

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI SANTRALLERDE
ENERJİ ÜRETİMİ VE DENETİMİ**

Makine Yük. Müh. Onur ODYAKMAZ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 26 Aralık 2008
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Düriye BİLGE (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Eralp ÖZİL (İTİCÜ)
: Prof. Dr. Hasan HEPERKAN (YTÜ)
: Prof. Dr. Ahmet Rasim BÜYÜKTÜR (İTÜ)
: Prof. Dr. Galip TEMİR (YTÜ)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖNSÖZ	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xx
1. GİRİŞ	1
1.1 Rüzgârın Tanımı ve Çeşitleri	9
1.1.1 Küresel Rüzgârlar	10
1.1.2 Yerel Rüzgârlar	12
1.1.2.1 Türkiye’de Yerel Rüzgârlar	16
1.2 Rüzgâr Enerjisi	19
1.2.1 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi	21
1.2.2 Rüzgâr Türbinleri	30
1.2.3 Rüzgâr Kaynaklı Elektrik Enerjisi Üretim Sistemlerinin Kalitesi ve İstikrarı	34
1.2.4 Rüzgâr Türbinleri Kontrol Mekanizmaları	36
1.2.5 Rüzgâr Türbinlerinin Birbirleriyle Etkileşimleri, Enerji Üretimi ve Rüzgâr Hızının Değişkenliği	37
1.2.6 Rüzgâr Enerjisi Santrallerini Planlamadaki Temel Sorunlar	40
1.2.7 Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Rüzgâr Tahmini	41
2. YAPAY SİNİR AĞLARI	44
2.1 Yapay Sinir Ağları	44
2.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihi	44
2.1.2 Yapay Sinir Ağı Hücresi	45
2.1.3 Aktivasyon Fonksiyonları	47
2.1.4 Yapay Sinir Ağları Modelleri	48
2.2 Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi	49
2.2.1 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları	50
2.2.1.1 Geri Yayınım Öğrenme Algoritması	51
2.2.1.2 Levenberg- Marquardt Algoritması	54
2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yapay Sinir Ağları	56
3. METODOLOJİ VE ÇALIŞMA PLANI	64
3.1.1 Yapay Sinir Ağları Hesaplama Araçları	67
3.1.2 Analiz ve Değerlendirme Yöntemleri	71

3.1.2.1	Hata.....	71
3.1.2.2	Ortalama Hata Kare	71
3.1.2.3	Normalize Edilmiş Ortalama Kare Hata.....	72
3.1.2.4	Ortalama Mutlak Hata	72
3.1.2.5	En Küçük Mutlak Hata	72
3.1.2.6	En Büyük Mutlak Hata	72
3.1.2.7	Lineer Korelasyon Katsayısı, r	72
3.1.2.8	Verilerin YSA Analizi	72
3.1.3	Yazılım ve Donanım Altyapısı	73
4.	RÜZGÂR TRENDİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI	75
4.1	Rüzgâr Hızı, Yönü ve Enerjisi Hakkında Genel Durum	75
4.1.1	Rüzgâr Hızları Yönünden Pik, Zayıf ve Referans Aylar	79
4.1.2	Baskın Rüzgâr Yönü ve Baskınlık Oranı	81
4.2	Rüzgâr Trendi Analizleri	82
4.2.1	Ortalama Rüzgâr Hızının Yıllara Göre Değişimi	82
4.2.2	Rüzgâr Türbininden Elde Edilebilecek Kapasite Aralıklarının Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Görülme Sıklığı Oranları	83
4.2.3	Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylardaki Bir Gün İçindeki Saatlik Değişimi	84
4.2.4	Aylık Ortalama Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Yıl İçindeki Değişimi	85
4.2.5	Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları	85
4.2.6	Çeşitli Rüzgâr Türbini Kapasite Aralıkları İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları	87
4.2.7	İstasyonların Eş Zamanlı Rüzgâr Hızı Analizi	88
5.	RÜZGÂR ENERJİSİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞI ANALİZLERİ.....	98
5.1	Rüzgâr Enerjisi ile İlgili Genel Durum ve YSA Analizi	98
5.2	Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Çalışmaları	99
5.2.1	Nesil 1a Yapay Sinir Ağı Çalışmaları	102
5.2.2	Nesil 1b Yapay Sinir Ağı Çalışmaları	103
5.2.3	Nesil 2 Yapay Sinir Ağı Çalışmaları	105
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	108
EKLER		137
Ek 1	İstasyonların Ortalama Rüzgâr Hızının Yıllara Göre Değişimi İçin Çalışma Sonuçları	138
Ek 2	Rüzgâr Türbininden Elde Edilebilecek Kapasite Aralıklarının Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları.....	145
Ek 3	Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylardaki Bir Gün İçindeki Saatlik Değişimi İçin Çalışma Sonuçları.....	155
Ek 4	Aylık Ortalama Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Yıl İçindeki Değişimi İçin Çalışma Sonuçları.....	165
Ek 5	Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları	168
Ek 6	Çeşitli Rüzgâr Türbini Kapasite Aralıkları İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları	178
Ek 7	Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Birim Alandaki Rüzgâr Gücünün Dağılımı İçin	

Çalışma Sonuçları.....	192
Ek 8 Saatlik Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli İçin Çalışma Sonuçları	195
KAYNAKLAR.....	202
ÖZGEÇMİŞ.....	206

SİMGE LİSTESİ

b	Bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri
c	Ölçek parametresi
f	Aktivasyon fonksiyonu
g	Yerçekimi ivmesi, [m/s ²]
h	Weibull Olasılık Dağılımı Fonksiyonu
k	Şekil parametresi
n	Giriş sayısı
o	Sinir ağı çıkışı
P	Rüzgârın gücü, [W]
Pe	Türbin milinden alınan güç, [W]
Q	Türbine giren hacimsel debi, [m ³ /h]
r	Rotor yarıçapı, lineer korelasyon katsayısı
u_C	Rüzgâr türbini için devreye girme rüzgâr hızı, [m/s]
u_F	Rüzgâr türbini için devreden çıkma rüzgâr hızı, [m/s]
u_B	Maksimum rotor hızına çıkılan rüzgâr hızı, [m/s]
v	Rüzgâr hızı, [m/s]
W	Ağırlıklar matrisi
X	Girişler matrisi
y	Arzu edilen çıkış
$\mu(x)$	X Elemanının μ Kümesi İçindeki Üyelik Derecesi
ρ	Havanın yoğunluğu, [kg/m ³]
η_g	Genel verim

KISALTMA LİSTESİ

ADALINE	ADaptive LInear NEuron
AHO	Ağırlıklı Hareketli Ortalama
AI	Artificial Intelligence
ANN	Artificial Neural Networks
AO	Aritmetik Ortalama
ARIMA	Auto Regressive Integrated Moving Average
ARMA	Auto Regressive Moving Average
BMD	Biomass Doğrudan Kullanım
BMI	Biomass Dolaylı Kullanım
CRHE	Kanal veya Dere Tipi Hidroelektrik
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EPOCH	Yapay Sinir Ağı Öğrenme Aşama Sayısı
GE	Jeotermal Enerji
GYA	Geriye Yayılım Algoritması
HO	Hareketli Ortalama
LM	Levenberg –Marquardt Algoritması
LMS	Least Mean Square
LOGSIG	Logaritma Sigmoid Transfer Fonksiyonu
MAD	Mean Absolute Deviation
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MEAN	Prediction Mean
MS	Microsoft
MSE	Mean Squared Error
NMSE	Normalized Mean Squared Error
NN	Neural Network
NS	Neuro Solutions
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion
PURELIN	Lineer Transfer Fonksiyonu
PV	Güneş-Elektrik Enerjisi
RMSE	Root Mean Squared Error
RNN	Recurrent Neural Network
SHE	Küçük Hidroelektrik
SP	Güneş-Pasif

ST	Güneş-Termal
TANSIG	Tanjant Sigmoid Transfer Fonksiyonu
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TNN	Time Delayed Neural Network
WE	Rüzgâr Enerjisi
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Dünya genelindeki enerji kaynaklarına göre enerji tüketimi, [1].....	1
Şekil 1.2 1999–2000 Yıllarındaki Dünya genelindeki kişi başına düşen yıllık elektrik enerjisi tüketimi ile kişisel gelişim endeksi arasındaki ilişki, [1].....	2
Şekil 1.3 Kişi başına düşen kilogram eşdeğer petrol tüketimi, [1].....	3
Şekil 1.4 Kişi başına düşen CO ₂ emisyonu, [1].....	3
Şekil 1.5 Dünyadaki sıcaklık değişimleri ve küresel rüzgârlar, (Şahin, 2004).	11
Şekil 1.6 Coğrafi yükseltilerin rüzgâr almayan kesimlerinde oluşan türbülans, [5].	12
Şekil 1.7 0,1m’lik yüzey pürüzlülüğü için rüzgâr hızı sınır tabakası yüksekliği, [4].....	13
Şekil 1.8 Kararlı bir yüzeyssel sınır tabaka dağılımı için rüzgâr hızı sınır tabakası katmanları, (Şahin, 2004).....	14
Şekil 1.9 Küçük bir binanın arkasında kalan bozulmuş rüzgâr bölgesi, [5].....	14
Şekil 1.10 Dağ-vadi meltemlerinin oluşumu, [5].	15
Şekil 1.11 Deniz-kara meltemlerinin oluşumu, [5].	15
Şekil 1.12 Hindistan’daki Muson rüzgârlarının oluşumu.....	16
Şekil 1.13 Türkiye’deki yerel rüzgârlar.....	18
Şekil 1.14 1997–2007 Yılları arasında Dünya genelindeki rüzgâr santrallerinin toplam kurulu güçleri ve ileriki yıllar projeksiyonu , [1].	20
Şekil 1.15 1998–2007 yılları arası dünya genelinde gerçekleşen yıllık eklenen rüzgâr enerjisi kapasiteleri , [1].	20
Şekil 1.16 100MW üzeri pazar için 2007 yılı rüzgâr enerjisi büyüme oranları , [1].....	21
Şekil 1.17 Tekirdağ kent merkezi için Temmuz ayı günlük ortalama rüzgâr hızı (10m) ve sistem yükü.	25
Şekil 1.18 Türkiye geneli için ortalama rüzgâr hızı ve enerji ihtiyacının gün içerisindeki değişimi, [8].	26
Şekil 1.19 Türkiye rüzgâr potansiyeli haritası, [9].	27
Şekil 1.20 Türbin kanatçığındaki rüzgâr akım profili ve kaldırma kuvveti, [5].....	31
Şekil 1.21 Rüzgâr türbinleri büyüklüklerinin karşılaştırılması.	32
Şekil 1.22 Türbine giriş ve çıkıştaki akış profili [2].....	33
Şekil 1.23 Rüzgâr enerjisi türbinler ve verimlilik, [2].....	34
Şekil 1.24 Rüzgâr türbini çalışma modlarının kontrolü, (Şahin, 2004).....	37
Şekil 1.25 Bir rüzgâr türbininin arkasında oluşan iz, [4].....	38
Şekil 1.26 Rotor çaplarına göre ideal rüzgâr tarlası yerleşimi ,[2].....	39
Şekil 1.27 Aynı rüzgâr tarlasında farklı yerlerdeki rüzgâr türbinlerin enerji üretimleri, (Li vd., 2001).	39
Şekil 1.28 Çanakkale için aylık ortalama rüzgâr hızları.....	40
Şekil 1.29 Ölçek parametresi $c = 10$ ve şekil parametresi $k = 1, 2$ ve 3 için örnek Weibull olasılık dağılımı.	42
Şekil 2.1 Temel yapay sinir ağı hücresi.....	46
Şekil 2.2 Eşik aktivasyon fonksiyonu.	47
Şekil 2.3 Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.	47
Şekil 2.4 Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.	48
Şekil 2.5 İleri beslemeli yapı, (Yurtoğlu, 2005).	49
Şekil 2.6 Geri beslemeli yapı, (Yurtoğlu, 2005).	49
Şekil 2.7 İleri ve geri beslemeli çok katmanlı sinir ağı, (Yurtoğlu, 2005).	52
Şekil 2.8 Yapay sinir ağları ve Auto Regressive Model ile aylık ortalama rüzgâr hızı tahmini, (Mohandes vd., 1998).	57
Şekil 2.9 Yapay sinir ağları ile rüzgâr türbini güç tahmini, (Li vd., 2001).	58
Şekil 2.10 Yapay sinir ağları ile saatlik rüzgâr hızı tahmini, (Sfetsos, 2002).	58
Şekil 2.11 Yapay sinir ağları ile saatlik rüzgâr hızı tahmini, (Liera vd., 2002).	59

Şekil 2.12 Yapay sinir ağları ile rüzgâr hızı tahmini, (Sfetsos, 2000).....	59
Şekil 2.13 Yapay sinir ağları ile rüzgâr hızı tahmini, (Öztopal, 2006).	60
Şekil 2.14 Yapay sinir ağları ile haftalık rüzgâr hızı tahmini, (More ve Deo, 2003).....	61
Şekil 2.15 Yapay sinir ağları ile rüzgâr hızı tahmini, (Arcaklıoğlu vd., 2005).....	61
Şekil 2.16 Yumurtalık istasyonu için aylık ortalama rüzgâr hızları için YSA tahmini ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması, (Şahin vd., 2006).....	62
Şekil 2.17 Günlük ortalama rüzgâr hızı tahminlerinde çeşitli nesiller bazında iyileştirme, (Özpinar, 2007).....	63
Şekil 3.1 Yapay sinir ağı transfer fonksiyonları.....	68
Şekil 3.2 Yapay sinir ağı modeli örneği.....	68
Şekil 3.3 Neuro Solutions YSA çalıştırma ara yüzü.....	69
Şekil 3.4 Neuro Solutions YSA öğrenme süreci ara yüzleri.....	69
Şekil 3.5 Neuro Solutions YSA test ara yüzü.....	70
Şekil 3.6 NS'deki çalışmada kullanılan geri beslemeli yapay sinir ağı modeli.....	73
Şekil 4.1 Çalışılan istasyonların Marmara Bölgesi haritası üzerinde gösterimi.....	76
Şekil 4.2 İzmit, Tekirdağ ve Bandırma istasyonlarının uzun yıllar aylık ortalama rüzgâr hızlarının karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.3 İzmit, Tekirdağ ve Bandırma istasyonlarının uzun yıllar rüzgâr yönü dağılım oranlarının karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.4 Kullanıcı sayılarının artmasıyla elektrik tüketimi dalgalanışındaki azalmanın gösterimi [8].....	89
Şekil 5.1 Florya istasyonu için Nesil 1a model çalıştırma sonuçları.....	103
Şekil 5.2 Bozcaada istasyonu için Nesil 1b model çalıştırma sonuçları.....	105
Şekil 5.3 Bozcaada istasyonu için Nesil 2 model çalıştırma sonuçları.....	107
Şekil 6.1 Tekirdağ için Haziran (zayıf) ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.....	112
Şekil 6.2 Tekirdağ için Ağustos (referans) ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.....	112
Şekil 6.3 Tekirdağ için Aralık (pik) ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi. ..	113
Şekil 6.4 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.....	114
Şekil 6.5 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).....	114
Şekil 6.6 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).....	115
Şekil 6.7 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).....	115
Şekil 6.8 Tekirdağ için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).....	116
Şekil 6.9 Tekirdağ için Haziran ayındaki rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi.....	117
Şekil 6.10 Tekirdağ için Ağustos ayındaki rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi.....	117
Şekil 6.11 Tekirdağ için Aralık ayındaki rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi.....	117
Şekil 6.12 Tekirdağ için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.....	119
Şekil 6.13 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.....	121
Şekil 6.14 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.....	121
Şekil 6.15 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.....	121
Şekil 6.16 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.....	122
Şekil 6.17 Tekirdağ'da %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.....	123
Şekil 6.18 Tekirdağ'da %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.....	123
Şekil 6.19 Tekirdağ'da %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.....	123
Şekil 6.20 Tekirdağ'da %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.....	124

Şekil 6.21 Tekirdağ'da %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.	124
Şekil 6.22 Tekirdağ'da %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.	124
Şekil 6.23 Tekirdağ için pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları.	127
Şekil 6.24 Pik, zayıf ve referans aylar için eş zamanlı toplam rüzgâr gücü dağılım oranları.	127
Şekil 6.25 Tekirdağ için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.....	128
Şekil 6.26 Tüm istasyonlar için saatlik eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.	128
Şekil 6.27 Tekirdağ için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli – 2005 Ağustos.	128
Şekil 6.28 Tüm istasyonlar için saatlik eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli – 2005 Ağustos.	129
Şekil 6.29 Tekirdağ için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli – 1997 Aralık.	129
Şekil 6.30 Tüm istasyonlar için saatlik eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli – 1997 Aralık.	129
Şekil 6.31 Florya istasyonu için Nesil 1a rüzgâr hızı tahmin sonuçları.	132
Şekil 6.32 Florya istasyonu için Nesil 1a rüzgâr yönü tahmin sonuçları.	133
Şekil 6.33 Bozcaada istasyonu için Nesil1b ve Nesil 2 rüzgâr hızı tahmin sonuçlarının karşılaştırması.	135
Şekil 6.34 Bozcaada istasyonu için Nesil1b ve Nesil 2 rüzgâr yönü tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.	135
Şekil Ek 1.1 Florya için Haziran ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	138
Şekil Ek 1.2 Florya için Ağustos ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	138
Şekil Ek 1.3 Florya için Aralık ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	138
Şekil Ek 1.4 Çınarcık için Haziran ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	139
Şekil Ek 1.5 Çınarcık için Ağustos ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	139
Şekil Ek 1.6 Çınarcık için Aralık ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	139
Şekil Ek 1.7 Gökçeada için Haziran ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	140
Şekil Ek 1.8 Gökçeada için Ağustos ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	140
Şekil Ek 1.9 Gökçeada için Aralık ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	140
Şekil Ek 1.10 Yalova için Haziran ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	141
Şekil Ek 1.11 Yalova için Ağustos ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	141
Şekil Ek 1.12 Yalova için Aralık ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	141
Şekil Ek 1.13 Bandırma için Haziran ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	142
Şekil Ek 1.14 Bandırma için Ağustos ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	142
Şekil Ek 1.15 Bandırma için Aralık ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	142
Şekil Ek 1.16 Bozcaada için Haziran ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	143
Şekil Ek 1.17 Bozcaada için Ağustos ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	143
Şekil Ek 1.18 Bozcaada için Aralık ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	143
Şekil Ek 1.19 Çanakkale için Haziran ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	144
Şekil Ek 1.20 Çanakkale için Ağustos ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	144
Şekil Ek 1.21 Çanakkale için Aralık ayındaki ortama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.	144
Şekil Ek 2.1 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.	145
Şekil Ek 2.2 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).	145
Şekil Ek 2.3 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).	145
Şekil Ek 2.4 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).	146

Şekil Ek 2.5 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.	146
Şekil Ek 2.6 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).	146
Şekil Ek 2.7 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).	147
Şekil Ek 2.8 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).	147
Şekil Ek 2.9 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.	147
Şekil Ek 2.10 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).	148
Şekil Ek 2.11 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).	148
Şekil Ek 2.12 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).	148
Şekil Ek 2.13 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.	149
Şekil Ek 2.14 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).	149
Şekil Ek 2.15 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).	149
Şekil Ek 2.16 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).	150
Şekil Ek 2.17 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.	150
Şekil Ek 2.18 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).	150
Şekil Ek 2.19 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).	151
Şekil Ek 2.20 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).	151
Şekil Ek 2.21 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.	151
Şekil Ek 2.22 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).	152
Şekil Ek 2.23 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).	152
Şekil Ek 2.24 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).	152
Şekil Ek 2.25 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.	153
Şekil Ek 2.26 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).	153
Şekil Ek 2.27 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).	153
Şekil Ek 2.28 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).	154
Şekil Ek 3.1 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).	155
Şekil Ek 3.2 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).	155
Şekil Ek 3.3 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).	155

Şekil Ek 3.4 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).	156
Şekil Ek 3.5 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).	156
Şekil Ek 3.6 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).	156
Şekil Ek 3.7 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).	157
Şekil Ek 3.8 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).	157
Şekil Ek 3.9 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).	157
Şekil Ek 3.10 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).	158
Şekil Ek 3.11 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).	158
Şekil Ek 3.12 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).	158
Şekil Ek 3.13 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).	159
Şekil Ek 3.14 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).	159
Şekil Ek 3.15 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).	159
Şekil Ek 3.16 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).	160
Şekil Ek 3.17 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).	160
Şekil Ek 3.18 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).	160
Şekil Ek 3.19 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).	161
Şekil Ek 3.20 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).	161
Şekil Ek 3.21 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).	161
Şekil Ek 3.22 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).	162
Şekil Ek 3.23 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).	162
Şekil Ek 3.24 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).	162
Şekil Ek 3.25 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).	163
Şekil Ek 3.26 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).	163
Şekil Ek 3.27 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).	163
Şekil Ek 3.28 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).	164
Şekil Ek 4.1 Florya için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.	165
Şekil Ek 4.2 Çınarcık için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.	165
Şekil Ek 4.3 Gökçeada için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.	165
Şekil Ek 4.4 Yalova için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.	166
Şekil Ek 4.5 Bandırma için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.	166
Şekil Ek 4.6 Bozcaada için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.	166
Şekil Ek 4.7 Çanakkale için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.	167
Şekil Ek 5.1 Florya için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.	168
Şekil Ek 5.2 Florya için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.	168
Şekil Ek 5.3 Florya için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.	168
Şekil Ek 5.4 Florya için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.	169
Şekil Ek 5.5 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.	169
Şekil Ek 5.6 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.	169
Şekil Ek 5.7 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.	170
Şekil Ek 5.8 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.	170
Şekil Ek 5.9 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.	170
Şekil Ek 5.10 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.	171
Şekil Ek 5.11 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.	171
Şekil Ek 5.12 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.	171

Şekil Ek 5.13 Yalova için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.	172
Şekil Ek 5.14 Yalova için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.	172
Şekil Ek 5.15 Yalova için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.	172
Şekil Ek 5.16 Yalova için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.	173
Şekil Ek 5.17 Bandırma için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.	173
Şekil Ek 5.18 Bandırma için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.	173
Şekil Ek 5.19 Bandırma için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.	174
Şekil Ek 5.20 Bandırma için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.	174
Şekil Ek 5.21 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.	174
Şekil Ek 5.22 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin Haziran için dağılım oranları.	175
Şekil Ek 5.23 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin Ağustos için dağılım oranları.	175
Şekil Ek 5.24 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin Aralık için dağılım oranları.	175
Şekil Ek 5.25 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.	176
Şekil Ek 5.26 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin Haziran için dağılım oranları.	176
Şekil Ek 5.27 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin Ağustos için dağılım oranları.	176
Şekil Ek 5.28 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin Aralık için dağılım oranları.	177
Şekil Ek 6.1 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).	178
Şekil Ek 6.2 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).	178
Şekil Ek 6.3 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).	178
Şekil Ek 6.4 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).	179
Şekil Ek 6.5 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).	179
Şekil Ek 6.6 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).	179
Şekil Ek 6.7 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).	180
Şekil Ek 6.8 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).	180
Şekil Ek 6.9 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).	180
Şekil Ek 6.10 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).	181
Şekil Ek 6.11 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).	181
Şekil Ek 6.12 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).	181
Şekil Ek 6.13 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).	182
Şekil Ek 6.14 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).	182
Şekil Ek 6.15 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).	182
Şekil Ek 6.16 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).	183
Şekil Ek 6.17 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).	183
Şekil Ek 6.18 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).	183
Şekil Ek 6.19 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).	184
Şekil Ek 6.20 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).	184
Şekil Ek 6.21 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).	184
Şekil Ek 6.22 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).	185
Şekil Ek 6.23 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).	185
Şekil Ek 6.24 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).	185
Şekil Ek 6.25 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).	186
Şekil Ek 6.26 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).	186
Şekil Ek 6.27 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).	186
Şekil Ek 6.28 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).	187
Şekil Ek 6.29 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).	187
Şekil Ek 6.30 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).	187
Şekil Ek 6.31 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).	188
Şekil Ek 6.32 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).	188
Şekil Ek 6.33 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).	188
Şekil Ek 6.34 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).	189
Şekil Ek 6.35 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).	189

Şekil Ek 6.36 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).....	189
Şekil Ek 6.37 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).....	190
Şekil Ek 6.38 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).....	190
Şekil Ek 6.39 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).....	190
Şekil Ek 6.40 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).....	191
Şekil Ek 6.41 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).....	191
Şekil Ek 6.42 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).....	191
Şekil Ek 7.1 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Florya).	192
Şekil Ek 7.2 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Çınarcık).	192
Şekil Ek 7.3 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Gökçeada).	192
Şekil Ek 7.4 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Yalova).	193
Şekil Ek 7.5 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Bandırma).	193
Şekil Ek 7.6 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Bozcaada).	193
Şekil Ek 7.7 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Çanakkale).	194
Şekil Ek 8.1 Florya için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.	195
Şekil Ek 8.2 Florya için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.....	195
Şekil Ek 8.3 Florya için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.....	195
Şekil Ek 8.4 Çınarcık için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.....	196
Şekil Ek 8.5 Çınarcık için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.	196
Şekil Ek 8.6 Çınarcık için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.	196
Şekil Ek 8.7 Gökçeada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.....	197
Şekil Ek 8.8 Gökçeada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.	197
Şekil Ek 8.9 Gökçeada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.	197
Şekil Ek 8.10 Yalova için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.	198
Şekil Ek 8.11 Yalova için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.....	198
Şekil Ek 8.12 Yalova için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.	198
Şekil Ek 8.13 Bandırma için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.....	199
Şekil Ek 8.14 Bandırma için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.	199
Şekil Ek 8.15 Bandırma için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.	199
Şekil Ek 8.16 Bozcaada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.	200
Şekil Ek 8.17 Bozcaada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.....	200
Şekil Ek 8.18 Bozcaada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.	200
Şekil Ek 8.19 Çanakkale için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.....	201
Şekil Ek 8.20 Çanakkale için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.	201
Şekil Ek 8.21 Çanakkale için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.	201

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Yenilenebilir enerji teknolojilerinin durumu (2004), [1].	5
Çizelge 1.2 Türkiye’de birincil enerji arz ve talebinin karşılanması, [3].	7
Çizelge 1.3 Türkiye’de enerji ithalatının ödemeler dengesindeki payı, [3].	8
Çizelge 1.4 Çeşitli yüzey pürüzlülükleri için n değerleri, [5].	13
Çizelge 1.5 Bazı Avrupa ülkeleri için deniz kıyısı (offshore) rüzgâr enerjisi potansiyeli, (Şahin, 2004).	22
Çizelge 1.6 Dünya genelinde ilk 30 sıradaki ülkelerin kurulu rüzgâr enerjisi güçleri ve 2007 yılı sonu için güç artışları, [1].	23
Çizelge 1.7 Türkiye’nin elektrik enerjisinin kuruluş ve yakıt cinslerine göre dağılımı (2007 yılı ortası), [6].	24
Çizelge 1.8 2007 yılı Türkiye puantı (pik elektrik enerjisi tüketimi değerleri), [7].	25
Çizelge 1.9 Türkiye’deki rüzgâr santrallerinin durumu, [10].	29
Çizelge 3.1 Marmara Bölgesi’nin yenilenebilir enerji potansiyeli.	65
Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının DMİ Kodları.	65
Çizelge 4.1 İstasyonların konumları ve birbirlerinden olan uzaklıkları.	77
Çizelge 4.2 İstasyonlara ait pik, zayıf ve referans aylar ile ortalama rüzgâr hızları (düzeltilmemiş hızlar).	80
Çizelge 4.3 İstasyonlara ait aylık ortalama rüzgâr hızları ve bu hızların genel ortalamadan sapmaları (düzeltilmemiş hızlar).	81
Çizelge 4.4 Çeşitli rüzgâr hızlarına karşılık gelen rüzgâr türbini kapasiteleri.	83
Çizelge 4.5 Hesaplarda kullanılan yön numaralandırmaları ve anlamları.	86
Çizelge 4.6 İstasyonlara ait baskın yönler ve baskınlık oranları.	87
Çizelge 4.7 Çeşitli rüzgâr hızlarına karşılık gelen rüzgâr türbini kapasite aralıkları.	88
Çizelge 4.8 İstasyonlara ait aylık düzeltilmemiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.	91
Çizelge 4.9 İstasyonlara ait 100m için düzeltilmiş aylık ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.	91
Çizelge 4.10 Haziran ayı için yıllara göre istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.	92
Çizelge 4.11 Ağustos ayı için yıllara göre istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.	93
Çizelge 4.12 Aralık ayı için yıllara göre istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.	93
Çizelge 4.13 Çalışmada kullanılan aylar için düzeltilmiş hava yoğunlukları.	94
Çizelge 4.14 İstasyonlar için 1994 yılı Haziran ayı eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli.	95
Çizelge 4.15 İstasyonlar için 2005 yılı Ağustos ayı eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli.	95
Çizelge 4.16 İstasyonlar için 1997 yılı Aralık ayı eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli.	95
Çizelge 4.17 Tüm istasyonlar için 1994 yılı Haziran ayı toplam rüzgâr enerjisi potansiyelleri.	96
Çizelge 4.18 Tüm istasyonlar için 2005 yılı Ağustos ayı toplam rüzgâr enerjisi potansiyelleri.	97
Çizelge 4.19 Tüm istasyonlar için 1997 yılı Aralık ayı toplam rüzgâr enerjisi potansiyelleri.	97
Çizelge 5.1 1997 yılı Aralık ayı için istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları.	100
Çizelge 5.2 Nesil 1a için YSA modeli girdileri ve hedef veriler.	102

Çizelge 5.3 Nesil 1b için YSA modeli girdileri ve hedef veriler.	104
Çizelge 5.4 Nesil 2 için YSA modeli girdileri ve hedef veriler.	106
Çizelge 6.1 İstasyonların konumları ve birbirlerinden olan uzaklıkları.	110
Çizelge 6.2 İstasyonlar için gerçekleştirilen çalışmalar ve üretilen grafiklerin adetleri.	111
Çizelge 6.3 Tüm istasyonlar için günlük maksimum ve minimum rüzgâr enerjisi potansiyelleri.....	118
Çizelge 6.4 Tüm istasyonlar için aylık ortalama maksimum ve minimum rüzgâr enerjisi potansiyelleri.....	120
Çizelge 6.5 Nesil 1a,b ve Nesil 2 için YSA modeli girdi ve çıktıların karşılaştırılması.	131
Çizelge 6.6 Nesil 1a için tahmin hataları.....	133
Çizelge 6.7 Nesil 1b ve Nesil 2 için tahmin hatalarının karşılaştırılması.....	136

ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler ve nüfus artışı sonucu oluşan enerji gereksinimi dünya genelinde hızla artmaktadır. Enerji ihtiyacının hızlı artışı sonucu oluşan enerji açığı problemi özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha çok görülmektedir. Enerji, her türlü sanayi ve ulaşım sektörünün en önemli girdisidir. Teknolojinin gelişimi ve yaygınlaşması özellikle en kaliteli enerji türü olarak görülen elektrik enerjisine olan ilgiyi arttırmıştır. Ülkemizdeki ve Dünya'daki elektrik enerjisi üretiminin büyük bölümü birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının büyük çevre sorunlarına yol açmaya başladığının farkına varılması, fosil yakıtların üretiminin talebi karşılayamaması ve fiyatlarındaki büyük artışlar, birçoğunun sonlanacak veya ekonomik olarak kullanılabilirliğini kaybedecek olması tükenmeyen enerji kaynakları olarak tanımladığımız yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaları arttırmıştır.

Elektrik enerjisi üretiminin fosil yakıtlarla gerçekleştirilmesi çeşitli çevrimler aracılığıyla mümkün olmaktadır. Çevrimler sonucunda da enerji üretim sisteminin verimi azalmaktadır. Bunun aksine, yenilenebilir enerji sistemleri elektrik enerjisini doğrudan üreterek herhangi bir çevrime ihtiyaç duymazlar. Ancak, yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji üretimlerinde süreklilik problemi ortaya çıkmaktadır. Ülke genelinde değişen elektrik enerjisi ihtiyacı, elektrik santrali devreye sokularak veya devreden çıkarılarak dengelenebilmektedir. Türkiye'de şebekenin anlık yüklerini, artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için devreye doğalgaz santralleri sokulmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji santrallerinin şebekeye enerji veren diğer santrallerle bir uyum içinde çalışması gerekmektedir. Bu uyumun sağlanabilmesi değişken karaktere sahip olan yenilenebilir enerji santrallerinin güvenilir üretim düzeylerinin gerek makro gerekse mikro temelde modellenenilmelerine ve model sonuçlarına göre yapılan planlama çalışmalarına bağlıdır.

Bazı durumlarda hibrid santrallerin kullanılmasıyla doğaya bağımlılığın azaltılabileceği düşünülse de, rüzgâr ile elektrik üreten enerji santrallerinde planlama aşamasından üretime geçiş aşamasına kadar yaşanan başlıca sorun, bölgedeki meteorolojik verilerin güvenilirlik düzeyi, zamana bağlı değişimi ve bu değişimin modellenmesinde yaşanan zorluklardır. Bu güne kadar geliştirilen karmaşık meteorolojik modeller ve zaman serileri ile yapılan model çalışmalarında istenen doğruluk ve esneklik elde edilememiştir.

Bir yenilenebilir santralin potansiyeli doğru olarak belirlenemez ve zamana bağlı olarak çalışma ve üretim düzeyleri gerçekçi olarak tahmin edilemez ise, seçilecek kapasite ve donanım ve bunlara bağlı olarak yatırım maliyetleri de aynı ölçüde problemli olmaktadır. Güvenilirlik seviyesinin tam olarak belirlenememesi nedeniyle, bölgenin enerji planlaması yapılırken yenilenebilir enerji santrallerinin ürettikleri enerji miktarının nominal değerleri yerine, küçük bir bölümü hesaba katılmaktadır.

Elektrik şebekesi yöneticileri, rüzgâr türbinlerine elektrik enerjisi üretimi açısından baktıklarında, rüzgâr santralleri tarafından şebekeye verilecek olan elektrik enerjisindeki kesikli bağlantıların dalgalanmalara neden olduğunu ve ulusal şebekede, teknik sorunlar yarattığını ve bunların verimlilik ve etkinlik alanlarında önemli düşüslere sebep olduğunu düşünmektedirler. Türkiye'de de rüzgâr enerjisi santrallerinden bu güne kadar etkin bir biçimde yararlanılamamasının birinci nedeni budur. Bu sorundan hareketle, bir bölgedeki tüm rüzgâr santralleri düşünülerek yapılacak rüzgâr enerjisi üretimi planlamasıyla, santraller arasındaki diversiteden yararlanılacak böylece şebekeye daha kararlı ve nitelikli elektrik enerjisi sağlanabilecektir.

Rüzgâr hızı ve yönü çok değişken bir yapıya sahiptir. Bu değişiklikler çok kısa (saniyeler) ve

uzun dönemde (yıllar) farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle rüzgâr trendiyle ilgili doğru yorumlanabilmesi için rüzgârla ilgili uzun yılları kapsayan ölçüm değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin sağlıklı olarak elde edilmesindeki güçlük dünya genelinde sıkça karşılaşılan bir durumdur. Rüzgârla ilgili değişkenlere ait ölçüm döneminin uzunluğu potansiyel belirleme ve tahmin çalışmasının güvenilirliğini arttırmakla beraber, uzun vadede ölçüm yapmak hem pahalıdır hem de uzun zaman alır. Bu nedenle, rüzgâr verisi eksik veya hiç olmayan yerlerin verisini tamamlamak üzere literatürde matematiksel modellerle ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Hangi metot kullanılırsa kullanılsın, veri eksikliği tüm metotların önünde başarılı bir tahmin için engel teşkil etmektedir. Ayrıca, bir istasyon için yapılan ölçüm değerlerinin civardaki benzer rüzgâr iklimindeki yerlerin verileriyle karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılması verilerin güvenilirliğini artırır.

Yukarıda anlatılan sorunlara, Marmara ve Kuzey Ege Kıyısındaki bazı sahil bölgeleri temsil eden meteoroloji istasyonlarının rüzgâr ölçüm verileri kaynak olarak kullanılarak, enerji üretimine yönelik gerçekleştirilen çeşitli istatistiksel çalışmalarla ve bu çalışmalara yardımcı olan Nöral Ağlar (Yapay Sinir Ağları) ile yapılan tahminlerle yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonlarının temsil ettiği yörelerin rüzgâr trendleri çeşitli istatistiksel çalışmalarla belirlenmiştir. İstatistiksel çalışmalarda incelenen bölgenin pik, zayıf ve referans ayları için eş zamanlı rüzgâr enerjisi üretimi incelenerek rüzgâr eğilimlerindeki farklılığın bölgede rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik enerjisindeki dalgalanmalara etkisi gösterilmiştir. İstatistiksel çalışmalardan yola çıkarak, incelenen bölgedeki rüzgâr ve diğer meteorolojik ölçüm verileri yardımı ile rüzgâr eğiliminin izlenmesi için detaylı istatistiksel değerlendirme kalıpları ve YSA tahmin modelleri üretilmiştir. Bu sayede istatistiksel modele daha rafine ve eksiksiz girdiler tanımlanabilirken, bu modeller yardımıyla yenilenebilir enerji santrallerinde enerji üretiminin makro ölçekte kontrolü ve planlaması kısa ve uzun vadede yeterli hassasiyetle yapılabilecektir. Yüksek bir rüzgâr enerjisi kapasitesine sahip olan Türkiye’de, enerji santrali kurulumu ve planlaması özellikle rüzgâr enerjisini de kapsayacak şekilde yapılmalıdır. Gerekli planlama ve denetim sonucunda özellikle büyük bir bölge içindeki yayılmış rüzgâr enerjisi santralleri sisteminde pik üretime nazaran genellikle daha az da olsa sürekli bir enerji üretimi olacak ve böylece rüzgâr santralleri de enerji planlaması yapılırken doğru bir şekilde değerlendirilebilecektir. Bu sayede rüzgâr enerjisi santralleriyle yurt genelindeki enerji talebinin önemli bir kısmı yıl boyunca sağlanabilecektir.

Tez çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Dürriye Bilge’ye, kendisinden çok şey öğrendiğim ve öğrenmeye devam ettiğim, iyi bir mühendis ve akademisyen olma hedefimde bana çok iyi bir örnek olan Prof. Dr. Eralp Özil’e, tez çalışmam süresince, 6 aylık dönemler halinde yapmış olduğum çalışmaları değerlendiren ve beni yönlendiren değerli Tez İzleme Komitesi üyesi Prof. Dr. Hasan Heperkan’a, çalışmalarımda büyük katkısı bulunan Yrd. Doç. Dr. Alper Özpınar’a ve değerli hocam Dr. Özden Ağra’ya ayrı ayrı teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında büyük bir sabır ve anlayışla bana sürekli destek veren, motive eden, sevgili annem Ayla Odyakmaz’a, doğduğum günden itibaren bana en iyi şartları sağlamak için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan babam Erol Odyakmaz’a ve değerli fikirleri ile bana yol gösteren ağabeyim Mert Odyakmaz’a teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Elektrik üreten yenilenebilir enerji santrallerinde planlama aşamasından üretime geçiş aşamasına kadar yaşanan başlıca sorunlar, santralin bulunduğu bölgedeki meteorolojik verilerin güvenilirliği, zamana bağlı değişimi ve verilerin gerçekçi bir modelde kullanılarak üretim düzeyinin belirlenmesidir. Bir yenilenebilir enerji santralinin üretim potansiyeli doğru saptanamazsa, güvenilir kapasite yanlış tespit edilebilmekte; bunun sonucunda yatırım ve üretim maliyetleri hatalı hesaplanabilmektedir. Elektrik şebekesi yöneticileri, rüzgâr santralleri tarafından şebekeye verilecek olan elektrik enerjisindeki kesikli bağlantıların dalgalanmalara neden olduğunu, ulusal şebekede teknik sorunlar yarattığını ve bunların verimlilik ve etkinlik alanlarında önemli düşüslere sebep olduğunu düşünmektedirler. Türkiye’de rüzgâr santrallerinden bu güne kadar etkin bir biçimde yararlanılamamasının birinci nedeni budur. Bölgesel boyutta yapılacak rüzgâr enerjisi planlamasıyla, santraller arasındaki diversiteden yararlanılacak böylece şebekeye daha kararlı ve nitelikli elektrik enerjisi sağlanabilecektir.

Bu sorunlara, Marmara ve Kuzey Ege Kıyısındaki bazı sahil bölgelerini temsil eden meteoroloji istasyonlarının rüzgâr ölçüm verileri kullanılarak gerçekleştirilen çeşitli istatistiksel çalışmalarla ve Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılarak yapılan rüzgâr trendi ile ilgili yapılan tahminlerle yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Rüzgâr tarlaları planlamasında kullanılmak üzere, incelenen bölgedeki rüzgâr ve diğer meteorolojik ölçüm verileri yardımı ile rüzgâr eğiliminin izlenmesi için detaylı istatistiksel kalıplar oluşturulmuştur.

İstatistiksel çalışmalarda incelenen bölgedeki istasyonların temsil ettiği alanların rüzgâr hızı bakımından pik, zayıf ve referans ayları için eş zamanlı rüzgâr enerjisi üretimi irdelenerek, rüzgâr trendlerindeki farklılığın bölgede rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik enerjisindeki dalgalanmaları azaltıcı etkisi gösterilmiştir. Oluşturulan iki yeni nesil YSA tahmin modeli ile rüzgâr hızı ve yönü tahminleri hassas olarak yapılabilecek ve eksik veya güvenilirliği az olan rüzgâr veriler de tamamlanabilecektir. Bu sayede, rüzgâr enerjisi santralleri için enerji üretiminin planlanması ve denetimi, kısa ve uzun vadede yeterince hassas olarak yapılabilecektir.

YSA çalışmaları süresince oluşturulan modellere arasında daha başarılı olduğu bulunan 2. nesil model, Marmara ve Kuzey Ege Kıyısında bulunan bazı bölgelerdeki istasyonlardan elde edilen ölçüm verileriyle sınanmış ve yeterli uyumun yakalandığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji santralleri, rüzgâr enerjisi, yapay sinir ağları, enerji planlaması, Marmara ve Kuzey Ege Kıyısı.

ENERGY PRODUCTION AND AUDIT AT RENEWABLE ENERGY POWER PLANTS

ABSTRACT

At all electricity producing renewable power plants, the main problems that occurs from the planning stage to the production stage, is the reliability of the meteorological data for the location of the power plant, the change according to the time (change trend) and to use the date at a real model to determine the production level. If the energy production capacity of a renewable power plant can not be determined correctly, reliable capacity could be determined wrongly, and as a result investment and production expenses could be calculated wrongly. Electricity network think that, the discontinuous connections at electricity energy cause waves, and create technical problems at regional network, which leads to fall at the efficiency and affectivity. This is the major reason for not benefiting efficiently from the wind energy plants in Turkey until today. By making a plan at a regional dimension, will be benefited from the diversity of the plants and therefore could give more stable and quality electrical energy to the network.

New approaches were brought to these problems by wind trend forecasts made with statistical studies using the wind measurement data of the meteorological stations representing coastal town at Marmara and North Aegean coast, and by Artificial Neural Networks (ANN) method. In order to be used at wind fields planning, by the help of wind and other meteorological measurement data at the examined region, detailed statistical forms to trace the affinity of the wind were formed.

By investigating the wind power production for the peak, low and reference months in terms of wind speed, of the areas that the stations at the region examined by the statistical studies represent, the decreasing factor of the difference at the wind trend on the fluctuations at the electricity energy produced from the wind power was demonstrated. By the help of formed two new generation ANN models, wind speed and directions will be predicted accurately and it would be possible to complete the missing and less dependable wind data. Thanks to this, energy production plan and control will be able to be done sensitively enough in the mid and long term.

The 2nd generation model, that was developed during the ANN study and was found more successful than the first generation models, was tested by the measurement data obtained from the stations at Marmara and North Aegean Cost, and the adequate consistency was observed.

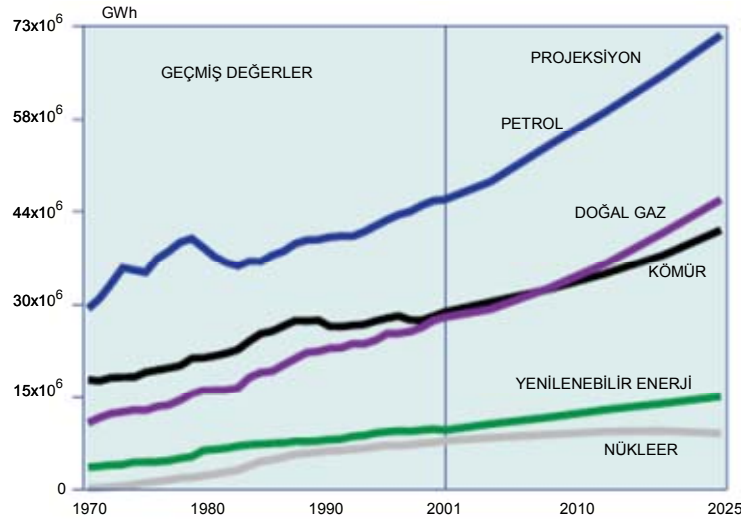
Keywords: Renewable energy power plants, wind energy, artificial neural networks, energy planning, Marmara and North Aegean cost.

1. GİRİŞ

Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme yeteneği anlamındadır. Doğrudan ölçülemeyen bir değer olup fiziksel bir sistemin durumunu değiştirmek için yapılması gereken iş yoluyla veya enerji türüne göre değişik hesaplamalar yoluyla bulunabilir. Sözcük, Eski Yunan dilindeki $\epsilon\nu$ = içinde ve $\epsilon\rho\gamma\omega\nu$ = iş kelimelerinden türemiştir, bu açıdan anlam olarak 'işe dönüştürülebilen' bir şey olduğu söylenebilir. Fizikte kullanılmaya başlamadan önce genel anlamda güç kelimesi yerine kullanılmaktaydı. Enerjinin başka bir tanımı ise, iş ailesinden olup bir fiziksel sistemin ne kadar iş yapabileceğini ya da ne kadar ısı değiş tokuşu yapabileceğini belirleyen bir durum fonksiyonudur. Enerji, çağımız süreçleri ve yaşam tarzının en önemli girdisi olarak insan yaşamında çok önemli bir yer tutmaktadır.

Makineler iş yapabilmek için enerji kaynaklarına gereksinim duyarlar. Enerji kaynakları, herhangi bir yolla enerji üretilmesini sağlayan kaynaklardır. Dünya üzerindeki enerji kaynakları, birincil kaynaklar ve ikincil (alternatif) kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılabilir.

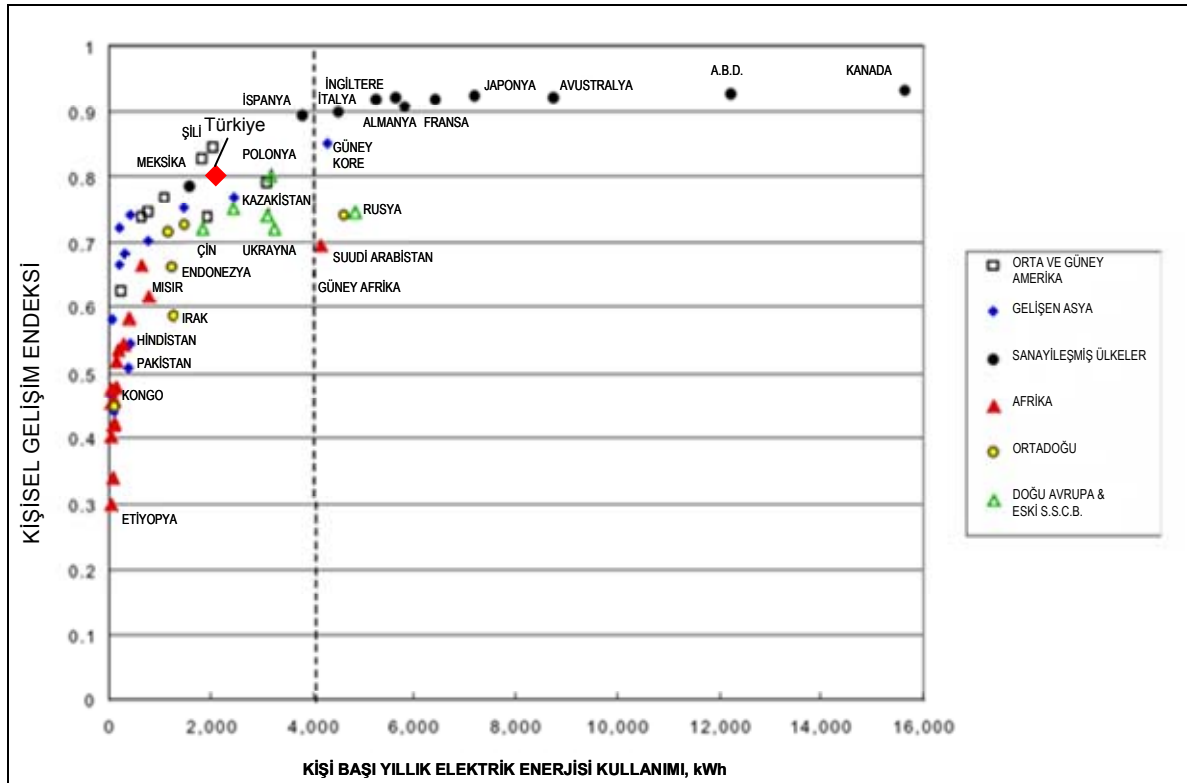
Dünyada enerji ihtiyacı uzun yıllar fosil yakıtlardan karşılanmıştır ve karşılanmaya devam etmektedir (Şekil 1.1). Bunlar, meydana gelişleri itibarıyla yenilenmeleri çok uzun bir süre aldığından, yenilenmeyen enerji kaynakları olarak da adlandırılırlar.



Şekil 1.1 Dünya genelindeki enerji kaynaklarına göre enerji tüketimi, [1].

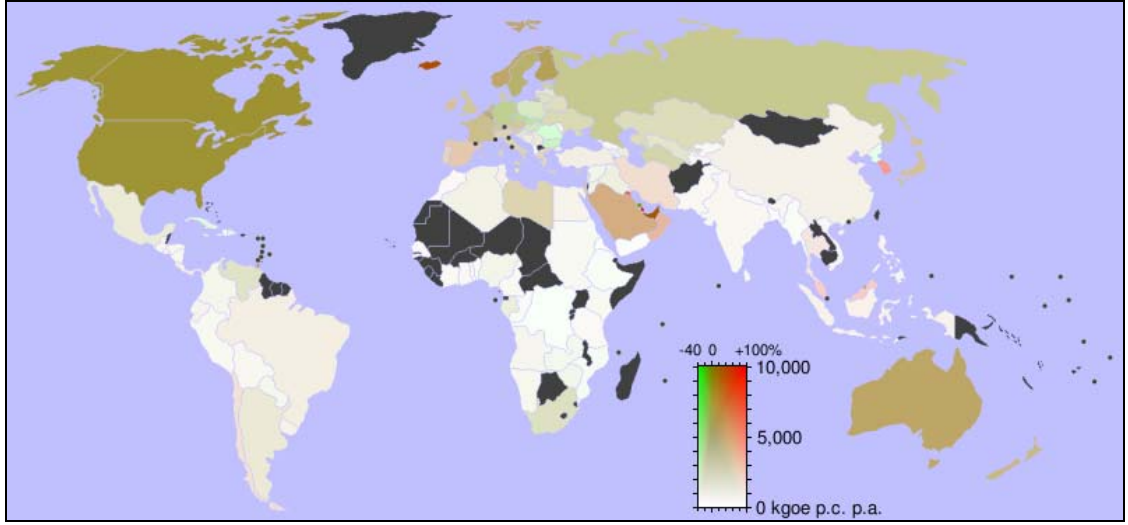
Bunun yanında, enerji üretimi ve tüketimi toplumların gelişmişlik düzeyinin ve yaşam kalitesinin en önemli göstergesi olarak kabul edilebilmekte ve enerji arzı bir ülkenin milli güvenliği ve geleceği açısından önemli faktör olarak görülebilmektedir. Şekil 1.2'den de görüleceği üzere elektrik enerjisi tüketimi açısından dünya üzerinde büyük bir dengesizlik

mevcuttur.

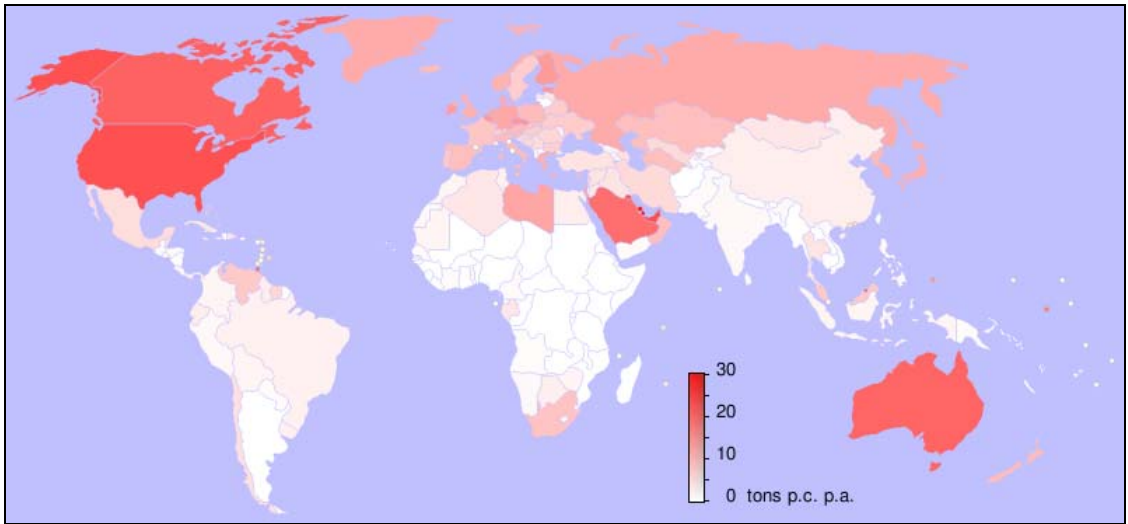


Şekil 1.2 1999–2000 Yıllarındaki Dünya genelindeki kişi başına düşen yıllık elektrik enerjisi tüketimi ile kişisel gelişim endeksi arasındaki ilişki, [1].

Fosil yakıtların çevre ve insan sağlığı açısından yarattığı olumsuzluklar her geçen gün katlanarak artmaktadır. Fosil yakıtlar tüketildiğinde açığa çıkan sera gazlarının olumsuz etkileri artık herkes tarafından bilinmektedir. Şekil 1.3’de kişi başına düşen eşdeğer petrol tüketiminin ülkelere göre dağılımı görülmektedir. Bununla beraber, Şekil 1.4’de fosil yakıt tüketimi miktarının bir göstergesi olarak kabul edilen karbondioksit emisyonuna ülkelerin katkıları açıkça görülmektedir. Her ne kadar Türkiye en çok kirleten ülkeler arasında yer almasa da emisyon düzeyleri oldukça yüksektir.



Şekil 1.3 Kişi başına düşen kilogram eşdeğer petrol tüketimi, [1].



Şekil 1.4 Kişi başına düşen CO₂ emisyonu, [1].

Fosil yakıtların ve nükleer enerjinin olumsuzlukları yenilenebilir enerjiye olan eğilimi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji, sürekli devam eden doğal süreçteki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. En genel olarak, yenilenebilir enerji kaynağı; enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi ile tanımlanır. Örneğin, güneşten elde edilen enerji ile çalışan bir teknoloji bu enerjiyi tüketir, fakat tüketilen enerji toplam güneş enerjisinin yanında çok küçük kalır. En genel yenilenebilir enerji formu, güneşten gelendir. Bazı enerji formları güneş ve rüzgârın enerjisini depolar.

Yenilenebilir enerji kaynakları; çevre dostu olmaları, dünyanın her ülkesinde ve enerji tipine göre her bölgesinde var olabilme özellikleri ve sürdürülebilir olmaları nedeni ile son yıllarda ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasında ön plana çıkmasında etken olmuştur. Yenilenebilir enerjinin tesisler, hayvanlar ve insanlar tarafından kalıcı olarak tüketilmesi mümkün değildir. Fosil yakıtlar, çok uzun bir zaman göz önüne alındığında teorik olarak yenilenebilir iken, istismar edilerek kullanılması sonucu yakın gelecekte tamamen tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Fosil yakıtları esas alan enerji kullanımı; yakıt konusunda dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzlukların yanında, dünya fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, mevcut teknik ve ekonomik sorunlarının çözümlenmesi halinde 21. yüzyılın en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir. Özellikle fosil yakıt kaynakları olmayan ya da kısıtlı olan ve aynı zamanda sanayileşmiş ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi devlet kurumları seviyesinde de artmıştır. Yenilenebilir enerjileri teknolojilerinin durumu Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Yenilenebilir enerji teknolojilerinin durumu (2004), [1].

Teknoloji	1997-2001 Yılları Arası Enerji Üretimindeki Artış (Her bir yıl için %)	2001 Yılı Sonu Operasyon Kapasitesi	Kapasite Faktörü (%)	2001 Yılı Enerji Üretimi	Yatırım Bedeli (2001 yılı kW için \$)	Bugünkü Enerji Fiyatı	Gelecekteki Potansiyel Enerji Fiyatı
Biokütle enerji							
Elektrik	2.5	40 GWe	25-80	170 TWh	500-6000	3-12 ¢/kWh	4-10 ¢/kWh
Isı	2	210 GWth	25-80	730 TWh	170-1000	1-6 ¢/kWh	1-5 ¢/kWh
Etanol	2	18 mlyr litre		450PJ		(8-25 \$/GJ)	(6-10 \$/GJ)
Bio-Dizel	1	1.2 mlyr litre		45 PJ		15-25 \$/GJ)	10-15 \$/GJ)
Rüzgârdan elde edilen elektrik	30	23 GWe	20-40	43 TWh	850-1700	4-8 ¢/kWh	3-10 ¢/kWh
Fotovoltaik elektrik	30	1.1 GWe	6-20	1 TWh	5000-18000	25-160 ¢/kWh	5 veya 6-25 ¢/kWh
Solar Termal elektrik	2	0.4 GWe	20-35	0.9 TWh	2500-6000	12-34 ¢/kWh	4-20 ¢/kWh
Düşük sıcaklıklı solar ısı	10	57 GWth (95 milyon m ²)	8-20	57 TWh	300-1700	2-25 ¢/kWh	2-10 ¢/kWh
Hidro enerji							
Büyük	2	690 GWe	35-60	2600 TWh	1000-3500	2-10 ¢/kWh	2-10 ¢/kWh
Küçük	3	25 GWe	20-90	100 TWh	700-8000	2-12 ¢/kWh	2-12 ¢/kWh
Jeotermal enerji							
Elektrik	3	8 GWe	45-90	53 TWh	800-3000	2-10 ¢/kWh	1 veya 2-8 ¢/kWh
Isı	10	11 GWth	20-70	55 TWh	200-2000	0.5-5 ¢/kWh	0.5-5 ¢/kWh
Okyanus enerji							
Gel-Git	0	0.3 GWe	20-30	0.9 TWh	1700-2500	8-15 ¢/kWh	8-15 ¢/kWh
Dalga	-	Deneme	20-35	0	2000-5000	10-30 ¢/kWh	5-10 ¢/kWh
Gel-Git akıntısı	-	Deneme	25-40	0	2000-5000	10-25 ¢/kWh	4-10 ¢/kWh
OTEC	-	Deneme	70-80	0	8000-20000	15-40 ¢/kWh	7-20 ¢/kWh

Yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı enerji üretiminin önemi, enerjiye olan talebin artmasıyla birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Rüzgâr, güneş ve küçük hidroelektrik enerjisi santralleri yenilenebilir enerji kaynakları içinde uygulanabilirliği ve verimi açısından en önemli olanlardır.

Enerji üretimi planlamadan üretime geçiş aşamasına kadar yaşanan başlıca sorun, genelde veya her hangi bir bölgede, yenilenebilir enerji potansiyelinin büyüklüğü, zamana bağlı değişimi ve bu kaynaktan güvenilir enerji üretimi düzeyinin modellenmesidir. Örneğin rüzgâr, karmaşık meteorolojik modeller ve zaman serileri ile modellenbilmesine rağmen bu yaklaşımlardan istenen doğruluk ve esneklikte veri elde edilememiştir.

Rüzgârın etkili olarak kullanılabilmesi için santralin entegre elektrik iletim ve dağıtım

sistemine bağlanması zorunludur. Buna karşın, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) için yenilenebilir enerji santralleri tarafından şebekeye yapılacak olası parça yüklemeler kabul edilemez “yan etkiler” olarak değerlendirilmektedir. TEİAŞ raporlarına göre yenilenebilir enerjilerin yaygın kullanımı bu yüzden uygulanabilir bulunmamaktadır [7].

Bir bölgenin rüzgâr, hidrolik ve güneş enerjisi ölçümleri doğru olarak yapılabilir. Ancak, doğru olarak yapılan ölçüm o yörede kurulacak olan bir yenilenebilir enerji santralinin üretim kapasitesinin ne olacağını doğrudan hesaplamaya olanak vermez. Özellikle rüzgâr şiddeti, yağış ve bulutlanma gibi parametrelerde gözlemlenen anlık, saatlik, günlük, aylık ve hatta yıllık değişimler ve olası oynamalar o bölgedeki kurulabilecek yenilenebilir bir santralin güvenilir üretim düzeyini doğrudan etkileyecektir. Bugüne kadar, bu amaçla kullanılan karmaşık meteorolojik modeller ve/veya zaman serileri ile yapılan modeller istenen doğruluk ve esnekliği sağlayamamıştır [2]. Rüzgârın oluşumunu tetikleyen faktörlerin çokluğu, belirsizliği ve değişken olmalarının doğal sonucu olarak, basit modellere dayalı rüzgâr tahmin çalışmalarından tatmin edici sonuçlar elde etmek son derece zordur (More ve Deo, 2003). Bir yenilenebilir enerji santralinin üretim düzeyi üretimi etkileyen parametrelere (örneğin meteorolojik verilere) bağlı olarak doğru saptanamazsa, o santralin güvenilir kapasitesi, kullanılacak donanım kapasiteleri ve türleri yanlış seçilebilmekte, yatırım ve üretim maliyetleri hatalı hesaplanabilmektedir. Ulusal temelde, elektrik enerjisi üretimi açısından bakıldığında, şebekeye verilecek olan elektrik enerjisindeki kesikli bağlantılar dalgalanmalara neden olmakta; ulusal şebeke genelinde teknik sorunlar yaratmakta, şebeke verimliliği ve etkinliği alanlarında önemli düşüslere yol açmaktadır ki, bu istenmeyen bir durumdur (Alexiadis vd., 1998; Dambrosio ve Dadone, 2001).

Bu sorunların önüne geçebilmek için, her bir rüzgâr enerjisi santrali ya da tarlası için değil de bir bölgedeki tüm rüzgâr tarlaları düşünülerek yapılan rüzgâr enerjisi üretimi planlamasıyla, santraller arasındaki diversiteden yararlanılacak böylece şebekeye daha kararlı ve nitelikli elektrik enerjisi sağlanabilecektir. Burada önemli olan rüzgâr enerjisi şebeke bağlantılarında bölge planlaması yapılarak enerji süreksizliği oranını azaltmak, yayılmış kesintili üretim sistemleri kurmak ve belirsizliği kabul edilebilir boyutlara indirgemektir. Rüzgâr tahmininde üretilecek daha iyi metotlar ve üretim alanlarındaki rüzgâr trendlerinin istatistiksel olarak ve enerji üretimine baz olacak şekilde çözümlenmesi rüzgâr enerjisindeki belirsizliği azaltma ve güvenirliliği arttırmada önemli rol üstlenecektir.

Türkiye bugün için enerji ihtiyacının yaklaşık % 70’ini ithal etmektedir (Çizelge 1.2). Bu yüzden Türkiye en kısa sürede ithal doğalgaz gibi dışa bağımlı yakıtlarla elektrik üretimini en

aza indirmek, çevre ve insan sağlığını gözeterek, başta hidrolik, rüzgâr olmak üzere yenilenebilir kaynaklara dayalı ucuz verimli ve güvenli elektrik üretimini gerçekleştirmek, sahip olduğu zengin yeraltı ve yerüstü kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirmek zorundadır. Bu hem ekonomik hem de ulusal güvenlik açısından bir zorunluluktur. Özellikle, rüzgâr santrallerindeki kapasite kullanımının düşüklüğü genelde rüzgâra karşı bir argüman olarak kullanılırken, fosil kökenli yakıt kullanarak elektrik enerjisine dönüşüm sağlayan enerji santrallerinin ortalama verimlerinin yaklaşık %30 olduğu unutulmamalıdır.

Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3’de enerji ithalatının ulaştığı kritik durum görülmektedir. Enerji ithalatının toplam ithalat içindeki payı her yıl büyük ölçüde artmaktadır.

Çizelge 1.2 Türkiye’de birincil enerji arz ve talebinin karşılanması, [3].

Birim: [GWh]	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
TALEP	52.987	63.679	80.501	75.403	78.354	83.826	87.818	91.362	99.590
ÜRETİM	25.656	26.749	26.156	24.681	24.324	23.783	24.332	24.549	26.802
İTHALAT	30.936	39.779	56.342	52.780	58.629	65.239	67.885	73.480	80.514
İHRACAT	2.104	1.947	1.584	2.620	3.162	4.090	4.022	5.171	6.572
DİĞER	355	464	467	624	1.233	644	631	628	588
NET İTHALAT	28.477	37.368	54.291	49.536	54.234	60.505	63.232	67.681	73.354
ÜRETİMİN TALEBİ KARŞILAMA ORANI (%)	48,1	42	33,1	32,6	31	28,4	27,7	26,9	26,9

Çizelge 1.3 Türkiye’de enerji ithalatının ödemeler dengesindeki payı, [3].

ENERJİ İTHALATI (Milyon Dolar)	2000	2004	2005	2006
Kömür	676,254	1316,62	1686,89	1977,9
Petrol ve ürünleri	5642,69	8635,9	12398,1	18337,1
Petrol gazları, doğal gaz	3078,66	4438,86	7130,57	8514,5
Elektrik enerjisi	132	16	18	19
TOPLAM	9.529	14.407	21.234	28.848
TOPLAM İTHALAT	54.503	97.540	116.563	139.576
ENERJİ İHRACATI				
Kömür	2	3	5	
Petrol ve ürünleri	292	1.111	2.027	
Petrol gazları, doğal gaz	15	255	505	128
Elektrik enerjisi	20	60	103	
TOPLAM	329	1.429	2.641	128
TOPLAM İHRACAT	27.775	63.167	73.472	85.534
NET ENERJİ İTHALATI ÖDEMESİ	9.200	12.978	18.593	28.720
TOPLAM İHRACAT GELİRLERİ İÇİNDE ENERJİ İTHALATININ PAYI	%33	%21	%25	%34
TOPLAM İTHALAT İÇİNDE ENERJİ İTHALATININ PAYI	%17	%13	%16	%21

Ülkemizde 10 Mayıs 2005 tarihinde yürürlüğe giren 5346 no’lu “Yenilenebilir Enerji Kanunu” ülkemizin başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarını; küçük hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biyogaz, dalga, akıntı ve gel-git enerjisi olarak tanımlamaktadır. Bu kanun kapsamındaki elektrik enerjisi üretmeye yönelik yenilenebilir enerji kaynakları da: rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gelgit ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynakları olarak belirlenmiştir. 22 Şubat 2007 tarihinde kabul edilen 5584 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu” ile enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amaçlanmıştır [6].

Bu çalışmada bugün için dünyada elektrik üretimi açısından yenilenebilir kaynakların önde gelenlerinden olan rüzgâr enerji santrallerin ana girdileri olan rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü değerleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve güvenilir tahmin yöntemleri geliştirilmiştir.

1.1 Rüzgârın Tanımı ve Çeşitleri

Rüzgâr, dünyadaki meteorolojik değişkenlerden birisidir. Hava kütlelerinin potansiyel ve kinetik enerjileriyle hareket etmesi şeklinde tanımlanabilir. Rüzgârlar, havanın, basınç farkı sonucu potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye geçmesi ile oluşur. Yeryüzünde daha büyük bir alanı ilgilendirdiklerinden dolayı, rüzgârla ilgili mühendislik çalışmalarında yatay rüzgârlar incelenmektedir. Atmosferin dinamik yapısı basınç, sıcaklık, yoğunluk ve nem gibi değişkenler üretmiştir. Bu değişkenler termodinamik ve akışkanlar mekaniği eşitlikleriyle tanımlanabilirler. Havanın sürekliliği, termodinamik ve momentum korunumu eşitliklerinin 3 boyuttaki bileşenleri atmosferin hareket bağıntılarını oluşturur. Jeostrofik, gradyen, yüzeysel, alçak basınç civarındaki yüksek ve yüzeysel rüzgârlar ile atmosferik dalgalar bu bağıntıların özel çözümleriyle bulunur. Her bir denklem, zamana bağlı değişkenler ve çeşitli değişim aralıkları ile tanımlı sonlu elemanlar yardımıyla çözülebilir. Atmosferik hareketlerin 1mm ile 1000km mesafe aralığında gerçekleştiği kabul edilir. İdeal şartlarda matematiksel modellemeler 1mm ve 1s'lik aralıklar temel alınarak yapılır.

Rüzgârlar enlem, boylam, yükseklik ve zamana bağlı olarak değişim gösterirler. Yine de atmosferik değişkenlerin zamana bağlı olarak düzenli değiştiği yerlerde rüzgârların kararlılığından söz edilebilir. Deniz-kara etkileşimi olan kıyı bölgeleri rüzgâr hızı ve yönü açısından kararlı yerler olarak bilinirler. Bunun yanında dağ-vadi bölgeleri büyük sıcaklık farkları oluşturdıklarından dolayı rüzgâr kararlılığı yönünden ikinci derecede önemli yerler sayılırlar. Topografik kararlılık rüzgâr modellemelerinde büyük kolaylık sağlar. Genellikle daha az pürüzlü yüzey şekillerinin olduğu yerler için rüzgâr da daha kararlıdır denilebilir.

Dünyada rüzgâr karakteristiği birbirinden farklı olan birçok bölge vardır. Bazı bölgeler diğerlerinden daha fazla rüzgârlıdır. Herhangi bir iklim bölgesine küçük ölçeklerle bakıldığında çeşitli mikro rüzgârla ilgili iklim alanları olduğu görülür. Bu alanların oluşumu genel olarak topografik değişkenlerin farklılığından kaynaklanmaktadır. Bu değişkenlere örnek olarak karasallık, deniz ve kara alanı oranı, yer şekillerinin büyüklüğü, dağ yükseklikleri, vadiler ve düzlükler olarak verilebilir. Bunun dışında termal değişkenler olarak söz konusu alanın güneş radyasyonu yansıtıcılığı ile yutumu ve buna bağlı olan toprak yüzey sıcaklığı ve hava nemi örnek olarak verilebilir.

