Özdemirci, 2009].



Şekil 2.7. 2009 yılı Eylül ayı sonu itibariyle birincil kaynaklara göre Türkiye'nin kurulu gücü [Özdemirci, 2009]

Türkiye 2005 yılına kadar durağan bir süreç izleyen rüzgar kurulu gücü 2005 yılından itibaren büyük bir artış göstermeye başlamıştır. 2007 yılı sonunda 146,25 MW olan rüzgar kurulu gücü, 2008 yılı sonunda 3 kat artış göstererek 433,35 MW'a, 2010 yılı Nisan ayı sonunda ise 1029,85 MW'a ulaşmıştır. Şekil 2.8'de rüzgar kurulu gücünün yıllara göre artışı gösterilmiştir [TÜREB, 2010].



Şekil 2.8. Rüzgar kurulu gücünün yıllara göre artışı [TÜREB, 2010]

Türkiye 2010 yılı Nisan ayı sonunda işletmede olan rüzgar santralleri Çizelge 3.5'te listelenmiştir [TÜREB, 2010].

Çizelge 3.5. 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle işletmedeki rüzgar santralleri
[TÜREB, 2010]

Şirket	Mevkii	Kurulu Güç (MW)	Türbin Üreticisi
Alize A.Ş.	İzmir-Çeşme	1.5	Enercon
Ares A.Ş.	İzmir-Çeşme	7.2	Vestas
Sunjüt A.Ş.	İstanbul-Hadımköy	1.2	Enercon
Yapısan A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	30.0	GE
Mare A.Ş.	İzmir-Çeşme	39.2	Enercon
Teperes A.Ş.	İstanbul-Silivri	0.85	Vestas
Anemon A.Ş.	Çanakkale-İntepe	30.4	Enercon
Deniz Elektrik	Manisa-Akhisar	10.8	Vestas
Doğal Enerji	Çanakkale-Gelibolu	14.9	Enercon
Doğal Enerji	Manisa-Sayalar	34.2	Enercon
Ertürk Elektrik	İstanbul-Çatalca	60.0	Vestas
İnnores A.Ş.	İzmir-Aliaga	57.5	Nordex
Lodos A.Ş.	İstanbul-Gaziosmanpaşa	24.0	Enercon
Dares A.Ş.	Muğla-Datça	29.6	Enercon
Deniz Elektrik	Hatay-Samandağ	30.0	Vestas
Ayen Enerji	Aydın-Didim	31.5	Suzlon
Baki Elektrik	Balıkesir-Şamlı	90.0	Vestas
Belen Elektrik	Hatay-Belen	30.0	Vestas
Alize Enerji	Tekirdağ-Şarköy	28.8	Enercon
Kores A.Ş.	İzmir-Urla	15.0	Nordex
Alize A.Ş.	Çanakkale-Ezine	20.8	Enercon
Alize A.Ş.	Balıkesir-Susurluk	20.7	Enercon
Ütopya A.Ş.	İzmir-Bergama	15.0	GE
Mazı-3 A.Ş.	İzmir-Çeşme	30.0	Nordex
Ak Enerji	Balıkesir-Bandırma	15.0	Vestas
Borasco Enerji	Balıkesir-Bandırma	45.0	Vestas
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	95.0	GE
Soma Enerji	Manisa-Soma	49.5	Enercon
As Makinsan	Balıkesir-Bandırma	24.0	Nordex
Akdeniz A.Ş.	Mersin-Mut	33.0	Vestas
Bores A.Ş.	Çanakkale-Bozcaada	10.2	Enercon
Bergama RES	İzmir-Aliaga	90.0	Nordex
Boreas A.Ş.	Edirne-Enez	15.0	Nordex
TOPLAM		1029.85	

2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle işletmeye alınan 1029,85 MW'lık rüzgar santraline ek olarak 492,35 MW'lık rüzgar santralinin de kurulmasına devam edilmektedir. Çizelge 3.6'da 2009 yılı Nisan ayı sonu itibariyle inşaatı devam eden rüzgar santralleri görülmektedir [TÜREB, 2010].

Çizelge 3.6. 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle inşaatı devam eden rüzgar santralleri
[TÜREB, 2010]

Şirket	Mevkii	Kurulu Güç(MW)	Türbin Üreticisi
Alize A.Ş.	Balıkesir- Harvan	16,0	Enercon
Alize A.Ş.	Manisa-Kırkağaç	25,6	Enercon
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	45,0	GE
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	60,0	GE
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	50,0	GE
Soma Enerji	Manisa-Soma	90,9	Enercon
Doruk Enerji	İzmir-Aliaga	30,0	Enercon
Bilgin Enerji	Manisa-Soma	90,0	Nordex
Ziyaret RES	Hatay-Samandağ	35,0	GE
Ütopya A.Ş	İzmir-Bergama	15,0	GE
Kapıgağ	Balıkesir-Bandırma	34,85	—
TOPLAM		492,35	

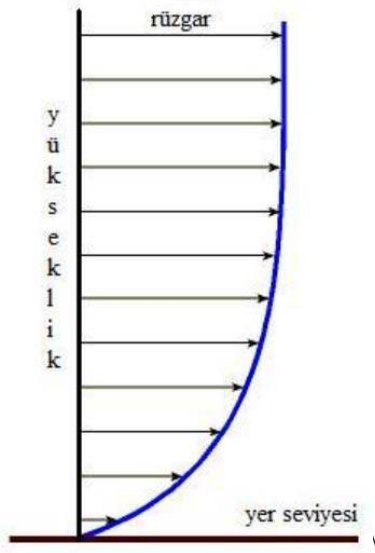
İşletmeye alınan ve inşaatı devam eden rüzgar santrallerinin yanında 644,45 MW'lık rüzgar santralının de finansman çalışmaları tamamlanmış ve türbin tedarik sözleşmeleri imzalanmıştır. Türbin tedarik sözleşmeleri imzalanan bu rüzgar santrallerinin 2011 yılı sonunda işletmeye alınabileceği söylenmektedir [TÜREB, 2010].

3.6. Rüzgar Enerjisini Etkileyen Faktörler

3.6.1. Yükseklik

Rüzgar enerjisi uygulamalarında 10 km civarında etki alanı olan ve yerden 40-100 m yükseklikleri arasında esen mikro ölçekli rüzgarlar dikkate alınır. Bu rüzgarlar yüzey koşullardan etkilenirler. Rüzgar profili yükseklikle değişim göstermektedir. Rüzgar hızının yükseklikle değişimi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Rüzgar hızı başlangıçta

artmakta daha sonra belli bir yükseklikten sonra sabitlenmektedir [Barutçu, 2008, Durak ve ark., 2008].



Şekil 3.9. Rüzgar hızının yükseklikle değişimi [Durak ve ark., 2008]

3.6.2. Pürüzlülük

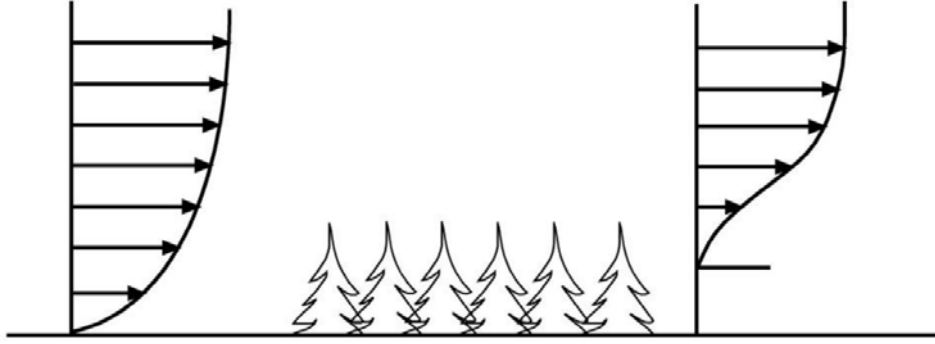
Yeryüzünün bir çok yerinde yer şekilleri düzenli değildir ve bir çok yerde belirgin farklılıklar gösterir .Bir bölgenin yüzey pürüzlülüğü, o bölge üzerindeki pürüzlülük elemanlarının dağılımına bağlıdır. Bitki örtüsü, yapılaşma ve doğal arazi yapıları tipik pürüzlülük elemanlarıdır [Menteş, 2008].

Genel olarak, yeryüzü pürüzlülüğü ne kadar fazlaysa rüzgar hızının o kadar

yavaşladığı kabul edilir. Pürüzlülük yaratacak alanlara örnek vermek gerekirse hava alanlarındaki beton pistler rüzgar hızını daha az yavaşlatırlarken, ormanlar ve büyük şehirler rüzgar hızını önemli derecede azaltırlar. Beton pistlerden daha düz olan suyüzeyleri rüzgar üzerinde daha az etkiliyken, geniş çayır, çalılık ve çitler rüzgar hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [Akgün, 2006].

Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlü bir yüzeyden düz bir yüzeye geçişte değişiklik gösterir. Rüzgar şiddeti profili yükseklikle artış gösterirken, düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçişte (örneğin açık denizden ormanlık bir araziye geçiş) ise profil

yükseklikle azalma gösterir. Şekil 3.10’da düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim gösterilmiştir [Wegley ve ark., 1980].



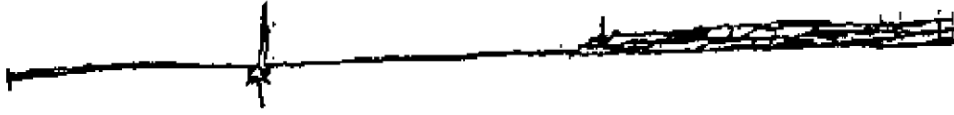
Şekil 3.10. Düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim [Wegley ve ark., 1980]

Rüzgar hızı profilini üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olan pürüzlülük, rüzgar enerjisi incelemelerine önemli bir parametredir. Rüzgar enerjisi ve rüzgar atlası çalışmalarında dört pürüzlülük sınıfı tanımlanır [Şimşek, 2007, Troen ve ark., 1989]. Pürüzlülük sınıflandırmalarında bir diğer büyüklük olan ve Z_0 ile ifade edilen pürüzlülük yüksekliği teorik olarak rüzgar hızının sıfıra indiği yükseklik olarak tanımlanmaktadır [Akgün, 2006].

Bir pürüzlülük elemanının yüksekliği h olmak üzere, rüzgara karşı gelen dikey kesit alanı S ve arazi üzerine dağılmış ortalama yatay kesit alanı A_H ile ifade edildiğinde pürüzlülük elemanları ile pürüzlülük yüksekliği arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir [Lettau, 1969].

$$Z_0 = 0.5 \frac{h \cdot S}{A_H} \quad (3.1)$$

Su alanları, denizler, fiyordlar ve göller pürüzlülük sınıfının “0” olarak kabul edildiği bölgelerdir. Bu bölgelerde pürüzlülük yüksekliği Z_0 , 0,0002 m olarak tanımlanır. Şekil 3.11’de pürüzlülük sınıfının 0 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [Troen ve ark., 1989].



Şekil 3.11. Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği [Troen ve ark., 1989]

Pürüzlülük sınıfının 1 olarak tanımlandığı bölgeler açık alanlar içinde rüzgara etki edecek birkaç engelin, basit şekil, ağaç ve çalılıkların bulunduğu açıklıkları, düz alanları ve yumuşak engebeleri kapsar. Pürüzlülük sınıfı 1 olan bölgelerde pürüzlülük yüksekliği Z_0 0,03 m olarak kabul edilir. Şekil 3.12’de pürüzlülük sınıfının 1 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [Troen ve ark., 1989].



Şekil 3.12. Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği [Troen ve ark., 1989]

Pürüzlülük yüksekliği Z_0 ’ın 0,10 m olarak ifade edildiği, pürüzlülük sınıfı 2; rüzgara etki eden kırıncıların birbirinden ortalama 1000 m’den fazla uzaklıkta olduğu, binaların dağınık bir halde bulunduğu, çok sayıda ağaç ve binanın bulunduğu alanları karakterize eder. Şekil 3.13’te pürüzlülük sınıfının 2 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [Troen ve ark., 1989].



Şekil 3.13. Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi örneği [Troen ve ark., 1989]

Şehir alanları, ormanlar ve ortalama birkaç yüz metre aralıklarla çok sayıda rüzgara etki edecek kırıcılarının bulunduğu arazilerde pürüzlülük yüksekliği Z_0 0,40 m olarak ifade edilir ve bu bölgeler pürüzlülük sınıfı 3'e girerler. Şekil 3.14'te pürüzlülük sınıfının 3 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [Troen ve ark., 1989].



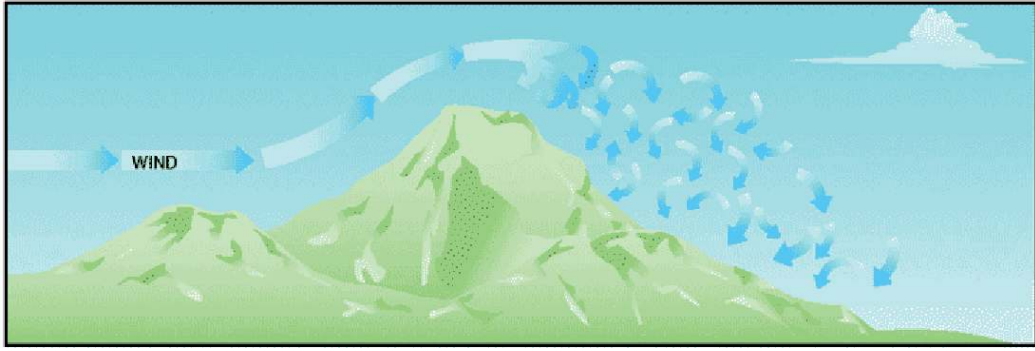
Şekil 3.14. Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi örneği [Troen ve ark., 1989]

3.6.3. Türbülans

Genel olarak, aniden oluşan düzensiz hava hareketleri olarak tanımlanan türbülans, bir çok kez oldukça hızlı bir şekilde dönen mikro ölçekli hava akımı olarak karşılaşılan ve bir rüzgar türbüninden üretilecek enerji miktarını etkileyen bir büyüklüktür [Akgün, 2006]. Türbülansın yoğunluğu rüzgar hızlarının standart sapmalarının ortalama rüzgar hızına oranı olarak ifade edilir [Rogathi, 1994]. Türbülans yoğunluğu artan yükseklikle azalmakta ve yüzey pürüzlülüğünden

etkilenmektedir. Aynı büyüklükteki sapmalar için yüksek rüzgar hızlarında azalmaktadır [Durak ve ark.,2008].

Rüzgar türbinleri üzerinde yorulmalara da neden olan türbülans, türbin kanatları üzerinde zaman zaman yırtılma, sökölme gibi fiziksel etkiler meydana getirebilmektedir. Özellikle yer yüzüne yakın yerlerde oluşabilecek türbülans etkilerinden minimum şekilde etkilenmek adına rüzgar türbinleri yeterince yüksek yapılır [Akgün, 2006]. Şekil 3.15'te dağlık bir alan ardında oluşan türbülans ve hava akımlarının hareket yönleri gösterilmektedir. Düzensiz bir dağ yüzeyi boyunca yükselen hava dağın ardında düzensiz bir form tutmakta ve modellenmesi oldukça zor olan bir akış izlemektedir.

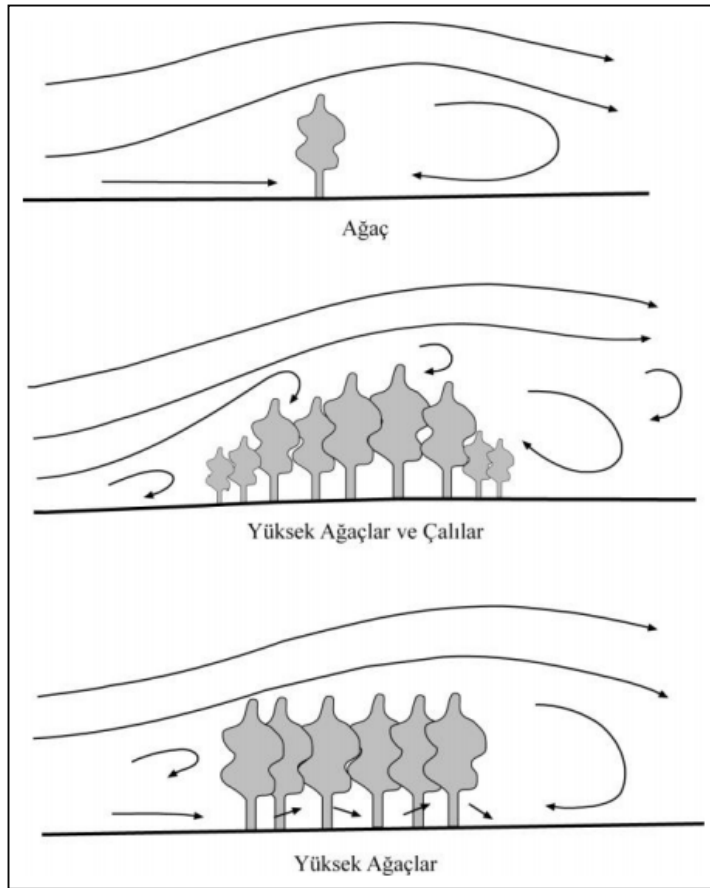


Şekil 3.15. Türbülansın hava akışına etkisi [Akgün, 2006]

3.6.4. Rüzgar engelleri

Düz bir arazi üzerinde hava akışını etkileyen rüzgar engellerini, insan yapımı engeller ve doğal engeller olmak üzere iki başlık altında toplamak mümkündür. İnsan yapımı engeller evler, silolar v.b. yapılar iken, doğal engeller, rüzgar kırıcılar, ağaç ve bitki kümeleri olarak sayılabilir.

Doğal engeller insan yapımı blok engellerin aksine havanın içlerinden geçişine müsait yüzeylerdir. Şekil 3.16'da doğal engellere örnek teşkil eden ağaç ve çalıların rüzgar akışına etkileri gösterilmiştir.

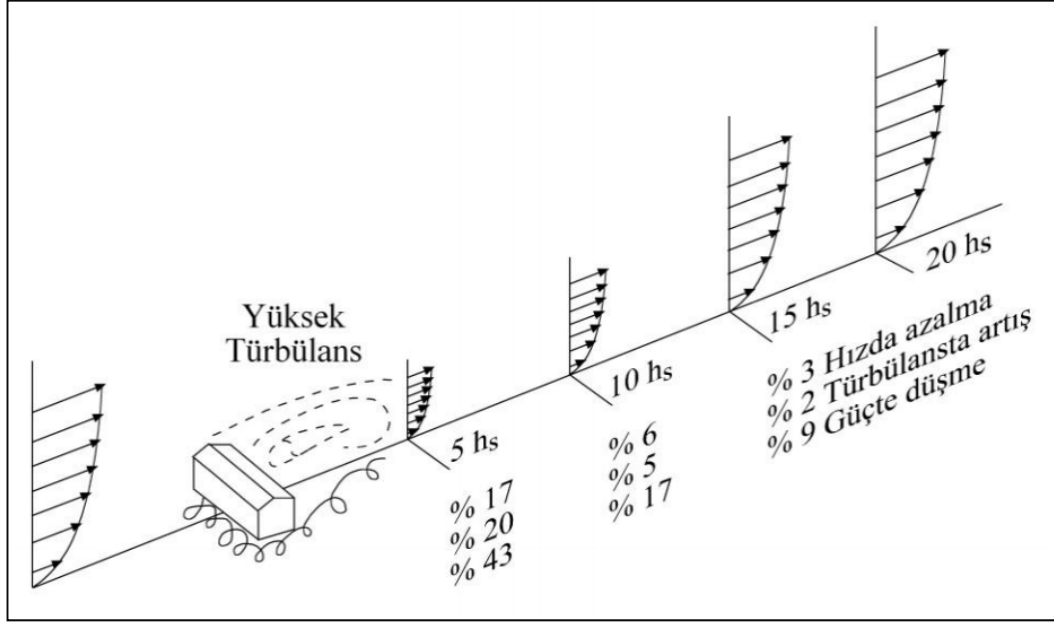


Şekil 3.16. Doğal engellerin gösterimi [durak ve ark., 2008]

Doğal engellere kıyasla boyutlarına göre rüzgar hızına ve elde edilecek enerjiye daha çok etki edebilecek insan yapımı engellerin türbin yerleşimi üzerinde oluşturacakları ters etkilerinden kurtulmak için, türbin konumlandırmasının rüzgar üstü bölgesinde, bina yüksekliğinin iki katından daha fazla mesafede; rüzgar altı bölgesinde minimum bina yüksekliğinin 10 (tavsiye olarak 20) katı mesafede; eğer türbin zorunlu olarak binanın rüzgar altı bölgesinde konumlandırılırsa bina yüksekliğinin en az iki katı yükseklikte konumlandırılması gerektiği yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir [Wegley, 1980].

Bina arkasında oluşacak etki alanının aynı zamanda bina şekline ve rüzgara göre konumuna da bağlı olduğu düşünülürse belirlenen bu uzaklıklar için her zaman bir genelleme yapılamayacağını söylemek mümkündür. Şekil 3.17’de eğimli-çatıya sahip bir binanın etki alanı içerisinde güç ve türbülans değişimi gösterilmektedir. Bütün bu tahminler, aynı bina yüksekliği göz önünde tutularak yapılmıştır. Binanın

rüzgar altı kısmında, güç kayıpları 15hs'lik mesafede oldukça azdır [Woo ve ark., 1977].

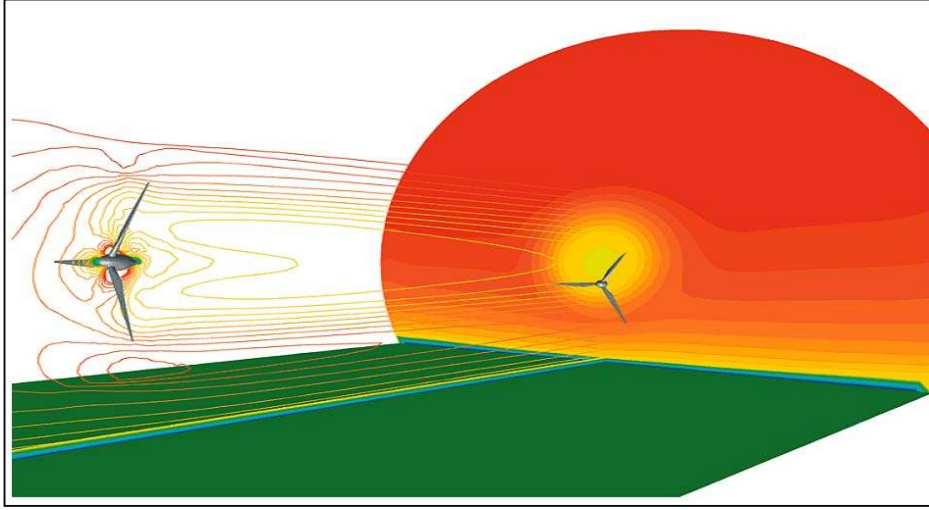


Şekil 3.17. Bir yapı üzerindeki akış için şiddet ve güç azalmasının ve türbülans artışının tahmini(h_s , Engelden mesafe) [Woo ve ark., 1977]

3.6.5. Wake (iz) etkisi

Bir rüzgar türbini kanatlarından hava akımını geçirirken rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi dönüştüreceğinden, enerjinin korunumu ilkesi gereğince türbinden çıkan enerjinin daha düşük olması gerekir [Altındiş, 2001]. Rüzgar türbinleri akış yönünde enerjiyi dönüştürdükten sonra arkalarında bir iz bırakırlar ve bu iz rüzgar hızını düşürür. Wake (iz) etkisi rüzgar çiftliği alanlarında, türbinlerin arkalarına daha yavaş bir rüzgar hızı aktarmaları nedeniyle enerji üretimine yapacakları etki olarak tanımlanmaktadır [EWEA, 2008]. Türbinlerin birbirine yapacakları bu etkiyi minimize etmek amacıyla rüzgar çiftliği yerleşiminde türbinler arasında uygun mesafeler bırakılır.

Genel olarak bir türbinin arkasındaki türbine etkisini azaltmak amacıyla, ikinci türbinin kanat çapının 6-10 katı kadar mesafe aralıklarla yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Şekil 3.18'de bir rüzgar türbinin arkasında hız eğrilerinin değişimi ve oluşan wake (iz) etkisi gösterilmiştir [Hahm ve ark., 2002].

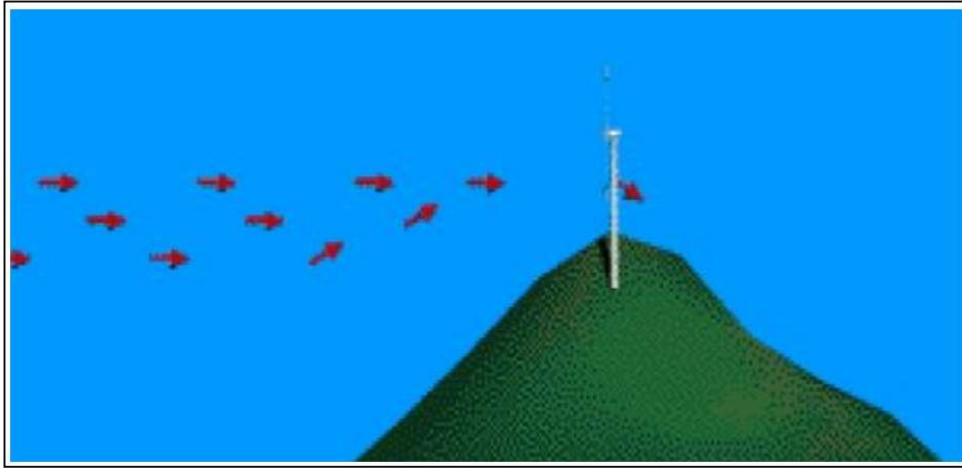


Şekil 3.18. Wake (iz) etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri [Hahm ve ark., 2002]

3.6.6. Tepe etkisi

Hakim rüzgar yönünde türbin önünde herhangi bir engelin olması istenen bir durum değildir. Tepelik bölgeler etrafında geniş bir alana yayılmış olan yüksek basınç alanları hava akımının tepeye ulaşmadan yükselerek sıkışmaya başlamasına neden olur. Hava akımı tepenin sırtına eriştiğinde ise tepenin diğer yamacında oluşan düşük basınç alanına doğru genişleyerek hareketini devam ettirir. Tepe etkisi olarak tanımlanan bu olay kimi zaman rüzgar hızını arttırıcı etki gösterirken, basamaklı veya düzgün olmayan tepelik bölgelerde ise daha çok türbülans oluşacağından önemli bir dezavantajı beraberinde getirir.

Şekil 3.19 tepe etkisinin oluşabileceği bir arazi örneğini göstermektedir [DWIA, 2009].



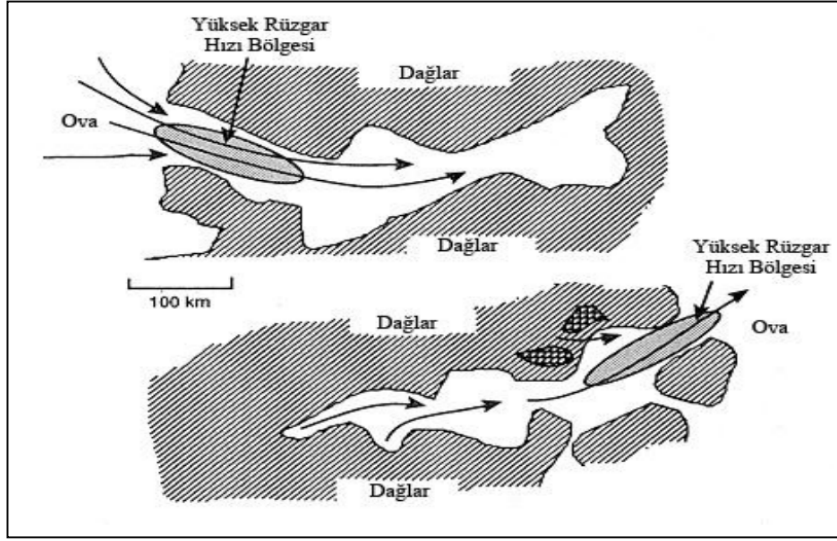
Şekil 3.19. Tepe etkisi [DWIA, 2009]

3.6.7. Tünel etkisi

Yüksek binalar arasından veya dağ geçitlerinden geçerken hava akımlarında bir takım etkilerin olduğu fark edilir. Hava akımlarının binaların veya dağların aralarından geçerken sıkışmalarından kaynaklanan bu etkiye tünel etkisi adı verilir.

Rüzgar hızını da arttıran bu etki, arazi içerisinde uygun ve düzgün alanlarda rüzgar türbinlerinin konumlandırılması sırasında dikkate alınırsa enerji üretimi açısından fayda sağlar. Düzenli olmayan tünel etkisi yaratan alanlar ise daha çok türbülans yaratacağından dezavantaj yaratır ve türbinde yorulma, yırtılma, çatlama gibi fiziksel hasarlar oluşturur ve türbin ömrünü azaltır [DWIA, 2009].

Şekil 3.20’de ovalardan dağlık bir bölgeye dar bir boğazdan giren ve dar boğazlardan ovalara çıkan rüzgarların tünel etkisi sonrası hızlanması gösterilmiştir [Rogathi, 1994].