Daha yerel olarak, bulunulan yerdeki topografya rüzgâr iklimine doğrudan etki eder. Dağ ve tepe zirvelerinde daha fazla rüzgâr hızı beklenir. Bunun tersine kapalı vadiler ile ağaçlık ve yüksek binaların bulunduğu yerlerde nispeten daha az rüzgâr hızı beklenir.

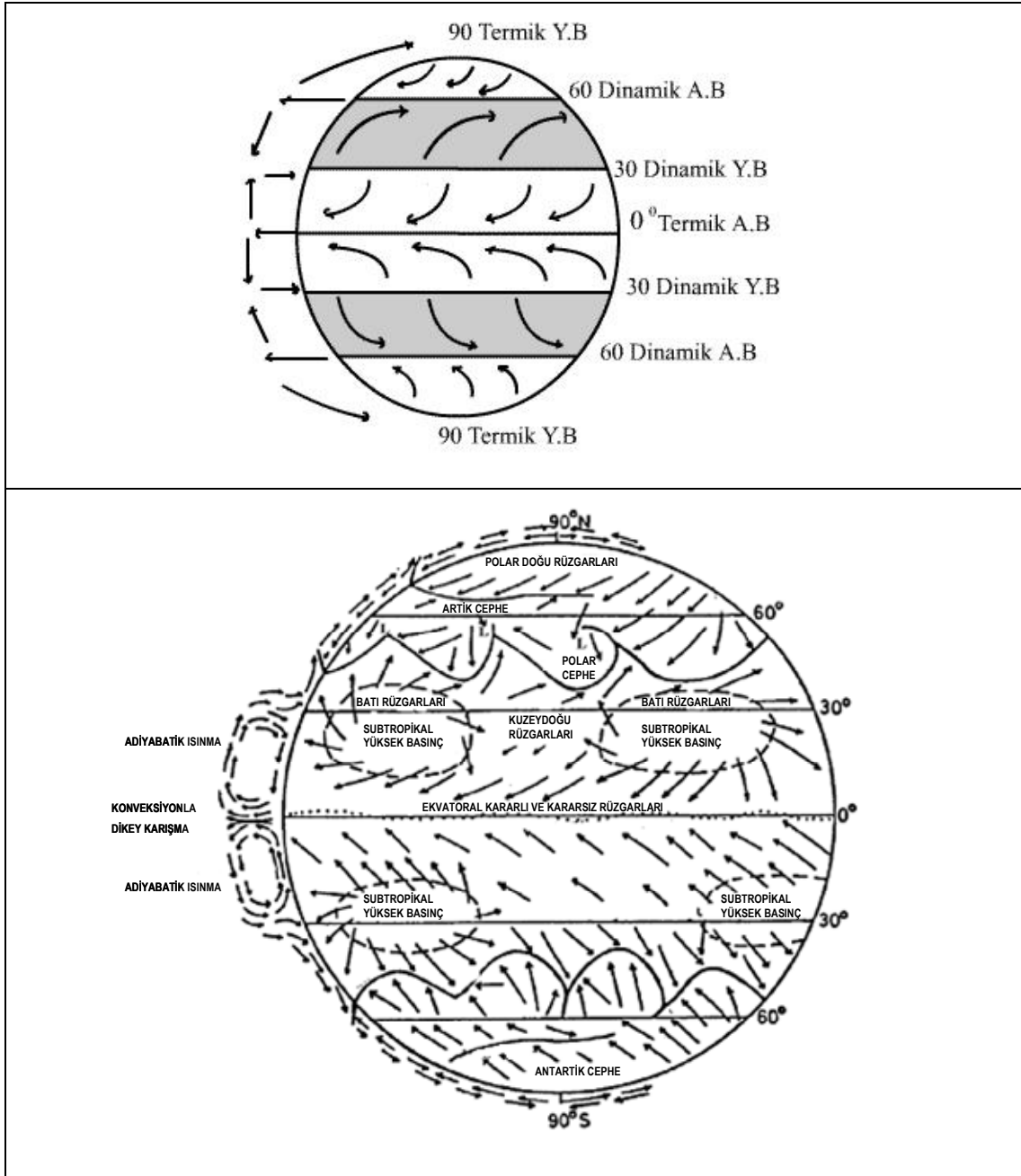
Verilen bir alandaki rüzgâr iklimi (rüzgâr hızının ve yönünün değişimi) bir yıldan diğerine ve onar yıllık dönemlerde çok büyük değişiklikler gösterebilir. Bu uzun yıllık değişimler henüz iyi anlaşılamamıştır ve bu neden ileriye dönük rüzgâr santralleri planlamalarının daha ekonomik ve daha doğru şekilde yapılmasını zorlaştırmaktadır. Tez konusunu doğrudan ilgilendirdiği için, yerel rüzgârın işlendiği bölümde bu konuya daha detaylı değinilmiştir.

Rüzgârların oluşmasındaki temel ilke, sıcak havanın yoğunluğunun soğuk havadan az olması nedeniyle yükselmesi ve bu şekilde havanın yer değiştirmesinden kaynaklanan akımlardır. Rüzgâr akımlarının kaynakları yerel ve küresel olarak gruplandırılmaktadır [4]. Tez konusunu doğrudan ilgilendiren rüzgârların tipleri ve karakterleri çalışmanın diğer bölümlerinde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

1.1.1 Küresel Rüzgârlar

Rüzgârların oluşma nedeni, yeryüzünün güneş tarafından farklı ısıtılması sonucu oluşan sıcaklık farklarıdır. Küresel rüzgârlar jeostrofik rüzgârlara benzerler. Jeostrofik rüzgârlar, saf olarak Coriolis kuvvetleri ile düz basınç gradyenlerinin dengesi sonucu oluşan ve sürtünmesiz akış yapan bir rüzgâr tipidir. Buradaki dengeye jeostrofik denge denilir. Atmosferdeki izobarlar çoğu zaman eğriseldirler ve düzgün olmayan şekilde dağılırlar. Gerçek (teorik olmayan) rüzgârlar yer ile olan sürtünme ve eğrisel akış sonucu oluşan merkezkaç kuvvetlerinin etkileri altında şekillenirler. Jeostrofik rüzgâr dengesinin bu şekilde farklılaşmasına gradyen rüzgâr dengesi denilir. Burada rüzgâr yine izobarlara paralel şekilde akar fakat izobarlar eğrisel olduklarından merkezkaç kuvvetleri güç eşitliğine eklenir. Küresel rüzgârlar, çoğu zaman bu teorik rüzgâr tipine yaklaşık bir karakterdedirler. Yer yüzeyinden yaklaşık olarak 1000m yükseklikten itibaren görülen küresel rüzgârlar, troposferin üst kesimlerinde izobarlara paralel olarak hareket ederler. Bu rüzgârlar, dünya coğrafyası üzerindeki sıcaklık farklılıklarından ardından özellikle ekvatorda sıcaklığı artan havanın atmosferde 10km kadar yükselerek buradan kuzey ve güneye doğru hareket etmesinden ve daha soğuk alanlarda yere doğru inmesinden kaynaklanmaktadır. Dünya üzerinde sürekli bir şekilde aynı çevrimi izlerler. Dünyanın dönmesi sonucu oluşan Coriolis kuvvetleri de küresel rüzgârları büyük ölçüde etkilemektedir. Bunlar sonucu oluşan doğu veya batı yönlerdeki küresel rüzgârları ise örnek olarak havacılıkta sözü geçen Jet Akımları şeklinde

gözlemlemektedir. Şekil 1.5 dünyadaki sıcaklık değişimlerini ve küresel rüzgârların oluşumunu göstermektedir.



Şekil 1.5 Dünyadaki sıcaklık değişimleri ve küresel rüzgârlar, (Şahin, 2004).

Günümüz teknolojisiyle yalnızca yüzeysel rüzgârların enerjisinden faydalanabildiğimiz için inceleme konumuz yüzey rüzgârları olacaktır. Yüzey rüzgârları yeryüzüyle sınır tabaka oluştururlar. Bu nedenle yüzey şekillerinden ve engellerden global rüzgârlara göre daha fazla etkilenirken, Coriolis kuvvetlerinden daha az etkilenirler.

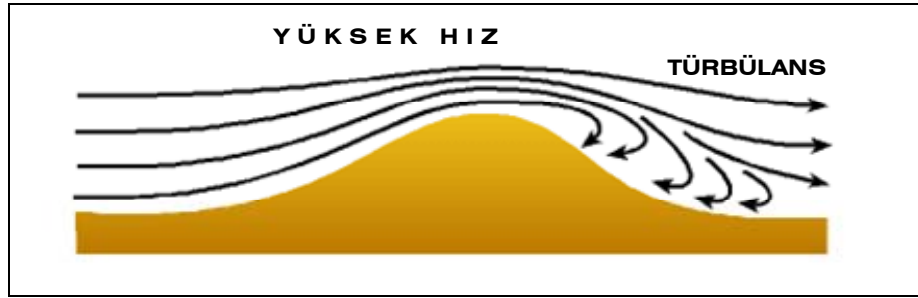
Bunların yanında, atmosferde oluşan derin basınç farklarından dolayı meteorolojik sistemler;

örneğin derin alçak basınç merkezleri olan siklonlar ve derin yüksek basınç merkezleri olan antisiklonlar oluşur. Meteorolojik sistemler farklı basınç gradyanları arasında hareket ederler. Bu hareketler sonucu çok güçlü rüzgârlar oluşabilir. Genellikle aşırı rüzgâr hızları bu tür meteorolojik hareketler sonucu oluşur. Bu tür rüzgârlar yeryüzü ile küresel rüzgârlar arasında oluşan yüzey rüzgârlarının birer alt tipleridirler.

1.1.2 Yerel Rüzgârlar

Yerel rüzgârlar yukarıda anlatılan yüzeysel rüzgârlar sınıfına girerler. Yerel rüzgârlar genel bir tanımla, küçük ölçekli yerel basınç sistemlerinin oluşumuyla yani termal nedenlerle oluşurlar. Bölgesel olarak toprak ve su alanlarının homojen bir şekilde dağılmış olmaması yerel rüzgârların oluşmasındaki en büyük etmendir. Topografik farklılıklar bazı yerler için ileri derecede karmaşık yapıları olduklarından topografya ile etkileşim içerisinde olan rüzgâr da karmaşık bir hal alır. Bu karmaşık oluşum yerel rüzgârların tahminini zorlaştırır.

Yerel boyutta rüzgâr hızı incelendiğinde rüzgâr hızı sınır tabakası nedeniyle tepelerde ve dağlarda tepe ve dağ yamaçlarına nazaran daha yüksek rüzgâr hızı olduğu görülür. Tepeler ve dağların rüzgâr almayan yamaçları ise türbülans etkisinde kalarak daha yavaş rüzgâr hızlarının etkisinde kalırlar (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 Coğrafi yükseltilerin rüzgâr almayan kesimlerinde oluşan türbülans, [5].

Yüzey pürüzlülüğü az olan su kütlelerinin yüzeylerindeki rüzgâra karşı direnç, daha pürüzlü olan orman ve kent alanlarından çok daha azdır. Bu nedenlerden dolayı offshore (deniz kıyısı) rüzgâr enerjisi santrallerinin potansiyeli karadakilerden teorik olarak daha fazla olmalıdır. Çeşitli yüzeyler için yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızındaki teorik azalma aşağıdaki eşitlikle bulunabilir:

$$v_2 = v_1 \cdot (h_2/h_1)^n \quad (1.1)$$

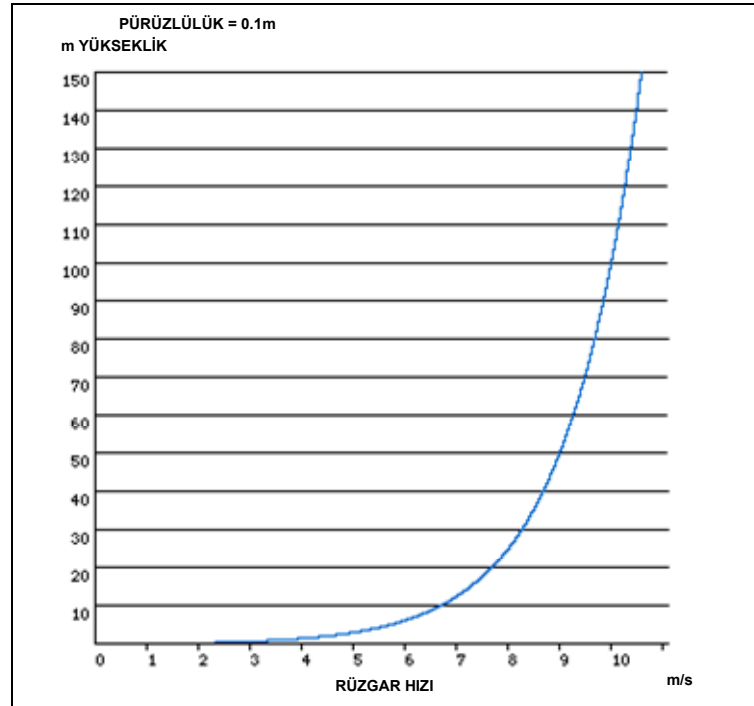
Burada v_1 bilinen ve referans alınan rüzgâr hızı ve h_1 ise rüzgârın ölçüldüğü yüksekliktir. v_2

pürüzlü yüzey üzerinde bulunmak istenen rüzgâr hızı ve bulunmak istenen hızın yüzeyden yüksekliği h_1 'dir. n üssü çeşitli yüzeyler için pürüzlülük değeridir (Çizelge 1.4).

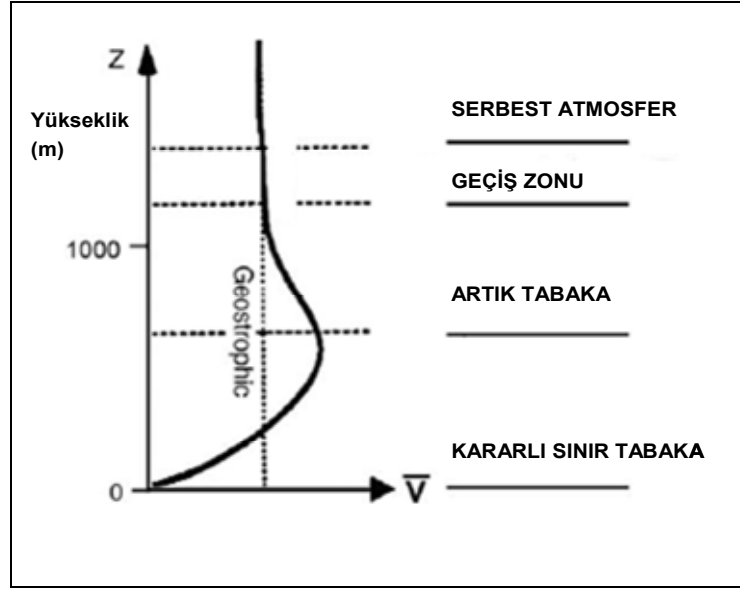
Çizelge 1.4 Çeşitli yüzey pürüzlülükleri için n değerleri, [5].

Yüzey Tipi	n
Dalgasız Su Yüzeyi, Kum	0,10
Kısa Çim, Düz ve İşlenmemiş Toprak	0,16
Uzun Çim, Kısa Ekin	0,18
Uzun Ekin, Alçak Orman	0,20
Kent Merkezi, Yüksek Orman	0,35
Yüksek Binalar	0,45

Yükseklik ile rüzgâr hızı sınır tabakasının değişimi, küçük ve büyük ölçekte, sırasıyla Şekil 1.7 ve Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



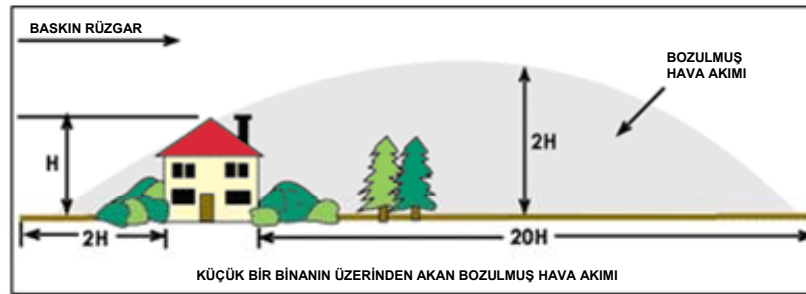
Şekil 1.7 0,1m'lik yüzey pürüzlülüğü için rüzgâr hızı sınır tabakası yüksekliği, [4].



Şekil 1.8 Kararlı bir yüzeyel sınır tabaka dağılımı için rüzgâr hızı sınır tabakası katmanları, (Şahin, 2004).

Gövde uzunluğu 40m ve rotor çapı da aynı şekilde 40m olan bir rüzgâr türbininin 100m’de 10m/s rüzgâr hızı olan bir arazide çalıştığını düşünürsek, kanatçık en üst pozisyondayken 9,3m/s’lik rüzgâr hızının etkisinde kalacak, en alt pozisyonda ise rüzgâr 7,7m/s hızında esecektir. Bu durumda ortalama bir rüzgâr hızında, örneğin rotor merkezindeki durum için planlama yapmak daha doğru olacaktır.

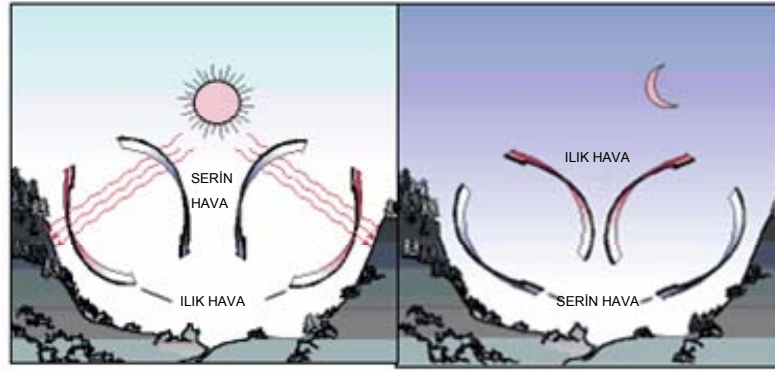
Şekil 1.9’den da görülebileceği gibi küçük bir binanın rüzgâr altında kalan rüzgâr akışı bozuk bölge yaklaşık olarak binadan itibaren yatayda binanın yüksekliğinin 20 katı uzağına ve dikeyde ise bina yüksekliğinin 2 kat uzağına kadar uzanır.



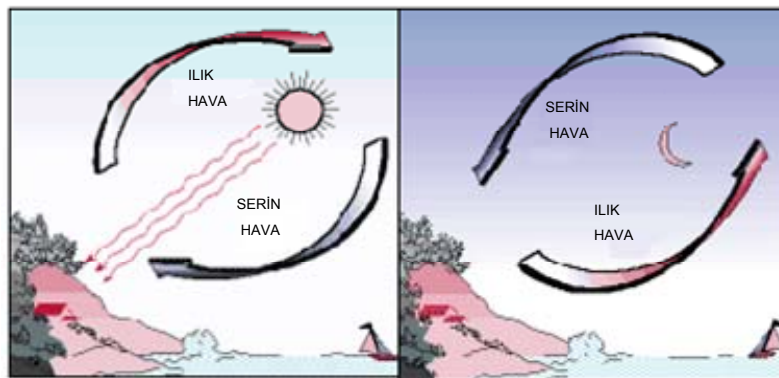
Şekil 1.9 Küçük bir binanın arkasında kalan bozulmuş rüzgâr bölgesi, [5].

Yerel rüzgârlar, kendi içinde deniz veya su kaynağı esintileri ile tepe-dağ-vadi rüzgârları şeklinde gruplanabilir.

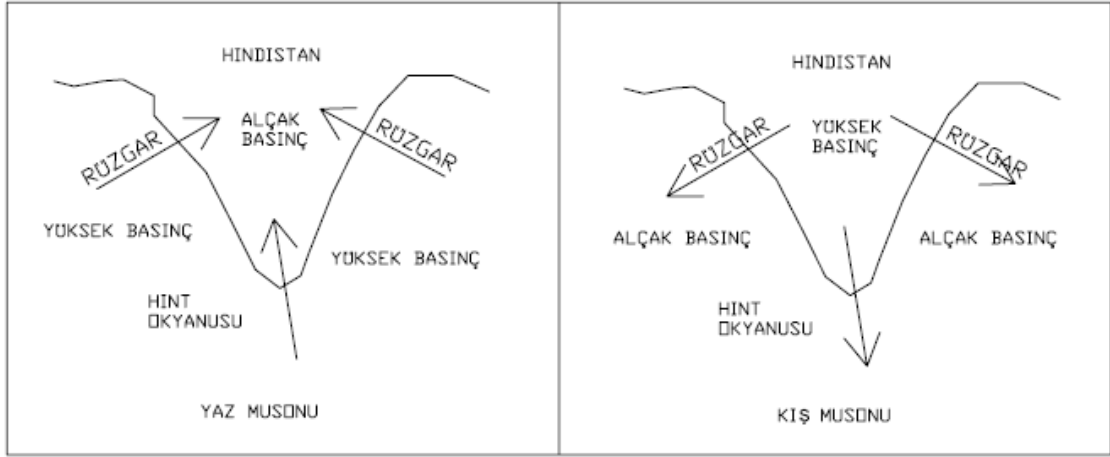
Kara her zaman sudan daha hızlı ısındığından dolayı, kara üzerindeki hava yükselerek alçak basınç oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak su üzerindeki soğuk hava karadaki alçak basınca doğru hareketlenmektedir. Bu durumun tam tersi yani karanın denizden daha hızlı soğumasında da tersine bir akım oluşmaktadır. Vadi ve dağ rüzgârlarında ise yamaçların baktığı kuzey ve güney yönlerinin güneş etkisiyle farklı ısınmalarından dolayı hava yoğunlukları farklı olmakta ve bu da hava akımları oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 1.10). Gece denizler ile karalar veya dağlar ile vadiler arasındaki soğuma farkı gündüz oluşan sıcaklık farkından daha olduğundan dolayı gece meltemleri daha yavaştır (Şekil 1.11). Yerel rüzgârlara en genel örnek olarak yaz musonu, kış musonu, dağ ve vadi meltemi, deniz-kara meltemi ve fön rüzgârları sayılabilir (Şekil 1.12). Alçak ve yüksek basınç sistemleri birbirlerine yaklaştıkça rüzgâr hızları artar.



Şekil 1.10 Dağ-vadi meltemlerinin oluşumu, [5].



Şekil 1.11 Deniz-kara meltemlerinin oluşumu, [5].



Şekil 1.12 Hindistan'daki Muson rüzgârlarının oluşumu.

1.1.2.1 Türkiye'de Yerel Rüzgârlar

Türkiye 30° - 60° kuzey enlemleri arası oluşan batı rüzgârları kuşağındadır. Ancak yer şekillerinden dolayı bu rüzgârların etkisi fazla görülmez. Bu yüzden daha çok yerel rüzgârlar etkili olur. Yine de Türkiye'yi etkileyen hava hareketleri büyük oranda batıdan doğuya hareket eder.

Tez çalışmasına konu olan Türkiye'nin kuzey batısındaki (Marmara ve Kuzey Ege Kıyısındaki) sahil bölgesinin doğusu ve batısındaki yerel rüzgârların trendleri arasında farklılıklar gözlemlenmektedir (Sırdaş, 2004). Bu bölge genel olarak yaz ayları boyunca Akdeniz iklimi etkisi altında kalır. 4-5 ay boyunca nispeten kuru, sıcak ve kararlı yapıda rüzgârların estiği bir iklim görülür. Yazın bir yüksek basınç sistemi Doğu Akdeniz ve Balkanlar'ı Karadeniz'e kadar etkisi altına alır. Anadolu platosu üzerinde ise yazları karasallık etkisiyle daha çabuk ısındığından dolayı gün içerisinde bir alçak basınç sistemi oluşur. İki basınç sistemi arasındaki denge Ege ve Marmara denizi civarındaki hava durumunu belirler. Tez konusu olarak incelediğimiz Türkiye'nin kuzeybatısında etkili olan rüzgârları doğrudan etkileyen Akdeniz'in orta-batısı merkezli basınç sisteminin yapısını daha detaylı incelersek üç ana basınç sisteminden söz etmek gerekecektir: Eurostatik yüksek basıncı, subtropikal yüksek basınç ve bunun Kuzey Afrika'daki uzantısı ve yaz aylarında iyice ılıklaşan Akdeniz'in üzerinde oluşan alçak basınç. Akdeniz üzerindeki yüksek basınç sisteminin güçlendiği zamanlarda basınç sistemi doğuya doğru hareket eder ve Ege'deki basınç gradyanları zayıflar. Kuzeyli hava akımları hafifler. Bu nedenle bölgedeki deniz-kara ve dağ-vadi meltemleri gibi yerel hava hareketleri egemen olmaya başlar. Yüksek basınç etkisini yitirdikçe Ege ve Marmara üzerindeki basınç gradyanları güçlenirken, aynı bölgedeki

kuzey ve kuzeybatı rüzgârları güçlenir. Bu tür rüzgârlar “Etezyen” olarak adlandırılırlar. Etezyenler, Adriyatik, İyon ve Ege denizleri ile Güneydoğu Balkanlar ve Batı Anadolu’yu etkisi altına alır. Adriyatik ve İyon denizindeki etezyenler kuzeybatı rüzgârlarıdır. Batı Ege ve Yunanistan’daki etezyenler kuzey rüzgârlarıdır. Doğu Ege ve Marmara’dakiler ise kuzeydoğu rüzgârlarıdır. Etezyen rüzgârları olarak adlandırılan Türkiye’nin batısındaki yerel kuzey ve kuzeydoğu rüzgârları, yaz ayları boyunca hızlanarak Ağustos ayında en güçlü şekilde eserler. Doğuya doğru ilerledikçe bu rüzgârların etkisinin azaldığı istatistiksel çalışmalarda görülmüştür. İncelenen bölgelerin rüzgâr eğilimleri ileriki bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

Yukarıda anlatılan basınç modeli yalnızca ortalama bir durumu özetler. Özellikle kış aylarında doğuya doğru ilerleyen dinamik basınç alanlarının oluşturduğu kararsız havanın tüm Akdeniz’i kontrol ettiği sırada oluşan fırtınalar, bölgenin baskın rüzgârlarının karakterini anlamamıza yardımcı olurlar. Çalışmalar özellikle Akdeniz kaynaklı kış siklonlarının Ege Denizi’nden Batı Anadolu’yu takip ederek Karadeniz’e çıkan bir yol izlediğini göstermiştir. Ege Deniz’inde hem kış hem de yaz aylarında genellikle kuzey ve kuzeydoğu rüzgârları daha fazla görülür. Bununla birlikte, deniz kıyısı ve adalar ile ana karadaki rüzgâr karakteristiği farklılık gösterir. Bu olay Ege Denizi’nde çoğu zaman oluşan kanal etkisi ile açıklanabilir. Buna iyi bir örnek olarak Çanakkale boğazı ve civarı (Gökçeada, Bozcaada ve Gelibolu gibi bölgeler) gösterilebilir. Bu alanda özellikle kuzeydoğu yönü baskındır (Borhan, 1998).

Türkiye’de mevsimlere, denizlere, karalara ve yerel ısınma farklarına bağlı olarak oluşan basınç merkezlerinin yanı sıra, Türkiye’nin dışında oluşan ve Türkiye’yi etkisi altına alan gezici basınç merkezleri de bulunmaktadır. Türkiye’yi en çok etkileyen basınç merkezleri aşağıda açıklanmıştır:

Sibirya Termik Antisiklonu, Sibirya üzerinde oluşur. Türkiye’yi kışın etkisi altına alır. Termik kökenlidir. Soğumadan dolayı oluşur. Havanın ısınıp soğumasıyla oluşan basınçlara termik basınç denir. Sibirya Antisiklonu, Türkiye üzerinde kuzey ve kuzeydoğu yönlü rüzgârlar oluşturur.

Asor Dinamik Antisiklonu, Atlas Okyanusu üzerindeki Asor Adaları çevresinde oluşur. Hava kütleleri birbirleriyle karşılaşmaları sonucu çarpışarak yükselmeye veya alçalmaya zorlanırlar. Buna bağlı olarak atmosfer basıncı da azalır veya artar. Böylece dinamik antisiklonlar veya siklonlar (alçak veya yüksek basınç) oluşur. Asor Antisiklonu kış mevsiminde Sibirya Antisiklonu ile birleşerek Türkiye üzerinde etkili olduğunda İzlanda siklonu Türkiye’ye

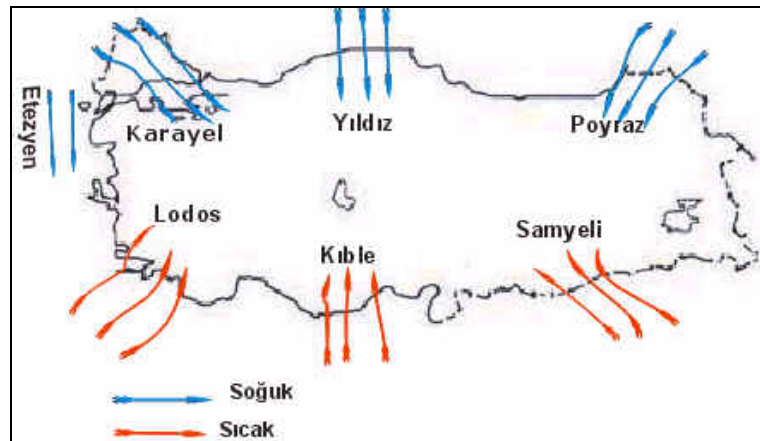
sokulamaz. Bunun sonucunda kışın sert kuzeyli rüzgârlar hâkim olur. Yazın Türkiye'nin kuzeybatı bölgeleri bu basınç sisteminin etkisi altında kaldığında Etezyen rüzgârlarına oluşur. Etezyen rüzgârı güçlü kuzey ve kuzey doğu yönlerden eser. Soğuk aylarda Balkanlar üzerinde oluşan yüksek basınca karşılık, Kıbrıs civarında oluşan alçak basınç rüzgârlarının kuzeyden sert esmesine neden olur. Kış aylarındaki basınç hareketleri genelde dinamiktir. Yazın ise bundan farklı bir durum oluşur. Alçak basınç merkezi dinamik değil termal kökenlidir ve sistemin merkezi Basra Körfezi ya da Arap Yarımadası'na taşınır. Böylece kuzeydoğu ve kuzeyden sert ve sürekli esen etezyen rüzgârları oluşur.

Basra Termik Siklonu, Basra Körfezi çevresindeki aşırı ısınmaya bağlı olarak oluşur. Yerel bir güneyli rüzgâr tipi olan samyeli ile beraber Türkiye'de daha çok güney bölgelerde etkili olur. Termik kökenlidir. Yaz mevsiminde rüzgârların güney ve güneydoğu yönünden esmesine neden olur.

İzlanda Dinamik Siklonu, İzlanda üzerinde oluşur. Türkiye'de kışın ve baharda etkili olur. Batı ve kuzeybatı rüzgârlarına neden olur.

Bunların dışında, Kuzey Afrika'daki yüksek basınç ve Hazar Denizi'nde oluşan alçak basınç sonucu güneybatıdan esen Lodos rüzgârları oluşur.

Şekil 1.13'de Türkiye'deki yerel rüzgârlar harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.13 Türkiye'deki yerel rüzgârlar.

Rüzgâr enerjisi kurulum ve aynı zamanda üretim maliyetleri azaldıkça alternatif uygulamaların yolu da açılacaktır. Örnek olarak; deniz yüzeyinden gün içinde daha fazla ısınan düzlüklere ve vadilerden tepelere doğru oluşan rüzgârlar ile aynı zamanda havanın ısınmasıyla oluşan yerel rüzgârlar ile güneş radyasyonunun artmasıyla oluşarak şebekeye

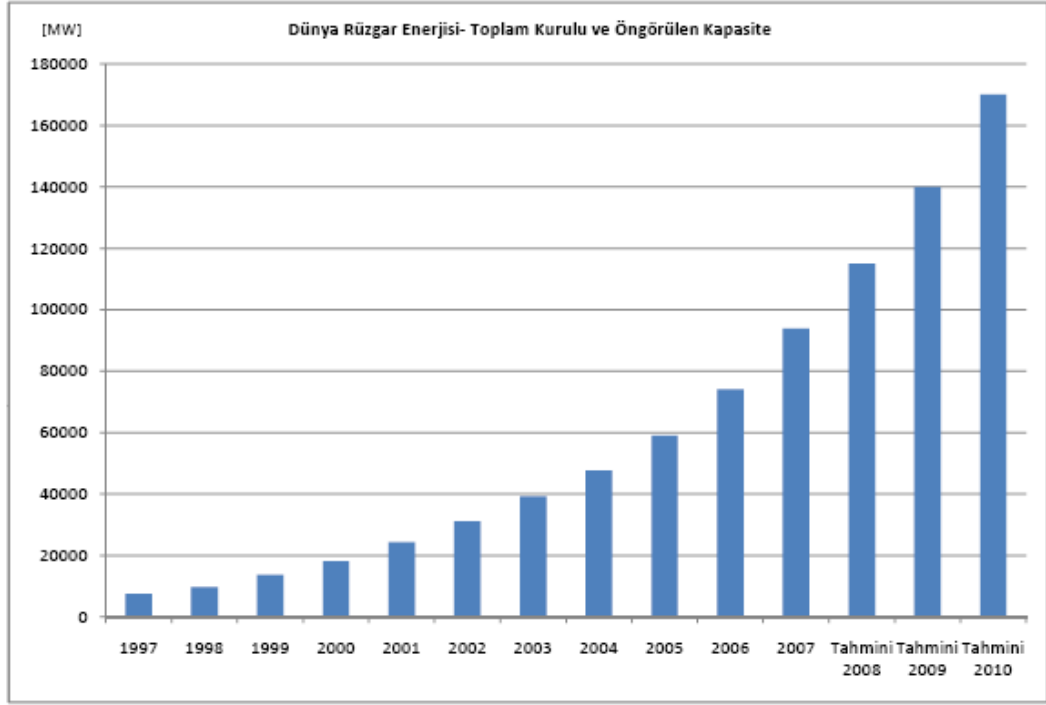
fazla yük (puant) yükleyen klima yükleri ilişkilendirilerek rüzgâr santrali kurulum planlaması yapılabilir.

1.2 Rüzgâr Enerjisi

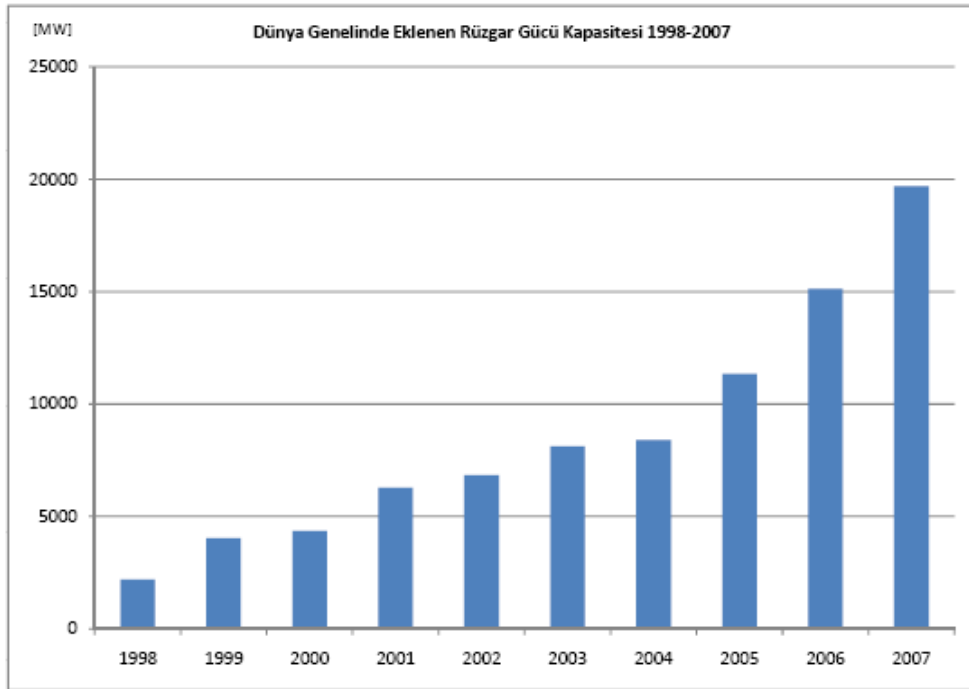
Dünya üzerine Güneş'ten, Dünya'nın hareketine bağlı olarak değişmekle beraber ortalama olarak $1,37 \text{ kW/m}^2$ güç emisyonu olur. Bu gücün, $1,27 \times 10^{14} \text{ m}^2$ çapındaki bir diskin üzerine geldiği kabul edilebilir. Böylece Dünya'ya $1,74 \times 10^{17} \text{ W}$ büyüklüğünde bir güç yayılmış olur. Yapılan hesaplamalara göre, Dünya üzerine gelen bu gücün yalnızca %0,011'i olan $1,91 \times 10^{13} \text{ W}$ kadarı rüzgâr santralleri tarafından kullanılabilir [4].

Rüzgâr enerjisi sistemlerinin temel yakıtı ya da girdisi rüzgârdır. Rüzgâr akımı, içerisinde kinetik ve potansiyel enerji barındırır. Rüzgârın kinetik enerjisini mekanik veya elektrik enerjisine çevirip kullanıma sunan sistemler de rüzgâr enerjisi sistemleridir. Rüzgârın kinetik enerjisi rüzgâr türbinleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

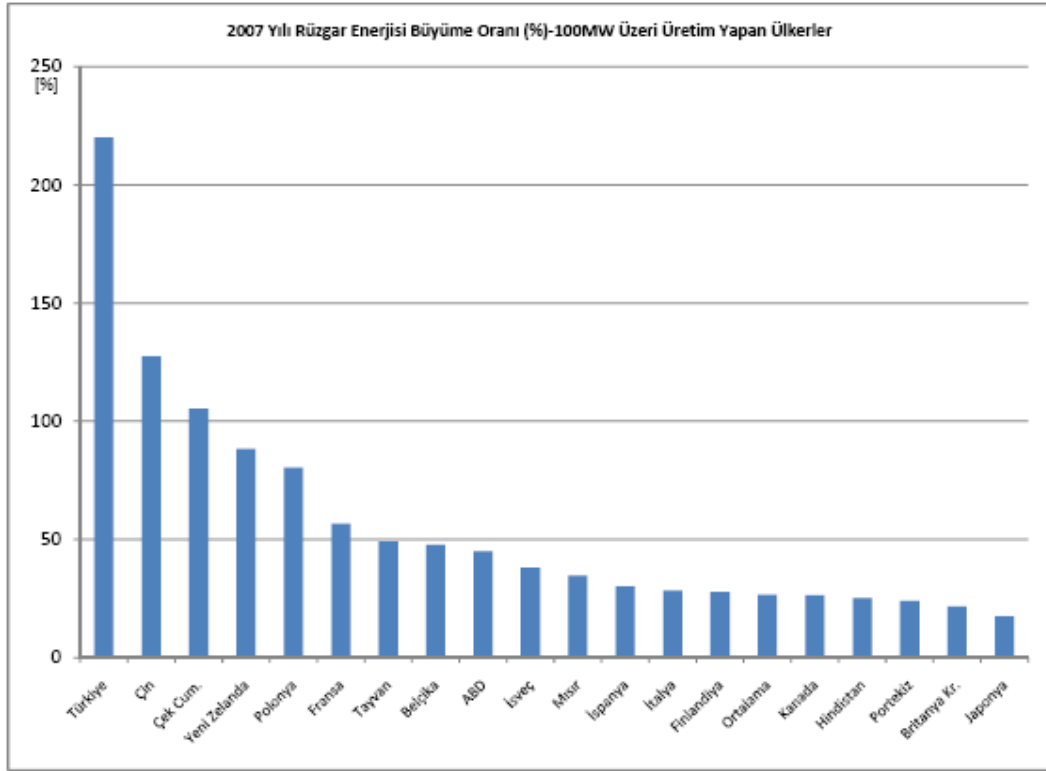
Rüzgâr enerjisinden faydalanma M.Ö.5000'lere dayanır. Rüzgâr enerjisinin ilk kullanım yeri yelkencilik olmuştur. Rüzgâr türbinleri yardımıyla elektrik enerjisi üretimi ise 20yy'da başlamıştır. Rüzgâr türbini kurulumu birincil enerji kaynaklarındaki aşırı fiyat artışlarıyla beraber her geçen yıl daha fazla artış göstermektedir. 1997–2007 yılları arasında dünya genelindeki rüzgâr santrallerinin toplam kurulu güçleri ve 2010 yılına kadar olan projeksiyonu Şekil 1.14'den görülebilir. Buna göre 2010 yılında toplam kurulu gücün, 2007'deki kurulu gücün yaklaşık iki katına çıkması öngörülmektedir. Dünya genelindeki rüzgâr santrallerinin gücündeki toplam güç artışı ise Şekil 1.15'de verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere 2007 yılında kurulu güçteki artış 2005 yılındaki artışın neredeyse iki katına çıkmıştır. Bu arada, 2007 yılında, gerçekleşen rüzgâr enerjisi santrali kurulu gücündeki artış oranı sıralamasında Türkiye, %220'lik artış ile birinci sırada yer almaktadır (Şekil 1.16).



Şekil 1.14 1997–2007 Yılları arasında Dünya genelindeki rüzgâr santrallerinin toplam kurulu güçleri ve ileriki yıllar projeksiyonu , [1].



Şekil 1.15 1998–2007 yılları arası dünya genelinde gerçekleşen yıllık eklenen rüzgâr enerjisi kapasiteleri , [1].



Şekil 1.16 100MW üzeri pazar için 2007 yıllı rüzgâr enerjisi büyüme oranları , [1].

1.2.1 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye coğrafi konumu ve hüküm süren iklim koşulları itibarı ile rüzgâr enerjisi kaynakları bakımından, teorik olarak elektrik enerjisinin tamamını karşılayabilecek düzeyde bir potansiyele sahiptir. Ülkemiz toplamı yaklaşık 8.000km²’yi bulan ve bunun büyük bir kısmının rüzgâr enerjisi kullanılabilecek durumda bulunan sahil şeridinde sahiptir. 130TWh/yıl enerji potansiyeli değeri ile Türkiye, deniz üstü (offshore) rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından Avrupa’da en zengin ülkeler arasında 9. sırada yer almaktadır (Çizelge 1.5). Bu potansiyele paralel olarak ülkemizde rüzgâr enerjisi santrali kulumu son yıllarda büyük bir artış göstermektedir. Çizelge 1.6’dan da görülebileceği gibi 2006–2007 yılları arasında rüzgâr enerjisi kurulu gücünün bir önceki yıla göre %220’lik artışla en çok büyüme gösterdiği ülke Türkiye olmuştur.

Çizelge 1.5 Bazı Avrupa ülkeleri için deniz kıyısı (offshore) rüzgâr enerjisi potansiyeli, (Şahin, 2004).

Ülke	Offshore Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [TWh/yıl]
Birleşik Krallık	986
Danimarka	550
Fransa	477
Almanya	237
İrlanda	183
İtalya	154
İspanya	140
Hollanda	136
Türkiye	130
Yunanistan	92
Portekiz	49
Belçika	24
Toplam:	3158

Çizelge 1.6 Dünya genelinde ilk 30 sıradaki ülkelerin kurulu rüzgâr enerjisi güçleri ve 2007 yılı sonu için güç artışları, [1].

Birim: MW							
2007 Sıralaması	Ülke / Bölge	2007 Sonu Toplam Kapasite	2007'de Eklenen Kapasite (2007-2006)	2007 Artış Hızı	2006'da Sıralamadaki Yeri	2006 Sonu İtibaiyle Toplam Kapasite	2005 Sonu İtibariyle Toplam Kapasite
1	Almanya	22.247,40	1.625,40	7,9	1	20.622,00	18.427,50
2	ABD	16.818,80	5.215,80	45	3	11.603,00	9.149,00
3	İspanya	15.145,10	3.515,10	30,2	2	11.630,00	10.027,90
4	Hindistan	7.850,00	1.580,00	25,2	4	6.270,00	4.430,00
5	Çin	5.912,00	3.313,00	127,5	6	2.599,00	1.266,00
6	Danimarka	3.125,00	-11	-0,4	5	3.136,00	3.128,00
7	İtalya	2.726,10	602,7	28,4	7	2.123,40	1.718,30
8	Fransa	2.455,00	888	56,7	10	1.567,00	757,2
9	Birleşik Krallık	2.389,00	426,2	21,7	8	1.962,90	1.353,00
10	Portekiz	2.130,00	414	24,1	9	1.716,00	1.022,00
11	Kanada	1.846,00	386	26,4	12	1.460,00	683
12	Hollanda	1.747,00	188	12,1	11	1.559,00	1.224,00
13	Japonya	1.538,00	229	17,5	13	1.309,00	1.040,00
14	Avusturya	981,5	17	1,8	14	964,5	819
15	Yunanistan	873,3	115,7	15,3	16	757,6	573,3
16	Avusturalya	817,3	0	0	15	817,3	579
17	İrlanda	805	59	7,9	17	746	495,2
18	İsveç	788,7	217,5	38,1	18	571,2	518
19	Norveç	333	7,9	2,4	19	325	268
20	Yeni Zelanda	322	151	88,3	25	171	168,2
21	Mısır	310	80	34,8	21	230	145
22	Belçika	286,9	92,6	47,7	22	194,3	167,4
23	Tayvan (Çin)	280	92,3	49,2	23	187,7	103,7
24	Polonya	276	123	80,4	26	153	73
25	Brezilya	247,1	10,2	4,3	20	236,9	28,6
26	<u>TÜRKİYE</u>	206,8	142,2	220	31	64,6	20,1
27	Kore (Güney)	191,3	15	8,5	24	176,3	119,1
28	Çek Cumhuriyeti	116	59,5	105,3	34	56,5	29,5
29	Finlandiya	110	24	27,9	28	86	82
30	Ukrayna	89	3,4	4	29	85,6	77,3

Buna karşılık Türkiye'nin toplam elektrik enerjisi ihtiyacının yalnızca %0,3'ü rüzgâr enerjisinden sağlanmaktadır (Çizelge 1.7).

Çizelge 1.7 Türkiye'nin elektrik enerjisinin kuruluş ve yakıt cinslerine göre dağılımı (2007 yılı ortası), [6].

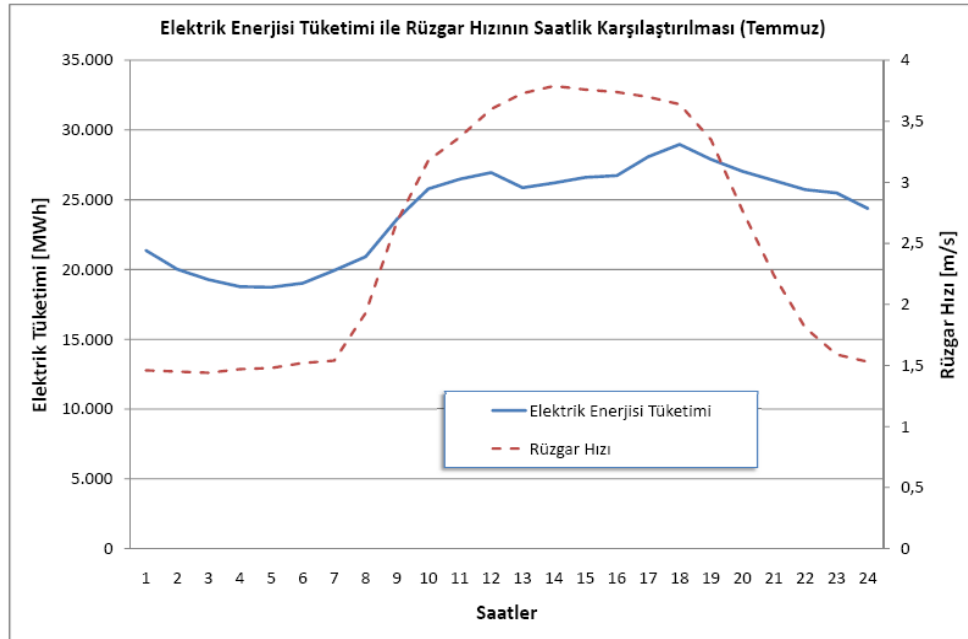
Birimler: MW						
KURULUŞLAR	TERMİK TOPLAM	HİDROLİK		RÜZGÂR	GENEL TOPLAM	KURULUŞLARIN KATKISI [%]
		BARAJLI	AKARSU			
EÜAŞ	8.690,9	10.897,3	453,0		20.041,2	49,2
EÜAŞ'A BAĞLI ORTAKLIK SANTRALLARI	3.834,0				3.834,0	9,4
ANKARA DOĞAL ELEKTRİK	30,0	52,7	58,6		141,3	0,3
İŞLETME HAKKI DEVREDİLEN SANTRALLAR	620,0		30,1		650,1	1,6
MOBİL SANTRALLAR	262,7				262,7	0,6
YAP İŞLET SANTRALLARI	6.101,8				6.101,8	15,0
YAP İŞLET DEVRET SANTRALLARI	1.449,6	772,0	210,0	17,4	2.449,0	6,0
SERBEST ÜRETİM ŞİRKETLERİ	3.192,4		358,4	116,8	3.667,5	9,0
OTOPRODÜKTÖR SANTRALLARI	3.044,4	540,0	22,8	1,2	3.608,4	8,9
TOPLAM	27.225,8	12.262,0	1.132,9	135,4	40.756,0	
KAYNAKLARIN KURULU GÜCE KATKISI (%)	66,8	30,1	2,8	0,3		%100

Elektrik enerjisi tüketimi ile ülkemizdeki rüzgâr potansiyeli daha yüksek olan kuzeybatı ve batı bölgelerdeki rüzgâr hızı karakteristikleri birbirleri ile uyumludur denilebilir. En azından pik elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaya yardımcı olabilecektir. Örnek olarak, Tekirdağ için 1992–2006 yılları arasındaki Temmuz ayı gün içi saatlik ortalama rüzgâr hızı değişimi Şekil 1.17'de verilmiştir. Bu grafikten yola çıkarak elektrik tüketiminin arttığı saatlerde rüzgâr hızının da artış gösterdiği söylenebilir. Çizelge 1.8'de Türkiye genelindeki pik elektrik enerjisi tüketimi gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre, pik elektrik enerjisi ihtiyacının genellikle öğle ve akşamüstü saatlerinde gerçekleşmekte olduğu görülmektedir. Bu şekildeki rüzgâr hızı trendi genel olarak tüm Marmara Bölgesi kıyı şeridi için geçerlidir denilebilir. Elektrik enerjisi ihtiyacı ve rüzgâr potansiyeli ilişkisi bu bölgedeki şebekeye bağlantı olanağı oranında yeni rüzgâr santralleri inşa etmek için gösterebileceğimiz önemli nedenlerdendir.

Çizelge 1.8 2007 yılı Türkiye puantı (pik elektrik enerjisi tüketimi değerleri), [7].

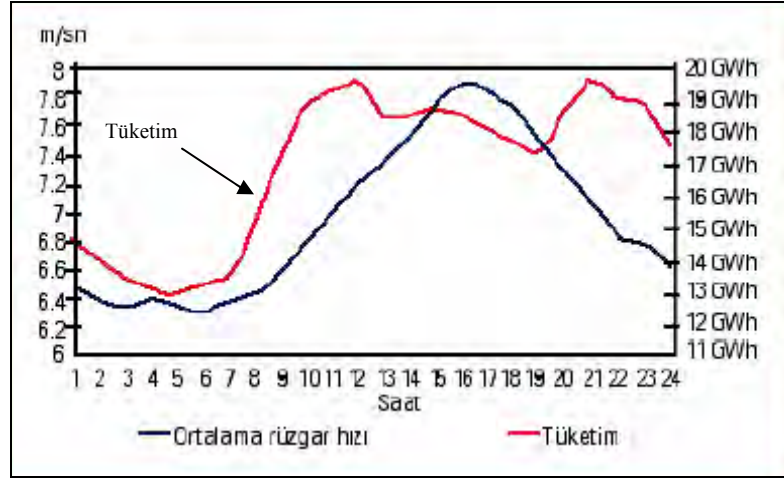
AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN
GÜN	8	5	14	19	31	28
SAAT	18,00	18,00	19,00	18,00	12,00	12,00
PUANT (MW)	26.388,0	26.476,0	25.544,0	24.567,0	24.208,0	27.946,0
AYLAR	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
GÜN	25	23	4	31	29	13
SAAT	12,00	15,00	12,00	18,00	18,00	18,00
PUANT (MW)	28.708,0	28.573,0	27.992,0	25.461,0	28.796,0	28.971,0

Türkiye’de gün içindeki ortalama rüzgâr hızının ve enerji tüketiminin yaklaşık değişimi Şekil 1.17’de görülmektedir. Sistem yükü değerleri TEİAŞ’dan alınmıştır. Buna göre, öğle saatlerinde itibaren elektrik enerjisi ihtiyacı gece saatlerine göre yaklaşık %50 artış göstermektedir. Buna karşılık, rüzgâr hızı da öğle saatlerinden itibaren artış göstererek saat 12.00–17.00 arası pik değerlere ulaşmaktadır.



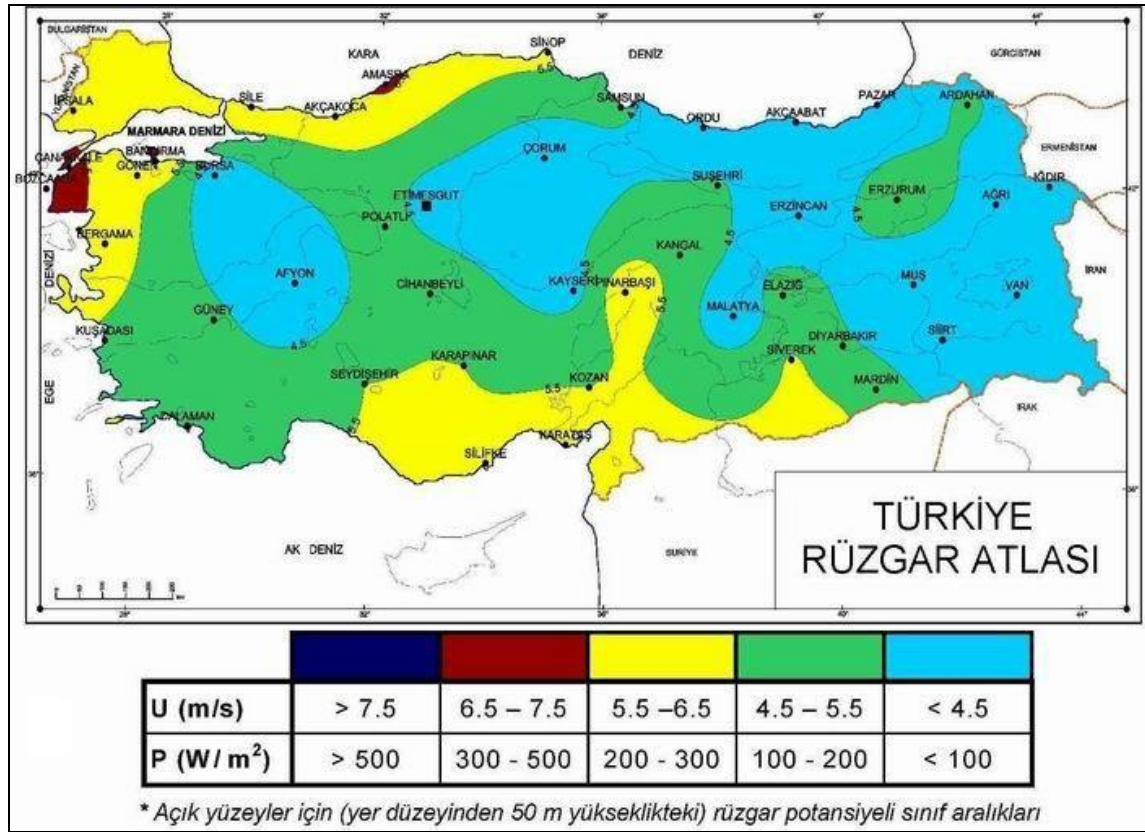
Şekil 1.17 Tekirdağ kent merkezi için Temmuz ayı günlük ortalama rüzgâr hızı (10m) ve sistem yükü.

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği’nin gerçekleştirdiği benzer bir çalışma da Şekil 1.18’de gösterilmiştir.



Şekil 1.18 Türkiye geneli için ortalama rüzgâr hızı ve enerji ihtiyacının gün içerisindeki değişimi, [8].

Türkiye rüzgâr bakımından zengin yöreleri olan bir ülkedir. Şekil 1.19'da görülen Türkiye Rüzgâr Atlası'nda rüzgâr potansiyeli yüksek alanlar kırmızıya daha yakın renklerle gösterilmiştir. Rüzgâr atlasında, Türkiye'nin en yüksek rüzgâr enerjisi potansiyelinin kuzeybatı bölgelerde olduğu görülmektedir. Brüt rüzgâr enerjisi potansiyelinin yılda 400 milyar kWh, teknik potansiyelinin ise 120 milyar kWh olduğu düşünülmektedir. Söz konusu teknik potansiyel yıllık elektrik üretiminin 1,2 katıdır. Ancak, Türkiye genelinde 10m yükseklikteki rüzgâr yoğunluğunun alansal ve zamansal dağılımı ile teknolojik kısıtlılıklar göz önünde tutulduğunda, güvenilir rüzgâr enerjisi potansiyeli 12 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır [9]. Ayrıntılı ölçümler ve yeni çalışmalarla bu değerin artması olasıdır.



Şekil 1.19 Türkiye rüzgâr potansiyeli haritası, [9].

Türkiye'nin teorik olarak hesaplanan potansiyeli 100.000MW'ın üzerindedir. Son yapılan hesaplamalara göre ekonomik potansiyel 55.000MW dolaylarında hesaplanmıştır [9]. Bu potansiyelin ortalama kapasite kullanım oranları % 35 civarındadır. Diğer bir deyişle, yılda ortalama 3000 saat enerji üretimim mümkün olabilecektir. Bu rakamlar, rüzgâr enerjisi potansiyelinin Türkiye için ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Fakat rüzgâr enerjisinin mevcut olan iletim hatlarına bağlanması (enterkonnekte) en büyük darboğaz olarak görülmektedir. Şebekenin iyileştirilmesi ve yönetimi hayati önem arz etmektedir. Diğer bir sorun ise kapasite kullanım oranının yani var olan rüzgâr enerjisi potansiyelinin gerçekte ne kadarının kullanabileceğinin tam olarak bilinmemesidir. %35 olarak kaba bir şekilde ön görülen oran gerçek potansiyel hakkında sadece çok genel bir fikir verebilir. Bu gerçekte çok daha az ya da fazla olabilir.

Türkiye'de 2008 yılı verilerine göre rüzgâr enerjisi kurulu gücü 334MW, inşaatı devam eden projelerin toplamı 143MW ve türbin tedarik sözleşme imzalı kurulu güç 1.070MW'dır [10]. Ancak bu değer, ülkemizin teknik potansiyeli göz önüne alındığında çok düşük bir değerdir. 1 Kasım 2007 tarihinde EPDK'ya yapılan rüzgâr enerjisine dayalı toplam 750 lisans adet lisans başvurusu yapılmıştır. Başvuruların toplam gücü yaklaşık 78.000MW'dır. Bu günümüzdeki

altyapının durumuna göre gerçekçi olmayan bir değer olarak görölmektedir. Lisans talep edilen santral projelerinin büyük çoğunluğunun rüzgâr potansiyeli yüksek olan batı ve kuzeybatı bölgelerinde yoğunlaşması şaşırtıcı olmamıştır. Fakat şebeke altyapısının yetersizliği yüzünden önümüzdeki 5 yıl için başvuruların yalnızca 7.000MW'ı olan %10'luk bölümüne lisans verileceği bildirilmiştir [11]. Avrupa'da elektrik enerjisi planlamalarında, enerjinin şu an % 8, 2030 yılında ise %10'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir. Benzer yaklaşımla Türkiye'nin hedefi, toplam kurulu gücünü 25.000MW'a çıkarmak olmalıdır. Bu amaçla halen EPDK'a lisans müracaatı bulunan projeler listesi Çizelge 1.9'dan görölebilir.

Çizelge 1.9 Türkiye'deki rüzgâr santrallerinin durumu, [10].

İstasyonun Bulunduğu Yer	Şirket	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin imalatçısı	Türbin adet ve kapasitesi
İzmir-Çeşme	Alize A.Ş.	1998	1,50	Enercon	3 adet 500 kW
İzmir-Çeşme	Güçbirliği A.Ş.	1998	7,20	Vestas	12 adet 600 kW
Çanakkale-Bozcaada	Bores A.Ş.	2000	10,20	Enercon	17 adet 600 kW
İstanbul-Hadımköy	Sunjüt A.Ş.	2003	1,20	Enercon	2 adet 600 kW
Balıkesir-Bandırma	Bares A.Ş.	I/2006	30,00	GE	20 adet 1.500 kW
İstanbul-Silivri	Ertürk A.Ş.	II/2006	0,85	Vestas	1 adet 850 kW
İzmir-Çeşme	Mare A.Ş.	I/2007	39,20	Enercon	49 adet 800 kW
Manisa-Akhisar	Deniz A.Ş.	I/2007	10,80	Vestas	6 adet 1.800 kW
Çanakkale-İntepe	Anemon A.Ş.	I/2007	30,40	Enercon	38 adet 800 kW
Çanakkale-Gelibolu	Doğal A.Ş.	II/2007	14,90	Enercon	13 adet 800 kW + 5 adet 900 kW
Hatay-Samandağ	Deniz A.Ş.	I/2008	30,00	Vestas	15 adet 2.000 kW
Manisa-Sayalar	Doğal A.Ş.	I/2008	30,60	Enercon	38 adet 800 kW
İzmir-Aliaga	İnnores A.Ş.	I/2008	42,50	Nordex	17 adet 2.500 kW
İstanbul-Gaziosmanpaşa	Lodos A.Ş.	I/2008	24,00	Enercon	12 adet 2.000 kW
İstanbul-Çatalca	Ertürk A.Ş.	I/2008	60,00	Vestas	20 adet 3.000 kW
İŞLETMEDEKİ KAPASİTE TOPLAMI			333,35		
Balıkesir-Şamlı	Baki A.Ş.	II/2008	114,00	Vestas	30 adet 3.000 kW
Muğla-Datça	Dares A.Ş.	II/2008	28,80	Enercon	36 adet 800 kW
İNŞA HALİNDEKİ KAPASİTE TOPLAMI			142,80		
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	35,10	Nordex	900 kW
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	22,50	Nordex	2.500 kW
Aydın-Didim	Ayen A.Ş.	II/2008	31,50	Suzlon	2.100 kW
İzmir-Çeşme	Kores A.Ş.	II/2008	15,00	Nordex	2.500 kW
Balıkesir-Susurluk	Alize A.Ş.	II/2008	19,00	Enercon	17 adet 800 kW ve 6 adet 900 kW
Osmaniye-Bahçe	Rotor A.Ş.	I/2009	135,00	GE	54 adet 2.500 kW
İzmir - Çeşme	Mazı-3 Res Elk. Ür. A.Ş.	I/2009	22,50	Nordex	9 adet 2500 kW
Balıkesir-Bandırma	Borasco A.Ş.	I/2009	45,00	Vestas	15 adet 3000 kW
Tekirdağ-Şarköy	Alize A.Ş.	I/2009	28,80	Enercon	14 adet 2000 kW ve 1 adet 800 kW
Balıkesir-Havran	Alize A.Ş.	I/2009	16,00	Enercon	8 adet 2000 kW
Çanakkale-Ezine	Alize A.Ş.	I/2009	20,80	Enercon	10 adet 2000 kW ve 1 adet 800 kW
Hatay-Belen	Belen A.Ş.	I/2009	30,00	Vestas	10 adet 3000 kW
Manisa-Kırkağaç	Alize A.Ş.	II/2009	25,60	Enercon	32 adet 800 kW
Manisa-Soma	Soma A.Ş.	II/2009	140,80	Enercon	176 adet 800 kW
Edirne-Enez	Boreas A.Ş.	II/2009	15,00		
İzmir-Aliaga	Doruk A.Ş.	II/2009	30,00	Enercon	15 adet 2.000 kW
İzmir-Aliaga	Yapısan İnş. Elk. A.Ş.	II/2009	90,00	Nordex	36 adet 2500 kW
İzmir-Aliaga	Doğal A.Ş.	I/2010	30,00	Enercon	15 adet 2000 kW
İzmir-Foça	Doğal A.Ş.	I/2010	30,00	Enercon	15 adet 2000 kW
Balıkesir-Kepsut	Poyraz A.Ş.	I/2010	54,90	Enercon	61 adet 900 kW
Manisa-Soma-Kırkağaç	Bilgin Elektrik Üretim A.Ş.	I/2010	90,00	Nordex	36 adet 2500 kW
Balıkesir-Kepsut	Bares Elektrik Üretim A.Ş.	I/2010	142,50	Nordex	57 adet 2500 kW
TÜRBİN TEDARİK SÖLEŞMESİ İMZALI PROJE TOPLAMI			1.070,00		
GENEL TOPLAM			1.546,15	MW	

1.2.2 Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr enerjisinden faydalanan rüzgâr türbinleri (veya değirmenleri) en az 3000 yıldır kullanılmaktadır. Eski dönemlerde kullanım alanı genelde hububat taşlamak ve su pompalamaktı. Bunun yanında eski Mısır'da rüzgâr enerjisinin yelkenli gemilerde kullanımı bundan da eskilere dayanır. Daha modern anlamda, 13. yüzyıldan başlayarak yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin kırsal alanlarda kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Rüzgâr türbinlerinin kullanımı fosil yakıtlarla çalışan makinelerin kullanımının artmasından sonra azalmaya başlarken kırsal kesimlere ulusal elektrik altyapısının ulaşmasıyla tamamen bitme noktasına gelmiştir.

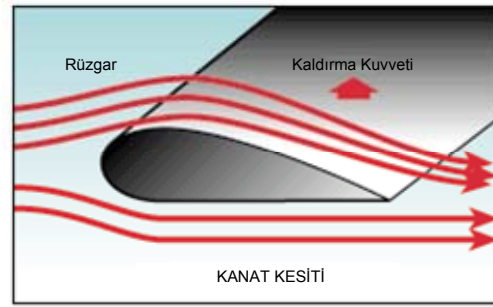
Rüzgâr türbinlerinin elektrik enerjisi üretmede kullanımı 1891'de ABD'deki Brush kentinde kurulan 12kW gücünde doğru akım üreten ve Danimarka'da La Cour tarafından planlanan rüzgâr türbini ile başlar. 20. yüzyılın çoğunda elektrik altyapısı ulaşmamış kırsal kesimlerdeki pilleri şarj etmekte kullanılanların dışında rüzgâr türbinlerinin yaygın bir kullanımı olmamıştır. Bu konudaki önemli bir istisna ise 1941'de ABD'de kurulan 53m rotor çapında ve 1250kW gücündeki Smith-Putham rüzgâr türbinidir. Bu türbin, yaklaşık 40 yıl boyunca büyüklüğü konusundaki liderliği elinde tutmayı başarmıştır. 1970'lerde petrol fiyatlarının ani yükselişiyle birlikte rüzgâr türbinlerine olan ilgide artış olmuştur.

Rüzgâr türbinleri eksenlerine göre yatay ve dikey olmak üzere ikiye ayrılırlar. Günümüzde en yaygın kullanılan sistemler yatay eksenli türbinlerdir. 70ler'den sonra rüzgâr türbinlerinin optimizasyonu hakkında çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Rüzgâr tarlaları kurulurken az sayıda fakat daha büyük kapasitede mi yoksa küçük ve çok sayıda türbin mi sorusuna cevap aranmıştır. Her iki uygulamanın da çeşitli avantajları ve dezavantajlarının olduğu görülmüştür. Fakat ekonomik açıdan büyük türbin uygulamaları başarılı olmakta ve her geçen gün daha büyük türbinler üretilmektedir. Örneğin; rotor çapının 30m'den 60m'ye çıkması türbin gücünü 4 kat arttırmaktadır. Aynı zamanda türbinlerin yatay ve dikey şekilde olması da ayrı bir tartışma konusu olmuştur. Kanat sayıları da bir dönem tartışılmıştır. İki kanatlı türbin üreticileri tilt (darbe) etkisi nedeniyle rotor miline aşırı yük etki etmesinden dolayı tasarımda zorlanmışlardır. İki kanatlı türbinlerin üç kanatlılar kadar enerji üretmeleri için daha hızlı dönmeleri gerekmektedir. Bu da gürültü ve dayanım problemlerine neden olmaktadır. Çeşitli uygulamaların sonunda neredeyse tüm türbin teknolojisi üreten firmalar Danimarka Tipi olarak kabul edilen üç kanatlı dikey tip ile ilgili çalışma yapmaktadırlar.

Rüzgâr türbinleri yerleşim yerleri olarak onshore (karasal) ve offshore (deniz üstü) olarak

sınıflandırılırlar. Offshore türbinler ile üretilen enerji, kurulumundaki ve bakımındaki fazla maliyetler nedeniyle karasal türbinler ile üretilen enerjiden 2007 yılı itibarı ile yaklaşık 1,5 kat daha pahalıya mal olmaktadır [2]. Yine de, offshore rüzgâr tarlaları etkisi altında kaldıkları rüzgârın kalitesi nedeniyle karadakilere oranla daha kararlı ve fazla elektrik enerjisi üretirler. Ayrıca, deniz üstünde gürültü bir sorun olmayışından ötürü türbinler karadakilere oranla daha yüksek hızlarda çalıştırılabilirler. Bu ise, türbin tasarımına ve kontrolüne bir kolaylık getirmektedir. Bu sebeple su derinliğinin ve trafiğinin izin verdiği ölçüde rüzgâr potansiyeli yüksek alanlarda çok sayıda yeni rüzgâr tarlaları kurulmaktadır.

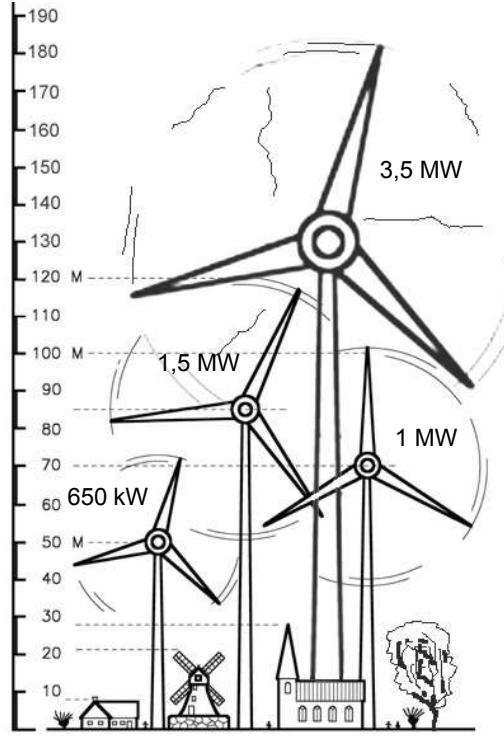
Modern rüzgâr türbinleri gücünü rüzgâr gücünü rotor bıçaklarına veya kanatlara etki eden dönme kuvvetinden yani torktan almaktadır. Kanatlara gelen rüzgâr helikopter pervanesinde olduğu gibi kaldırma etkisi sağlayarak kanatların bağlı olduğu şaftın dönmesine yol açmaktadır (Şekil 1.20).