Şekil 3.20. Tünel etkisi [Rogathi, 1994]

3.7. Rüzgar Enerjisinin Hesaplamaları

Rüzgar, önüne bir engel konulması veya sabit bir engelle karşılanması halinde, onun üzerinde bir basınç etki eder. Böyle bir engelin harekete müsait olması durumunda, rüzgar, o engelin hareket etmesine de sebep olur. Böylelikle bir mil etrafında dönebilecek bir fırıladağın (türbin) rüzgar etkisi ile dönmesi mümkün olabilecektir. Bu fikir günümüzdeki rüzgar türbinleri ile eski çağlardaki yel değirmenlerinin ilk çalışma ilkelerini tekil eder [Şen, 2002].

rüzgar gücü yoğunluğu rüzgarın estiği istikamete dik olarak yerleştirilen, birim alana gelen güç ile ifade edilir. Bu ise aşağıdaki gibi hesap edilir. Rüzgarın esmesi ile ortaya çıkan şiddetin (V), belirli hava kütesinin (m), hareket ettirmesi sonucunda ortaya çıkan kinetik enerjinin genel ifadesi;

$$E = \frac{1}{2} mV^2 \quad (3.2)$$

şeklindedir [Şen, 2002]. Burada H hacmi, ρ havanın yoğunluğunu ifade etmek üzere kütle $m = \rho H$ şeklinde tanımlanabilir. Rüzgarın düşey bileşeni yatay bileşeninin yanında çok küçük olduğu için ihmal edilir. Bu yüzden rüzgar esme yönüne dik alanı A ile rüzgar yönündeki hızı da t süresince kat edileceği düşünülen bu mesafeye fiziksel olarak $U = Vt$ şeklinde bağlıdır. Denklem (3.2)'de m 'nin yerine konularak

açıklanan eşitliklerinde göz önünde tutulması ile yapılan basit cebirsel işlemlerden sonra,

$$E = \frac{1}{2} \rho A t V^3 \quad (3.3)$$

bulunur [Şen, 2002]. Pratik uygulamalarda birim zamanda birim alandan üretilebilecek rüzgar enerjisinin, E_0 , bilinmesi mühendislik faaliyetleri açısından önem kazanır. Bunun için Denklem (3.3)'ün her iki tarafının alan ve zamana bölünmesi sonucunda E_0 ,

$$E = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (3.4)$$

olarak bulunur [Şen, 2002, Burton, 2001, Gasch ve ark. 2002].

Bu ifadede havanın yoğunluğu sabit kabul edilir ($\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$). Halbuki, havadaki nem oranının değişimine paralel olarak bu yoğunluğun değeri de sabit olmayıp

değişkendir. İşte bu nokta, dünyada birçok araştırmacı ve uygulamacı tarafından göz önünde tutulmamaktadır. Yapılan araştırmada yoğunluğun gazların hal denkleminin göz önüne alınması ile hava sıcaklığı ve basınç cinsinden gösterebileceği açıklanmıştır [Şen, 2002].

Genel olarak, rüzgar gücü hesaplamalarında ρ , 15°C deniz seviyesinde ve $1013,3 \text{ mbar}$ da $1,225 \text{ kg/m}^3$ olarak alınıp sabit kabul edilir. Ancak yapılan araştırmalar, farklı sıcaklık ve basınçlarda rüzgar enerjisi hesaplamalarının %30'a varan değişiklikler göstereceğini saptamıştır [Burton, 2001, Şahin ve ark., 1995].

Kurulacak rüzgar santrallerinin deniz seviyesinden yüksekliği arttıkça atmosfer basıncı düşecektir. Bunun sonucunda, genellikle rüzgar enerjisi yoğunluğu düşecektir. Planlanan değerlerin altında üretimde, yatırımcıları ciddi problemlerle karşı karşıya getirebileceği için yapılacak planlamalarda basınç, sıcaklık ve nemin, havanın yoğunluğuna tesiri göz ardı edilmemelidir.

Bahse konu farklılıklardan tahmin edilecek rüzgar enerjisi miktarını doğru ve kesin bir biçimde tahmin edilebilmek için aşağıdaki iki farklı yöntem tercih edilebilir. Bu

yöntemlerden ilki, Denklem (3.5)'te görüldüğü gibi yoğunluk düzeltme faktörünü kullanmaktır.

$$\rho_t = 1,225 \left[\frac{15}{T} \right] * \left[\frac{B}{1013,3} \right] \quad (3.5)$$

Burada T, °C cinsinden sıcaklık, B, ise mbar cinsinden basınç değerleridir. Rüzgar enerjisi yoğunluğu tespit edilecek noktalarda Denklem (3.5)'i kullanarak yoğunluk düzeltme katsayısını kullanmak bize daha doğru sonuçlar vermesi açısından önemlidir [Burton, 2001].

Diğer yonteme göre ise havanın yoğunluğu şu şekilde bulunabilmektedir. İdeal gaz yasası Denklem (3.6)'da gösterilmiştir.

$$p = \rho RT \quad (3.6)$$

bu bağıntıda p (milibar) hava basıncı, ρ (kg/m³) havanın yoğunluğu, R (2,87) gaz sabiti, T kelvin cinsinden sıcaklık ile e (nisbi nem) arasındaki ilişki ile şu hali alır [Şahin ve ark., 1995].

$$\rho = \frac{3p - 5e}{8RT} \quad (3.7)$$

Ancak biz yapacağımız çalışmamızda havanın yoğunluğunu 1,225 kg/m³ olarak sabit kabul edeceğiz. Seçilecek türbin tipleri arasında kıyaslama yapabilmemiz için tüm türbinlerin aynı şartları paylaşması hedefi ile sabit bir değer almak, sonucu etkilemeyecektir.

3.8. Rüzgar İstatistikleri

Rüzgar hızına bağlı rüzgar potansiyelinin hesaplanması bazı adımlarla beraber olmaktadır. Bunun için meteoroloji, matematik ve istatistik bilgisi gerekmektedir. Klasik istatistik bilgilerinin yanı sıra stokastik yöntemlerin de bilinmesi gerekmektedir. Rüzgar istatistiği, rüzgar enerji potansiyelini bulabilmek için kullanılan eşitliklerdir. Rüzgar verilerinin en önemli parametrelerinden biri ortalamadır ve (3.8) ifadesi ile bulunur.

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (3.8)$$

Burada N örnek sayısıdır (toplam rüzgar verisi) Diğer önemli iki istatistiksel parametre ise, mod ve medyandır. Mod veri serisinin içinde en fazla tekrar eden veri sayısıdır. Medyan ise veriler büyükten küçüğe ve küçükten büyüğe sıralandığında elde edilen orta değerdir. Veri setinin değişkenliği de önemlidir. Bunun için standart sapma ve varyans parametreleri bilinmelidir. Standart sapma (3.9) ifadesi ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2 \quad (3.9)$$

Eşitlikte yer alan v_i rüzgar hızı $\bar{v}$ ise incelenen rüzgar zaman serisinin ortalamasıdır. Varyans ise standart sapmanın karesidir (σ^2) [Durak ve ark., 2008].

3.8.1 Normal dağılımı

İstatistik yöntemler içerisinde çok kullanılan normal dağılımı (Gauss Dağılımı) ortalama ve standart sapmaya bağlıdır. Olasılık yoğunluğu fonksiyonu ise (3.10) ifadesi ile verilir.

$$f(v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(v - \bar{v})^2}{2\sigma^2}\right]; \quad -\infty < v < \infty \quad (3.10)$$

Eşitlikte yer alan $\bar{v}$ ve σ normal yoğunluk fonksiyonunu belirleyen parametrelerdir [Durak ve ark., 2008].

3.8.2 Weibull dağılımı

Rüzgar verilerinin dağılımının analizinde en çok kullanılan yöntem Weibull dağılımıdır. Weibull dağılımı iki parametre ile temsil edilir bu parametreler şekil (k) ve ölçek (c) (bazı kaynaklarda A ile gösterilir) parametreleridir.

Verilerin işlenmesi yoluyla elde edilen Weibull parametreleri kullanılarak herhangi bir rüzgar hızının frekansı konusunda hassas bir tahminde bulunmak mümkün olabilmektedir. Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir.

Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu, rüzgarın herhangi bir hızda esme sıklığını gösteren fonksiyondur ve buna rüzgar hızı frekansı adı da verilir. Olasılık yoğunluğu fonksiyonunun elde edilmesi, şekil katsayısı (k) ile büyüklük katsayısı (c)' nin bilinmesini gerektirir ve bu iki katsayı, ortalama hız ile standart sapmanın fonksiyonudur.

Weibull şekil parametresi (k), rüzgar sıklığını gösteren bir parametredir. Rüzgarlar bir arazide çok fazla değişkenlik göstermiyorsa, yani yaklaşık olarak sabit bir hızla, kararlı olarak esiyorsa (düşük veya yüksek hızlı olabilir), k parametresi büyüktür.

Ölçek parametresi (c) rüzgar hızı için bağıl kümülatif frekansı göstermektedir. Basit bir deyişle, c parametresi ortalama hıza bağılı olarak değişir. Ortalama hız yüksek ise, c parametresi de yüksektir [Şahin, 2007]. Rüzgar olasılık fonksiyonu olarak da bilinen Weibull fonksiyonu (3.11) eşitliği ile hesaplanır.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (3.11)$$

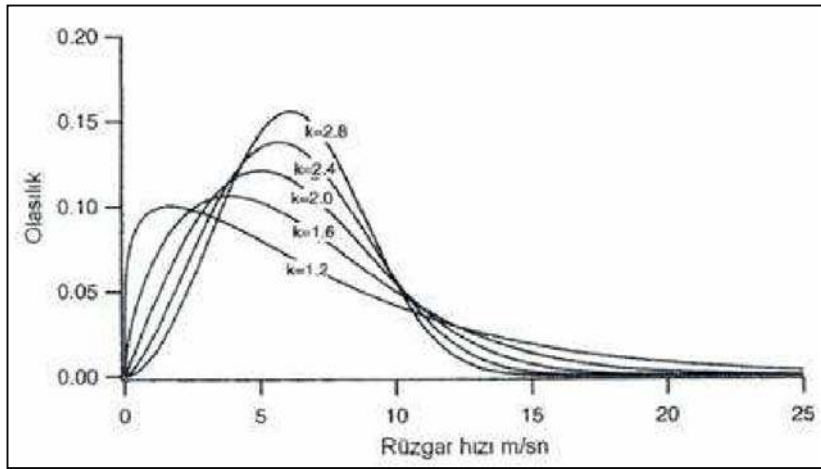
Burada;

k: Şekil parametresi (Rüzgar hızı dağılım şeklini gösteren parametre)

c: Ölçek parametresi (Rüzgar hızı için bağıl kümülatif frekans)

$f(v)$: Rüzgar hızı olasılık fonksiyonudur.

Weibull şekil parametresi (k), oluşacak olasılık yoğunluğu eğrisinin biçimi konusunda da fikir vermektedir. Bu katsayının büyümesi ile eğri daha sivrilmekte ve hız değişimi aralığı daralmakta iken, değer düşmesi eğrinin daha fazla hız değerinin içerecek şekilde yayılması sonucunu vermektedir. Şekil parametresinin olasılık dağılımı üzerindeki etkisi Şekil 3.21'de görülmektedir.



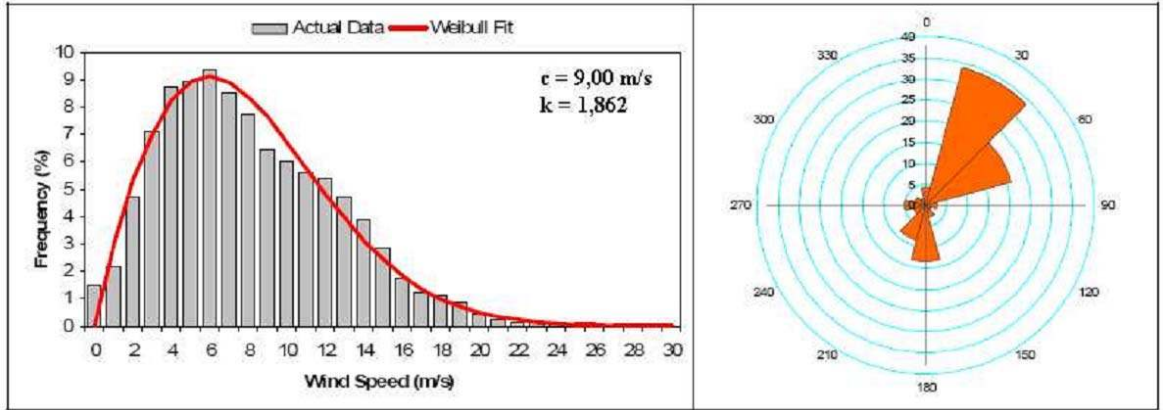
Şekil 3.21. Farklı şekil parametrelerine göre Weibull dağılımı [Hatipoğlu, 2010]

Çizelge 3.7’de 12 adet yöne göre hız ve Weibull parametrelerinin dağılımını gösteren örnek bir tablo görülmektedir.

Çizelge 3.7. Rüzgar hızı ve Weibull parametrelerinin yönler göre gösterimi [Hatipoğlu, 2010]

Sektör (Yön)	Ortalama Rüzgâr Hızı	Weibull c (m/s)	Weibull k	Frekans (%)
0°	5,99	6,72	1,744	4,2
30°	10,41	11,73	2,479	33,8
60°	7,75	8,74	1,962	21
90°	4,19	4,58	1,367	2,6
120°	3,16	3,57	2,206	1,4
150°	4,58	5,13	1,697	2,9
180°	7,24	8,16	1,897	13,3
210°	7,68	8,67	2,098	8,5
240°	5,76	6,45	1,692	2,9
270°	6,29	7,08	2,684	4,9
300°	5,15	5,78	1,717	2,7
330°	4,53	5,01	1,478	1,7
Bütün Yönler	7,99	9,00	1,862	100

Şekil 3.22’de ise, Çizelge 3.7’de verilmiş olan hız dağılımı verilerinden oluşturulmuş Weibull dağılımı grafiği ve rüzgar gülü görülmektedir.



Şekil 3.22 Örnek hız dağılımları için oluşturulmuş Weibull dağılımı grafiği ve rüzgar gülü [Hatipoğlu, 2010]

Weibull verilerinden yıllık enerji üretim değerlerini hesaplama genel yöntemi ise (3.11) eşitliğinde verilmiştir.

$$E_T = 8760 \int_{v_{min}}^{v_{max}} P_g(v) f(v) dv \quad (3.11)$$

Burada;

E_t : Toplam yıllık enerji üretim miktarı (Wh)

P_g : Rüzgar türbini güç eğrisi fonksiyonu (W)

$f(v)$: Rüzgar hızı olasılık fonksiyonu (Weibull fonksiyonu)

v_{max} : Devreden çıkma rüzgar hızı (m/s)

v_{min} : Devreye girme rüzgar hızı (m/s)

Gerek ülkemizde gerekse de diğer bölgelerde, bir çok çalışmada rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında Weibull dağılımı yaygın olarak kullanılmıştır. Rüzgar verilerinin genelde bu dağılıma uyduğu bilinmektedir. Bununla birlikte bazı bölgelerde rüzgar verileri iki parametrelili Weibull dağılımına uymamaktadır [Akdağ, 2008].

3.8.3 Rayleigh dağılımı

Rayleigh dağılımı, Weibull dağılımının özel bir durumu gibi düşünülebilir. Weibull fonksiyonundaki şekil parametresi (k), 2 alındığında dağılım Rayleigh dağılımı adını alır. Dolayısıyla Rayleigh fonksiyonu tek parametrelili bir fonksiyondur. Sadece ortalama rüzgar hızına bağlı olduğundan dolayı, dağılımın tahmini daha kolaydır. Ancak yıllık enerji hesabı yapıldığında oluşan hata aynı hesap Weibull dağılımı kullanıldığında yapılan hatadan çok daha büyüktür [Hatipoğlu, 2010].

3.8.4 Aşırı hız dağılımı

Rüzgar ölçümlerinin verileri kaydedilirken aşırı rüzgar hızları da kaydedilmektedir. Standart meteorolojik amaçlı rüzgar ölçümlerinde 3 saniyelik aşırı rüzgarlar kaydedilirken, rüzgar enerjisi projeleri için yapılan ölçümlerde 1 saniyelik aşırı rüzgarlar da kaydedilmektedir. Aşırı rüzgar hızı dağılımının fonksiyonu (3.12) eşitliğinde verilmiştir.

$$F_e = \exp \left[-\left(\frac{v}{b}\right)^{-a} \right] \quad (3.12)$$

Eşitlikteki a ve b iki parametredir. Bu eşitlik Fischer-Tippett ekstrem dağılım teoremi olarak bilinmektedir.

Herhangi bir aşırı değerin kaç yılda meydana geleceği ise (3.13) ifadesi ile bulunur [Hatipoğlu, 2010].

$$M_r = \frac{1}{1 - F_e(v)} \quad (3.13)$$

3.9. Rüzgar Enerjisi SWOT Analizi

Güçlü Yönler(S)

1. Temiz bir enerji kaynağıdır.
2. Dışa bağımlı olmayıp, enerjide dış bağımlılığı azaltıcıdır.
3. Çevreye zararlı olan emisyonlara, atmosferik ısınmaya, asit yağmurlarına, doğal bitki örtüsü ve insan sağlığına olumsuz etkisi yoktur.
4. Doğal bir kaynaktır.

5. Kısa sürede devreye alınıp, kısa sürede sökülebilir.
6. Yakıt maliyeti yoktur, böylelikle ucuz bir enerji kaynağıdır.
7. Rüzgarın enerji içeriği Rüzgar hızının küpü ile değişir. Rüzgar hızı 2 katına çıktığında enerjisi 8 katına çıkar.
8. Rüzgar enerjisi emniyetlidir. İspatlanmış bir emniyet kaydına sahiptir.

Zayıf Yönler(W)

1. Rüzgar enerjisi kaynağı sürekli değişkenliğe sahiptir.
2. Modern olmayan ve eski teknolojiye sahip türbinler gürültüye neden olabilmektedir.
3. Görsel ve estetik kirlilik oluşturabilir.
4. Kuş ölümlerine sebep olabilir.
5. 2–3 km’lik alanda Radyo ve TV alıcılarını etkileyebilir.

Fırsatlar (O)

1. Rüzgar Enerjisi diğer kaynaklarla kıyaslandığında daha hızlı büyüyen bir sektör konumundadır.
2. Teknoloji gelişimi hızlıdır ve AR-GE sektörde önemli ve stratejik bir konumdadır.
3. Döviz kazandırıcı bir kaynak niteliğindedir.
4. İstihdam yaratabilme özelliği vardır.
5. Fiyatının artma gibi bir riski yoktur.
6. Sektörün sürekli gelişimi nedeniyle hem işçilerin hem de yeni firmaların sektöre girmeleri kolaydır.

Tehditler (T)

1. Ülkenin ekonomik kaynakları yetersiz kaldığında dış borçlanma ya da kredi gerektirebilir.
2. Rüzgar hızı ve diğer potansiyel belirleme çalışmalarında yapılan hatalar, yatırımları etkileyebilir ve boşa çıkarabilir[Sami Akkuş, 2010].

3.10. Rüzgar Enerjisinin Ekonomik Analizi

Dünya genelinde enerji santrallerinin yapımı ve enerjinin geri dönme süresi, yatırımlar için büyük önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edilirken yeni teknolojik sistemlerin kullanımı, beraberinde önemli maliyetlere de katlanmayı zorunlu kılmaktadır.

Enerjinin geri dönme süresi, bir enerji santrali kurulurken, yapımı, montajı ve fabrikasyonu için harcanan enerjinin ne kadar sürede geri üretildiğidir. Rüzgar türbinleri 3 ile 8 aylık süreçte bunu gerçekleştirmektedir.

Rüzgar enerjisi üretim maliyetlerini diğer üretim teknikleri ile doğrudan karşılaştırmak yanıltıcı olmaktadır. Çünkü nükleer üretimlerden ve fosil yakıtların kullanılmasından dolayı ortaya çıkan toplumsal ve çevresel maliyetler hesaplamalara ilave edilmemektedir [Malkoç, 2007].

Maliyetleri belirleyen hususlar ise şu kalemlerden oluşmaktadır:

1. Yatırım Maliyetleri (Kurulum ve Şebeke Bağlantı Masrafları)
2. Finansman Maliyetleri (Borç Ödemesi vs.)
3. İşletme Maliyetleri (Bakım, Tamir, Kira, Operasyon Maliyetleri)

Bazı ülkelerin RES kurulum maliyetleri farklılıklar arz etmektedir. En düşük maliyete sahip ülkeler Danimarka iken onu takip eden ülkeler Yunanistan ve Hollanda'dır. İngiltere, İspanya ve Almanya'nın ise maliyetleri Danimarka'nın maliyetlerinden %20 - %30 daha yüksektir [EWEA, 2010].

Rüzgar enerjisinden üretilen enerji miktarının rüzgar hızının kübü kadar oranda olması gerekmektedir. Rüzgar hızları arasındaki fark 14 mbh'lık rüzgar hızına sahip alan ile 16 mbh'lık alanda kurulan RES'lerin enerji üretimi yaklaşık % 50'lik bir fark oluşturmaktadır [AWEA, 2006]. Kara üzerinde kurulu ve teknik dizaynı düzgün bir rüzgar enerji türbininin ekonomik ömrü yaklaşık 20 yıl olarak planlanmaktadır.

4. RÜZGAR TÜRBİNLERİ

4.1. Tarihçe

Doğu medeniyetlerinde daha düşük seviyelerdeki suyun çıkarılması ve tahıl öğütme amacıyla kullanılan rüzgar türbinleri, Haçlı Seferleri sırasında Avrupa'ya geçmiş ve Hollanda, Almanya, Danimarka gibi ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır.

Danimarkalı bir meteorolojist olan aynı zamanda aerodinamik alanında da çalışmalarda bulunan Poul la Cour, 1897 yılında ürettiği 89 W gücündeki ilk türbin ile rüzgar enerjisini elektrik üretim amacıyla kullanmıştır. Şekil 4.1'de Poul la Cour'un elektrik üretmek amacıyla tasarladığı türbin gösterilmiştir [Durak ve ark., 2008].



Şekil 4.1. Poul la Cour'un test türbinleri [Yalçın, 2010]

Poul la Cour'un fikirlerinden yola çıkan araştırmacılar bu tarihten sonra bir çok türbin geliştirmiş ve türbin teknolojisinin gelişimine katkı sağlamışlardır. Özellikle 1940-1950 yılları arasında 2 ve 3 kanadı bulunan türbinler üreten Danimarkalı F.L. Smidth adlı mühendislik firması ve Poul la Cour'un ilk öğrencilerinden olan ilk

alternatif akımla çalışan rüzgar türbinini üreten Johannes Juul bu katkılarda en büyük paylara sahip olmuşlardır.

Bu gelişmeleri takiben 1956 yılında Danimarka'nın güneyinde işletmeye alınan 200 kW kurulu gücündeki, elektromekanik dönüş sistemi, asenkron jeneratör ve aerodinamik fren sistemine sahip Gedser rüzgar türbini, modern rüzgar türbinlerinin temellerini oluşturmuştur. Şekil 4.2'de Gedser rüzgar türbini gösterilmiştir [Durak ve ark., 2008].



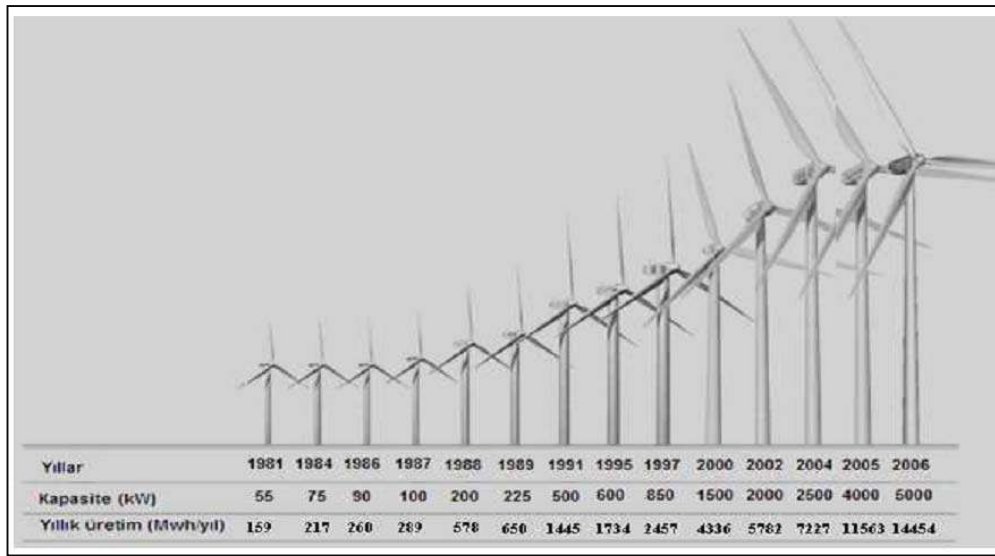
Şekil 4.2. Gedser rüzgar türbini [annualreviews, 2011]

Danimarkalı Poul la Cour, Alman Albert Betz ve Ulrich Hütter ile Amerikalı Palmer Cosslet Putnam'ın yaptığı çalışmalarla 1960'lı yılların ortalarına kadar etkin bir biçimde kullanılan rüzgar türbinleri, fosil yakıt fiyatlarının düşmesiyle yerini buhar makinalarına bırakmıştır. 1970'lere kadar devam eden bu durum ortaya çıkan petrol krizi ve 1980'li yıllardan itibaren artan çevre bilinci ile birlikte yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına sebep olmuştur. 1995 yılına kadar devam eden gelişim süreci daha sonra çarpıcı bir değişim göstermiştir.

1995 yılına kadar kW'lar seviyesinde türbinlerin bulunduğu rüzgar enerjisi sektörü, 1995 yılından sonra MW'lar seviyesindeki türbinlere geçiş yapmıştır. Artan kurulu

güçlerle birlikte rüzgar türbinlerinin kanat çapları ve yükseklikleri de artmıştır. 1960'lı yıllarda 20 m civarında olan türbin yükseklikleri günümüzde 100 m ve üzerine çıkmıştır.

Şekil 4.3'te rüzgar türbinlerinin 1981-2006 seneleri arasındaki kurulu güç ve yıllık enerji üretimleri arasındaki gelişim gösterilmektedir. 1980'li yıllarda 55 kW kurulu güçle yılda 159 MW üretim kapasite sahip türbinler, 2006 yılı itibarıyla 5 MW kurulu güç ve 14 454 MW üretim kapasitesine ulaşmışlardır [Durak ve ark., 2008].



Şekil 4.3. Yıllara göre kurulu güç ve üretimin gelişimi [Yalçın, 2010]

4.2. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri için yapılan sınıflandırmalar; sürekli olarak gelişen türbin teknolojisi, buna bağlı olarak daha önce hiç kullanılmıy yeni tip sistemlerin türbinlerde kullanılmaya başlanması ve gittikçe artan türbin boyutları sebebi ile sürekli değişmektedir. Bu aşamada yapılan başlıca sınıflandırmalar 8 grupta toplanabilir.

4.2.1. IEC türbin sınıflandırılması

Rüzgar türbinin çalışma koşullarını belirlemede kullanılan Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından yapılan sınıflandırmadır.

IEC-1400-1 standartlarına göre rüzgar türbinleri, ortalama rüzgar hızı, türbülans yoğunluğu, ve sınır koşullarının belirtildiği prosedürlerle tanımlanırlar. IEC-1400-1 standardına göre dört Standard sınıf (Klas) vardır. Bunlar; I, II, III, IV sınıfidırlar. Klas I'den IV'e kadar rüzgar hızları; 10 m/s, 8.5 m/s, 7.5 m/s ve 6 m/s'dir. Bu Standard sınıflar yüksek ve düşük türbülans sınıfları olarak A ve B olarak bir daha ayrılır. Aşağıdaki tabloda IEC tarafından dört ana sınıf rüzgar türbinin sınıflandırması görülmektedir.

Çizelge 4.1. IEC Türbin sınıfları [IEC, 2011]

Sınıflar	$v_{ref}(m/s)$	$v_{ort} (m/s)$	Türbülans Yoğunluğu A/B sınıfları için
I	50	10	0.18/0.16
II	42.5	8.5	0.18/0.16
III	37.5	7.5	0.18/0.16
IV	30	6	0.18/0.16

4.2.2. Türbinlerin boyut ve güçlerine göre sınıflandırılması

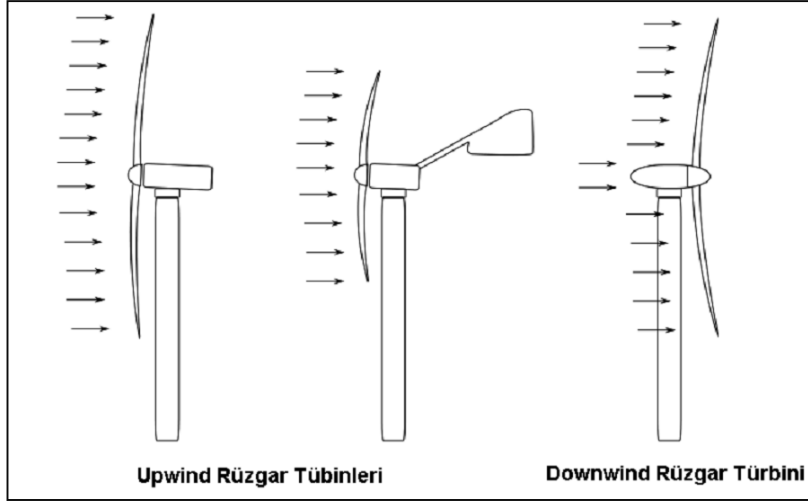
Çizelge 4.2'de türbinlerin boyut ve rotor çapına göre yapılan sınıflandırma görülmektedir.

Çizelge 4.2. Türbinlerin boyut ve güçlerine göre sınıflandırılması [Hatipoğlu, 2010]

Ölçek	Rotor Çapı	Kurulu Güç
Küçük	<12m	<40kW
Orta	12m- 45m	40kW- 99kW
Büyük	>46m	>1MW

4.2.3. Rüzgar geliş yönüne göre sınıflandırma

Çalışması esnasında rüzgarın geldiği yöne bakan (upwind) ve rüzgarın geldiği yönün tersine bakan (downwind) olmak üzere de bir sınıflandırma yapılabilir. Şekil 4.4'te “upwind” ve “downwind” rüzgar türbinlerinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.4. Rüzgarın estigi yöne göre çalışma pozisyonu alan rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması [Hatipoğlu, 2010]

Günümüzde ticari amaçlı elektrik üretiminde kullanılan bütün rüzgar türbinleri çalışma esnasında rüzgar geliş yönüne dönen (upwind) rüzgar türbinleridir [Hatipoğlu, 2010].

4.2.4. Rüzgar türbinlerinin kanat sayılarına göre sınıflandırma

Tek kanatlı rüzgar türbinleri

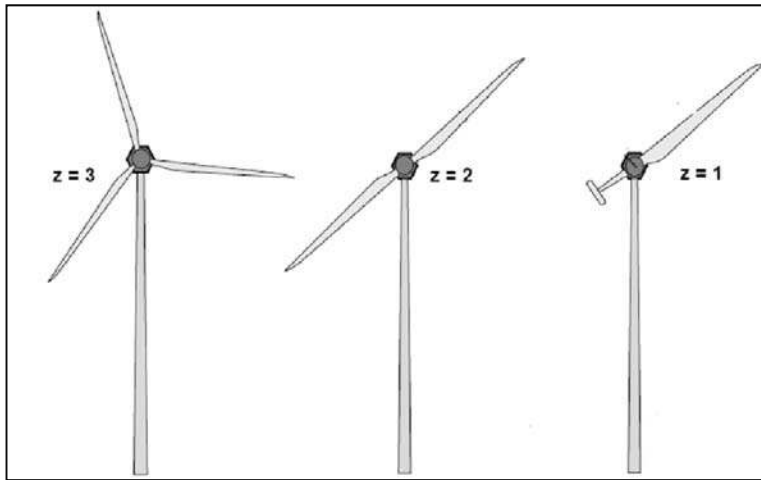
Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin kullanımının temel amacı, pervanelere etkiyen yüksek dönme hızının düşürülmesidir (Şekil 4.5). Ancak tek kanatlı rüzgar türbinleri aerodinamik olarak dengesizdir ve bu durumda ek hareketler ile istenmeyen bazı yüklere sebep olur. Bu mekanizmayı kontrol etmek için, göbek kısmına ek yapıların yerleştirilmesini gerektirir. Diğer mahsurlarından birisi de, yüksek aerodinamik gürültü seviyesidir. Uç hız oranı 120 m/sn civarındaki üç kanatlı pervanelerle kıyaslandığında uç hızı iki kat daha yüksektir. Dolayısı ile üç kanatlı rüzgar türbinlerinden daha gürültülüdür [Turhan, 2009].

İki kanatlı rüzgar türbinleri

20 yıl öncesine kadar iki kanatlı rüzgar türbinleri yaygın bir şekilde kullanılırdı (Şekil 4.5). 10 metreden 100 metreye kadar değişen farklı pervane çaplarında Avrupa’da ve Amerika’da kullanılmıştır. İki kanatlı rüzgar türbinleri, üç kanatlı rüzgar türbinlerinden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, iki kanatlı rüzgar türbinleri dinamik etkilerden dolayı bir takım ek ekipmanlar gerektirdiğinden, üç kanatlı rüzgar türbinleri ile hemen hemen aynı maliyete gelmektedir. Üç kanatlı rüzgar türbinlerinden farklı olarak dönmeden meydana gelen ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahiptir. Bu durum rüzgar türbini üzerinde ek bir yüklenme meydana getirir ve sadece sallanan göbek ile giderilebilir. Sallanan göbek kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektir. Ayrıca düşük şiddetteki rüzgar hızlarında (örneğin 3 m/sn) pervane devreye girememektedir [Turhan, 2009].

Üç kanatlı rüzgar türbinleri

Modern rüzgar türbinlerinde en çok kullanılan model üç kanatlı olanıdır (Şekil 4.5). Bunun temel nedeni, pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm pervaneler bu avantaja sahiptir. Ayrıca, üç kanatlı pervane bu avantajından dolayı rüzgar türbini üzerinde ek bir yük getirmemektedir [Turhan, 2009].



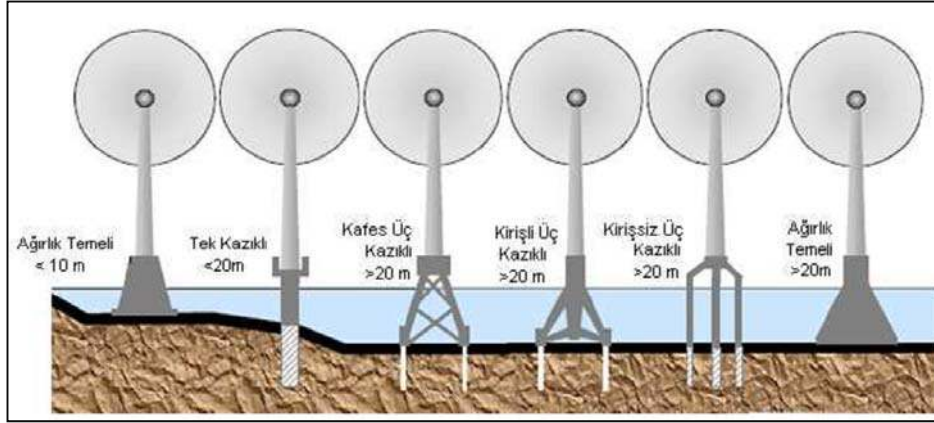
Şekil 4.5. Farklı Kanat Sayısında rüzgar türbinleri [Molly, 2009]

4.2.5.Onshore ve offshore türbinler

Günümüzde rüzgar türbinleri karaya (onshore) kurulabildikleri üstün rüzgar karakteristiklerinden dolayı açık denize (offshore) de kurulabilmektedir. Offshore rüzgar santralinde kullanılan rüzgar türbinleri, bu çalışmanın modern rüzgar santralleri bahsinde geçecek olan üç kanatlı rüzgar türbinleridir. Açık denize kurulduklarından dolayı onshore rüzgar türbinlerinden bazı farklılıkları vardır.

Her şeyden önce bu tip türbinler deniz tuzunun korozyon etkisinden kaçınmak için bu ortama uygun olarak tasarlanıp üretilmektedirler. Büyük türbin parçalarının bakımları ve parça değişimlerine olanak sağlayacak kendi vinçleri vardır. Çünkü herhangi bir bakım için yüzer vinç kullanmanın maliyeti çok yüksektir. Bununla beraber rotor tertibatları aynı türbinin onshore modeline göre %10 daha hızlı dönmesine izin verecek şekilde tasarlanmışlardır, bu da onshore rüzgar türbinine kıyasla % 5 daha fazla enerji üretimi anlamına gelmektedir.Bütün bunların yanında yüksek hızlı açık deniz rüzgarlarına dayanabilecek daha mukavim bir konstrüksiyona sahiptirler [Molly,2009].

Offshore rüzgar türbinlerinin onshore rüzgar türbinleri ile kıyaslandığında performans olarak bariz üstünlüklerinin yanında, ekipman, inşaat, montaj ve işletme maliyetleri onshore rüzgar türbinlerine göre yüksektir. Offshore rüzgar santralleri genelde kıyıdan uzak ancak sığ bölgelerde kurulmaktadır. Offshore rüzgar türbinlerinin en belirgin farklarından biri temelleridir. Montaj yapılacak bölgeye ve derinliğe göre Şekil 4.6’da görülen temel tiplerinden en ekonomik olanı belirlenir.

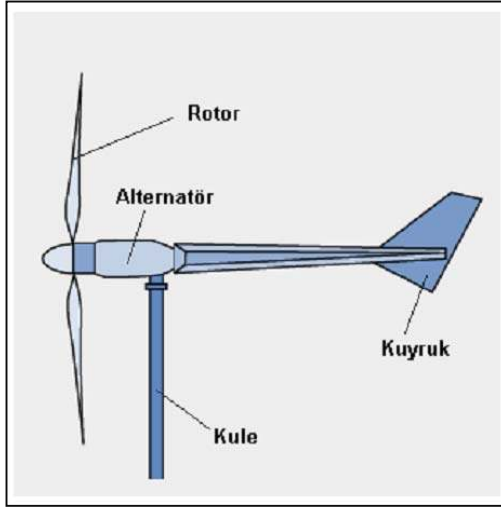


Şekil 4.6 Günümüzde kullanılan offshore rüzgar türbini temelleri ve su derinlikleri [DEWI, 2009]

Ancak günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte derinliğin fazla olduğu noktalarda yüzen tip türbin temeli ile rüzgar santrali kurmak mümkün olacaktır.

4.2.6. Rüzgar yakalama tertibatları bakımından türbinleri sınıflandırma

Rüzgar yakalama tertibatları bakımından sınıflandırmada türbinleri yaw (döndürme) mekanizmalı ve kuyruk tertibatlı olarak 2 grupta toplayabiliriz. Kuyruk tertibatlı türbinler küçük tip türbinlerdir ve türbin kuleye 360° serbest dönebilecek şekilde mafsallı üzerinde monte edilir. Rüzgar yönü değiştiğinde kuyruğa bir kuvvet uygulayarak bu kuvvet döndürme momentine dönüştürülür ve türbin rotorunun rüzgara karşı pozisyon alması sağlanır. Şekil 4.7’de kuyruklu döndürme tertibatına sahip küçük bir rüzgar türbini görülmektedir.



Şekil 4.7 Kuyruktan döndürme tertibatına sahip küçük rüzgar türbini

Orta ve büyük ölçekli rüzgar türbinlerinin tamamı aktif yaw (sapma) kontrol mekanizmasına sahiptir. Bu sistemde türbinin rüzgara doğru yönelmesi türbinin elektronik kontrol sistemi tarafından yönetilen elektrikli motorlarla olmaktadır. Rüzgar yönü ve hızı sürekli türbinin üzerinde yer alan sensörler (anemometre ve yön ölçer) tarafından ölçülmekte ve bu yön değişimlerini dikkate alınarak motorlar sağa veya sola döndürülerek türbinin rüzgar yönüne doğru yönelmesi otomatik olarak sağlanmaktadır. Yaw motorlarının sayısı türbin tipi ve dizaynına göre değişmektedir [Hatipoğlu, 2010].

4.2.7. Rotor ekseninin pozisyonuna göre sınıflandırma

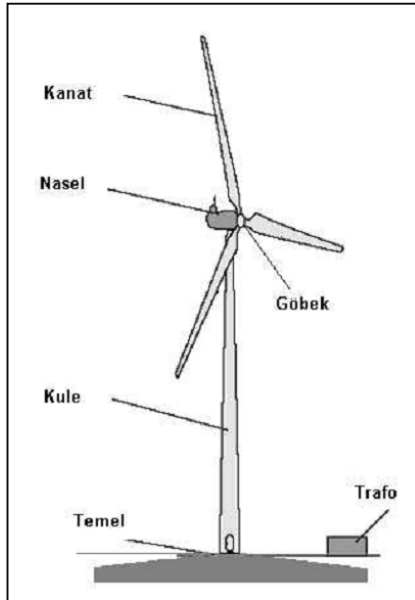
Bu sınıflandırma sisteminde türbinler Rotor ekseninin pozisyonuna göre yatay, dikey ve eğik rotor eksenli türbinler olarak ayrılırlar.

Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Yer konumuna göre rotoru yatay ekseninde çalışan türbinlerdir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri (Horizontal Axis Wind Turbine = HAWT)'nin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları sürekli rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu da rotorun kule üzerinde dönmesi ile sağlanır. Rüzgarın yönüne dönme hareketi iki ayrı konstrüksiyonla sağlanır.

Bunlar “öne-rüzgar” ve “arkaya-rüzgar” olarak adlandırılır. Eğer kanat, rüzgarı ön yüzünden alıyorsa rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Diğer durumda ise kanat rüzgarı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılıdır. Böylece sistem rüzgarı takip ederek maksimum fayda sağlanır.

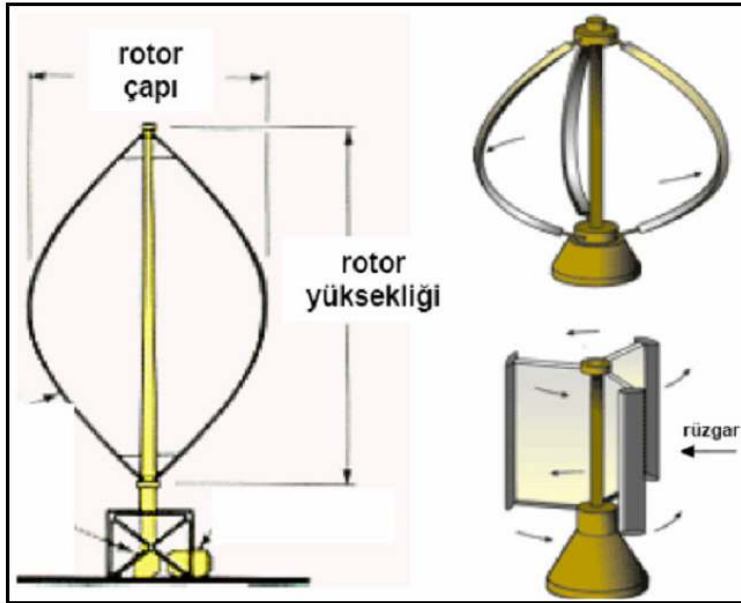
Teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinler yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Modern rüzgar türbinleri 2 veya 3 kanatlı ve kanat çapları yaklaşık 30 m civarındadır. Yatay eksenli türbinlerde rotor, dişli çark, jeneratör ve fren bir kulenin üzerinde yatay safta bağlanmışlardır. Ticari amaçlı kullanılan türbinlerin hemen hepsi bu guruba girmektedir. Şekil 4.8’de yatay eksenli sistemler şekli gösterilmiştir [Uğurlu, 2004].



Şekil 4.8. Yatay eksenli sistem [Uğurlu, 2004]

Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Bu tip türbinlerde dönme ekseni rüzgar yönüne dik ve kanatları düşeydir. Bunların başlıcaları Darrieus ve Savonius tipinde olanlardır. Şekil 4.9’da dikey eksenli rüzgar türbinleri gösterilmiştir (Vertical Axis Wind Turbine = VAWT).



Şekil 4.9. Düşey eksenli sistemler [Uğurlu, 2004]

Şekilde de görüldüğü gibi düşey eksenli rüzgar türbinlerinde kanatlar düşey safta bağlanmıştır. Bu türbinlerin yatay eksenli türbinlere göre bazı avantajları ile dezavantajları vardır:

Faydaları;

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

Mahsurları;

- Türbin kanatları tasarımı nedeniyle verimleri daha düşüktür.
- Kanatların yere yakınlığı sonucu düşük rüzgar hızına maruz kalırlar ve dolayısıyla enerji üretimini azaltır.
- Verim düşüklüğü nedeniyle dikey eksenli rüzgar türbinleri fazla uygulama alanı bulamamışlardır[Uğurlu, 2004].

Eğik eksenli rüzgar türbinleri

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

4.2.8. Güçlerine göre rüzgar türbinleri

Mikro türbinler

Genellikle sabit mıknatıslı jeneratörlerle birlikte batarya şarj etmek üzere kullanılmakta ve güçleri 50 W ile 2 kW arasında değişen türbinlerdir. Bu türbinler uzak iletişim sistemlerinde, ev içi sistemlerde ve gezi teknelerinde kullanılabilir. Şebekeden bağımsız olarak akü şarj prensibiyle çalışır. Rotor çapları 3 metreden küçüktür[Turhan, 2009].

Küçük güçlü rüzgar türbinleri

Güçleri 2 kW ile 40 kW ve rotor çapları 3 m ile 12 m arasında değişen rüzgar türbinleridir. Küçük rüzgar türbinleri genellikle şebekenin olmadığı veya ulaştırmanın ekonomik olmadığı ya da sorunlu olduğu yerlerde kullanılır. Genellikle akü şarj prensibine göre çalışır[Turhan, 2009].

Orta güçlü rüzgar türbinleri

Güçleri 40 kW ile 999 kW ve rotor çapları 12 m ile 45 m arasında değişen rüzgar türbinleridir[Turhan, 2009].

Büyük güçlü rüzgar türbinleri

Rüzgardan elde edilen elektrik enerjisi gücünün 1 MW'tan büyük, rotor çapının ise 46 metreden büyük olduğu türbinlerdir. Büyük güçlü türbinler, rüzgar çiftliği olarak adlandırılan diziler halinde kurulurlar.

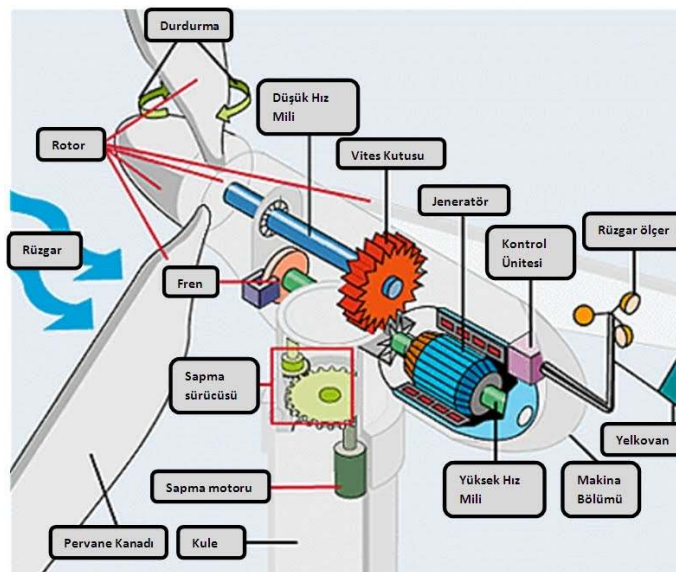
Yatırım amaçlı kurulan büyük güçlü türbinlerden üretilen enerji, mevcut şebekeye verilir. Bu yüzden yatırımdan önce yapılması gerekli olan bazı çalışmalar vardır.

Öncelikle bölgenin rüzgar açısından durumunun belirlenmesi gerekir. Yapılan detaylı ve en az bir yıl sürecek teknik rüzgar ölçümleriyle, rüzgar hızı ortalamaları, günlük, mevsimlik ve yıllık dağılımlar ile yaklaşık rüzgar enerjisi değerleri belirlenir. Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmaları sonucunda, kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri, üretilecek enerjinin maliyeti gibi sonuçlara ulaşılır. Bu çalışmalarda, bölgesel elektrik kurumlarıyla ve devletle yapılacak olan anlaşmalar, alınacak özel izinler, çevre halkının yaklaşımı, bölgedeki konvansiyeelektriğin maliyeti, yıllık harcama miktarı, arazinin fiziksel yapısı, finansman ve kredi politikası gibi parametreler önemli rol oynar.

Büyük güçlü türbinlerden oluşan rüzgar çiftliklerinin yatırım maliyeti kabaca bir yaklaşımla 1000 \$/kW'tır. Yıllık bakım masrafı ise yatırımın % 1–1,5 oranında gerçekleşir[Turhan, 2009].

4.3. Rüzgar Türbinlerinin Parçaları

Modern bir rüzgar türbininin temel parçaları, kanatlar (palalar), rotor, düşük ve yüksek hızlı miller, dişli kutusu, jeneratör, anemometre, kontrol birimi, düzenleyiciler, hatve mekanizması, rüzgar gülü, sapma mekanizması ve sapma motoru, disk freni kaporta ve kule olarak sayılabilir. Şekil 4.10'da modern bir rüzgar türbininin temel parçaları gösterilmektedir [Kavsaoglu, 2008].



Şekil 4.10. Modern bir rüzgar türbininin başlıca parçaları [Kavsaoglu, 2008]

4.3.1. Kanatlar (Palalar)

Aerodinamik olarak şekillendirilmiş kanatlar, yüzeyleri üzerinde akan hava akımının oluşturduğu aerodinamik yüzey kuvvetinin dönme merkezine göre oluşturduğu momentle, türbinin dönmesini sağlayan parçalardır.

Kanatlarda malzeme olarak paslanmaya dayanıklı galvanizli sac, özel karbon ile karıştırılmış kompozit malzemeler veya ahşap kullanılır. Kanatlar plastikte güçlendirilmiş camdan (GRP, Glass Reinforced Plastic), tahtadan, tahta laminentten, plastikte güçlendirilmiş karbon fiberden (CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic), çelikten veya alüminyumdan yapılmaktadır. Dünyada yapılan kanatların çoğunda plastikte güçlendirilmiş cam kullanılmaktadır.

Yüksek kaldırma ve sürükleme kuvveti, çok yüksek rüzgarlarda ani duruş veya yavaşlama karakteristiği, pürüzsüzlük, düşük gürültü karakteristiği bir kanat için kalite kriterleri olarak kabul edilebilir.

4.3.2. Rotor

Bir rüzgar türbininde rotor, kanatlar ve bunların bağlı oldukları çekirdekten oluşan yapı olarak tanımlanır . Rüzgar türbinlerinin en önemli parçaları arasında gösterilen rotor, rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirip jeneratörün shaftına aktarır. Rüzgar, türbinleri daha çok uçak pervaneleri gibi çevirir. Arkaya doğru atmaya çalışmaz. Hava kanatın üstünden daha hızlı akar. Bunun sonucunda da basınç farkından dolayı hareket oluşur ve kanatlar kendilerine bağlı olan jeneratörü çevirirler[Özaktürk, 2007][Walker ve ark., 1997].

4.3.3. Düşük ve yüksek hızlı miller

Rüzgar türbinlerinde, rotora bağlı olan ve 30-60 devir/dakika hız ile dönen mil düşük hızlı mil, jeneratöre bağlı olan ve 1200 - 1500 devir/dakika hız ile dönen mil ise yüksek hızlı mil olarak tanımlanır [Kavsaoğlu, 2008].

4.3.4. Dişli kutusu

Düşük hızlı mil ile yüksek hızlı mil arasındaki bağlantıyı sağlayan dişli kutusu, rüzgar türbinlerinin ağır ve pahalı bir parçasıdır.

4.3.5. Jeneratör

Rüzgar türbinlerinde genellikle, alternatif akım üretiminde kullanılan bir indüksiyon jeneratörü kullanılır.

4.3.6. Anemometre

Anemometreler, türbinlerde rüzgar hızını ölçerek kontrol birimine ileten parçalardır.

4.3.7. Kontrol birimi

Rüzgar türbinlerinde kontrol birimleri, rüzgar hızı yeteri kadar yüksek olduğunda türbinin harekete geçmesi, aşırı yüksek hızlarda türbinin frenlenmesi, türbinin rüzgara yönelmesi ile ilgili kontrolleri yapan ve gerekli komutları verme görevini üstlenen cihazlardır.

4.3.8. Regülatörler (düzenleyiciler)

Regülatörler rüzgar türbinlerinin bazılarında dönme hızını sabit tutmak veya aşırı rüzgar hızlarında eksenel kuvveti azaltmak için kullanılan parçalardır.

4.3.9. Hatve mekanizması

Hatve mekanizması, kanatlarının açılma konumları değişebilen türbinlerde, kanat açılarının aerodinamik verimin maksimum olacağı veya hızın sabit tutulacağı şekilde ayarlanması, ayrıca düşük rüzgar hızlarında türbinin harekete geçmesi sırasında yüksek başlangıç momenti elde etmek için kullanılır.

4.3.10. Rüzgar gülü

Rüzgar gülü rüzgarın yönünü ve sapma açısını ölçerek kontrol birimine ileten düz levha şeklinde bir araçtır.

4.3.11. Sapma mekanizması ve sapma motoru

Sapma mekanizması ve sapma motoru, rüzgardan daha fazla enerji alınabilmesi için rüzgar gülünden gelen yön bilgisi doğrultusunda türbin eksenini rüzgar yönüne

paralel hale getirir. Sapma mekanizması ve sapma motoruna eş olarak bazı yavaş ve küçük türbinlerde basit bir kuyruk levhası kullanılır.

4.3.12. Disk fren

Bazı rüzgar türbinlerinde kanat açısının değiştirilmesiyle elde çeşitli aerodinamik frenleme sistemlerine ek olarak, acil durumlarda türbinin durdurulması amacı ile bir de disk fren bulunabilir.

4.3.13. Kaporta (Nacelle)

Kaporta düşük hızlı mil, yüksek hızlı mil, dişli kutusu, jeneratör, sapma motoru ve ünitesi, disk fren, kontrol cihazları vs. için koruma görevi yapan aerodinamik olarak havanın akışını kolaylaştıran kapalı yapı olarak tanımlanabilir.

4.3.14. Kule

Rüzgar hızı yer yüzeyinden yükseklerle çıkıldıkça logaritmik bir artış gösterir. Rüzgar türbinleri, yer yüzeyinde oluşan pürüzlülük ve sınır tabaka etkisinden kurtarmak amacıyla mümkün olduğunca yukarı yerleştirilirler. Çelik boru, çelik kafes gibi malzemelerden üretilen kuleler, türbini, kaporta ve içindekileri yer yüzeyinden belli bir mesafe yukarıda tutma görevini üstlenmişlerdir [Kavsaoğlu, 2008, Walker ve ark., 1997].



Şekil 5.1. örnek yapı

5.2. Örnek Yapının Elektrik İhtiyacı

Bir yapıya uygun bir rüzgar türbini kurabilmek için, öncelikle ne kadar elektrik harcadığını saptamak gerekmektedir. Elektrik harcayan başlıca elektrikli aletler; Lambalar, buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, televizyon seti, müzik seti, laptop, ütü, fön makinesi, fırın, kettle, tost makinesi, kahve makinesi, microwave, elektrikli süpürge.

Örnek yapının mevcut kullanılan elektrikli aletleri ve bu aletlerin hafta içi farklı günlerde ve farklı saatlerde harcadıkları enerji miktarları iki farklı tipte 6 adet uygulama şeklinde hazırlanmıştır. Bu 6 uygulama A ve B olarak iki tipe ayrılmıştır.

A tipinde elektrikli eşyalar arasında microwave, elektrikli süpürge, fön makinesi, televizyon seti, ütü ve çamaşır makinesi binada olmadığından Adet sütununa rakamı sıfır koyularak hesaplamadan çıkarılmıştır.

Diğer yandan her gün tüm makineler çalıştırılmadığı için, iki farklı günlük elektrik harcama tipi tablosu oluşturulmuştur. Bu da Çizelge 5.1 v2e 5.2’de A-I ve A-II tipleri olarak tanımlanmışlar.

Çizelge 5.1. Örnek yapının elektrik ihtiyacı, Tip A-I

Sıra	Elektrikli Eşyalar	ADET	W	H	Kullanım	W/Day
1	Aydınlatma	6	22	6	0.44	348
2	Dış aydınlatma	5	36	8	1	1 440
3	Buzdolabı A++	1	150	8	1	1 200
4	Bulaşık makinesi A++	1	760	2,5	1	1 900
5	Çamaşır makinesi A++	0	760	2,5	0	0
6	Ütü	0	1 400	1	0	0
7	TV-LCD	0	110	12	0	0
9	Laptop	1	40	6	1	240
10	Fırın	1	1 800	2	0	0
11	Fön makinesi	0	1 400	0,3	0	0
12	Kettle	1	1 500	0,3	1	450
13	Elektrikli süpürge	0	1 200	1	0	0
14	Tost Makinası	1	1 100	0,3	1	330
15	Microwave	0	900	0,5	0	0
16	Müzik seti	1	30	5	1	150
17	Kahve makinesi	1	1 000	0,2	1	200
						6 258

Çizelge 5.2. Örnek yapının elektrik ihtiyacı, Tip A-II

Sıra	Elektrikli Eşyalar	ADET	W	H	Kullanım	W/Day
1	Aydınlatma	6	22	6	0.44	348
2	Dış aydınlatma	5	36	10	1	1 800
3	Buzdolabı A++	1	150	8	1	1 200
4	Bulaşık makinesi A++	1	760	2,5	0	0
5	Çamaşır makinesi A++	0	760	2,5	0	0
6	Ütü	1	1 400	0	0	0
7	TV-LCD	0	110	12	0	0
9	Laptop	1	40	6	1	240
10	Fırın	1	1 800	2	1	3 600
11	Fön makinesi	0	1 400	0,3	0	0
12	Kettle	1	1 500	0,3	1	450
13	Elektrikli süpürge	0	1 200	1	0	0
14	Tost Makinası	1	1 100	0,3	1	330
15	Microwave	0	900	0,5	0	0
16	Müzik seti	1	30	5	1	150
17	Kahve makinesi	1	1 000	0,2	1	200
						8 318

Mevcut elektrikli aletlere ek aletler eklendiğinde elektrik harcamasındaki olası değişimler hafta içi günlerin farklı saatleri için Çizelge 5.3, 5.4 5.5, 5.6’ da gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Örnek yapının elektrik ihtiyacı, Tip B-I

Sıra	Elektrikli Eşyalar	ADET	W	H	Kullanım	W/Day
1	Aydınlatma	6	22	6	0.44	348
2	Dış aydınlatma	5	36	10	1	1 800
3	Buzdolabı A++	1	150	8	1	1 200
4	Bulaşık makinesi A++	1	760	2,5	0	0
5	Çamaşır makinesi A++	1	760	2,5	1	1 900
6	Ütü	1	1 400	1	0	0
7	TV-LCD	1	110	12	1	1 320
9	Laptop	1	40	6	1	240
10	Fırın	1	1 800	2	0	0
11	Fön makinesi	1	1 400	0,3	1	420
12	Kettle	1	1 500	0,3	1	450
13	Elektrikli süpürge	1	1 200	1	1	1 200
14	Tost Makinası	1	1 100	0,3	1	330
15	Microwave	1	900	0,5	1	450
16	Müzik seti	1	30	5	1	150
17	Kahve makinesi	1	1 000	0,2	1	200
						10 008

Çizelge 5.4. Örnek yapının elektrik ihtiyacı, Tip B-II

Sıra	Elektrikli Eşyalar	ADET	W	H	Kullanım	W/Day
1	Aydınlatma	6	22	6	0.44	348
2	Dış aydınlatma	5	36	10	1	1 800
3	Buzdolabı A++	1	150	8	1	1 200
4	Bulaşık makinesi A++	1	760	2,5	1	1 900
5	Çamaşır makinesi A++	1	760	2,5	0	0
6	Ütü	1	1 400	1	0	0
7	TV-LCD	1	110	12	1	1 320
9	Laptop	1	40	6	1	240
10	Fırın	1	1 800	2	0	0
11	Fön makinesi	1	1 400	0,3	0	0
12	Kettle	1	1 500	0,3	1	450
13	Elektrikli süpürge	1	1 200	1	0	0
14	Tost Makinası	1	1 100	0,3	1	330
15	Microwave	1	900	0,5	1	450
16	Müzik seti	1	30	5	1	150
17	Kahve makinesi	1	1 000	0,2	1	200
						8 388

Çizelge 5.5. Örnek yapının elektrik ihtiyacı, Tip B-III

Sıra	Elektrikli Eşyalar	ADET	W	h	Kullanım	W/Day
1	Aydınlatma	6	22	6	0.44	348
2	Dış aydınlatma	5	36	10	1	1 800
3	Buzdolabı A++	1	150	8	1	1 200
4	Bulaşık makinesi A++	1	760	2,5	0	0
5	Çamaşır makinesi A++	1	760	2,5	0	0
6	Ütü	1	1 400	1	1	1 400
7	TV-LCD	1	110	12	1	1 320
9	Laptop	1	40	6	1	240
10	Fırın	1	1 800	2	0	0
11	Fön makinesi	1	1 400	0,3	1	420
12	Kettle	1	1 500	0,3	1	450
13	Elektrikli süpürge	1	1 200	1	1	1 200
14	Tost Makinası	1	1 100	0,3	1	330
15	Microwave	1	900	0,5	1	450
16	Müzik seti	1	30	5	1	150
17	Kahve makinesi	1	1 000	0,2	1	200
						9 508

Çizelge 5.6. Örnek yapının elektrik ihtiyacı, Tip B-IV

Sıra	Elektrikli Eşyalar	ADET	W	H	Kullanım	W/Day
1	Aydınlatma	6	22	6	0.44	348
2	Dış aydınlatma	5	36	10	1	1 800
3	Buzdolabı A++	1	150	8	1	1 200
4	Bulaşık makinesi A++	1	760	2,5	0	0
5	Çamaşır makinesi A++	1	760	2,5	0	0
6	Ütü	1	1 400	1	0	0
7	TV-LCD	1	110	12	1	1 320
9	Laptop	1	40	6	1	240
10	Fırın	1	1 800	2	1	3 600
11	Fön makinesi	1	1 400	0,3	1	420
12	Kettle	1	1 500	0,3	1	450
13	Elektrikli süpürge	1	1 200	1	1	1 200
14	Tost Makinası	1	1 100	0,3	1	330
15	Microwave	1	900	0,5	1	450
16	Müzik seti	1	30	5	1	150
17	Kahve makinesi	1	1 000	0,2	1	200
						11 708

Çizelgelerde de gözüktüğü gibi örnek yapının günlük elektrik ihtiyacı 6 258 w' la 11 708 w arasında değişmektedir.Uygun rüzgar türbini saptamak için en yüksek elektrik ihtiyacının ele alınması gerekmektedir. Bu durum sağlandığında rüzgar türbini binanın elektrik ihtiyacını karşılayabilecektir.