Şekil 1.20 Türbin kanatçığındaki rüzgâr akım profili ve kaldırma kuvveti, [5].

Rotora transfer edilen enerji havanın yoğunluğuna, rotor alanına ve rüzgârın hızına bağlıdır. Deniz seviyesindeki standart hava basıncı altında 15°C de hava 1.225 kg/m³ olmasına rağmen sıcaklığın artması ile birlikte nispeten azalmaktadır. Ayrıca nemin artması hava yoğunluğunu az da olsa azaltır. Aynı türbin, yoğunluğu yüksek olan havadan yoğunluğu az olana göre daha fazla enerji alır.

Rotor alanı bir türbinin ne kadar rüzgâr enerjisi toplayabileceğini gösterir. Rotor alanı çapın karesi ile orantılı olduğundan rotor çapı iki katına çıkarken kapasite dört katına çıkmaktadır. Şekil 1.21, kullanımdaki türbinlerin büyüklük ve güçleri hakkında fikir vermektedir.

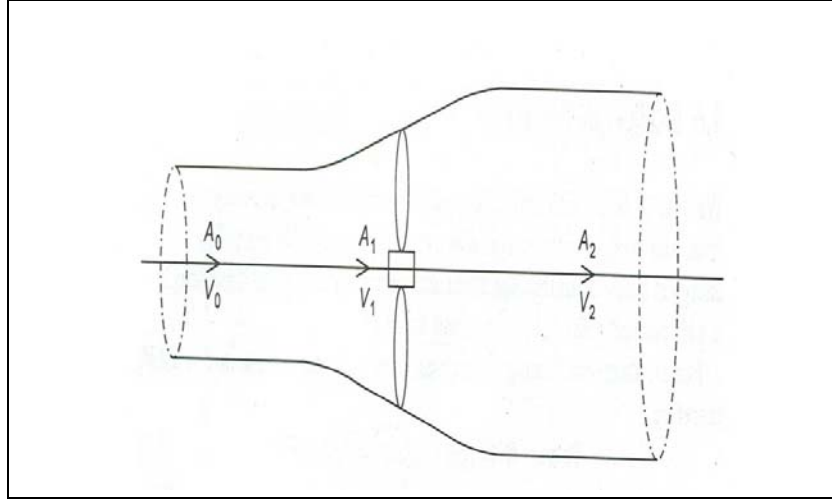


Şekil 1.21 Rüzgâr türbinleri büyüklüklerinin karşılaştırılması.

Bir rüzgâr tarlasındaki rüzgâr türbinleri de birbirleriyle rüzgâr akışını bozacak şekilde etkileşim içindedirler. Etkileşimi en aza indirmek için en uygun olarak, örneğin 1,5MW gücündeki bir türbinin tek başına yaklaşık 160.000m^2 'lik bir alana yerleştirilmesi gerekmektedir. Aynı türbinin yere montajı için ise yaklaşık 6000m^2 'lik bir alana gereksinim duyulur [5]. Temeli için ise yaklaşık $10\text{m} \times 10\text{m}$ 'lik kare şeklindeki alana ihtiyaç duyulur.

Rüzgâr türbinlerinin yerleştirilebileceği alanlar genelde verimli tarım alanlarıdır. Tarım alanı olarak kullanılan yerlerde bir rüzgâr türbinin kurulması için yukarıda belirtildiği gibi 100m^2 alan ayrılması gerekmektedir. Çiftçilere yapılacak kira ödemeleri onların gelirlerine bir katkı sağlarken, toprağın tarımsal olarak kullanılmasına da olumsuz bir etkiye bulunmayacaktır. Türbin başına alınacak ortalama 2000 USD kira 100m^2 büyüklüğündeki bir tarlada en yüksek nitelikli bitkiler yetiştirilse bile asla kazanılamaz.

Rüzgâr türbinleri rüzgârı sektirip saptırdığından dolayı rüzgârın tüm enerjisini almak mümkün değildir (Şekil 1.22). İdeal bir rüzgâr türbini rüzgârın hızını $2/3$ oranında düşürmektedir. Bu durum rüzgârın kinetik enerjisinin ancak $16/27$ yani %59'unun rüzgâr türbini ile mekanik enerjiye dönüştürülebileceğini anlatan Bet'z kanunu ile de açıklanmaktadır.



Şekil 1.22 Türbine giriş ve çıkıştaki akış profili [2].

Rüzgâr enerjisi formülü ise;

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2 \quad (1.2)$$

olarak yazılabilir. Bu denklemde

P = Rüzgârın gücü [W],

ρ (rho) = (sıcaklıkla ve nemle değişken) Havanın yoğunluğu = 1.225kg/m³,

v = rüzgâr hızı [m/s]

r = rotor yarıçapı [m]'dir.

Türbinden elde edilebilecek güç ise teorik gücün verim ile çarpımından bulunur;

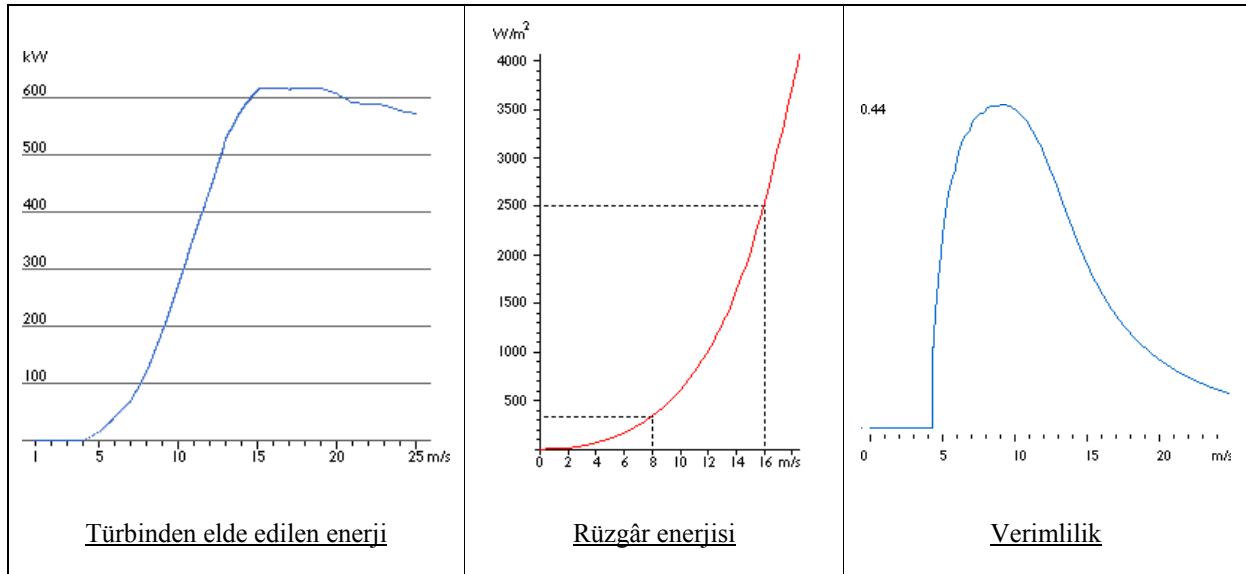
$$P = \eta_T \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2 \quad (1.3)$$

Burada η_T türbinin toplam verimini simgeler.

Buna göre, rüzgâr hızının 2 kat artışı güç potansiyelini 8 katına çıkaracağı görülmektedir.

Şekil 1.23’de yer alan grafikler, 600 kW’lık bir türbinin rüzgâr hızına göre olan güç eğrisini, rüzgârın enerjisini ve rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine çevirmekteki güç katsayısını yani verimliliğini göstermektedir. Verimlilik, elde edilen elektrik enerjisinin rüzgârın taşıdığı enerjiye bölünmesinden elde edilmiştir.

Türbin, yaklaşık 2,3m/s rüzgâr hızında (cut-in speed) güç üretmeye başlamakta ve 15m/s hıza kadar fren yapmadan üretime devam etmektedir. 15m/s ile 25m/s (cut-out speed) arası fren mekanizması çalışarak üretim sabit güç çıkışıyla devam etmektedir. 15m/s’nin üstündeki rüzgâr hızları türbinin kullanamayacağı hızlardır. Yaklaşık 55m/s hız bu türbinin dayanabileceği en büyük rüzgâr hızıdır. Anma gücü olan 2,5MW’a yaklaşık 15m/s rüzgâr hızında çıkar [12]. Şekil 1.23’de de görüldüğü gibi frenleme hızının üzerindeki hızlardan itibaren türbin verimi azalmaktadır. Bunun nedeni, türbine giren rüzgârın enerjisinde artan rüzgâr hızıyla birlikte artış olmasına rağmen türbinin bu enerjiyi artık kullanamayacak durumda olmasıdır.



Şekil 1.23 Rüzgâr enerjisi türbinler ve verimlilik, [2].

1.2.3 Rüzgâr Kaynaklı Elektrik Enerjisi Üretim Sistemlerinin Kalitesi ve İstikrarı

Elektrik enerjisindeki kalite, dengeli ve kararlı bir yapıya sahip voltaj ve frekans ile şebekede yaşanan çeşitli elektriksel gürültünün yani akım titreşimi ve harmonik sapmaların olmaması anlamındadır. Enerji üreten firmalar ve müşterileri, üretilen alternatif akımın düzgün bir sinüs eğrisine sahip olmasını istemektedirler.

Yine benzer bir şekilde türbinin ve akım jeneratörünün çalışması ve durması anında şebekede ve kendi üzerinde yaratacağı olumsuz etkilerden dolayı istikrar çok önemli bir konudur. İletim hatlarında ve trafoları elektrik akımında dalgalanmalar, trafo merkezlerinde gerilimlerde değişiklikler, kısa devre arıza akımları ve şalt tesislerinde değişiklikler, sistem dinamiği, kararlılık, reaktif güç kontrolü, gerilim sorunları, frekans kontrolü ve konvansiyonel santrallerde sıkça rastlanan yük alma ve yük atma sorunları, ulusal şebeke genelinde teknik sorunlar olarak ortaya çıkmakta, enerji dağıtım güvenilirliği ve kalitesinde bozucu etkilere yol açmaktadır.

Rüzgâr türbinlerinin büyük çoğunluğu şebekeye doğrudan bağlı durumda çalışmaktadır. Şebekeye doğrudan bağlanmamış olan türbinler, diğer türbinlere göre daha pahalı olsalar da, değişken hızda çalışabilirler.

Birçok türbinin elektronik kontrolörü düşük rüzgâr hızlarında türbinin şebeke bağlantısını keser. Bu durumda türbin serbest olarak dönmeye devam eder. Eğer düşük hızlarda şebeke bağlantısı devam ederse türbin jeneratörü elektrik motoru olarak çalışmaya başlar. Rüzgâr hızı istenilen seviyeye gelirse türbin tekrar şebekeye bağlanır ve elektrik enerjisi üretmeye başlar. Yüksek rüzgâr hızlarında üretim olmazsa türbinin hızına karşı sadece dişli kutusu ve diğer mekanik aksamın yarattığı sürtünme kuvveti etkili olacak ve türbin zorlanacaktır. Şebekeye bağlanamama durumlarında bu durumun önüne geçmek için frenleme sistemleri geliştirilmiştir.

Rüzgâr türbinlerini devreye alırken eğer sıradan bir şalter kullanılırsa ilk devreye girme sırasında jeneratörün mıknatıslanmasını sağlamak için gerekli olan akım nedeniyle şebekede voltaj düşüklüğüne neden olur. Bu durum ayrıca türbinin kısa bir süre için frenlenmesine de neden olur. Bu yüzden modern rüzgâr türbinleri yumuşak kalkış şalteri (soft start) gibi özel şalter sistemleriyle devreye alınır. Bu cihazlar, yarı iletken olan tristörler yardımıyla akımı devreye yavaşça geçirirler. Bu sırada, tristörler üzerlerinden geçen gücün %1-2'sinin kaybına neden olurlar. Bu nedenle tristör kullanılan türbinlerde başlangıçtan sonra çalıştırılmak üzere bir atlama (by-pass) devresi kurulur.

Rüzgâr santralleri eğer düşük kalitedeki, zayıf bir şebekeye bağlanırsa şebekedeki gerilimde ve güçte dalgalanmalar olabilir. Burada şebekenin zayıflığı, rüzgâr santrali şebekenin taşıma kapasitesi düşük bir uç noktaya bağlanması anlamında kullanılmıştır. Böyle durumlarda şebekenin taşıma kapasitesini geliştirmek kaçınılmazdır.

Şebekede voltajın çok sık değişmesi, elektrik ampullerinde titreşim yanma olarak görülen

titreme (flicker) problemini oluşturur. Zayıf şebekelere bağlı türbinlerin anlık değişken rüzgâr hızlarında çalıştıkları zamanlarda görülür. Gelişen kontrol teknikleri bunun önüne geçmiştir.

Rüzgâr santralının bağlandığı şebeke kesiminin ana bölümden izole olmasına adalaşma (islanding) denir. Bu durum şebekenin parçalarını birleştiren büyük devre kesicilerden birinin isteyerek ya da istemeden devre dışı kalmasından kaynaklanır. Devreden kalmaya aşırı yüklenme ya da bir yıldırım da neden olabilir. Eğer türbinler bir süre şebekeden izole olarak çalışırsa ana şebeke ile türbinin ürettiği akım arasında faz farkı oluşur. Kopan şebekenin tekrar devreye alınması yukarıda anlatılan şalter etkisine neden olabilir. Bu nedenle türbinlerin kontrol mekanizmaları şebeke elektriğinin fazını sürekli ölçerler. Faz farkının kontrol dışı olduğu durumlarda türbini devre dışı bırakırlar.

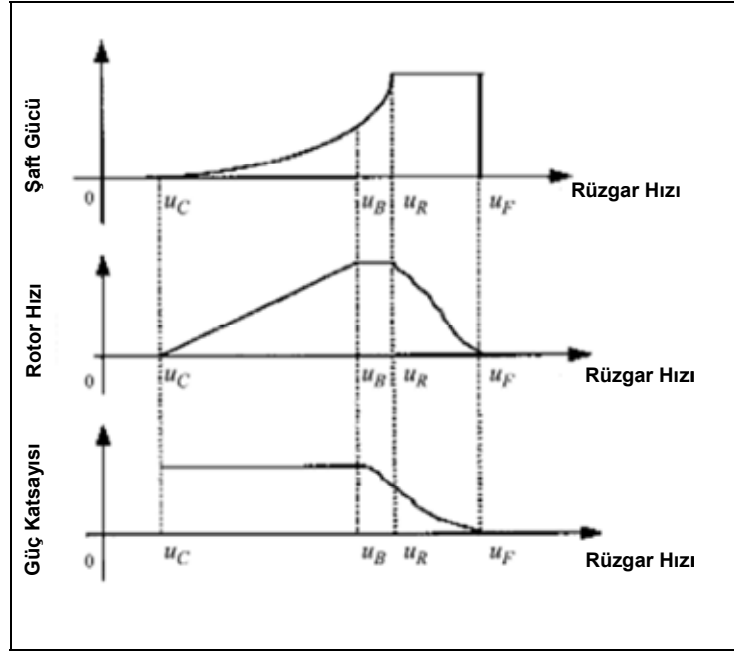
Literatürde bu konudaki çalışmalar özellikle son yıllarda türbinlerin elektronik kontrol düzenekleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

1.2.4 Rüzgâr Türbinleri Kontrol Mekanizmaları

Rüzgâr türbinlerinin kontrol mekanizmaları eskiden sadece türbini çalıştırma, durdurma ve aniden çok hızlı çalışmasını engellemek, titreşimi azaltmak gibi temel problemleri çözmek için kullanılıyordu. Günümüzde ise kontrol mekanizmaları elektronik devreler ve mikrobilgisayarlardan oluşmakta ve gerek türbinin kendi başına çalışmasını gerekse bir rüzgâr tarlası içinde birlikte çalışmasını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu konuda Amerikan Enerji Bakanlığı DOE'nin çalışmaları bulunmaktadır [2]. Bu tip gelişmiş kontrol mekanizmaları türbine aşırı yük binmesini engellediği gibi sistemin performansını ve dayanıklılığını arttırmaktadır.

Kontrol mekanizmaları ise genellikle kanat açısı kontrolü, stol etkisi (kanat üzerindeki türbülansın artması nedeniyle kaldırma etkisinin azalması) kontrolü ve hız kontrolü (değişken hız) üzerinde yoğunlaşmaktadır. Şekil 1.24'de değişken hız ile ilgili kontrol mantığı gösterilmektedir. Resimde gösterilen hızlar u_C devreye girme hızı, u_B maksimum rotor hızına çıkılan rüzgâr hızı, u_R anma gücü için rüzgâr hızı ve u_F devreden çıkma rüzgâr hızıdır. Burada üç adet çalışma durumu bulunmaktadır. Birinci durumda rüzgâr hızı u , u_C ve u_B arasında olduğu durumda türbin en uygun TSR (tip speed ratio-rotorun dönme hızının jeneratör milinin dönme hızına oranı) oranını yakalayacak şekilde değişken hızda çalışır. İkinci durumda rüzgâr hızının u_B ile u_R arasındayken türbin değişken TSR yakalayacak şekilde sabit hızda çalışır. Son durumda rüzgâr hızı u_R ile u_F arasındadır. Bu durumda türbin değişken hızda çalışırken

sabit şaft gücü üretir.



Şekil 1.24 Rüzgâr türbini çalışma modlarının kontrolü, (Şahin, 2004).

Song vd. (2000) nonlinear adaptif algoritma kullanarak rüzgâr türbinlerinin değişken hızlı kontrolü ile ilgili bir model geliştirmişlerdir. Sonuç olarak değişken rotor hızı kontrolü ile sabit hızlı türbinlere göre daha fazla enerji üretilebileceğini göstermişlerdir. Bu metot türbin jeneratörünün üzerindeki sargıdaki voltajın rotor dönme hızına bağlı olarak regülasyonunu temel alır.

Küçük ve büyük ölçekli sistemlerde ayrıca yön kontrolleri yani türbinlerin rüzgârın akış yönüne doğru dönmesi tekniği kullanılmaktadır. Ancak, kanat hızlarının kontrolünde flap, genelde büyük kapasiteli sistemlerde genellikle kullanılmamaktadır. Flap, düşük rüzgâr hızlarında kanat alanını arttırarak kaldırma kuvvetinin dolayısıyla torkun artmasını sağlar. Çoğu türbinde vites kutusu bulunurken, doğrudan güç iletim mekanizmalı (direct drive) türbin sayısında artış görülmektedir.

Ayrıca kanat açısı kontrolü ve stol (perdövites) kontrolü de türbinlerin kontrolünde önemli yer tutarlar (Muljadi ve Butterfield, 1999; Şahin, 2004).

1.2.5 Rüzgâr Türbinlerinin Birbirleriyle Etkileşimleri, Enerji Üretimi ve Rüzgâr Hızının Değişkenliği

Rüzgâr akımı, türbinin kanatlarına temas ettikten sonra hızı azalmakta ve kısmen türbülanslı

bir şekilde türbini terk etmektedir. Rüzgâr tarlalarının yerleşimi yapılırken türbinlerin rüzgârı karşılayacak şekilde ve birbirlerinden olabildiğince uzak olmasına dikkat edilmektedir.

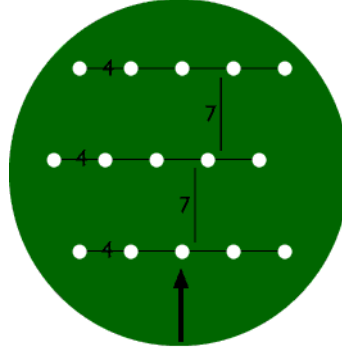
Şekil 1.25’de görüldüğü gibi bir rüzgâr türbini arkasında mutlaka iz bırakır. Aynı izi hareket halindeki gemilerin arkasında da görmekteyiz. Rüzgâr türbininin kanatçıklarına çarpan hava, enerjisinin bir kısmını bırakarak aynı zamanda yönünü ve hızını da değiştirerek düzensiz bir şekilde akmaya başlar. Türbülanslı hava hareketlerinden oluşan bu iz, rüzgâr altında bulunan diğer türbinlerin çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 1.25 Bir rüzgâr türbininin arkasında oluşan iz, [4].

Diğer yandan arazinin etkili kullanımı ve türbinleri birbirine ve enerji şebekesine bağlamanın masrafları yüzünden de türbinlerin mümkün olduğunca yakın olması gerekmektedir.

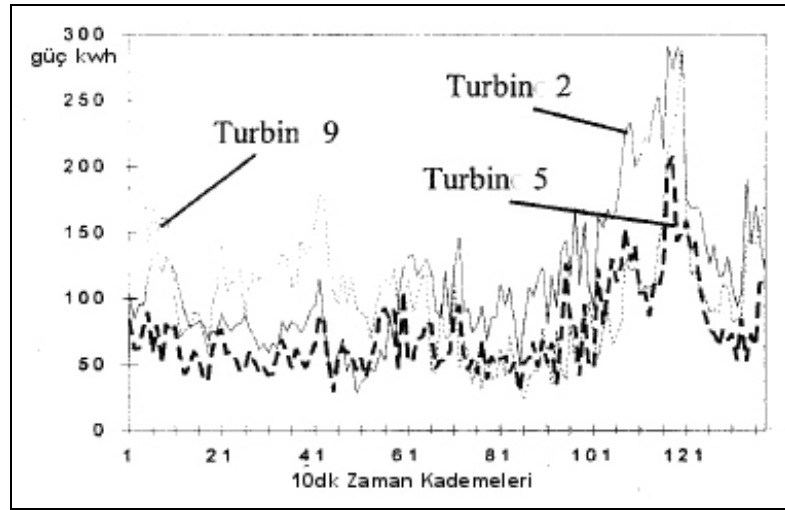
Temel bir kural olarak rüzgâr tarlaları ya da parkları kurulurken türbinlerin aralarında baskın rüzgâr yönüne paralel olarak 5 ile 9 rotor çapı, baskın rüzgâra dik yönde ise 3 ila 5 rotor çapı mesafede olmaları öngörülmektedir (Şekil 1.26) [4]. Bir adet 1,5MW gücündeki bir türbinin, rüzgâr tarlasındaki diğer türbinlerle etkileşiminin yeterince az olması için yaklaşık olarak 160.000m^2 çapında bir alana ihtiyaç duyulur. Şekil 1.26’de gösterildiği şekilde arazinin rüzgâr trendi dikkate alınıp planlama yapılırsa araziye daha çok sayıda türbin sığdırılabilir ya da aynı sayıdaki türbin daha az alanı kaplaması sağlanabilir. Bu çalışmanın konusu olan rüzgâr trendi ile santral yönetimi ilişkisinin gösterilmesindeki nedenlerden birisi de rüzgâr tarlası planlama aşamasında ana girdi olan rüzgârdan ve rüzgâr potansiyeli yüksek olan topraklardan en iyi şekilde yararlanılması konusunda yardımcı olmaktır.



Şekil 1.26 Rotor çaplarına göre ideal rüzgâr tarlası yerleşimi ,[2].

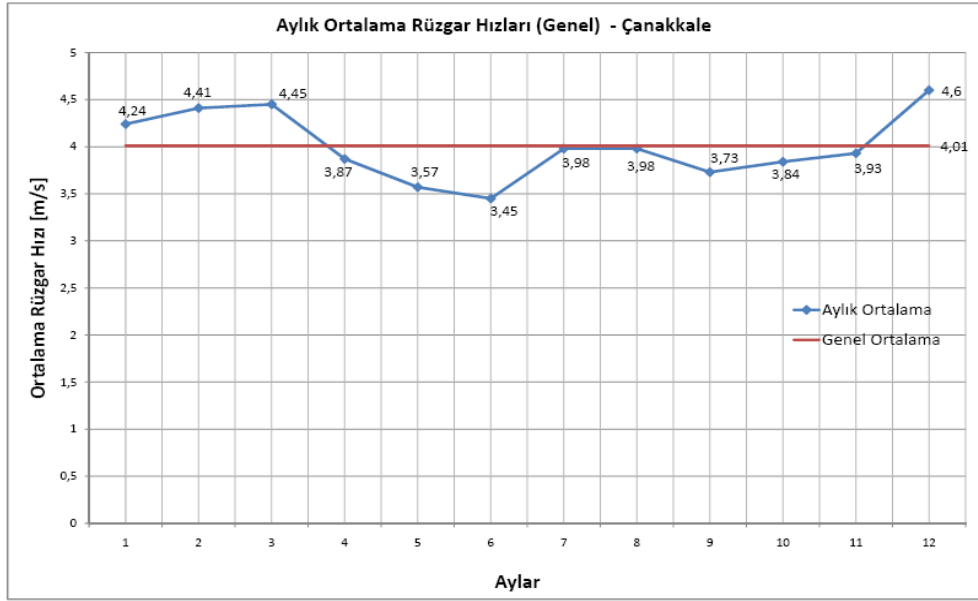
Bölgesel ve zamana bağlı olarak değişkenlik gösteren rüzgâr hızları aynı zamanda rüzgâr santrali içindeki değişik yerlerde farklılık gösterebilir, hatta rüzgâr türbinleri de aynı rüzgâr hızları altında değişik performanslar gösterebilir (Şekil 1.27).

Bu nedenlerden dolayı rüzgâr santrali kurulacak alan üzerinde yapılacak baskın rüzgâr yönlerini tespit etme çalışmaları önem kazanmaktadır.



Şekil 1.27 Aynı rüzgâr tarlasında farklı yerlerdeki rüzgâr türbinlerinin enerji üretimleri, (Li vd., 2001).

Genellikle kış rüzgârları yaz rüzgârlarından daha güçlüdürler [4]. Şekil 1.28'deki Çanakkale yöresinin aylık ortalama rüzgâr hızlarından da görülebileceği gibi, rüzgâr enerjisi potansiyeli bu bölgede kışın artmaktadır.



Şekil 1.28 Çanakkale için aylık ortalama rüzgâr hızları.

Mevsimsel rüzgâr hızı ortalaması yıllara göre en fazla %10–30 artış veya azalış göstermektedir. Önceki bölümlerde açıklandığı gibi, rüzgâr potansiyeli özellikle kışın en soğuk günlerinde batı ve kuzeyden Türkiye’ye giren yağışlı hava kütlelerinin etkisiyle daha da artar.

Böyle durumlar için, rüzgâra dayalı elektrik enerjisi oranının yüksek olduğu yerlerde, doğru bir planlamayla evsel ve endüstriyel ısıtma için rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik enerjisinden faydalanılabileceği söylenebilir. Fosil yakıt yakma prosesine dayalı elektrik enerjisiyle ısınmak iyi bir fikir değildir. Özellikle geleneksel bir termik santrale giren yakıtın %60’a yakını atık ısı olarak atılır. Yani bu tip santrallerin elektrik üretme verimleri kullandıkları yakıtların yanma verimlerinden çok düşüktür. Bu tür yakıtları ısıtma için doğrudan kullanmak daha akılcıdır [4].

1.2.6 Rüzgâr Enerjisi Santrallerini Planlamadaki Temel Sorunlar

Rüzgâr enerjisi santrallerindeki sorunları iki ana konu altında toplamak mümkündür. Bunlardan birincisi rüzgâr enerjisi potansiyeli ve zamana bağlı geleceğe dönük tahminlerin gerçekçi olarak belirlenebilmeleri, diğeri ise enerji sistemlerinin kalitesi ve sürekliliğidir.

Planlamadaki sorunlar, işletmecinin ve enerji dağıtım şirketinin karşısına, iletim hatlarında ve trafolardaki elektrik akımında dalgalanmalar, trafo merkezlerinde gerilimlerde değişiklikler, koruma sistemleri, kısa devre arıza akımları ve şalt tesislerinde değişiklikler, sistem dinamiği, kararlılık, reaktif güç kontrolü, gerilim sorunları ve frekans kontrolü ulusal şebeke genelinde

teknik sorunlar olarak ortaya çıkmakta, enerji dağıtım güvenilirliği ve kalite kistaslarını negatif yönde etkilemektedir. Türbin ve rüzgâr tarlası kontrol tekniklerindeki gelişmeler, rüzgâr santrallerinden sağlanan elektrik enerjisinin kalitesindeki ve şebekeye ile etkileşimindeki sorunları azaltmıştır.

Planlama dışındaki diğer sorunlar ise, dayanıklılık, yapısal korozyon, malzemelerde yorulma, kanatçıklarda titreşim, kanatlarda buzlanma, gürültü, kurulum için gerekli alan ihtiyacı ve yabancı kuş ölümleri şeklinde sıralanabilir (Herbert vd., 2007).

1.2.7 Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Rüzgâr Tahmini

Rüzgâr santrallerinde enerji üretiminde planlamadan üretime geçiş aşamasına kadar yaşanan başlıca sorun, rüzgâr potansiyelinin büyüklüğünün ve zamana bağlı değişiminin etkin bir şekilde modellenememesidir. Rüzgâr hızı ve yönü doğasının gereği doğrusal olmayan bir şekilde dalgalanmaktadır. Rüzgâr hızı ile ilgili tahminler, kısa ve uzun vadede olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Kısa vadede tahminde dakikalar ve saatler söz konusudur. Kısa vade daha çok rüzgâr tarlasındaki günlük operasyonlar için yararlı olmaktadır. Uzun vadede tahminde haftalar, aylar ve yıllar söz konusu olmaktadır. Bu tür tahminler daha çok, rüzgâr tarlasının planlanması ve şebeke ile bütünleşme planlamaları için kullanılmaktadır. Rüzgâr potansiyelinin büyüklüğü ve zamana bağlı değişimi için kullanılan modeller genellikle istatistikî dağılım ve tahmin modelleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Literatürde en sık kullanılan istatistikî rüzgâr potansiyel seviyesi belirleme metodu ise aşağıda grafiği görülen Weibull Dağılımı'dır (Şekil 1.29). Düzgün verisi olan istasyonların rüzgâr potansiyelini görüntülemek için kullanıma uygundur (Patel, 1999). Bunun dışındaki yöntemlere Rayleigh dağılımı ve Markov zincir metodu örnek olarak gösterilebilir.

Weibull Olasılık Dağılımı Fonksiyonu h aşağıdaki gibi yazılabilir:

$0 < v < \infty$ için,

$$h(v) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (1.4)$$

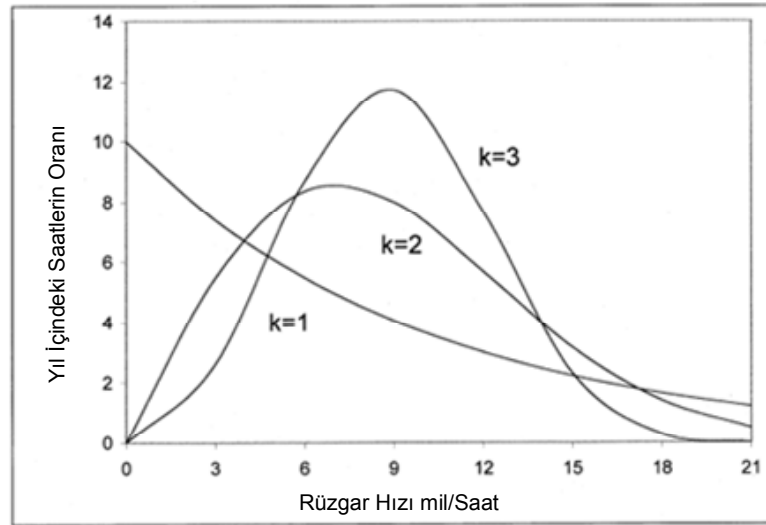
Burada v rüzgâr hızı, k şekil parametresi, c ise ölçek parametresini simgeler. Olasılık dağılım grafiğinde v 'ye karşılık gelen h , seçilen bir zaman aralığı için çizilir.

$$h = \frac{\text{rüzgar hızının } v \text{ ile } (v + \Delta v) \text{ arası estigi zaman aralığı}}{\Delta v} \quad (1.5)$$

Zaman aralığını 1 yıl olarak kabul edersek eşitlik aşağıdaki gibi olur:

$$h = \frac{\text{rüzgar hızının } v \text{ ile } (v + \Delta v) \text{ arası estigi toplam saat}}{\Delta v} \quad (1.6)$$

h 'nin birimi m/s başında 1 yıldaki saat sayısıdır.



Şekil 1.29 Ölçek parametresi $c = 10$ ve şekil parametresi $k = 1, 2$ ve 3 için örnek Weibull olasılık dağılımı.

Literatürde istatistiksel modellerle rüzgâr potansiyeli tespiti konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde, özellikle Türkiye’de yapılan çalışmalara değinilmektedir.

Durak ve Şen (2002) Akhisar’daki rüzgâr potansiyelini belirlemek üzere 1997–1998 yılları arasındaki 1 yıllık veriyi kullanarak istatistiksel çalışmalar yapmıştır. Metot olarak Weibull dağılımını kullanmışlardır. Şahin vd. (2004) Weibull dağılımı metodunu kullanarak Doğu Akdeniz bölgesinde rüzgâr potansiyelini belirleme çalışmaları yapmışlardır. Çalışmalarda bölgenin Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden (DMI) alınan 1992–2001 yılları arasındaki rüzgâr hızı ve yönü verisini kullanmışlardır. Eskin vd. (2006), Gökçeada’nın rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek üzere 3 yıl boyunca adanın çeşitli yerlerinde ölçümler yapmışlardır. İstasyonların ölçüm verilerini kullanarak Weibull dağılımlarını çıkarmışlardır. Weibull dağılımlarını gerçek ölçüm değerleriyle karşılaştırmışlardır. Şen ve Şahin (1998), Türkiye’nin kıyı şeridinde bulunan birçok istasyon için rüzgâr verileri yardımıyla Standart

Bölgesel Bağımlılık Fonksiyonu metodunu kullanarak istatistiksel çalışmalar yapmışlardır. Bu metodu kullanarak istasyonların uzaklığa bağlı olarak sadece rüzgâr hızı açısından birbirleriyle etkileşimlerini gösteren etkileşim ağırlıklarını çıkarmışlardır. Bu metot esas olarak basit bir enterpolasyon tekniğidir.

Gökçek vd. (2006) Kırklareli kent merkezindeki rüzgâr enerjisi potansiyelini bulmak için istatistiksel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarda, Elektrik İşleri Etüt İdaresinden elde edilen 2004 yılı rüzgâr ölçümlerini kullanılmışlardır. Standart olarak 10m için ölçülen rüzgâr hızı verileri yüksekliğe bağlı hız düzeltme bağıntısı kullanılarak 30, 40, 60 ve 80m için rüzgâr hızlarını hesaplamışlar ve çalışmalarında kullanmışlardır.

Sırdaş (2004) Marmara ve Batı Karadeniz bölgelerindeki bazı istasyonlar için 1993–1997 yılları arasındaki yaz ve kış mevsimindeki 4 ayın verilerini kullanarak rüzgârın anlık değişimlerini gösteren rüzgâr harmoniklerini çıkarmıştır. Sonuçları kullanarak bölgenin rüzgâr trendi hakkında yorumlar yapmıştır.

Stoukides vd. (2003) Mikta-Selanik bölgesindeki rüzgâr potansiyelini bulmak amacıyla bölgedeki istasyonlarda ölçülmüş olan rüzgâr hızları için Wiebull dağılımlarını çıkarmışlardır. Bulunan rüzgâr hızı dağılımlarıyla Ege Denizi’ndeki adalarda bulunan deniz suyu arıtma tesislerinin rüzgâr enerjisi santralleri kullanılarak çalıştırılabilme durumunu incelemişlerdir.

Literatürdeki Yapay Sinir Ağları ile rüzgâr ve rüzgâr enerjisi çalışmaları “Yapay Sinir Ağları ve Yenilenebilir Enerji” başlığı altında verilmiştir.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

2.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) modelleri üzerinde, özellikle insan mantığı gibi bir tanımlama performansı yakalamak için yaygın olarak çalışılmıştır. Tanımlama ve iz yakalama konuları YSA üzerinde çalışanların ilgi alanı olmuştur. Uygulama alanlarına örnek olarak, iz tanımlama (path recognition), fonksiyon benzeşimi (function approximation), optimizasyon, tahmin ve otomatik kontrol uygulamaları gösterilebilir. YSA modellerinde bulunan ağlarda birbirleriyle paralel olarak çalışan ve insanlardaki sinir hücrelerindeki bağlantıları taklit eden bir takım nonlinear hesap elemanları bulunmaktadır. Bu sayede, özellikle lineer olmayan problemlerin çözümünde yüksek performans göstermektedir.

YSA'lar bağlantı modelleri, paralel dağılımlı işlem modelleri ve sinirsel sistemler gibi birçok şekilde anılırlar. Bağlantısal düşünme mantığının temelleri Yunan filozof Aristo'ya dayanır. İnsan mantığının temelinde birbirine değişik mekanizmalarla bağlı olan çeşitli elemanlardan oluştuğunu söylemiştir.

Sinir ağlarının uygulama alanına iki ana perspektiften bakılabilir. Birincisi, bir şeylerin nasıl olduğunu kavramaya çalışan bilim dalı yani mantıktır. İkincisi ise bağlantı kurma, yaklaşımda bulunma ve veri işleme teorisidir. Bu çalışmada YSA'lara mühendislik perspektifinden yaklaşmıştır.

YSA'lar iz bağlantısı konusunda ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılırlar. İleri beslemeli ağlarda döngü yoktur. Geri beslemeli ağlarda geriye doğru bağlantılar olduğu için döngüler oluşur. İleri beslemeli ağların hafızası yoktur. Verilen girdilere göre sadece tek bir çıktı seti alınır. Bunun aksine, geri beslemeli ağların geçici bellekleri vardır. Bu yüzden istatistiksel çalışmalarda çok iyi sonuçlar verir. Bu tezdeki tahmin çalışmalarında geri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır.

2.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihi

1943 yılında, sinirbilimcisi olan McCulloch ve matematikçi Pitts, ilk hücre modelini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada yazarlar biyolojik sinir hücresinden etkilenecek temel mantık işlemleri yapabilen basit bir işlem birimi modeli gerçekleştirmişlerdir. Bunun yanında birkaç hücrenin ara bağlaşımlarını incelediler. Hebb, 1949 yılında hücre bağlantılarını ayarlamak için ilk öğrenme kuralını önermiştir.

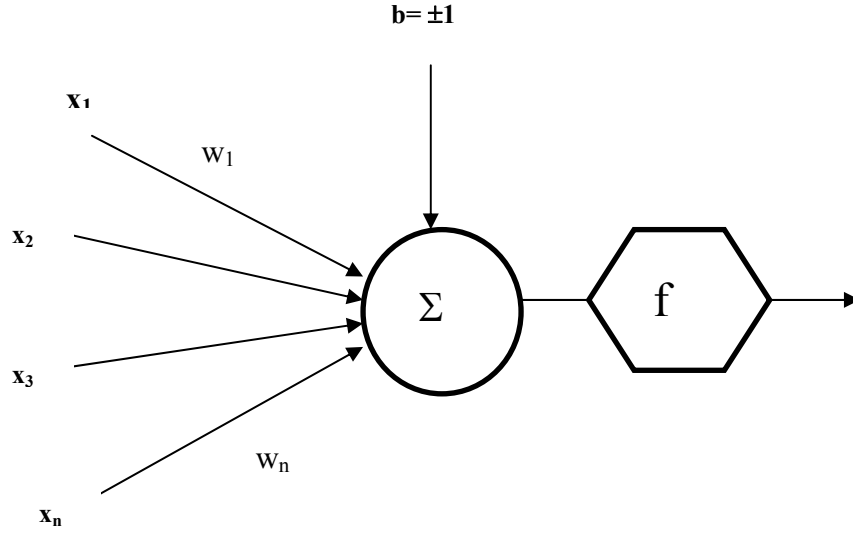
1958'de Rosenblatt, algılayıcı (perceptron) modelini ve öğrenme kuralını geliştirerek, bugün kullanılan kuralların temelini koymuştur.

1960 yılının ortalarından, 1980 yılının başına kadar bir durgunluk dönemi yaşanmıştır. Çalışmaları büyük ölçüde azaltan bu durgunluğun en önemli faktörlerinden birisi o dönemdeki bilgisayarların işlem kapasitelerinin yetersiz oluşudur. Günümüzde, seri olarak çalışan hızlı birimlerden oluşmuş sayısal bilgisayarlar, aritmetik işlemlerde yüksek hız, kapasite ve güvenilirlik sağlamışlardır.

Yapay sinir ağlarındaki yeniden dirilişe donanım teknolojisindeki gelişmelerin katkısı büyük olmuştur. Bilgisayarlar boyut olarak küçülmüş, fakat bellek ve yetenek bakımından sürekli büyümüş ve gelişmişlerdir. Optik ve dijital teknolojideki gelişmeler ve VLSI teknolojileri gibi teknolojilerin keşfedilmesi bilgisayarların hızlarını arttırmış ve yapay sinir ağlarının kullanımını kolaylaştırmıştır. Günümüzde yapay sinir ağları artık teorik ve laboratuvar çalışmaları olmaktan çıkmış ve günlük hayatta kullanılan sistemler oluşturmaya ve pratik olarak insanlara faydalı olmaya başlamışlardır.

2.1.2 Yapay Sinir Ağı Hücresi

Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli aşağıdaki şekilde görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışı hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlinear) bir fonksiyondur. Şekil 2.1'de görülen b bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir:



Şekil 2.1 Temel yapay sinir ağı hücresi.

$$\text{Çıkış, } o = f(W.X + b) \quad (2.1)$$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \quad (2.2)$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Normalize edersek;

$$\text{net} = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(\text{net}) \quad (2.4)$$

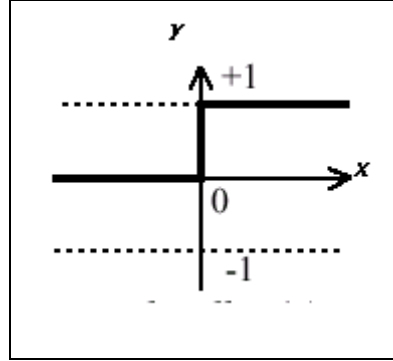
$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (2.5)$$

şeklinde de yazılabilir.

Yukarıdaki formülde görülen f aktivasyon fonksiyonudur. Genelde nonlinear olan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır.

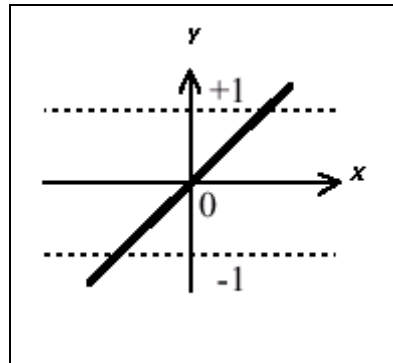
2.1.3 Aktivasyon Fonksiyonları

Şekil 2.2’de eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu, eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir. Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1 ile +1 arasında değişeni ise signum aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Signum aktivasyon fonksiyonu, net giriş değeri sıfırdan büyükse +1, sıfırdan küçükse -1, sıfıra eşitse sıfır değerini verir.



Şekil 2.2 Eşik aktivasyon fonksiyonu.

Şekil 2.3’te ise doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 2.3 Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.

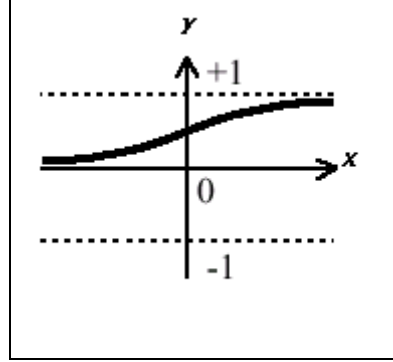
Doğrusal aktivasyon fonksiyonu;

$$f(x) = x \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Logaritma sigmoid transfer fonksiyonu ise Şekil 2.4’ten görülebilir. Bu fonksiyon, aynı

zamanda lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Bu fonksiyonunun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmekte; böylece daha sonraki bölümlerde görülecek olan geri yayınlımlı ağlarda kullanmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 2.4 Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

Lojistik fonksiyonu,

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (2.7)$$

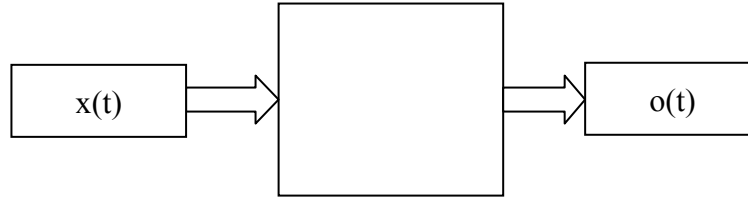
şeklinde ifade edilir. Buradaki β eğim sabiti olup genelde bir olarak seçilmektedir. Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da lineer olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir,

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.8)$$

Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır.

2.1.4 Yapay Sinir Ağları Modelleri

En basit ve en genel yapay sinir ağları tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. Yapay sinir ağı modelleri temel olarak iki grupta toplanmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6). İleri beslemeli yapay sinir ağlarında gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağ ağırlıkları güncellenir.

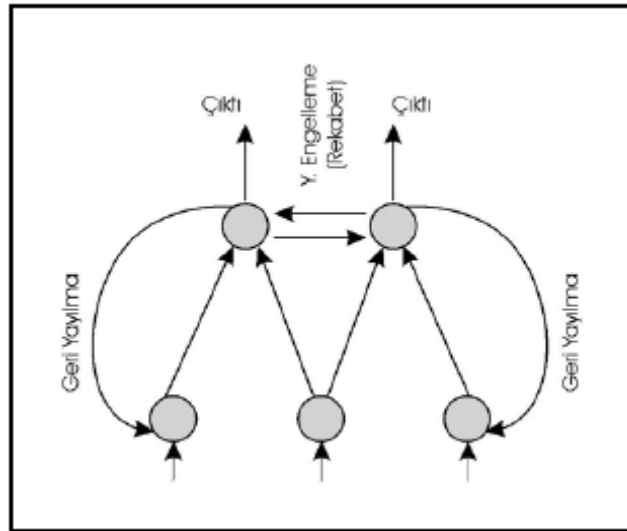


Şekil 2.5 İleri beslemeli yapı, (Yurtoğlu, 2005).

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ise tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Geri beslemeli Yapay Sinir ağ, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan elde edilir. Ağın t anındaki çıkışı $o(t)$ ise, $t + \Delta$ anındaki çıkışı ise $o(t + \Delta)$ 'dır. Buradaki Δ sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli yapay sinir ağları gösterimi kullanılarak $o(t + \Delta)$ şöyle yazılabilir:

$$o(t + \Delta) = f [W.o(t)]. \quad (2.9)$$

Bu formül, Şekil 2.6 da gösterilmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta başlangıç anında $x(t)$ 'ye ihtiyaç duyulmasıdır. Başlangıç anında $o(0) = x(0)$ 'dir.



Şekil 2.6 Geri beslemeli yapı, (Yurtoğlu, 2005).

2.2 Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

İnsan beyni doğumdan sonraki gelişme sürecinde çevresinden duyu organlarıyla algıladığı

davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübelenir. Artık olaylar karşısında nasıl tepki göstereceğini çoğu zaman bilmektedir. Fakat hiç karşılaşmadığı bir olay karşısında yine tecrübesiz kalabilir. Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde de, tıpkı dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi yapay sinir ağında da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşılmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılana kadar geçen zamana öğrenme adı verilir.

Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilir, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışı yaklaşımları incelenir. Eğer yeni verilen örneklerle de doğru yaklaşıyorsa sinir ağı işi öğrenmiş demektir. Sinir ağına verilen örnek sayısı optimum değerden fazla ise sinir ağı işi öğrenmemiş ezberlemiştir. Genelde eldeki örneklerin yüzde sekseni ağı verilir ağı eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısım verilir ağı davranışları incelenir diğer bir deyişle ağı böylece test edilir.

2.2.1 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

1990'lı yıllardan bugüne gelinceye kadar birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları temelde üç grupta toplanmaktadır: Eğitici öğrenme, eğitici öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları.

Eğitici (supervised) öğrenmede, her bir örnekleme zamanında giriş uygulandığında sistemin arzu edilen cevabı y eğitici tarafından sağlanır. Arzu edilen çıkış y ile sinir ağı çıkışı o arasındaki fark hata ölçüsüdür ve ağı parametrelerini güncellemekte kullanılır. Ağırlıkların güncellenmesi süresince eğitici ödüllendirme-cezalandırma şemasını ağı uygulayarak hatayı azaltır. Bu öğrenme modelinde giriş ve çıkış örnekleri kümesi eğitim kümesi olarak adlandırılır.

Eğitici öğrenmede, eğitici öğrenmedeki gibi arzu edilen y çıkışları bilinmemektedir. Bu yüzden kesin bir hata bilgisini ağı davranışını değiştirmekte kullanmak mümkün değildir.

Cevabın doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için öğrenme, girişlerin verdiği cevaplar gözlenerek başarıya ulaşılır. Aslında eğitici-siz öğrenme demek doğru değildir, çünkü eğitici-siz öğrenme gerçekte mümkün değildir. Eğitici her öğrenme adımına katılmamasına rağmen amacı ayarlama yapmaktır.

Takviyeli öğrenmede, ağın davranışının uygun olup olmadığını belirten bir öz yetenek bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu bilgiye göre ağırlıklar ayarlanır. Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme-yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir.

Birçok öğrenme algoritmasının bulunmasından dolayı bu kısımda sadece en popüler öğrenme algoritması olan Geri Yayınım Algoritması ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları anlatılacaktır. Diğer algoritmalar ilgili kaynaklardan incelenebilir.

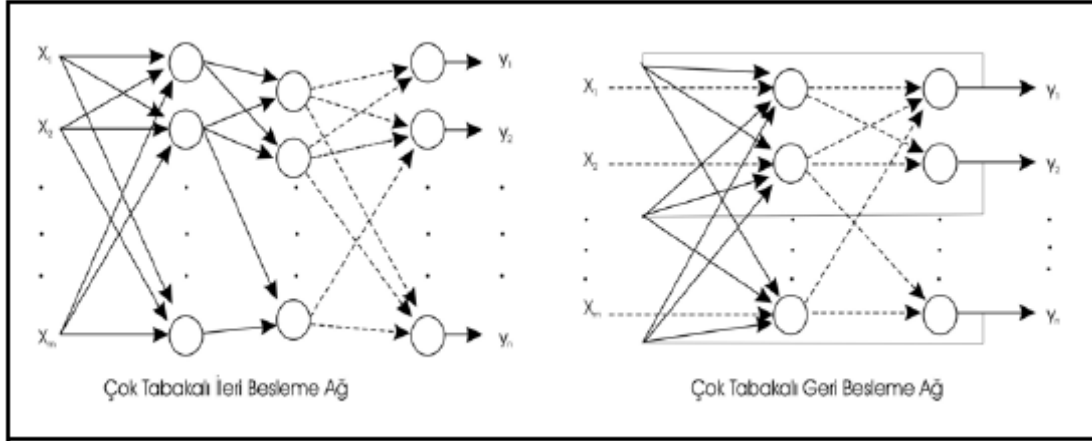
Geri yayınım algoritması eğitici-li öğrenmede kullanılan en genel algoritmadır. Basit olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır.

2.2.1.1 Geri Yayınım Öğrenme Algoritması

Geri yayınım algoritması, sinir ağının eğitici-li sınıfına giren genel bir algoritmadır. Daha öncede belirtildiği gibi girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmektedir. Hata yani $e(k)$, arzu edilen çıkış (gerçek çıkış - $y(k)$) ile sinir ağının çıkışı ($o(k)$) arasındaki farktır.

$$e(k) = y(k) - o(k) \quad (2.10)$$

Şekil 2.7’de birçok sinir hücresinin bir birine bağlandığı ileri yönlü çok katmanlı bir yapay sinir ağı görülmektedir. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katman veya katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Sinir ağlarında kaç tane gizli katman kullanılacağı ve her bir gizli katmanda kaç nöron olacağı bugüne kadar belirlenememiştir, probleme göre değişen bu nitelikler deneme-yanılma yoluyla bulunur.



Şekil 2.7 İleri ve geri beslemeli çok katmanlı sinir ağı, (Yurtoğlu, 2005).

Şekil 2.7'deki çok katmanlı ağı düşünersek;

$k+1$. katmanda i . birime net giriş;

$$n^{k+1}(i) = \sum_{j=1}^{S_k} w^{k+1}(i, j) o^k(j) + b^{k+1}(i) \quad (2.11)$$

Birim i 'nin çıkışı şöyle olacaktır;

$$o^{k+1}(i) = f^{k+1}(n^{k+1}(i)) \quad (2.12)$$

M katmanlı bir ağ matris biçiminde ifade edilirse;

$$\underline{o}^0 = \underline{x} \quad (2.13)$$

$$\underline{o}^{k+1} = \underline{f}^{k+1}(\underline{W}^{k+1} \underline{o}^k + \underline{b}^{k+1}) \quad (2.14)$$

$$k = 0, 1, \dots, M-1$$

Ağın temel görevi giriş-çıkış çiftleri arasındaki ilişkiyi öğrenmektir.

$$\{(\underline{x}_1, \underline{y}_1), (\underline{x}_2, \underline{y}_2), \dots, (\underline{x}_Q, \underline{y}_Q)\} \quad (2.15)$$

Ağın performansı şöyledir;

$$E = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (y_q - o_q^M)^T (y_q - o_q^M) = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q e_q^T e_q \quad (2.16)$$

Buradaki o_q^M , q. giriş (x_q) olduğunda ağırlık çıkışıdır, $e_q = y_q - o_q^M$ ise q.girişin hatasıdır.

Standart geri yayılım algoritması için yaklaşık adım düşümü algoritmasını kullanır. Performans indeksiyle aşağıdaki gibi yaklaşılır;

$$E = \frac{1}{2} e_q^T e_q \quad (2.17)$$

Burada toplam karelerin toplamı tek giriş-çıkış çifti için karesel hatayla yer değiştirilir. Yaklaşık adım (eğitim) düşümü algoritması bundan sonra aşağıdaki şekli alır;

$$\Delta w^k(i, j) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} \quad (2.18)$$

$$\Delta b^k(i) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b^k(i)} \quad (2.19)$$

Burada α öğrenme oranıdır, şöyle tanımlanır;

$$\delta^k(i) \equiv \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \quad (2.20)$$

performans indeksinin duyarlılığı k.katmanında i. birimin net girişinde değiştirilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial w^k(i, j)} = \delta^k(i) o^{k-1}(j) \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b^k(i)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial b^k(i)} = \delta^k(i) \quad (2.22)$$

Hassaslık yeterliği aşağıdaki yinelemeli ilişkiyle de gösterilebilir;

$$\delta^k = F'(n^k) W^{k+1} \delta^{k+1} \quad (2.23)$$

Burada;

$$\dot{F}^k(\underline{n}^k) = \begin{bmatrix} \dot{f}^k(n^k(1)) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dot{f}^k(n^k(2)) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dot{f}^k(n^k(Sk)) \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

ve

$$\dot{f}^k(n) = \frac{df^k(n)}{dn} \quad (2.25)$$

$$\underline{\delta}^M = -\dot{F}^M(\underline{n}^M)(\underline{y}_q - \underline{o}_q) \quad (2.26)$$

olmaktadır.

Tüm öğrenme algoritmalarında şu adımlar izlenir. İlk önce kullanılarak giriş ileri yönde yayılır, sonra geri yayılır ve son olarak ağırlıklar ve denge güncellenir.

2.2.1.2 Levenberg- Marquardt Algoritması

Geri yayılım algoritması (GYA) çok kullanılmasına rağmen bazı dezavantajları bulunmaktadır. GYA sonuca çok yavaş olarak yaklaşmaktadır. Ayrıca lokal minimuma yakalanma riski de vardır. Geri yayılım, bir adım düşme algoritmasıyken, Levenberg - Marquardt (LM) algoritması Newton metoduna bir yaklaşımdır. LM algoritması, Newton metodunun hızıyla, adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir. (Yurtoğlu, 2005)

LM öğrenme algoritması minimumu araştırma metotlarının ikincisidir. Her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik yaklaşımla yaklaşılar ve parabolün minimumu o adım için çözümü oluşturur. $E(\underline{x})$ fonksiyonuna sahip olduğumuzu ve $\underline{x}$ parametresine göre minimize etmek istediğimizi düşünelim. Newton metodunda şöyle olacaktır.

$$\Delta \underline{x} = -[\nabla^2 E(\underline{x})]^{-1} \nabla E(\underline{x}) \quad (2.27)$$

burada $\nabla^2 E(\underline{x})$ ifadesi Hessian matrisidir ve $\nabla E(\underline{x})$ ise eğimdir. $E(\underline{x})$ 'in karelerin toplamı fonksiyonu olduğunu farz edilirse;

$$E(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i^2(\underline{x}) \quad (2.28)$$

olmaktadır.

Bundan sonra aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$\nabla E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (2.29)$$

$$\nabla^2 E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + S(\underline{x}) \quad (2.30)$$

$J(\underline{x})$ Jakobiyen matristir.

$$J(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

ve

$$S(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N \underline{e}_i(\underline{x}) \nabla^2 \underline{e}_i(\underline{x}) \quad (2.32)$$

Gauss-Newton metodu için $S(\underline{x}) \approx 0$ kabul edilir ve aşağıdaki hale gelir,

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x})]^{-1} J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (2.33)$$

Levenberg-Marquardt modifikasyonu ile Gauss-Newton metodu şöyle olur;

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + \mu I]^{-1} J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (2.34)$$

μ parametresi, bir adımda $E(\underline{x})$ artımı sonucunda bir faktörle (β) ile çarpılır, bir adım $E(\underline{x})$ azaltışında, μ parametresi β 'ya bölünür. μ büyükse algoritma adım düşümü ($1/\mu$ adımı ile) olur, küçük μ parametresi için algoritma Gauss-Newton olur. Bu algoritmadaki anahtar adım Jakobiyen matrisinin hesaplanmasıdır.

Sonuç olarak Levenberg-Marquardt algoritması çok hızlı olarak çözüme ulaşmasına rağmen

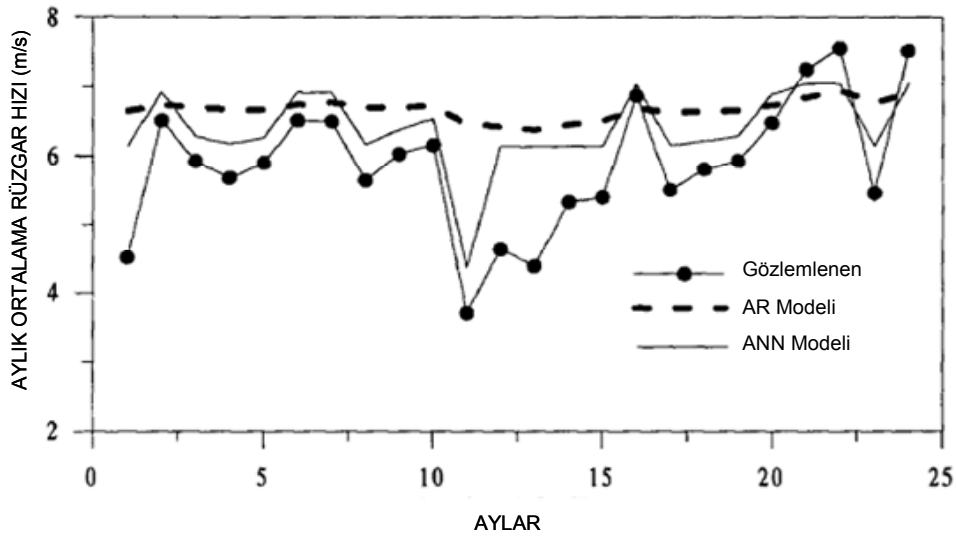
çok fazla bellek gerektirmektedir. Geri yayılım algoritması ise sonuca yavaş ulaşmakta ve daha az bellek gerektirmektedir.

2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yapay Sinir Ağları

Akıllı sinir ağları araştırmacılar tarafından yenilenebilir enerji kaynaklarının modellenmesi ve tahminlerinin yapılmasında kullanılmaktadır. Özellikle güneş panellerindeki zaman parametrelerinin, üretilen enerjinin ve depolanan suyun sıcaklığının tahmin edilmesinde ve fotovoltaik sistemlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bazı diğer uygulamalar ise pasif güneş enerjisi sistemlerindeki yük tahminleri, ticari binalardaki enerji tüketiminin tahmin edilmesi, enerji yönetimi ve modellenmesi olarak sıralanabilir (Kalogirou, 2001). Yapay sinir ağları metodu için kesin olarak diğer metotlardan üstündür demek mümkün olmasa da, belirsizliklerin yoğun olduğu yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar için iyi ve etkin bir alternatif olduğu söylenebilir.

Literatürdeki yapay sinir ağları ve yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalardan, tez konusu olması nedeniyle rüzgâr enerjisi ile ilgili örneklere değinilmiştir. Yapay sinir ağlarının rüzgâr enerjisi sistemlerindeki kullanımı, rüzgâr hızının ve potansiyelinin tahmini ve rüzgâr hızına göre türbinlerin üreteceği enerji düzeyi ile ilgili tahminlerle ilgilidir.

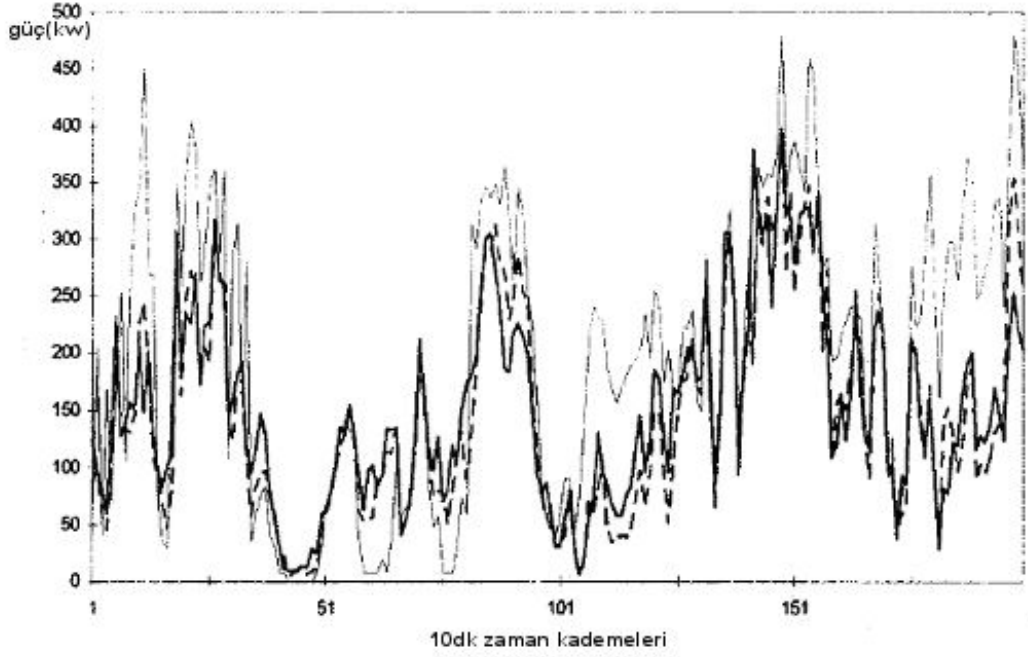
Mohandes vd. (1998) Suudi Arabistan'daki Cidde kenti için 1970–1982 yılları arasındaki saatlik rüzgâr hızı ölçümlerini kullanarak bir YSA modeli geliştirmiş ve bununla aylık ve günlük ortalama rüzgâr hızı tahminleri yapmıştır. Ayrıca AR (Auto Regressive) istatistiksel modeli ile de tahmin yaparak sonuçlarını YSA sonuçları ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda; yapay sinir ağı ile yapılan tahminlerin AR modelinin performansını yakaladığı gösterilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Yapay sinir ağları ve Auto Regressive Model ile aylık ortalama rüzgâr hızı tahmini, (Mohandes vd., 1998).

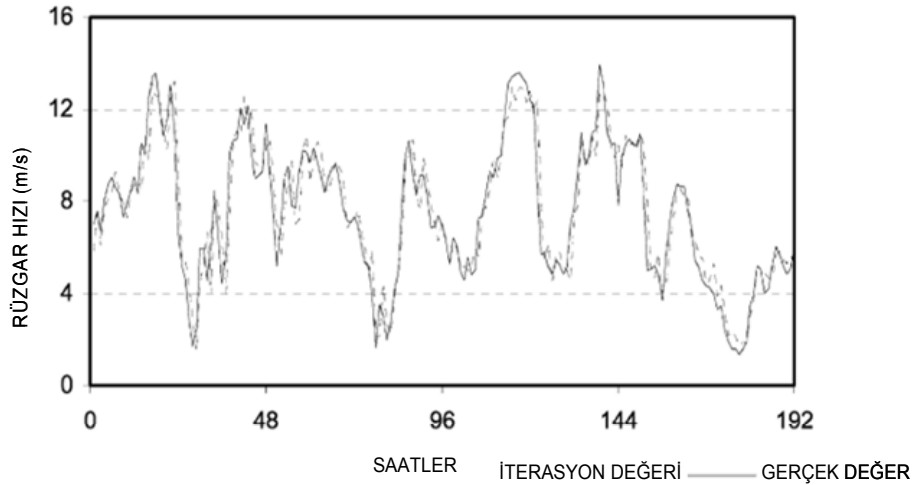
Hayashi ve Kermanshahi (2001) çalışmasında ise 1 ila 24 saatlik rüzgâr hızı tahminleri için yapay sinir ağları kullanılmış ve %90 oranında başarılı tahminler yapılmıştır.

Li vd. (2001) çalışmalarında enerji üretiminin etkilendiği diğer faktörleri göz önüne alarak kısa vadede rüzgâr hızı tahmini çalışması yapmışlar ve sonuçları bir rüzgâr tarlası çerçevesinde irdelemişlerdir. Sonuç olarak, bir rüzgâr tarlasındaki enerji üretiminin rüzgâr hızından, daha az da olsa, rüzgâr yönü ile de ilgili olduğunu, bir rüzgâr tarlasında üretilebilecek en büyük enerjinin sadece belirli yönlerden escek rüzgârla gerçekleştiğini, diğer yönlerden gelen rüzgârlarda ise enerji üretiminin daha düşük olduğunu ve YSA metodu kullanarak türbinlerin enerji üretiminin tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Çalışmada ayrıca, rüzgâr tarlasındaki türbinlerin enerji üretimlerinin arasındaki farklar zamana bağlı olarak gösterilmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Yapay sinir ağları ile rüzgâr türbini güç tahmini, (Li vd., 2001).

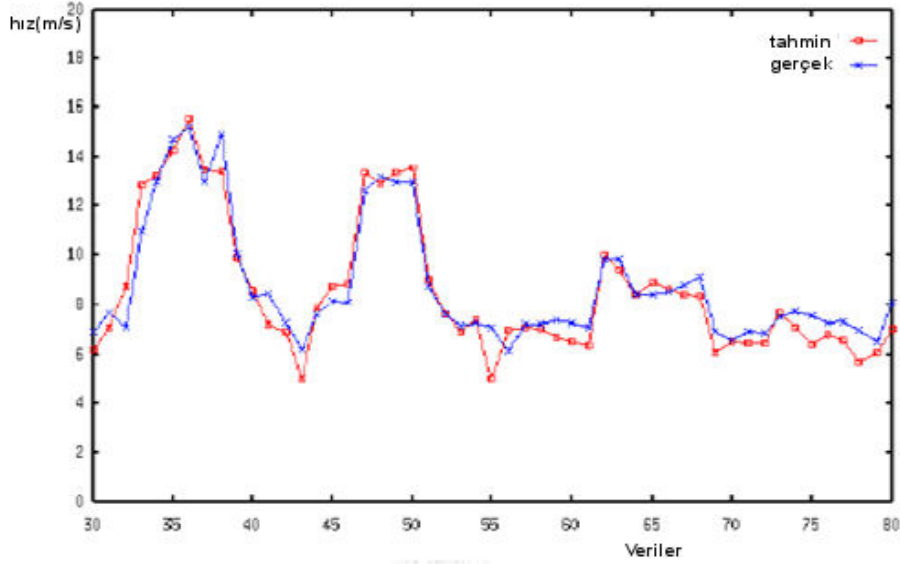
Sfetsos (2002), YSA kullanarak zaman serileri analiziyle saatlik ortalama rüzgâr hızı tahmini hakkında yeni bir metot geliştirmiştir. Model, 2 adet farklı istasyonun zaman serileriyle test edilmiştir. Daha sonra klasik metotlarla (ARIMA) karşılaştırılmış ve YSA modelinin ölçülen değerlere en yakın sonucu verdiği görülmüştür. Şekil 2.10'da saatlik rüzgâr hızı tahmini ve ölçüm değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Yapay sinir ağları ile saatlik rüzgâr hızı tahmini, (Sfetsos, 2002).

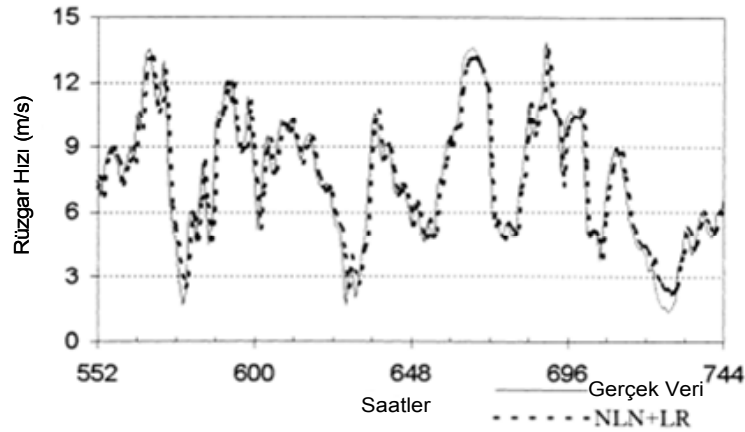
Liera vd., (2002) yaptığı çalışmada meteorolojik değişkenlerden sıcaklık, basınç, nem ve güneşlenmeyi kullanarak kısa vadeli (20 dakikalık) rüzgâr hızı tahminleri yapmışlardır (Şekil

2.11). Çalışmada anlık değerler ile 3 giriş ve 6 nöronlu yapay sinir ağlarını kullanılarak yapılmışlardır. İleri besleme ile geri yayılım algoritmaları karşılaştırılmış ve geri yayılım algoritmasının verileri iyi işleme yeteneğine sahip olması nedeniyle kullanımına karar vermişlerdir.