5.3. Bölgenin Rüzgar Enerjisini Detaylı Hesaplaması Ve Rüzgar Türbini Seçimi

Bu bölümde bölgenin rüzgar enerjisini hesaplamak ve hesaplama sonucuna uygun rüzgar türbini seçimi için WindPRO programı kullanılmıştır.

5.3.1. EMD' nin tanıtımı

EMD International A/S 1986 yılında kurulan tamamen “Enerji- og Miljødata” (Enerji ve Çevre Dataları) bağımsız derneğine aittir.EMD'nin merkezi Danimarkanın

Aalborg kentindedir ve Almanya, Fransa, İspanya, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, Ortadoğu ve Çin’de bölgesel satış ve destek ofisleri bulunmaktadır[www.emd.dk, 2012].

EMD; yazılım, danışmanlık hizmetleri, eğitim ve know-how projelendirme, planlama ve çevre dostu enerji projelerinin dokümantasyon alanlarında dünya çapında şirketler ve kurumlar sağlayan bir yazılım ve bilgi merkezidir.

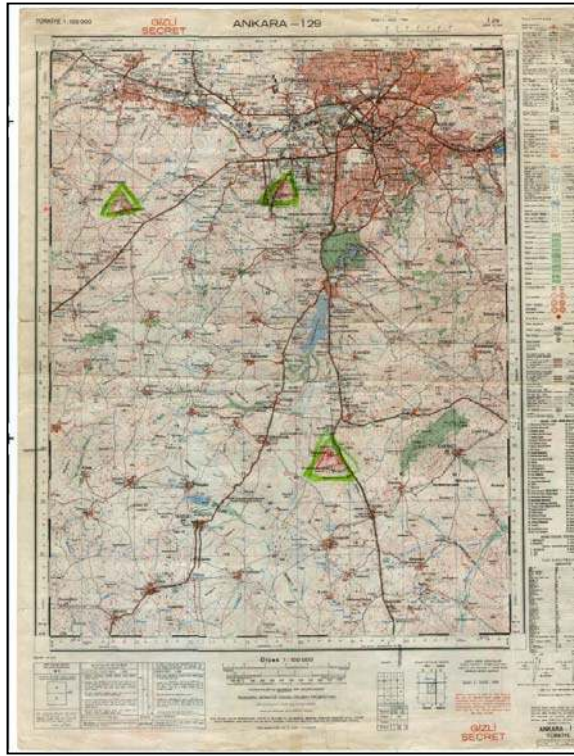
Proje geliştiriciler, danışmanlar, yatırımcılar ve kamu hizmetleri ile EMD’nin uzun vadeli etkileşimi, Danimarka’nın “tam ölçekli” laboratuvarları içinde yenilenebilir enerji projeleri, WindPRO ve EnergyPRO gibi tasarım ve planlama için önemli iki ticari yazılımı mevcuttur. Ciddi, bağımsız, ve bilgiye dayalı değerlendirme ve kendi alanlarında dünyanın en çok kullanılan yazılım paketleri olarak yatırımcılar, bankalar ve yerel yetkililer tarafından dünya çapında kullanılmaktadırlar.

5.3.2. WindPRO’nun tanıtımı

WindPRO rüzgar santrali projelerinin planlama ve tasarım için dünyanın en yaygın kullanılan yazılım paketidir. 1 800’den fazla şirket ve kurum, dünyanın önde gelen türbin üreticileri, proje geliştiriciler, mühendislik firmaları, kamu hizmetleri, planlama otoriteleri ve araştırma kurumları WindPRO kullanmaktadırlar.

5.3.3. Haritayı tanıttırmak

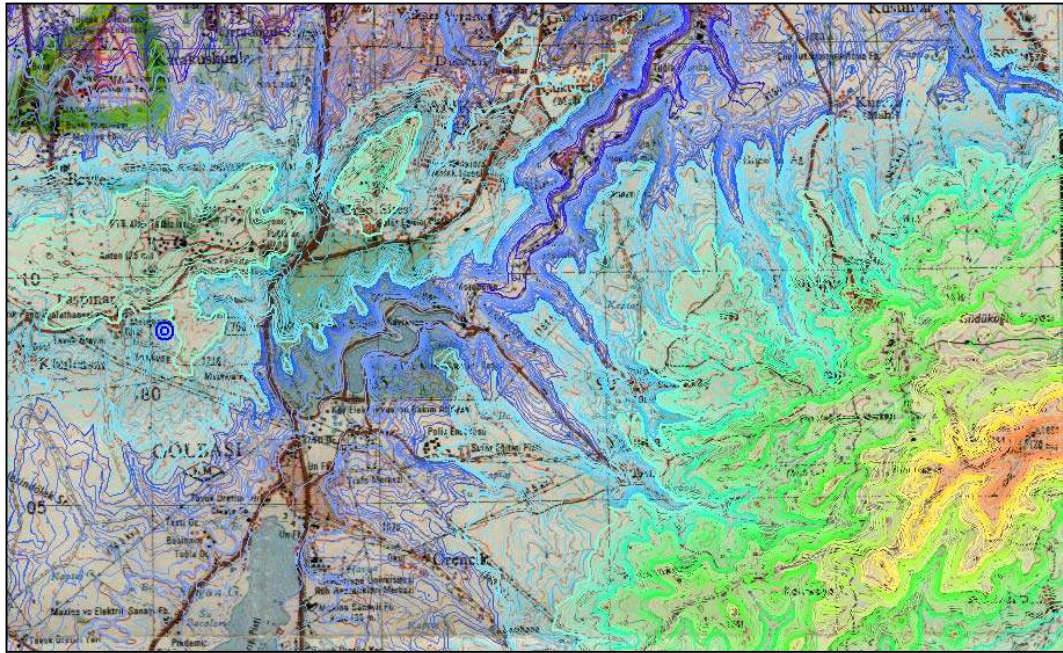
Haritalar bir sınıflandırma sistemi içerisinde pafta numarasıyla gruplandırılmaktadırlar. Proje sahası için kullanılacak haritanın paftası I29 numara ile tanımlanmaktadır (Harita 5.2). Haritalar için farklı koordinat sistemleri kullanılmaktadır, bu çalışmada UTM ED50 daha pratik olduğu için seçilip, kullanılmıştır. Seçtiğimiz haritayı windPRO üzerinde kullanabilmek için programa tanıttırmamız gerekmektedir. Bunun için haritanın üç farklı noktasının koordinatlarını WindPRO’ya kaydetmek gerekiyor. Üç farklı noktanın koordinatının belirleme nedeni, noktaları harita üzerinde seçerken yapılan küçük kaydırma hatalarını önlemektir.



Harita 5.2. Bölgenin haritası

5.3.4. Harita üzerinde topografyayı belirtmek

Elde edilen haritanın üzerine topografik verileri de eklemek gerekmektedir., Yani harita üzerinde her noktanın sadece enlem ve boylamı değil, yüksekliğini de göstere bilen bir haritamızın olması gerekiyor. Bunun için WindPRO üzerinde olan “Line Object” modülü kullanılmaktadır. (harita üzerinde mavi nokta şeklinde gözüküyor). WindPRO programı farklı formattaki topografik verileri ile çalışabilmektedir ama bu proje sahası için WindPRO Programının “on line data” kısmını kullanarak SRTM’den topografya bilgilerini indirip ve harita üzerinde yerleştiriyoruz, sonuç Harita 5.3’te gösterilmiştir.

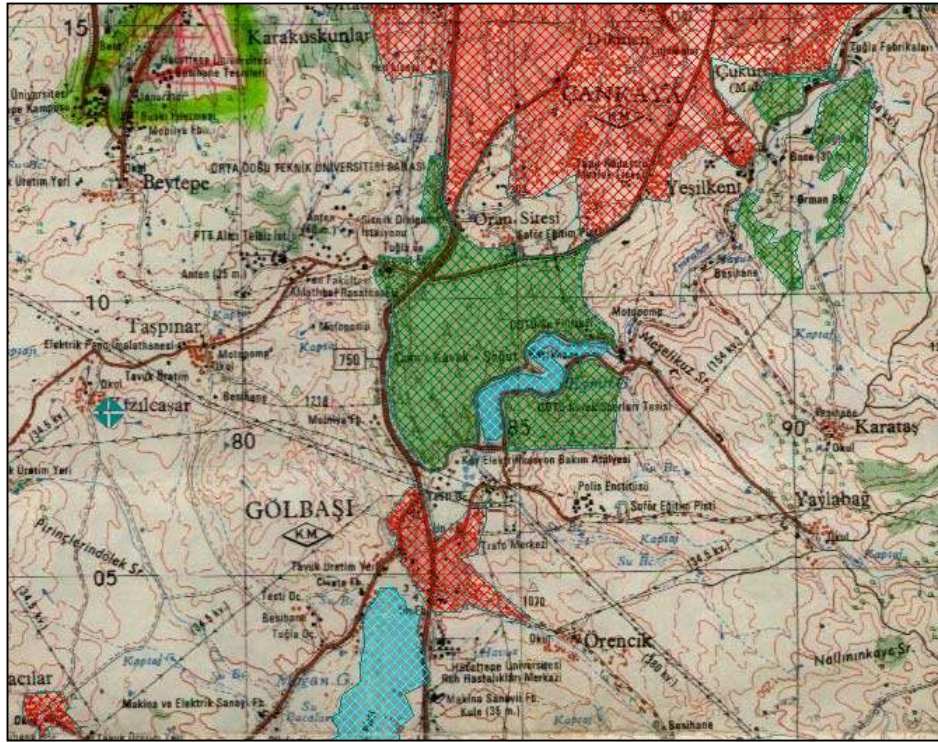


Harita 5.3. Sahanın topografyası

SRTM “Shuttle Radar Topography Mission (topografya radar mekik mısıyonu)” ın kısaltılmışıdır. SRTM, Ulusal Geospatial-Intelligence Ajansı (National Geospatial – Intelligence agency, NGA) ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) başını çektiği uluslararası bir projedir ve dünyanın en eksiksiz yüksek çözünürlüklü dijital topografik veri tabanı oluşturmak için yakın bir küresel ölçekte yükseklik verileri elde ediyor ve yer yüzeyinin %80’inden fazlasını küresel kapsamaya sahiptir. Kuzeyin 60 derecesi ve güneyin 56 derecesi arasındaki tüm pozisyonları kapsayabilmektedir[<http://www2.jpl.nasa.gov>, 2012].

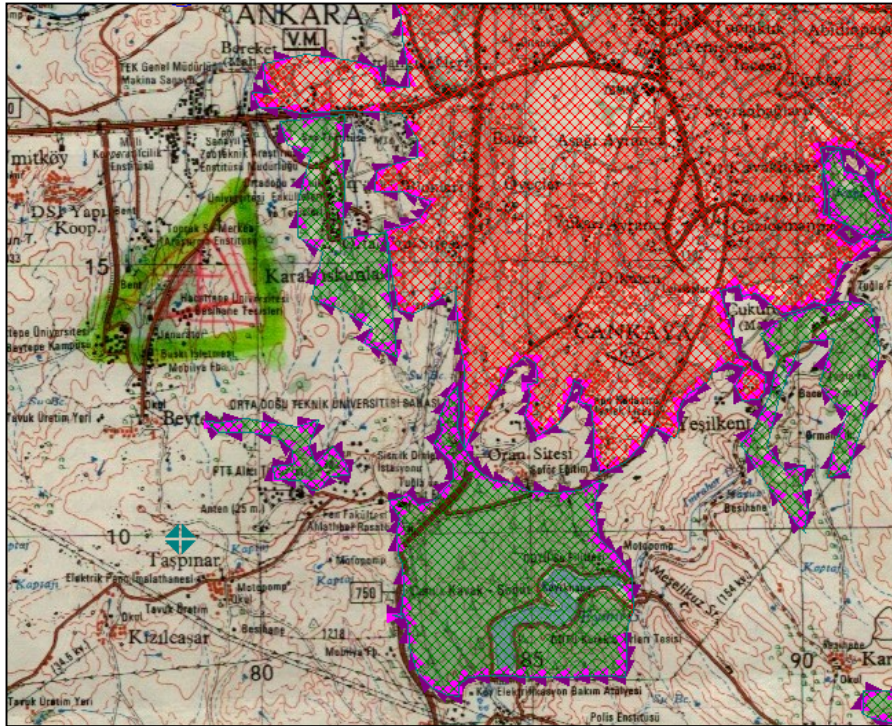
5.3.5. Harita üzerinde pürüzlülüğü belirtmek

Proje sahasında rüzgar datalarını doğru bir şekilde kullana bilmek için, pürüzlülüğü belirtmek gerekiyor. Yani harita üzerinde ormanları, göl ve denizleri, şehirleri, tarlaları belirtmek gerekiyor. Bunun için WindPRO programı üzerinde “Area Object” modülü kullanılır sonuç Harita 5.4’te görüldüğü gibi ortaya çıkıyor.



Harita 5.4. Pürüzlülük haritası

Enerji hesabında kullanılacak olan WAsP programının her yöndeki pürüzlülük değişimlerini doğru bir şekilde algılayabilmesi için, pürüzlülük çizgileri tekrar tanımlanması gerekmektedir. Pürüzlülük çizgilerinin tanımlanması için Harita 5.5'te görüldüğü gibi “Line Object” modülü kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün pürüzlülük çizgileri ile de tanımlanması ile WAsP programı çalıştırıldığında saha etrafındaki farklı pürüzlülük değerlerinin doğru olarak algılanması sağlanmaktadır.



Harita 5.5. WasP programını kullanarak elde edilen pürüzlülük haritası

5.3.6. Rüzgar verileri

Bölgenin rüzgar hızı datalarını elde etmek için WindPRO programını kullandığımızda 4 farklı rüzgar datasına raslanmaktadır.

NCAR'a ait veriler

NCAR, Ulusal Atmosfer Araştırma Merkezi (The National Center For Atmospheric Research) atmosferik ve ilgili bilim alanlarındaki hizmet, araştırma, ve eğitime adanmış bir federal olarak finanse edilen, araştırma ve geliştirme merkezidir. NCAR'nin misyonu atmosferin fiziksel, biyolojik ve sosyal sistemleri ile ilgili davranışlarını tespit etmektir.

WindPRO'nun alt kümesi (temel NCAR), rüzgar hızı, rüzgar yönü ve sıcaklık gibi tipik rüzgar enerjisi uygulamaları için gerekli olan verileri tutar. Veri kümesinin güncellemeleri iki aylık bazda verilmektedir. Bu veri kümesi genellikle rüzgar

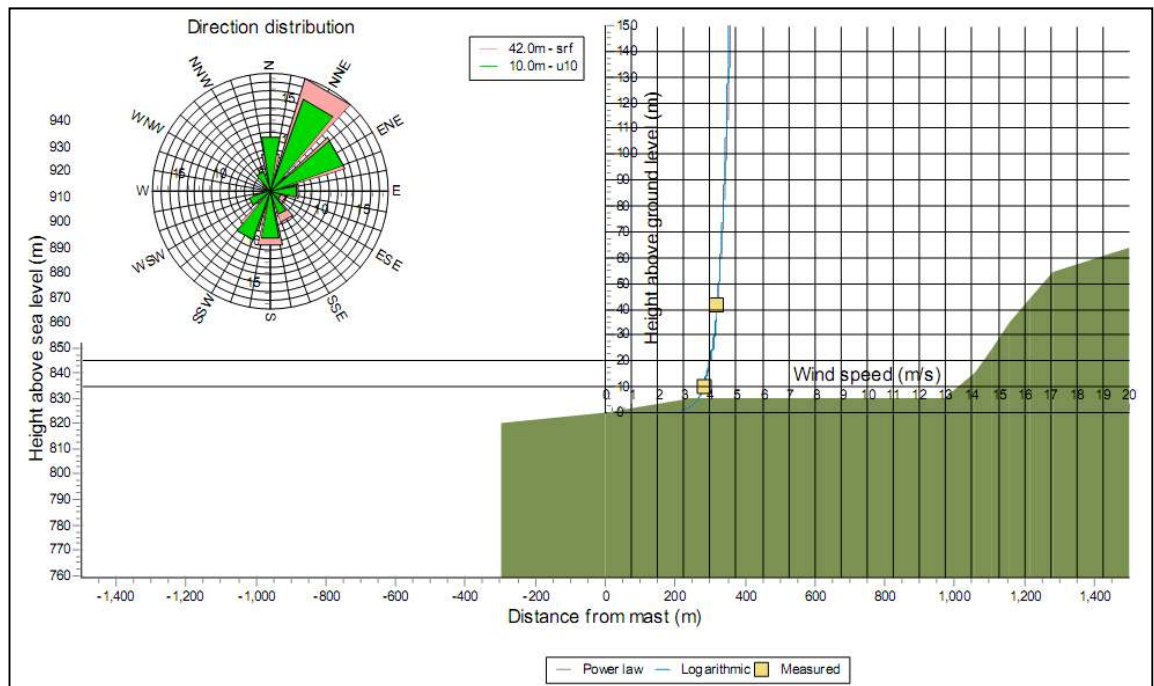
indeksi yöntemini kullanarak ölçüm-korelasyon-tahmin görevleri arasında ilişkiyi kullanmaktadır.

NCAR raporuna göre incelenen bölgenin rüzgar hızının 10 metre ve 42 metre yüksekliklerinde ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.7’ de verilmiştir.

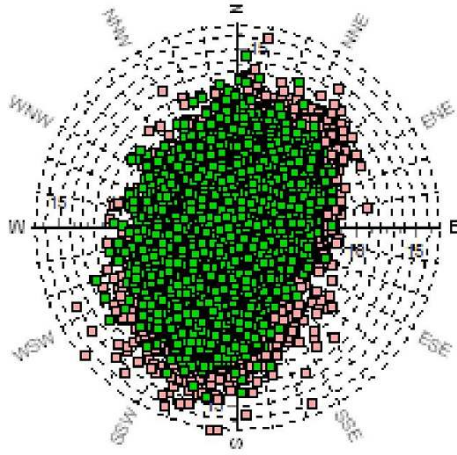
Çizelge 5.7. Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği(U_{mean} *) basit aritmetik ortalamasıdır)

ID	Height [m]	Data recovery [%]	Records	U_{max} [m/s]	U_{mean} *) [m/s]
42.0m - srf	42.0	100.0	43964	17.1	4.2
10.0m - u10	10.0	100.0	43964	14.4	3.7

Bölgenin rüzgar yön dağılımına bakıldığında şekil 5.2 ve 5.3’te görüldüğü üzere, hakim rüzgar yönü NNE’dir.



Şekil 5.2. 42 ve 10 metre yüksekliğinin tüm eşzamanlı veriler için ortalama rüzgar ve arazi profili



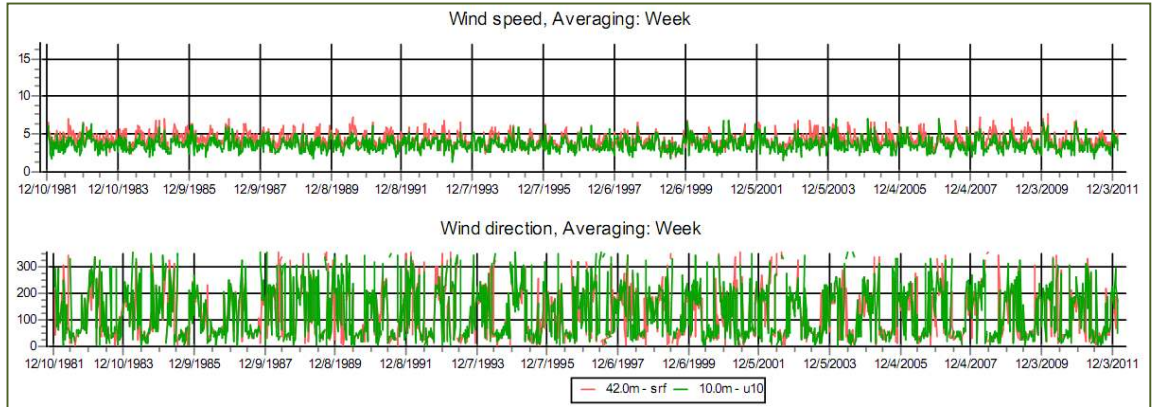
Şekil 5.3. NCAR datalarına göre Rüzgar hızı/yönü

İstatistiklere bakıldığında Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi ortalama rüzgar hızı 42 metre de 4,27m/s dir ve 70,19 dereceden esmektedir. 10 metre de ise 3,75 m/s dir ve 55,74 dereceden esmektedir.

Çizelge 5.8. NCAR’a ait istatistikler

Signal	Unit	Count	Of period [%]	Mean	Weibull mean	Weibull A	Weibull k
42.0m - srf Mean wind speed, all	m/s	43964	100.0	4.22	4.27	4.82	1.97
42.0m - srf Wind direction, all	Degrees	43964	100.0	70.19			
10.0m - u10 Mean wind speed, all	m/s	43964	100.0	3.67	3.75	4.24	2.08
10.0m - u10 Wind direction, all	Degrees	43964	100.0	55.74			

NCAR dataları 1981’den 2011’e kadar, 30 yıllık bir süre içinde toplanmıştır. Şekil 5.4’te bu süreç içinde haftalık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü eğrisi verilmiştir.



Şekil 5.4 İncelenen bölgenin 1981’den 2011’e kadar haftalık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü

QSCAT’a ait veriler

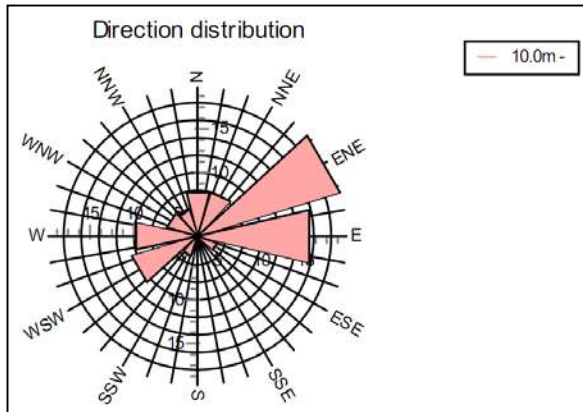
QuikScat verisi Uzaktan Algılama Sistemleri (Remote Sensing Systems) tarafından üretilen ve NASA Okyanus Vektör Rüzgar Bilimi Ekibi (NASA Ocean Vector Winds Science Team) tarafından sponsor edilmiştir. QuikScat rüzgar verileri QuikBird uydu üzerine monte edilmiş bir uzaktan algılama mikrodalga scatterometreden türetilmiştir.

QSCAT raporuna göre incelenen bölgenin rüzgar hızının 10 metre yüksekliklerinde ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.9’ da verilmiştir.

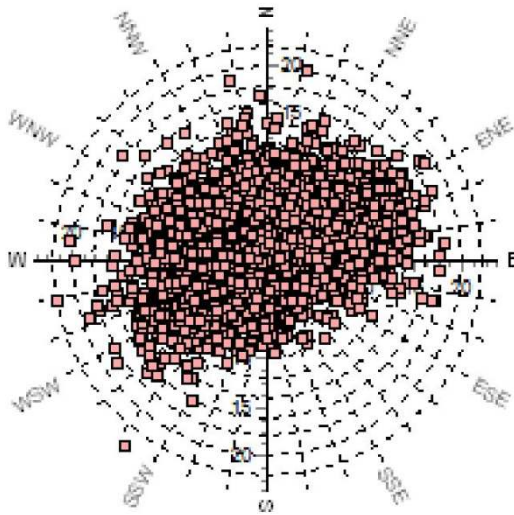
Çizelge 5.9. Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği ((U_{mean} *) basit aritmetik ortalamasıdır)

ID	Height [m]	Data recovery [%]	Records	U _{max} [m/s]	U _{mean} *) [m/s]
10.0m -	10.0	105.6	6851	23.8	6.0

Bölgenin rüzgar yön dağılımına bakıldığında Şekil 5.5 ve 5.6’da görüldüğü üzere, hakim rüzgar yönü ENE’dir.



Şekil 5.5. 10 metre yüksekliğin en sık gözükten sektörü için arazi profili



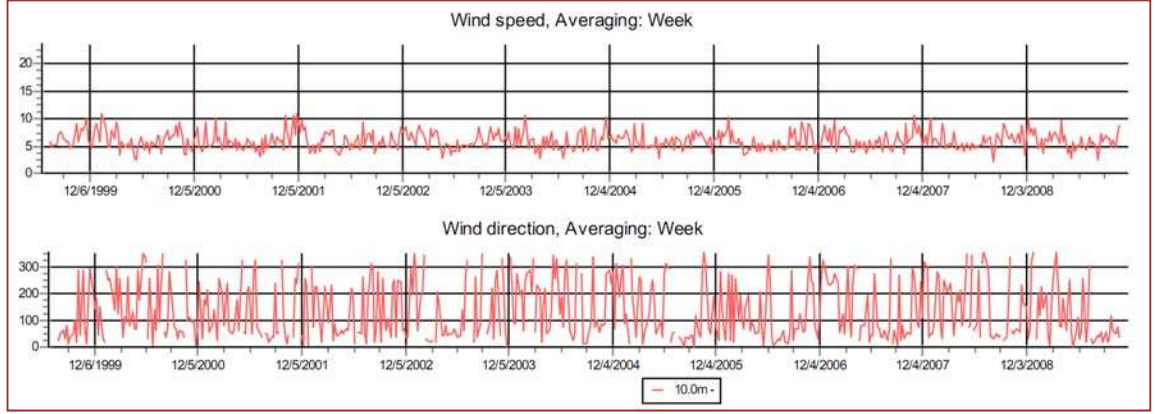
Şekil 5.6. QSCAT dataları için rüzgar hızı/yönü

İstatistiklere bakıldığında Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi ortalama rüzgar hızı 10 metre de 6,03 m/s dir ve 40,79 dereceden esmektedir.

Çizelge 5.10. QSCAT'a ait istatistikler

Signal	Unit	Count	Of period [%]	Mean	Weibull mean	Weibull A	Weibull k
10.0m - Mean wind speed, all	m/s	6851	100.0	6.03	6.06	6.83	1.90
10.0m - Wind direction, all	Degrees	6851	100.0	40.79			

QSCAT dataları 1999'dan 2008'e kadar, 10 yıllık bir süre içinde toplanmıştır. Şekil 5.7'de bu süreç içinde haftalık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü eğrisi verilmiştir.



Şekil 5.7. İncelenen bölgenin 1999'dan 2008'e kadar haftalık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü

METAR'a ait veriler

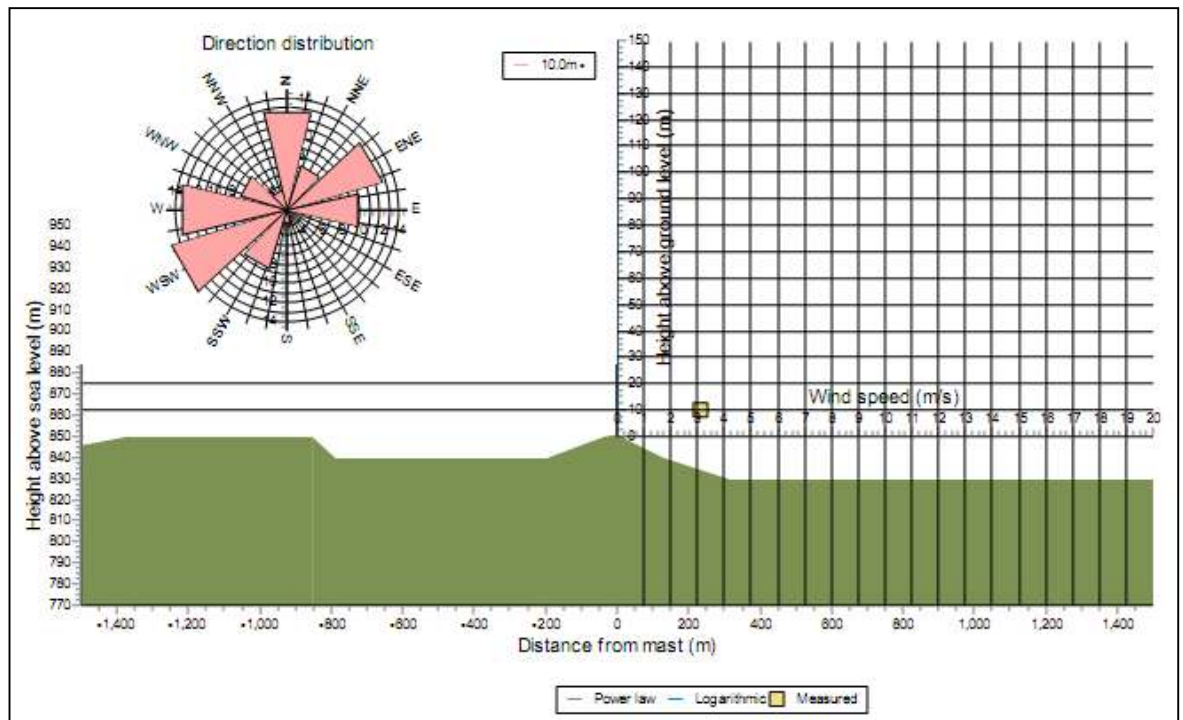
NCEP ADP METAR (Havacılığın Rutin Hava Raporu) veri kümesi dünyadaki çeşitli hava alanları ve kalıcı hava gözlem istasyonları ölçümlerine dayanır. Şu anda yaklaşık 5 000 istasyon bu global veri kümesine dahildir. METAR'n amacı, pilotlar ve havacılık sektörü için rehberlik sağlamaktır, ancak bazı istasyonlar da rüzgar hızı, rüzgar yönü ve sıcaklık raporları gibi rüzgar enerjisi endüstrisi için yararlı olan bilgileri sağlayabilir.

Bu çalışma için veriler Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi'nde (NCAR) Bilgisayar ve Bilgi Sistemleri Labratuarı (CISL) tarafından yapılmakta olan Araştırma Verileri Arşiv'inden (RDA) gelmektedir. NCAR, Ulusal Bilim Vakfı (NSF) tarafından desteklenmektedir.

METAR raporuna göre incelenen bölgenin rüzgar hızının 10 metre yüksekliklerinde ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.11' de verilmiş.

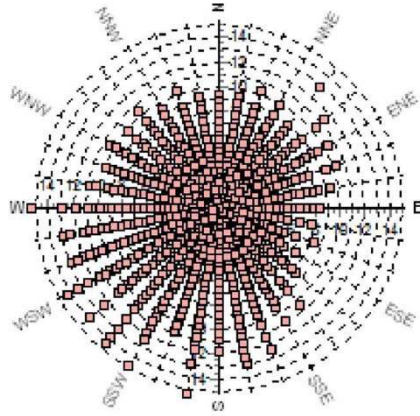
Çizelge 5.11 Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği ((U_{mean} *) basit aritmetik ortalamasıdır)

ID	Height [m]	Data recovery [%]	Records	U _{max} [m/s]	U _{mean} *) [m/s]
10.0m -	10.0	92.2	63878	15.4	2.3



Şekil 5.8. 10 metre yüksekliğinin tüm eşzamanlı veriler için ortalama rüzgar ve arazi profili

Bölgenin rüzgar yön dağılımına bakıldığında Şekil 5.8 ve 5.9’da görüldüğü üzere, hakim rüzgar yönü WSW’dir.



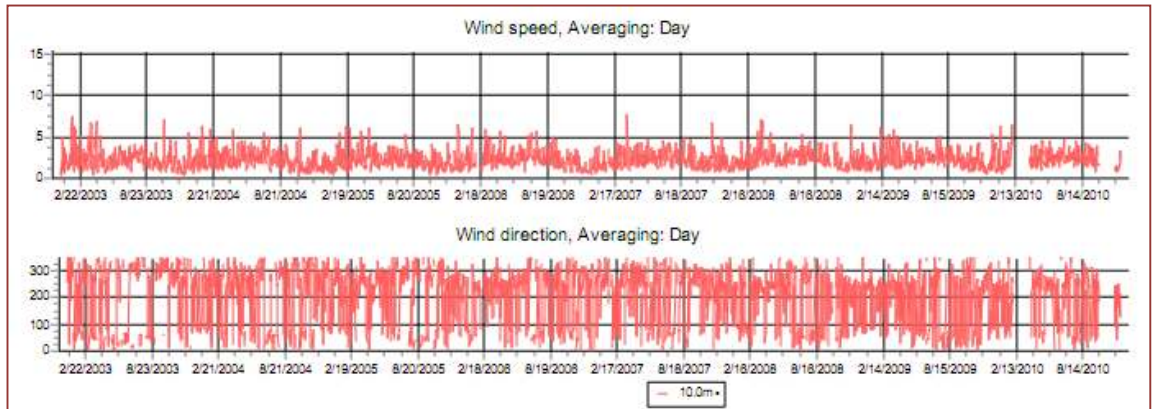
Şekil 5.9. METAR datalarına göre rüzgar hızı/yönü

İstatistiklere bakıldığında Çizelge 5.12’de görüldüğü gibi ortalama rüzgar hızı 10 metre de 2,30 m/s dir ve 66,5 dereceden esmektedir.

Çizelge 5.12. METAR’a ait istatistikler

Signal	Unit	Count	Of period [%]	Mean	Weibull mean	Weibull A	Weibull k
10.0m - Mean wind speed, all	m/s	63878	99.9	2.30	3.10	3.47	1.70
10.0m - Wind direction, all	Degrees	42544	66.5	313.33			

METAR dataları 2003’ten 2010’a kadar, 8 yıllık bir süre içinde toplanmıştır. Şekil 5.10’da bu süreç içinde günlük ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü eğrisi verilmiştir.



Şekil 5.10. İncelenen bölgenin 2003'ten 2010'a kadar günlük ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü

SYNOP'a ait veriler

NCEP ADP SYNOP (Yüzey Sinoptik Gözlemi) veri kümesi, dünya çapında insan aracı ile ve otomatik hava istasyonların ölçümlerine dayanır. Şu anda, yaklaşık 7 000 istasyon bu global veri kümesine dahildir. SYNOP verisinin amacı, hava durumu raporu ve sayısal modellere girdi sağlamaktır. Ancak, bazı istasyonlarında rüzgar enerjisi endüstrisi için rüzgar hızı, rüzgar yönü ve sıcaklık raporu sağlayabilmektedir.

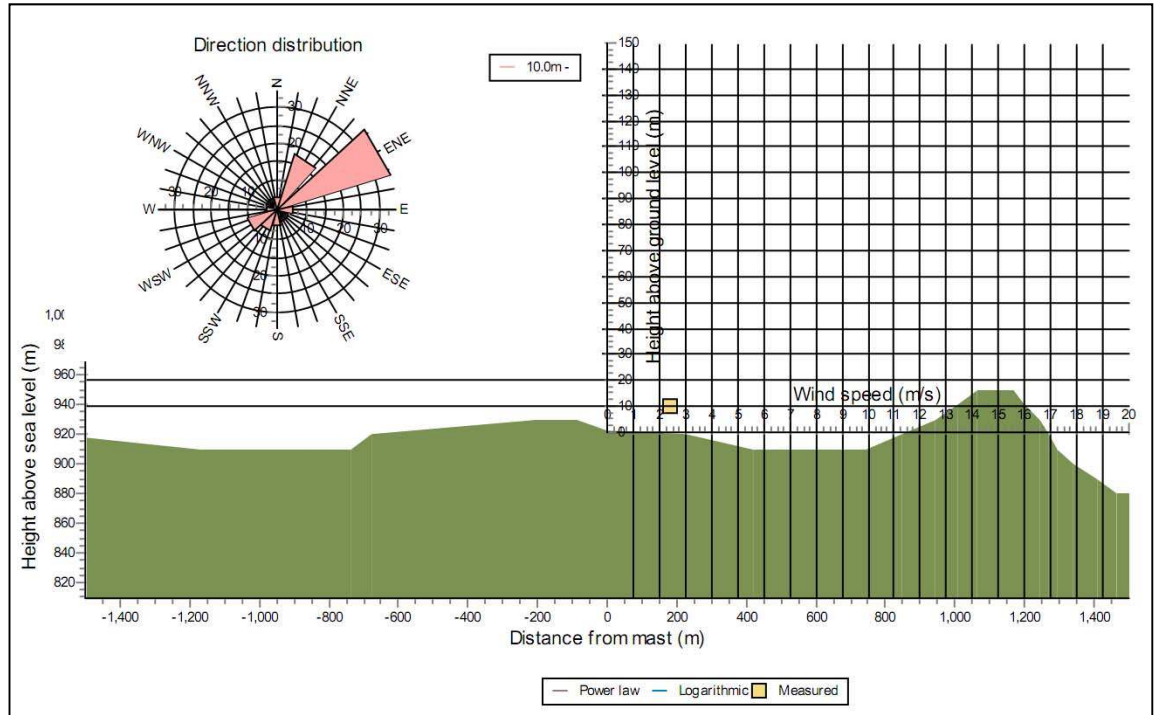
Bu çalışma için veriler Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi'nde (NCAR) Bilgisayar ve Bilgi Sistemleri Labratuarı (CISL) tarafından yapılmakta olan Araştırma Verileri Arşiv'inden (RDA) sağlanmaktadır.

SYNOP raporuna göre incelenen bölgenin rüzgar hızının 10 metre yüksekliklerinde ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.13' te verilmiştir.

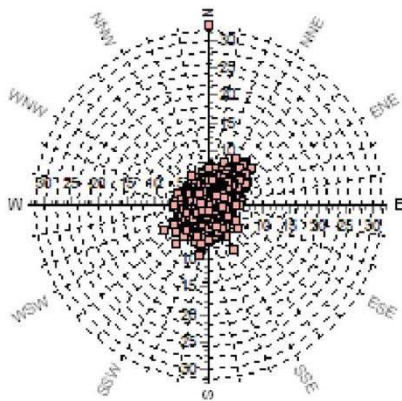
Çizelge 5.13. Rüzgar hızı ve ölçüm yüksekliği ((U_{mean} *) basit aritmetik ortalamasıdır)

ID	Height [m]	Data recovery [%]	Records	U _{max} [m/s]	U _{mean} *) [m/s]
10.0m -	10.0	31.9	25371	32.9	2.2

Bölgenin rüzgar yön dağılımına bakıldığında Şekil 5.11 ve 5.12’te görüldüğü üzere, hakim rüzgar yönü ENE’dir.



Şekil 5.11. 10 metre yüksekliğinin tüm eşzamanlı veriler için ortalama rüzgar ve arazi profili



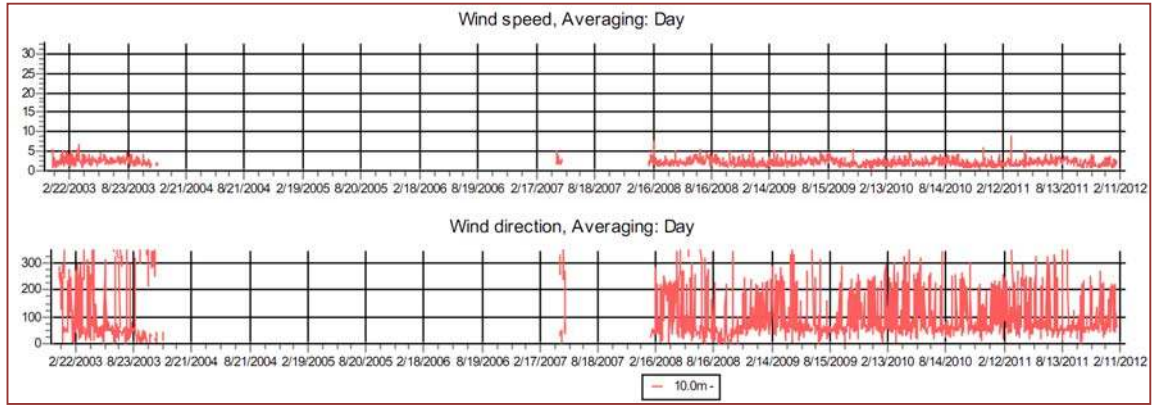
Şekil 5.12. SYNOP datalarına göre rüzgar hızı/yönü

İstatistiklere bakıldığında Çizelge 5.14’te görüldüğü gibi ortalama rüzgar hızı 10 metre de 2,22 m/s dir ve 55,83 dereceden esmektedir.

Çizelge 5.14. SYNOP’a ait istatistikler

Signal	Unit	Count	Of period [%]	Mean	Weibull mean	Weibull A	Weibull k
10.0m - Mean wind speed, all	m/s	25371	100.0	2.22	2.43	2.74	1.87
10.0m - Wind direction, all	Degrees	25371	100.0	55.83			

SYNOP dataları 2003’ten 2012’e kadar, 10 yıllık bir süre içinde toplanmıştır. Şekil 5.13’da bu süreç içinde günlük ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü eğrisi verilmiştir.



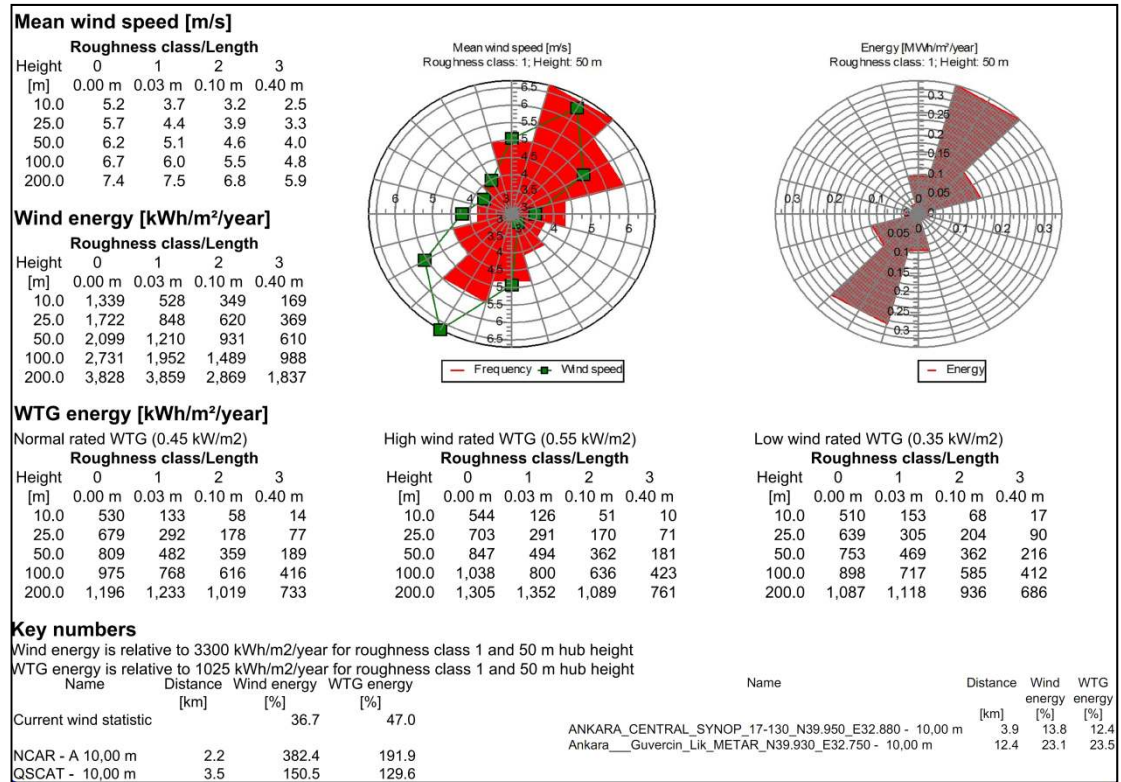
Şekil 5.13. İncelenen bölgenin 2003’ten 2012’e kadar günlük ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü

5.3.7. Rüzgar istatistiklerinin hesaplanması

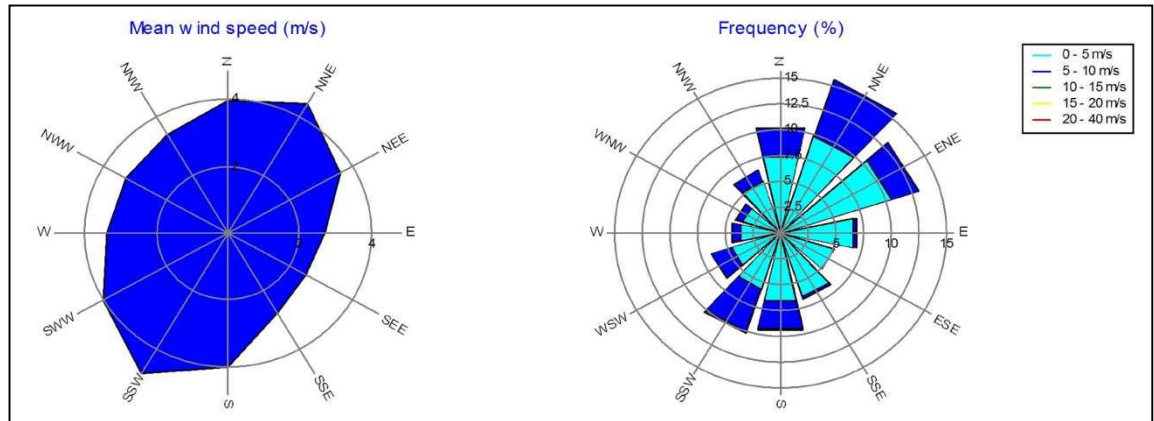
Elde edilen dört rüzgar datasının kullanımındaki problem hiçbirinin koordinat olarak örnek proje sahasının rüzgar değerlerini yansıtmayıp, bölgeye yakın noktaların rüzgar hızlarını göstermesidir. Bu problemi çözmek için WasP programı ile düzeltme hesaplaması yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamanın yapılması için ilk önce bütün sahanın rüzgar profilinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu hesaplama da WasP programı ile yapılır. Hesaplama girilen parametreler WindPRO’nun STATGEN modülünde toplanarak WasP’a aktarılır ve saha geneli için rüzgar istatistikleri hesaplanır. Burada bütün girdilerin WasP programının algılayabileceği bir şekilde getirilmesi gerekmektedir. Bu da WindPRO’dan WasP’a veri aktarımında

kullanılan saha verileri “Site Data Object” nesnesi ile yapılmaktadır. Yani saha verileri nesnesi bir çeşit ara yüz olarak çalışmaktadır.

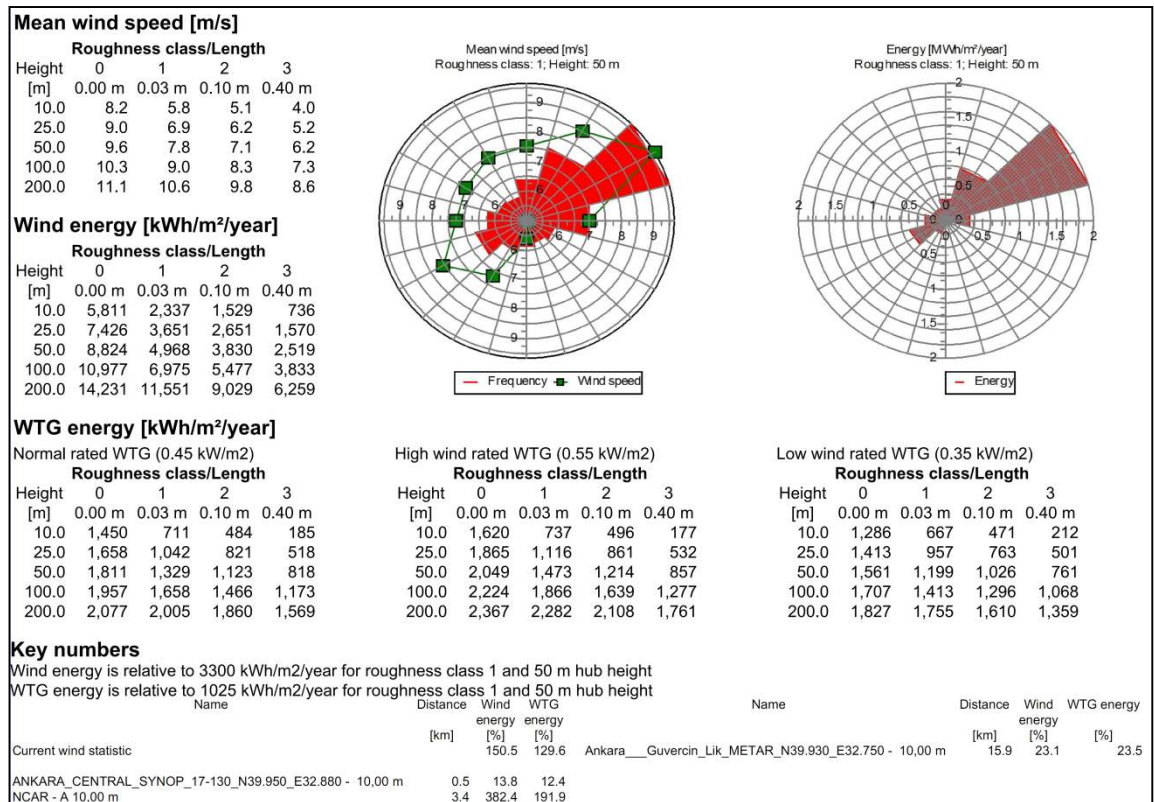
STATGEN modülü vasıtasıyla WASP programı tarafından hazırlanmış olan rüzgar istatistikleri her dört rüzgar verisi için hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21’de yer almaktadır. Tablolarda yükseklik ve pürüzlülük sınıfına bağlı rüzgar hızı değişimleri, birim alandaki rüzgarın yıllık enerji içeriği ve farklı rüzgar türbini sınıfları için verilmiştir. Ayrıca rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini de grafik olarak gösterilmiştir.



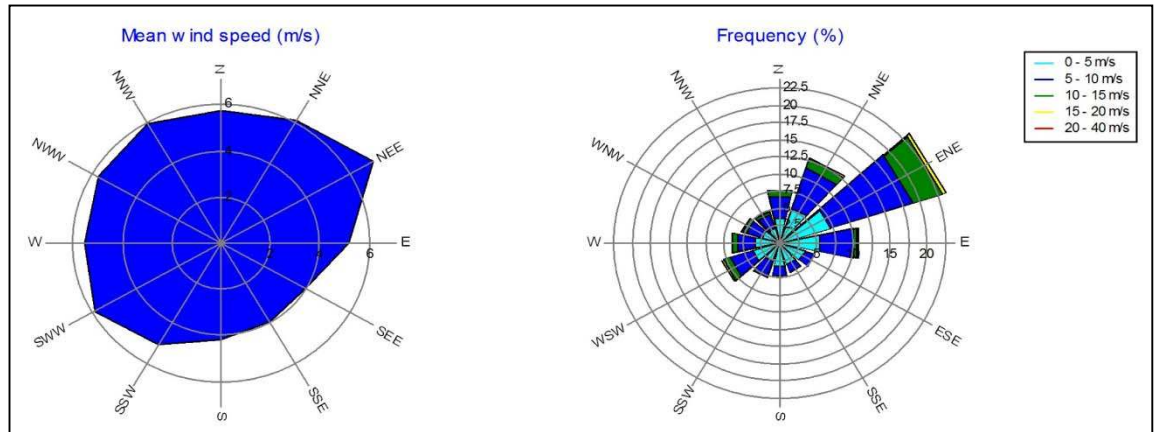
Şekil 5.14. NCAR verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları



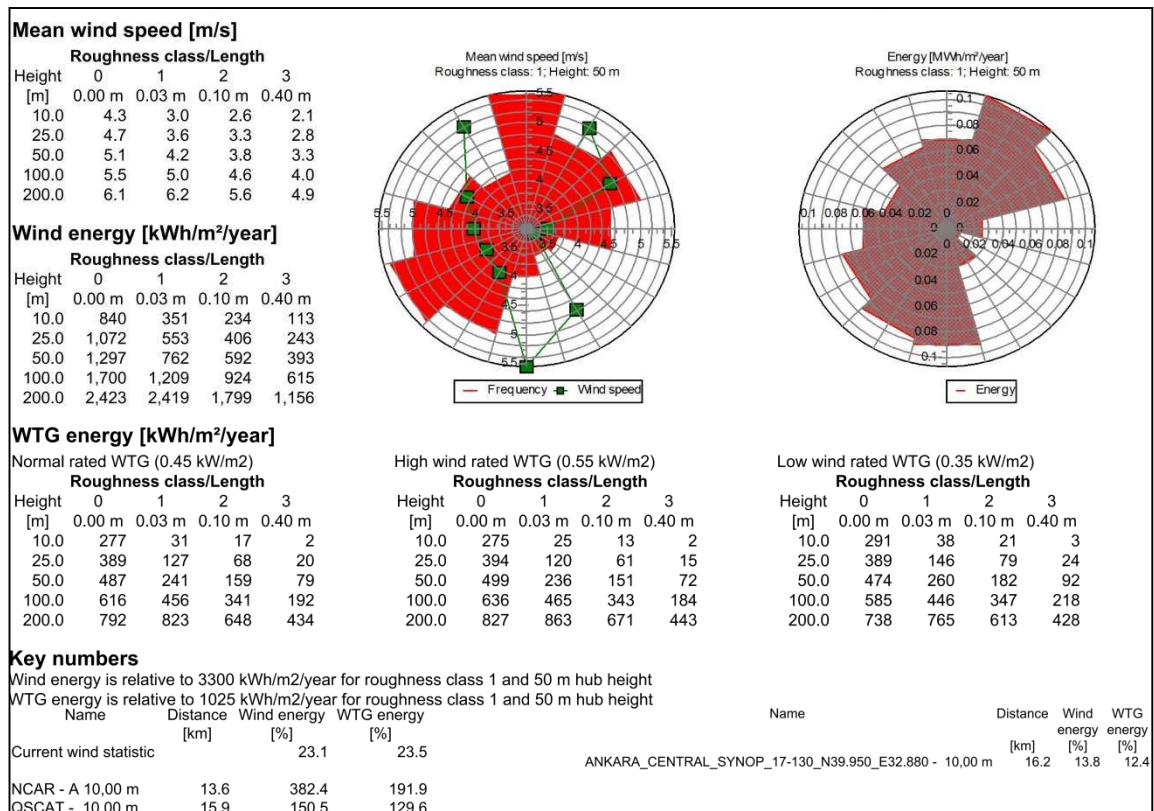
Şekil 5.15. NCAR verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini



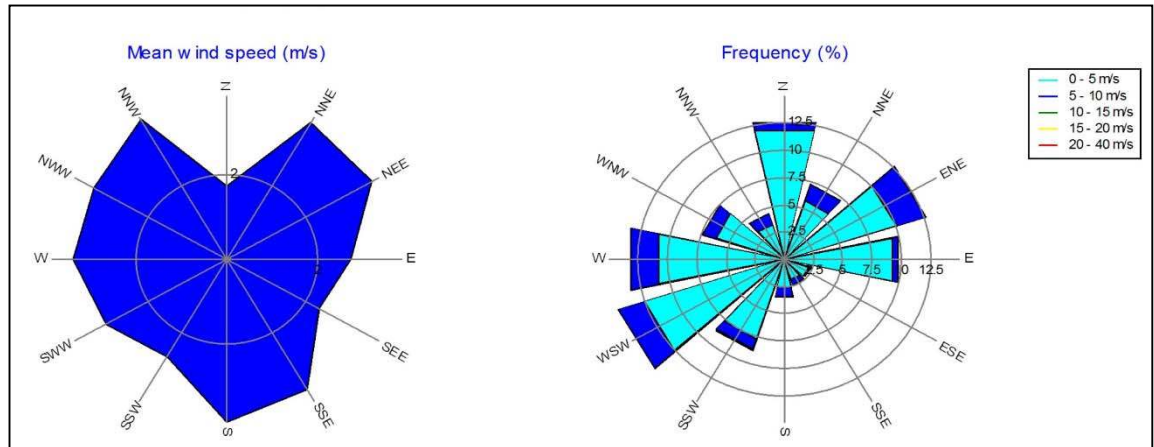
Şekil 5.16. QSCAT verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları



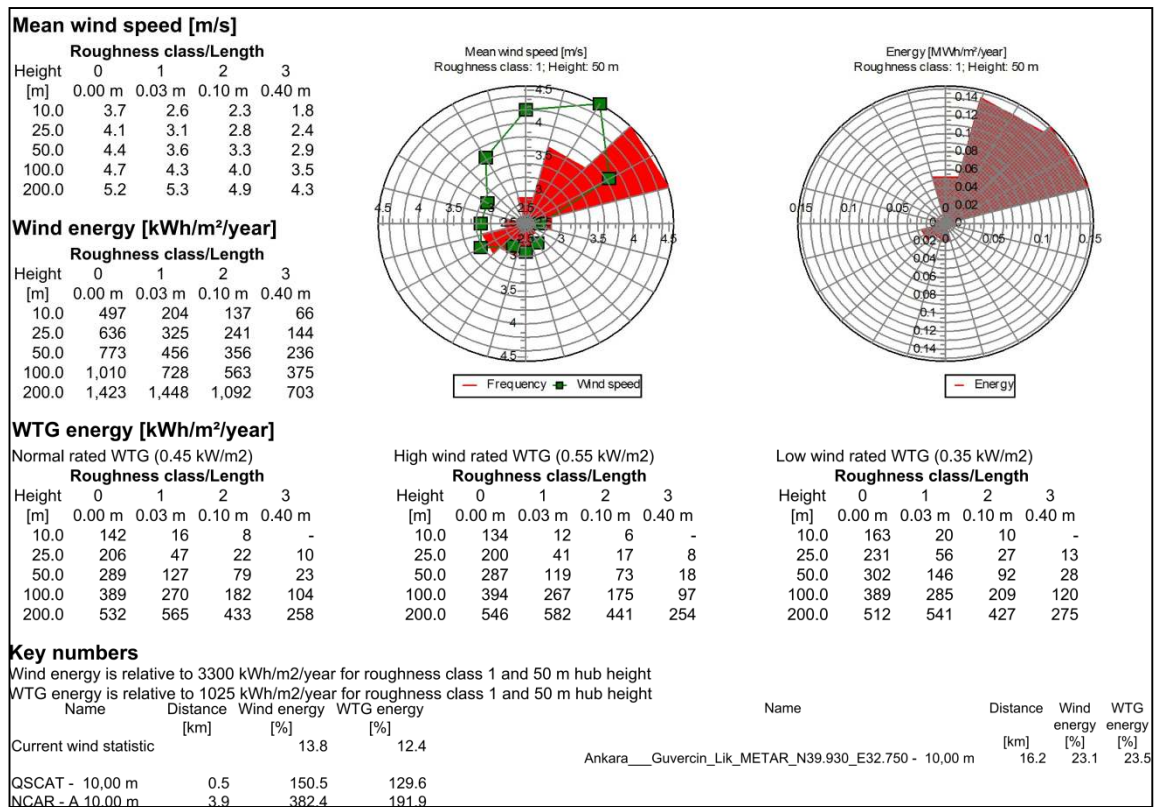
Şekil 5.17. QSCAT verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini



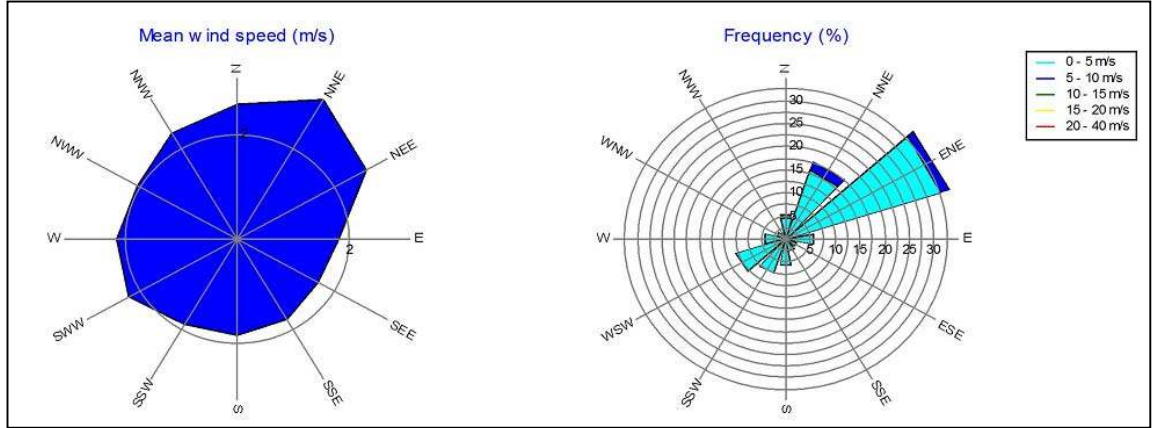
Şekil 5.18. METAR verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları



Şekil 5.19. METAR verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini



Şekil 5.20. SYNOP verisinde Rüzgar istatistiği hesaplama sonuçları



Şekil 5.21. SYNOP verisinde Rüzgarın ortalama hızı ve sürekliliğini

5.3.8. Türbin seçimi

Bu aşamada bölgenin rüzgar verilerine uygun ve yapının da enerji ihtiyacını karşılaya bilecek uygun bir rüzgar türbini seçimi yapılmıştır. WindPRO'nun PARK modülü ve WAsP programı birlikte çalıştırılarak her türbinin yıllık enerji üretimi elde edilmiştir. Karşılaştırmalı olarak en uygun rüzgar türbinini bulabilmek için 11 farklı türbin kullanılarak, her bir için ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Bu türbinler;

- a) 1 KW gücünde Proven WT600-1,
- b) 3 KW gücünde Proven WT2500-3,
- c) 4 KW gücünde VIND-MØLLER -4,
- d) 5 KW gücünde CALORIUS 37-5,
- e) 6 KW gücünde Proven WT6000-6,
- f) 8 KW gücünde THY MØLLE -8,
- g) 10 KW gücünde LMW -10,
- h) 11 KW gücünde GAIA WIND GAIA 11 KW-11,
- i) 11 KW gücünde KOLIBRI -11,
- j) 12 KW gücünde GEIGER SG 800-12,
- k) 15 KW gücünde Proven WT15000-15 rüzgar türbinleridir.