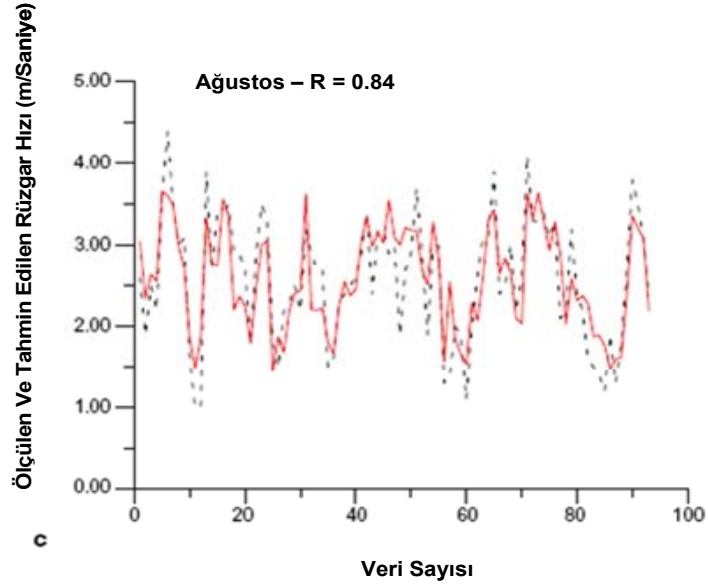
Şekil 2.11 Yapay sinir ağları ile saatlik rüzgâr hızı tahmini, (Liera vd., 2002).

Rüzgâr hızı tahmini konusunda Sfetsos (2000) mevcut modelleri yeni geliştirdiği YSA modeli ile karşılaştırılmıştır ve karşılaştırılan modeller içinden (ARMA ve diğer geleneksel lineer modeller) en az hata veren metodu yapay sinir ağı olarak bulmuştur (Şekil 2.12). Ayrıca, ANFIS (adaptive neuro-fuzzy interference systems) ve Sinirsel Mantık Ağı (NLN) metodlarını da denemiştir.



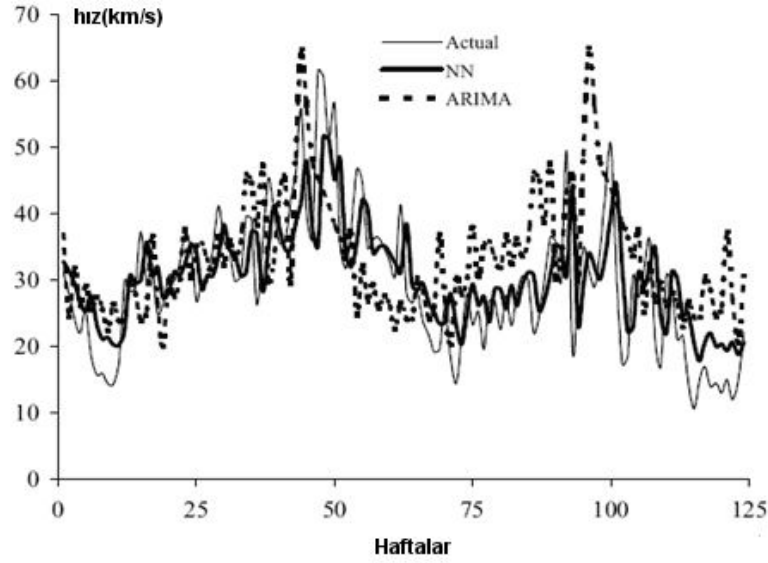
Şekil 2.12 Yapay sinir ağları ile rüzgâr hızı tahmini, (Sfetsos, 2000).

Öztopal (2006) Marmara Bölgesindeki bazı istasyonlar için rüzgâr hızı tahminini Trigonometric Point Cumulative Semivariogram (TPCSV) ve YSA tekniklerini kullanarak modellemiş ve YSA modelinin rüzgâr hızı tahmininde daha başarılı olduğunu göstermiştir (Şekil 2.13). Çalışmalarında incelenen istasyonların 1993–1997 arasındaki rüzgâr hızı verilerinden yararlanmıştır.



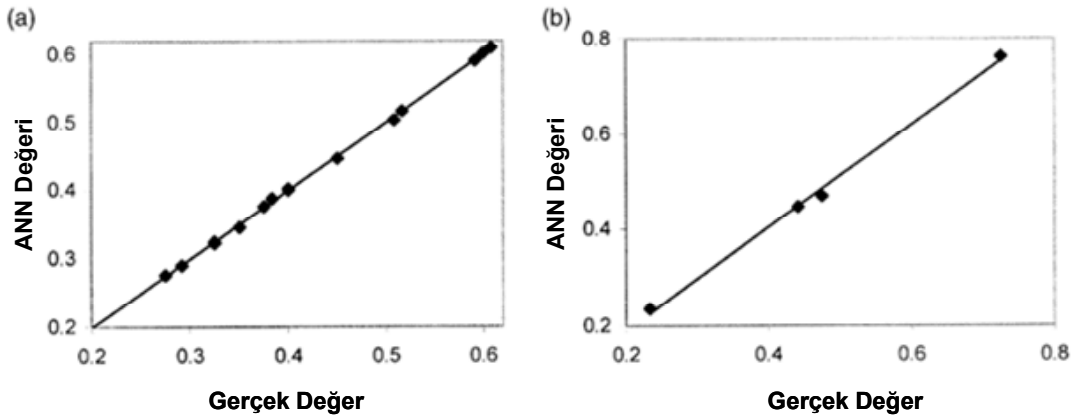
Şekil 2.13 Yapay sinir ağları ile rüzgâr hızı tahmini, (Öztopal, 2006).

More ve Deo (2003) Hindistan’da, kıyı şeridi boyunca olan alanlar için önceki ölçümleri kullanarak YSA metodu ile rüzgâr hızı tahminleri yapmışlardır. Çalışmada, son üç aydaki sadece rüzgâr hızlarını girdi olarak kullanıp bir sonraki ayın ve haftanın rüzgâr hızını tahmin etmek için yapay sinir ağları kullanmışlardır. YSA modellemesi sonuçlarının geleneksel istatistiksel zaman serileri metoduna göre daha başarılı olduğunu bulmuşlardır (Şekil 2.14).



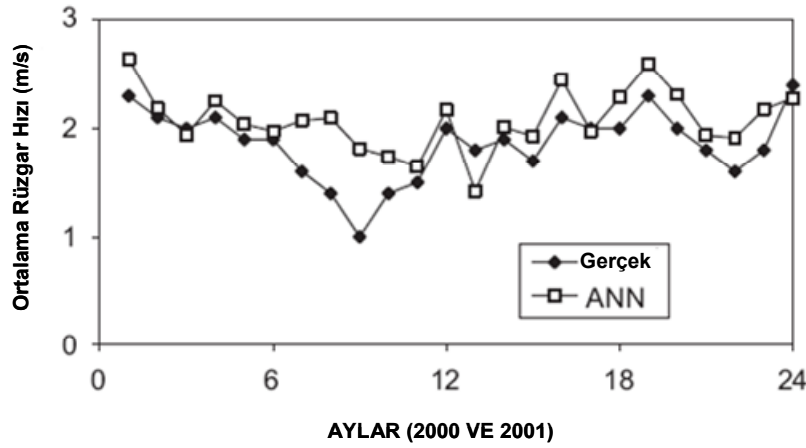
Şekil 2.14 Yapay sinir ağları ile haftalık rüzgâr hızı tahmini, (More ve Deo, 2003).

Arcaklıoğlu vd. (2005)'e göre, sadece istatistiksel metotların kullanımının yanında meteorolojik metotların, saatlik ve birkaç günlük zaman aralıkları için tahminlerde iyi sonuçlar vermektedir (Şekil 2.15). Ancak, meteorolojik metotların kullanımı için çok karmaşık simülasyon modelleri gereklidir. Bu modellerde girdi olarak geniş bir alandaki basınç, sıcaklık ve rüzgâr hızı gibi çok sayıda ve eksiksiz girdiye, diğer bir deyişle, çok sayıda ölçüm istasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. YSA metodunun ise ortalamanın üzerinde başarılı bir tahmin için daha az ölçüm istasyonuna ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak, uzun ve kısa vade tahminlerde meteorolojik metotların yine de YSA modellemeleri kadar pratik ve hassas olmadığını göstermişlerdir.



Şekil 2.15 Yapay sinir ağları ile rüzgâr hızı tahmini, (Arcaklıoğlu vd., 2005).

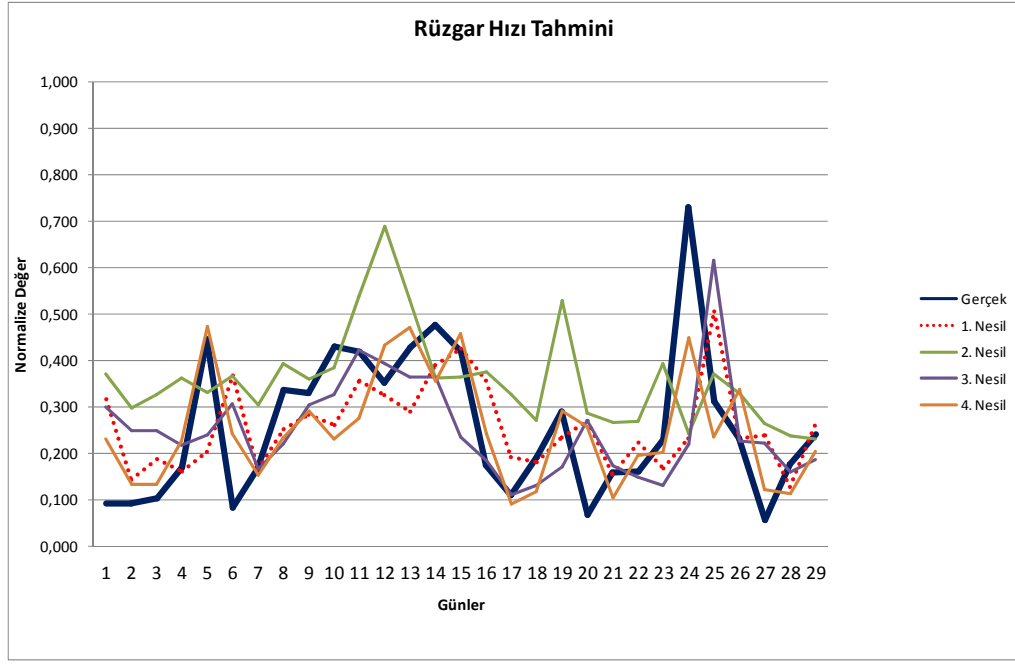
Şahin vd. (2006) YSA modeli kullanarak Türkiye'nin Doğu Akdeniz yöresindeki 7 adet istasyonun saatlik rüzgâr verilerini referans olarak kullanıp 8. istasyonun aylık ortalama rüzgâr hızını tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarda 1992–2001 yılları arasındaki DMI verileri kullanılmıştır. YSA modellemesinde geri yayılım öğrenme algoritması ile birlikte, aktivasyon fonksiyonları olarak PURELIN ve LOGSIG kullanılmıştır. Tahmin sonucu en yüksek ortalama mutlak hata yüzdesi %14,13 bulunduğu söylenmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Yumurtalık istasyonu için aylık ortalama rüzgâr hızları için YSA tahmini ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması, (Şahin vd., 2006).

Diğer bir YSA ile rüzgâr hızı tahmini çalışmasını da Theocharis ve Barbounis (2007) yapmıştır. Rüzgâr hızı tahminlerinde yerel geri beslemeli sinir ağı tekniğini ile beraber tekrarlanan tahmin hatası (RPE) yaklaşımı kullanmıştır. 15 dakika ile 3 saat arasında değişen rüzgâr hızı tahminleri gerçekleştirmiştir.

Özpınar (2007) YSA metodu ile rüzgâr hızı tahmininde kullanılan girdi sayısını ve niteliklerini geliştirerek 4. nesil adını verdiği yeni bir metot geliştirmiştir (Şekil 2.17). Bu metotta diğer nesil veri girdilerinde kullanılan rüzgâr hızı, hava basıncı, bağıl nem ve hava sıcaklığının yanında bu parametrelerdeki değişimleri de girdi listesine eklemiştir. Uzun ve kısa vadede tahmin üzerinde çalışmıştır. Tahminlerinde diğer nesil metotlarla karşılaştırıldığında önemli ölçüde iyileşme kaydetmiştir.



Şekil 2.17 Günlük ortalama rüzgâr hızı tahminlerinde çeşitli nesiller bazında iyileştirme, (Özpınar, 2007).

Literatürde görüldüğü gibi, YSA ile rüzgâr tahmini çalışmaları rüzgâr hızı üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada ise rüzgâr hızının yanında, rüzgâr santralleri planlama ve işletmesinde büyük öneme sahip olan rüzgâr yönü ile ilgili tahminler üretilmiştir. Bunun yanında, rüzgâr tahminlerinde kullanılan en uzak iki referans istasyon arasındaki yaklaşık 180km (Bandırma-Gökçeada) ise daha önce literatürde karşılaşılmadığı ölçüde büyüktür.

3. METODOLOJİ VE ÇALIŞMA PLANI

Daha önceki bölümlerde vurgulandığı üzere, literatürde yapay sinir ağlarına dayalı olan ve özellikle rüzgâr enerjisi kaynaklı santrallerin üretimlerini tahmin için yapılan modeller, farklı ölçülmüş meteorolojik veriler kullanılarak rüzgâr hızının anlık, dakikalık ve saatlik olarak tahminine yönelik modellerdir.

Gerek ülkemizde gerekse dünyada, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santraller için, bilinmesi ve /veya tahmin edilmesi istenilen veriler kısa (günlük), orta (aylık) ve uzun dönem (yıllık) üretim tahminleridir. Özellikle, şebeke etkileşimini en aza indirmek ve sağlıklı enerji planlaması (projeksiyonu) yapabilmek için, bir bölgedeki elektrik enerjisi dağıtım ağına bağlantı yapan santrallerin tümünün günlük, aylık, dönemsel veya yıllık üretim düzeylerinin bilinmesi zorunludur. Böylece, yerel veya bölgesel çalışmayacak santrallerin, şebekeye bağlanma olasılıkları, şebeke yönetimine getireceği zorluklar belirlenebilecek ve özellikle bölgesel ve ulusal enerji arzına katkıları güvenilir olarak hesaplanabilecektir.

Çalışmada ilk aşama, tez çalışması için en uygun bölgenin neresi olduğunun bulunmasıdır. Çizelge 3.1 incelendiğinde, Marmara ve Kuzey Ege Bölgeleri'nin toplam potansiyel yönünden, rüzgâr enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırayı aldığı görülür. Çizelge 3.1 oluşturulurken REHES Türkiye Raporundaki (2007) araştırma sonuçları kullanılmıştır. Çizelgeye göre Marmara Bölgesi'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli ve bunu destekleyen elektrik şebeke altyapısı Türkiye'nin en iyisidir. Bu veriler bölgesel enerji planlamasında ön değerlendirme aşamasında kullanılabilir. Önceki bölümlerde de değinilen daha önce yapılmış olan istatistiksel çalışmalardan ve Türkiye Rüzgâr Atlası'ndan (Şekil 1.19) anlaşılacağı üzere Ege ve Marmara Bölgesi'nin özellikle deniz kıyısı olan batı kesiminin rüzgâr enerjisi potansiyeli Türkiye genelinde en ön sıradadır. Bu nedenlerden dolayı tez çalışmalarında DMİ'nin Bozcaada, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma, Tekirdağ, Florya (İstanbul), Yalova ve Çınarcık istasyonlarının verileri ile çalışılmıştır.

Çizelge 3.1'deki kısaltmalar ST – güneş ısı, WE – rüzgâr, GE – jeotermal, SHE – küçük hidro, PV – fotovoltaiik, CRHE – kanal ve nehir tipi hidrolik, BMD – biokütle direk, BMI – biokütle dolaylı, SP – pasif güneş kaynaklı enerji anlamında kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Marmara Bölgesi'nin yenilenebilir enerji potansiyeli.

Bölge	Yenilenebilir Potansiyeli	Elektik / Termal	Şebeke Altyapısı	Ulusal Öncelik
MARMARA BÖLGESİ	1. WE	Elektrik	ÇOK İYİ	WE 1/2
	2. ST	Termal		ST 4
	3. PV	Elektrik		BMD 4
	4. BMD	Termal		PV 4
	5. CRHE	Elektrik		CRHE 5
	6. GE	Termal		GE 2
	7. SHE	Elektrik		SHE 7
	8. SP	Termal		SP 4

Hesaplamalardaki karışıklıkları önlemek amacıyla DMI'nin verdiği istasyon kodları da kullanılmıştır. İstasyon kodları Çizelge 3.2'de görülebilir.

Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının DMI Kodları.

DMI İstasyon Kodu	İstasyonun Bulunduğu Yer
17056	Tekirdağ
17110	Gökçeada
17111	Bozcaada
17112	Çanakkale
17114	Bandırma
17119	Yalova
17636	Florya
17658	Çınarcık

Bu çalışmada Marmara Bölgesi içinde seçilen geniş bir bölgede rüzgâr ile elektrik enerjisi üretimi incelenmiştir. Görüleceği üzere, bu bölge rüzgâr enerjisi üretimi açısından uygulanabilirliği yüksek olan alanları içermektedir. Bölgedeki üretim düzeyi rüzgâr hızı ve yönüyle doğrudan bağlantılı olduğundan, ilgili potansiyel alanların rüzgâr hız ve yön

trendlerinin bilinmesi ya da tahmin edilebilmesi gereklidir. Ancak şebekeye bağlantısının yapılması planlanan bir santralin bulunduğu yerin rüzgâr hızı ve yönüyle ilgili olarak, uzun dönemi kapsayan veri bulunmayabilir. Bu sorun, özellikle rüzgâr santrallerinin genellikle yerleşim alanları dışında ve meteoroloji istasyonların uzak kurulmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmadaki ilk hedef, şebekeye bağlantısı yapılacak rüzgâr enerjisi kaynaklı enerji santrallerinin üretim düzeylerini planlama amacıyla belirleyecek olan rüzgâr hızı ve yönü ile ilgili verilerin öncelikle istatistiksel ve fiziksel olarak değerlendirilmesidir. Ayrıca, üzerinde meteorolojik ölçüm yapılmamış veya ölçümler sonucu elde edilen verilerin güvenilirliğinin düşük olduğu üretim alanlarındaki, rüzgârdan elektrik üretimi potansiyelini belirlemeye yönelik olarak, ölçülmüş ve kolayca ulaşılabilir meteorolojik verileri kullanan ve yapay sinir ağlarına dayalı bir model ve uygulama algoritmasının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan model yeryüzündeki herhangi bir bölge için de kullanılabilecek karakterde ve kapasitededir.

Her bir istasyon için yapılan istatistiksel çalışmaya ek olarak, mevcut ölçüm verileri kullanılarak bölgedeki tüm istasyonların minimum, maksimum ve ortalama toplam ve ayrı ayrı rüzgâr enerjisi potansiyelleri eş zamanlı olarak incelenmekte; aynı şebekeye bağlı olan, fakat farklı yerlerde rüzgârdan elektrik enerjisi üreten santrallerin gerek tek tek gerekse beraber değerlendirilmeleri durumunda sağladıkları toplam güvenilir enerji düzeyi araştırılmıştır. Diğer bir deyişle, rüzgârdan elektrik üretimine uygun bir bölgede oluşturulacak rüzgâr santralleri ağının güvenilirliği, üretim alanı sayısının artması ve dolayısıyla coğrafyasının farklılaşması ile olan gelişme incelenmektedir.

Bu çalışmada genel olarak, a) ölçüm istasyonlarının rüzgâr trendleri ile ilgili istatistiksel çalışmalar yapılmış; b) incelenen bölgenin eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırılmış ve c) rüzgâr hızı ve yönü verileri eksik ve güvenilirliği tartışılan alanlara ait rüzgâr trendlerinin tahmini için bir YSA modeli üretilmiştir. Böylece, geliştirilen istatistiksel model ve çalışmalar sonucu, incelenen yörelerin rüzgâr trendleri detaylı olarak anlaşılmakta ve rüzgâr enerjisi santralleri için enerji üretiminin kontrolü ve planlanması uzun veya kısa vadede yeterli hassasiyetle yapılabilecektir. Gerekli planlama ve denetim sonucunda özellikle büyük bir bölge içinde yayılacak rüzgâr enerjisi santralleri sisteminde toplam pik üretime nazaran genellikle daha az da olsa sürekli bir enerji üretimi olacak ve böylece rüzgâr santralleri de enerji planlaması yapılırken doğru bir şekilde değerlendirilebilecektir. YSA çalışmalarında ise öncelikli olarak rüzgârdan elektrik üretimi ağındaki boşlukları doldurmak amaçlanmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan saatlik rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, kuru termometre sıcaklığı ve hava basıncı ölçüm değerleri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Kullanılan veriler 1992 ile 2006 yılları arasını kapsamaktadır.

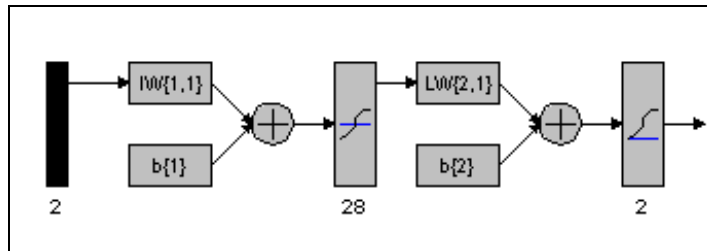
3.1.1 Yapay Sinir Ağları Hesaplama Araçları

Bu tezdeki yapay sinir ağı ile tahmin çalışmalarında Neuro Solutions (sürüm 5.05) yazılımı kullanılmıştır. Neuro Solutions, YSA ile teknik hesaplamalar ve matematiksel problemlerin modellenerek çözümü için tasarlanmış bir yapay sinir ağı simülasyonu aracıdır. YSA simülasyonları için Neuro Solutions yazılımının bir eklentisi (add-in) olan Neuro Solutions for Excel kullanılmıştır. Adından da anlaşılacağı üzere MS Excel tabanlı bir makro gibi çalışır. Neuro Solutions for Excel ile Excel'de oluşturulan matrislerin kolonları rahat bir şekilde çalıştırma (training), test etme (testing) ve çapraz doğrulama (cross validation) olarak YSA'da tanımlanabilir. Neuro Solutions, C programlama dili ile yazılmış kütüphane ve araç kutularından oluşmaktadır. Neuro Solutions, yapay sinir ağları ile ilgili olan tüm problemlerin modellenmesinde ve simülasyonunda kullanılabilir. Günümüzde yapay sinir ağı çalışmaları için en sık kullanılan program olan MATLAB'den çok daha pratik olduğu söylenebilir. NS for Excel, verilerin YSA'ya tanımlanmadan önce normalize edilmesine gerek duymaz. NS for Excel arabirimi kullanıldığında, çalışılacak veriyi barındıran matrislerin basit bir şekilde Excel tablosu kullanılarak tanımlanabilmesi çalışma süresini oldukça kısaltmaktadır. Neuro Solutions özellikle yapay sinir ağı çalışmaları için geliştirilmiş bir yazılımdır. Neuro Solutions programı veri girişi, yapay sinir ağının tanımlanması, test ve simülasyon aşamalarını başarı ile yapmaktadır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).

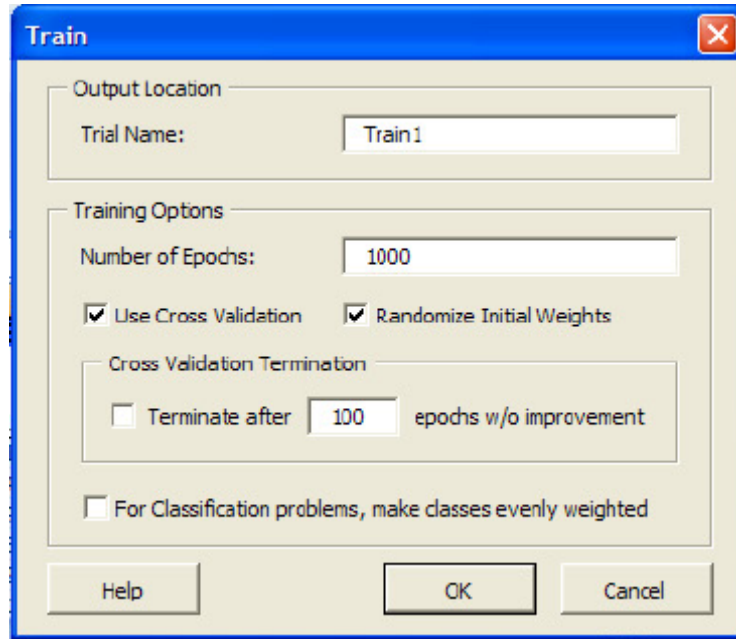
İSİM	FORMÜL	SEMBOL	KISALTMA
Hard limit	$a = 0 \quad n < 0$ $a = 1 \quad n \geq 0$		hardlim
Symmetrical Hard Limit	$a = -1 \quad n < 0$ $a = +1 \quad n \geq 0$		hardlims
Linear	$a = n$		purelin
Saturating Linear	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		satlin
Symmetrical Saturating Linear	$a = -1 \quad n < -1$ $a = n \quad -1 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		satlins
Log-Sigmoid	$a = \frac{1}{1 + e^{-n}}$		logsig
Hyperbolic Tangent Sigmoid	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$		tansig
Positive Linear	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n$		poslin
Competitive	$a = 1 \quad \text{neuron with max } n$ $a = 0 \quad \text{all other neurons}$		compet
Radial Basis	$\exp(-n^2)$		radbas
Triangular	$a = 1 - \text{abs}(n), \text{ if } -1 \leq n \leq 1$ $a = 0, \text{ otherwise}$		tribas

Şekil 3.1 Yapay sinir ağı transfer fonksiyonları.

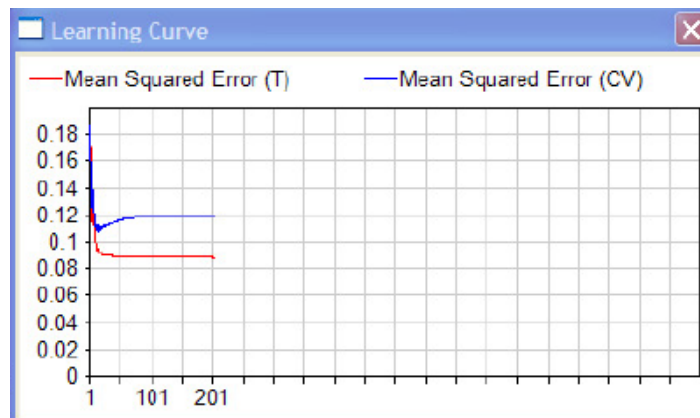
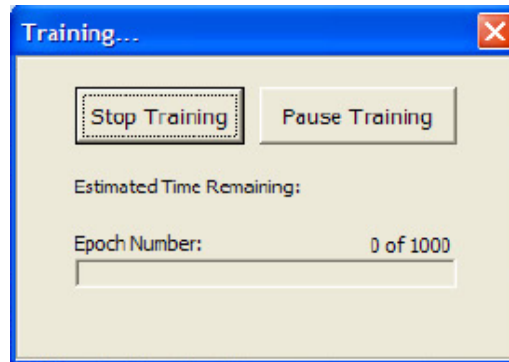
Neuro Solutions, kullanıcı ile dost ara yüzü sayesinde, dış verileri herhangi bir kaynaktan alabilir, kendi matris işlemcileri ile bunlarla ilgili her türlü işlemi yapabilir ya da NS for Excel arabirimi kullanılarak veri sütunları doğrudan tanımlanabilir. Daha sonra YSA Ağ parametreleri tanımlama ekranını kullanarak, gerekli parametreler sisteme girilerek testler yapılabilir. Ayrıca yapay sinir ağı modeli kurulumunu da veriler ışığında otomatik olarak yapabilmektedir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Modelin testi için kullanılan program arayüzü Şekil 3.5’de veilmiştir.



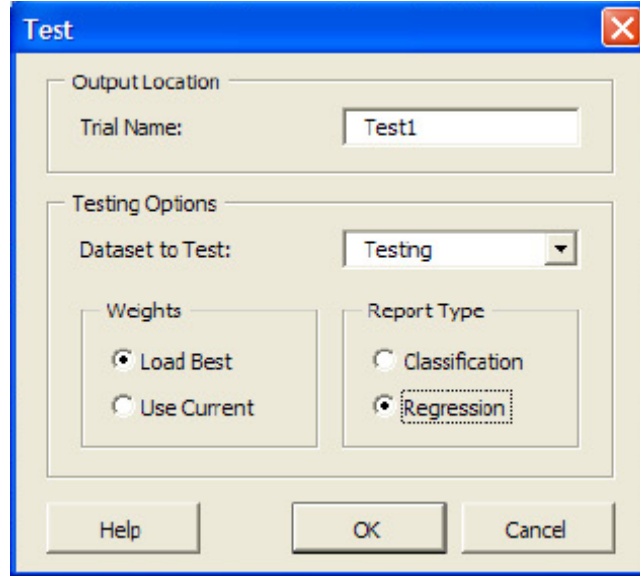
Şekil 3.2 Yapay sinir ağı modeli örneği.



Şekil 3.3 Neuro Solutions YSA çalıştırma ara yüzü.



Şekil 3.4 Neuro Solutions YSA öğrenme süreci ara yüzleri.



Şekil 3.5 Neuro Solutions YSA test ara yüzü.

3.1.2 Analiz ve Değerlendirme Yöntemleri

Çalışmalarda NS for Excel kullanıldığı için verilerin normalize edilmesine ihtiyaç yoktur. Ancak, normalizasyona ihtiyaç duyan farklı yazılımlar kullanıldığı durumlarda yapay sinir ağları ile çalışılırken ağa girilen verilerin [0,1] aralığında normalize edilmiş olması gerekmektedir. Girdileri normalize etmek için aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$Norm(x) = (x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x)) \quad (3.1)$$

Çalışılan modelin yapısına göre değişen sayılarda girdi ve çıktı sisteme tanıtılmış daha sonra girilen verilerle oluşturulan YSA modeli çalıştırılmış, ardından çapraz doğrulama işlemi yapılmış ve daha sonra da model test edilmiştir. Sonuç olarak, test verileri için eldeki gerçek veriler kullanılarak üzerinden her bir veri için hata hesaplanmıştır. NS yazılımı test verisinden olan sapmaları aşağıdaki şekillerde tanımlamaktadır:

3.1.2.1 Hata

$$E = \frac{(x - y)}{y} \quad (3.2)$$

Burada x bulunan değer, y ise ölçüm değeridir. NS yazılımı çıktılarında E ve “Error” olarak belirtilmiştir.

3.1.2.2 Ortalama Hata Kare

Hata kare, gerçek değerle bulunan değerlerin arasındaki farkın karesinden oluşmaktadır. Ortalama hata kare ise, kare hataların toplamının değer sayısına bölünmesinden oluşmaktadır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (3.3)$$

Burada x bulunan değer, y ölçüm değeri ve n ise ölçüm sayısıdır. Hataların kareleri ile değerlendirilmesi çalışmanın hassasiyetini artırır. NS yazılımı çıktılarında Ortalama Hata Kare (MSE), “Mean Squared Error” olarak belirtilmiştir.

Ortalama hata kare (MSE) bulunan değerlerden oluşan eğrinin ölçüm değerlerinden oluşan eğriye ne kadar oturduğunu gösterir.

3.1.2.3 Normalize Edilmiş Ortalama Kare Hata

NMSE kare hataların normalize edilmiş değerlerinin ortalamasından oluşmaktadır. Hesap çıktısı olan verilerin, gerçek veri (istenilen) değerinden olan sapması hakkında fikir verir. NS yazılımı çıktılarında Normalize Edilmiş Ortalama Kare Hata (NMSE), “Normalized Mean Squared Error” olarak belirtilmektedir.

3.1.2.4 Ortalama Mutlak Hata

MAE ise hataların toplamının mutlak değerinin ölçüm sayısına bölünmesiyle bulunur.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{n=i}^n (x_i - y_i) \quad (3.4)$$

NS yazılımı çıktılarında Ortalama Mutlak Hata (MAE), “Mean Absolute Error” şeklinde tanımlıdır.

3.1.2.5 En Küçük Mutlak Hata

Mutlak hataların en küçüğüdür. Çalışma sonucu bulunan değerle gerçek değer arasındaki en küçük sapmayı verir.

3.1.2.6 En Büyük Mutlak Hata

Mutlak hataların en büyüğüdür. Çalışma sonucu bulunan değerle gerçek değer arasındaki en büyük sapmayı verir.

3.1.2.7 Lineer Korelasyon Katsayısı, r

Lineer korelasyon katsayısı bir verinin gerçek verilerden oluşan doğrunun ne kadar uzağında olduğunu gösteren -1 ile 1 arasında değişen bir sayıdır. Korelasyon sayısının sıfıra yaklaşması bulunan değerın gerçek değere yaklaştığı anlamına gelir.

3.1.2.8 Verilerin YSA Analizi

NS ile çalışılırken eldeki verilerin yaklaşık %80’i yapar sinir ağını öğretme amaçlı geriye kalan verinin yaklaşık %10’u genelleme hataları ve sistemin öğrenme algoritmasından hedefe ulaşmadan erken çıkmasını engelleme amacı ile çapraz doğrulama girdileri olarak sisteme tanıtılmıştır. Son %10’lık veri ise test için kullanılmıştır. Bu veri girişleri ve tanımlamalar için NS kütüphanesinde gerekli tanımlamalar bulunmaktadır.

Transfer fonksiyonu olarak Özpınar (2007)’in rüzgâr tahminleri için test edip önerdiği Hyperbolic Tangent Sigmoid kullanılmıştır. Şekil 3.6’da NS yazılımında oluşturulan geri

Tez çalışmalarında Intel Centrino Duo, 1,83GHz hızında işlemcili ve 2gb Ram'i olan bir bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayarda işletim sistemi olarak Windows XP yüklüdür. Veri analizi ve istatistik çalışmalar için, MS Access ve MS Excel kullanılmıştır. DMİ'den (.dat) formatında alınan veriler MS Access ve Excel dosya formatına çevrilip kaydedilmiştir.

Rüzgâr hızı ve yönü verileri 1975’den 2006 sonuna kadar saatlik satırlar ve günlük sütunlar halinde gönderilmiştir. Hava sıcaklığı ve basıncı verileri de benzer şekilde alınmıştır. Alınan veriler 24 adet saatten oluşan 24 adet sütuna ve 1975’den 2006 ya kadar olan günlerin bulunduğu sütunlara ayrılmıştır. Daha sonra çalışmalarda 1992–2006 yılları arasındaki 15 yılı kapsayan veriler kullanılmak üzere ayrılmıştır. Böylece veriler işlenebilecek hale getirilmiştir. İşlenen ham veri yaklaşık 10 milyon satırdır. Toplam veri (hücre) sayısı 1 milyarı aşmaktadır. Bu veriler daha sonra istasyonlara göre gruplanmış ve çeşitli şekillerde dizilerek hesaplarda kullanılmıştır.

4. RÜZGÂR TRENDİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI

Rüzgâr enerjisi üreten santraller yenilenebilir enerji kaynakları kullanan santraller içinde ekonomik ve fiziksel açıdan uygulanabilirliği en yüksek olanlardır. Ancak rüzgârın ne zaman eseceği bilinemediğinden dolayı rüzgâr enerjisi santrallerinin güç trendini (eğilimini) belirlemek oldukça zordur. Rüzgâr gücü trendini ve buna doğrudan bağlantılı olan rüzgâr hızı ve yönü tahmini için üç seçenek düşünülebilir. Bunlardan birincisi, her türlü dış ve iç etkiler de hesaba katılmak kaydıyla atmosferin dinamik yapısının matematiksel olarak modellenmesi ve dünya genelinde yapılmış olan çok sayıdaki meteorolojik ölçüm verilerini kullanarak modeli çalıştırmaktır. İkinci seçenek ise, öğrenme kabiliyeti olmayan istatistiksel modelleme teknikleriyle çalışıp, ölçülmüş olan verilerle benzeşim yapmaktır. Üçüncü ve son seçenek ise daha önce ölçülmüş olan meteorolojik verileri kullanarak öğrenme kabiliyeti olan bir nonlinear matematiksel model geliştirerek, yapay sinir ağı (YSA) modeli ile atmosferin dinamik yapısının detaylarıyla uğraşmadan rüzgâr trendini yakalamaktır.

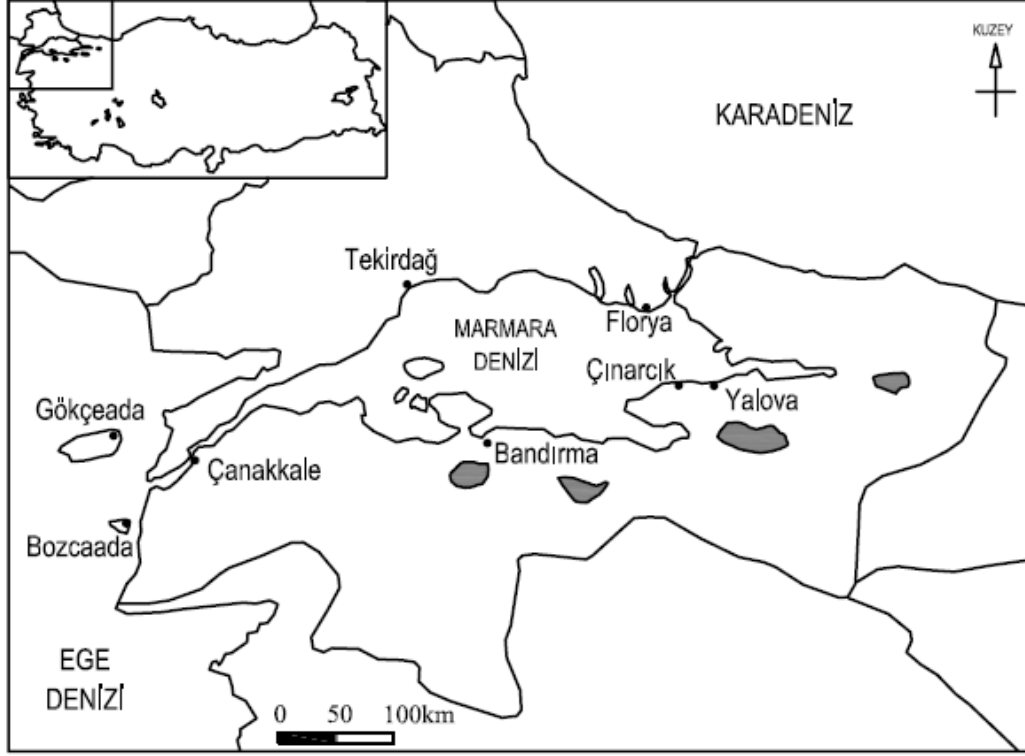
Rüzgâr trendi belirlemedeki öncelikli amaç, rüzgâr enerjisi santrali kurulumu konusunda ilgili bölgede üretilecek rüzgâr enerjisinin güvenilirliğini ve düzeyini belirlemektir. Bir yenilenebilir santralin potansiyeli doğru olarak belirlenemez ve zamana bağlı olarak çalışma ve üretim düzeyleri gerçekçi olarak tahmin edilemez ise, seçilecek kapasite ve donanım ve bunlara bağlı olarak yatırım maliyetleri de aynı ölçüde problemlidir. Güvenilirlik seviyesinin tam olarak belirlenememesi nedeniyle, bölgenin enerji planlaması yapılırken yenilenebilir enerji santrallerinin pratikte üretebilecekleri enerji miktarının küçük bir bölümü hesaba katılmaktadır.

Rüzgâr enerjisi trendi araştırılacak bölgeler seçilirken rüzgâr potansiyelinin yüksek ve elektrik enerjisi dağıtım altyapısının da iyi olduğu bölgelere öncelik verilmiştir. Bunun için sırasıyla Türkiye Rüzgâr Enerjisi Atlası ve REHES Türkiye raporu (2007) incelenmiştir. Bunlara göre Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyelinin yüksek olup aynı zamanda elektrik şebeke altyapısının da çok iyi durumda olduğu belki de tek bölge Marmara bölgesidir. Rüzgâr enerjisi yatırımlarının da çoğunlukla bu bölgeye yapılıyor olması bu tespiti onaylar niteliktedir. Ayrıca, Türkiye'de enerji tüketimi en yüksek olan bölge de Marmara bölgesidir. Tüketime yakın olan enerji üretimi de iletim kayıpları yönünden bir avantaj oluşturmaktadır.

4.1 Rüzgâr Hızı, Yönü ve Enerjisi Hakkında Genel Durum

Yüksek enerji potansiyeli ve alt yapının iyi olması nedeniyle, çalışmada DMI'nin Marmara ve

Kuzey Ege’de yer alan Bozcaada, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma, Tekirdağ, Florya, Yalova ve Çınarcık istasyonlarının verilerine odaklanılmıştır. Şekil 4.1’de istasyonların yeri Bölge haritası üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Çalışılan istasyonların Marmara Bölgesi haritası üzerinde gösterimi.

Yapılan değerlendirmelerde, bu istasyonların rüzgâr trendlerinin benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bunun ana nedeni, istasyonların bulunduğu alanların benzer iklim bölgesinde yer almaları ve genelde aynı basınç sistemlerinin etkisi altında kalmalarıdır. Ayrıca, Çizelge 4.1’den görüldüğü gibi en uzak iki istasyon arasında (Bozcaada ve Yalova) 289km uzaklık olmasına rağmen, istasyonların enlemlerinin birbirlerine yakın olması ve çoğunlukla benzer topografik özelliklere sahip olmaları nedeniyle, bu benzerlik doğal karşılanmalıdır.

Çizelge 4.1 İstasyonların konumları ve birbirlerinden olan uzaklıkları.

İstasyon	Enlem	Boylam	Denizden Yükseklik [m]	İstasyonlar Arası Uzaklıklar [km]								Toplam Uzaklık (km)
				17056 TE	17110 GÖ	17112 ÇA	17114 BA	17119 YA	17636 FL	17111 BZ	17658 ÇI	
17056 Tekirdağ	40:59:00	27:30:00	4	0,0	161,9	132,7	84,7	154,3	107,8	176,5	141,2	959,1
17110 Gökçeada	40:11:00	25:54:00	79	161,9	0,0	42,9	177,6	291,7	259,5	41,5	277,5	1252,7
17112 Çanakkale	40:08:00	26:24:00	6	132,7	42,9	0,0	136,1	251,5	222,7	43,9	237,4	1067,1
17114 Bandırma	40:19:00	27:59:00	63	84,7	177,6	136,1	0,0	116,7	100,4	171,9	102,9	890,3
17119 Yalova	40:40:00	29:17:00	4	154,3	291,7	251,5	116,7	0,0	54,9	288,6	14,2	1172,0
17636 Florya	40:59:00	28:47:00	37	107,8	259,5	222,7	100,4	54,9	0,0	263,4	46,5	1055,3
17111 Bozcaada	39:50:00	26:04:00	30	176,5	41,5	43,9	171,9	288,6	263,4	0,0	274,6	1260,4
17658 Çınarcık	40:39:00	29:07:00	16	141,2	237,4	102,9	14,2	46,5	274,6	274,6	0,0	1091,4

Diğer istasyonlara uzaklıklarının toplamı en az olan istasyon Bandırma'dır. Bu istasyonu, Tekirdağ takip etmektedir.

İstasyonlar arasındaki uzaklıklar, istasyonların bilinen enlem ve boylam değerleriyle aşağıdaki bağıntı MS Excel yazılımına girilerek hesaplanabilir.

$$d = 6378,13 \cdot \text{ACOS}(\text{COS}(\text{RADIANS}(90 - (B3 \cdot 24)))) \cdot$$

$$\text{COS}(\text{RADIANS}(90 - (B9 \cdot 24))) + \text{SIN}(\text{RADIANS}(90 - (B3 \cdot 24))) \cdot$$

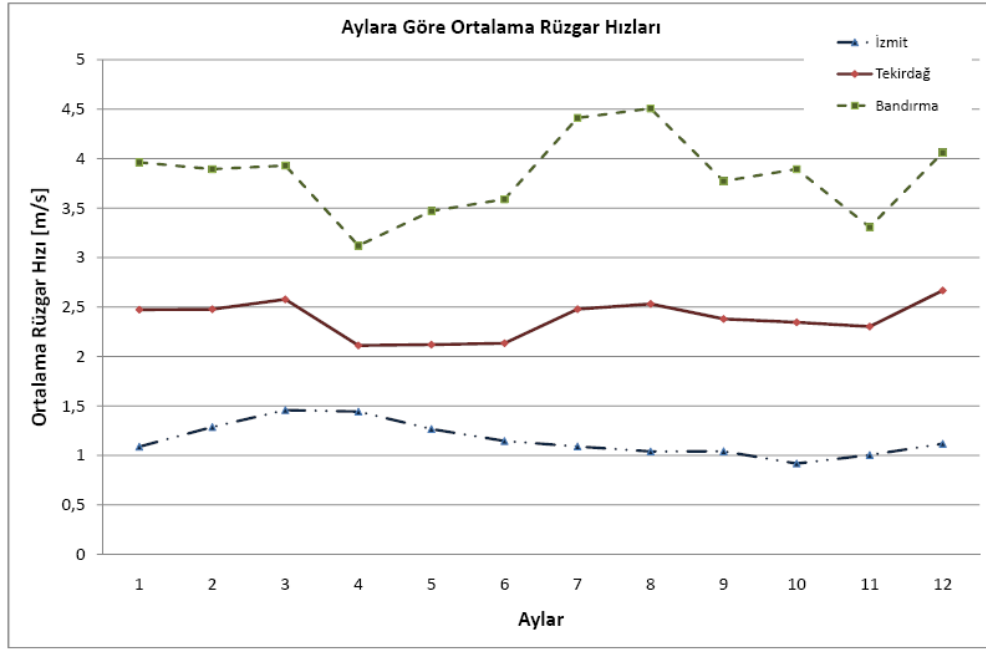
$$\text{SIN}(\text{RADIANS}(90 - (B9 \cdot 24))) \cdot \text{COS}(\text{RADIANS}(24 \cdot (C3 - C9)))) \quad (4.1)$$

Bağıntının matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$d = 6378,13 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{\cos(90 - (L1 \times 24)) \cos(90 - (L2 \times 24)) + \sin(90 - (L1 \times 24)) \sin(90 - (L2 \times 24))}{\cos(24(LA1 - LA2))} \right) \quad (4.2)$$

Burada L1, L2, LA1 ve LA2 sırasıyla birinci istasyonun enlemi, ikinci istasyonun enlemi, birinci istasyonun boylamı ve ikinci istasyonun boylamıdır. Enlem ve boylam değerleri derece, dakika ve saniye cinsinden tanımlanmalıdır ve derece, dakika ve saniyenin arasında iki nokta üst üste (:) işareti bulunmalıdır.

İncelenen bölgenin doğusu ve batısındaki yerel rüzgâr trendleri arasında çeşitli farklılıklar gözlemlenmektedir. Bu farklılıklar genel olarak deniz etkisinin azaldığı İzmit ve doğusundan itibaren daha çok hissedilmektedir. Bunu göstermek amacıyla araştırma konusu istasyonlardan Tekirdağ ile araştırmanın dışında kalan İzmit istasyonlarının uzun yıllar (1992–2006) aylık ortalama rüzgâr hızı karşılaştırması Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

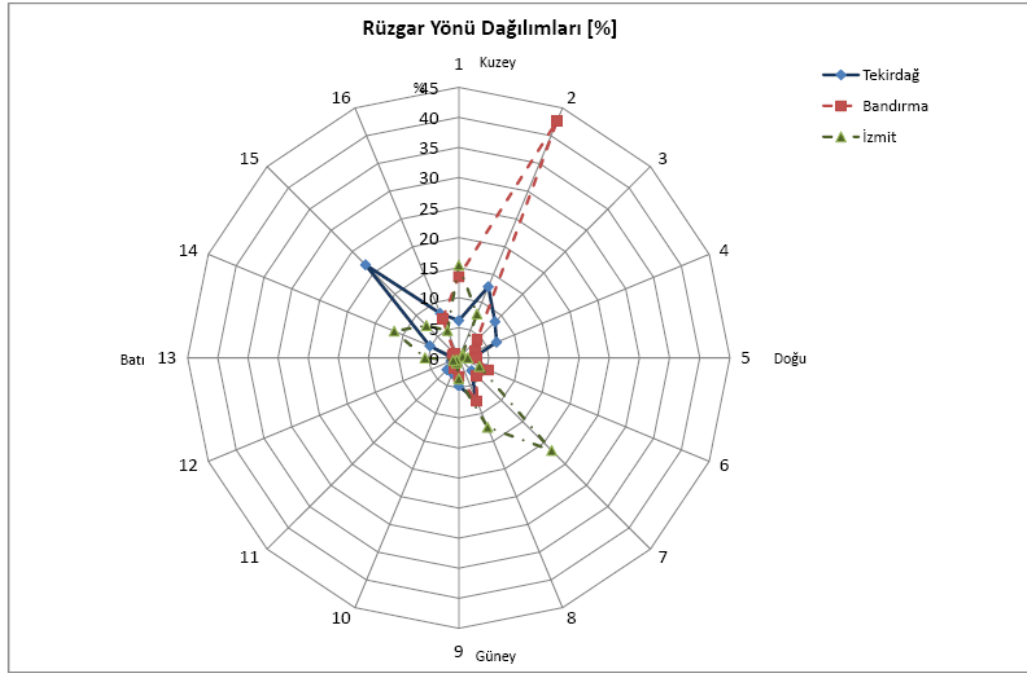


Şekil 4.2 İzmit, Tekirdağ ve Bandırma istasyonlarının uzun yıllar aylık ortalama rüzgâr hızlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.3’de ise aynı istasyonların uzun yıllar (1992–2006) rüzgâr yönü dağılımı karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şekil 4.2’den yola çıkarak Tekirdağ’daki ortalama rüzgâr hızının ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin İzmit’e oranla daha yüksek olduğu söylenebilir. Tekirdağ ve Bandırma’da kışın sert esen rüzgâr bahar aylarında yavaşlamakta ve yaz aylarında tekrar hızlanmaktadır. İzmit’te ise kışın nispeten sert esen rüzgârın hızı ilkbahar başlangıcına doğru yükselişe geçmekte ve yaz ayları boyunca sonbahar sonuna kadar bir azalma göstermekte olduğu görülmektedir. Tipik bir deniz ikliminin göstergesi olarak, güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda uzanan kıyı şeridine sahip Tekirdağ’da baskın rüzgâr yönlerinin kuzeybatı ve kuzeydoğu olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde Bandırma’da da kuzey yönlü rüzgârlar baskındır. Deniz etkisinin nispeten azaldığı, kuzey ve güneyinde ise sıradağların bulunduğu İzmit’te ise birinci baskın rüzgâr yönü güneydoğudur (Şekil 4.3). Etezyen ve meltem rüzgârları Tekirdağ ve Bandırma’da etkilidir. Bununla birlikte doğuya ilerledikçe bu rüzgârların etkisinin azaldığı

görülmektedir. Sonraki bölümlerde ilgili bölgelerin rüzgâr eğilimleri daha detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 4.3 İzmit, Tekirdağ ve Bandırma istasyonlarının uzun yıllar rüzgâr yönü dağılım oranlarının karşılaştırılması.

Daha iyi değerlendirme yapabilmek amacıyla, YSA ile tahmin konusunda ve istatistiksel çalışmalarda kullanmak üzere bazı tanımlar üretilmiştir. Bu tanımlar aşağıdaki bölümde açıklanmaktadır.

4.1.1 Rüzgâr Hızları Yönünden Pik, Zayıf ve Referans Aylar

Yönlerden bağımsız olarak uzun yıllar (1992–2006) rüzgâr hızı ortalamasının en yüksek seyrettiği ay pik ay olarak adlandırılmıştır. Bunun tersi olarak rüzgâr hızının en düşük seyrettiği aya da zayıf ay denilmiştir. Rüzgâr hızının yıllık genel ortalamaya en yakın olduğu ay da referans ay olarak tanımlanmıştır. Pik, zayıf ve referans ayları belirlemek için rüzgâr hızları verilerinin aylık olarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bu işlemin ardından, bulunan değerler büyükten küçüğe doğru dizilerek içlerindeki en yüksek ortalama hız değerine sahip ay pik ay, en düşük ortalama değere sahip ay zayıf ay ve ortalamaya en yakın ay ise referans ay olarak belirlenmiştir. Çalışmalarda kullanılan istasyonlara ait pik, zayıf ve referans aylar ile bu aylara ait ortalama rüzgâr hızları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen hızlara yükseklik düzeltme faktörü uygulanmamıştır.

Çizelge 4.2 İstasyonlara ait pik, zayıf ve referans aylar ile ortalama rüzgâr hızları (düzeltilmemiş hızlar).

İstasyon	Pik Ay	Pik Ay Ortalama Rüzgâr Hızı [m/s]	Zayıf Ay	Zayıf Ay Ortalama Rüzgâr Hızı [m/s]	Referans Ay	Referans Ay Ortalama Rüzgâr Hızı [m/s]	Genel Ortalama Rüzgâr Hızı [m/s]
17056 Tekirdağ	12	2,668	4	2,112	9	2,38	2,384
17110 Gökçeada	12	4,481	6	2,909	11	3,666	3,696
17112 Çanakkale	12	4,55	6	3,402	7	3,936	3,959
17114 Bandırma	8	4,508	4	3,121	9	3,773	3,831
17119 Yalova	1	2,055	9	1,285	11	1,618	1,606
17636 Florya	12	2,542	6	1,918	7	2,226	2,164
17111 Bozcaada	12	6,939	6	5,15	8	5,873	5,927
17658 Çınarcık	12	1,547	6	0,964	10	1,112	1,183

Aynı istasyonlara ait aylık ortalama rüzgâr hızları ve bu hızların genel ortalamadan sapmaları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Burada gösterilen hızlar yine, istasyonlarda 10m yükseklikte ölçülen ve 100m yükseklik için düzeltilmemiş hızlardır. Bu çizelge, istasyonların pik, zayıf ve referans aylarını belirlerken kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 İstasyonlara ait aylık ortalama rüzgâr hızları ve bu hızların genel ortalamadan sapmaları (düzeltilmemiş hızlar).

Aylar	17056 Tekirdağ		17110 Gökçeada		17112 Çanakkale		17114 Bandırma		17119 Yalova		17636 Florya		17111 Bozcaada		17658 Çınarcık	
	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma	Ortalama Hız [m/s]	Genel Ortalamadan Sapma
1	2,474	0,09	4,409	0,713	4,193	0,234	3,963	0,132	2,055	0,449	2,336	0,172	6,63	0,703	1,389	0,21
2	2,478	0,094	4,195	0,499	4,358	0,399	3,895	0,064	2,045	0,439	2,316	0,152	6,602	0,675	1,433	0,25
3	2,578	0,194	4,197	0,501	4,386	0,427	3,931	0,1	1,911	0,305	2,324	0,16	6,538	0,611	1,328	0,14
4	2,112	-0,272	3,243	-0,453	3,827	-0,132	3,121	-0,71	1,544	-0,062	1,965	-0,199	5,203	-0,724	1,071	-0,11
5	2,12	-0,264	3,056	-0,64	3,527	-0,432	3,471	-0,36	1,372	-0,234	1,958	-0,206	5,293	-0,634	0,978	-0,21
6	2,134	-0,25	2,909	-0,787	3,402	-0,557	3,59	-0,241	1,368	-0,238	1,918	-0,246	5,15	-0,777	0,964	-0,22
7	2,479	0,095	3,533	-0,163	3,936	-0,023	4,413	0,582	1,381	-0,225	2,226	0,062	6,123	0,196	1,008	-0,18
8	2,532	0,148	3,557	-0,139	3,927	-0,032	4,508	0,677	1,328	-0,278	2,248	0,084	5,873	-0,054	1,039	-0,14
9	2,38	-0,004	3,353	-0,343	3,684	-0,275	3,773	-0,058	1,285	-0,321	2,032	-0,132	5,305	-0,622	1,09	-0,09
10	2,346	-0,038	3,742	0,046	3,796	-0,163	3,895	0,064	1,345	-0,261	2,023	-0,141	5,815	-0,112	1,112	-0,07
11	2,303	-0,081	3,666	-0,03	3,875	-0,084	3,308	-0,523	1,618	0,012	2,094	-0,07	5,65	-0,277	1,261	0,08
12	2,668	0,284	4,481	0,785	4,55	0,591	4,062	0,231	2,007	0,401	2,542	0,378	6,939	1,012	1,547	0,36

4.1.2 Baskın Rüzgâr Yönü ve Baskınlık Oranı

Bir istasyonda en uzun süre görülen rüzgâr yönü o istasyon için baskın yöndür. Baskın yönlerin bulunması için genel saatlik rüzgâr yönleri matrisinde en çok tekrarlanan yön numaraları hesaplanarak bir liste yapılmıştır. En çok tekrarlanan yönlerin azalarak sıralandığı listede ilk iki sıradaki yönler baskın yön 1 ve baskın yön 2 olarak adlandırılmıştır. İlerideki bölümlerde genel yön dağılımları ile ilgili çalışmalarda baskın rüzgâr yönlerine detaylı olarak değinilmiştir. Baskın rüzgâr yönleri istatistiksel hesaplarda ve YSA modellerinde kullanılmak üzere genel olarak (tüm aylar için) ve pik ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Pik ay için baskın yön bulunurken sadece pik ayın uzun dönem verisi içerisindeki yönlerin dağılımı yapılarak en

çok görülen rüzgâr yönü bulunmuştur. Bulunan baskın yönlerin görüldüğü saatlerin genel saat sayısına oranı o yönün baskınlık oranını verir. Çizelge 4.6'da genel ve pik ay için baskın yönler ve bunların genel dağılımdaki oranları gösterilmiştir.

4.2 Rüzgâr Trendi Analizleri

İncelenen istasyonların rüzgâr karakterini incelemek ve bunun sonucunda rüzgâr trendleriyle ilgili değerlendirme yapabilmek amacıyla her bir istasyon için çeşitli istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. DMİ'nin sağladığı verilerin doğrudan kullanılması mümkün değildir. Bu verilerin çalışmalarda kullanılmadan önce kullanılan yazılıma uygun şekilde düzenlenmesi ve istenen istasyonların gerekli verilerinin ayıklanması gerekmektedir. Bunun için, öncelikle çalışılacak olan istasyonların verileri ayrılmıştır. Daha sonra veriler, yapılacak hesaplamalara kolaylık göstermesi açısından çeşitli şekillerde dizilerek sınıflandırılmıştır. Oluşturulan veri matrisleri kullanılarak ileriki bölümlerde anlatılan istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır. Hesap sonuçlarının gösterileceği grafiklerin oluşturulması amacıyla, hesaplamalar sonucu elde edilen ikincil veriler kullanılarak ayrıca matrisler (tablolar) oluşturulmuştur. Birincil ve ikincil matrislerin oluşturulması ile üretilen grafiklerle ilgili çalışmalar ilgili bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

4.2.1 Ortalama Rüzgâr Hızının Yıllara Göre Değişimi

Kullanılan Veriler: Yıllara göre değişen ortalama rüzgâr hızı çalışması her bir istasyon için, daha önce pik, zayıf ve referans aylar olarak belirlenen Aralık, Haziran ve Ağustos ayları için gerçekleştirilmiştir. Gerekli grafikleri oluşturabilmek için her bir istasyona ait rüzgâr hızı verisi öncelikle aylara daha sonra da yıllara göre düzenlenmiştir. Oluşturulan matris yardımıyla grafik oluşturulmuştur. Çalışmada 100m için düzeltilmiş hızlar kullanılmıştır.

Grafğin Eksenleri: Bu grafğin Y ekseninde m/s cinsinden ortalama rüzgâr hızı değerleri, X ekseninde ise hızlara karşılık gelen 1992–2006 arası yıllar gösterilmiştir. Yıllara göre değişen ortalama hızlarını değerlendirebilmek için genel ortalama hız değeri de grafik üzerinde gösterilmiştir.

Anlamı: Bu çalışma sonucunda, ilgili istasyonun rüzgâr hızı seviyesi görülerek istasyonun temsil ettiği yörenin ortalama rüzgâr hızı hakkında yorum yapılabilecektir. Ayrıca, ortalama rüzgâr hızı değerinin, yıllara göre genel ortalama hız değerden olan sapması da grafik üzerinden değerlendirilebilir. Böylece ortalama rüzgâr hızının alabileceği maksimum ve minimum değerler görülebilir. Çalışmanın sonucunda üretilen grafikler Sonuçlar bölümünde

ve Ek 1’de görülebilir.

4.2.2 Rüzgâr Türbininden Elde Edilebilecek Kapasite Aralıklarının Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Görülme Sıklığı Oranları

Kullanılan Veriler: Bu çalışmada 1992–2006 yılları arasındaki saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak öncelikle çeşitli rüzgâr hızlarının ölçüldüğü saat sayılarının aylara göre dağılımından oluşan ayrı bir matris hazırlanmıştır. Hız aralıklarına karşılık gelen saat sayıları toplam saat sayısına oranlanarak hız aralıklarının karşılaşıma yüzdeleri bulunmuştur. Yıllık (genel) ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) aylarına ait çalışmalar ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Yıllık çalışma için aylara göre dizilen matristeki toplam değerler kullanılırken, pik, zayıf ve referans aylara ait dağılım oranlarının gösterimi için matristeki bu aylara karşılık gelen değerler kullanılmıştır. Buradaki hız değerlerine karşılık gelen gerçek bir rüzgâr türbine ait kapasite oranı değerleri ile yeni bir matris oluşturularak grafik hazırlanmıştır. Çizelge 4.4’de, Şekil 1.23’de gösterilen gerçek bir rüzgâr türbinine ait rüzgâr hızı / kapasite aralığı grafiğinden alınan türbin kapasite aralığı değerleri ve bunlara karşılık gelen rüzgâr hızları görülmektedir.

Çizelge 4.4 Çeşitli rüzgâr hızlarına karşılık gelen rüzgâr türbini kapasiteleri.

İstasyonun 100m Üzerindeki Rüzgâr Hızı [m/s]	Türbin Kapasitesi [%]
0	0
2,2	1
4,5	5
6,7	21
9	44
11,2	70
13,4	93
14,6 ve üstü	100 ve üstü

Grafiğin Eksenleri: Y ekseninde türbin kapasitesi görülme sıklığı oranları, X ekseninde ise oranlara karşılık gelen rüzgâr türbini kapasite aralıkları gösterilmiştir.

Anlamı: Eğriler üzerindeki görülme sıklığı oranlarına bakılarak belirli bir türbin kapasite aralığının tüm yıl ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) aylarına ait görülme sıklığı (frekansı) öğrenilebilir. Buna aynı zamanda görülme olasılığı da denilebilir. Grafik en

gelen olarak, ilgili yöreye kurulacak ve yıl boyunca veya Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) aylarında çalışacak bir rüzgâr santralinin, çalışma süresi boyunca hangi kapasitede ne kadar süre çalışacağını gösterir. Buradan yola çıkarak, santralin çalışma süresi boyunca üreteceği toplam enerji miktarı bulunabilir. Bu grafik yardımıyla rüzgâr santralinin hiç enerji üretmediği süre de görüldüğünden, çalışma sonucunda yöreye ait rüzgâr potansiyelinin güvenilirliği üzerine de yorum yapılabilir. Rüzgâr verisinin doğası nedeniyle türbin kapasitesi dağılımları aralıklar şeklinde verilmiştir. Aksi durumda 0m/s'den maksimum türbin kapasitesi değerine kadar birçok sayıda dağılım grafiği hazırlanması gerekecektir. Çalışmanın sonucunda üretilen grafikler Sonuçlar bölümünde ve Ek 2'de görülebilir.

4.2.3 Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylardaki Bir Gün İçindeki Saatlik Değişimi

Kullanılan Veriler: Bu çalışmada 1992–2006 yılları arasındaki saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak öncelikle rüzgâr hızlarının aylara göre dağılımından oluşan bir matris hazırlanmıştır. Hız değerleri Eşitlik 1.2 yardımıyla güç değerlerine dönüştürülerek ayrı bir matris türetilmiştir. Bu matris ortalama güç değerlerinden oluşmaktadır. Yıllık (genel) ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) aylarına ait çalışmalar ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Yıllık çalışma için aylara göre dizilen matristeki toplam değerler kullanılırken, pik, zayıf ve referans aylara ait ortalama rüzgâr güçlerinin gösterimi için matristeki bu aylara karşılık gelen değerler kullanılmıştır.

Grafiğin Eksenleri: Bu grafiğin X ekseninde gün içerisindeki saatler, Y ekseninde ise saatlere karşılık gelen W/m^2 cinsinden birim alandaki ortalama rüzgâr gücü değerleri gösterilmiştir. Gün içinde değişen ortalama rüzgâr gücünü değerlendirebilmek için ilgili aya ait veya genel ortalama rüzgâr gücü değeri de grafik üzerinde gösterilmiştir.

Anlamı: Çalışma sonucunda, rüzgâr potansiyelinin gün içindeki değişimi, tüm yıl ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) ayları için ayrı ayrı görülebilir. Yıllık çalışmada tüm yılı bir gün temsil ederken, aylara göre olan çalışmada ilgili tüm ayı bir gün temsil etmektedir. Eğriler üzerindeki güç değişimi gözlenerek, rüzgâr gücünün, tüm yılın veya Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) aylarından birinin temsil edildiği bir gün içinde hangi saatlerde ve ne ölçüde dalgalanma gösterdiği görülmektedir. Ayrıca ortalama rüzgâr potansiyelinin gün içinde alabileceği ortalama maksimum ve minimum değerler ile bu değerlerin görülebileceği saatler görülmektedir. Bu çalışmanın, rüzgâr santrallerinin gün içerisindeki yönetimi ve planlanması için faydalı olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın

sonucunda üretilen grafikler Sonuçlar bölümünde ve Ek 3’de görülebilir.

4.2.4 Aylık Ortalama Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Yıl İçindeki Değişimi

Kullanılan Veriler: Bu çalışmada, yukarıdaki saatlik potansiyel belirleme çalışmasından farklı olarak aylık ortalama güç değerleriyle çalışılmıştır. 1992–2006 yılları arasındaki saatlik rüzgâr hızı veriler yardımıyla aylık ortalama rüzgâr hızları hesaplanmış ve bunların aylara göre dağılımından oluşan bir matris hazırlanmıştır. Hız değerleri Eşitlik 1.2 yardımıyla güç değerlerine dönüştürülerek aylık ortalama rüzgâr gücünden oluşan ayrı bir matris türetilmiştir. Sonuçta matris üzerindeki aylık ortalama güç değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir.

Grafğin Eksenleri: Bu grafiğin X ekseninde yıl içerisindeki aylar, Y ekseninde ise saatlere karşılık gelen W/m^2 cinsinden birim alandaki ortalama rüzgâr gücü değerleri gösterilmiştir. Yıl içinde değişen aylık ortalama rüzgâr gücünü değerlendirebilmek için genel ortalama rüzgâr gücü değeri de grafik üzerinde gösterilmiştir.

Anlamı: Çalışma sonucunda aylık ortalama rüzgâr potansiyelinin yıl içindeki değişimi görülebilir. Eğriler üzerindeki güç değişimi gözlenerek, yıl içerisindeki rüzgâr gücünün hangi aylarda ve ne ölçüde dalgalanma gösterdiği görülmektedir. Ayrıca ortalama rüzgâr potansiyelinin yıl içinde alabileceği ortalama maksimum ve minimum değerler ile bu değerlerin görülebileceği aylar görülmektedir. Bu çalışmanın, rüzgâr santrallerinin bir yıl içindeki yönetimi ve planlanması için faydalı olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın sonucunda üretilen grafikler Sonuçlar bölümünde ve Ek 4’de görülebilir.

4.2.5 Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları

Kullanılan Veriler: Bu çalışmada 1992–2006 yılları arasındaki saatlik rüzgâr yönü verileri kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak öncelikle rüzgâr yönlerinin aylara göre dağılımından oluşan bir matris hazırlanmıştır. Yıllık (genel) ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) aylarına ait çalışmalar ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Yıllık çalışma için aylara göre dizilen matristeki toplam değerler kullanılırken, pik, zayıf ve referans aylara ait rüzgâr yönleri dağılımının gösterimi için matristeki bu aylara karşılık gelen değerler kullanılmıştır. Son olarak, bulunan dağılım değerleri genel toplamla oranlanarak, grafikte yönlerle karşılık gelen dağılım yüzdeleri elde edilmiştir.

Grafğin Eksenleri: Radar tipi olarak adlandırılan bu dairesel grafiğin eksenlerinde, 1’den

16'ya kadar olan rüzgâr yönleri ile bu yönlerle karşılık gelen görülme sıklığı oranları bulunmaktadır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Hesaplarda kullanılan yön numaralandırmaları ve anlamları.

Rüzgâr Yönü	Yönü Temsil Eden Numara
Kuzey	1
Kuzey Kuzeydoğu	2
Kuzeydoğu	3
Doğu Kuzeydoğu	4
Doğu	5
Doğu güneydoğu	6
Güneydoğu	7
Güney güneydoğu	8
Güney	9
Güney güneybatı	10
Güneybatı	11
Batı güneybatı	12
Batı	13
Batı kuzeybatı	14
Kuzeybatı	15
Kuzey kuzeybatı	16

Anlamı: Bu çalışmayla, ilgili istasyonun üzerinde etkili olan rüzgâr yönlerinin dağılımı tüm yıl ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) ayları için görülebilir. Grafik yardımıyla istasyon civarının baskın olan rüzgâr yönleri belirlenir. Bunun tam tersi olarak, istasyonda genel olarak en az görülen (zayıf) rüzgâr yönleri de belirlenebilir. Bu çalışma yardımıyla, rüzgâr tarlası planlama aşamasında rüzgâr yönü durumları belirlenerek, rüzgâr türbinlerinin Bölüm 1'de açıklandığı gibi daha efektif şekilde yerleştirilmesi çalışmalarına katkı sağlanacaktır. Bir rüzgâr tarlasındaki rüzgâr türbinlerinin birbirleriyle olan etkileşimleri rüzgâr yönü ile birlikte değişim gösterir. Bu nedenle, rüzgâr yönü karakterinin aylara göre belirlenmesi, rüzgâr tarlasının aylık güç potansiyelini belirleme çalışmasına katkı sağlar. Bir istasyonun bulunduğu yöre için baskın olan ve olmayan rüzgâr yönlerinin ve bunun yanında yönlerin baskınlık seviyelerinin belirlenmesi bir rüzgâr enerjisi tarlasının planlama aşamasındaki en önemli girdilerinden olduğu kabul edilmektedir (Li vd., 2001).

Çalışmadaki tüm istasyonlara ait genel ve pik ay için 1. ve 2. baskın rüzgâr yönleri ile baskınlık oranları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çalışmanın sonucunda üretilen grafikler

Sonuçlar bölümünde ve Ek 5’de görülebilir.

Çizelge 4.6 İstasyonlara ait baskın yönler ve baskınlık oranları.