Bu 11 rüzgar türbininin hesaplamaları PARK modülü kullanılarak NCAR'n rüzgar datalarına uygulanmış ve elde edilen sonuçlar özeti Çizelge 5.15' te verilmiştir.

Çizelge 5.15. NCAR'n rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu

Marka	POWER RATED [KW]	Rotor (Kanat Çapı) [m]	Hub (Göbek Yüksekliği) [m]	Capacity Factor (Kapasite Faktörü) [%]	Mean WTG Result (Bir Türbin için Ortalama Üretim) [MWh/y]	Full Load Hours (Max. Üretimde Çalışılan Saat) [Hours/year]	Mean Speed @Hub (Göbek Yük. Ort. Rüzgar Hızı) [m/s]
Proven WT600-1	1	2,5	5,5	7,3	0,4	644	3,1
Proven WT2500-3	3	3,5	6,5	4,6	1,1	407	3,3
VIND-MØLLER-4	4	5,4	15,0	8,6	3,0	755	4,0
CALORIUS 37-5	5	5,0	9,5	5,1	2,2	445	3,6
Proven WT6000-6	6	5,5	9,0	6,2	3,6	545	3,5
THY MØLLE -8	8	7,0	12,0	6,0	4,4	525	3,8
LMW -10	10	7,0	18,0	7,4	7,2	649	4,1
GAIA WIND GAIA 11 KW-11	11	13,0	15,0	15,8	16,9	1 384	4,0
KOLIBRI -11	11	13,0	18,2	17,2	18,5	1 510	4,1
GEIGER SG 800-12	12	8,0	20,0	6,5	7,7	574	4,2
Proven WT15000-15	15	9,0	15,0	8,7	12,7	759	4,0

11 rüzgar türbininin hesaplamalarını bu defa QSCATN'in rüzgar datalarına uyguladığımızda elde edilen sonuçun özeti Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. QSCAT’ın rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu

Marka	POWER RATED [KW]	Rotor (Kanat Çapı) [m]	Hub (Göbek Yüksekliği) [m]	Capacity Factor (Kapasite Faktörü) [%]	Mean WTG Result (Bir Türbin için Ortalama Üretim) [MWh/y]	Full Load Hours (Max. Üretimde Çalışılan Saat) [Hours/year]	Mean Speed @Hub (Göbek Yük. Ort. Rüzgar Hızı) [m/s]
Proven WT600-1	1	2,5	5,5	20,7	1,2	1 810	4,9
Proven WT2500-3	3	3,5	6,5	16,1	3,9	1 407	5,1
VIND-MÖLLER-4	4	5,4	15,0	22,1	8,6	1 937	6,2
CALORIUS 37-5	5	5,0	9,5	16,0	7,0	1 404	5,6
Proven WT6000-6	6	5,5	9,0	21,8	11,5	1 915	5,5
THY MÖLLE -8	8	7,0	12,0	21,0	13,8	1 839	5,9
LMW -10	10	7,0	18,0	24,3	21,3	2 134	6,4
GAIA WIND GAIA 11 KW-11	11	13,0	15,0	39,7	38,3	3 478	6,2
KOLIBRI -11	11	13,0	18,2	41,6	40,1	3 646	6,4
GEIGER SG 800-12	12	8,0	20,0	21,7	22,9	1 906	6,5
Proven WT15000-15	15	9,0	15,0	28,3	37,2	2 480	6,2

11 rüzgar türbininin hesaplamalarını üçüncü kez METAR’n rüzgar datasına yapıp ve Çizelge 5.17’de düzenlenmiştir.

Çizelge 5.17. METAR'n rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu

Marka	POWER RATED [KW]	Rotor (Kanat Çapı) [m]	Hub (Göbek Yüksekliği) [m]	Capacity Factor (Kapasite Faktörü) [%]	Mean WTG Result (Bir Türbin için Ortalama Üretim) [MWh/y]	Full Load Hours (Max. Üretimde Çalışılan Saat) [Hours/year]	Mean Speed @Hub (Göbek Yük. Ort. Rüzgar Hızı) [m/s]
Proven WT600-1	1	2,5	5,5	4,6	0,2	401	2,6
Proven WT2500-3	3	3,5	6,5	3,2	0,7	280	2,7
VIND-MØLLER-4	4	5,4	15,0	5,2	1,8	457	3,3
CALORIUS 37-5	5	5,0	9,5	3,2	1,4	276	2,9
Proven WT6000-6	6	5,5	9,0	4,3	2,3	378	2,9
THY MØLLE -8	8	7,0	12,0	4,0	2,6	346	3,1
LMW -10	10	7,0	18,0	5,2	4,6	456	3,4
GAIA WIND GAIA 11 KW-11	11	13,0	15,0	11,4	11,0	999	3,3
KOLIBRI -11	11	13,0	18,2	12,5	12,1	1 099	3,4
GEIGER SG 800-12	12	8,0	20,0	4,4	4,6	381	3,5
Proven WT15000-15	15	9,0	15,0	5,9	7,8	517	3,3

11 rüzgar türbininin hesaplamaları SYNOP'un rüzgar datalarına uygulanmış ve sonuç Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. SYNOP’ın rüzgar datalarıyla yapılan türbinlerin karşılaştırma tablosu

Marka	POWER RATED [KW]	Rotor (Kanat Çapı) [m]	Hub (Göbek Yüksekliği) [m]	Capacity Factor (Kapasite Faktörü) [%]	Mean WTG Result (Bir Türbin için Ortalama Üretim) [MW/h/y]	Full Load Hours (Max. Üretimde Çalışılan Saat) [Hours/year]	Mean Speed @Hub (Göbek Yük. Ort. Rüzgar Hızı) [m/s]
Proven WT600-1	1	2,5	5,5	2,4	0,1	212	2,2
Proven WT2500-3	3	3,5	6,5	1,6	0,4	140	2,3
VIND-MØLLER-4	4	5,4	15,0	2,6	0,9	228	2,8
CALORIUS 37-5	5	5,0	9,5	2,6	0,9	228	2,8
Proven WT6000-6	6	5,5	9,0	3,0	3,9	262	2,8
THY MØLLE -8	8	7,0	12,0	1,9	1,2	163	2,7
LMW -10	10	7,0	18,0	2,8	2,4	243	2,9
GAIA WIND GAIA 11 KW-11	11	13,0	15,0	6,8	6,6	596	2,8
KOLIBRI -11	11	13,0	18,2	7,6	7,3	663	2,9
GEIGER SG 800-12	12	8,0	20,0	2,1	2,2	183	3,0
Proven WT15000-15	15	9,0	15,0	3,0	3,9	262	2,8

Dört farklı rüzgar datasının, onbir farklı türbin karşılaştırma tablosu elde edilmiştir. En uygun türbin seçimi yapabilmek için NCAR, QSCAT, METAR, SYNOP rüzgar verileri arasından en uygun olanı seçmek gerekmektedir. Daha önce Bölüm 5.3.6’da bahsedildiği gibi, METAR datalarına baktığımızda sadece 8 yıllık bir data birikimi mevcuttur. QSCAT’ de ise 10 yıllık veriler kullanılmaktadır, ancak bu veriler uydudan alınmış olduğundan verilerin gerçekçi olmayabileceği anlamına gelebilmektedir. SYNOP ise 2003 yılında çalışmaya başlamalarına rağmen, 2008’den beri düzenli olarak veriler toplanmaya başlamıştır. Bu da sadece 5 yıllık bir veri birikimini ifade etmektedir. Bu durumda NCAR’a baktığımızda 30 yıllık bir

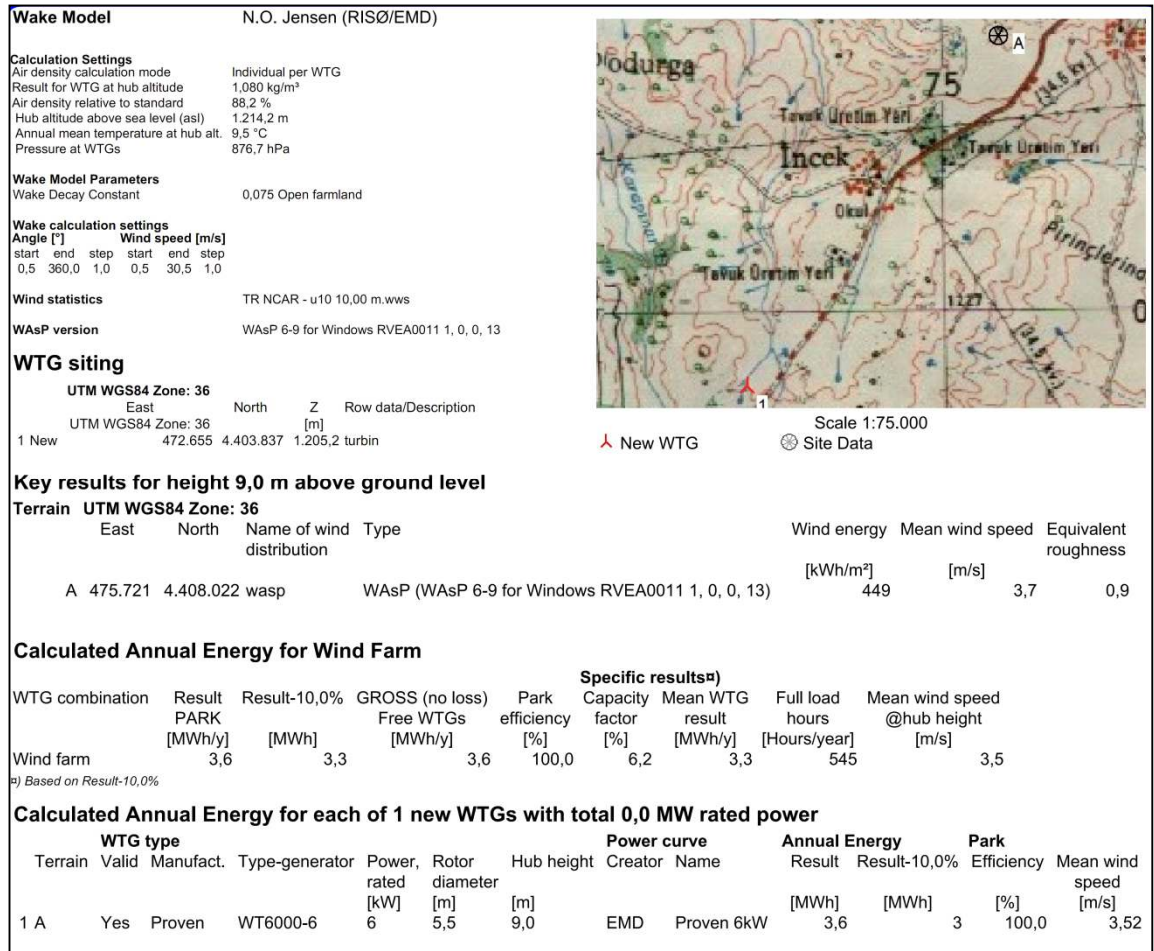
Çalışma süresi görölmektedir. Diğer yandan veriler rüzgar ölçümü istasyonlarından alınmış ve Türkiye Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan rüzgar verileriyle karşılaştırıldığında çok yakın sonuçlar elde edilmektedir(EK.2). Bu sebeple farklı rüzgar verileri arasından NCAR seçilmiştir. (Çizelge 5.15)

Bölüm 5.2'de örnek yapının elektrik ihtiyacı hesaplanmış ve 2 tip sonuç elde edilmişti. Birincisi binada bugün bulunup, çalışan elektikli ev eşyaları dikkate alan Tip A-II Elektrik harcama sonucu en fazla 8 318 W/gün oluyordu, buda yıllık 3,3 MW enerji ihtiyacı demektir.

İkinci sonuç ise yine örnek yapıda, her ev için gereken tüm elektikli eşyaların olduğu durum için elektrik harcama hesaplamasıydı. Sonuç Tip B-VI'te en fazla 11 708 W/gün oldu ki buda yıllık 4,3 MW elektrik harcaması demektir.

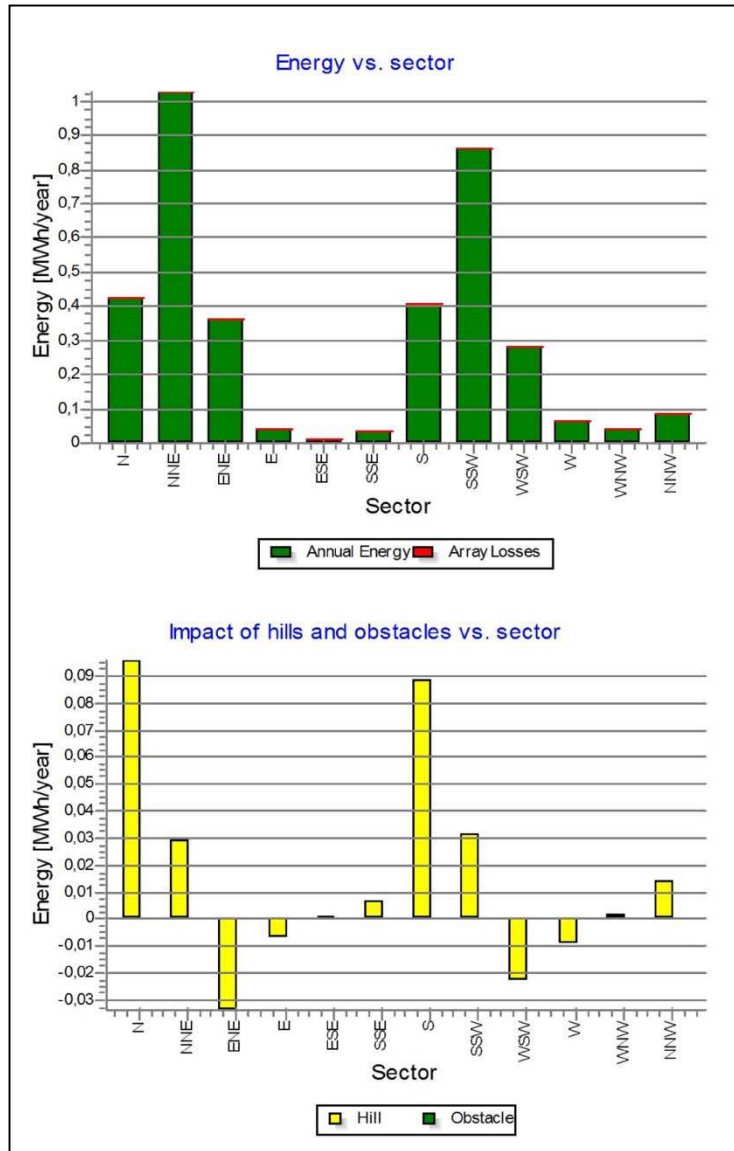
Birinci sonuç için yani yıllık 3,3 MW elektrik ihtiyacı için Çizelge 5.15'e döndüğümüzde 6 KW gücünde Proven WT6000-6 türbini yıllık 3,6 MW üretimi ile seçebileceğimiz en uygun türbin tipi olmaktadır.

Şekil 5.22'de Proven WT6000-6 türbini başlıca bilgileri verilmektedir ve ayrıca harita üzerinde türbinin tam konumu da gözökmektedir. Proven WT6000-6 türbininin göbek yüksekliği 9 m ve kanat çapı 5,5m dir. Göbek yüksekliğinde olan ortalama rüzgar hızı 3,5 m/s ve ortalama üretimi yıllık 3,6 MW tir, ayrıca maksimum üretiminde yıllık 545 saat çalışıyor ve kapasite faktoru % 6,2'dir.

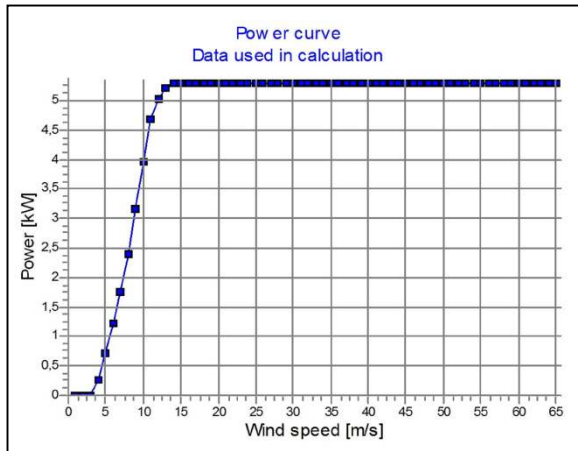


Şekil 5.22. Proven WT6000-6 türbini başlıca bilgileri

Şekil 5.23 üretim analizi grafiğini göstermektedir. İlk grafik her yönden esen rüzgar için ne kadar enerji elde edildiğini göstermekte ve görüldüğü gibi NNE ve SSW yönlerinden en fazla enerji alınabilmektedir. İkinci grafik ise farklı yönlerde olan tepelerin ve engellerin enerji elde edilmesi üzerindeki olan etkisini göstermektedir. Şekil 5.24'te Proven WT6000-6 güç eğrisi analizi verilmiştir. Bu güç eğrisi türbinin 3 m/s ile 4 m/s arası bir hızda çalışmaya başladığını ve maksimum güç üretimi de 14 m/s de olduğunu göstermektedir.



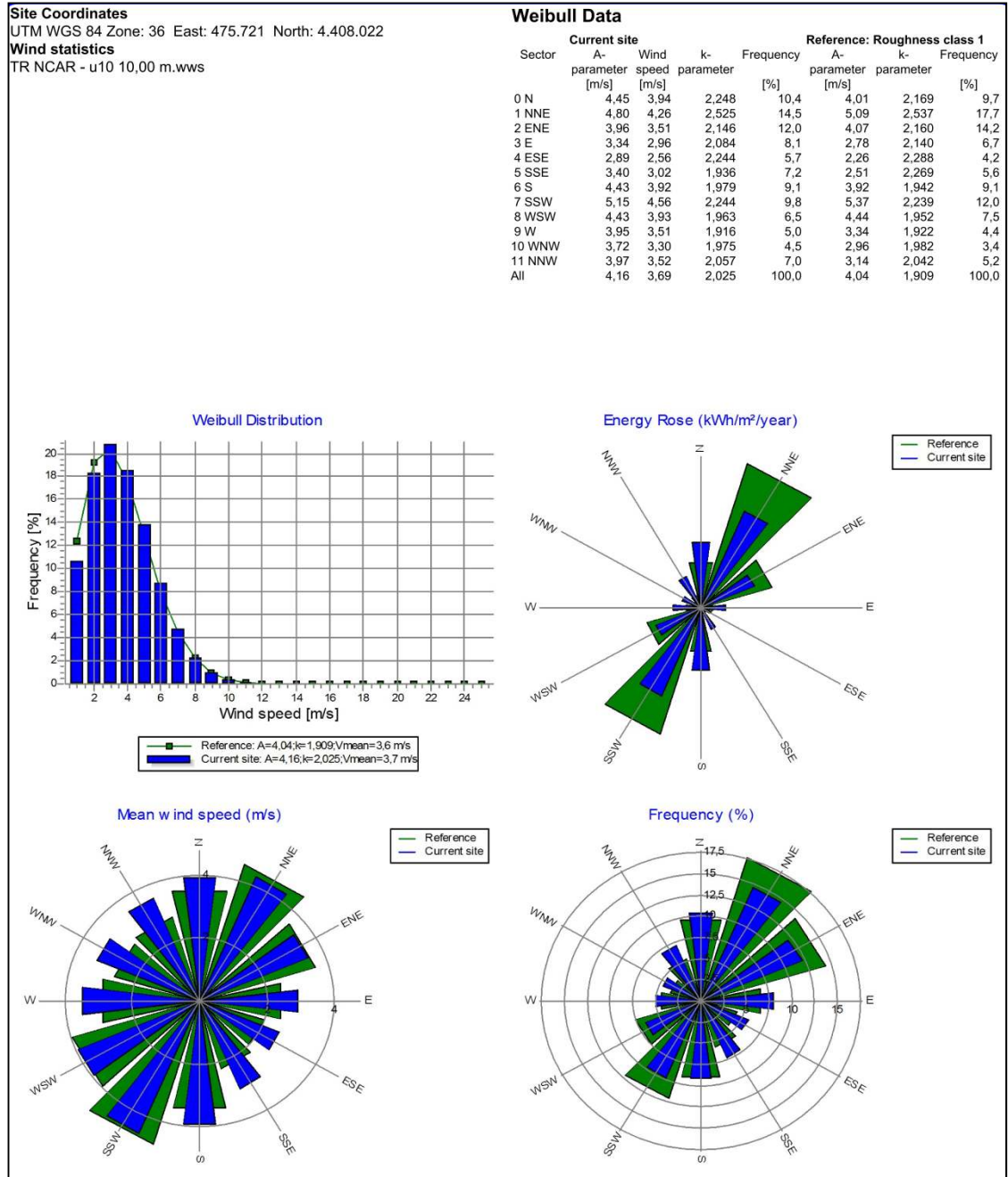
Şekil 5.23. Enerji Üretim analizi



Şekil 5.24. Güç eğrisi analizi

Şekil 5.25 ve 5.26’da proje sahasında 10 m yüksekliği için rüzgar dataları analizi ve türbinin göbek yüksekliği için rüzgar analizi grafikleri verilmektedir. Bu şekillerde Weibull verileri tüm yönler için verilmiştir, ayrıca Weibull dağılımı grafik üzerinde gösterilmiştir. Diğer bilgilerden biri ise enerji gülüdür ki NNE, SSW yönlerinden en fazla enerji elde edilebileceğini göstermektedir. Diğer grafikler ise ortalama rüzgar hızını ve sürekliliğini göstermektedir. Bu iki grafikte rüzgar açısından en güçlü yönler NNE ve SSW ‘dirler.

Hesaplamaları yapılan türbinin Google Earth’taki görüntüsü Şekil 5.27’de görülmektedir.