İstasyon	Genel Veri İçin				Pik Ay İçin			
	Baskın Yön 1	Baskınlık Oranı 1	Baskın Yön 2	Baskınlık Oranı 2	Baskın Yön 1	Baskınlık Oranı 1	Baskın Yön 2	Baskınlık Oranı 2
17056 Tekirdağ	15	0,22	2	0,13	15	0,26	2	0,14
17110 Gökçeada	2	0,38	10	0,13	2	0,38	10	0,18
17112 Çanakkale	2	0,31	3	0,18	2	0,27	3	0,17
17114 Bandırma	2	0,43	1	0,13	2	0,66	1	0,15
17119 Yalova	3	0,09	8	0,09	8	0,15	2	0,11
17636 Florya	2	0,16	3	0,14	2	0,18	16	0,1
17111 Bozcaada	2	0,16	3	0,14	3	0,18	9	0,15
17658 Çınarcık	3	0,16	9	0,13	3	0,16	9	0,15

4.2.6 Çeşitli Rüzgâr Türbini Kapasite Aralıkları İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları

Kullanılan Veriler: Bu çalışmayı yapabilmek için, 1992–2006 yılları arasındaki aylara göre rüzgâr yönlerinin dağılımı gösteren matrisler hazırlanmıştır. Ardından, aylık rüzgâr hızı dağılımları türbin kapasite aralıklarına karşılık gelen hızlara göre tekrar düzenlenmiştir. Her kapasite aralığı için ayrı bir grafik üretilmiştir. Hız dağılım aralıkları seçilirken Çizelge 4.7’de belirtilen gerçek rüzgâr türbini kapasite aralıkları dikkate alınmıştır. Rüzgâr türbini kapasite aralıkları rüzgâr hızıyla ve türbin güç üretim karakteristiği ile ilgili bir kavramdır.

Çizelge 4.7 Çeşitli rüzgâr hızlarına karşılık gelen rüzgâr türbini kapasite aralıkları.

İstasyonun 100m Üzerindeki Rüzgâr Hızı [m/s]	Türbin Kapasitesi Aralığı [%]
0–2,2	0
2,2–7,2	1–25
7,2–9,6	25–50
9,6–11,6	50–75
11,6–14,6	75–100
14,6–56	100-maksimum türbin dayanımı

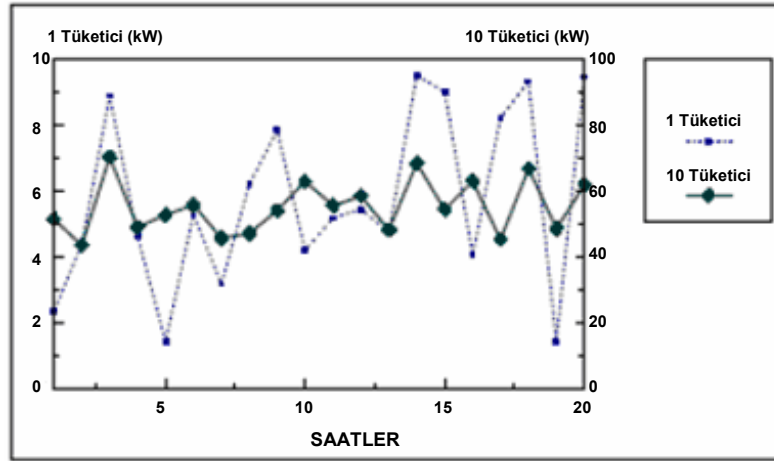
Grafiğin Eksenleri: Radar tipi olarak adlandırılan bu dairesel grafiğin eksenlerinde, 1’den 16’ya kadar olan rüzgâr yönleri ile bu yönlerle karşılık gelen görülme sıklığı oranları bulunmaktadır.

Anlamı: Bu çalışmayla, çeşitli türbin kapasite aralıklarına karşılık gelen rüzgâr yönleri dağılım oranları görülebilir. Grafik yardımıyla istasyon civarının baskın olan rüzgâr yönleri çeşitli türbin kapasitesi aralıklarına göre belirlenir. Önceki bölümde anlatılan, türbin kapasitesinden bağımsız olan çalışmadan farklı olarak, yön dağılım oranları türbin kapasitelerine ve dolayısıyla rüzgâr hızlarına göre ayrıldığı içini rüzgâr yön dağılımları hızlara göre de değerlendirilebilecektir. Rüzgâr yönlerinin dağılımları, rüzgâr hızına göre genel dağılımdan farklılık gösterebilir. Bu çalışma yardımıyla, rüzgâr tarlası planlama aşamasında rüzgâr yönü durumları kapasite aralıklarına göre değerlendirilerek, rüzgâr türbinlerinin daha efektif şekilde yerleştirilmesi çalışmasına katkı sağlanacaktır. Bir rüzgâr tarlasındaki rüzgâr türbinlerinin birbirleriyle olan etkileşimleri rüzgâr yönü ve hızının değişimiyle farklılık gösterir. Bir istasyonun bulunduğu yöre için türbin kapasitesine bağlı olarak baskın olan ve olmayan rüzgâr yönlerinin ve bunun yanında yönlerin baskınlık seviyelerinin belirlenmesi planlama aşaması için çok önemli birer kıstastır. Çalışmanın sonucunda üretilen grafikler Sonuçlar bölümünde ve Ek 6’da görülebilir.

4.2.7 İstasyonların Eş Zamanlı Rüzgâr Hızı Analizi

İstasyonlara ait rüzgâr hızlarının, dolayısıyla rüzgâr enerjisi potansiyelinin eş zamanlı olarak incelenmesindeki amaç, rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenen bir bölgedeki rüzgârla elektrik

enerjisi üretiminin bölgenin farklı yerlerine yerleştirilecek rüzgâr enerjisi santrallerinin sayıları arttıkça elektrik enerjisi üretiminde gelişen diversitenin elektrik enerjisi üretimindeki dalgalanmaya yaptığı azaltıcı (yumuşatıcı) etkinin seviyesini göstermektir. Tek bir kaynağa etki eden, farklı karakterde üretim veya tüketim yapan çok sayıdaki birimlerin sayılarından ve üretim/tüketim karakterlerindeki (zamanlama ve/veya miktar) farklılıklardan dolayı, bu birimlerin eş zamanlı üretim veya tüketimlerdeki dalgalanma oranları aynı birimlerin tek başlarına düşünüldüğü durumlara göre oldukça azalmaktadır. Dalgalanma oranı, ortalama anlık üretim/tüketimden kaçıklığın anlık üretim/tüketim değerine oranı şeklinde tanımlanabilir. Örneğin, bir binadaki anlık toplam su tüketimi hiçbir zaman binadaki tüm armatürlerin anlık debilerinin toplamı kadar olmaz. Gerçekte, anlık toplam su tüketimi toplam debi değerlerinin ancak küçük bir bölümü kadar gerçekleşir. Başka bir örnek ise bireysel elektrik enerjisi tüketimi olarak verilebilir. Şekil 4.4’de tek bir tüketici ve 10 adet tüketicinin olduğu durumlardaki zamana bağlı elektrik tüketimi eğrileri bir arada görülmektedir. Tüketici sayısının artması tüketimdeki dalgalanmayı önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.4 Kullanıcı sayılarının artmasıyla elektrik tüketimi dalgalanışındaki azalmanın gösterimi [8].

Aynı durumun tek bir rüzgâr türbini ile bir rüzgâr tarlası arasındaki zaman bağlı güç üretimdeki dalgalanma için de geçerli olduğu düşünülebilir.

Yukarıda verilen örnekler gibi çeşitli uygulamalardan öğrenilenlere dayanılarak, aynı durumun büyük bir bölge içindeki birden fazla üretim alanına yayılmış olan rüzgâr enerjisinden elektrik üretim ağı için de geçerli olabileceği düşünülmüştür. Daha küçük ölçekte düşünüldüğünde, rüzgâr tarlasının içindeki rüzgâr türbinlerinin sayısı arttıkça veya rüzgâr tarlası daha büyük araziye yayıldıkça enerji üretimindeki (kıza ve uzun vadedeki)

dalgalanmalar da azalacaktır. Buran yola çıkarak, çalışmadaki her bir istasyona ait olan belli bir zaman aralığındaki rüzgâr hızı değerlerinden üretilen güçler birbirleriyle koşullu olarak toplanmıştır. Buradaki amaç, bölgenin genel (istasyonların temsil ettiği tüm bölgelerdeki üretimin eş zamanlı düşünüldüğü durum) rüzgâr enerjisi potansiyelini öğrenmek olduğundan minimum türbin çalışması için gerekli olan limit rüzgâr hızından daha düşük seviyedeki rüzgâr hızları toplama alınmamıştır.

Çalışmada dikkat edilen diğer konu ise rüzgâr hızlarının eş zamanlı ve koşullu olarak toplamaları alındıktan sonra bulunan değerlerin ortalamalarının alınmamasıdır. Koşullu toplam yapılarak minimum rüzgâr türbini çalıştırma hızları doğrudan elendiği için geriye kalan türbin çalıştırabilecek hızların sadece toplamalarının alınması ilk bakışta yanlış olarak görülmese de, rüzgârın içinde taşıdığı enerji eksponensiyel olarak değiştiği için hızların ne olursa olsun doğrudan toplanması enerji seviyesi bakımından doğru fikir vermemektedir. Bunu önlemek amacıyla, istasyonlar için koşullu filtreden geçirilen hız değerleri Eşitlik 1.2 yardımıyla güce dönüştürülerek ardından toplama gidilmiştir. Rüzgâr hızlarının türbin gücüne dönüştürüldüğü çalışmalarda, 10m için ölçülmüş olan rüzgâr hızları 100m yükseklik için düzeltilerek kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma sonuçlarını grafikte gösterebilmek için zamana bağlı koşullu güç toplamaları ile ayrı bir matris oluşturulmuştur. Çalışmalar, istasyonların aylık ortalama rüzgâr hızlarının en yüksek, en düşük ve toplamaların ortalamasına en yakın aylar için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.8’de, istasyonlara ait aylık ortalama rüzgâr hızları, tüm aylara ait ortalama aylık rüzgâr hızların ortalamaları ve bu hızların yıllık ortalamadan sapmaları gösterilmiştir. Çizelge 4.9’da ise, aynı verilerin 100m için düzeltilmiş hızlar ile hazırlanmış hali gösterilmiştir. Bunu göre istasyonların aylık ortalama rüzgâr hızlarının en yüksek olduğu ay Aralık, en düşük ay Haziran ve ortalamaya en yakın ay ise Ağustos ayıdır.

Çizelge 4.8 İstasyonlara ait aylık düzeltilmemiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.

Aylık Ortalama Rüzgâr Hızları ve Toplamları										
Aylar	Tekirdağ	Gökçeada	Çanakkle	Bandırma	Yalova	Florya	Bozcaada	Çınarcık	Ortalama Rüzgâr Hızı [m/s]	Ortalama Hızdan Sapma [m/s]
1	2,474	4,409	4,193	3,963	2,055	2,336	6,63	1,389	3,43	0,337
2	2,478	4,195	4,358	3,895	2,045	2,316	6,602	1,433	3,42	0,327
3	2,578	4,197	4,386	3,931	1,911	2,324	6,538	1,328	3,4	0,307
4	2,112	3,243	3,827	3,121	1,544	1,965	5,203	1,071	2,76	-0,333
5	2,12	3,056	3,527	3,471	1,372	1,958	5,293	0,978	2,72	-0,373
6	2,134	2,909	3,402	3,59	1,368	1,918	5,15	0,964	2,68	-0,413
7	2,479	3,533	3,936	4,413	1,381	2,226	6,123	1,008	3,14	0,047
8	2,532	3,557	3,927	4,508	1,328	2,248	5,873	1,039	3,13	0,037
9	2,38	3,353	3,684	3,773	1,285	2,032	5,305	1,09	2,86	-0,233
10	2,346	3,742	3,796	3,895	1,345	2,023	5,815	1,112	3,01	-0,083
11	2,303	3,666	3,875	3,308	1,618	2,094	5,65	1,261	2,97	-0,123
12	2,668	4,481	4,55	4,062	2,007	2,542	6,939	1,547	3,6	0,507

Çizelge 4.9 İstasyonlara ait 100m için düzeltilmiş aylık ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.

Aylık Ortalama 100m İçin Düzeltilmiş Rüzgâr Hızları ve Ortalamadan Sapmalar										
Aylar	Tekirdağ	Gökçeada	Çanakkle	Bandırma	Yalova	Florya	Bozcaada	Çınarcık	Ortalama Rüzgâr Hızı [m/s]	Ortalama Hızdan Sapma [m/s]
1	5,54	9,87	9,39	8,87	4,6	5,23	14,84	3,11	7,68	4,587
2	5,55	9,39	9,76	8,72	4,58	5,18	14,78	3,21	7,65	4,557
3	5,77	9,4	9,82	8,8	4,28	5,2	14,64	2,97	7,61	4,517
4	4,73	7,26	8,57	6,99	3,46	4,4	11,65	2,4	6,18	3,087
5	4,75	6,84	7,9	7,77	3,07	4,38	11,85	2,19	6,09	2,997
6	4,78	6,51	7,62	8,04	3,06	4,29	11,53	2,16	6	2,907
7	5,55	7,91	8,81	9,88	3,09	4,98	13,71	2,26	7,02	3,927
8	5,67	7,96	8,79	10,09	2,97	5,03	13,15	2,33	7	3,907
9	5,33	7,51	8,25	8,45	2,88	4,55	11,88	2,44	6,41	3,317
10	5,25	8,38	8,5	8,72	3,01	4,53	13,02	2,49	6,74	3,647
11	5,16	8,21	8,68	7,41	3,62	4,69	12,65	2,82	6,66	3,567
12	5,97	10,03	10,19	9,09	4,49	5,69	15,53	3,46	8,06	4,967

Eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli çalışmasında Aralık, Haziran ve Ağustos ayları rüzgâr

hızları verilerinin çalışmanın gerçekçi olması bakımından verilerin bulunduğu dönem içindeki bir yıla ait olması gereklidir. Bu işlemi gerçekleştirirken uzun yıllar veya daha küçük bir dönemdeki hız verilerinin ortalamasıyla çalışıldığı zaman, farklı yıllarda o ay için görülebilecek ortalamadan düşük veya yüksek hızların ortalamaya yaklaşmasına neden olur. Dolayısıyla minimum türbin çalıştırma hızları (örneğin durgun hava) ihmal edilmiş olurken ayrıca rüzgâr enerjisi rüzgâr hızının küpüyle değiştiğinden ötürü bu durumda yapılacak rüzgâr enerjisi çalışmaları da gerçekçi olmaz.

Eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli çalışmasında ilk aşama çalışılacak yılların seçiminin doğru olarak yapılmasıdır. Aralık, Haziran ve Ağustos ayları ortalama rüzgâr hızlarının anılan aylara ait uzun yıllar ortalama hız değerlerine en yakın olan yıllar olarak seçilmesi ortalama rüzgâr potansiyelini temsil etmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Diğer bir deyişle, çalışılacak yıllar olarak Aralık, Haziran ve Ağustos ayları için ortalama hızları temsil eden referans yıllar seçilmiştir. Buradaki bir başka önemli nokta ise referans yılı seçilirken, tüm istasyonların eş zamanlı hızlarının ortalamalarının kullanılması gereğidir. Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de istasyonlara ait sırasıyla, 1992–2006 yılları arası Aralık, Haziran ve Ağustos ayları için ortalama rüzgâr hızları verilmiştir. Referans yılların seçimi de bu çizelge yardımıyla bulunmuştur.

Çizelge 4.10 Haziran ayı için yıllara göre istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.

100m İçin Düzeltilmiş Aylık Ortalama Rüzgâr Hızları ve Ortalamaları																	
	Ay	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Ort
Tekirdağ	6	4,4	5,2	5,1	4,5	5,3	4,1	4,3	4,8	5,3	5,1	5,4	5	4,6	5	5,2	4,9
Gökçeada	6	6,3	6,4	6,2	4,7	6,7	4,8	5,4	4,7	9,8	7,4	8,3	8	5,9	7,6	7	6,6
Çanakkale	6	6,2	6,7	7,6	6,5	7,9	6,2	7,2	6,4	8,1	10	9,2	9,7	7,9	9,2	7	7,7
Bandırma	6	7,4	7,8	8,5	7,5	9,5	7	7,7	7,5	9,9	8,1	8,8	8,6	7	8,9	8	8,1
Yalova	6	3,6	3,4	3,9	3,3	3,1	3	3,1	3,7	3	3,2	2,8	2,8	2,8	2,9	2,8	3,2
Florya	6	4,1	4,4	4,6	4	4,9	3,8	3,9	3,9	4,9	4,4	4,2	5,4	4,1	5	4,6	4,4
Bozcaada	6	10	9,9	10	8,4	11	8	11	B	15	13	13	13	10	13	12	11
Çınarcık	6	2,2	1,8	2,6	2	2,2	2,2	2,3	2,5	2,4	2,7	2,4	2,1	2	2,3	2,2	2,3
Ortalama:		5,5	5,7	6,1	5,1	6,3	4,9	5,6	4,8	7,2	6,7	6,8	6,8	5,6	6,8	6,1	6,1
Ortalamadan Sapma:		-0,5	-0,4	0,0	-1,0	0,3	-1,2	-0,4	-1,3	1,2	0,7	0,7	0,8	-0,5	0,7	0,1	

Çizelge 4.11 Ağustos ayı için yıllara göre istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.

100m İçin Düzeltilmiş Aylık Ortalama Rüzgâr Hızları ve Ortalamaları																	
	Ay	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Ort
Tekirdağ	8	5,9	6,3	5,6	5,6	5	4,9	6,5	5,6	7	6,6	5,8	6,1	4,9	5,7	5,3	5,8
Gökçeada	8	8,9	9,6	6,3	6,8	6,8	6,7	8,3	6,5	12	11	8,2	8,9	6,7	8	6,2	8,1
Çanakkale	8	9,2	9,4	7,7	8,2	7,9	8,2	9,6	8	9,3	11	8,4	11	7,5	10	8,1	8,9
Bandırma	8	12	12	9,9	9,7	9,9	8,8	13	11	12	12	8,7	11	6,7	9,9	8,2	10
Yalova	8	3,5	3,9	3,7	3,7	3,4	2,9	3,3	2,6	2,9	2,6	2,9	2,7	3	2,7	2,6	3,1
Florya	8	5,4	6	5,2	4,7	4,5	4,4	6,3	5,1	6,1	5,7	4,1	6	3,7	5,3	4,7	5,1
Bozcaada	8	15	23	12	12	12	B	14	B	17	16	12	15	11	13	10	14
Çınarcık	8	2,1	2,4	2,2	2,5	2,2	2,8	2,6	2,5	2,7	2,7	2,8	2,3	2,2	2,3	2,2	2,4
Ortalama:		7,8	9,1	6,6	6,6	6,4	5,5	7,9	5,8	8,5	8,6	6,6	7,7	5,7	7,1	6	7,2
Ortalamadan Sapma:		0,6	1,9	-0,6	-0,6	-0,8	-1,7	0,7	-1,4	1,3	1,4	-0,6	0,5	-1,5	-0,1	-1,2	

Çizelge 4.12 Aralık ayı için yıllara göre istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları ve genel ortalamadan sapmaları.

100m İçin Düzeltilmiş Aylık Ortalama Rüzgâr Hızları ve Ortalamaları																	
	Ay	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Ort
Tekirdağ	12	5,8	4,9	6,7	8,2	6	6,2	6,3	6,1	5,5	6,6	7,3	6,1	5,7	6,3	4,2	6,1
Gökçeada	12	11	8	7,2	10	9,5	8,4	12	11	9,2	16	12	11	9,3	9,3	7,7	10
Çanakkale	12	9,2	10	7	11	10	9,5	11	12	8,9	13	10	11	11	13	6,5	10
Bandırma	12	10	7,4	7,3	11	9,9	8,8	13	9,3	6,9	15	8,9	9,5	7,3	8,3	6,3	9,2
Yalova	12	5,9	3,9	4,6	5,5	5,1	5	5,8	4,4	3,4	5,7	4,3	4,9	3,9	4,1	2,8	4,6
Florya	12	5,2	5,1	4,9	7	5,8	6,4	6,3	6,5	4,5	6,8	6,3	7	5,1	5,9	4,1	5,8
Bozcaada	12	18	10	15	14	16	16	16	15	13	23	16	16	14	16	12	15
Çınarcık	12	4,5	3	3	4,1	4	3,9	4,5	4,1	2,9	4,6	3,5	3,2	2,6	3,3	2	3,5
Ortalama:		8,7	6,5	6,9	8,8	8,3	8	9,3	8,5	6,8	11	8,5	8,6	7,3	8,3	5,6	8,1
Ortalamadan Sapma:		0,6	-1,6	-1,2	0,7	0,2	-0,1	1,2	0,4	-1,3	3,2	0,4	0,5	-0,8	0,2	-2,5	

Yukarıdaki çizelgeler incelendiği zaman 1992–2006 yılları arası Aralık, Haziran ve Ağustos ayları için ortalama rüzgâr hızlarından olan en az sapma Aralık için 1997, Haziran için 1994 ve Ağustos için 2005 yılları olduğu görülmektedir. Bu durumda çalışılan istasyonlar ve incelenen durum için referans yıllar zayıf ay (Ağustos) için 2005, pik ay için (Aralık) 1997 ve referans ay için ise (Haziran) 1994'tür.

Daha sonra, tüm istasyonların 1994 Haziran, 2005 Ağustos ve 1997 Aralık ayları için 100m yükseklik için düzeltilmiş saatlik rüzgâr hızları verileri ile söz konusu aylar için birer adet matris oluşturulmuştur. 1994 yılı Haziran ayı için saatlere karşılık rüzgâr hızlarının bulunduğu bir matriste her bir istasyon için 1 sütun ve 720 satır (24 saat x 30 gün), 2005 yılı Ağustos ayı ve 1997 yılı Aralık ayı için oluşturulan her bir matriste ise her bir istasyon için 1 sütun ve 744 satır (24 saat x 31 gün) bulunmaktadır.

Hızların güce dönüştürülme eşitliği kullanılırken hava yoğunluğuna çalışılan ayın ortalama sıcaklığına denk gelen düzeltme uygulanmıştır. Hava yoğunluğu havanın nemıyla değişse de bu değişim nispeten çok küçük olduğu için hesaplara nem ile ilgili düzeltme yansıtılmamıştır. Sonuç olarak seçilmiş aylar için hesaplanan hava yoğunlukları Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Çalışmada kullanılan aylar için düzeltilmiş hava yoğunlukları.

Aylar	Tüm Bölge İçin Ortalama Hava Sıcaklığı [°C]	Ortalama Hava Yoğunluğu [kg/m ³]
Haziran	21	1,19
Ağustos	24	1,18
Aralık	7	1,25

Tekirdağ, Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, Bandırma, Florya, Yalova ve Çınarcık istasyonlarına ait genel rüzgâr trendi ve ayrıca 1994 yılı Haziran, 2005 yılı Ağustos ve 1997 yılı Aralık ayı rüzgâr gücü üretimine bakıldığında Yalova ve Çınarcık’da kurulacak rüzgâr enerjisi santrallerinin yılın büyük bir bölümünde çok düşük kapasitelerde çalışacağı ve önemli bir bölümünde de hiç çalışamayacağı görülmüştür. Genel anlamda bir değerlendirme yapıldığında Çınarcık ve Yalova’nın 1994 Haziran ayı içinde 8 istasyonun enerji üretimine katkısı ancak %4’tür. Özetle 2006 Haziran ayı için Çınarcık ve Yalova’nın haricindeki 6 istasyonun enerji potansiyelinin bu istasyonlarla beraber 8 istasyonun enerji potansiyeline oranı 0,96’dır. Bu oran 2005 Ağustos ayı için 0,99 ve 1997 Aralık ayı için 0,94’tür. Çizelge 4.14, 4.15 ve 4.16’da 8 istasyona ait olan, sırasıyla 1994 yılı Haziran, 2005 yılı Ağustos ve 1997 yılı Aralık ayı için birim alana düşen toplam enerji potansiyelleri ve bu değerlerin Yalova ve Çınarcık hariç olan 6 istasyonun eş zamanlı toplam potansiyeline oranı gösterilmiştir. Yalova ve Çınarcıkta rüzgâr potansiyeli incelenen bölgeye oranla az da olsa, bölgesel rüzgâr enerjisi potansiyelinin sürekliliğine katkıları olmaktadır.

Çizelge 4.14 İstasyonlar için 1994 yılı Haziran ayı eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli.

8 İstasyon İçin 1994 Haziran Ayı Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	
8 İstasyon İçin Enerji Potansiyeli [Wh/m ²] :	1945579
6 İstasyon İçin Enerji Potansiyeli [Wh/m ²] :	1871539
Oran:	0,96

Çizelge 4.15 İstasyonlar için 2005 yılı Ağustos ayı eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli.

8 İstasyon İçin 2005 Ağustos Ayı Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	
8 İstasyon İçin Enerji Potansiyeli [Wh/m ²] :	2762578
6 İstasyon İçin Enerji Potansiyeli [Wh/m ²] :	2734150
Oran:	0,99

Çizelge 4.16 İstasyonlar için 1997 yılı Aralık ayı eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli.

8 İstasyon İçin 2005 Ağustos Ayı Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	
8 İstasyon İçin Enerji Potansiyeli [Wh/m ²] :	3179665
6 İstasyon İçin Enerji Potansiyeli [Wh/m ²] :	2978410
Oran:	0,94

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere, ortalama bir rüzgâr türbini için 15m/s ve üzerindeki rüzgâr hızlarının bir önemi yoktur. Bu hızdan sonra türbinlerin enerji üretimlerinde artış olmaz. Türbin üreticileri türbinlerin nominal kapasite hesaplarını genellikle 15m/s civarındaki hızlar için yaparlar. Bu hızdan daha yukarısı pratik olarak değerlendirilemeyeceği için enerji hesaplarında 15m/s'den daha yüksek hızlar 15m/s'ye yuvarlanmıştır. Bu nedenle eş zamanlı enerji üretimi hesapları için oluşturulan her bir istasyona ait saatlik hızların gösterildiği matrise bu işlem uygulanmıştır.

Sonuç olarak Tekirdağ, Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, Bandırma, Florya, Yalova ve Çınarcık istasyonlarının her biri için 1994 yılı Haziran, 2005 yılı Ağustos ve 1997 yılı Aralık

ayları için birim yüzey alana karşılık gelen saatlik rüzgâr güçleri ile bu istasyonların eş zamanlı saatlik toplam rüzgâr güçlerinden oluşan 3 ayrı (her ay için farklı) matris elde edilmiştir. Ayrıca, istasyonlarda eş zamanlı üretilen saatlik toplam gücün saatlik toplam maksimum güç potansiyeline oranını göstermek için istasyon sayısı ile 15m/s rüzgâr hızındaki havanın güç potansiyeli çarpılıp ($8 \times 2008 \text{ W/m}^2$) bulunan değerler toplam gerçekleşen güç potansiyeline bölünerek ana matrise ayrı bir sütun halinde eklenmiştir. Böylece istasyonların ve dolayısıyla bölgenin pik, zayıf ve referans aylardaki eş zamanlı güç üretimi hakkında yorum yapılabilecektir. Çizelge 4.17, 4.18 ve 4.19’da sırasıyla her bir istasyona ait Haziran, Ağustos ve Aralık aylarındaki toplam aylık enerji potansiyelleri ve bunların toplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.17 Tüm istasyonlar için 1994 yılı Haziran ayı toplam rüzgâr enerjisi potansiyelleri.

8 İstasyon İçin 1994 Haziran Ayı (Zayıf Ay) Birim Alan İçin Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	
İstasyon	Aylık Toplam Enerji Potansiyeli [Wh/m²]
Tekirdağ	131.886
Gökçeada	243.044
Çanakkale	367.754
Bandırma	447.823
Yalova	58.166
Florya	84.544
Bozcaada	596.485
Çınarcık	15.875
Toplam:	1.945.580
Teorik Potansiyel:	8.675.100

Çizelge 4.18 Tüm istasyonlar için 2005 yılı Ağustos ayı toplam rüzgâr enerjisi potansiyelleri.

8 İstasyon İçin 2005 Ağustos Ayı (Referans Ay) Birim Alan İçin Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	
İstasyon	Aylık Toplam Enerji Potansiyeli [Wh/m²]
Tekirdağ	175.837
Gökçeada	431.078
Çanakkale	596.140
Bandırma	601.823
Yalova	18.087
Florya	116.975
Bozcaada	812.292
Çınarcık	10.341
Toplam:	2.762.578
Teorik Potansiyel:	8.888.940

Çizelge 4.19 Tüm istasyonlar için 1997 yılı Aralık ayı toplam rüzgâr enerjisi potansiyelleri.

8 İstasyon İçin 1997 Aralık Ayı (Pik Ay) Birim Alan İçin Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	
İstasyon	Aylık Toplam Enerji Potansiyeli [Wh/m²]
Tekirdağ	240.053
Gökçeada	474.139
Çanakkale	558.325
Bandırma	473.211
Yalova	135.017
Florya	215.575
Bozcaada	1.017.106
Çınarcık	66.237
Toplam:	3.179.665
Teorik Potansiyel:	9.416.250

Çalışmanın sonucunda üretilen grafikler Sonuçlar bölümü ile Ek 7 ve Ek 8’de verilmiştir.

5. RÜZGÂR ENERJİSİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞI ANALİZLERİ

5.1 Rüzgâr Enerjisi ile İlgili Genel Durum ve YSA Analizi

Rüzgâr enerjisi üreten santraller yenilenebilir enerji kaynakları kullanan santraller içinde ekonomik ve fiziksel açıdan uygulanabilirliği en yüksek olanıdır. Ancak rüzgâr santrallerinin en önemli girdisi olan rüzgâr hızı ve yönü çok değişken bir yapıya sahiptir. Bu değişiklikler çok kısa (saniyeler) ve uzun dönemde (yıllar) olmaktadır. Rüzgârla ilgili değişkenlere ait ölçüm döneminin uzunluğu potansiyel belirleme ve tahmin çalışmasının güvenilirliğini artırır. Bununla beraber uzun vadede ölçüm yapmak hem pahalıdır hem de projelerin birçoğu için bu kadar uzun süre beklenemez. Ancak, YSA dışındaki modellerden iyi sonuç alabilmek için bu şekildeki eksiksiz verilere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, Bölüm 2.2'deki literatür araştırmasında da incelendiği gibi, en uygun metot olarak gösterilen YSA metodu kullanılmıştır. Çalışmada yapılan tahminler geleceğe yönelik (forecast) olmayıp, bölgedeki birden fazla (referans) istasyonun eş zamanlı rüzgâr verilerini kullanarak verisi olmayan bir (hedef) istasyonun rüzgâr verisini oluşturmak ya da yaklaşımda bulunmak için gerçekleştirilen tahmin çalışması şeklinde anlaşılmalıdır.

Bu çalışma ayrıca, üretilen modeli bir bölgedeki birden çok istasyon için yapılan ölçüm değerlerinin model yardımıyla tahmin etmek için kullanıp sonuçların gerçek verilerle karşılaştırılarak verilerin güvenilirliğinin artırılması amacıyla da kullanılabilir.

Önceki bölümde açıklanan rüzgâr trendi belirleme çalışmalarındaki öncelikli amaç, rüzgâr enerjisi santrali kurulumu konusunda ilgi duyulan bir bölgede üretilecek rüzgâr enerjisinin güvenilirlik seviyesini belirlemektir. Bu nedenle çalışmadaki YSA modeliyle üretilecek veriler pratikte istatistiksel modellerle potansiyel belirleme çalışmalarının girdileri olacaktır. Ayrıca, istatistiksel değerlendirme YSA modeline katkı sağlayarak, daha doğru modeller kurulmasına ve YSA modeline daha rafine girdiler girmemize yardımcı olacaktır. Tahmin konusunda YSA modellemeleri dışındaki çalışmalar günümüze kadar yeterli netlikte sonuçlar verememiştir. YSA dışındaki çalışmaların yeterli sonuç verememesinin temel nedeni rüzgârı tanımlayan parametrelerin kısa ve uzun dönemlerde değişkenlik göstermesi olduğu söylenmektedir. Bu değişkenlikler nonlinear karakterdedir.

Çalışma konusu olan Bozcaada, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma, Tekirdağ, Florya (İstanbul), Yalova ve Çınarcık istasyonlarının benzer iklim bölgesinde bulundukları rüzgâr trendi çalışmaları bölümünde görülmüştür. Genel olarak incelenen sekiz istasyonun da pik ve zayıf

ayları neredeyse aynı aylara denk gelmektedir. Söz konusu istasyonların baskın rüzgâr yönleri de benzer karakterdedir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi Marmara Bölgesi'nin incelenen bölümleri, coğrafi ve iklim özellikleri bakımından neredeyse bir bütünlük göstermektedir. Bunun yanına bölge genelde aynı basınç sistemlerinin etkisi altında kalmaktadır. Ancak, basınç sistemlerinin bölgenin farklı kesimlerini farklı zamanlarda etlisi altına alabilirken, istasyonların uzun ve kısa dönemdeki ortalama rüzgâr hızları arasında büyük farklar olabildiği görülmüştür. Bu farklar, bölgede doğu-batı doğrultusunda daha belirgin olmaktadır. Farkların makro düzeydeki nedenleri önceki bölümlerde açıklanmıştır. İncelenen istasyonlara ait aylık ortalama rüzgâr hızları Çizelge 4.9'da görülebilir.

İstatistiksel çalışmalardan görüldüğü gibi Marmara Bölgesi'nin batısı yıl boyunca sürekli ve yüksek hızdaki rüzgârların etkisi altında kalmaktadır. Aynı bölgedeki rüzgârlar yönlerinin baskınlığı çok yüksektir. Diğer bir deyişle, bölgenin batısına doğru ilerledikçe rüzgârın genelde aynı yön civarında estiği görülmüştür. Bölgenin doğusunda rüzgâr hızı ve yönü daha kararsız bir yapıdadır; rüzgâr yönlerinin baskınlığı azalır ve rüzgâr hızı belirgin bir şekilde düşer.

5.2 Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Çalışmaları

Yapay sinir ağı çalışmalarında, eş zamanlı rüzgâr potansiyeli seviyesi çalışmasında kullanılan verilerden yola çıkılmıştır. YSA modeline girdi olarak saatlik rüzgâr hızı, sıcaklık ve basınç değerlerinden oluşan veriler tanımlanmıştır. Bunun için her bir istasyonun eş zamanlı saatlik rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık (havanın kuru termometre sıcaklığı) ve hava basıncı değerlerinden oluşan çeşitli matrisler oluşturulmuştur. Modelin testi için Neuro Solutions for Excel'e verilerin tanımlanmasının ardından, YSA modeli çalıştırılmıştır. Çalışmada kullanılan istasyonlar ve bunlara ait referans yıl pik ay rüzgâr hızı ortalamaları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 1997 yılı Aralık ayı için istasyonlara ait 100m için düzeltilmiş ortalama rüzgâr hızları.

1997	Ay	Ortalama Rüzgâr Hızı [m/s]
Tekirdağ	12	6,2
Gökçeada	12	8,4
Çanakkale	12	9,5
Bandırma	12	8,8
Yalova	12	5
Florya	12	6,4
Bozcaada	12	16
Çınarcık	12	3,9
Ortalama:		8

Rüzgâr enerjisi için YSA ile tahmin çalışmalarında toplam olarak iki nesil YSA modeli oluşturulmuştur. Ancak ilk nesil için iki durum söz konusudur. İlk nesildeki durumlar, Nesil 1a ve 1b olarak adlandırılmıştır. Her iki nesilde de girdi olarak önceki bölümde açıklanan pik referans aya (1997 yılı Aralık ayı) ait veriler kullanılmıştır. Bu aya ait rüzgâr karakterinin nispeten daha sert ve kararlı bir yapıda olması, istasyonlar arasındaki rüzgâr etkileşiminin daha belirgin olacağı ve dolayısıyla bunun YSA çalışmalarının daha düzgün olmasını sağlayacağı öngörülmüştür. Nesil 1 çalışmadaki ilk durumda (Nesil 1a), üç istasyonun referans yıllarına ait pik, zayıf ve referans aylarını kapsayan saatlik rüzgâr hızı ve yönü verileri kullanılarak, üç istasyondan birisinin verilerinin tahmini için çalışma yapılmıştır. İkinci durumda (Nesil 1b) ise hedef istasyon değiştirilmiş ve kaynak istasyon sayısı da dörde yükseltilmiştir.

Nesil 2’de, istasyonlar Nesil 1b ile aynı tutulurken, modele tanımlanan veri çeşidi arttırılmıştır. İlk nesil çalışmalarda kullanılan rüzgâr hızı ve yönüne ek olarak, sıcaklık ve basınç değerleri de girdi matrisine eklenmiştir.

YSA ile rüzgâr enerjisi analizlerinde, Özpınar’ın (2007) rüzgâr hızı modellemesinde birçok model arasında başarılı buldukları çift katmanlı ardışık beslemeli geri yayılım ağının tan-sig aktivasyon fonksiyonlu modeline benzer bir model kullanılmıştır.

Bu modelde, ilke olarak iki katmanlı ve Ardışık Beslemeli Geri Yayılım Ağı modeli kullanılmıştır. Özpınar’ın (2007) elde ettiği sonuçlara göre çift katmanlı ileri ve ardışık

beslemeli geri yayılım ağlarının Tansig aktivasyon fonksiyonu ile rüzgar enerjisi ile ilgili olan meteoroloji verileriyle tahmin ve öngörüşlerde yüksek başarı sağladığı görülmüştür. Ayrıca, uygulamada 250 EPOCH sayısının yeterli olduğu görülmüştür. Literatürde ilk kez olarak uzun vadeli tahminlerin yapılabilmesine olanak sağlayan bu modelin çok iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Özpınar'ın (2007) rüzgâr hızı için yaptığı testler sonucunda en iyi sonuçları veren iki katmanlı ve Ardışık Beslemeli Geri Yayılım Ağı modeli üzerinde yoğunlaşmanın uygun olduğu kararlaştırılmıştır.

YSA modeli NS yazılımında oluşturulurken öncelikle veri matrisindeki girdi sütunları ve arkasından hedef veri sütunları tanımlanmaktadır. Veri sütunları modele tanımlandıktan sonra modele sırasıyla çalıştırma, çapraz doğrulama ve test etme satırları tanımlanmaktadır. Modele verilerin tanımlama işleminin ardından YSA modeli kurulumuna geçilmektedir. Modelin kurulumu için YSA oluştur/aç menüsündeki bu çalışmaya uygun olan “New Classification Network” seçeneği seçilmelidir. Ardından, açılan pencerede YSA modelinin elemanları üzerinde planlanan modele uygun düzeltmeler yapılmıştır. “Back Static Control Inspector” (geri statik kontrol denetleyicisi) penceresinden kullanılan (geri yayılım) algoritmanın tanımlaması yapılır. “Static Control Inspector” (statik kontrol denetleyicisi) penceresinden epoch sayısı, çalışmanın duracağı epoch sayısı, veri setlerinin tanımlanması ve görüntüleme ile ilgili tanımlamalar yapılır. Akson denetleyici (Tanh Inspector) penceresinden transfer fonksiyonu ile ilgili beta ve bias değerleri girilerek fonksiyonun eğriliği ayarlanır. Çalışmalarda seçenekler daha önce anlatıldığı şekilde yazılımın ilgili pencerelerinde tanımlanmıştır. Anlatılan kısımların dışındaki bölümler için yazılımın “default” (önceden ayarlanmış) değerleri kabul edilmiştir. Modelin oluşturulup kaydedilmesinden sonra çalıştırma işlemine geçilir. Yazılımın ürettiği çalıştırma sonuçları ve test çıktıları incelenerek modelin başarısı hakkında yorum yapılır.

Modelin çalıştırılması sonucu elde edilen bilgiler ayrıca bulanık mantık derleyiciler için altyapı hazırlayacaktır. Elde edilen bulgular ışığında Bulanık Mantık kuralları çok rahatlıkla yazılabilir. Bölgenin veya santralin bulunduğu yerin ülke içindeki önem sıralaması ve normalize edilmiş değerler kullanılarak toplam enerji için bir kontrol mekanizması oluşturmak mümkündür. Yazılan kurallar ile herhangi bir bulanık mantık üyelik fonksiyonu parametrik olarak belirlenip karar yüzeyi oluşturulabilir.

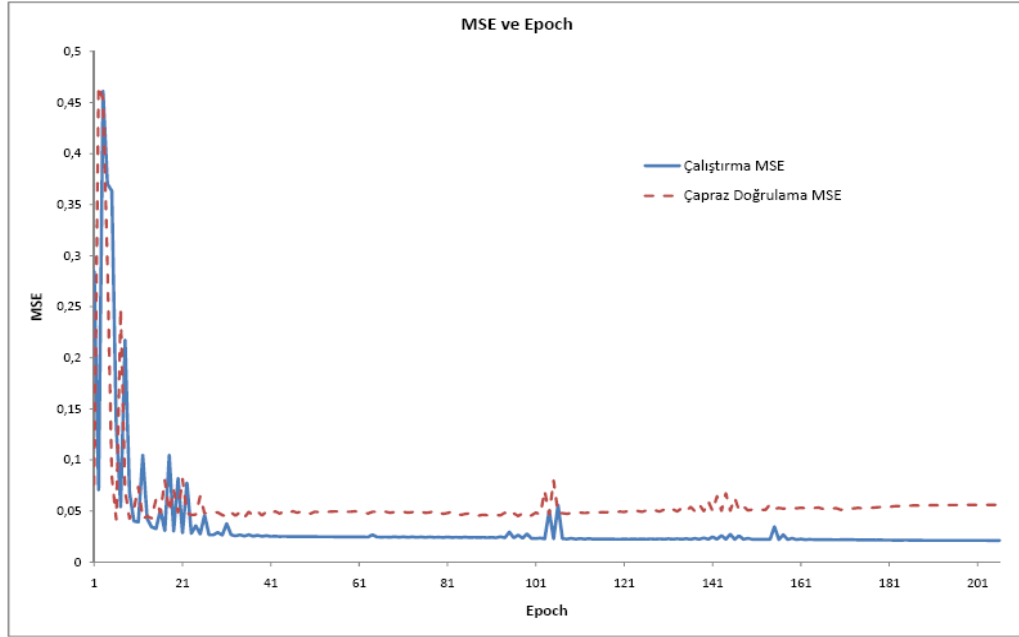
5.2.1 Nesil 1a Yapay Sinir Ağı Çalışmaları

Nesil 1’de ilk durum (Nesil 1a) için hazırlanan YSA modelinden çıktı olarak rüzgâr hızı ve yönü istenmiştir. Modele tanımlanan girdiler ve istenilen çıktılar Çizelge 5.2’de listelenmiştir.

Çizelge 5.2 Nesil 1a için YSA modeli girdileri ve hedef veriler.

Girdi İçin Kullanılan İstasyonlar	Girdiler	İstenen Çıkış (Hedef)
Tekirdağ, Yalova	Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü	Florya İçin Rüzgâr Hızı (FL-H) ve Yönü (FL-Y)

Nesil 1a çalışmada üç adet istasyonun verisi kullanılmıştır. YSA çalışmalarına ilk olarak incelenen bölgenin batısına oranla daha karasız rüzgâr karakterine sahip olan doğu tarafındaki istasyonlardan başlanmıştır. YSA modeline girdi olarak Tekirdağ ve Yalova istasyonlarının bir ayı kapsayan saatlik rüzgâr hızı ve yönü tanımlanırken, hedef olarak Florya istasyonunun rüzgâr hızı ve yönü seçilmiştir. Florya istasyonunun hedef olarak seçilme nedeni kaynak iki istasyona neredeyse eşit bir uzaklıkta olmasıdır. Nesil 1a olarak adlandırılan çalışmada 2 adet istasyonun verisi girdi olarak tanımlanırken 3. istasyon verisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Nesil 1a için oluşturulan YSA modelinin çalıştırma sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir. Aynı model için bulunan test değerleri ve değerlerdeki hatalar Şekil 6.31 ve 6.32 ile Çizelge 6.6’da verilmiştir.



<i>En İyi Ağ</i>	<i>Çalıştırma</i>	<i>Çapraz Doğrulama</i>
Epoch #	206	6
Minimum MSE	0,021	0,041
Sonuncu MSE	0,021	0,055

Şekil 5.1 Florya istasyonu için Nesil 1a model çalıştırma sonuçları.

Nesil 1a çalışma ile rüzgâr potansiyeli nispeten zayıf olan istasyonlara ait, eldeki minimum miktardaki veri setiyle yapılabilecek yaklaşımın doğruluk seviyesi gösterilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, istasyon sayısının ve tanımlanan veri çeşidinin azlığına rağmen yeterli doğrulukta tahmin yapılabildiğini göstermektedir. Rüzgâr hızı ve yönündeki genel eğilim üretilen modelle yakalanmıştır.

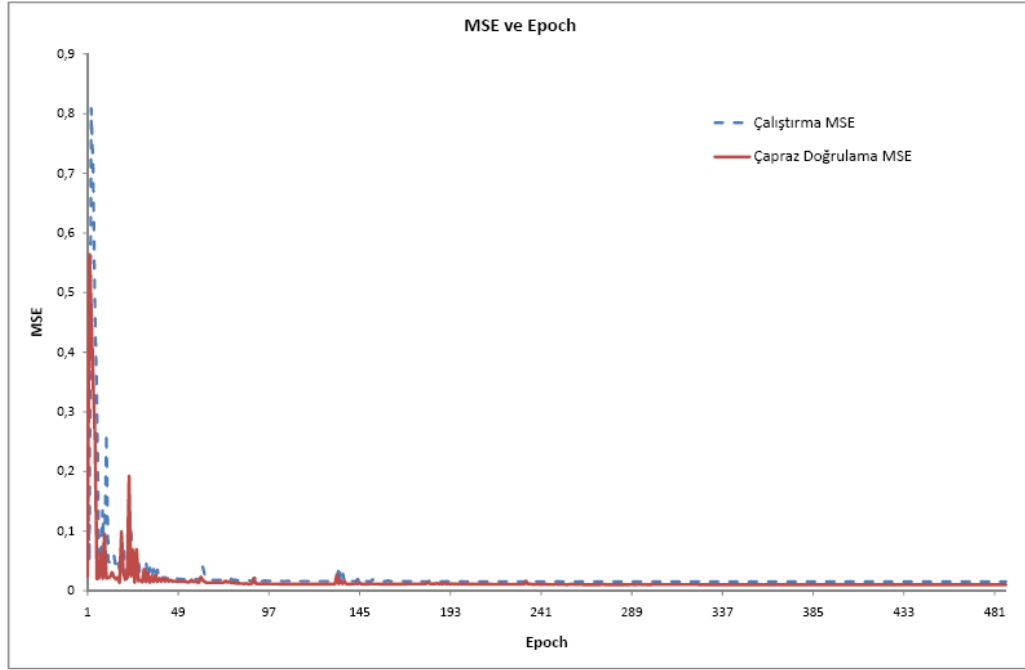
5.2.2 Nesil 1b Yapay Sinir Ağı Çalışmaları

Nesil 1b YSA modelinden çıktı olarak yine rüzgâr hızı ve yönü istenmiştir. Bu defa modele daha çok sayıdaki istasyonun verisi tanımlanmıştır. Ayrıca, ilk modelde (Nesil 1a) kullanılan istasyonlar yerine, bölgenin en batısındaki Tekirdağ, Çanakkale, Bozcaada, Gökçeada ve Bandırma istasyonlarıyla çalışılmıştır. Modele tanımlanan girdiler ve istenilen çıktılar Çizelge 5.3’de listelenmiştir.

Çizelge 5.3 Nesil 1b için YSA modeli girdileri ve hedef veriler.

Girdi İçin Kullanılan İstasyonlar	Girdiler	İstenen Çıkış (Hedef)
Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma	Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü	Bozcaada İçin Rüzgâr Hızı (BO-H) ve Yönü (BO-Y)

Nesil 1a çalışmada hedef istasyonun verisi dâhil toplam üç adet istasyonun verisi kullanılırken, Nesil 1b olarak kabul edilen bu çalışmada ise, ölçüm verileri girdi olarak kullanılan istasyon sayısı dörde çıkarılmıştır. Kaynak istasyonlar olarak Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale ve Bandırma ile hedef veri olarak Bozcaada istasyonunun rüzgâr hızı ve yönü tanımlanmıştır. Bozcaada istasyonunun hedef olarak seçilmesinin nedeni, hedef istasyonun kaynak istasyonlara eşit uzaklıkta bulunmadığı durumda, oluşturulan YSA modelinin istasyonlar arasındaki etkileşimi yeterince doğrulukta öğrenip öğrenemediğinin araştırılmasıdır. Önceki çalışmada gösterilen ve Nesil 1a olarak adlandırılan modelde, 2 adet istasyonun verisi girdi olarak tanımlanırken 3. istasyon verisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Nesil 1b için oluşturulan YSA modelinin çalıştırma sonuçları Şekil 5.2’de verilmiştir. Aynı model için bulunan test değerleri ve değerlerdeki hatalar Şekil 6.33 ve 6.34 ile Çizelge 6.7’de verilmiştir.



<i>En İyi Ağ</i>	<i>Çalıştırma</i>	<i>Çapraz Doğrulama</i>
<i>Epoch #</i>	487	287
<i>Minimum MSE</i>	0,0152	0,0101
<i>Sonuncu MSE</i>	0,0152	0,0101

Şekil 5.2 Bozcaada istasyonu için Nesil 1b model çalıştırma sonuçları.

Nesil 1b çalışmada, modele girilen verilerin kaynağı olan istasyon sayısı arttırılarak Nesil 1a çalışmaya oranla elde edilebilecek gelişme gösterilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, istasyon sayısının artışıyla beraber birinci nesle oranla rüzgâr yönü ve hızı tahminlerinde oldukça fazla gelişme olduğunu göstermektedir. Rüzgâr hızı ve yönü tahmini üzerindeki gelişmeler NS'nin ürettiği çıktılar üzerinden de anlaşılmaktadır. Nesil 1b çalışmada üretilen modelin sonuçları ile oluşturulan eğriler, gerçek verilerle oluşturulan hız ve yön eğrileriyle daha iyi bir şekilde uyum sağladığı görülmektedir.

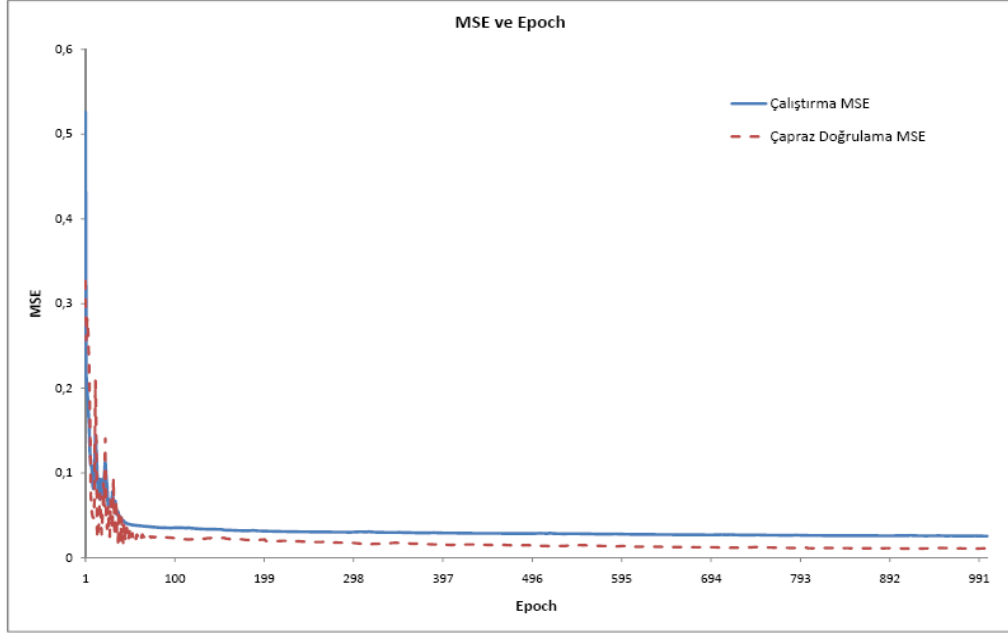
5.2.3 Nesil 2 Yapay Sinir Ağı Çalışmaları

Nesil 1b YSA modeline benzer olarak, Nesil 2'de yine rüzgâr hızı ve yönü istenmiştir. Bu kez, modele Nesil 1b ile aynı istasyonlarla çalışılırken istasyonlara ait girilen veri çeşidi arttırılmıştır. Modele tanımlanan girdiler ve istenilen çıktılar Çizelge 5.4'de listelenmiştir.

Çizelge 5.4 Nesil 2 için YSA modeli girdileri ve hedef veriler.

Girdi İçin Kullanılan İstasyonlar	Girdiler	İstenen Çıkış (Hedef)
Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma	Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, hava sıcaklığı, hava basıncı	Bozcaada İçin Rüzgâr Hızı (BO-H) ve Yönü (BO-Y)

Nesil 1b çalışmada olduğu gibi, Nesil 2’de de hedef istasyonun verisi dâhil toplam beş adet istasyonun verisi kullanılmıştır. Kaynak istasyonlar olarak, Nesil 1b’deki gibi Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale ve Bandırma ile hedef veri olarak Bozcaada istasyonunun rüzgâr hızı ve yönü tanımlanmıştır. Nesil 2’de, girdilerde kullanılan veri sayısı arttırılarak modelin başarısı bir önceki nesle göre geliştirilmeye çalışılmıştır. Nesil 2 için oluşturulan YSA modelinin çalıştırma sonuçları Şekil 5.3’de verilmiştir. Aynı modelin test sonuçları ve bu değerlerdeki hatalar Şekil 6.33 ve 6.34 ile Çizelge 6.7’de verilmiştir.



<i>En İyi Ağ</i>	<i>Çalıştırma</i>	<i>Çapraz Doğrulama</i>
Epoch #	998	986
Minimum MSE	0,0115	0,01055
Sonuncu MSE	0,0115	0,01096

Şekil 5.3 Bozcaada istasyonu için Nesil 2 model çalıştırma sonuçları.

Nesil 2’de, modele girilen verilerin kaynağı olan istasyon sayısı önceki modele göre sabit tutulup girdi çeşidi artırılarak Nesil 1b çalışmasına oranla elde edilebilecek gelişme gösterilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, modele tanımlanan verilerin çeşit sayısının artırılmasıyla beraber Nesil 1a ve 1b’ye oranla rüzgâr yönü ve hızı tahminlerinde gelişme olduğunu göstermektedir. Nesil 2 çalışmada üretilen modelin sonuçları ile oluşturulan çıktıların, gerçek verilerle oluşturulan hız ve yön verileriyle, önceki modellere oranla çok daha iyi bir şekilde uyum sağladığı, gerçek ve tahmin verileriyle oluşturulan eğrilerinin uyumundan da anlaşılmaktadır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Dünyadaki teknolojik gelişmeye paralel olarak en kaliteli enerji türü olarak kabul edilen elektrik enerjisine olan talep de artmaktadır. Enerji gereksiniminin hızlı artışı sonucu oluşan enerji açığı problemi özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha çok görülmektedir. Elektrik enerjisi üretimi büyük ölçüde fosil yakıtlarla gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu tür elektrik enerjisi üretimi çeşitli çevrimler aracılığıyla mümkün olmaktadır. Çevrimler sonucunda da enerji üretim sisteminin verimi azalmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların büyük çevre sorunlarına yol açması, yakıt üretiminin talebi karşılayamaması, yakıt arz ve fiyatların siyasi nitelik katılması ve özellikle petrolün ekonomik olarak kullanılabilirliğini kaybedecek olması, tükenmeyen enerji kaynakları olarak tanımladığımız yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaları arttırmıştır.

Rüzgâr santralleri yenilenebilir enerji kaynakları içinde uygulanabilirliği, verim ve üretilen elektrik maliyetleri açısından en önemli olanıdır. Fosil yakıt kullanan santrallerin aksine, yenilenebilir enerji sistemleri elektrik enerjisini doğrudan üreterek herhangi bir çevrime ihtiyaç duymazlar. Ancak, yenilenebilir enerji sistemlerinin en önemli dezavantajları sürekliliklerindedir.

Rüzgâr ile elektrik üreten enerji santrallerinde planlama aşamasından üretime geçiş aşamasına kadar yaşanan başlıca sorun, bölgedeki meteorolojik verilerin güvenilirlik düzeyi, zamana bağlı değişimi ve bu değişimin modellenmesinde yaşanan zorluklardır. Dolayısıyla, bir bölge içerisindeki toplam yenilenebilir enerji potansiyelinin zamana bağlı değişimi yenilenebilir enerji sisteminin güç karakteristiğini belirlemedeki en sıkıntı verici konudur.

Ülke genelinde, gerek gün içinde gerekse, mevsimler bazında değişen elektrik enerjisi ihtiyacı, elektrik santrali devreye sokularak veya devreden çıkarılarak dengelenebilmektedir. Türkiye’de şebekedeki anlık yük artışlarını, artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için devreye doğalgaz santralleri sokulmaktadır. Bir ülkenin enerji ağına bağlı üretim santrallerinin kullandığı enerji kaynaklarının çeşitliliğinin azlığı ulusal bazda, sistemin kararlılığını ve güvenilirliğini azaltmaktadır. Enerji kaynaklarının çeşitliliği yenilenebilir enerjilerle arttırılabilir. Yenilenebilir enerji santrallerinin ise şebekeye enerji veren diğer santrallerle beraber uyum içinde çalışması gerekmektedir. Bu uyumun sağlanabilmesi, doğası gereği potansiyeli değişkenlik gösteren yenilenebilir enerji santrallerinin güvenilir üretim düzeylerinin gerek makro gerekse mikro temelde modellenebilmelerine ve model sonuçlarına göre yapılan planlama çalışmalarına bağlıdır.

Bir yenilenebilir santralin potansiyeli doğru olarak belirlenemez ve zamana bağılı olarak çalışma ve üretim düzeyleri gerçekçi olarak tahmin edilemez ise, seçilecek kapasite ve donanım ve bunlara bağılı olarak yatırım maliyetleri de aynı ölçüde problemli olmaktadır. Güvenilirlik seviyesinin tam olarak belirlenememesi nedeniyle, bölgenin enerji planlaması yapılırken nominal değerler yerine, yenilenebilir enerji santrallerinin ürettikleri enerji miktarının nominal değerleri yerine, küçük bir bölümü hesaba katılmaktadır. Elektrik şebekesi yöneticileri, rüzgâr türbinlerine elektrik enerjisi üretimi açısından baktıklarında, rüzgâr santralleri tarafından şebekeye verilecek olan elektrik enerjisindeki kesikli bağlantıların dalgalanmalara neden olduğunu ve ulusal şebekede, teknik sorunlar yarattığını ve bunların verimlilik ve etkinlik alanlarında önemli düşüslere sebep olduğunu düşünmektedirler. Türkiye’de de rüzgâr enerjisi santrallerinden bu güne kadar etkin bir biçimde yararlanılamamasının birinci nedeni budur. Halbuki Bölüm 4.2’den de görülebileceği üzere, rüzgâr santrallerine ait enerji üretim trendleri öncelikle tek tek belirlemesi yapılmış ve ardından tüm istasyonlara ait rüzgâr enerjisi potansiyelleri eş zamanlı olarak incelenmiştir. Buradan yola çıkılarak, rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenen bir bölgede, bölgenin farklı yerlerine yerleştirilecek rüzgâr enerjisi santrallerinin sayıları arttıkça, elektrik enerjisi üretiminde gelişen diversitenin elektrik enerjisi üretimindeki dalgalanmaya azaltıcı (yumuşatıcı) şekilde etkilediği gösterilmiştir. Tek bir kaynağa etki eden, farklı karakterde üretim veya tüketim yapan çok sayıdaki birimlerin, sayılarından ve üretim/tüketim karakterlerindeki farklılıklardan dolayı eş zamanlı üretim veya tüketimlerdeki dalgalanma oranları, tek başlarına düşünüldüğü duruma göre oldukça azaldığının gösterildiği çalışmanın sonuçları aşağıda verilmiştir. Bu bağlamda, Türkiye üzerinde rüzgâr potansiyeli yüksek ve alt yapısı çok iyi durumda olan Marmara Bölgesi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu bölge içindeki uygun meteoroloji istasyonları aracılığıyla da alt bölgeler oluşturulmuştur. Her alt bölgeyi bir meteoroloji istasyonu temsil etmektedir.

Bu çalışmalara temel olması için en uygun bölgenin bulunması amacıyla, REHES Türkiye Raporundaki (2007) araştırma sonuçlarıyla hazırlanan Çizelge 3.1 incelenmiş ve Kuzey Ege ve Marmara Bölgesi’nin özellikle deniz kıyısı olan batı kesimi seçilmiştir. Bu seçim, istatistiksel çalışmalardan ve Türkiye Rüzgâr Atlası verileriyle de doğrulanmaktadır. Ayrıca, Türkiye’deki rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan ve elektrik şebeke altyapısının da çok iyi durumda olduğu belki de tek bölge Marmara bölgesidir. Türkiye’de enerji tüketimi en yüksek olan bölgenin Marmara bölgesi olması iletim kayıplarının en aza indirgenmesini sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı, ana bölge olarak Marmara ve Kuzey Ege, bu bölge

içinde olup DMİ tarafından ölçüm verileri sağlanabilen Bozcaada, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma, Tekirdağ, Florya (İstanbul), Yalova ve Çınarcık istasyonları ise alt bölgeler olarak seçilmişlerdir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 İstasyonların konumları ve birbirlerinden olan uzaklıkları.

İstasyon	Enlem	Boylam	İstasyonlar Arası Uzaklıklar [km]							
			17056 TE	17110 GÖ	17112 ÇA	17114 BA	17119 YA	17636 FL	17111 BZ	17658 Çİ
17056 Tekirdağ	40:59:00	27:30:00	0,0	161,9	132,7	84,7	154,3	107,8	176,5	141,2
17110 Gökçeada	40:11:00	25:54:00	161,9	0,0	42,9	177,6	291,7	259,5	41,5	277,5
17112 Çanakkale	40:08:00	26:24:00	132,7	42,9	0,0	136,1	251,5	222,7	43,9	237,4
17114 Bandırma	40:19:00	27:59:00	84,7	177,6	136,1	0,0	116,7	100,4	171,9	102,9
17119 Yalova	40:40:00	29:17:00	154,3	291,7	251,5	116,7	0,0	54,9	288,6	14,2
17636 Florya	40:59:00	28:47:00	107,8	259,5	222,7	100,4	54,9	0,0	263,4	46,5
17111 Bozcaada	39:50:00	26:04:00	176,5	41,5	43,9	171,9	288,6	263,4	0,0	274,6
17658 Çınarcık	40:39:00	29:07:00	141,2	237,4	102,9	14,2	46,5	274,6	274,6	0,0

İncelenen istasyonların rüzgâr karakterini belirlemek ve bunun sonucunda rüzgâr trendleriyle ilgili değerlendirme yapabilmek amacıyla, her istasyon için çeşitli istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, DMİ'nin vermiş olduğu ham ölçüm verilerin doğrudan kullanımı mümkün değildir. Bunun nedeni verilerin ham haliyle, çalışmada kullanılan yazılımlarla doğrudan işlenmesine imkân olmaması ve rüzgâr hızı değerlerinin 10m yükseklikte ölçülmüş olmasıdır. Öncelikle çalışılacak olan istasyonların verileri ayrılmıştır. Daha sonra bu veriler, kullanılan yazılımlarla uyum göstermesi ve hesaplamaları kolaylaştırması açısından çeşitli şekillerde dizilmiştir. Ardından, rüzgâr hızı değerleri günümüzün teknolojisinde kullanılan türbinlerin ortalama rotor yüksekliği olan 100m yükseklik için düzeltilmiştir. Düzeltme katsayısıyla ilgili detaylar Bölüm 1'de anlatılmıştır. Bu düzeltme, özellikle gerçek bir rüzgâr türbininin çalışma kapasitesi aralıklarına oranlanarak anlatılmak istenen rüzgâr potansiyeli çalışmaları için gerekli olmaktadır. Oluşturulan veri matrisleri kullanılarak çeşitli istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır. Hesap sonuçlarının gösterileceği grafiklerin oluşturulması amacıyla, hesaplamalar sonucu elde edilen ikincil veriler kullanılarak ayrı matrisler de oluşturulmuştur. Rüzgâr trendi ve rüzgâr enerjisi potansiyeli belirleme çalışmaları için oluşturulan istatistiksel modeller Çizelge 6.2'de

listelenmiştir. Sonuç bölümünde örnek olarak genel ve Tekirdağ'a ait sonuçlar verilirken, diğer istasyonlara ait çalışma sonuçları Çizelge 6.2'de belirtilen Ek 1'den Ek 8'e kadar verilmiştir.

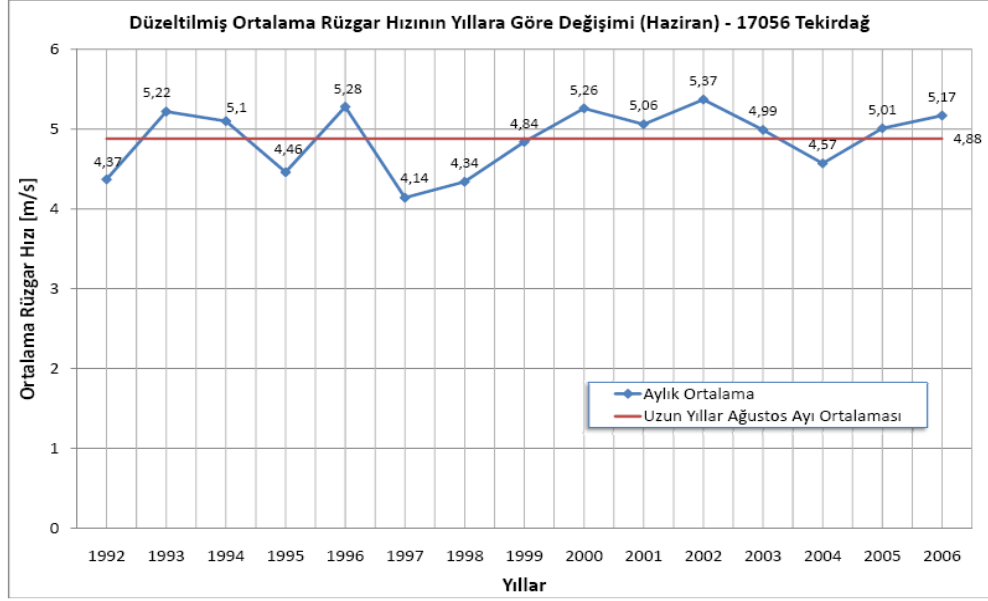
Çizelge 6.2 İstasyonlar için gerçekleştirilen çalışmalar ve üretilen grafiklerin adetleri.

İstasyon	Çalışma	Her Bir Model İçin Üretilen Grafik Adeti	Örnek İstasyon Dışındaki Çalışmaların Gösterildiği Yer
Tekirdağ, Çanakkale, Gökçeada, Bozcaada, Bandırma, Florya, Yalova, Çınarcık	Ortalama Rüzgâr Hızının Yıllara Göre Değişimi	1 x 8	Ek 1
	Rüzgâr Türbininden Elde Edilebilecek Kapasite Aralıklarının Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Görülme Sıklığı Oranları	4 x 8	Ek 2
	Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylardaki Bir Gün İçindeki Saatlik Değişimi	4 x 8	Ek 3
	Aylık Ortalama Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Yıl İçindeki Değişimi	1 x 8	Ek 4
	Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları	4 x 8	Ek 5
	Çeşitli Rüzgâr Türbini Kapasite Aralıkları İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları	6 x 8	Ek 6
	Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Birim Alandaki Rüzgâr Gücünün Dağılımı	1 x 8	Ek 7
	Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Eş Zamanlı Toplam Rüzgâr Gücü Dağılımı	1	
	Saatlik Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli - 1994 Haziran	1 x 8	Ek 7
	Saatlik Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli - 2005 Ağustos	1 x 8	Ek 7
	Saatlik Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli - 1997 Aralık	1 x 8	Ek 7
	Tüm İstasyonlar İçin Saatlik Eş Zamanlı Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli - 1994 Haziran	1	
	Tüm İstasyonlar İçin Saatlik Eş Zamanlı Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli - 2005 Ağustos	1	
	Tüm İstasyonlar İçin Saatlik Eş Zamanlı Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli - 1997 Aralık	1	

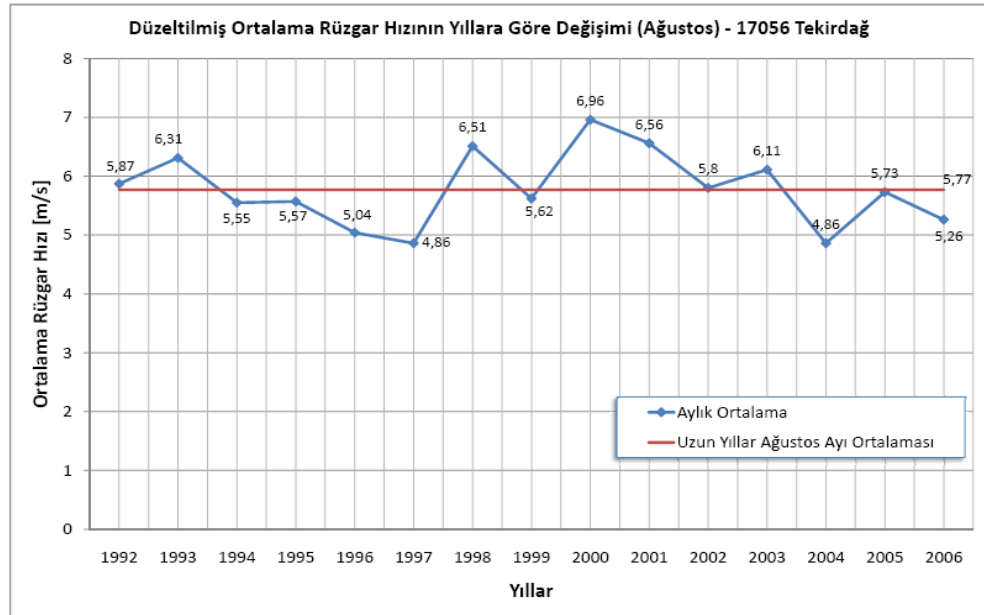
Bölüm 4'te açıklandığı gibi, istasyonlar için hesaplanan pik, zayıf ve referans ayların tüm bir yılı temsil edeceği düşünülmüştür. Bu nedenle çalışmalarda Aralık (pik), Haziran (zayıf) ve Ağustos (referans) ayları ile çalışılmıştır.