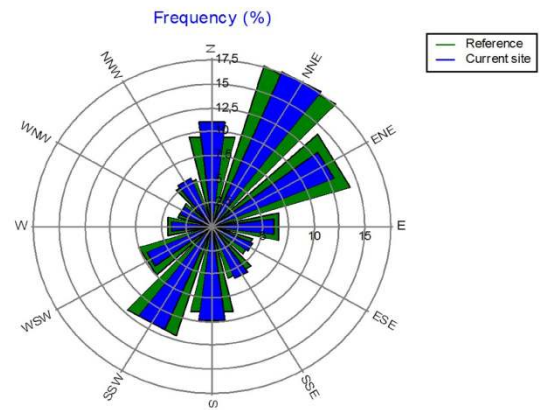
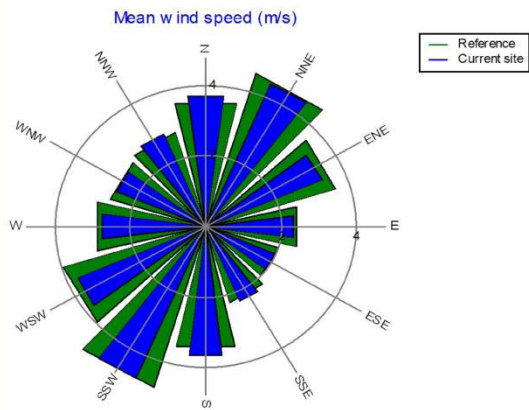
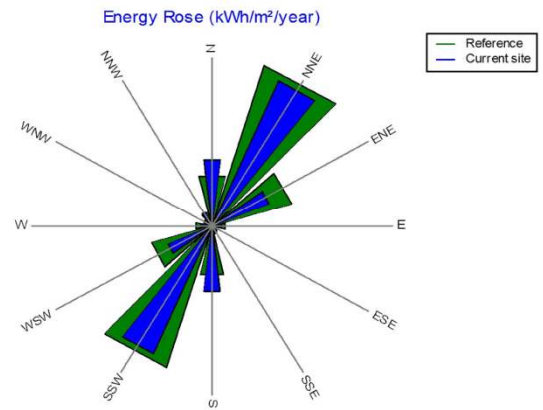
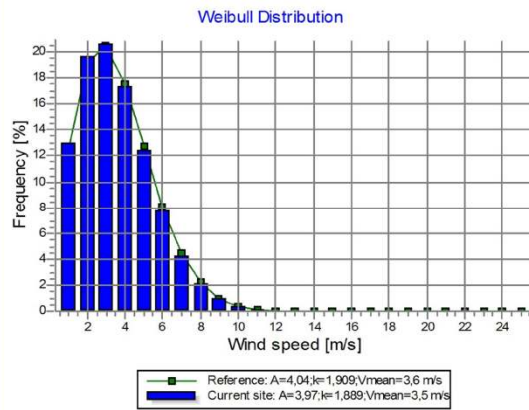


Şekil 5.25. Rüzgar dataları analizi

Site Coordinates
 UTM WGS 84 Zone: 36 East: 472.655 North: 4.403.837
 turbin
Wind statistics
 TR NCAR - u10 10,00 m.wws

Weibull Data

Sector	Current site			Frequency	Reference: Roughness class 1		
	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter		A- parameter [m/s]	k- parameter	Frequency
0 N	4,21	3,73	2,186	11,1	4,01	2,169	9,7
1 NNE	4,95	4,39	2,482	17,7	5,09	2,537	17,7
2 ENE	3,78	3,35	2,139	13,1	4,07	2,160	14,2
3 E	2,61	2,31	2,150	6,2	2,78	2,140	6,7
4 ESE	2,24	1,98	2,225	4,3	2,26	2,288	4,2
5 SSE	2,57	2,28	2,182	5,9	2,51	2,269	5,6
6 S	4,14	3,67	1,936	10,0	3,92	1,942	9,1
7 SSW	5,27	4,67	2,217	11,8	5,37	2,239	12,0
8 WSW	4,15	3,68	1,947	6,9	4,44	1,952	7,5
9 W	3,12	2,77	1,932	4,0	3,34	1,922	4,4
10 WNW	2,90	2,57	1,975	3,5	2,96	1,982	3,4
11 NNW	3,19	2,82	2,029	5,5	3,14	2,042	5,2
All	3,97	3,52	1,889	100,0	4,04	1,909	100,0



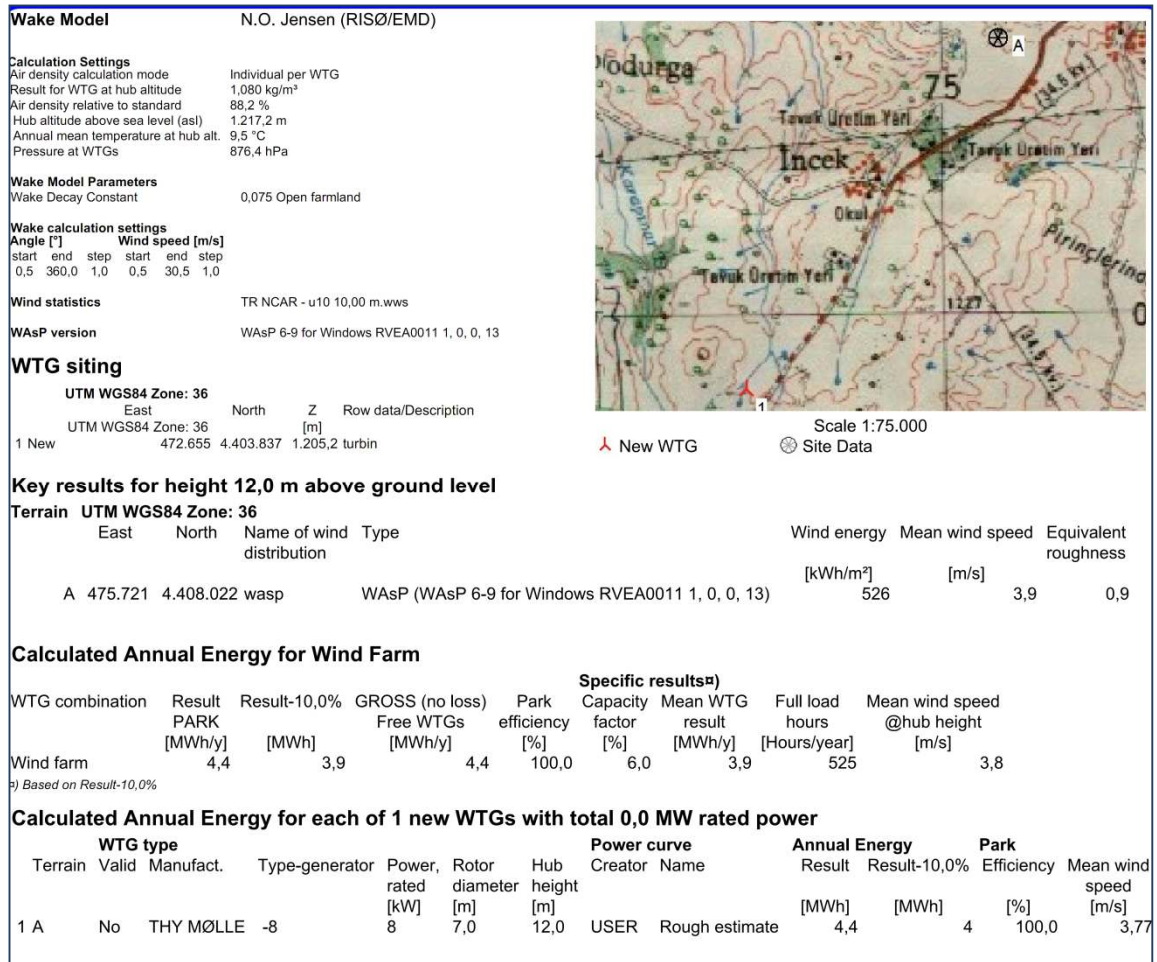
Şekil 5.26. Türbinin rüzgar data analizi



Şekil 5.27. Proven WT6000-6 türbininin Google earth ekranında görünümü

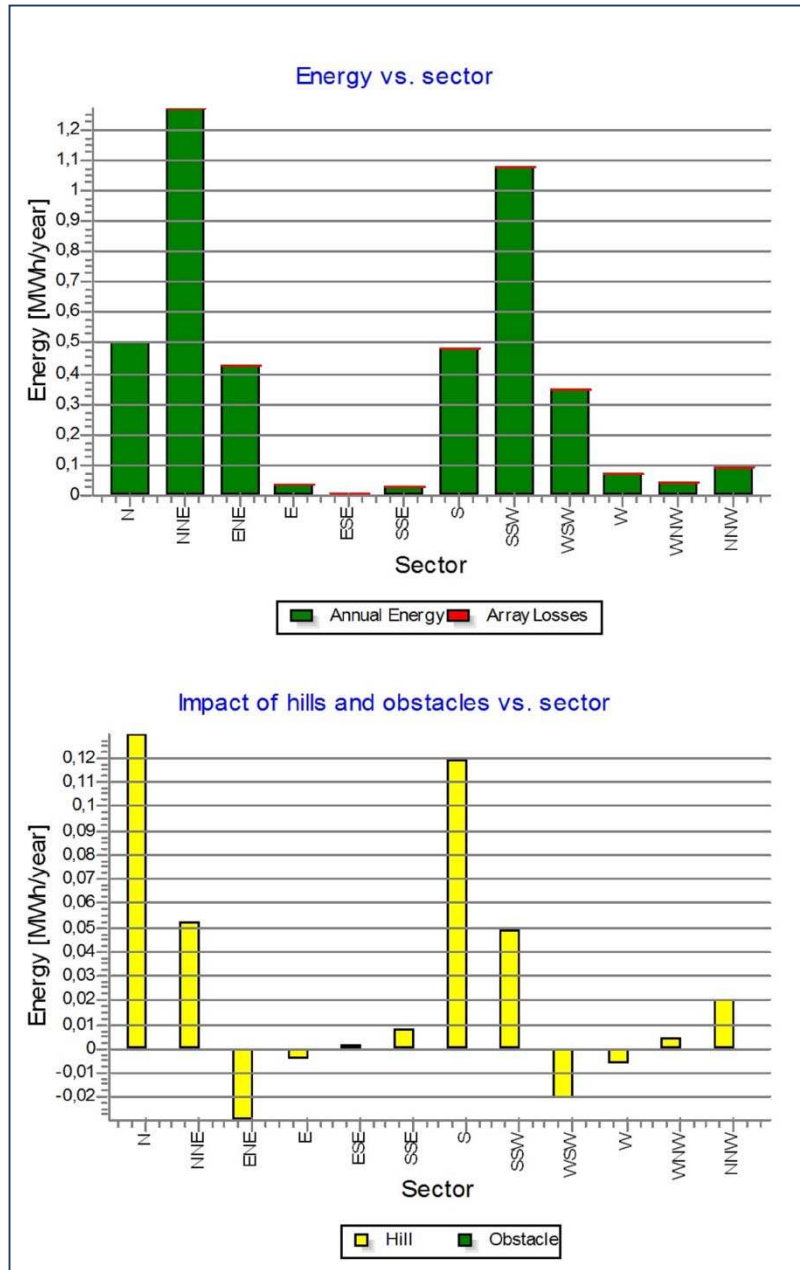
İkinci sonuç için yani yıllık 4,3 MW elektrik ihtiyacı için Çizelge 5.15'e baktığımızda 6 KW gücünde THY MÖLLE -8 türbini yıllık 4,4 MW üretimi ile seçebileceğimiz en uygun türbin tipi olmaktadır.

Şekil 5.28'de THY MÖLLE -8 türbini başlıca bilgileri verilmektedir ve ayrıca harita üzerinde türbinin tam konumu da görülmektedir. THY MÖLLE-8 türbininin göbek yüksekliği 12 m ve kanat çapı 7m dir. Göbek yüksekliğinde olan ortalama rüzgar hızı 3,8 m/s ve ortalama üretimi yıllık 4,4 MW tir, ayrıca maksimum üretiminde yıllık 525 saat çalışmakta olup, kapasite faktörü % 6'dır.

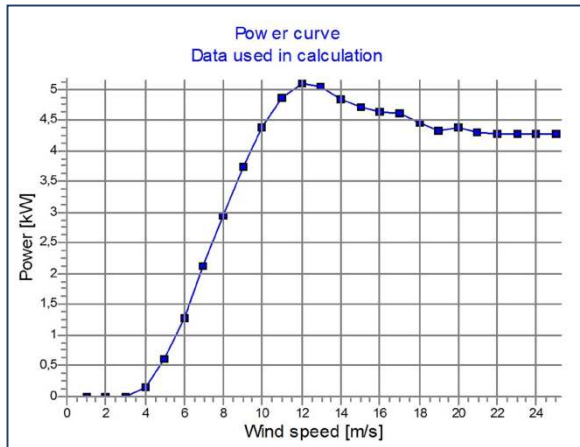


Şekil 5.28. THY MØLLE -8 türbini başlıca bilgileri

Şekil 5.29 Enerji üretim analizi grafiğini göstermektedir. İlk grafik her yönden esen rüzgar için ne kadar enerji elde edildiğini göstermekte ve görüldüğü gibi NNE ve SSW yönlerinden en fazla enerji alınabilmektedir. İkinci grafik ise farklı yönlerde olan tepelerin ve engellerin enerji elde edilmesi üzerindeki olan etkisini göstermektedir. Şekil 5.30'te THY MØLLE-8 güç eğrisi analizi verilmiştir. Bu güç eğrisi türbinin 3 m/s hızında çalışmaya başladığını ve maksimum güç üretimi de 12 m/s de olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.29. Enerji Üretim analizi



Şekil 5.30. Güç eğrisi analizi

Şekil 5.31 ve 5.32’te proje sahasında 10 m yüksekliği için rüzgar dataları analizi ve türbinin göbek yüksekliği için rüzgar analizi grafikleri verilmektedir. Bu şekillerde Weibull dataları tüm yönler için verilmiştir, ayrıca Weibull dağılımı grafik üzerinde gösterilmiştir. Diğer verilerden biri ise enerji gülüdür ve NNE, SSW yönlerinden en fazla enerji elde edilebildiğini göstermektedir. Diğer grafikler ise ortalama rüzgar hızını ve sürekliliğini göstermektedir. Bu iki grafikte de en güçlü yönler yine NNE ve SSW’dirler.

Hesaplamaları yapılan türbinin Google Earth’taki görüntüsü Şekil 5.33’de görülmektedir.

Site Coordinates

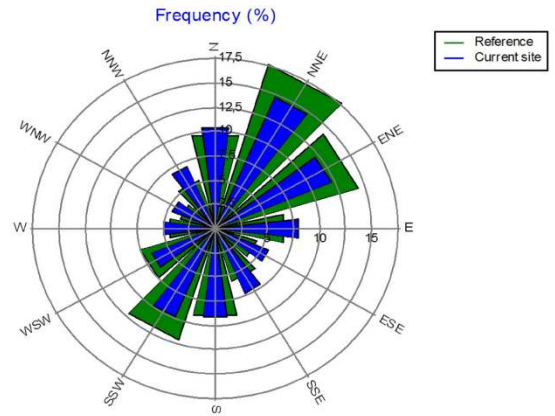
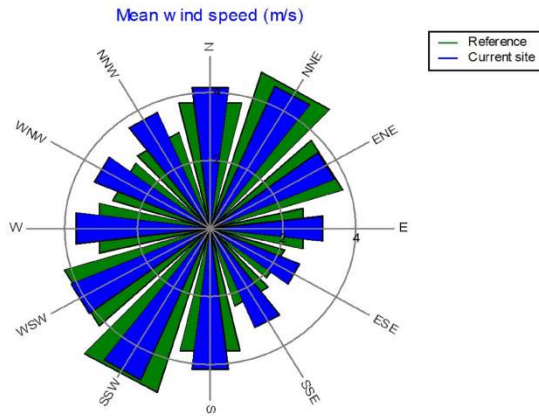
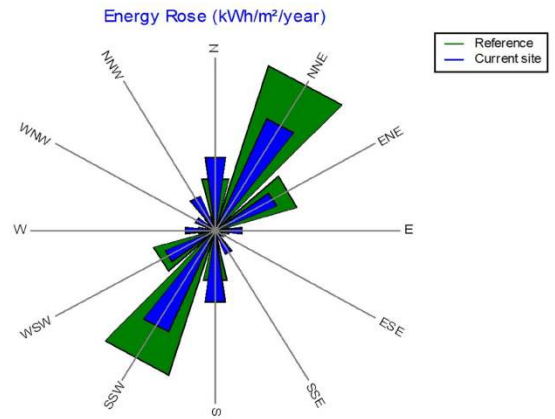
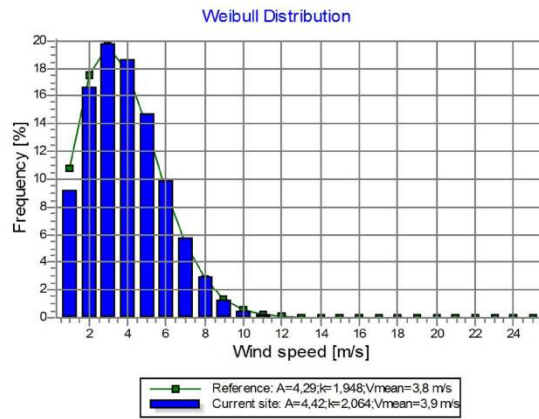
UTM WGS 84 Zone: 36 East: 475.721 North: 4.408.022

Wind statistics

TR NCAR - u10 10,00 m.wws

Weibull Data

Sector	Current site			Frequency	Reference: Roughness class 1		
	A-	Wind	k-		A-	k-	Frequency
	parameter	speed	parameter		parameter	parameter	
	[m/s]	[m/s]		[%]	[m/s]		[%]
0 N	4,72	4,19	2,307	10,5	4,26	2,226	9,7
1 NNE	5,11	4,54	2,588	14,7	5,40	2,600	17,7
2 ENE	4,19	3,71	2,197	12,1	4,32	2,214	14,2
3 E	3,51	3,11	2,131	8,0	2,95	2,194	6,7
4 ESE	3,04	2,69	2,307	5,6	2,40	2,348	4,2
5 SSE	3,58	3,17	1,982	7,2	2,67	2,326	5,6
6 S	4,70	4,16	2,025	9,1	4,17	1,992	9,1
7 SSW	5,49	4,86	2,303	9,9	5,70	2,296	12,0
8 WSW	4,69	4,16	2,014	6,5	4,72	2,002	7,5
9 W	4,17	3,70	1,963	5,0	3,56	1,972	4,4
10 WNW	3,92	3,47	2,029	4,4	3,15	2,032	3,4
11 NNW	4,20	3,72	2,107	7,0	3,34	2,092	5,2
All	4,42	3,91	2,064	100,0	4,29	1,948	100,0



Şekil 5.31. Rüzgar dataları analizi

Site Coordinates

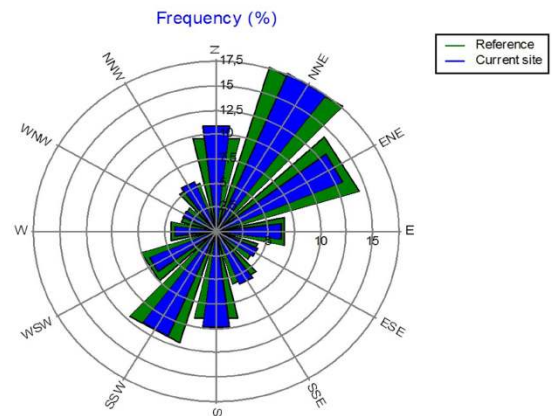
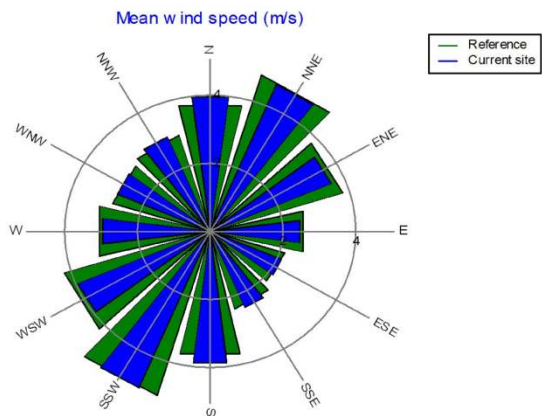
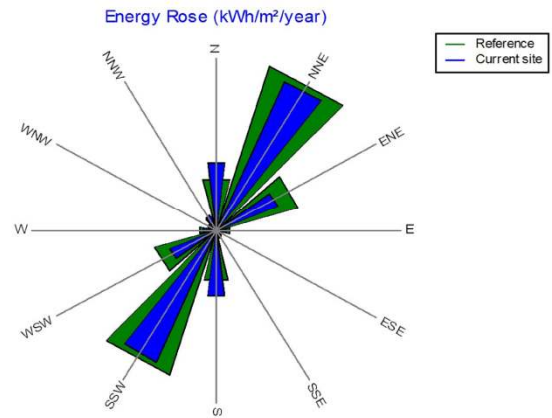
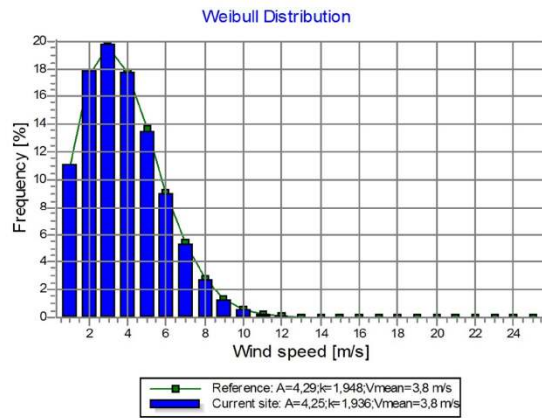
UTM WGS 84 Zone: 36 East: 472.655 North: 4.403.837
turbine

Wind statistics

TR NCAR - u10 10,00 m.wws

Weibull Data

Sector	Current site			Frequency [%]	Reference: Roughness class 1		
	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter		A- parameter [m/s]	k- parameter	Frequency [%]
0 N	4,49	3,98	2,244	11,0	4,26	2,226	9,7
1 NNE	5,29	4,69	2,553	17,6	5,40	2,600	17,7
2 ENE	4,07	3,60	2,197	13,1	4,32	2,214	14,2
3 E	2,62	2,50	2,205	6,2	2,95	2,194	6,7
4 ESE	2,41	2,14	2,287	4,4	2,40	2,348	4,2
5 SSE	2,76	2,45	2,240	5,9	2,67	2,326	5,6
6 S	4,42	3,92	1,986	10,0	4,17	1,992	9,1
7 SSW	5,63	4,99	2,279	11,8	5,70	2,296	12,0
8 WSW	4,46	3,96	2,002	7,0	4,72	2,002	7,5
9 W	3,37	2,99	1,982	4,1	3,56	1,972	4,4
10 WNW	3,13	2,77	2,025	3,5	3,15	2,032	3,4
11 NNW	3,42	3,03	2,084	5,5	3,34	2,092	5,2
All	4,25	3,77	1,936	100,0	4,29	1,948	100,0

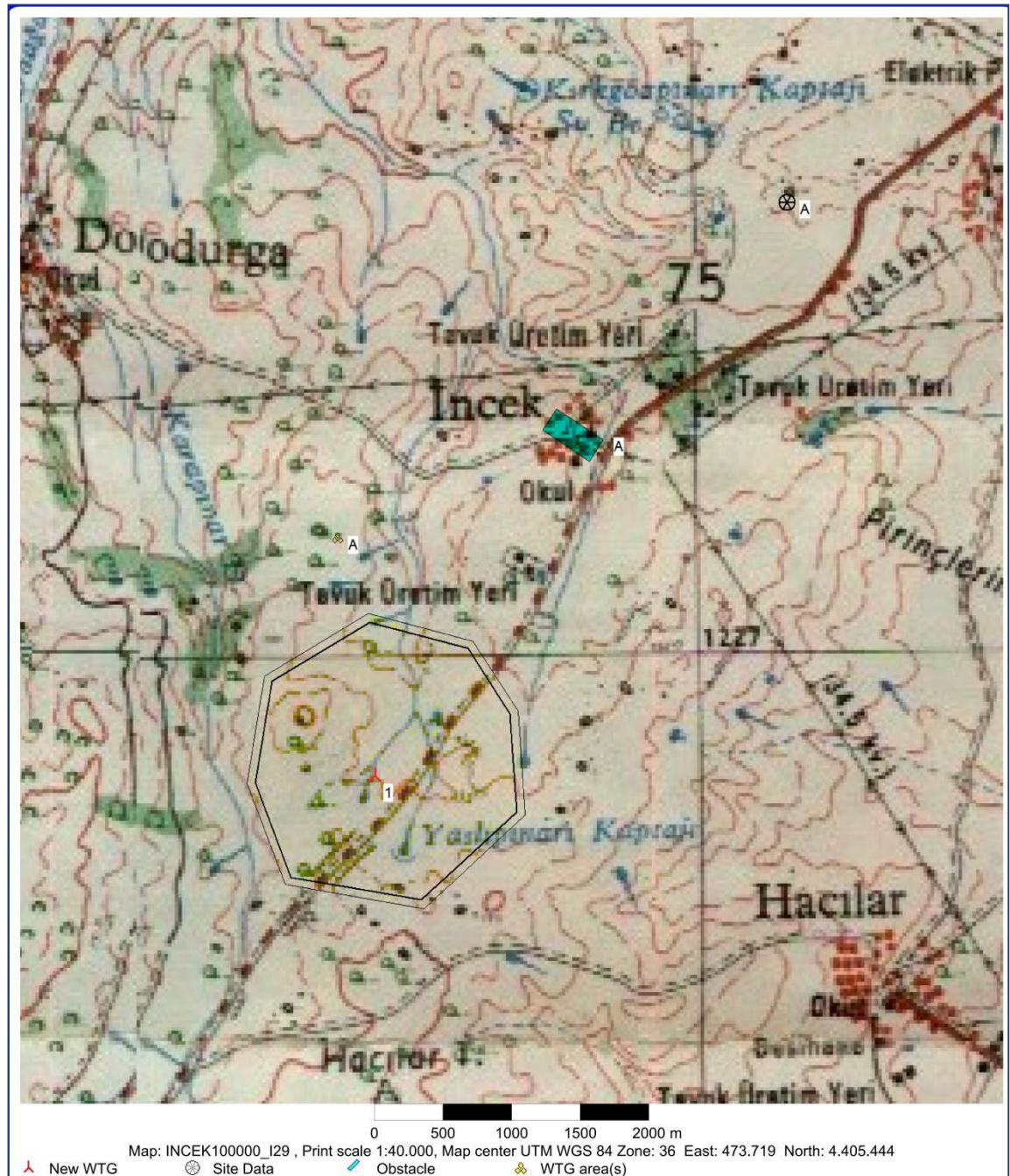


Şekil 5.32. Türbinin rüzgar data analizi



Şekil 5.33. THY MÖLLE -8 türbininin Google earth ekranında görünümü

Türbinin harita üzerindeki konumu Harita 5.6’de daha detaylı ve net olarak gösterilmiştir.



Harita 5.6. Harita üzerinde türbinin konumu

Çizelge 5.15'e baktığımızda, 11 farklı güçte olan rüzgar türbinleri içerisinde kapasite faktörü en yüksek, yani saha için en uygun olan ve en yüksek güçte çalışabilen türbin % 17,2 kapasite faktörü ve yıllık 1 510 maksimum üretim çalışma saati ile KOLIBRI -11'dir ve böylece ortalama üretimi yıllık 18,5 MW'tır. Bu da yıllık 4,3 MW

elektrik harcaması olan 4 örnek binanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir güç demektir. KOLIBRI -11'in detaylı olarak dataları ve grafikleri ek-1'de verilmektedir.

6. DEĞERLENDİRME

Çalışmada ele alınan örnek yapı için arazi verileri dikkate alınarak hesaplanan elektrik ihtiyacı ve seçile 1 KW gücünde Proven WT600-1, 3 KW gücünde Proven WT2500-3, 4 KW gücünde VIND-MÖLLER -4, 5 KW gücünde CALORIUS 37-5, 6 KW gücünde Proven WT6000-6, 8 KW gücünde THY MÖLLE -8, 10 KW gücünde LMW -10, 11 KW gücünde GAIA WIND GAIA 11 KW-11, 11 KW gücünde KOLIBRI -11, 12 KW gücünde GEIGER SG 800-12, 15 KW gücünde Proven WT15000-15 rüzgar türbinleri için NCAR, SYNOP, METAR, QSCAT verileri ile hesaplama ortalama üretim miktarı Çizelge 6.1’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1. Türbinlerin ortalama üretim miktarının karşılaştırma tablosu

Marka	POWER RATE D [KW]	Örnek yapının elektrik ihtiyacı Tip A II [MWh/y]	Örnek yapının elektrik ihtiyacı Tip B VI [MWh/y]	NCAR verileri ile Bir Türbin için Ortalama Üretim [MWh/y]	QSCAT verileri ile Bir Türbin için Ortalama Üretim [MWh/y]	METAR verileri ile Bir Türbin için Ortalama Üretim [MWh/y]	SYNOP verileri ile Bir Türbin için Ortalama Üretim [MWh/y]
Proven WT600-1	1	3,3	4,3	0,4	1,2	0,2	0,1
Proven WT2500-3	3	3,3	4,3	1,1	3,9	0,7	0,4
VIND-MÖLLER -4	4	3,3	4,3	3,0	8,6	1,8	0,9
CALORIUS 37-5	5	3,3	4,3	2,2	7,0	1,4	0,9
Proven WT6000-6	6	3,3	4,3	3,6	11,5	2,3	3,9
THY MÖLLE -8	8	3,3	4,3	4,4	13,8	2,6	1,2
LMW -10	10	3,3	4,3	7,2	21,3	4,6	2,4
GAIA WIND GAIA 11 KW-11	11	3,3	4,3	16,9	38,3	11,0	6,6
KOLIBRI -11	11	3,3	4,3	18,5	40,1	12,1	7,3
GEIGER SG 800-12	12	3,3	4,3	7,7	22,9	4,6	2,2
Proven WT15000-15	15	3,3	4,3	12,7	37,2	7,8	3,9

Çizelge 6.1 incelendiğinde, QSCAT verileri ile elde edilen ortalama üretim miktarlarının yüksek çıktığı gözlenmiştir. NCAR ve METAR verileri ile elde edilen ortalama üretim miktarlarının birbirine yakın, SYNOP ile elde edilen ortalama üretim miktarlarının düşük olduğu saptanmıştır. Güvenilirlik açısından NCAR verileri kullanılmıştır.

Bu durumda en yüksek yıllık ortalama üretim miktarı KOLIBRI-11 ve GAIA WIND GAIA 11 KW-11 türbinleri tarafından sağlanmaktadır. En düşük ortalama üretim miktarı PROVEN WT600-1 ile 0.4 MWh/y olarak saptanmıştır.

Çizelge 6.2. Türbinlerin kapasite faktörü karşılaştırma tablosu

Marka	POWER RATED [KW]	Capacity Factor (Kapasite Faktörü) [%]	Mean WTG Result (Bir Türbin için Ortalama Üretim) [MWh/y]	Full Load Hours (Max. Üretimde Çalışılan Saat) [Hours/year]	Mean Speed @Hub (Göbek Yük. Ort. Rüzgar Hızı) [m/s]
Proven WT600-1	1	7,3	0,4	644	3,1
Proven WT2500-3	3	4,6	1,1	407	3,3
VIND-MØLLER -4	4	8,6	3,0	755	4,0
CALORIUS 37-5	5	5,1	2,2	445	3,6
Proven WT6000-6	6	6,2	3,6	545	3,5
THY MØLLE -8	8	6,0	4,4	525	3,8
LMW -10	10	7,4	7,2	649	4,1
GAIA WIND GAIA 11 KW-11	11	15,8	16,9	1 384	4,0
KOLIBRI -11	11	17,2	18,5	1 510	4,1
GEIGER SG 800-12	12	6,5	7,7	574	4,2
Proven WT15000-15	15	8,7	12,7	759	4,0

Çizelge 6.2 incelendiğinde, örnek olarak seçilen türbinlerin NCAR' a göre yapılan kapasite faktörü, bir türbin için ortalama üretim miktarı, maksimum üretimde çalışılan saat ve ortalama rüzgar hızı değerleri görünmektedir. Tabloda görüldüğü gibi bu

rüzgar türbinleri içerisinde kapasite faktörü en yüksek, yani saha için en uygun olan ve en yüksek güçte çalışabilen türbin % 17,2 kapasite faktörü ile KOLIBRI -11'dir ve böylece ortalama üretimi yıllık 18,5 MW'tır. Bu da yıllık 4,3 MW elektrik harcaması olan 4 binanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir güç demektir.

7. SONUÇ

Dünya yüzeyinin %27'sinde rüzgardan elektrik elde etmek mümkündür. 2040 yılında tüm dünyanın, enerjinin %40'ını rüzgardan elde etmesi öngörülmektedir. Ülkemizde ekonomik rüzgar potansiyeli yıllık 10 000 MW olarak hesaplanmıştır. Binalarda orta ve küçük ölçekli rüzgar tribünleri kullanılmaktadır. Bu tribünler bahçede uygun bir noktaya konulabildiği gibi çatılara da yerleştirilebilmektedir. Çok katlı yüksek yapılarda ise yapıya entegre rüzgar türbinlerinin kullanım örnekleri vardır[Yüksek ve ark, 2009].

Rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında 4 İstatistiksel yöntem bulunmaktadır. Bunlar Normal Dağılımı, Weibull Dağılımı, Rayleigh Dağılımı, Aşırı Hız Dağılımıdır.

Üretimde olan çok çeşitli rüzgar türbinleri bulunmaktadır. Türbinler IEC sınıflandırılması açısından, boyut ve güçlerine göre, Rüzgar geliş yönüne, kanat sayısı, Onshore ve offshore olarak, Rüzgar yakalama tertibatları bakımından, Rotor ekseninin pozisyonuna ve Güçlerine göre sınıflandırılmaktadır. Rüzgar Türbinü seçiminde izlenecek yöntem; öncelikle ihtiyaç olunan enerji miktarını olabildiğince gerçekçi olarak saptamak, daha sonra uygulanacak sahanın rüzgar potansiyelini belirlemek ve sonuçta ihtiyacı karşılayabilecek türbini seçmek olmalıdır. Bu arada seçilen türbinin yerleştirileceği alan veya yapı dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada Ankara ilinde olan bir yapı için rüzgar enerji kullanıma olanağı araştırılmıştır. Bunun için de küçük ölçekli, bahçeye kurulabilen rüzgar türbinleri ele alınarak Ankara'nın güney batısının İncek bölgesinde olan hafta sonu için kullanılan örnek bir bina üzerinde araştırma yapılmıştır.