Öncelikle ortalama rüzgâr hızının (1992–2006) uzun yıllar süresince olan değişimi incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda üretilen modelle, ilgili istasyonun rüzgâr hızı seviyesi görülerek istasyonun temsil ettiği yöredeki ortalama rüzgâr hızının uzun yıllar boyunca olan değişimi hakkında değerlendirme yapılabilecektir. Bu değişim, rüzgâr enerjisi potansiyelinin

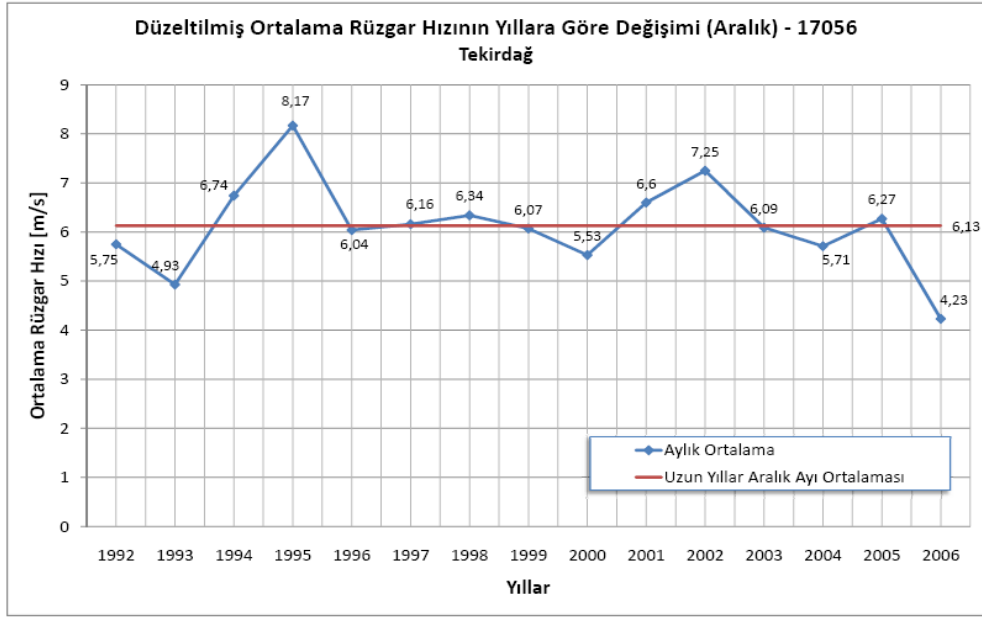
değişimi konusunda da fikir verir. Ayrıca, ortalama rüzgâr hızı değerinin, yıllara göre genel ortalama hız değerinden olan sapması da grafik üzerinden değerlendirilebilir. Böylece ortalama rüzgâr hızının alabileceği maksimum ve minimum değerler görülebilir. Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3’de örnek olarak Tekirdağ istasyonuna ait sırasıyla Haziran, Ağustos ve Aralık aylarına ait uzun yıllar aylık rüzgâr hızı ortalamaları gösterilmiştir. Diğer istasyonlarla ilgili çalışmalar Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 6.1 Tekirdağ için Haziran (zayıf) ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



Şekil 6.2 Tekirdağ için Ağustos (referans) ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.

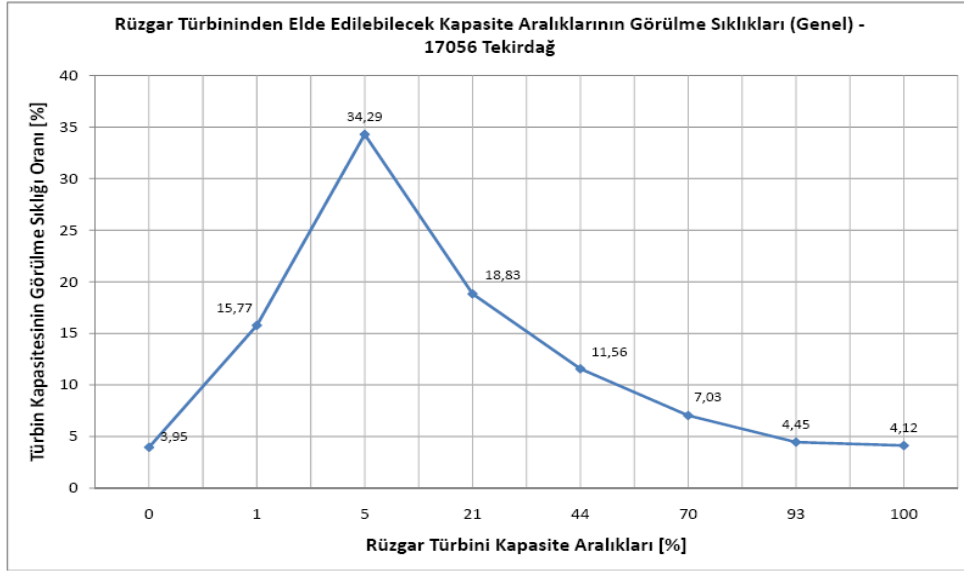


Şekil 6.3 Tekirdağ için Aralık (pik) ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.

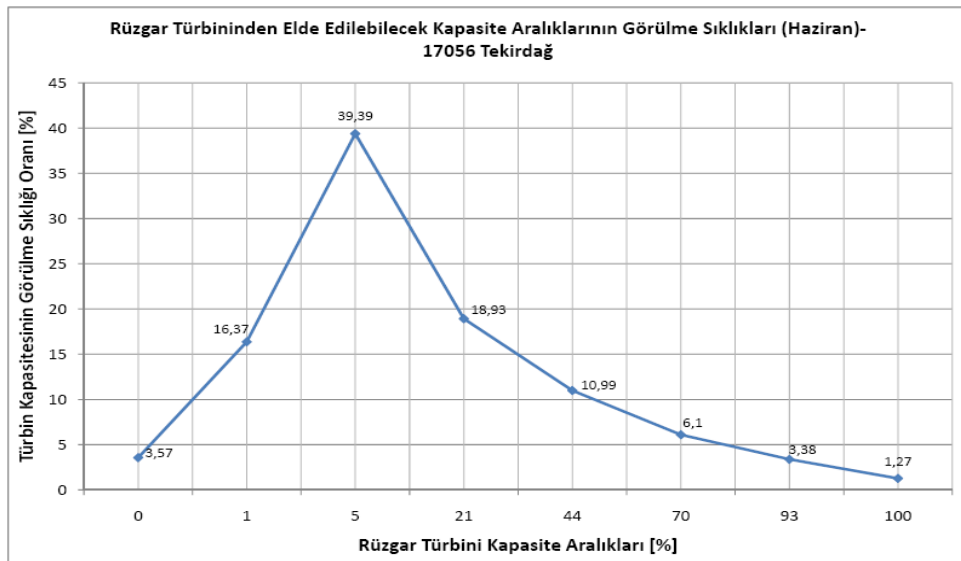
Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, aylık rüzgâr hızı ortalamasından olan en büyük sapma oranı Bozcaada istasyonunda Aralık ayı için görülmüştür. Bozcaada’da, 2000 ve 2001 yılı Aralık ayı rüzgâr hızı ortalamaları arasında 10 m/s fark vardır. Haziran ve Ağustos ayları için de ortalama rüzgâr hızı değerinden olan en büyük farklar Bozcaada yöresinde olduğu görülmektedir. Gökçeada yöresinde de aylık ortalama rüzgâr hızları arasındaki farkların büyük olduğu görülmektedir. Örneğin 2000 ile 2001 yılları Aralık ayı ortalama rüzgâr hızları arasında yaklaşık 7m/s fark varken 1999 ile 2000 yılları Haziran ayı hız ortalamaları arasında 2 kattan fazla fark bulunmaktadır (4,72m/s’ye karşılık 9,81m/s). Yıllık ortalama ile pik, zayıf ve referans ayların tümünde en düşük ortalama hızların Çınarcık yöresinde olduğu hesaplanmıştır (sırasıyla 2,26m/s, 2,43m/s ve 3,54m/s). Ortalama hız değerleri ve bu değerlerin ortalama değerlerden olan farkları, aylık ve yıllık olarak Çizelge 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’de listelenmiştir.

Diğer bir çalışmada, incelenen yöreler üzerinde kuru olan gerçek bir rüzgâr türbininden elde edilebilecek çeşitli kapasite aralıklarının tüm yıl ile pik, zayıf ve referans aylar için görülme sıklığı oranları hesaplanarak grafikler üzerinde gösterilmiştir. Bu kapasite aralıkları ve bunlara karşılık gelen rüzgâr hızları Çizelge 4.4’te verilmiştir. Oluşturulan grafikler, ilgili yöreye kurulacak bir rüzgâr santralinin, çalışma süresi boyunca hangi kapasitede ne kadar süre çalışacağını gösterir. Buradan yola çıkılarak, incelenen yöre üzerinde kurulacak herhangi

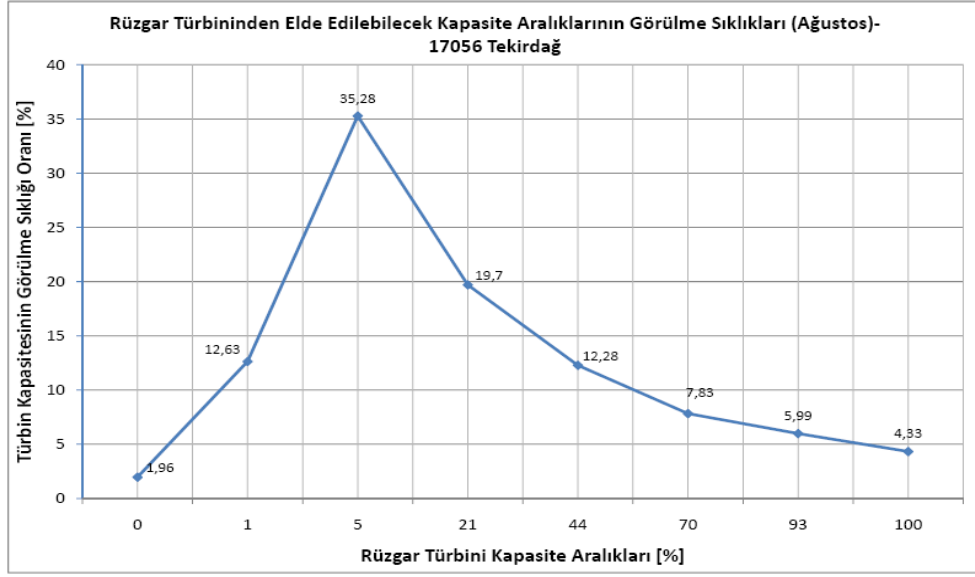
santralin çalışma süresi boyunca üreteceği toplam enerji miktarı, kullanılmak istenilen santralin kapasitesine oranlanarak bulunabilir. Bu çalışma yardımıyla, rüzgâr santralinin enerji üretilmediği süre görüldüğünden, yöreye ait rüzgâr ile elektrik enerjisi üretiminin güvenilirliği de değerlendirilebilir. Örnek olarak Şekil 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7’de Tekirdağ istasyonuna ait sırasıyla genel durum (tüm yıl) için ile Haziran, Ağustos ve Aralık ayarına ait, bir rüzgâr santralinden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranları gösterilmiştir. Diğer istasyonlarla ilgili çalışmalar Ek 2’de verilmiştir.



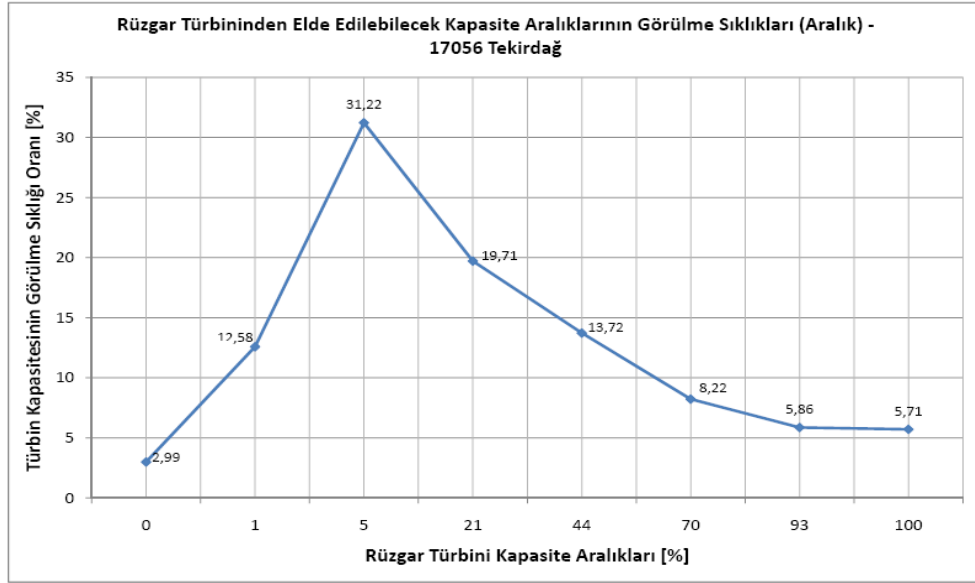
Şekil 6.4 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



Şekil 6.5 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).



Şekil 6.6 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).

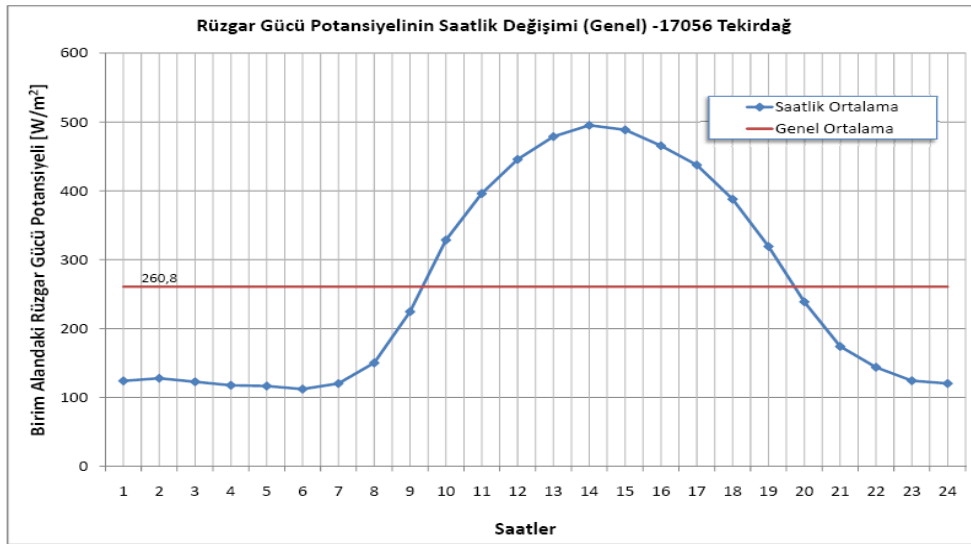


Şekil 6.7 Tekirdağ için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).

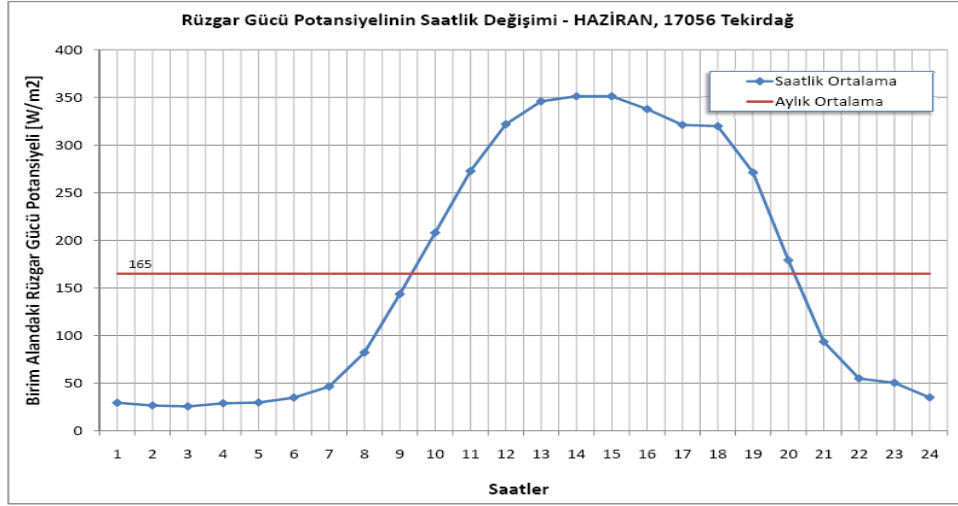
Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, incelenen bölgedeki en güvenilir ve en yüksek rüzgâr potansiyeline sahip yöre Bozcaada'dır. Bu yöreye kurulacak bir rüzgâr türbini tüm yılın yaklaşık %40'ında tam kapasite ile çalışacaktır. Bu oran Aralık ayında (pik ay) %52 seviyesine çıkmaktadır. Bir yıllık sürede yalnızca %1,7'sinde türbin enerji üretemeyecektir. Bu oran sadece Aralık ayı düşünüldüğünde yaklaşık %1'e düşmektedir. Çınarcık yöresi, yıl boyunca %26, Haziran'da %27,5, Ağustos'ta %21 ve Aralık ayındaki %22'lik hareketsizlik oranıyla rüzgâr potansiyeli bakımından incelenen bölgedeki en zayıf yöredir. İncelenen

bölgenin bütününde rüzgâr enerjisi potansiyeli Aralık ayında en yüksek değere ulaşmaktadır. Çizelge 4.17, 4.18 ve 4.19’da sırasıyla Haziran, Ağustos ve Aralık ayları için tüm istasyonlara ait rüzgâr enerjisi potansiyelleri listelenmiştir.

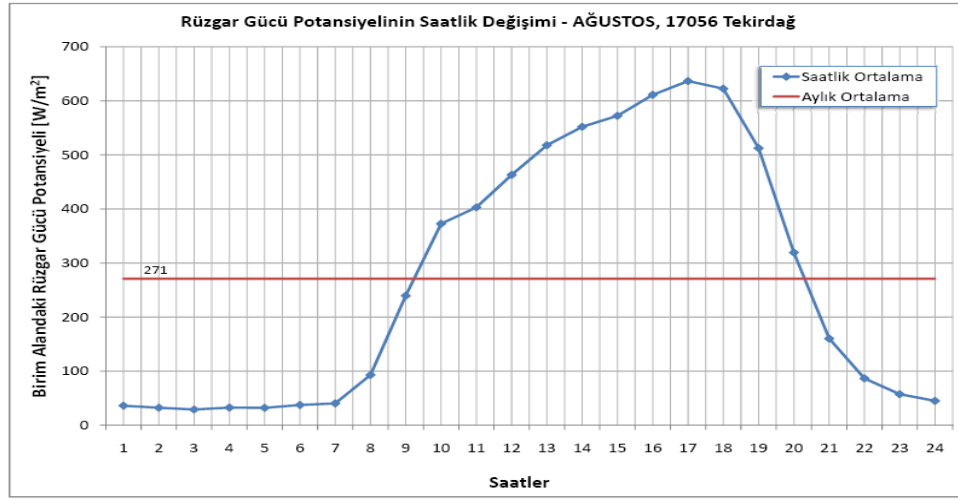
Rüzgâr gücü potansiyelinin tüm yıl ile pik, zayıf ve referans aylardaki bir gün içindeki saatlik değişimi ile ilgili çalışmanın sonucunda, rüzgâr potansiyelinin gün içindeki değişimi, tüm yıl ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) ayları için gösterilmiştir. Yıllık temeldeki çalışmada tüm yılı bir gün temsil ederken, aylara göre olan çalışmada ilgili tüm ayı bir gün temsil etmektedir. Eğriler üzerindeki güç değişimleri gözlenerek, rüzgâr gücünün tüm yılın veya Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) aylarından birinin temsil edildiği bir gün içinde hangi saatlerde ve ne ölçüde dalgalanma gösterdiği görülmektedir. Ayrıca ortalama rüzgâr potansiyelinin gün içinde alabileceği ortalama maksimum ve minimum değerler ile bu değerlerin görülebileceği saatler görülmektedir. Bu çalışma, rüzgâr santrallerinin gün içerisindeki yönetimi ve planlanması konularında çok faydalı olacağı düşünülmektedir. Şekil 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11’de örnek olarak Tekirdağ istasyonuna ait sırasıyla tüm yıl ile Haziran, Ağustos ve Aralık ayarı için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi gösterilmiştir. Diğer istasyonlarla ilgili çalışmalar Ek 3’te verilmiştir.



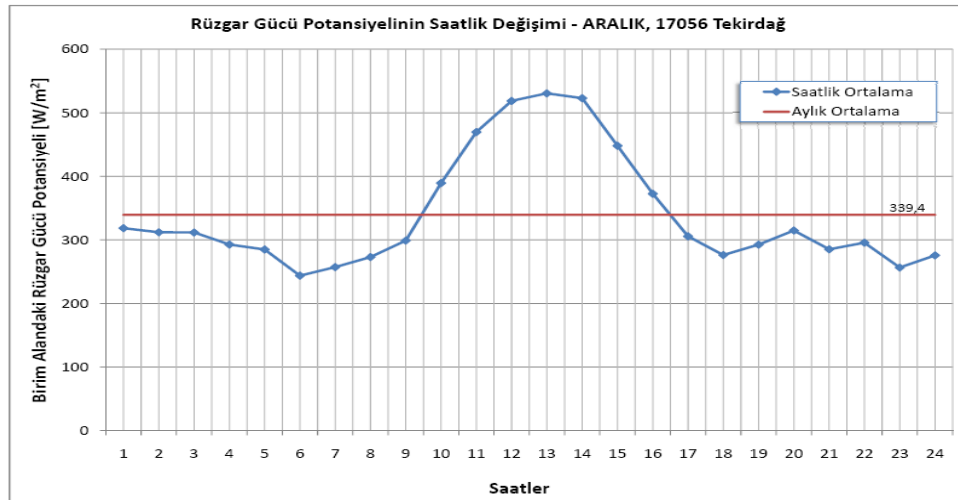
Şekil 6.8 Tekirdağ için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



Şekil 6.9 Tekirdağ için Haziran ayındaki rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi.



Şekil 6.10 Tekirdağ için Ağustos ayındaki rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi.



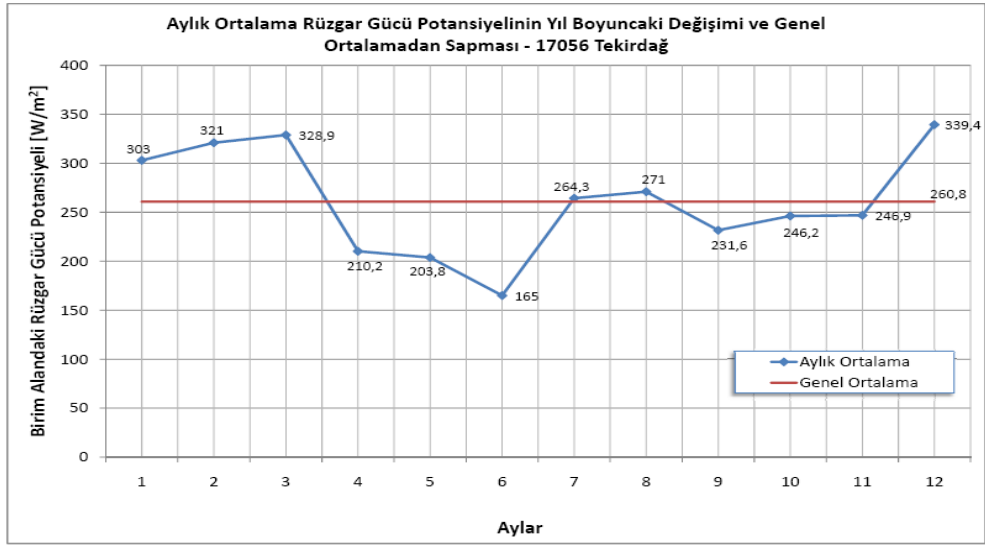
Şekil 6.11 Tekirdağ için Aralık ayındaki rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi.

Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, incelenen bölgede rüzgâr potansiyelinin gün içindeki farkı yaz aylarında pik değeri almakta, geçiş mevsimlerinde (sonbahar ve ilkbaharda) azalarak kış aylarında ve özellikle pik ay olan Aralık'ta minimum seviyeye düşmektedir. Sonuçlara göre rüzgâr potansiyeli güneşin batmasından bir süre sonra azalış göstermekte, gece saatlerinde ise genellikle minimum seviyelere inmektedir. Bu olay özellikle yaz aylarında daha belirgin olarak görülmektedir. Buradan, gün içinde görülen rüzgâr enerjisi potansiyelindeki dalgalanmalarda güneş radyasyonu etkisinin büyük olduğu anlaşılmaktadır. Güneş etkisinin minimum olduğu kış aylarında gece ile gündüz arasındaki rüzgâr enerjisi potansiyeli farkları doğal olarak azalış göstermektedir. Rüzgâr potansiyelinin bu trendi grafikler üzerinde daha rahat anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın sonucu oluşturulan Çizelge 6.3 incelendiğinde, gece-gündüz arasındaki en düşük rüzgâr enerjisi potansiyeli fark oranının Haziran ayı için Çınarcık, Ağustos ayı için Bandırma, Aralık Ayı için Gökçeada yöresinde olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeli farkı oranının ise Haziran ayı için Yalova, Ağustos ve Aralık ayları için Tekirdağ yöresindedir. Gece-gündüz arası oluşan en büyük farkın ise Ağustos ayı için 3975 W/m² ile Bozcaada yöresinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.3 Tüm istasyonlar için günlük maksimum ve minimum rüzgâr enerjisi potansiyelleri.

	Haziran				Ağustos				Aralık				Genel			
İstasyon	Günlük Maksimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Günlük Minimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Minimum ve Maksimum Potansiyel Farkı [W/m ²]	Değişim Oranı	Günlük Maksimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Günlük Minimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Minimum ve Maksimum Potansiyel Farkı [W/m ²]	Değişim Oranı	Günlük Maksimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Günlük Minimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Minimum ve Maksimum Potansiyel Farkı [W/m ²]	Değişim Oranı	Günlük Maksimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Günlük Minimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Minimum ve Maksimum Potansiyel Farkı [W/m ²]	Değişim Oranı
Tekirdağ	352	26	326	12,5	637	29	608	21,0	531	244	287	1,2	496	112	384	3,4
Gökçeada	913	219	694	3,2	1348	396	952	2,4	1829	1578	251	0,2	1374	828	546	0,7
Bozcaada	3880	676	3204	4,7	4922	947	3975	4,2	5641	4483	1158	0,3	4679	2343	2336	1,0
Çanakkale	1431	154	1277	8,3	1692	251	1441	5,7	2419	1370	1049	0,8	1971	696	1275	1,8
Bandırma	1471	276	1195	4,3	2011	599	1412	2,36	1761	1316	445	0,3	1584	775	809	1,0
Florya	183	29	154	5,3	293	38	255	6,7	275	203	72	0,4	223	104	119	1,1
Yalova	122	7	115	16,4	124	10	114	11,4	214	131	83	0,6	153	60	93	1,6
Çınarcık	29	8	21	2,6	35	9	26	2,9	103	73	30	0,4	51	31	20	0,6

Aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl içindeki değişimi ile ilgili çalışmaların sonucunda oluşturulan grafikler üzerindeki güç değişimi incelenerek, bir yıl süresince rüzgâr gücünün hangi aylarda ve ne ölçüde dalgalanma gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca ortalama rüzgâr potansiyelinin yıl içinde alabileceği maksimum ve minimum değerler ile bu değerlerin görüldüğü aylar görülmektedir. Bu çalışma, rüzgâr santrallerinin bir yıl içindeki yönetimi ve planlanması konularında önemli bir yere sahiptir. Şekil 6.12’de örnek olarak Tekirdağ istasyonuna ait aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl içerisindeki değişimi gösterilmiştir. Diğer istasyonlarla ilgili çalışmalar Ek 4’de verilmiştir.



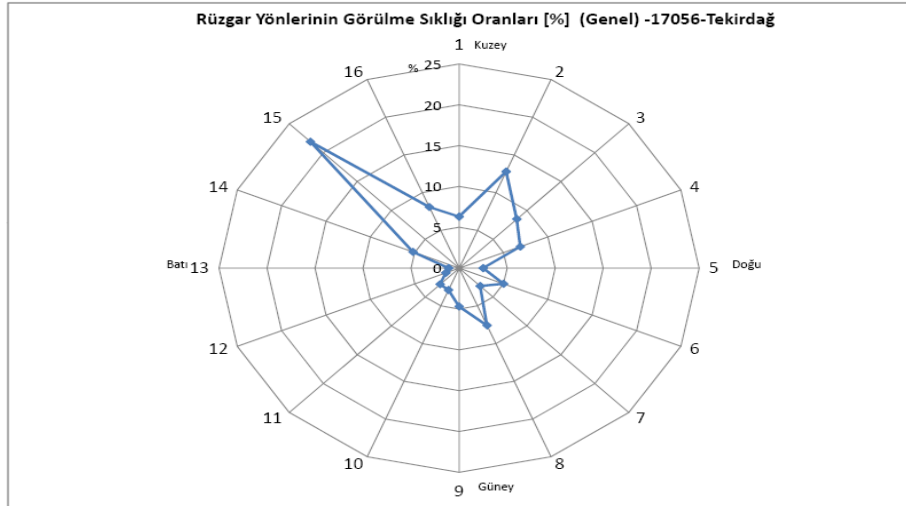
Şekil 6.12 Tekirdağ için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.

Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, aylık ortalama rüzgâr enerjisi potansiyeli kış aylarında pik değeri almakta, geçiş mevsimlerinde minimum seviyeye inmekte ve yaz aylarında artış olsa da kış aylarındaki seviyeye çıkamamaktadır. Aylık ortalama rüzgâr enerjisi potansiyeli en değişken yapıya sahip yöre Gece-gündüz arası olan en büyük fark ise Bozcaada istasyonunda olduğu görülmüştür. Aylık ortalama rüzgâr enerjisi potansiyeli Çizelge 6.4’de verilmiştir.

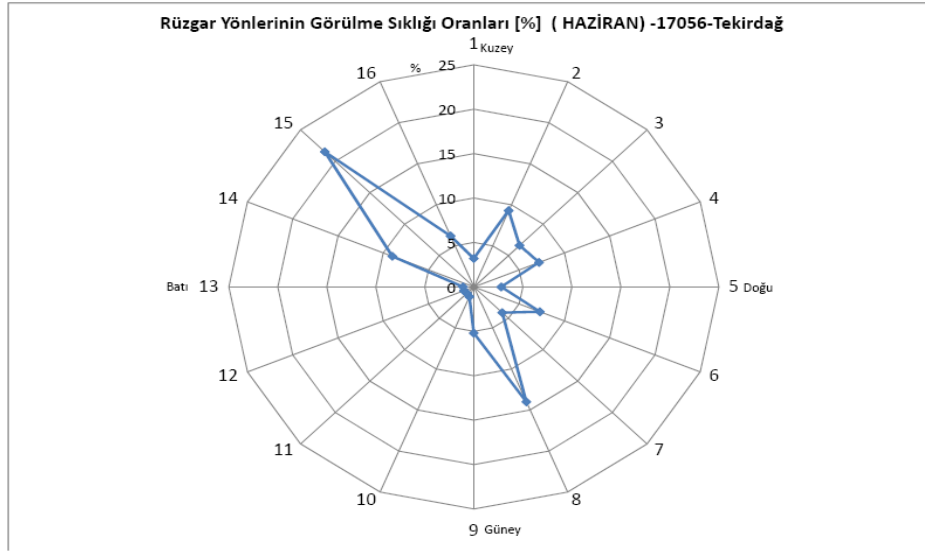
Çizelge 6.4 Tüm istasyonlar için aylık ortalama maksimum ve minimum rüzgâr enerjisi potansiyelleri.

İstasyon	Aylık Maksimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Aylık Maksimum Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli [W/m ²]	Minimum ve Maksimum Potansiyel Farkı [W/m ²]	Değişim Oranı
Yalova	172	47	125	2,7
Tekirdağ	340	165	175	1,1
Gökçeada	1745	459	1286	2,8
Florya	230	105	125	1,2
Çınarcık	87	16	71	4,4
Çanakkale	1683	629	1054	1,7
Bozcaada	4967	1968	2999	1,5
Bandırma	1560	613	947	1,5

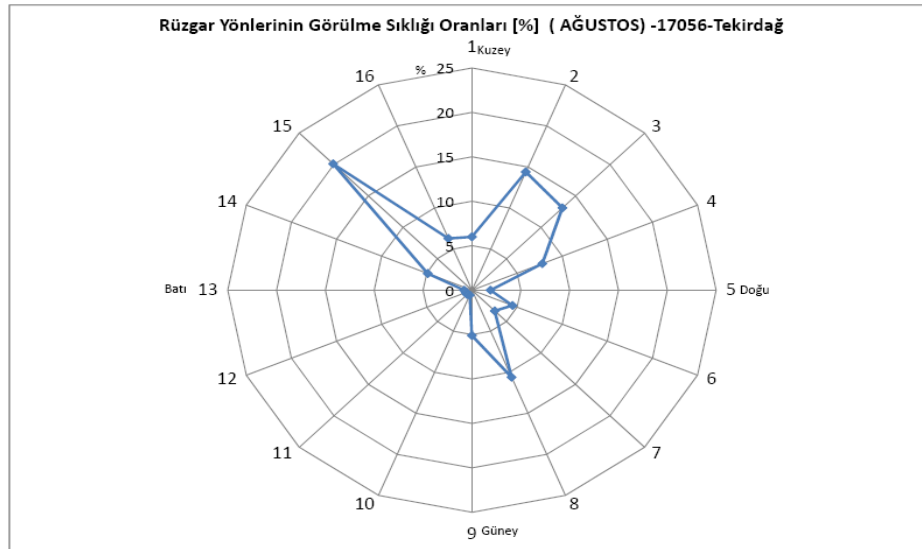
İstasyonların temsil ettiği yöreler üzerinde etkili olan rüzgâr yönlerinin dağılımı tüm yıl ile Aralık, Haziran ve Ağustos (pik, zayıf ve referans) ayları için hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda oluşturulan grafiklerle istasyon yöresinin baskın olan rüzgâr yönleri belirlenirken, genel olarak en az karşılaşılan (zayıf) rüzgâr yönleri de görülmektedir. Böylece, rüzgâr tarlası planlama aşamasında rüzgâr yönü durumları belirlenerek, rüzgâr türbinlerinin Bölüm 1’de açıklandığı gibi daha efektif şekilde yerleştirilmesi çalışmalarına katkı sağlanacaktır. Bir rüzgâr tarlasındaki rüzgâr türbinlerinin birbirleriyle olan etkileşimleri rüzgâr yönü ile birlikte değişim gösterir. Bu nedenle, rüzgâr yönü karakterinin aylara göre belirlenmesi, rüzgâr tarlasının aylık güç potansiyelini belirleme çalışmasına katkı sağlar. Şekil 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16’da örnek olarak Tekirdağ istasyonuna ait sırasıyla tüm yıl ile Haziran, Ağustos ve Aralık ayları için rüzgâr yönlerinin dağılım oranları gösterilmiştir. Diğer istasyonlarla ilgili çalışmalar Ek 5’de verilmiştir.



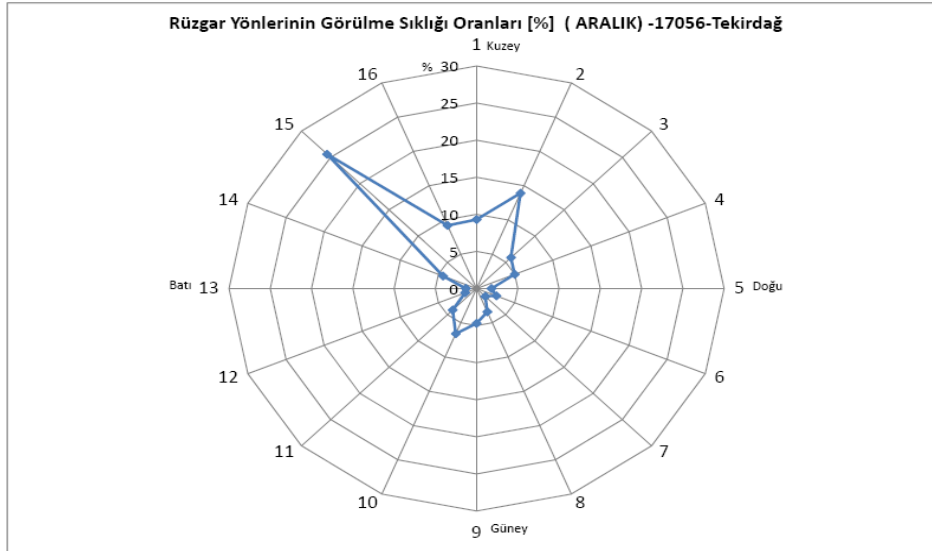
Şekil 6.13 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



Şekil 6.14 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.

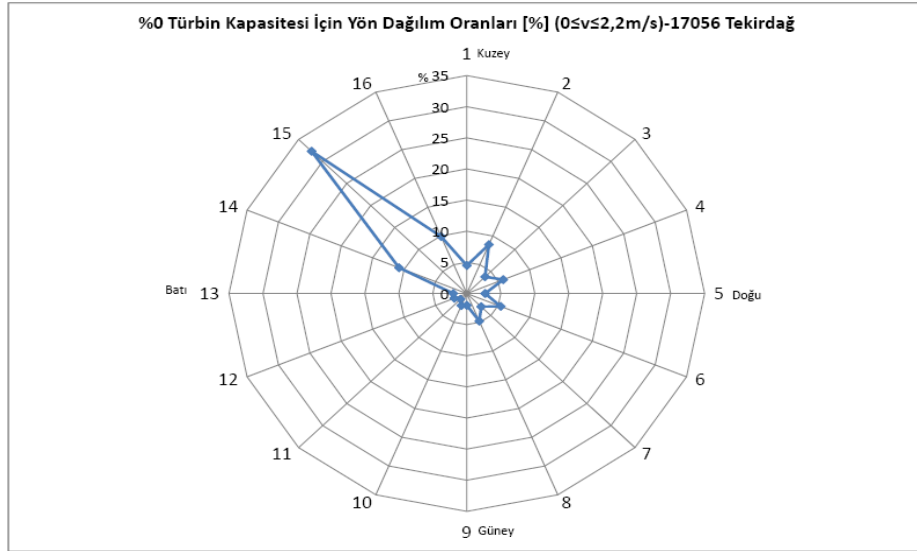


Şekil 6.15 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.

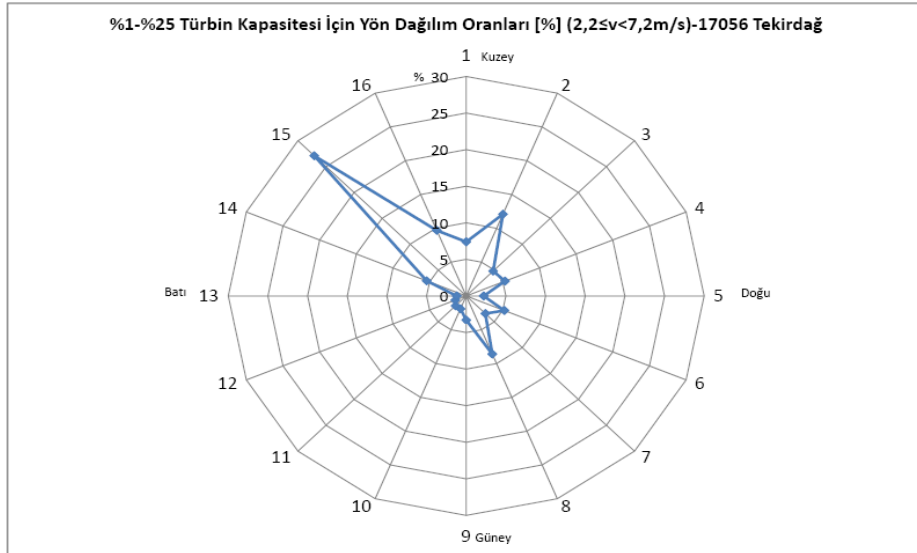


Şekil 6.16 Tekirdağ için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.

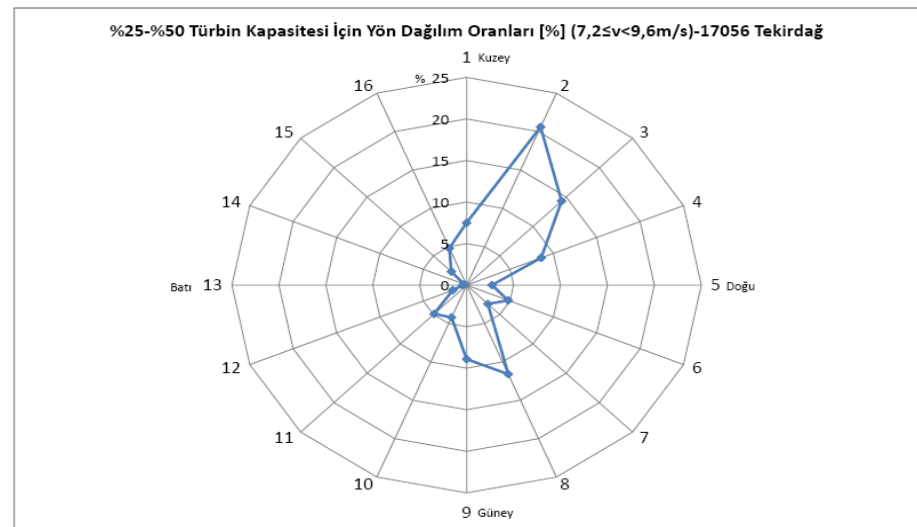
Yukarıda çalışma ile yörelerin rüzgâr yönü dağılımları rüzgâr hızından bağımsız olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma rüzgâr santralleri planlama aşamasında planlayıcılara genel bir fikir vermektedir. Ancak bu dağılım, rüzgâr santrallerinin enerji üretiminin rüzgâr hızına ve yönüne bağlı olması nedeniyle rüzgâr yönleri dağılım oranları çeşitli rüzgâr hızı aralıklarına, dolayısıyla türbin kapasite aralıklarına göre yeniden düzenlenmiştir. Bu çalışma yardımıyla rüzgâr yönleri dağılımları çeşitli rüzgâr hızı aralıklarına ve dolayısıyla türbin kapasitesi aralıklarına göre yeniden yapılarak baskın yönler hızlara bağımlı olarak belirlenmiştir. Hızdan bağımsız olarak hesaplanan rüzgâr yönlerinin dağılımı, rüzgâr hızına göre sınıflandırılmış dağılımdan farklılık gösterdiği her iki çalışma sonucu oluşturulan rüzgâr yönü dağılımları karşılaştırıldığında görülmektedir. Bu çalışmada üretilen model yardımıyla, rüzgâr tarlası planlama aşamasında rüzgâr yönü durumları kapasite aralıklarına göre değerlendirilerek, rüzgâr türbinlerinin daha efektif şekilde yerleştirilmesi ve rüzgâr tarlalarının uzun ve kısa dönemdeki enerji üretimi hesaplamalarına çalışmasına büyük katkı sağlanacaktır. Bir istasyonun bulunduğu yöre için türbin kapasitesine bağlı olarak baskın olan ve olmayan rüzgâr yönlerinin ve bunun yanında yönlerin baskınlık seviyelerinin belirlenmesi planlama aşaması için çok önemlidir (Li vd., 2001). Örnek olarak Tekirdağ yöresi için %0-%1, %1-%25, %25-%50, %50-%75, %75-%100 ve %100–frenleme kapasite aralıkları için oluşturulan grafikler sırasıyla Şekil 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21 ve 6.22’de gösterilmiştir. Diğer istasyonlarla ilgili çalışmalar Ek 6’da verilmiştir.



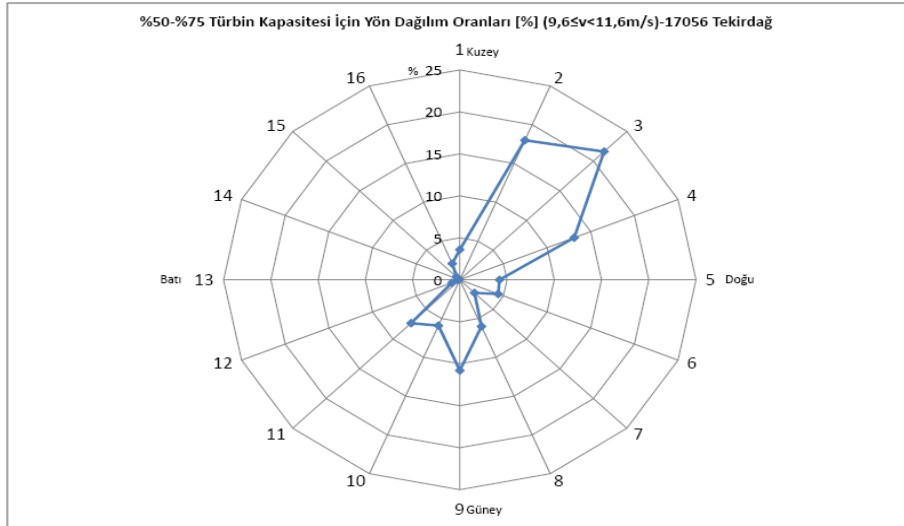
Şekil 6.17 Tekirdağ'da %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.



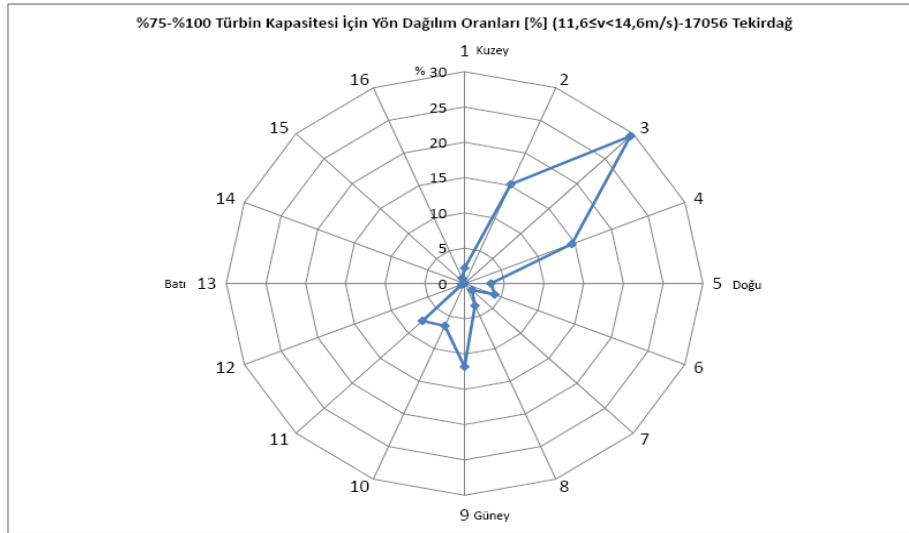
Şekil 6.18 Tekirdağ'da %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.



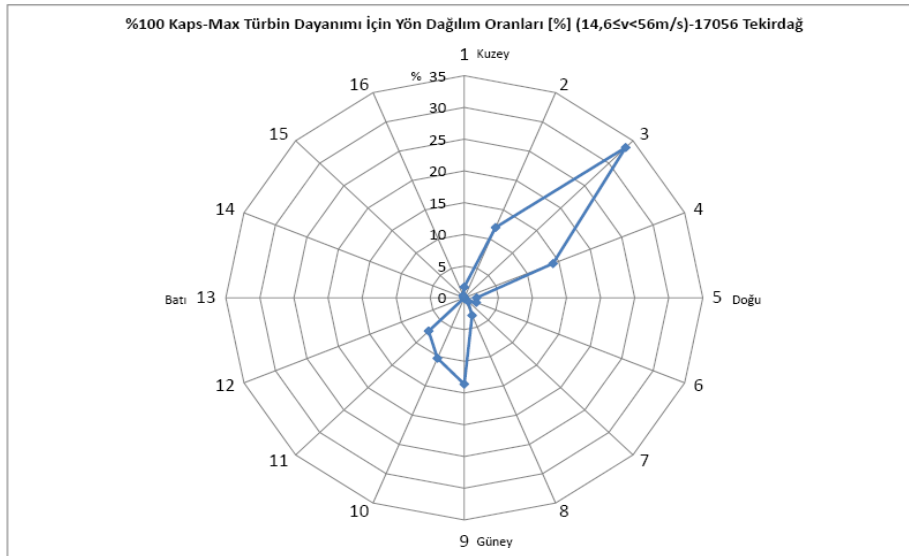
Şekil 6.19 Tekirdağ'da %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.



Şekil 6.20 Tekirdağ'da %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.



Şekil 6.21 Tekirdağ'da %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.



Şekil 6.22 Tekirdağ'da %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları.

Rüzgâr hızından bağımsız olarak gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde bölge genelinde kuzeyli rüzgârların baskın olduğu görülmektedir. Bu baskınlığın yaz aylarında ve özellikle Ağustos ayında arttığı anlaşılmaktadır. Bölgenin batısında kuzeydoğu ve kuzeybatı yönündeki rüzgârların baskınlık oranları %40'lara kadar çıkarken bölgenin doğusuna doğru kuzeyli rüzgârların baskınlığı azalmaktadır. Örneğin Çınarcık yöresinde kuzeyli yönler içinde görülen en yüksek baskınlık oranının Ağustos ayı için yaklaşık %16 olduğu görülürken, bu oran doğu-kuzeydoğu yönü için Yalova'da %12'ye kadar inmektedir. Bölge genelinde en yüksek baskın yön oranına sahip yöre Bandırma'dır. Bu yörede kuzey-kuzeydoğu yönünün Ağustos ayındaki baskınlık oranı yaklaşık %70'dir. Baskınlık oranları türbin performanslarına göre incelendiğinde durumun değiştiği görülmektedir. Türbin kapasite oranı yani rüzgâr hızı arttıkça baskın yönler veya yönlerin baskınlığının değiştiği gözlemlenmektedir. Örneğin Gökçeada yöresinde %1-%25 türbin kapasite aralığı için kuzey-kuzeydoğu yönünün baskınlığı %22, kuzey-kuzeybatı yönünün baskınlığı %18 ve güney-güneybatı yönünün baskınlığı %18 olduğu görülmüştür. Aynı yörede türbin kapasitesi %75-%100'e çıktığında kuzey-kuzeydoğu yönünün baskınlığı %62'e yükselmekte, kuzey-kuzeybatı yönünün baskınlığı %3 ve güney-güneybatı yönünün baskınlığı %13'e düşmektedir.

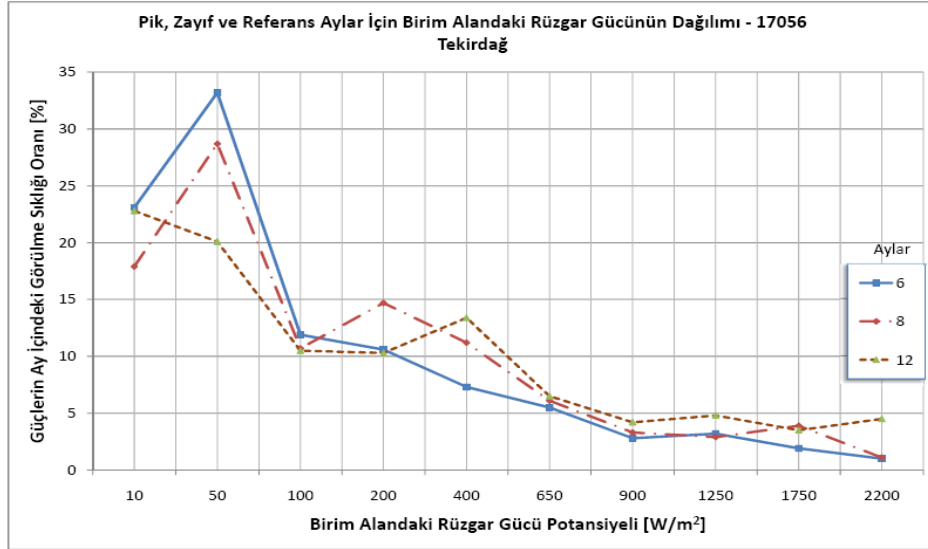
Rüzgâr tarlasının içindeki rüzgâr türbinlerinin sayısı arttıkça veya tarla daha büyük araziye yayıldıkça türbinlerin enerji üretim karakteristikleri arasındaki diversitenin artması nedeniyle enerji üretimindeki dalgalanmalarda da azalma olacağı düşünülmüştür. Rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenen bir bölgedeki rüzgârla elektrik enerjisi üretiminin bölgenin farklı yerlerine yerleştirilecek rüzgâr enerjisi santrallerinin sayıları arttıkça elektrik enerjisi üretiminde gelişen diversitenin elektrik enerjisi üretimindeki dalgalanmaya yaptığı azaltıcı (yumuşatıcı) etkinin seviyesini görebilmek amacıyla istasyonlara ait rüzgâr enerjisi potansiyelleri eş zamanlı olarak incelenmiştir.

Çalışmadaki her bir istasyona ait olan belli bir zaman aralığındaki rüzgâr hızı değerlerinden üretilen güçler birbirleriyle koşullu olarak toplanmıştır. Buradaki amaç, bölgenin genel (istasyonların temsil ettiği tüm bölgelerdeki üretimin eş zamanlı düşünüldüğü durum) rüzgâr enerjisi potansiyelini öğrenmek olduğundan minimum türbin çalışması için gerekli olan limit rüzgâr hızından daha düşük seviyedeki rüzgâr hızları toplama alınmamıştır. Çalışmada dikkat edilen diğer konu ise rüzgâr hızlarının eş zamanlı ve koşullu olarak toplamaları alındıktan sonra bulunan değerlerin ortalamalarının alınmamasıdır. Koşullu toplam yapılarak minimum rüzgâr türbini çalıştırma hızları doğrudan elendiği için geriye kalan türbin çalıştırabilecek hızların sadece toplamalarının alınması ilk bakışta yanlış olarak görülme de, rüzgârın içinde

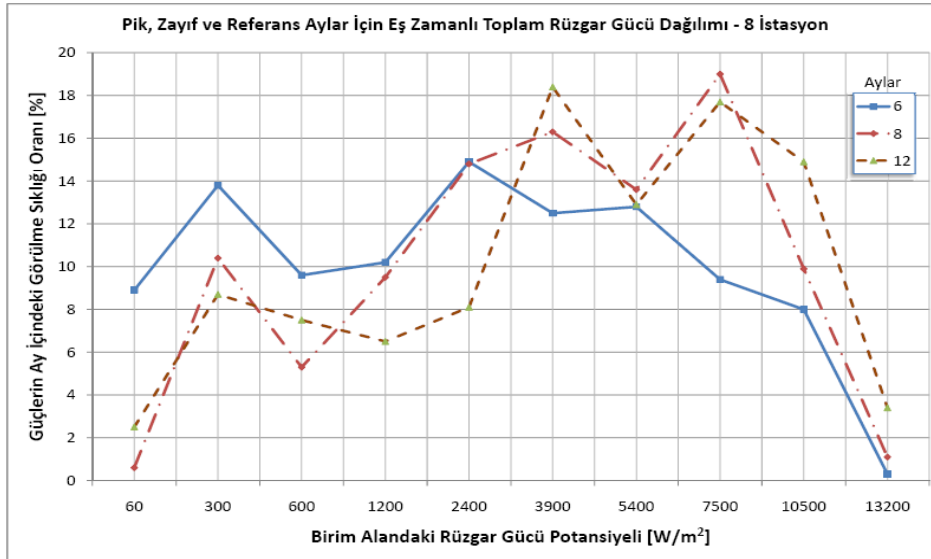
taşıdığı enerji eksponensiyel olarak değiştiği için hızların ne olursa olsun doğrudan toplanması enerji seviyesi bakımından doğru fikir vermemektedir. Bunu önlemek amacıyla, istasyonlar için koşullu filtreden geçirilen hız değerleri Eşitlik 1.2 yardımıyla güce dönüştürülerek ardından toplama gidilmiştir. Eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli çalışmasında Aralık, Haziran ve Ağustos ayları rüzgâr hızları verilerinin, çalışmanın gerçekçi olması bakımından verilerin bulunduğu dönem içindeki bir yıla ait olması gereklidir. Bunun yanında ortalama hızlarla çalışıldığı durumlarda türbinleri çalıştırabilecek minimum hızlar ortalama değere doğru çekilerek bir bakıma ihmal edilmiş olurlar.

Aralık (pik), Haziran (zayıf) ve Ağustos (referans) ayları ortalama rüzgâr hızlarının anılan aylara ait uzun yıllar ortalama hız değerlerine en yakın olan yıllar olarak seçilmesi ortalama rüzgâr potansiyelini temsil etmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Diğer bir deyişle, çalışılacak yıllar olarak Aralık, Haziran ve Ağustos ayları için ortalama hızları temsil eden referans yıllar seçilmiştir. Buradaki bir başka önemli nokta ise referans yılı seçilirken, tüm istasyonların eş zamanlı hızlarının ortalamaları kullanılması gereğidir. Özetle, bu çalışmada ortalama hızlarla değil, Aralık (pik), Haziran (zayıf) ve Ağustos (referans) ayları için belirlenen referans yıllardaki saatlik rüzgâr hızı verileriyle çalışılmıştır. Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12 incelendiği zaman 1992–2006 yılları arası Aralık, Haziran ve Ağustos ayları için ortalama rüzgâr hızlarından olan en az sapma Aralık için 1997, Haziran için 1994 ve Ağustos için 2005 yılları olduğu görülmektedir. Bu durumda çalışılan istasyonlar ve incelenen durum için referans yıllar zayıf ay (Ağustos) için 2005, pik ay için (Aralık) 1997 ve referans ay için ise (Haziran) 1994'tür.

Şekil 6.23'te örnek olarak pik, zayıf ve referans aylar için Tekirdağ yöresine ait birim alandaki rüzgâr gücünün dağılımı gösterilmiştir. Diğer istasyonlara ait çalışmalar Ek 7'de verilmiştir. Pik, zayıf ve referans aylar için eş zamanlı toplam rüzgâr gücü dağılımı Şekil 6.24'te gösterilmiştir.

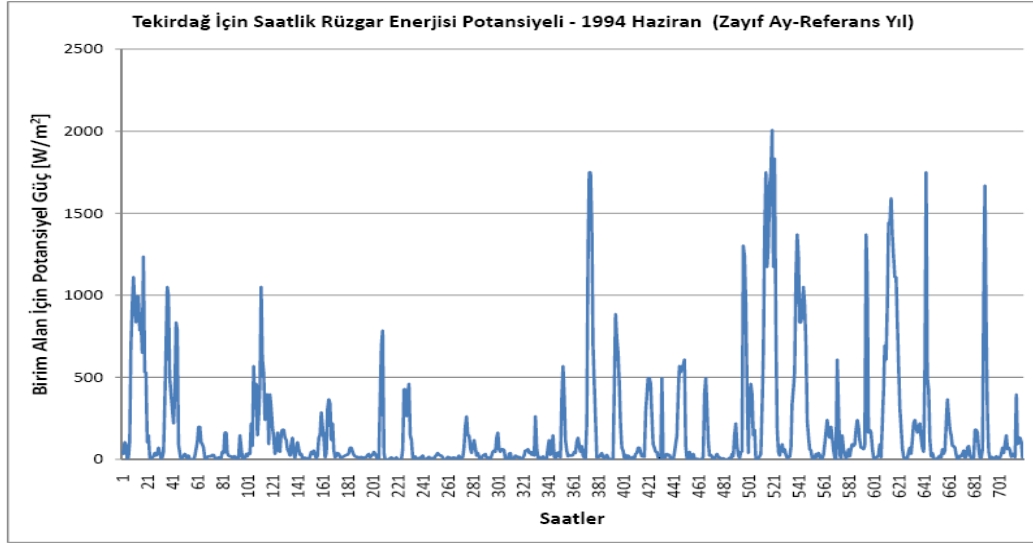


Şekil 6.23 Tekirdağ için pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları.

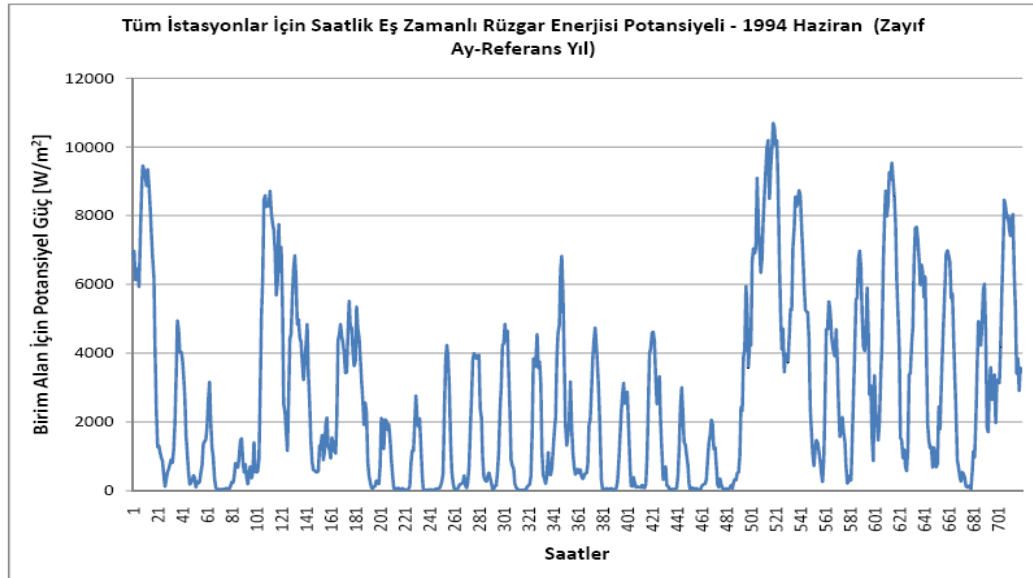


Şekil 6.24 Pik, zayıf ve referans aylar için eş zamanlı toplam rüzgâr gücü dağılım oranları.

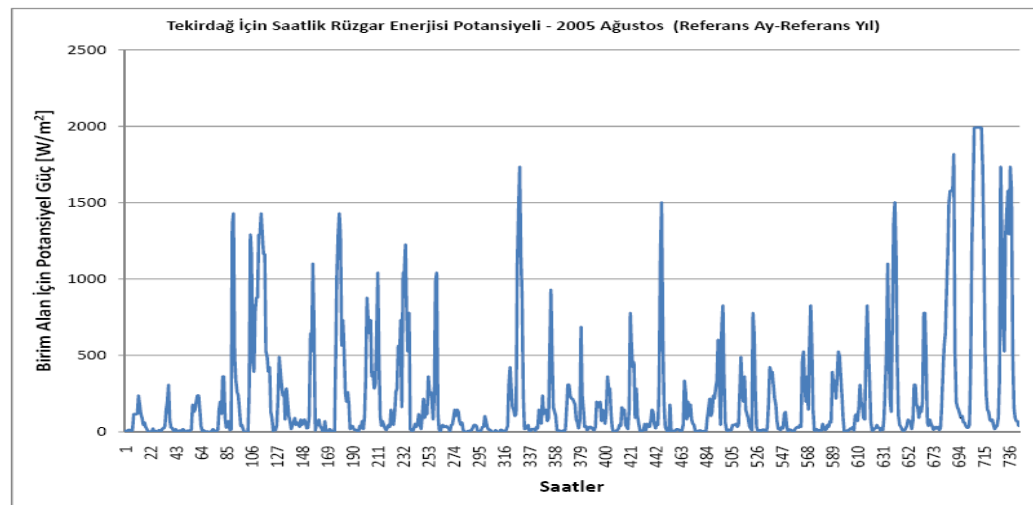
1994 yılı Haziran ayı (zayıf ay referans yıl), 2005 yılı Ağustos ayı (referans ay referans yıl) ve 1997 yılı Aralık ayındaki (pik ay referans yıl) saatlik rüzgâr enerjisi potansiyelinin saatlik değişimi örnek olarak Tekirdağ için sırasıyla Şekil 6.25, 6.27 ve 6.29'da gösterilmiştir. Eş zamanlı rüzgâr potansiyeli çalışmasının sonuçları olarak, 1994 yılı Haziran ayı (zayıf ay referans yıl), 2005 yılı Ağustos ayı (referans ay referans yıl) ve 1997 yılı Aralık ayındaki (pik ay referans yıl) tüm istasyonlar için eş zamanlı toplam saatlik rüzgâr enerjisi potansiyelinin saatlik değişimi sırasıyla Şekil 6.26, 6.28 ve 6.30'da verilmiştir. Diğer istasyonlara ait çalışma sonuçları Ek 8'te verilmiştir.



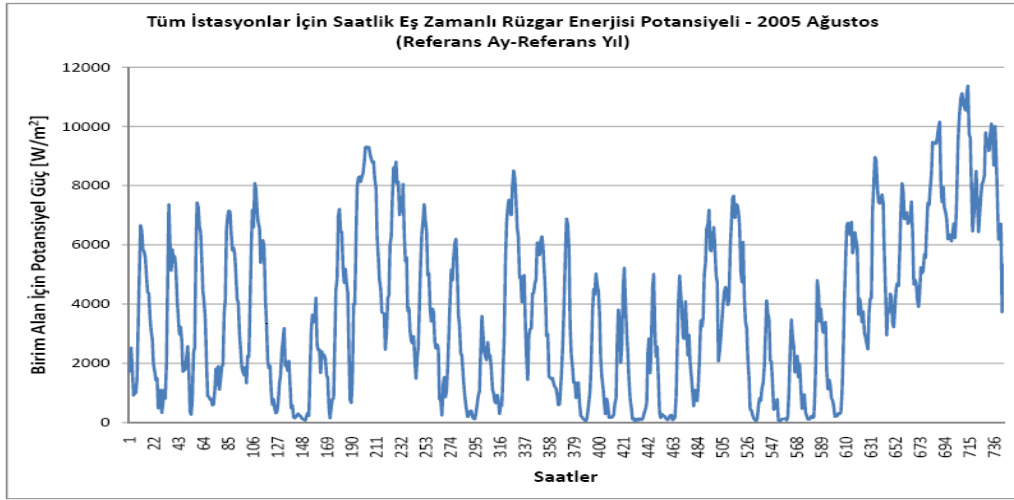
Şekil 6.25 Tekirdağ için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



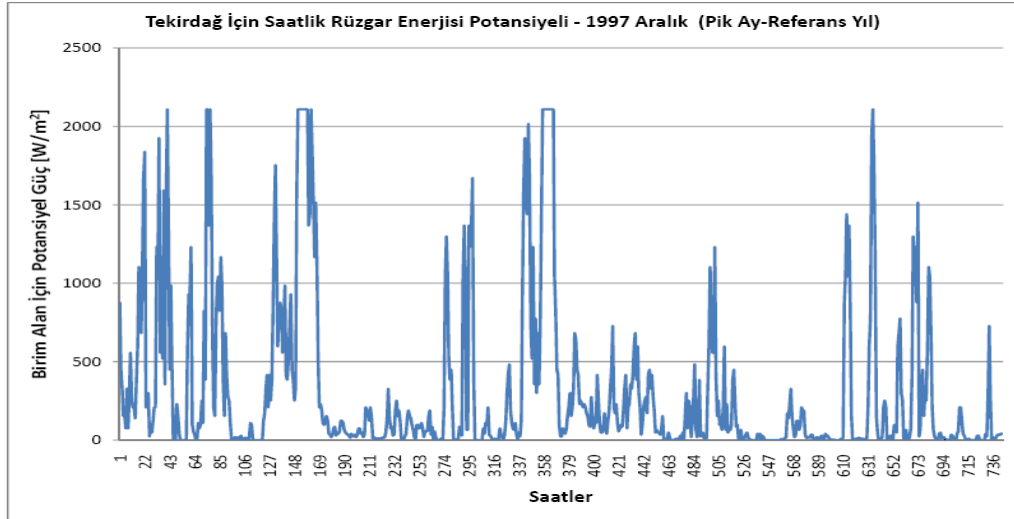
Şekil 6.26 Tüm istasyonlar için saatlik eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



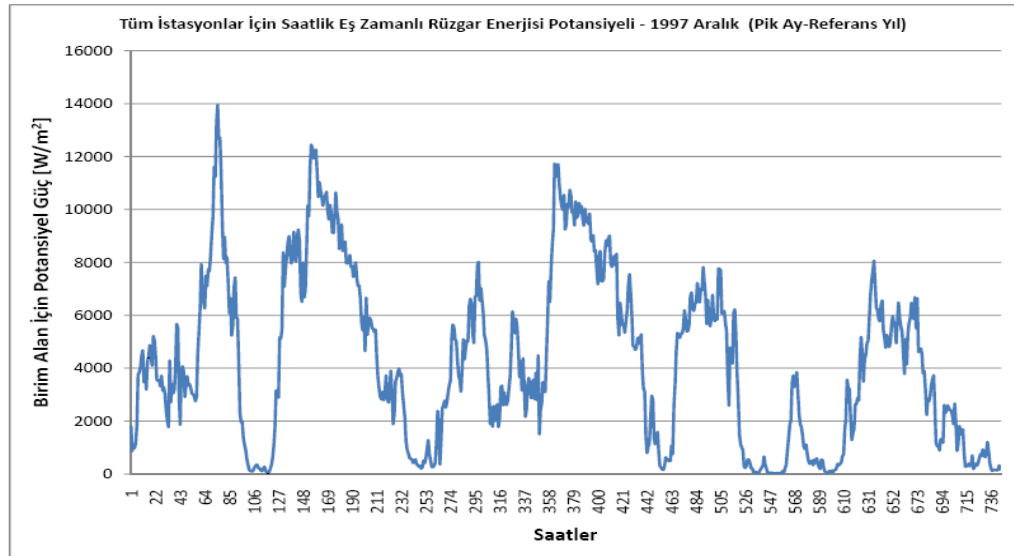
Şekil 6.27 Tekirdağ için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli – 2005 Ağustos.



Şekil 6.28 Tüm istasyonlar için saatlik eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli – 2005 Ağustos.



Şekil 6.29 Tekirdağ için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli – 1997 Aralık.



Şekil 6.30 Tüm istasyonlar için saatlik eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyeli – 1997 Aralık.

Eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyelinin incelendiği çalışmanın sonuçlarından yola çıkılarak, çalışmada incelenen tüm yörelerin beraber düşünüldüğü durumdaki eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyelindeki dalgalanmaların, yörelerin birbirlerinden bağımsız olarak düşünüldüğü duruma göre azaldığı görülmektedir. Örnek olarak, Tekirdağ yöresindeki pik, zayıf ve referans aylara ait rüzgâr enerjisi potansiyeli görülme görüldüğü Şekil 6.23 ve tüm istasyonların aynı aylardaki eş zamanlı toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli görülme oranlarının gösterildiği Şekil 6.24 beraber incelendiği zaman, bölgedeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin bir bütün olarak düşünülmesiyle rüzgâr potansiyelinin sıfıra yakın olduğu zamanın incelenen zaman aralığının bütününe oranının %20'lerden %1 seviyesine kadar indiği görülmektedir. Bununla beraber, örnek olarak Tekirdağ yöresine ait Haziran, Ağustos ve Aralık ayları için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyellerinin gösterildiği Şekil 6.25, 6.27 ve 6.29 ile tüm istasyonlar için saatlik eş zamanlı rüzgâr enerjisi potansiyellerinin gösterildiği Şekil 6.26, 6.28 ve 6.30 karşılaştırıldığında, bölgedeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin bir bütün olarak düşünülmesiyle özellikle rüzgâr enerjisi potansiyelindeki ani düşüşlerde ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin sıfıra çok yakın olduğu durumlarda büyük bir azalma olacağı gösterilmiştir.

Bir rüzgâr santralının veya birçok santralden oluşan bir bölgenin yukarıda açıklandığı şekilde enerji üretimi hakkında istatistiksel olarak değerlendirme yapılabilmesi için, rüzgârla ilgili uzun yılları kapsayan ölçüm değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin sağlıklı olarak elde edilmesindeki güçlük dünya genelinde sıkça karşılaşılan bir durumdur. Rüzgârla ilgili değişkenlere ait ölçüm döneminin uzunluğu potansiyel belirleme ve tahmin çalışmasının güvenilirliğini arttırmakla beraber, uzun vadede ölçüm yapmak hem pahalıdır hem de uzun zaman alır. Rüzgâr verisi eksik veya hiç olmayan yerlerin verisini tamamlamak üzere literatürde matematiksel modellerle ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Hangi metot kullanılırsa kullanılsın, veri eksikliği tüm metotların önünde başarılı bir tahmin için engel teşkil etmektedir. Bu çalışmada, Bölüm 2.2'deki literatür araştırmasından da anlaşılabileceği üzere, rüzgâr ile ilgili çalışmalar için en uygun metot olarak gösterilen YSA metodu kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, bölgedeki birden fazla (referans) yöreye ait eş zamanlı rüzgâr verilerini kullanarak, verisi eksik olan bir (hedef) yörenin rüzgâr verisini oluşturmak ya da yaklaşımda bulunmak için yapılan tahmin çalışmasıdır.

Bu çalışma ayrıca, üretilen modeli bir bölgedeki birden çok istasyon için yapılan ölçüm değerlerinin, model yardımıyla tahmin etmek için kullanıp sonuçların gerçek verilerle karşılaştırılarak verilerin güvenilirliğinin artırılması amacıyla da kullanılabilir.

YSA ile rüzgâr enerjisi analizlerinde, Özpınar'ın (2007) rüzgâr hızı modellemesinde birçok

model arasında başarılı bulduğu çift katmanlı ardışık beslemeli geri yayılım ağının tan-sig aktivasyon fonksiyonlu modeli kullanılmıştır.

Bu çalışmadan önce YSA ile yapılan rüzgâr hızı tahmin çalışmaları “Nesil 0” olarak nitelendirilmiştir. Nesil 0 çalışmalarının en önemli kısıtı rüzgâr enerjisi planlamaları için hayati önem taşıyan rüzgâr yönü tahminlerinin bir parametre olarak yer almamasıdır.

Rüzgâr enerjisi için YSA ile tahmin çalışmalarında toplam iki özgün YSA modeli oluşturulmuştur. Ancak ilk nesil için iki durum söz konusudur. İlk nesildeki farklı iki durum, Nesil 1a ve 1b olarak adlandırılmıştır. Nesil 1 ve 2 olarak adlandırılan modellerde girdi olarak önceki bölümde açıklanan pik referans aya (1997 yılı Aralık ayı) ait veriler kullanılmıştır. Bu aya ait rüzgâr karakterinin nispeten daha sert bir yapıda olması nedeniyle istasyonlar arasındaki rüzgâr etkileşiminin daha belirgin olacağı ve dolayısıyla bunun YSA çalışmalarının daha düzgün olmasını sağlayacağı öngörülmüştür. Her bir çalışma sonucunda girdi adedi artırılarak modelin başarısının artırılması amaçlanmıştır. Her bir YSA modeli ile ilgili çalışmalara ait girdiler ve çıktılar Çizelge 6.5’te gösterilmiştir.

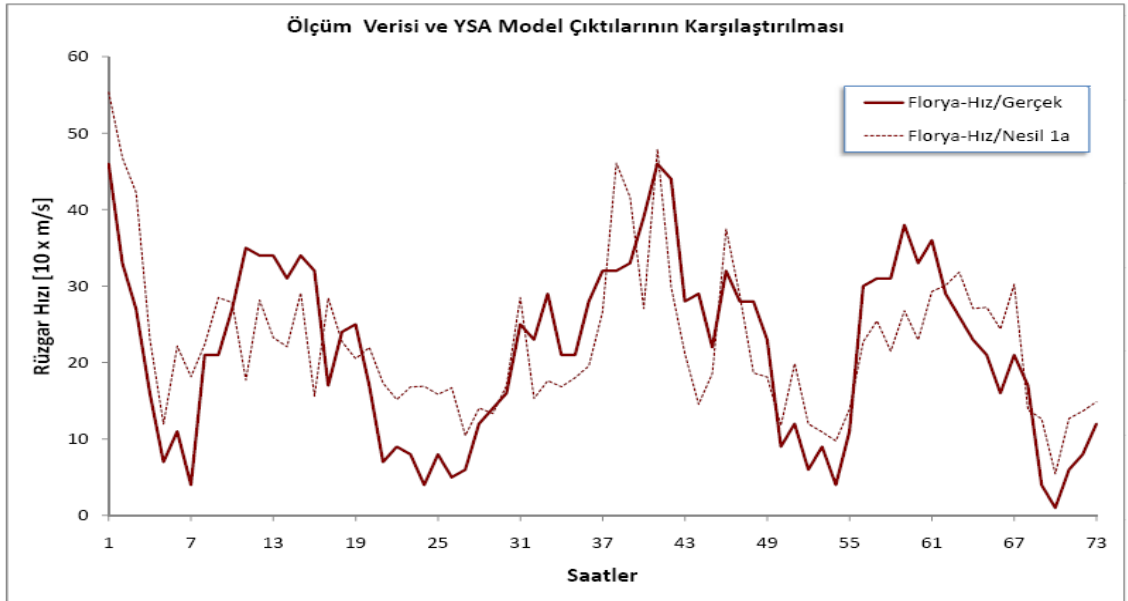
Çizelge 6.5 Nesil 1a,b ve Nesil 2 için YSA modeli girdi ve çıktıların karşılaştırılması.

Nesil Numarası	Girdi İçin Kullanılan İstasyonlar	Girdiler	İstenen Çıkış (Hedef)
Nesil 1a	Tekirdağ, Yalova	Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü	Florya İçin Rüzgâr Hızı ve Yönü
Nesil 1b	Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma	Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü	Bozcaada İçin Rüzgâr Hızı ve Yönü
Nesil 2	Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale, Bandırma	Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, hava sıcaklığı, hava basıncı	Bozcaada İçin Rüzgâr Hızı ve Yönü

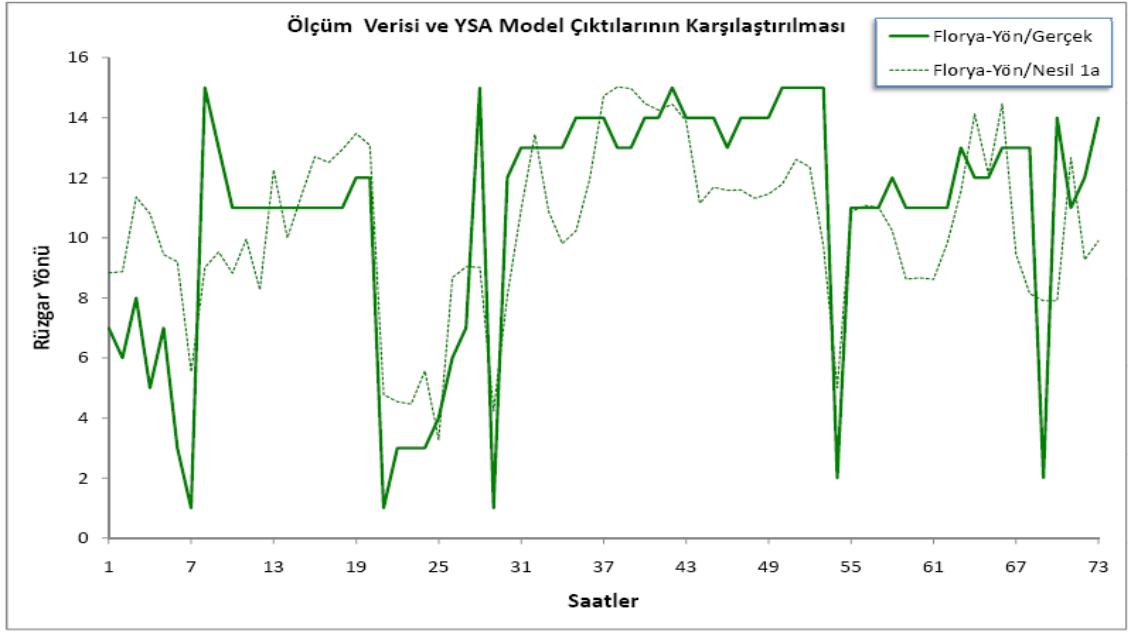
Nesil 1a olarak adlandırılan çalışmada üç adet istasyonun verisi kullanılmıştır. YSA

çalışmalarına ilk olarak incelenen bölgenin batısına oranla daha karasız rüzgâr karakterine sahip olan doğu tarafındaki istasyonlardan başlanmıştır. YSA modeline girdi olarak Tekirdağ ve Yalova istasyonlarının bir ayı kapsayan saatlik rüzgâr hızı ve yönü tanımlanırken, hedef olarak Florya istasyonunun rüzgâr hızı ve yönü seçilmiştir. Florya istasyonunun hedef olarak seçilme nedeni kaynak iki istasyona neredeyse eşit bir uzaklıkta olmasıdır. Nesil 1a olarak adlandırılan çalışmada 2 adet istasyonun verisi girdi olarak tanımlanırken 3. istasyon verisi tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Nesil 1a çalışma ile rüzgâr potansiyeli nispeten zayıf olan istasyonlara ait, eldeki minimum miktardaki veri setiyle yapılabilecek yaklaşımın doğruluk seviyesi gösterilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, istasyon sayısının ve tanımlanan veri çeşidinin azlığına rağmen yeterli doğrulukta tahmin yapılabildiğini göstermektedir. Rüzgâr hızı ve yönündeki genel eğilim üretilen modelle yakalanmıştır. Nesil 1a için oluşturulan YSA modelinin test sonuçları rüzgâr hızı ve yönü için sırasıyla Şekil 6.31 ve Şekil 6.32’de verilmiştir.



Şekil 6.31 Florya istasyonu için Nesil 1a rüzgâr hızı tahmin sonuçları.



Şekil 6.32 Florya istasyonu için Nesil 1a rüzgâr yönü tahmin sonuçları.

Çizelge 6.6'da Nesil 1a için hesaplanan tahmin hataları gösterilmiştir. Ortalama mutlak hata hız değerlerinde yaklaşık 2,4m/s olurken yön değerlerinde ortalama mutlak hatanın 3,082 olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.6 Nesil 1a için tahmin hataları.

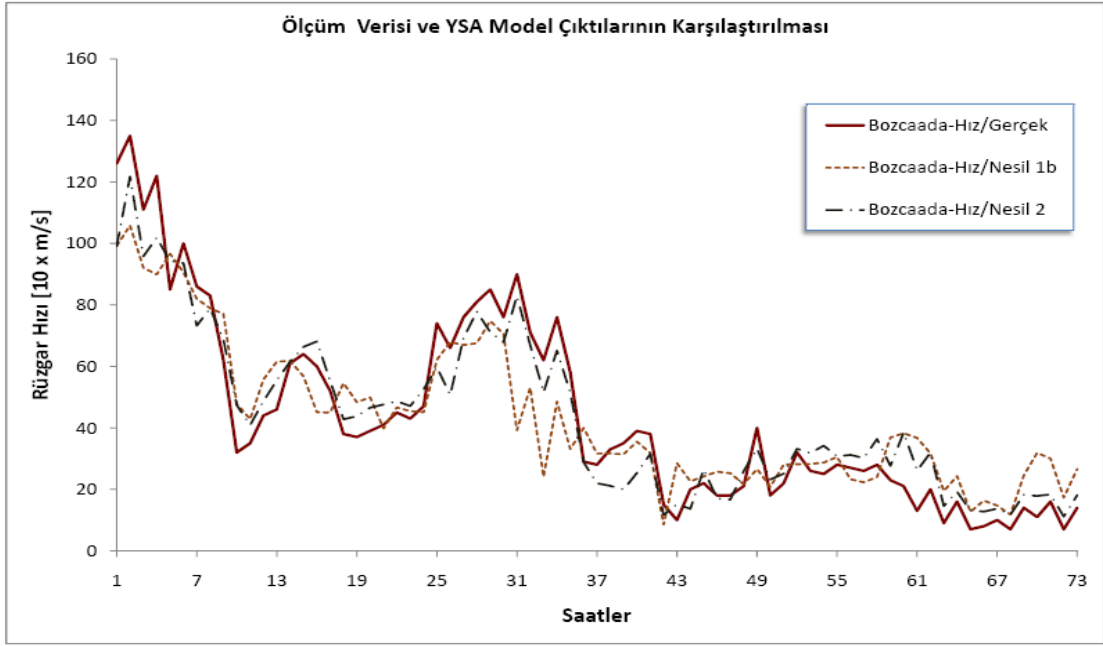
Hata Tipi	Florya Hız – Nesil 1a	Florya Yön – Nesil 1a
MSE	1181,673	14,810
NMSE	1,634	0,305
MAE	24,312	3,082
Min Mutlak Hata	0,670	0,051
Maks Mutlak Hata	88,224	9,972
Lin. Kor. Katsayısı (r)	0,428	0,255

Nesil 1b olarak kabul edilen çalışmada, ölçüm verileri girdi olarak kullanılan istasyon sayısı ikiden dörde çıkarılmıştır. Kaynak istasyonlar olarak Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale ve Bandırma ile hedef olarak Bozcaada istasyonunun rüzgâr hızı ve yönü tanımlanmıştır. Bozcaada istasyonunun hedef olarak seçilmesinin nedeni, hedef istasyonun kaynak istasyonlara eşit uzaklıkta bulunmadığı durumda, oluşturulan YSA modelinin istasyonlar arasındaki etkileşimi yeterince doğrulukta öğrenip öğrenemediğinin araştırılmasıdır. Önceki çalışmada gösterilen ve Nesil 1a olarak adlandırılan modelde, 2 adet istasyonun verisi girdi olarak tanımlanırken 3. istasyon verisi tahmin edilmeye çalışılmıştır.

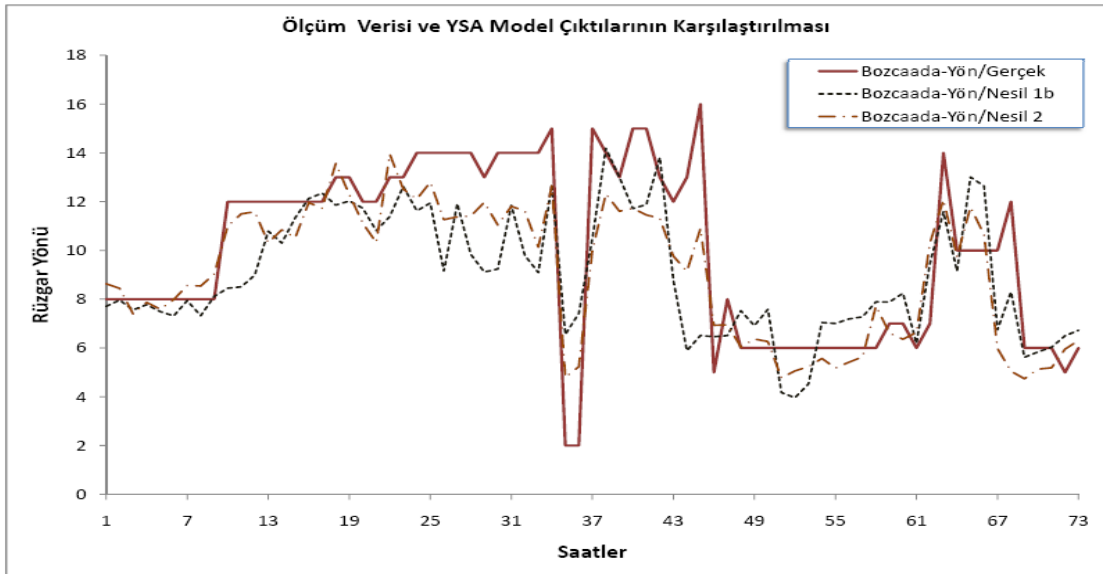
Nesil 1b çalışmada, modele girilen verilerin kaynağı olan istasyon sayısı arttırılarak Nesil 1a çalışmaya oranla elde edilebilecek gelişme gösterilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, istasyon sayısının artışıyla beraber Nesil 1a'ya oranla rüzgâr yönü ve hızı tahminlerinde oldukça fazla gelişme olduğunu göstermektedir. Nesil 1b çalışmada üretilen modelin sonuçları ile oluşturulan eğriler, gerçek verilerle oluşturulan hız ve yön eğrileriyle daha iyi bir şekilde uyum sağladığı görülmektedir.

Nesil 1b çalışmada olduğu gibi, Nesil 2'de de hedef istasyonun verisi dâhil toplam beş adet istasyonun verisi kullanılmıştır. Kaynak istasyonlar olarak, Nesil 1b'deki gibi Tekirdağ, Gökçeada, Çanakkale ve Bandırma ile hedef veri olarak Bozcaada istasyonunun rüzgâr hızı ve yönü tanımlanmıştır. Nesil 1'in başarısıyla yetinilmeyerek modelin başarısının daha da arttırılması amacıyla Nesil 2 geliştirilmiştir. Yeni nesil yaklaşımın Nesil 1'e göre en büyük farkı, basınç ve sıcaklık değerlerinin de girdiler arasına eklenmesidir. Nesil 2 için oluşturulan YSA modelinin test sonuçları Nesil 1b ile karşılaştırmalı olarak rüzgâr hızı ve yönü için sırasıyla Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'de verilmiştir. Aynı modellerle yapılan tahminlerdeki hatalar karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.7'de görülmektedir.

Nesil 2'de, modele girilen verilerin kaynağı olan istasyon sayısı önceki modele göre sabit tutulup girdi çeşidi arttırılarak Nesil 1'e oranla elde edilebilecek gelişme gösterilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, modele tanımlanan verilerin çeşit sayısının arttırılmasıyla beraber Nesil 1a ve 1b'ye oranla rüzgâr yönü ve hızı tahminlerinde daha da başarılı olduğunu göstermektedir. Nesil 2'de üretilen modelin sonuçları ile oluşturulan çıktıların, gerçek verilerle oluşturulan hız ve yön verileriyle, önceki modellere oranla çok daha iyi bir şekilde uyum sağladığı, gerçek ve tahmin verileriyle oluşturulan eğrilerinin uyumundan da anlaşılmaktadır.



Şekil 6.33 Bozcaada istasyonu için Nesil 1b ve Nesil 2 rüzgâr hızı tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 6.34 Bozcaada istasyonu için Nesil 1b ve Nesil 2 rüzgâr yönü tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

Çizelge 6.2’de Nesil 1b ve Nesil 2 için hesaplanan tahmin hataları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Ayrıca, Nesil 2 ile elde edilen, hatalardaki azalma miktarları da Çizelge 6.7’de verilmiştir. Nesil 2’deki ortalama mutlak hata hız değerlerinde Nesil 1b’ye göre yaklaşık %30’luk bir iyileşme olurken yön değerlerinde ortalama mutlak hata %23 azalmıştır. En büyük azalma ise yaklaşık %70 ile hız değerinde yakalanan minimum mutlak hatadır.

Çizelge 6.7 Nesil 1b ve Nesil 2 için tahmin hatalarının karşılaştırılması.

Hata Tipi	Bozcaada Hız – Nesil 1b	Bozcaada Yön – Nesil 1b	Bozcaada Hız – Nesil 2	Bozcaada Yön – Nesil 2	Nesil 2 ile Gerçekleşen Hatadaki Azalma-Hız [%]	Nesil 2 ile Gerçekleşen Hatadaki Azalma-Yön [%]
MSE	202,48	7,120	81,321	4,154	59,8	41,6
NMSE	0,280	0,147	0,112	0,085	60	42,1
MAE	10,776	1,976	7,560	1,521	29,8	23,0
Min Mutlak Hata	0,683	0,002	0,207	0,002	69,6	0
Maks Mutlak Hata	50,792	9,486	26,870	6,957	47,0	26,6
Lin. Kor. Katsayısı (r)	0,900	0,720	0,964	0,865	-7 (iyileşme)	-20 (iyileşme)

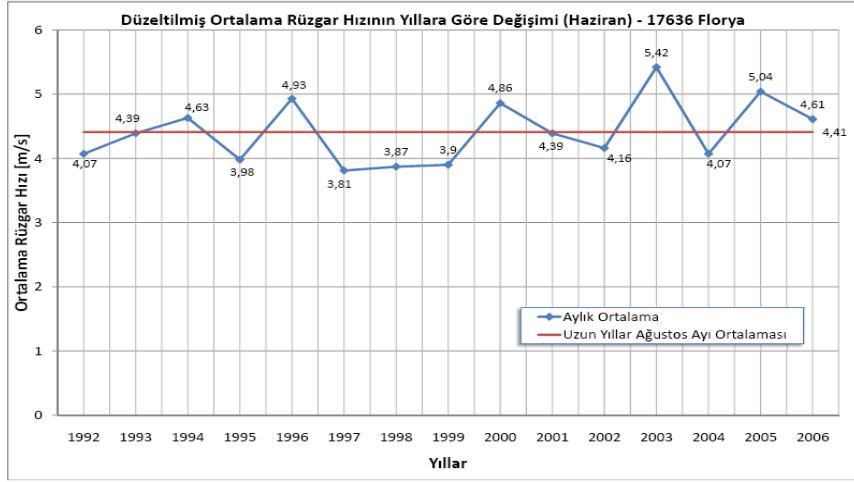
Bu çalışmaya özgün olarak geliştirilen ve Nesil 1 ve Nesil 2 olarak adlandırılan YSA modelleriyle çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle Nesil 2 model ile hız tahminlerinde elde edilen 7,56 (0,756m/s rüzgâr hızına karşılık gelir) değerindeki ortalama mutlak hata (MAE) ve yön tahminlerinde elde edilen 1,52 değerindeki ortalama mutlak hata (MAE) bunu kanıtlar niteliktedir. Bununla birlikte, Nesil 2 çıktıları ile hesaplanan lineer korelasyon katsayılarında rüzgar hızı ve yönü için sırasıyla %7 ve %20 iyileşme yakalanmıştır.

Bu çalışma temel olarak bölgesel enerji üretim ve tüketim planlamaları yapılırken, rüzgâr enerjisi santrallerinin güvenilir katkı yüzdelerinin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, rüzgâr santrallerinin veya bu santrallerin oluşturduğu şebekenin yönetimi ve denetimine yönelik istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. Özellikle rüzgâr santralleri kurulumu aşamasında bir sorun olan güvenilir kapasite konusuna santral bazında ve bölgesel (makro) ölçekte açıklık getirilirken rüzgâr tarlaları yönetimi ve denetimi konusunda mikro ölçekte de çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmadan yola çıkılarak, özellikle bir rüzgâr tarlasında bulunan türbinlerin birbirleriyle olan mikro ölçekteki etkileşimleri, rüzgâr tarlası içerisindeki tüm türbinlerin eş zamanlı enerji üretimleri ve bunların kısa ve uzun vadede yapılacak projeksiyonunun YSA ve bulanık mantık modellemeleri yardımı ile istatistiksel modellerle gerçekleştirilmesi konusunda yapılacak araştırmaların, yenilenebilir enerjiler ve özellikle rüzgâr enerjisinin geleceği için çok yararlı olacağı düşünülmektedir.

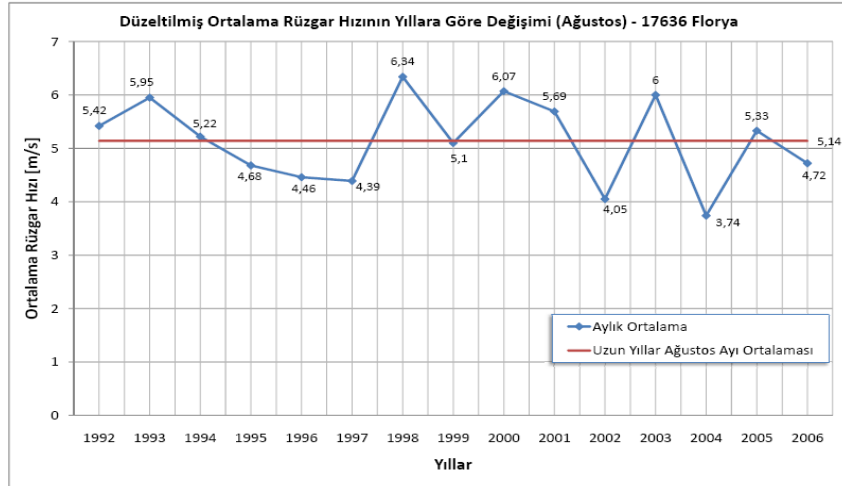
EKLER

- Ek 1 İstasyonların Ortalama Rüzgâr Hızının Yıllara Göre Değişimi İçin Çalışma Sonuçları
- Ek 2 Rüzgâr Türbininden Elde Edilebilecek Kapasite Aralıklarının Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları
- Ek 3 Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylardaki Bir Gün İçindeki Saatlik Değişimi İçin Çalışma Sonuçları
- Ek 4 Aylık Ortalama Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Yıl İçindeki Değişimi İçin Çalışma Sonuçları
- Ek 5 Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları
- Ek 6 Çeşitli Rüzgâr Türbini Kapasite Aralıkları İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları
- Ek 7 Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Birim Alandaki Rüzgâr Gücünün Dağılımı İçin Çalışma Sonuçları
- Ek 8 Saatlik Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli İçin Çalışma Sonuçları (1994 Haziran, 2005 Ağustos, 1997 Aralık)

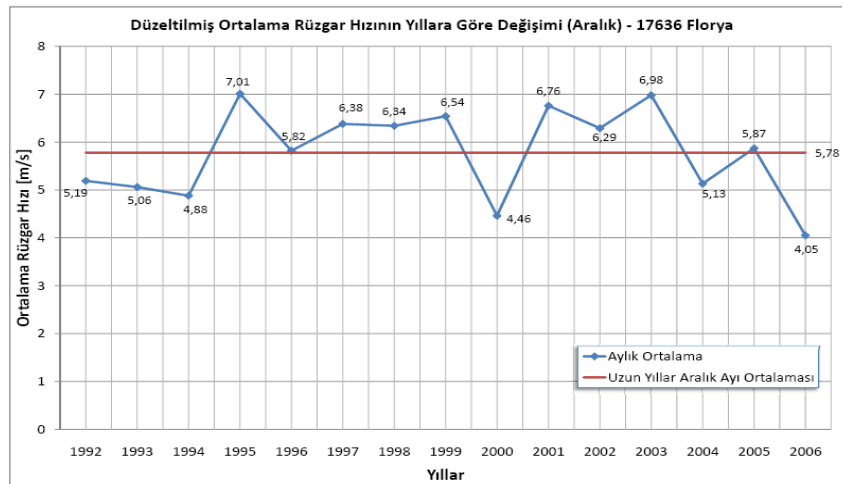
Ek 1 İstasyonların Ortalama Rüzgâr Hızının Yıllara Göre Değişimi İçin Çalışma Sonuçları



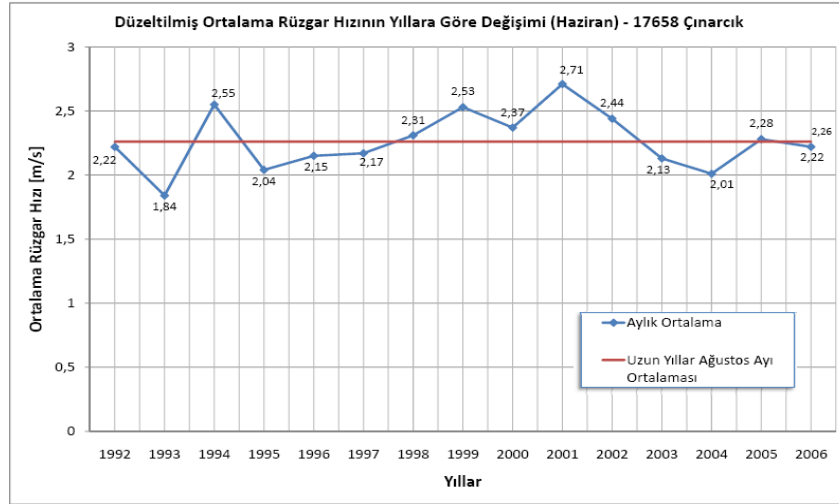
Şekil Ek 1.1 Florya için Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



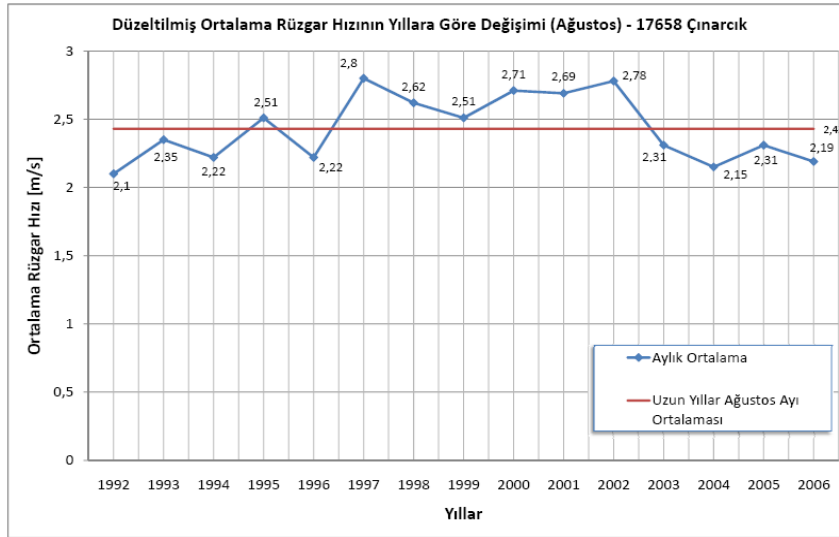
Şekil Ek 1.2 Florya için Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



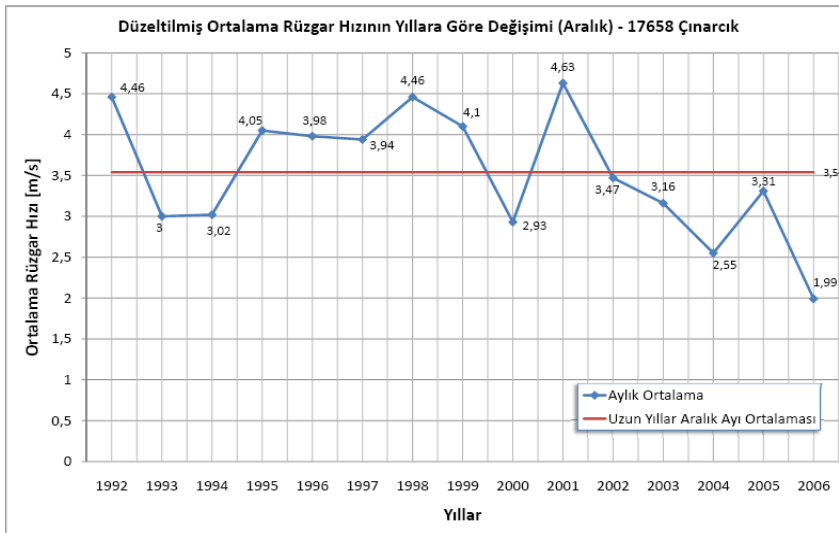
Şekil Ek 1.3 Florya için Aralık ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



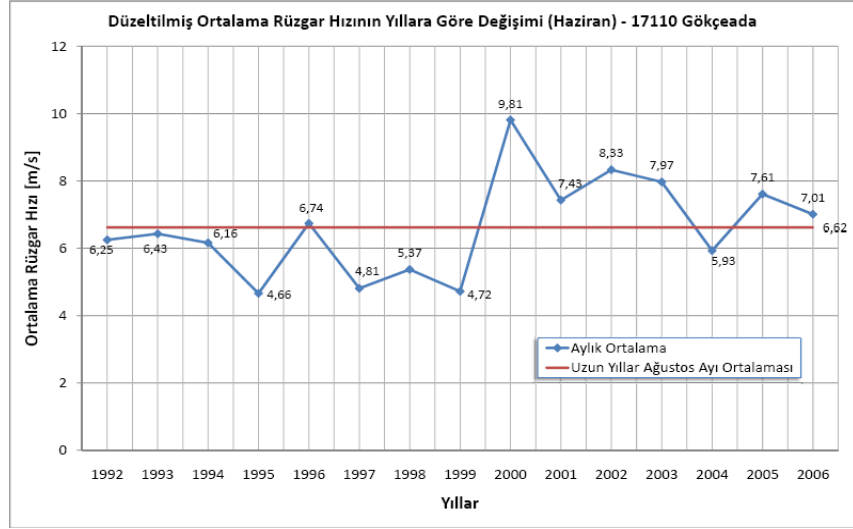
Şekil Ek 1.4 Çınarcık için Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



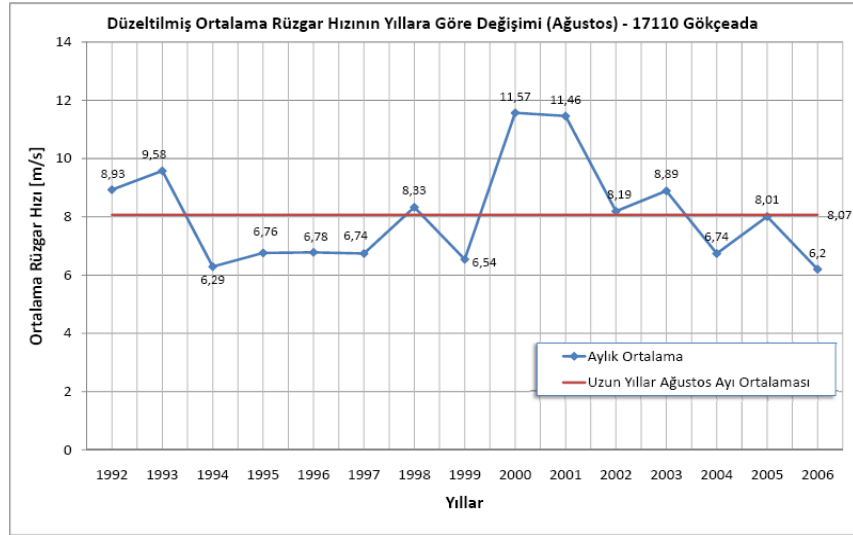
Şekil Ek 1.5 Çınarcık için Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



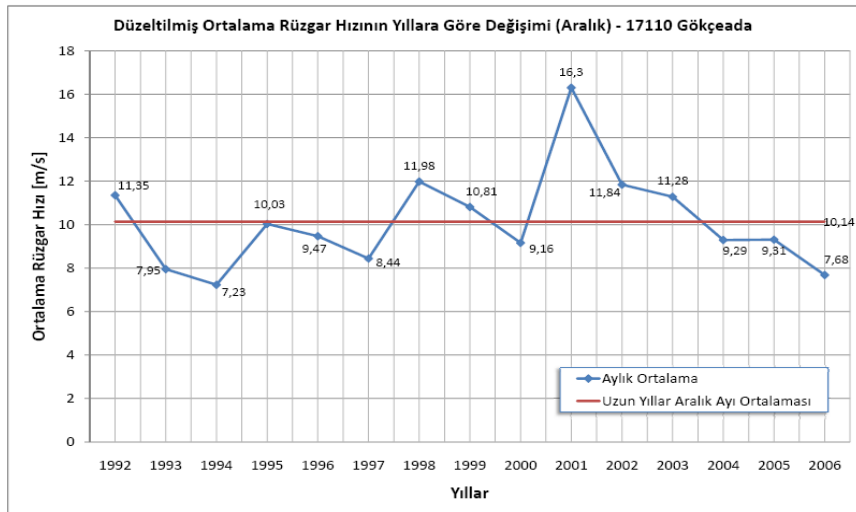
Şekil Ek 1.6 Çınarcık için Aralık ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



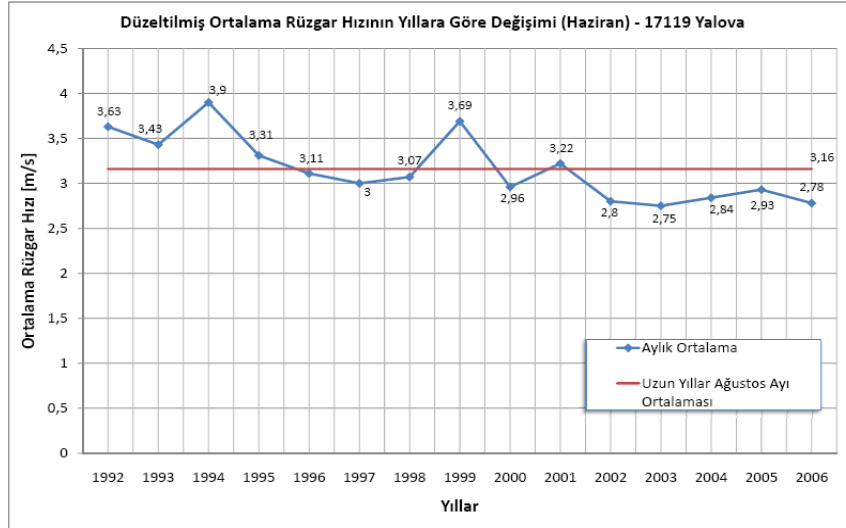
Şekil Ek 1.7 Gökçeada için Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



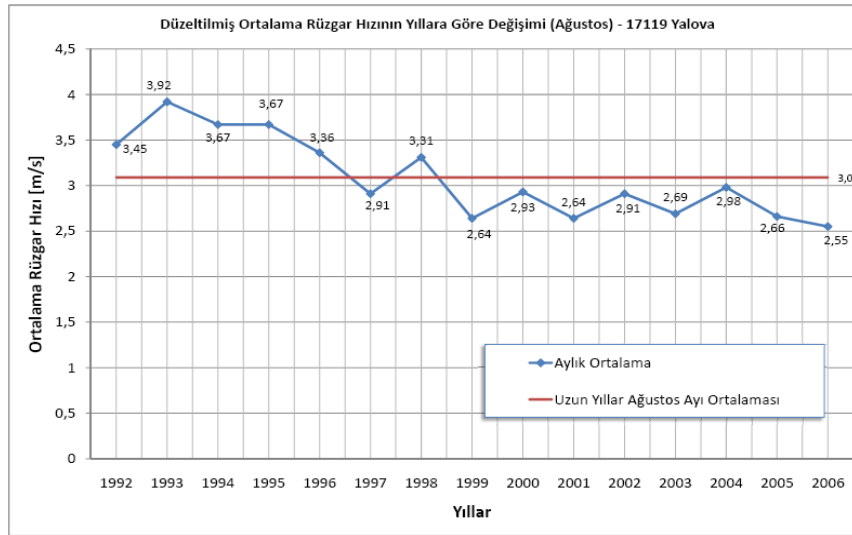
Şekil Ek 1.8 Gökçeada için Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



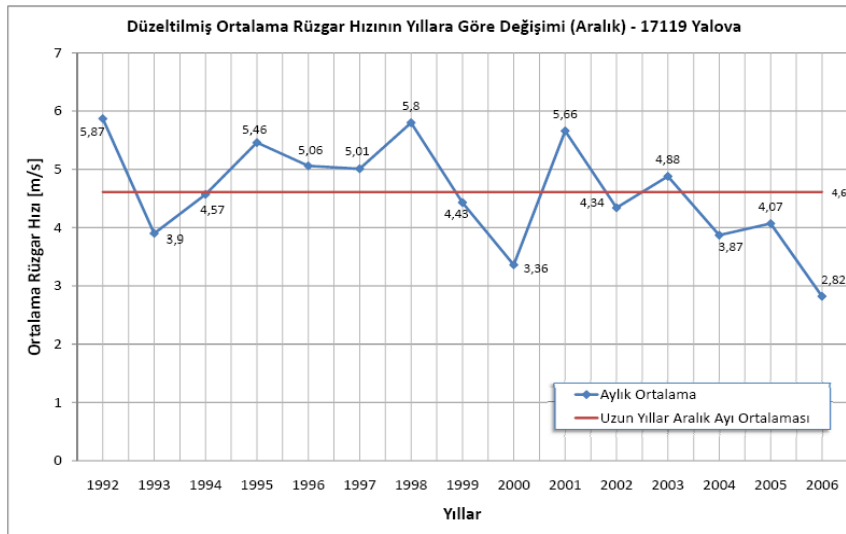
Şekil Ek 1.9 Gökçeada için Aralık ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



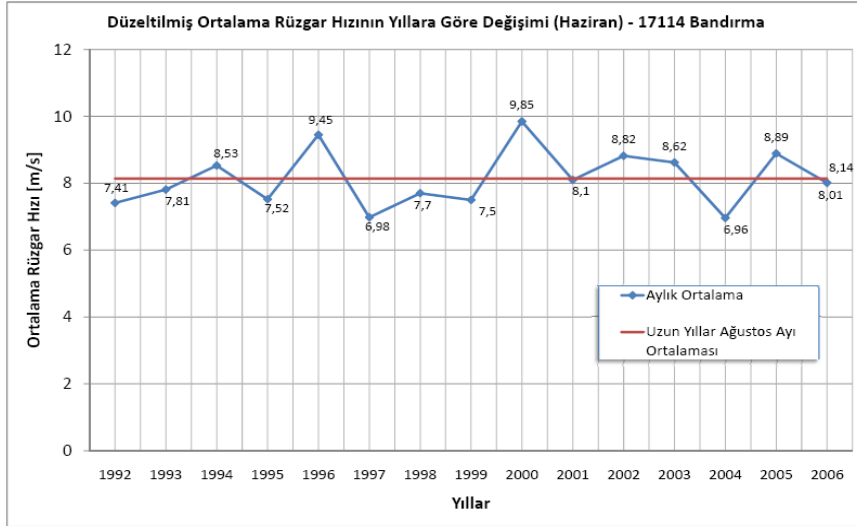
Şekil Ek 1.10 Yalova için Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



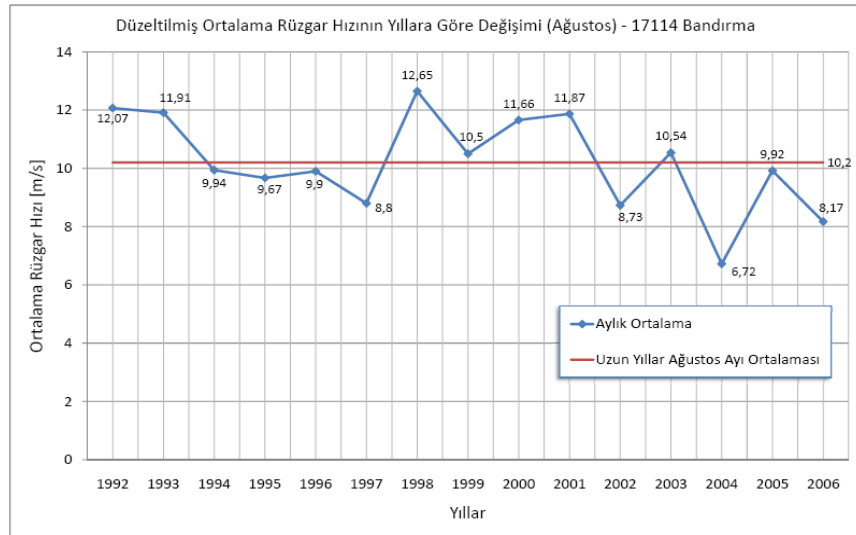
Şekil Ek 1.11 Yalova için Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



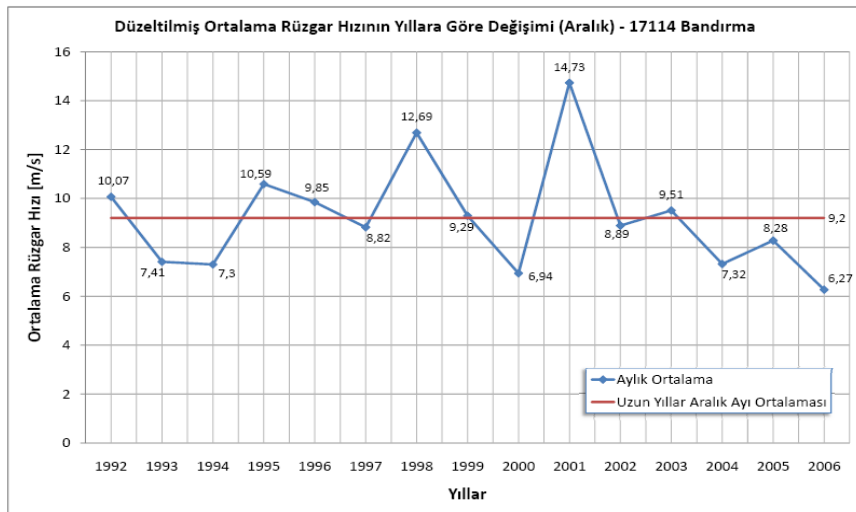
Şekil Ek 1.12 Yalova için Aralık ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



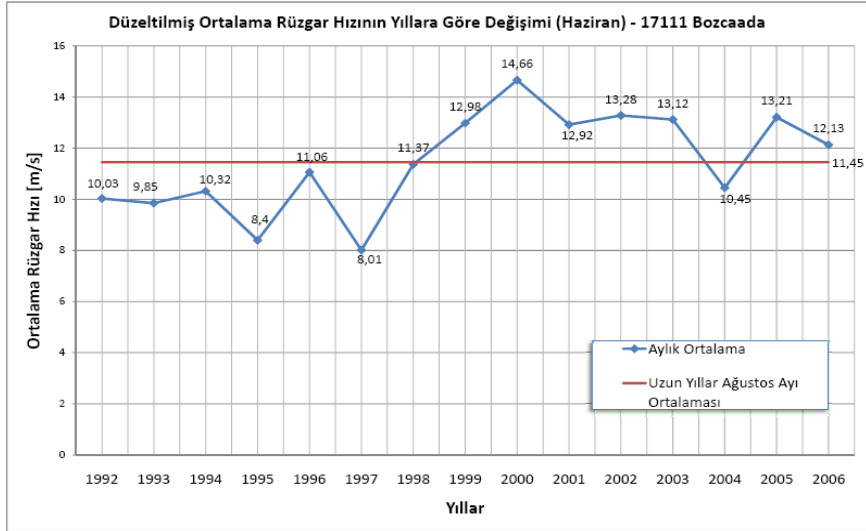
Şekil Ek 1.13 Bandırma için Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



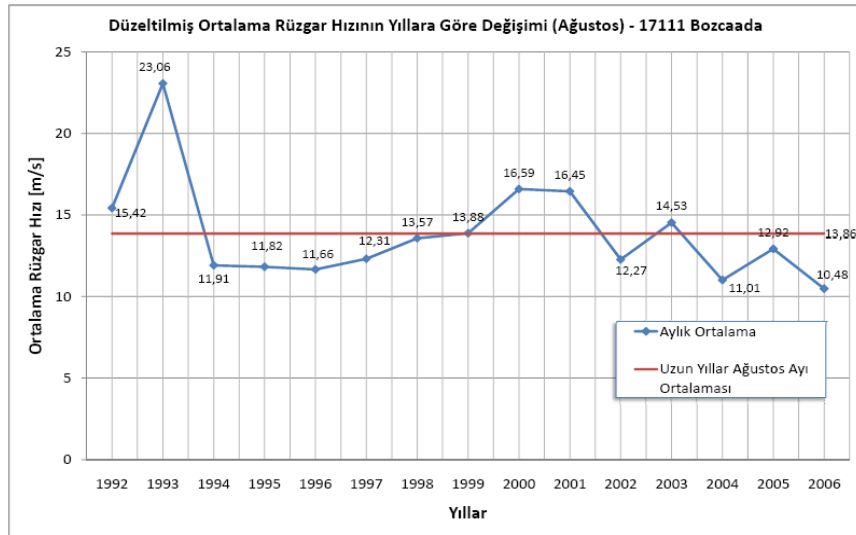
Şekil Ek 1.14 Bandırma için Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



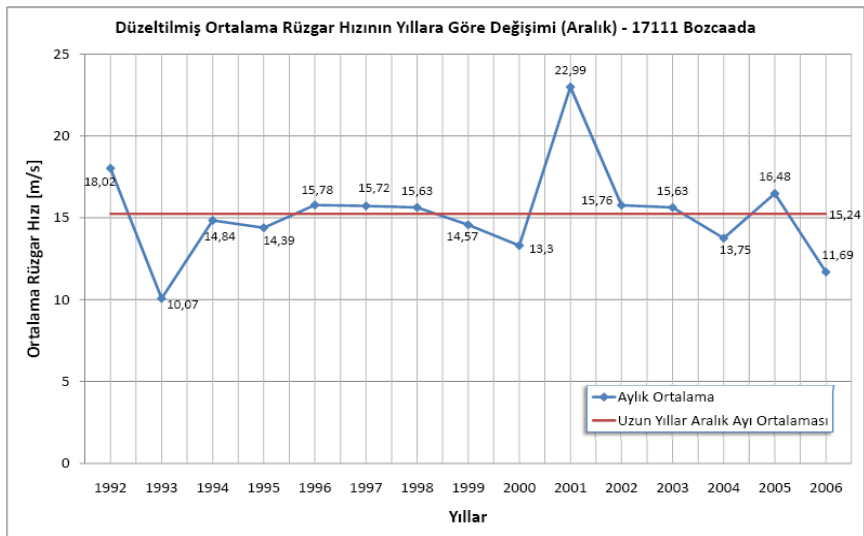
Şekil Ek 1.15 Bandırma için Aralık ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



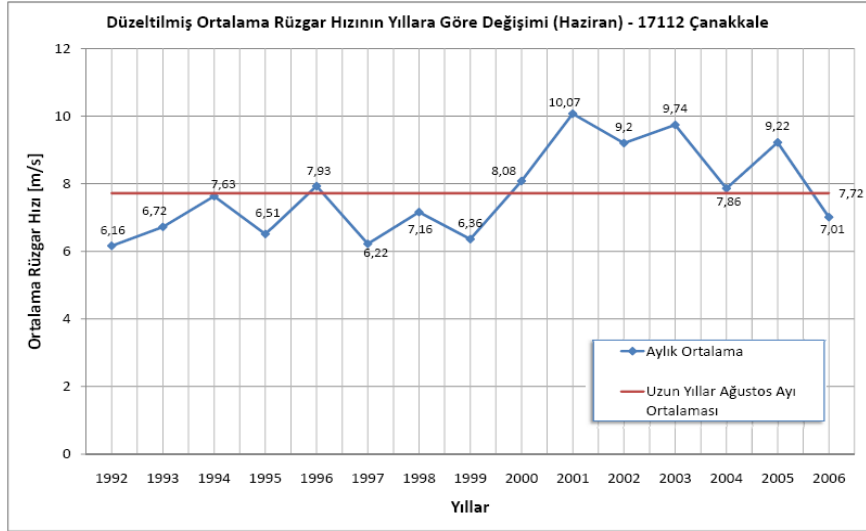
Şekil Ek 1.16 Bozcaada için Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



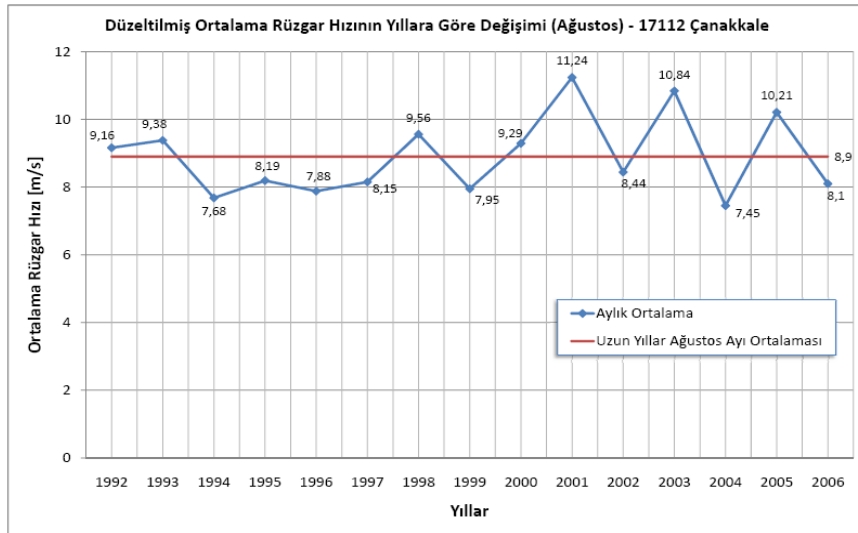
Şekil Ek 1.17 Bozcaada için Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



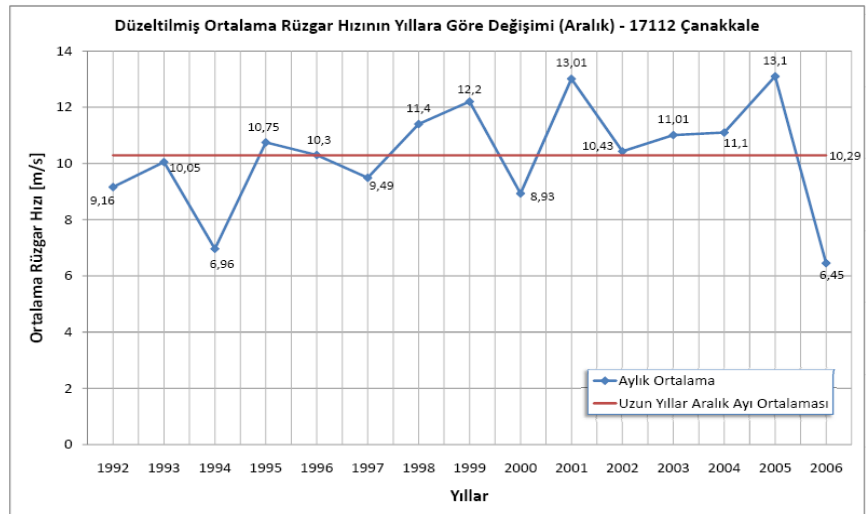
Şekil Ek 1.18 Bozcaada için Aralık ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.



Şekil Ek 1.19 Çanakkale için Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.

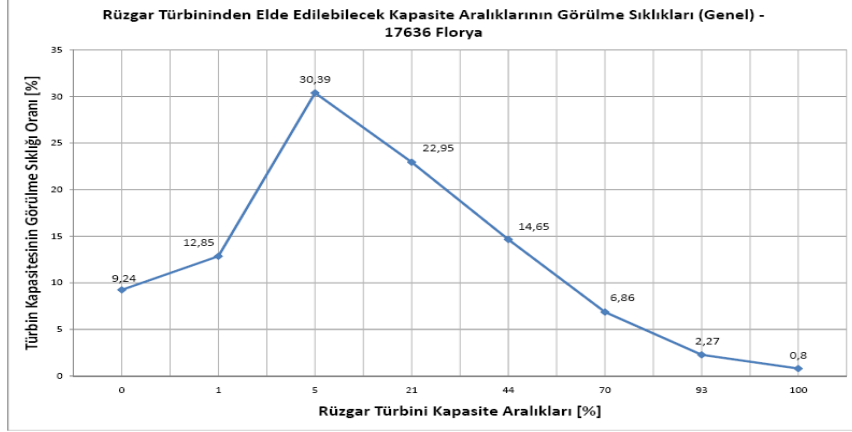


Şekil Ek 1.20 Çanakkale için Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.

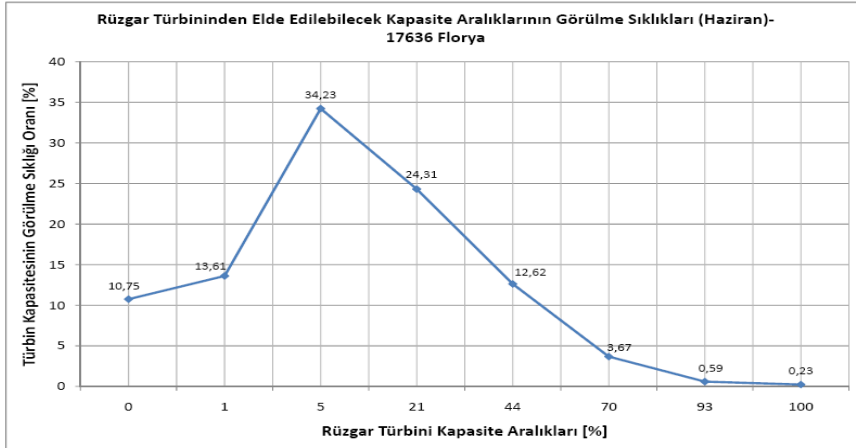


Şekil Ek 1.21 Çanakkale için Aralık ayındaki ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi.

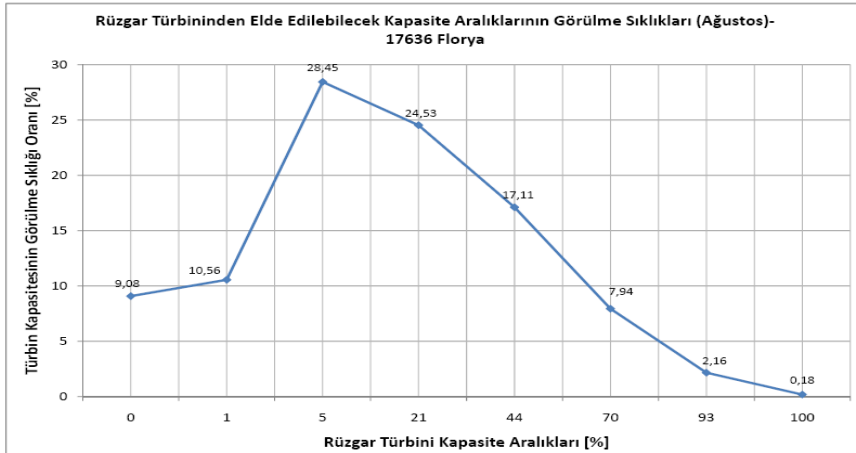
Ek 2 Rüzgâr Türbininden Elde Edilebilecek Kapasite Aralıklarının Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları



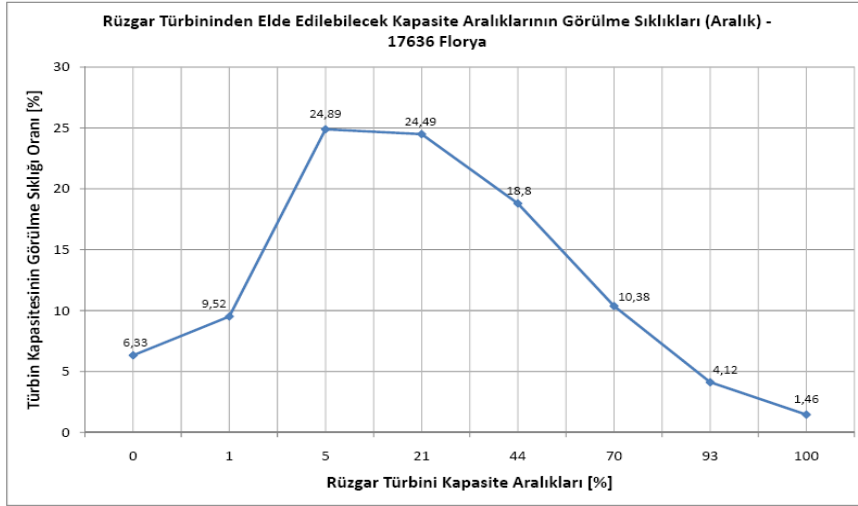
Şekil Ek 2.1 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



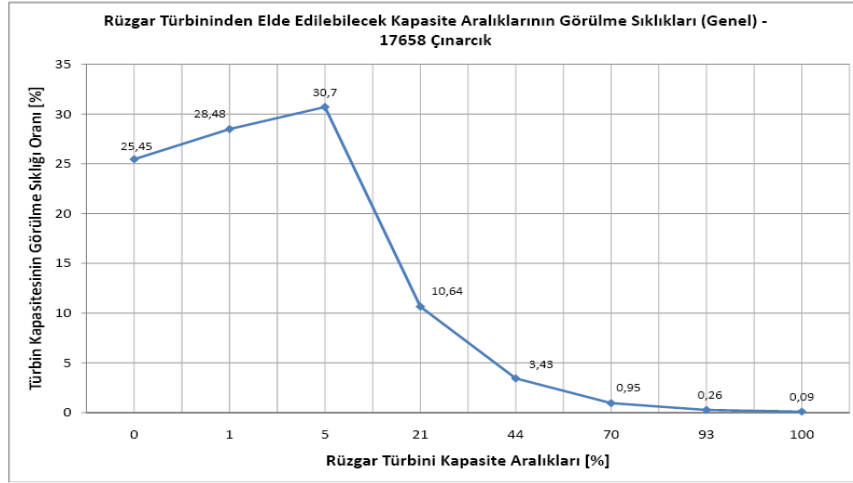
Şekil Ek 2.2 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).



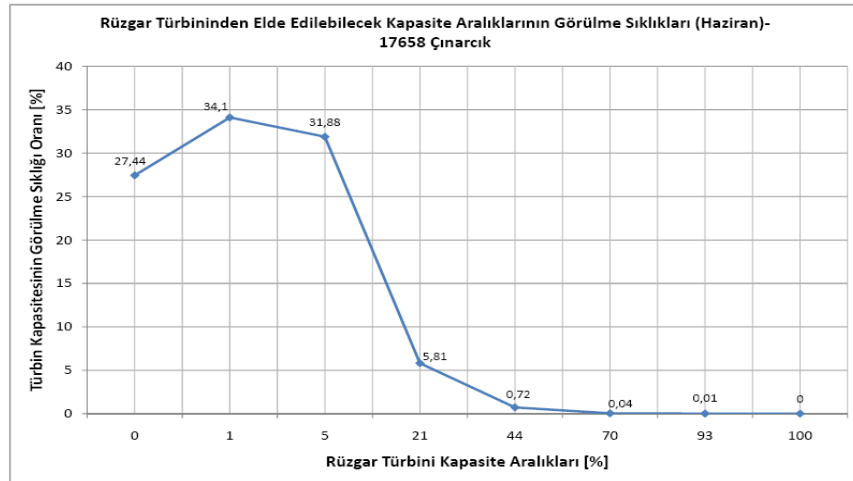
Şekil Ek 2.3 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).



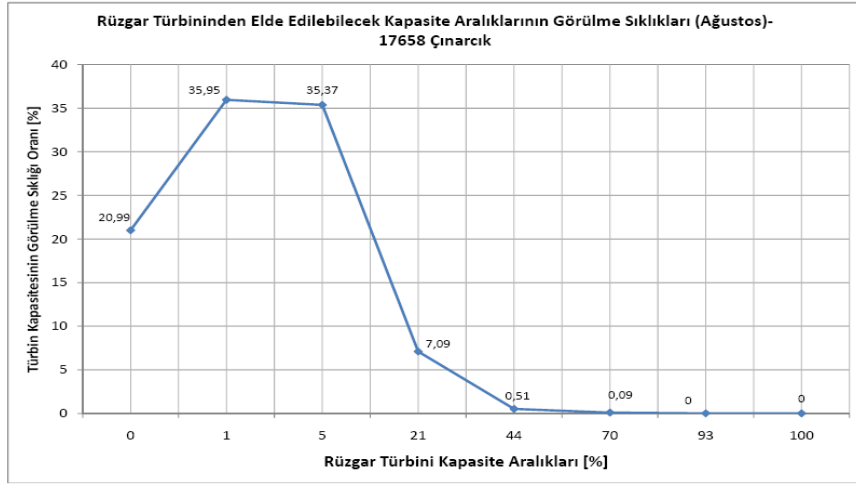
Şekil Ek 2.4 Florya için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).



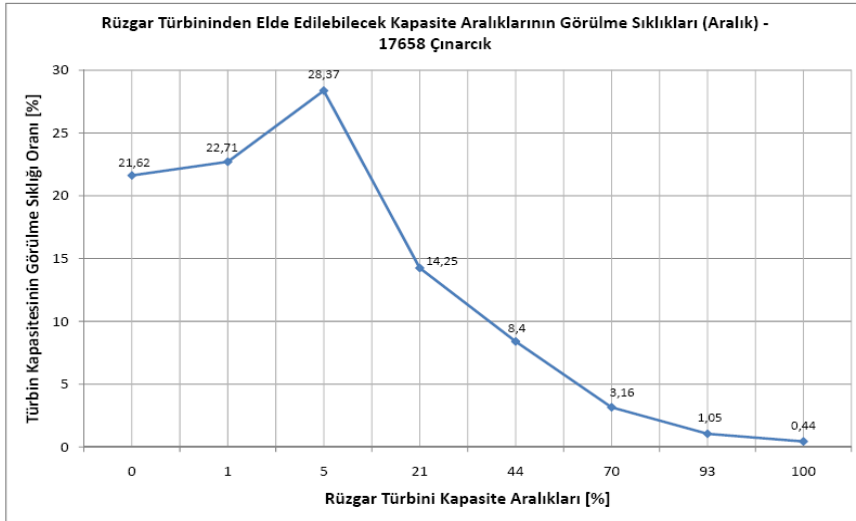
Şekil Ek 2.5 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



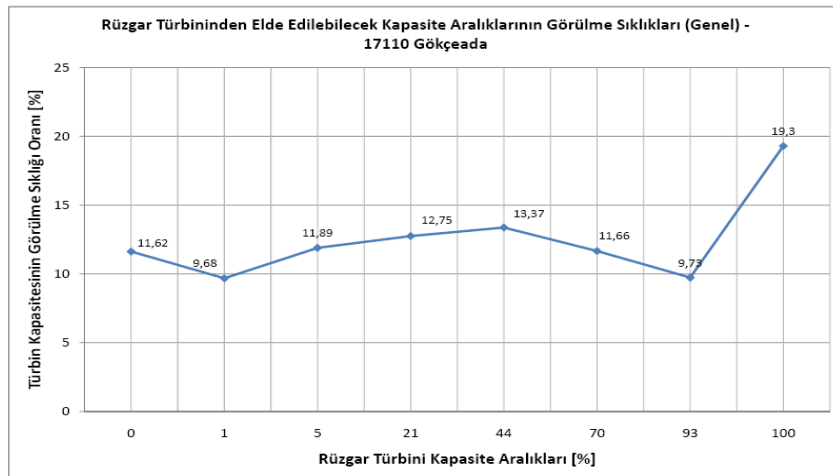
Şekil Ek 2.6 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).



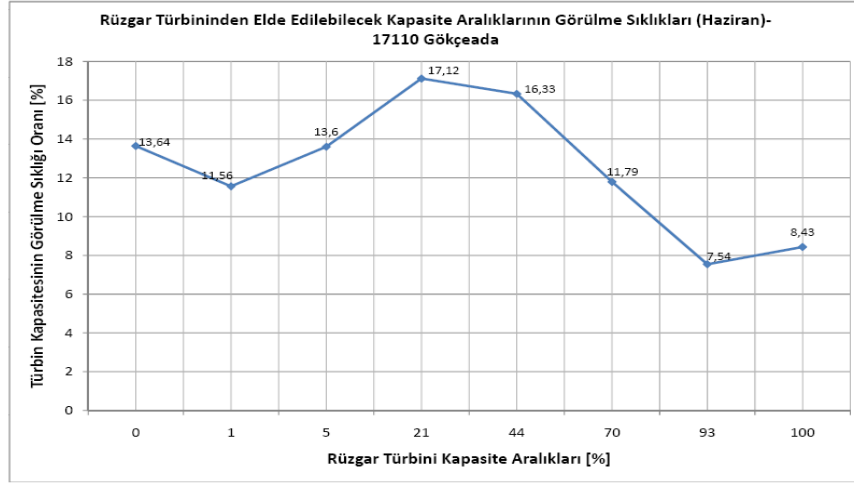
Şekil Ek 2.7 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).



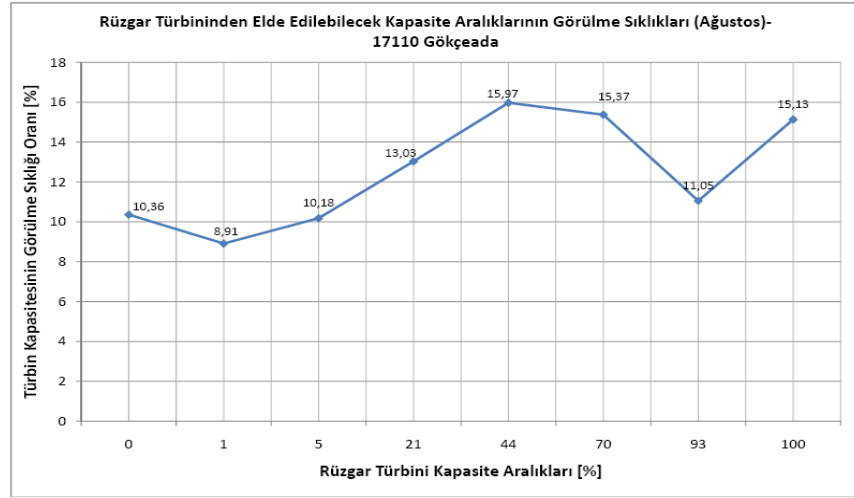
Şekil Ek 2.8 Çınarcık için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).



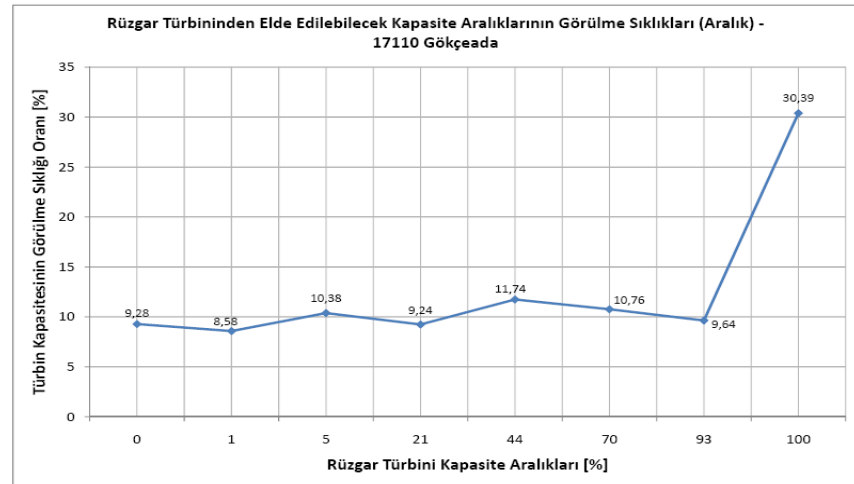
Şekil Ek 2.9 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



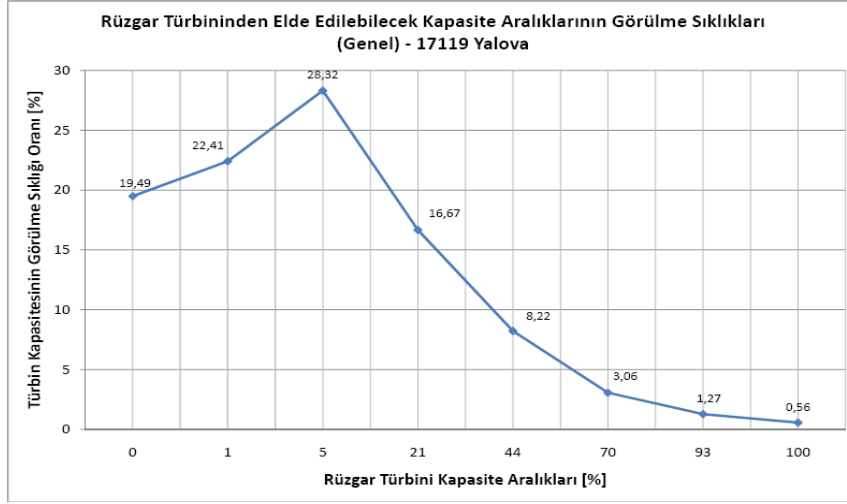
Şekil Ek 2.10 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).