Ankara, İncek bölgesi için Ulusal Atmosfer Araştırma Merkezi (NCAR)'nden 10 metre yüksekliği için alınan rüzgar verilerine baktığımızda, proje sahasının ortalama rüzgar hızı 3,7 m/s ve hakim rüzgar yönü NNE olarak tespit edilmiştir.

Yıllık 3,3 MW enerji harcama sonucu çıkan modelleme için uygun türbin Proven WT6000-6 olmuştur. Proven WT6000-6 türbininin göbeğinin yerden yüksekliği 9 m ve kanat çapı 5,5m dir. Göbek yüksekliğinde olan ortalama rüzgar hızı 3,5 m/s ve ortalama üretimi yıllık 3,6 MW tir. Bu üretim A-II ihtiyacını karşılıyor ama elektrik ihtiyacı B-IV yükselirse yetersiz kalıyor.

Seçilen 11 rüzgar türbini için yapılan modellemeler sonucu, yıllık 4,3 MW elektrik ihtiyacı için bulunan en uygun THY MÖLLE -8 türbini gözüküyor. THY MÖLLE -8 türbininin göbeğinin yerden yüksekliği 12 m ve kanat çapı 7m dir. Göbek yüksekliğinde olan ortalama rüzgar hızı 3,8 m/s ve ortalama üretimi yıllık 4,4 MW tir, Dolayısı ile her iki tip örnek yapı ihtiyacı için en uygun türbin THY MÖLLE -8 olmaktadır.

Örnek olarak seçilen türbinleri Kapasite faktörleri açısından bir karşılaştırma yaptığımızda; bu rüzgar türbinleri içerisinde kapasite faktörü en yüksek, yani saha için en uygun olan ve en yüksek güçte çalışabilen türbin % 17,2 kapasite faktörü ile KOLIBRI -11'dir ve böylece ortalama üretimi yıllık 18,5 MW'tır. Bu da yıllık 4,3 MW elektrik harcaması olan 4 binanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir güç demektir.

Elde edilen bu veriler ışığı altında Ankara'da İncek bölgesindeki tek veya iki katlı bir bina için yıllık elektrik ihtiyacının uygun rüzgar türbinleri ile karşılanabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akalın, A., “Temiz ve yenilenebilir enerji potansiyel ve stratejileri”, *Uluslararası Enerji Kongresi*, Ankara, 2,3 (2009)
- Akdağ, S., A., “Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Analizde Weibull Dağılımının Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*, 19-87 (2008)
- Altındış, E., “Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 23-77 (2001)
- Akgün, N., “Rüzgar enerjisi nereden gelmektedir”, *DMİ Araştırma Şube Müdürlüğü*, Ankara, 4-8, (2006)
- Burton T., “Wind Energy Handbook”, *West Sussex*, 1-77 (2001)
- Barutçu, B., “Wind energy and conversion technology ders notları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*, 9-18 (2008)
- Durak, M., Özer, S., “Rüzgar Enerjisi Teori ve Uygulama”, *Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği*, Ankara, 1- 30, 83-146 (2008)
- Durak, M., “Rüzgar Enerjisi Teknolojisi Ve Türkiye Uygulaması Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2000)
- EWEA, “The Economics of Wind Energy”, *European Wind Energy Association*, Belçika, 28-90 (2007)
- EWEA, “Wind Energy and Electricity Prices”, *European Wind Energy Association*, Belçika, 8-13 (2010)
- EWEA, “ Wind Energy Factsheets”, *European Wind Energy Association*, Belçika, Vol 9 (2009)
- EWEA, “ Annual report 2009”, *European Wind Energy Association*, Brussels, 9 (2010)
- EWEA, “Wind Energy The Facts”, *European Wind Energy Association*, Brussels, 3-12 (2008)
- EEA, “Technical Report: Europe’s onshore and offshore wind energy potential”, *European Environment Agency*, Luxemburg, 25,60 (2009)
- Güney, i., Terzi, U. K., “Rüzgar Enerji Teknolojileri ve Kullanımının Türkiye’deki Gelişimi”, *Türkiye 6. Enerji kongresi*, İzmir, 193-199, (1994)

Golding, E. W., "The Generation Of Electricity By Wind Power", *Halsted Press*, London, 6-2 (1955)

Gasch, R., Twele, J., "Wind Power Plant", London, 157- 283, (2002)

Hahm, T., Kroning, J., "In the wake of a wind turbine", *Fluent News*, **Vol. XI, Issue.1, TÜV Nord e.V.**, Hamburg, 5-7 (2002)

Hatipoğlu, A., "Rüzgar Santrallerinde Rüzgar Karakteristiği Ve Saha Topografisine Göre Türbin Seçimi Ve Yerleştirilmesi ",Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 43, 23-25, 45-57 (2010)

İnternet: Danish Wind Industry Association (DWIA)
http://www.windpower.org/en/knowledge/guided_tour.html, (2011).

İnternet:Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Peak_oil, (2012).

İnternet: Newton
<http://www.newton.mec.edu>, (2011).

İnternet: EİE
[http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/Ruzgar Potansiyeli Belirlenmesi.doc](http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/Ruzgar_Potansiyeli_Belirlenmesi.doc), (2011).

İnternet: EİE
[http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/Ruzgar Enerjisi Gozlem Istasyonu.doc](http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/Ruzgar_Enerjisi_Gozlem_Istasyonu.doc), (2011).

İnternet: Türkiye rüzgar enerjisi birliği
[http://www.ruzgarenerjisibirli.org.tr/Türkiye ve Dünya da Rüzgar Enerji Potansiyelleri \(bilgi bankası\)](http://www.ruzgarenerjisibirli.org.tr/Türkiye_ve_Dünya_da_Rüzgar_Enerji_Potansiyelleri_(bilgi_bankası)), (2011).

İnternet: Talentfactory
<http://www.talentfactory.dk/en/tour.htm>, (2012).

İnternet: Dewi
<http://www.dewi.de>, (2012).

İnternet: Annualreviews
<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-fluid-122109160801?journalCode=fluid>, (2011).

İnternet: kuresel-isinma
<http://www.kuresel-isinma.org/>, (2011)

İnternet:Google maps
<http://maps.google.com/maps?hl=en&tab=wl&q=golbasi>, (2012).

İnternet:

<http://www.emd.dk/EMD/Presentation/>, (2012).

İnternet:

<http://www.emd.dk/WindPRO/Introduction/>, (2012).

İnternet:

<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, (2012).

İnternet:

<http://www.iec.ch/> (2011).

Kavsaoğlu, M. Ş., “Rüzgar Enerjisi ve Sistemleri Ders Notları□, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak Uzay Fakültesi**, 15- 81(2008)

Karadeli S., “Rüzgar Enerjisi□, Ankara, 7-34 (2001)

Lettau, H., “ Note on Aerodynamic Roughness-Parameter Estimation on the Basis of Roughness-Element Description□, **Journal of Applied Meteorology**, Vol.8, (1969)

Molly, J. P., “Wind farm Planning and Risk Assesment” **Seminar**, İstanbul, Türkiye, 4-14 (2009)

Menteş, Ş. S., “Rüzgar Enerjisi Ve Sistemleri Ders Notları□, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak Uzay Fakültesi**, İstanbul, 7-28 (2008)

Malkoç, Y., “Türkiye Elektrik Enerjisi İhtiyacının Karşılanmasında Rüzgar Enerjisinin Yeri”, **EMO Enerji**, Ankara, 3 (2007)

Özaktürk, M., “Rüzgar enerjisinin güç kalitesi açısından incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, 27-92 (2007)

Rogathi, J. S., “Wind Characteristics: An analysis the generation of wind power”, **West Texas A&M University**, Texas, 74-186 (1994)

Sami Akkuş, M., “Türkiye’nin Enerji Kaynakları Ve Alternatif Bir Kaynak OlarakRüzgâr Ve Güneş Enerjisinin Değerlendirilmesi□, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İktisat Anabilim Dalı, 95-96 (2010)

Şimşek, V., “Rüzgar enerjisi ve Sivas şartlarında bir rüzgar santrali tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sivas, 33-89 (2007)

Şen, Z., “Temiz Enerji ve Kaynakları□, İstanbul, 92-130 (2002)

Şahin, A. D., Şen, Z., “Refined Wind Energy Formulation And Its Applications In Turkey " **The Second International Conference on New Energy Systems and Conversions**, İstanbul, 357-360 (1995)

Şahin, A. D., “Rüzgar Enerjisi Meteorolojisi” **TÜREB 2. Türkiye Rüzgar Enerjisi Kursu**, kurs notları, Ankara, Türkiye, 9-24 (2007)

Tırıs, M., “Technological advances and r&d work in renewable energy in Turkey”, **Uluslararası Enerji Kongresi**, Ankara, (2009)

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Apk Dairesi Başkanlığı, “Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu, (2007-2016)”, **TEİAŞ**, 4,48 (2007)

Troen, I., Petersen, E., L., “European Wind Atlas, Riso National Laboratory, Roskilde”, Denmark, 236-458 (1989)

Turhan, F., “Rüzgar Enerjisinin Dünya’da Ve Türkiye’de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Rüzgar Değerlerinin İncelemesi”, Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 15, 65- 74 (2009)

Ültanır, M. Ö., “Yel Değirmenlerinden Günümüze Rüzgar Enerjisi”, **Bilim Teknik Dergisi Nisan 1996 Sayısı**, (1996)

Uğurlu, M., “Alternatif Enerji Kaynakları, Rüzgar Enerjisi ve Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, 21-78 (2004)

Walker, J., F., Jenkins, N., “ Wind Energy Technology, **John Willey & Sons**, England: 6- 87 (1997)

Wizelius, T., “Developing Wind Power Projects”, London, 33-72 (2007)

WWEA, “World wind energy report 2009”, Bonn, 5-18 (2010)

Wegley, H., L., Ramsdel, J., J., Orgill, M., M., Drake, R., L., “A Sitting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems”, **U.S. Department of Energy**, Report PNL-2521, 37-143 (1980)

Woo, H. G. C., Paterka, J. A., Cermak, J. E., “Wind Tunnel Measurements in the Wake of Structures”, **NASA Report CR-2806**, Washington, DC. USA, 24-131 (1977)

Yalçın, Y., “İstanbul Terkos Bölgesi’nde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti Ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi”, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü**, 31 (2010)

Yalçın, C., “Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Alternatif Enerji Kaynaklı Sistemler Ve Birleşik Isı-Güç Santralleri İle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 26- 67 (1998)

Yüksek, İ., Esin, T., “Yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanım olanakları”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)**, Karabük, Türkiye, (2009)

Yücel, M., “Rüzgar Enerjisi Sistemleri Ve Uygulamalar”, Yüksek Lisans Tezi, **Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Fizik Anabilim Dalı, 7-16 (2009)

EKLER

Ek-1. WindPRO programı ile KOLIBRI 11 için yapılan hesaplamaların raporu

WindPRO version 2.7.490 Sep 2011

Project: INCEK_NCAR 2012 04 19	Description: INCEK WIND TURBINE USING ONLINE NCAR DATA 11 KW KOLIBRI TURBINE	Printed/Date: 5/2/2012 9:45 AM / 1 Licensed user: Sevil Tutunchian This license is ONLY to be used for educational purposes -- +905547377530 Sevil / sevil.tutunchian@hotmail.com Calculated: 4/19/2012 2:33 PM/2.7.490
---	--	--

PARK - Main Result
Calculation: INCEK - NCAR - KOLIBRI11 kw

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
 Air density calculation mode: Individual per WTG
 Result for WTG at hub altitude: 1.079 kg/m³
 Air density relative to standard: 88.1 %
 Hub altitude above sea level (asl): 1,223.4 m
 Annual mean temperature at hub alt.: 9.5 °C
 Pressure at WTGs: 875.7 hPa

Wake Model Parameters
 Wake Decay Constant: 0.075 Open farmland

Wake calculation settings
 Angle [°] Wind speed [m/s]
 start end step start end step
 0.5 360.0 1.0 0.5 30.5 1.0

Wind statistics TR NCAR - u10 10.00 m.wss

Key results for height 18.0 m above ground level

Terrain UTM WGS84 Zone: 36

	East	North	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A	475,721	4,408,022	wasp	WAsP (WAsP 6-9 for Windows RVEA0011 1, 0, 0, 13)	649	4.2	0.9

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Specific results ^{a)}							
	Result PARK [MWh/y]	Result-10.0% [MWh]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	Mean wind speed @hub height [m/s]
Wind farm	18.5	16.6	18.5	100.0	17.2	16.6	1,510	4.1

^{a)} Based on Result-10.0%

Calculated Annual Energy for each of 1 new WTGs with total 0.0 MW rated power

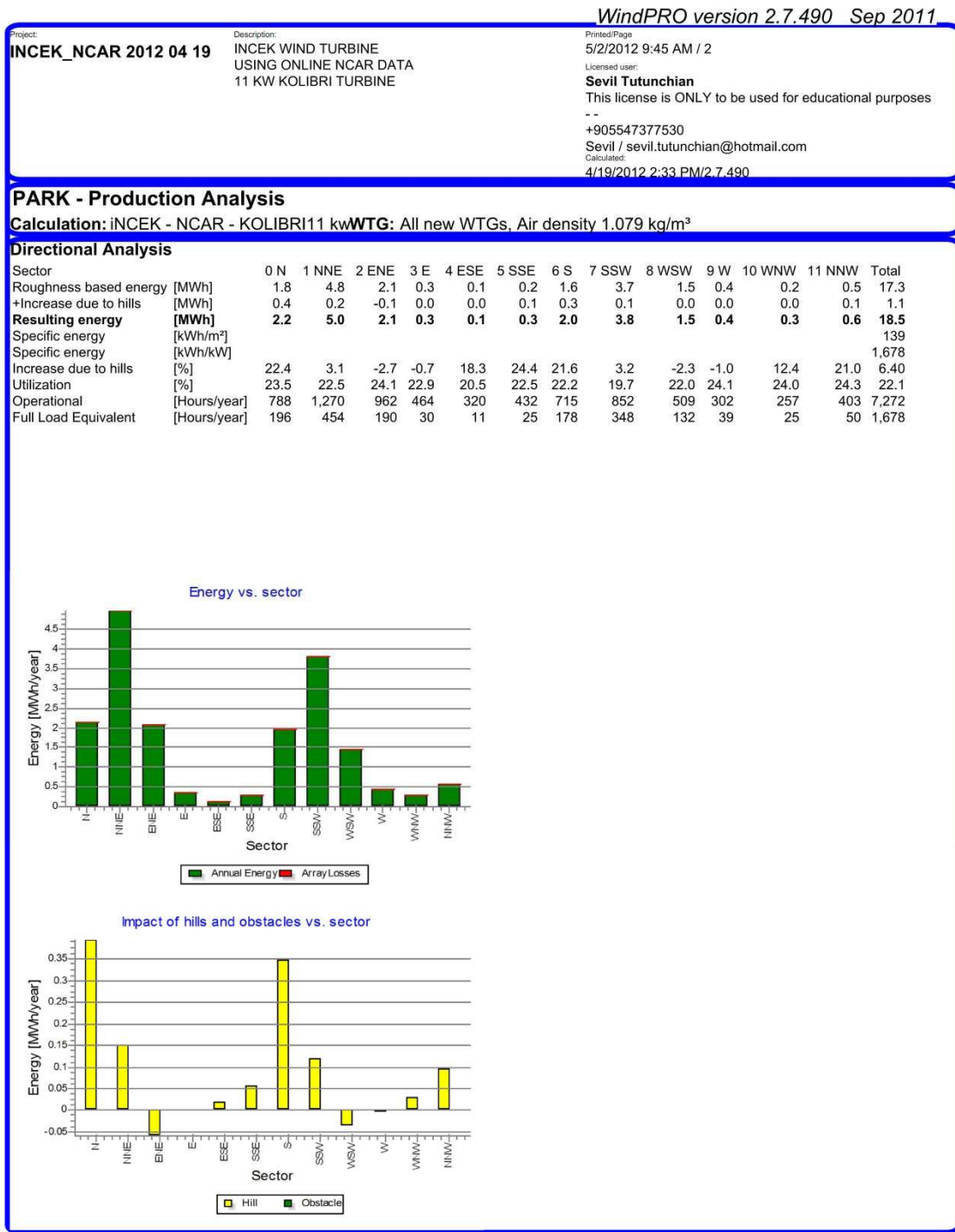
WTG type	Terrain	Valid	Manufact.	Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve Creator	Name	Annual Energy		Park				
										Result [MWh]	Result-10.0% [MWh]	Efficiency [%]	Mean wind speed [m/s]			
1 A	No	KOLIBRI	-11		11	13.0	18.2	EMD	Tripod Wind Energy 03-1998	1.225	25.00	0.00	18.5	17	100.0	4.11

WTG siting

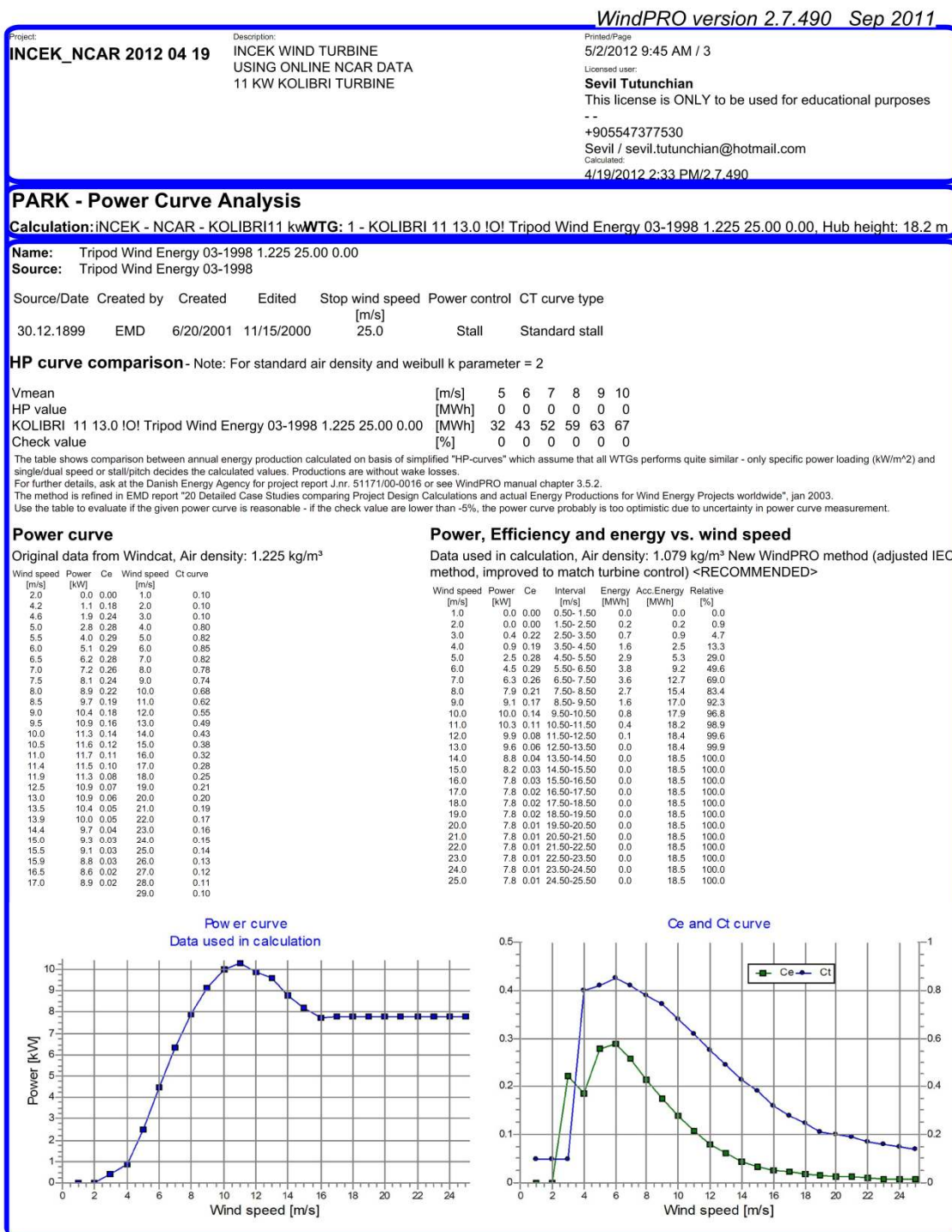
UTM WGS84 Zone: 36

	East	North	Z [m]	Row data/Description
1 New	472,655	4,403,837	1,205.2	turbin

Ek-1. (Devam) WindPRO programı ile KOLIBRI 11 için yapılan hesaplamaların raporu



Ek-1. (Devam) WindPRO programı ile KOLIBRI 11 için yapılan hesaplamaların raporu



Ek-1. (Devam) WindPRO programı ile KOLIBRI 11 için yapılan hesaplamaların raporu

WindPRO version 2.7.490 Sep 2011

Project:
INCEK_NCAR 2012 04 19

Description:
INCEK WIND TURBINE
USING ONLINE NCAR DATA
11 KW KOLIBRI TURBINE

Printed/Page
5/2/2012 9:45 AM / 4

Licensed user:

Sevil Tutunchian

This license is ONLY to be used for educational purposes

--

+905547377530

Sevil / sevil.tutunchian@hotmail.com

Calculated:

4/19/2012 2:33 PM/2.7.490

PARK - Wind Data Analysis

Calculation: INCEK - NCAR - KOLIBRI11 kw Wind data: A - wasp; Hub height: 18.0

Site Coordinates

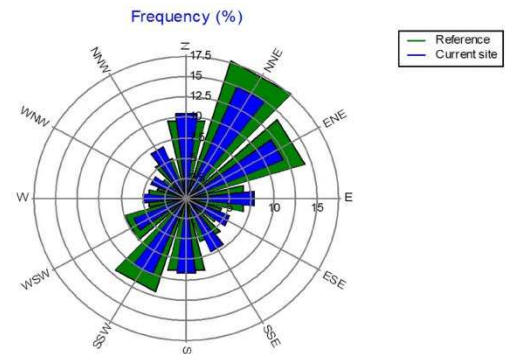
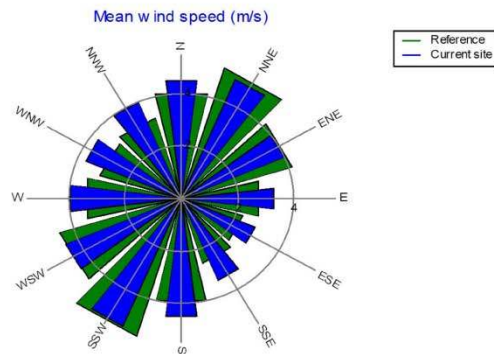
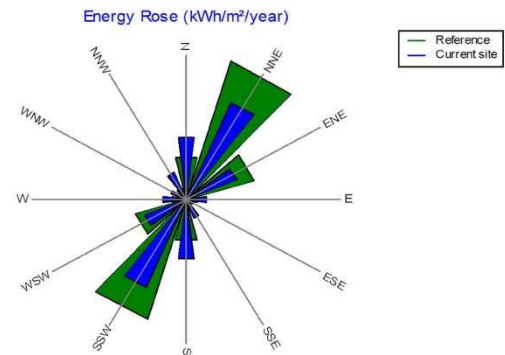
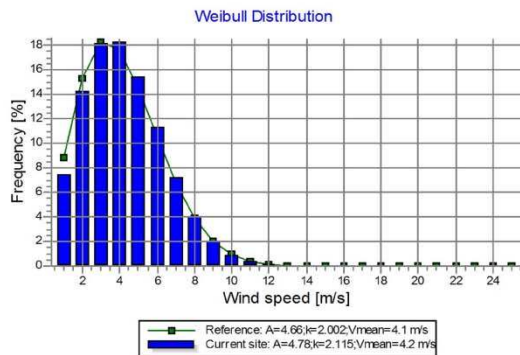
UTM WGS 84 Zone: 36 East: 475,721 North: 4,408,022

Wind statistics

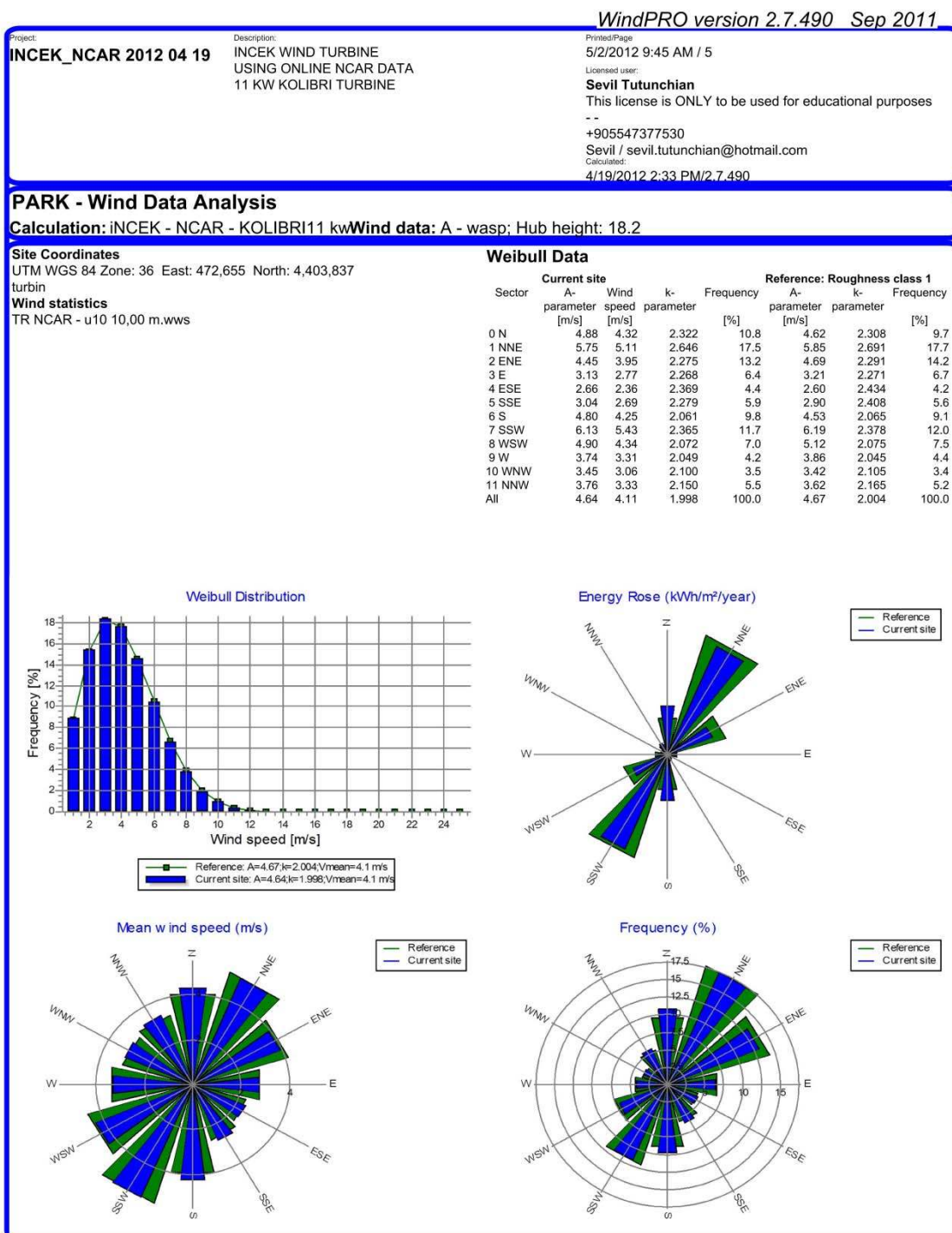
TR NCAR - u10 10,00 m.wws

Weibull Data

Sector	Current site			Frequency	Reference: Roughness class 1			Frequency
	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter		A- parameter [m/s]	k- parameter		
0 N	5.11	4.53	2.381	10.5	4.61	2.305	9.7	
1 NNE	5.56	4.95	2.674	15.0	5.84	2.688	17.7	
2 ENE	4.52	4.00	2.268	12.1	4.68	2.289	14.2	
3 E	3.75	3.32	2.189	7.8	3.20	2.269	6.7	
4 ESE	3.23	2.86	2.385	5.5	2.60	2.432	4.2	
5 SSE	3.81	3.38	2.041	7.1	2.89	2.405	5.6	
6 S	5.08	4.50	2.092	9.2	4.52	2.063	9.1	
7 SSW	5.98	5.30	2.381	10.1	6.18	2.375	12.0	
8 WSW	5.06	4.49	2.080	6.5	5.11	2.073	7.5	
9 W	4.46	3.95	2.025	4.9	3.86	2.043	4.4	
10 WNW	4.17	3.70	2.096	4.3	3.41	2.103	3.4	
11 NNW	4.49	3.98	2.174	6.9	3.61	2.163	5.2	
All	4.78	4.23	2.115	100.0	4.66	2.002	100.0	



Ek-1. (Devam) WindPRO programı ile KOLIBRI 11 için yapılan hesaplamaların raporu



Ek-2. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan gölbaşı-Ankara için aylık ortalama rüzgar hızı

İSTASYON ADI/NO: Gölbaşı-Ankara / 17134												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2007	3.8	3.9	5.1	5.0	5.6	5.5	3.3	5.7	4.3	3.9	4.9	2.1
2008	1.8	2.2	3.2	2.7	2.3	3.3	3.1	3.3	2.5	2.3	1.8	1.6
2009	2.1	2.7	2.7	2.4	2.7	2.7	3.2	2.9	2.3	2.0	1.8	2.2
2010	2.3	2.9	2.5	2.6	2.1	2.6	2.9	2.7	2.4	2.1	1.7	2.3
2011	1.9	2.0	2.2	2.6								

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TUTUNCHIAN, Sevil

Uyruğu : İran

Doğum tarihi ve yeri : 23.03.1981 Tabriz

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (554) 737 75 30

e-mail : sevil.tutunchian@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Sahand Teknik Üniversitesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2006	Maden ve İnşaat Şirketi	Maden Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Farsça, Azerice, Arapça

Hobiler

Müzik, Yan Flüt, Dans, Tarih, Mitoloji, Etimoloji