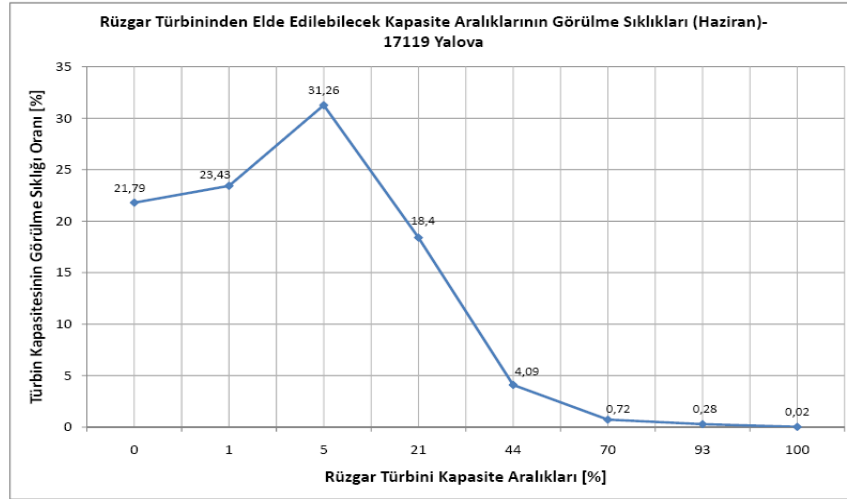
Şekil Ek 2.11 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).



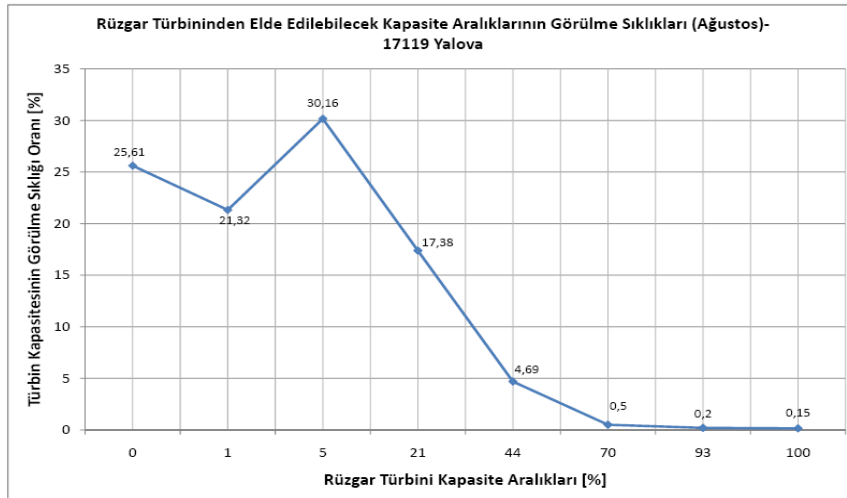
Şekil Ek 2.12 Gökçeada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).



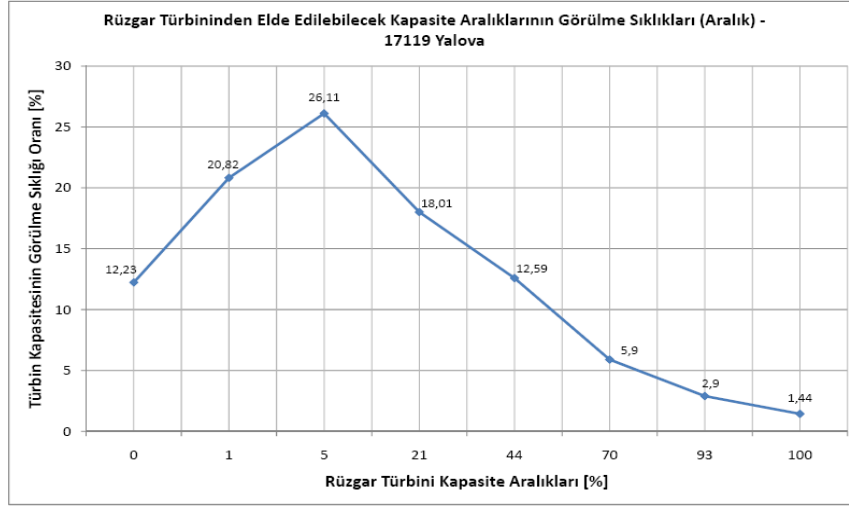
Şekil Ek 2.13 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



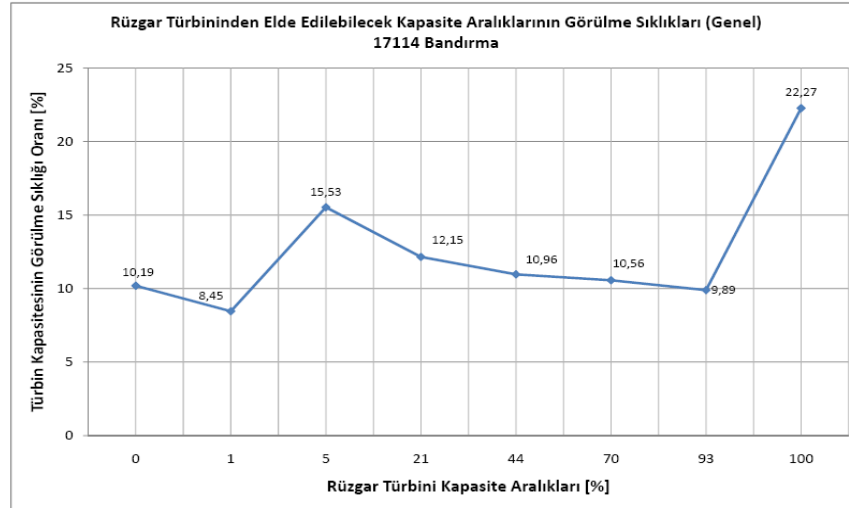
Şekil Ek 2.14 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).



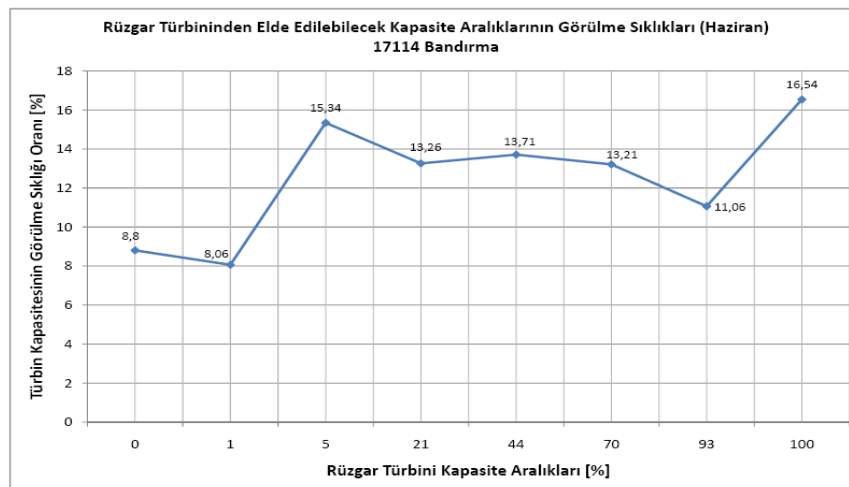
Şekil Ek 2.15 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).



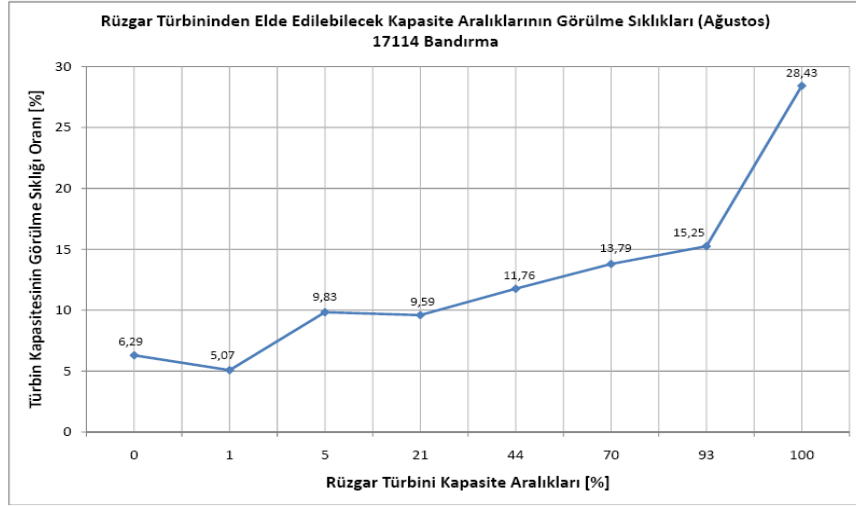
Şekil Ek 2.16 Yalova için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).



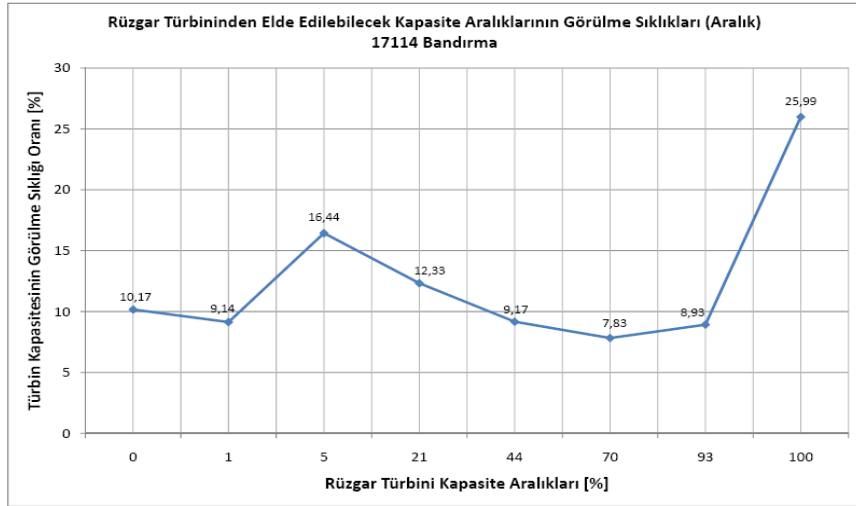
Şekil Ek 2.17 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



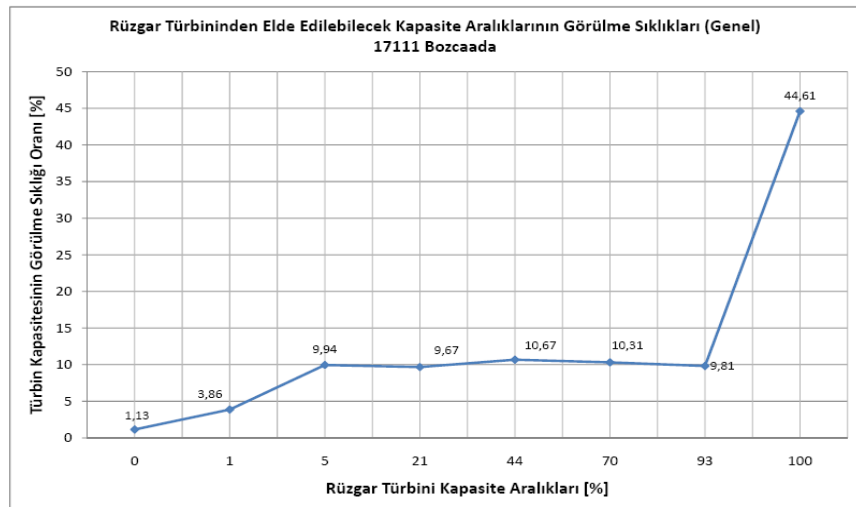
Şekil Ek 2.18 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).



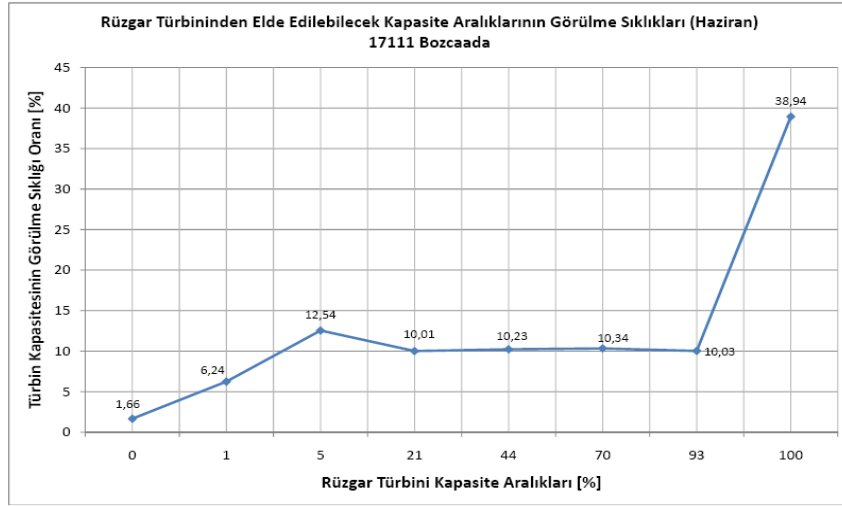
Şekil Ek 2.19 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).



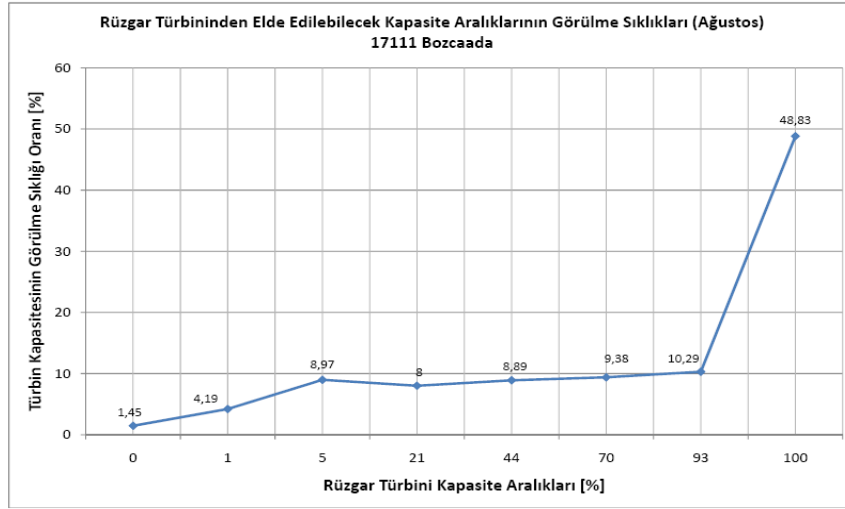
Şekil Ek 2.20 Bandırma için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).



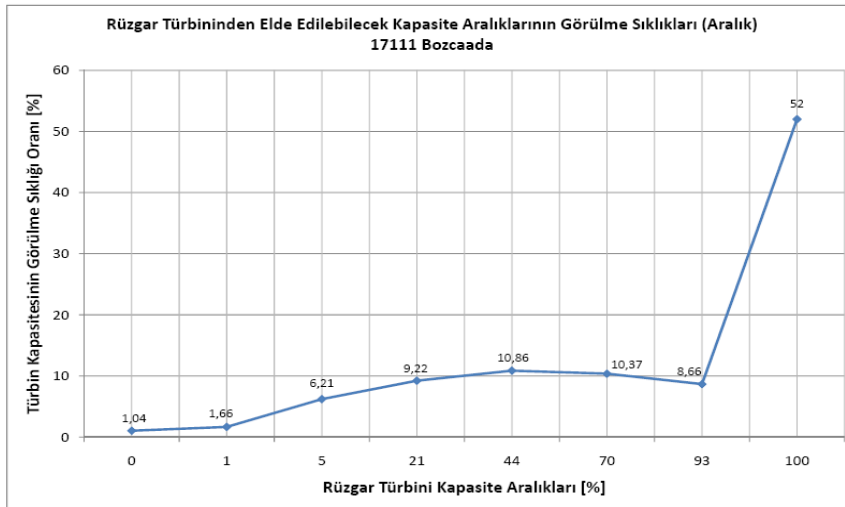
Şekil Ek 2.21 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



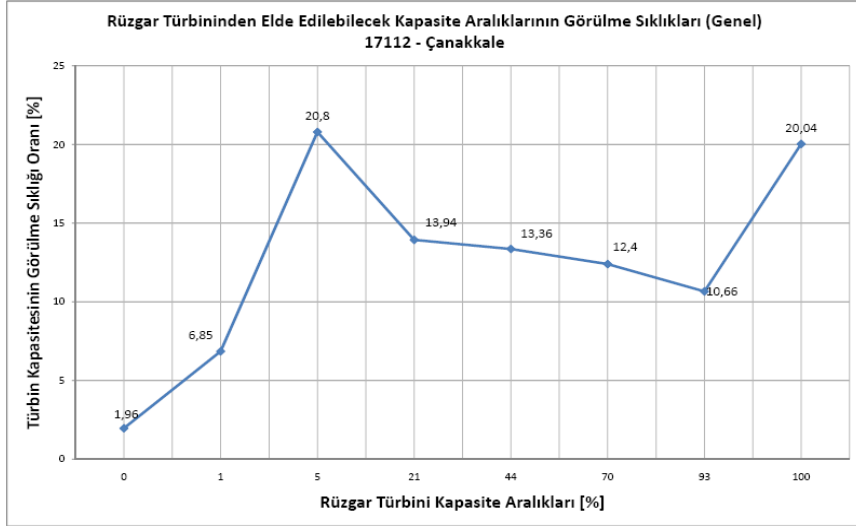
Şekil Ek 2.22 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).



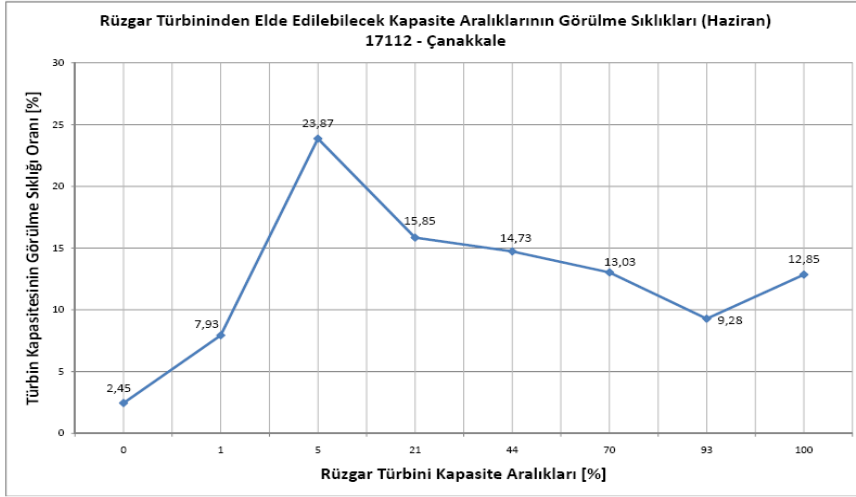
Şekil Ek 2.23 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).



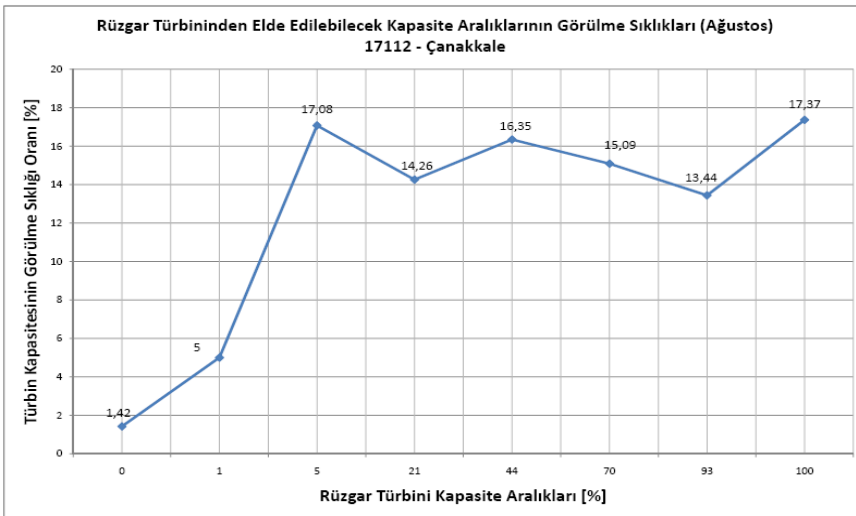
Şekil Ek 2.24 Bozcaada için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).



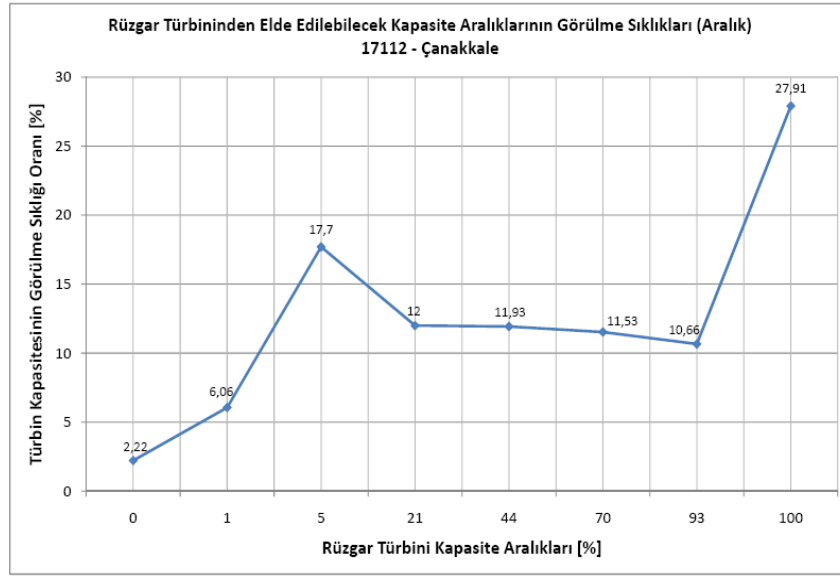
Şekil Ek 2.25 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının yıllık görülme sıklığı oranı.



Şekil Ek 2.26 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Haziran).

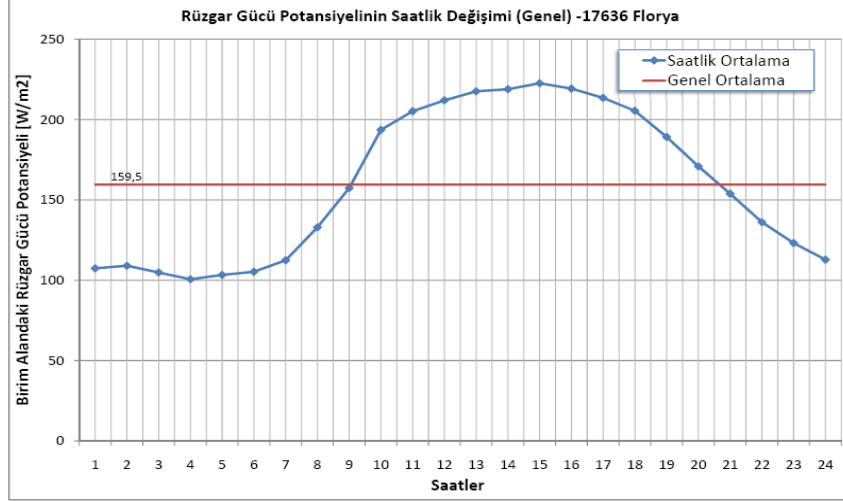


Şekil Ek 2.27 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Ağustos).

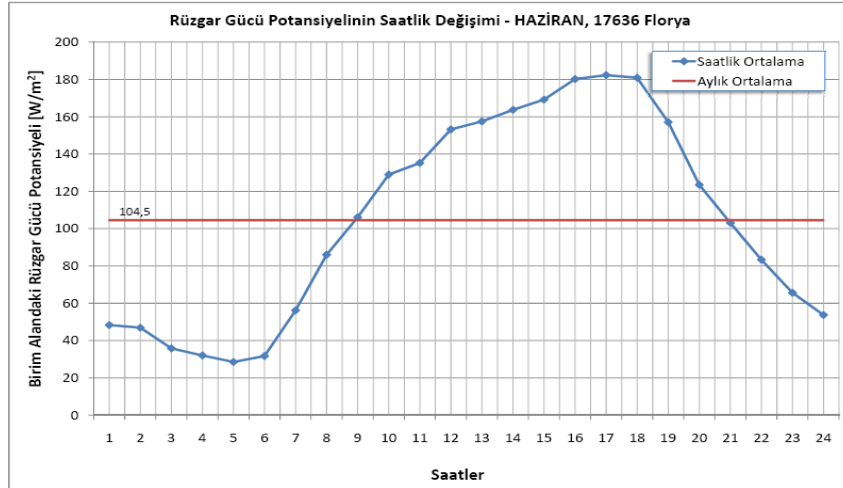


Şekil Ek 2.28 Çanakkale için rüzgâr türbininden elde edilebilecek kapasite aralıklarının görülme sıklığı oranı (Aralık).

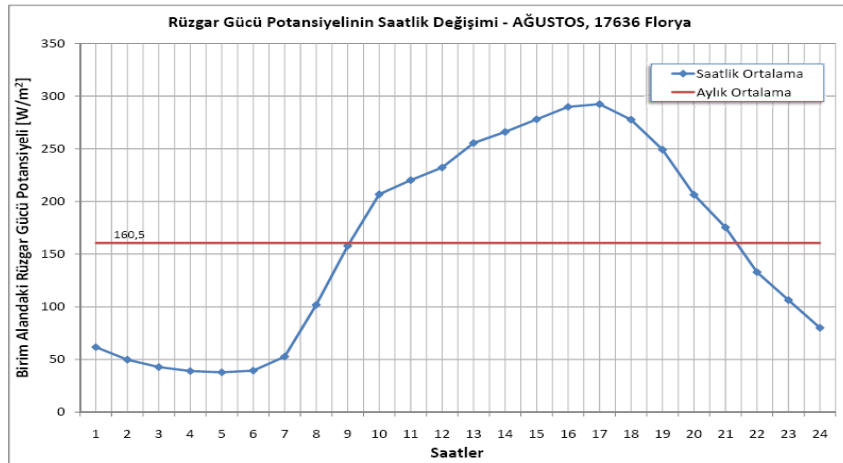
Ek 3 Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylardaki Bir Gün İçindeki Saatlik Değişimi İçin Çalışma Sonuçları



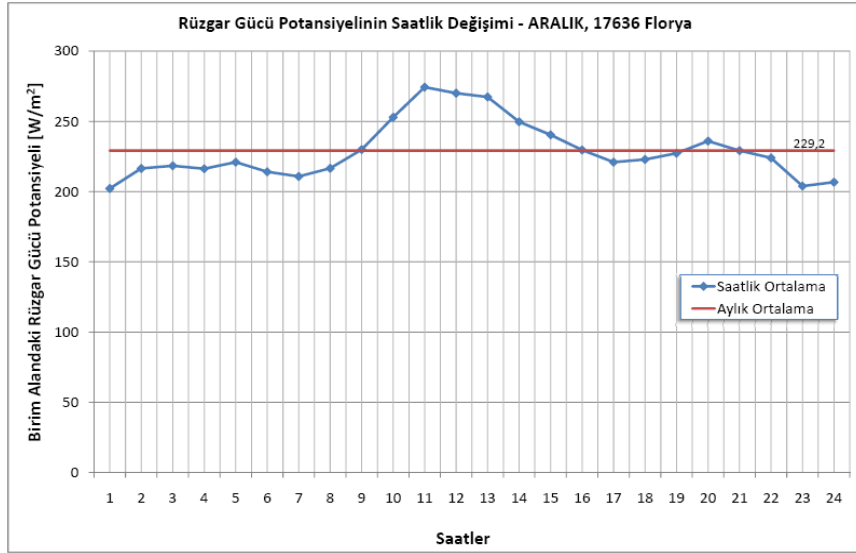
Şekil Ek 3.1 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



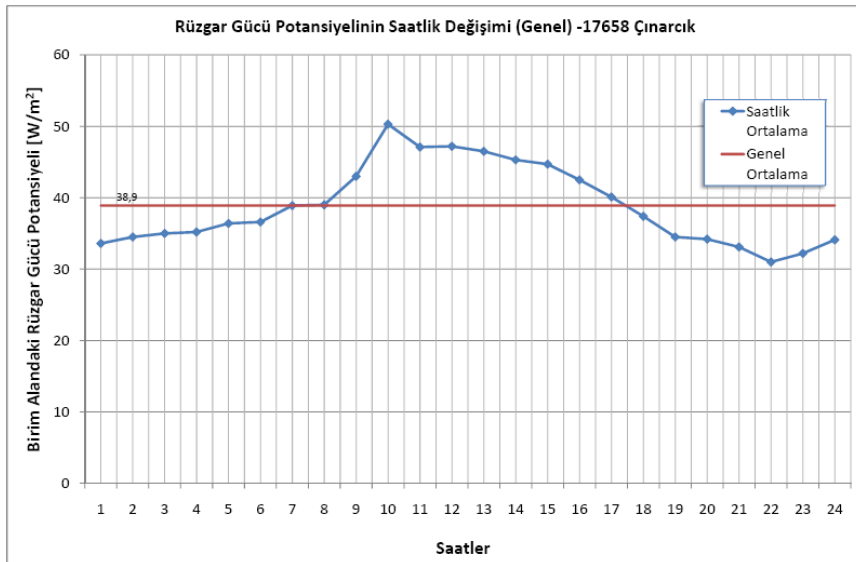
Şekil Ek 3.2 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).



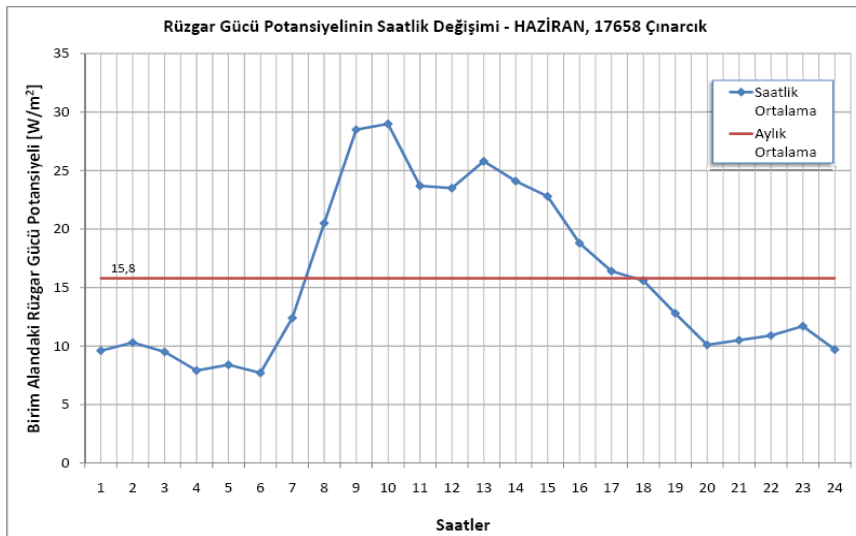
Şekil Ek 3.3 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).



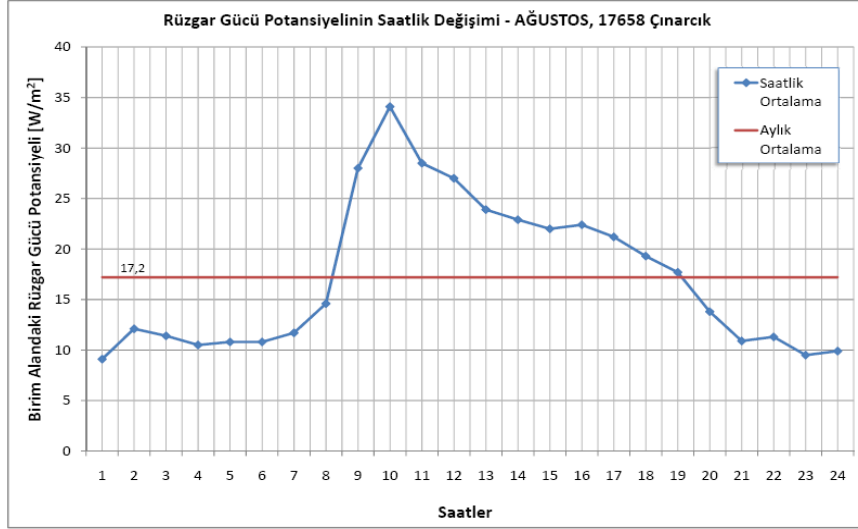
Şekil Ek 3.4 Florya için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).



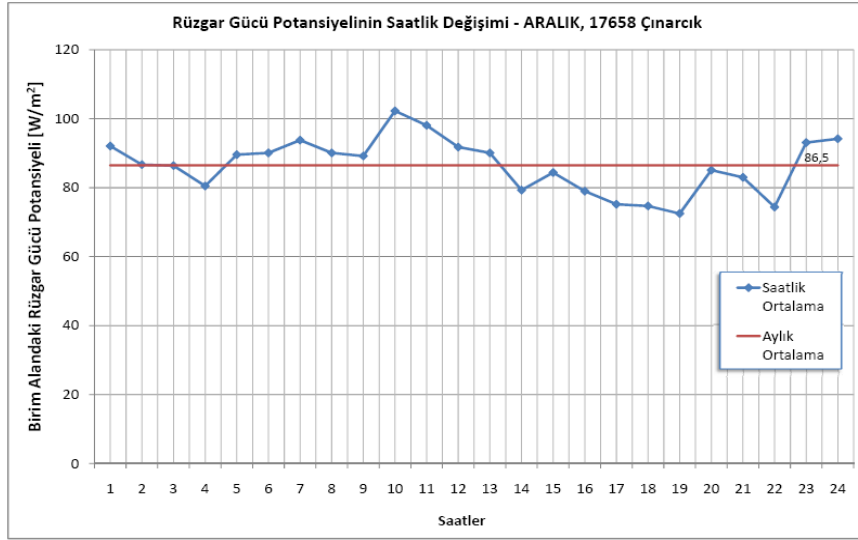
Şekil Ek 3.5 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



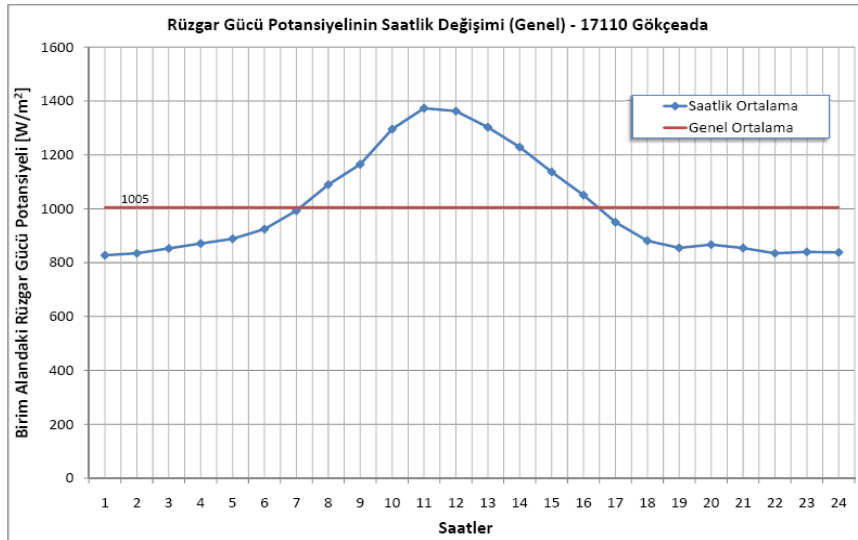
Şekil Ek 3.6 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).



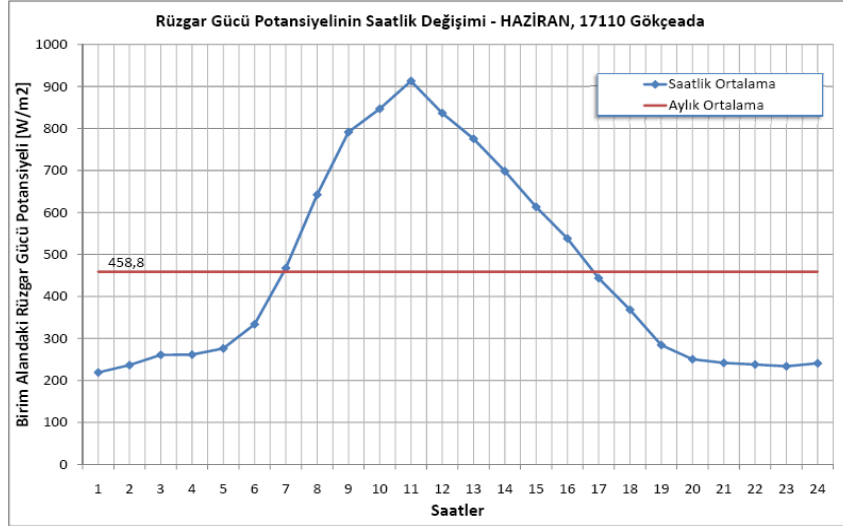
Şekil Ek 3.7 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).



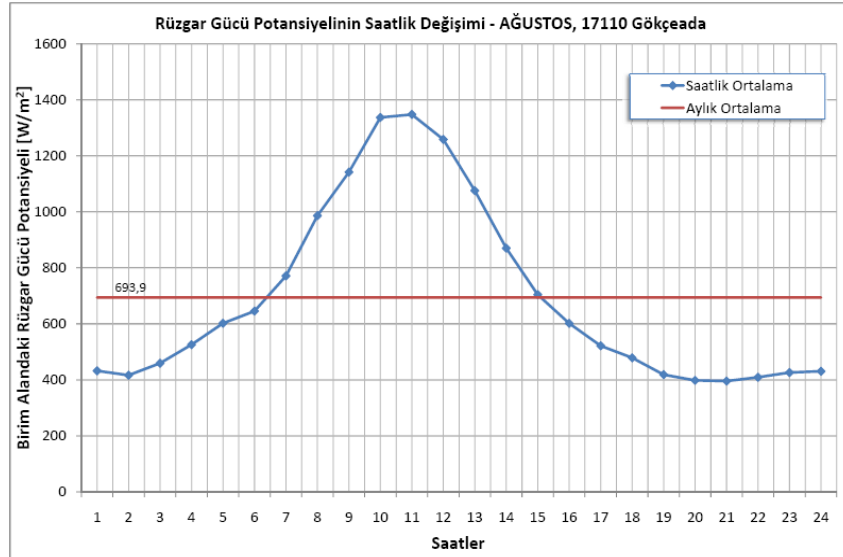
Şekil Ek 3.8 Çınarcık için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).



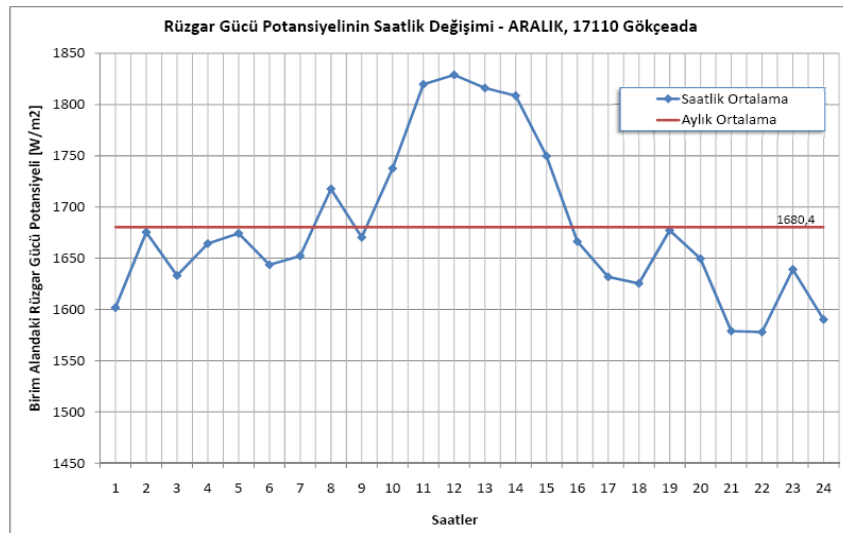
Şekil Ek 3.9 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



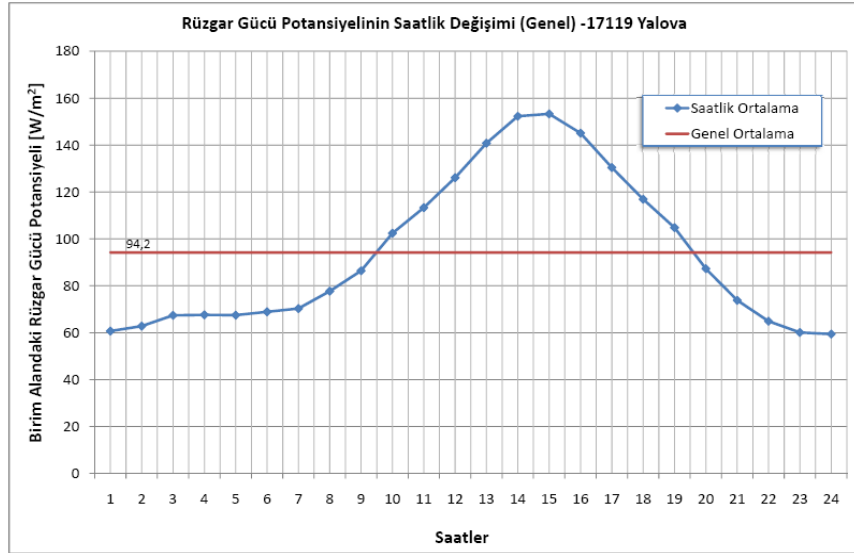
Şekil Ek 3.10 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).



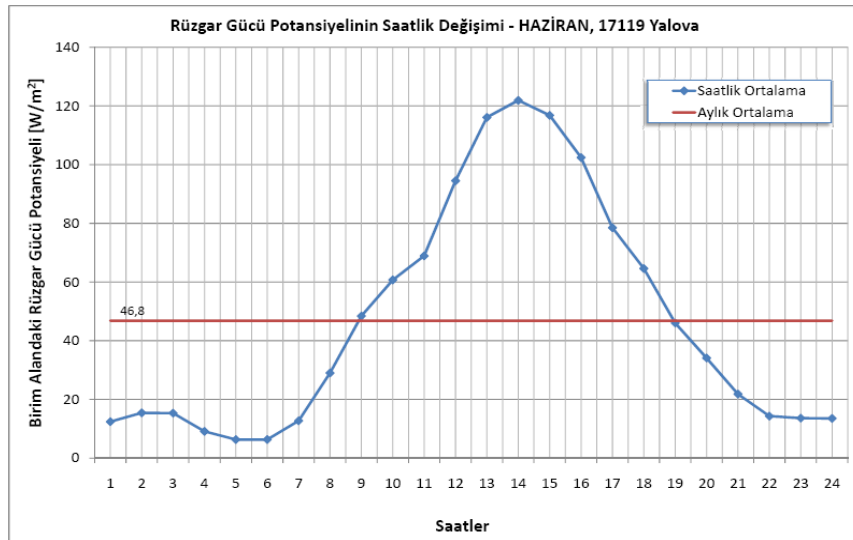
Şekil Ek 3.11 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).



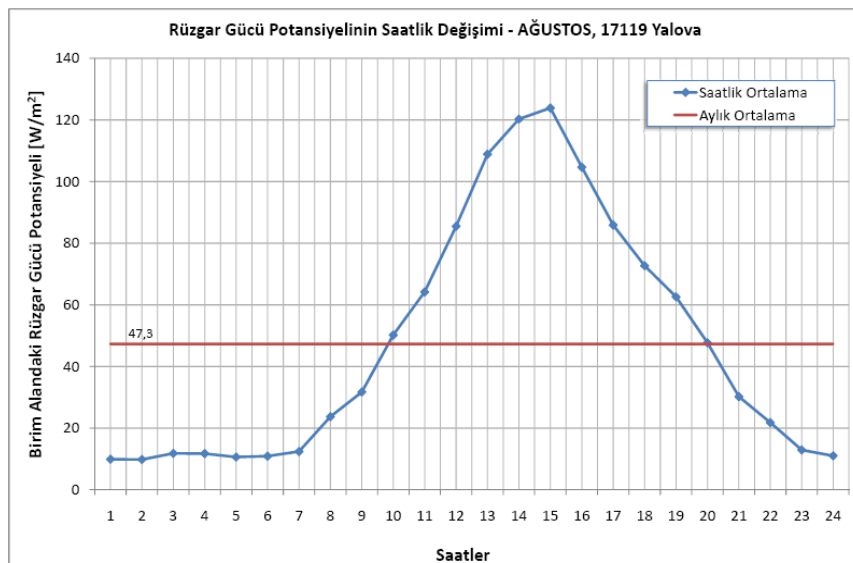
Şekil Ek 3.12 Gökçeada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).



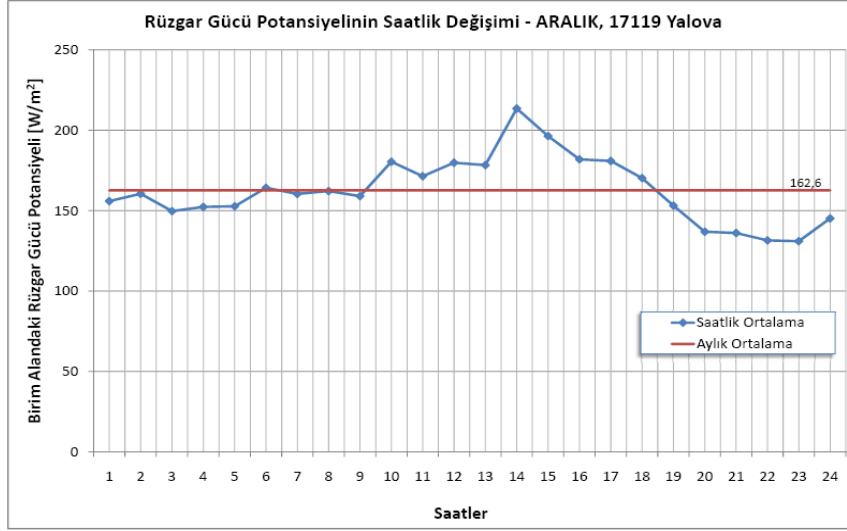
Şekil Ek 3.13 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



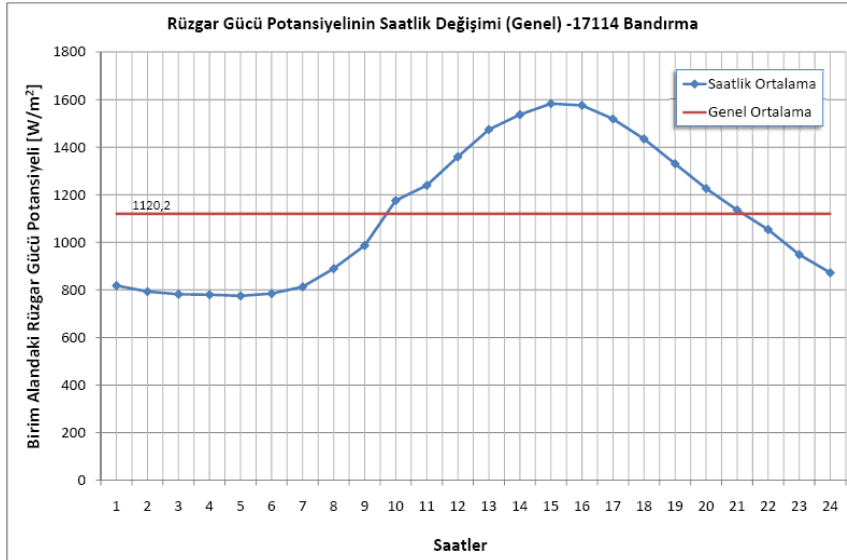
Şekil Ek 3.14 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).



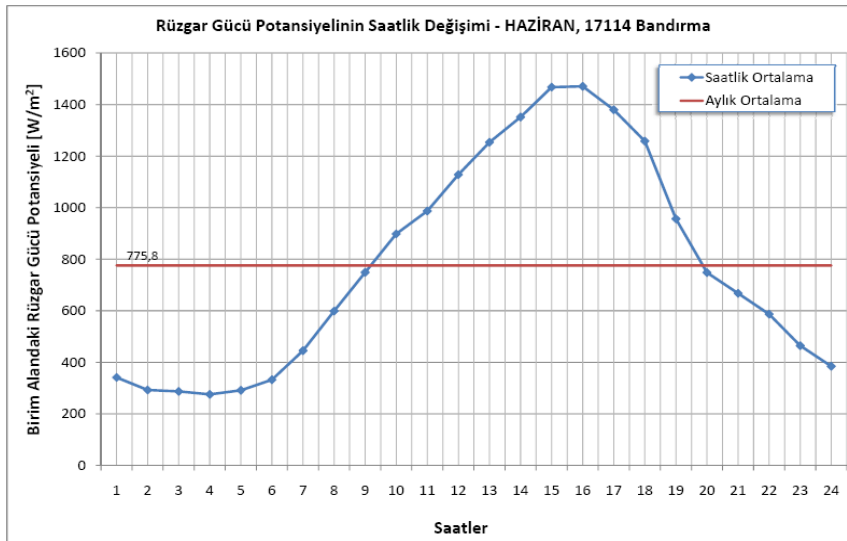
Şekil Ek 3.15 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).



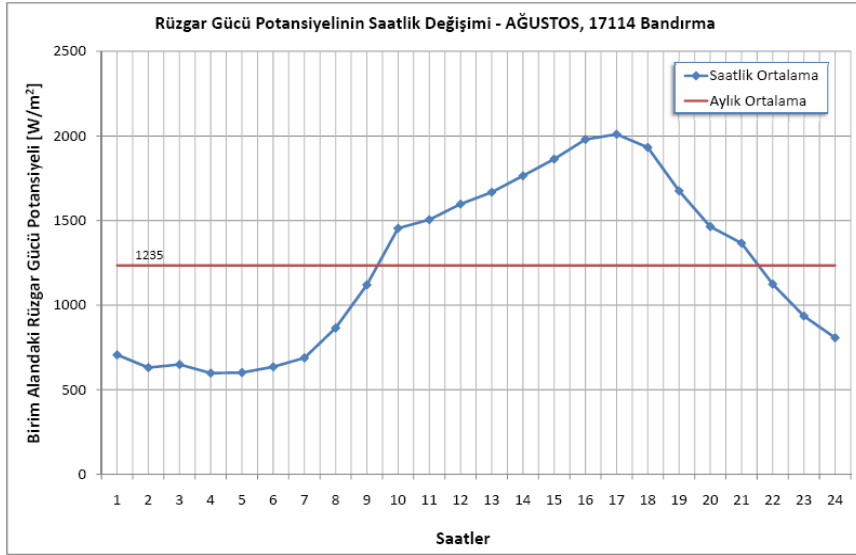
Şekil Ek 3.16 Yalova için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).



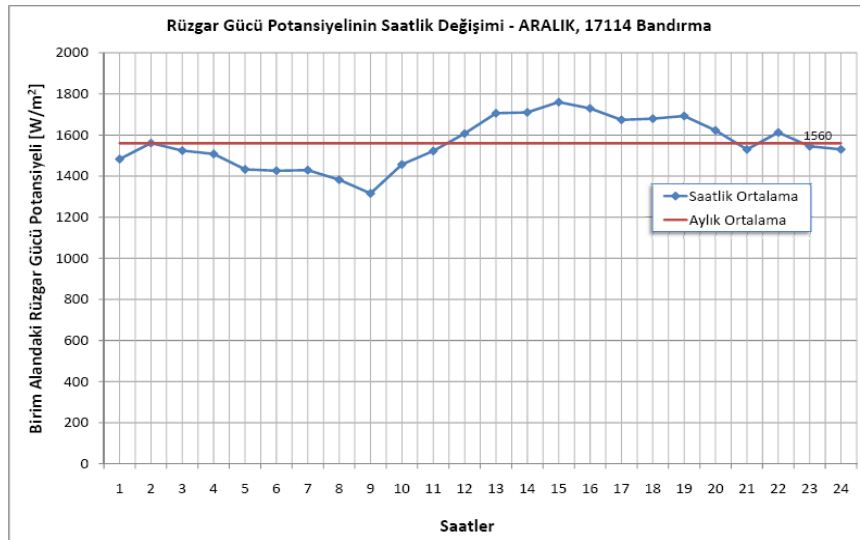
Şekil Ek 3.17 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



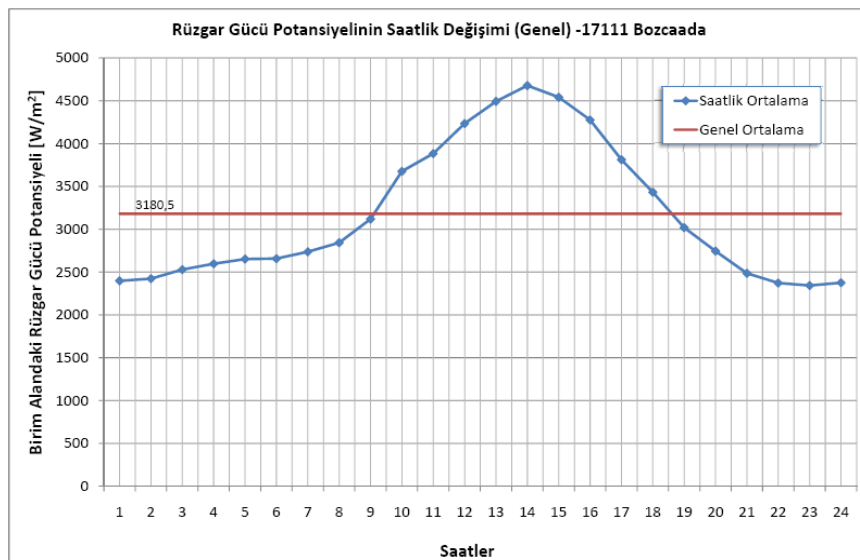
Şekil Ek 3.18 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).



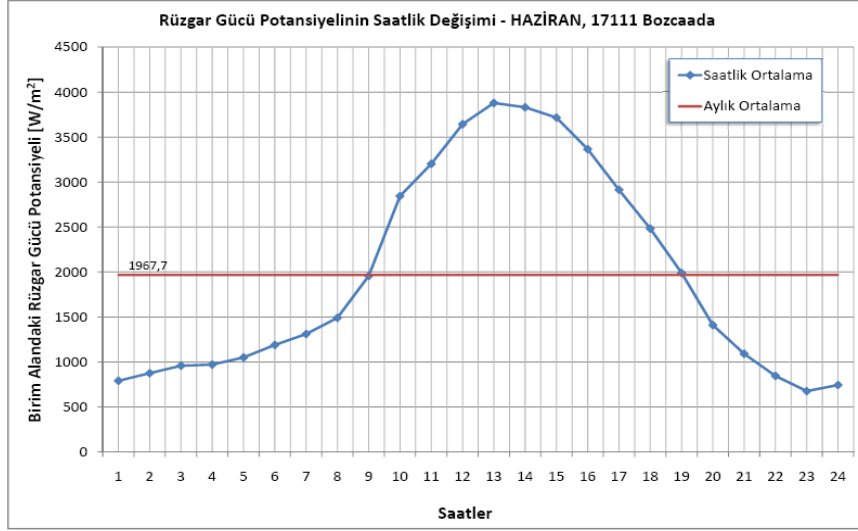
Şekil Ek 3.19 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).



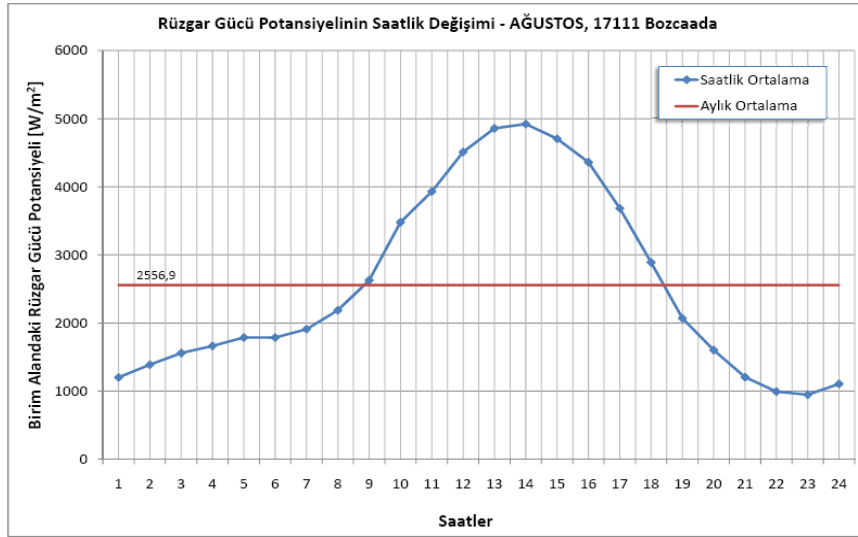
Şekil Ek 3.20 Bandırma için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).



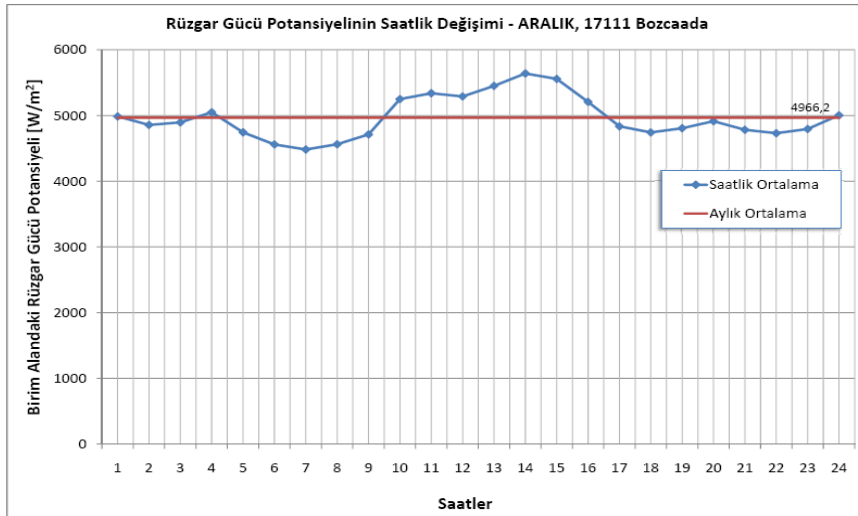
Şekil Ek 3.21 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



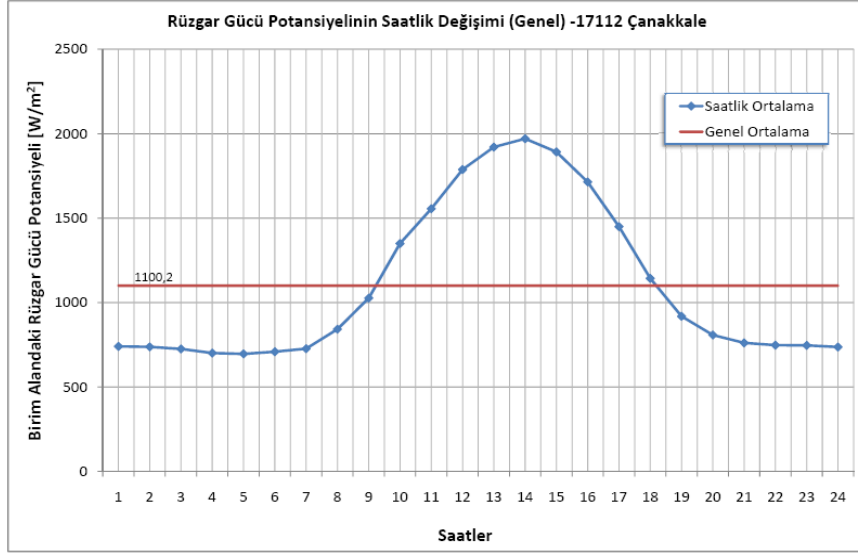
Şekil Ek 3.22 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).



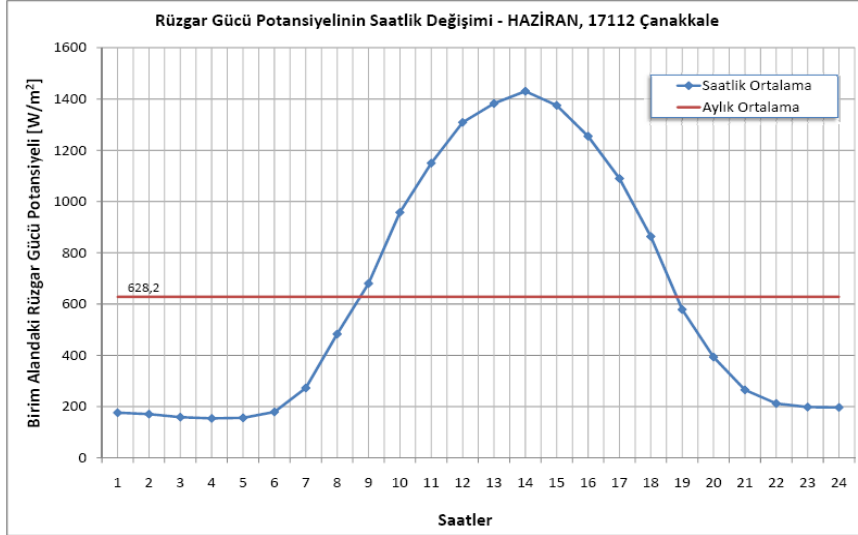
Şekil Ek 3.23 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).



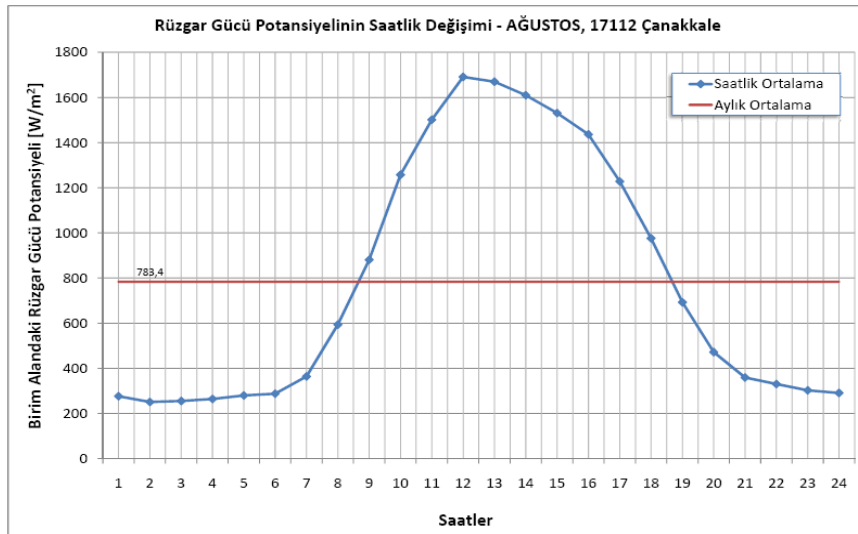
Şekil Ek 3.24 Bozcaada için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).



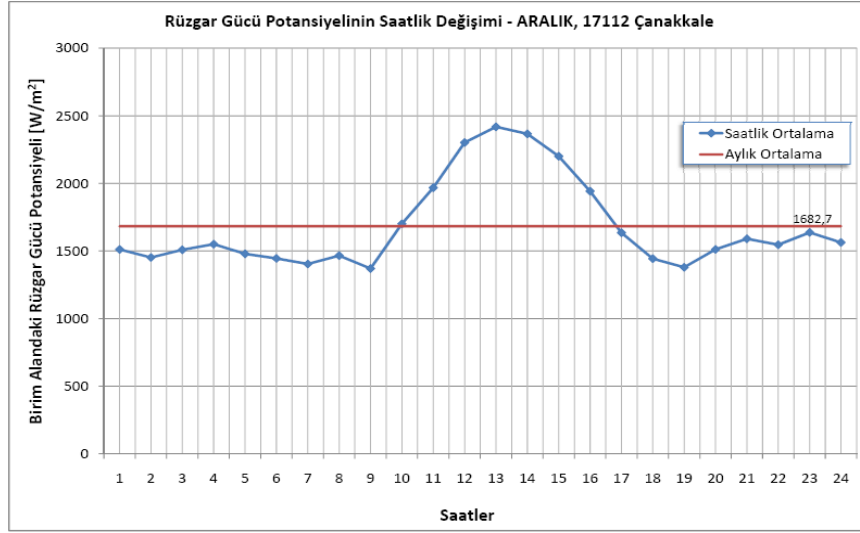
Şekil Ek 3.25 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Genel).



Şekil Ek 3.26 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Haziran).

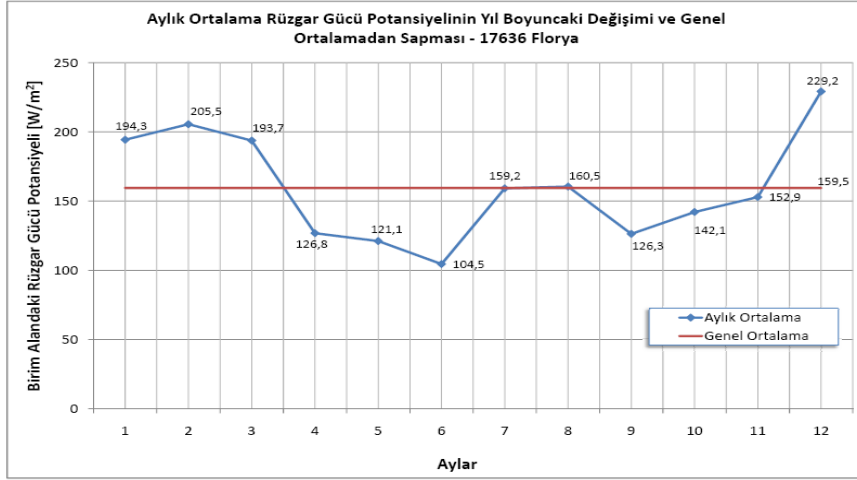


Şekil Ek 3.27 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Ağustos).

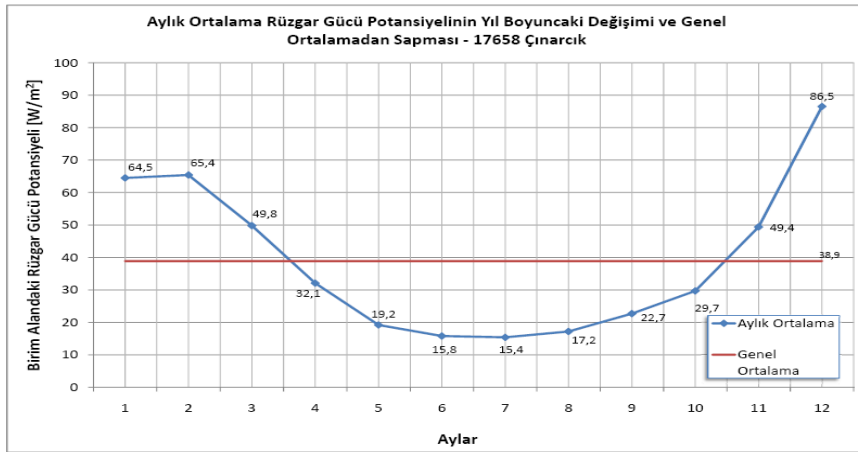


Şekil Ek 3.28 Çanakkale için rüzgâr gücü potansiyelinin saatlik değişimi (Aralık).

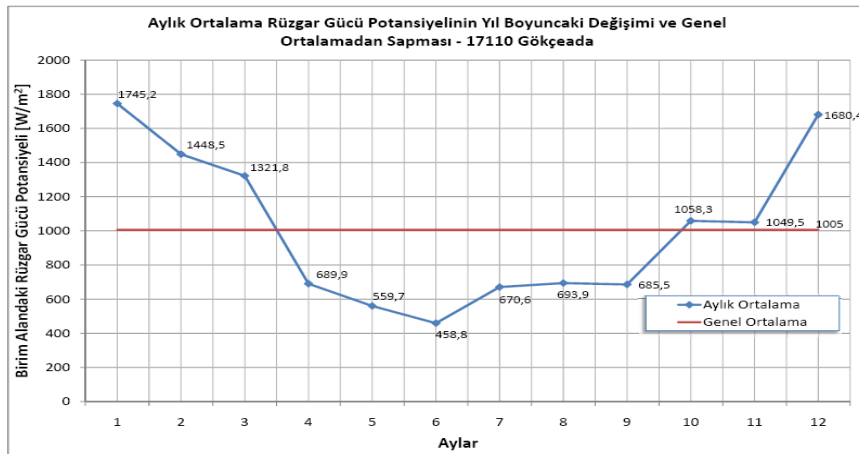
Ek 4 Aylık Ortalama Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Yıl İçindeki Değişimi İçin Çalışma Sonuçları



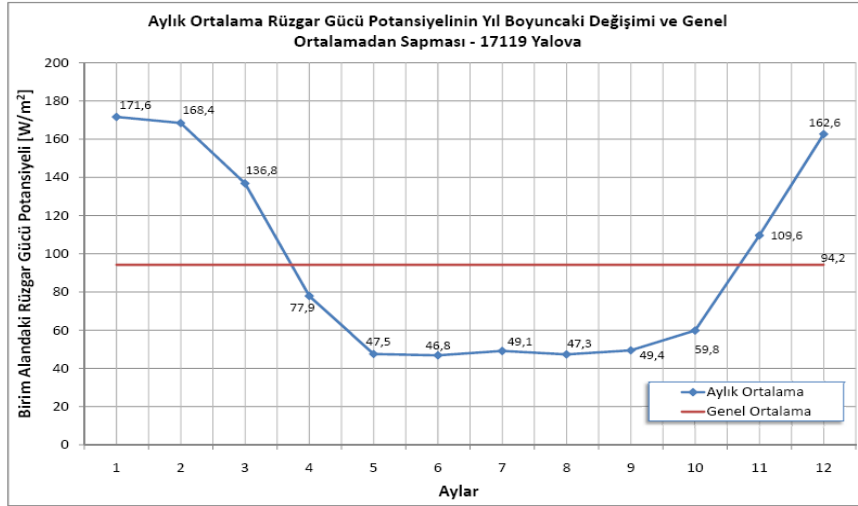
Şekil Ek 4.1 Florya için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.



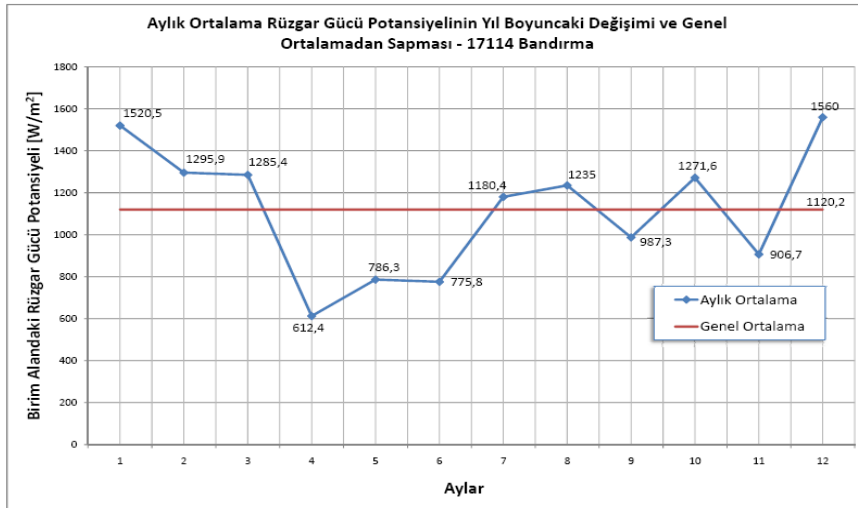
Şekil Ek 4.2 Çınarcık için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.



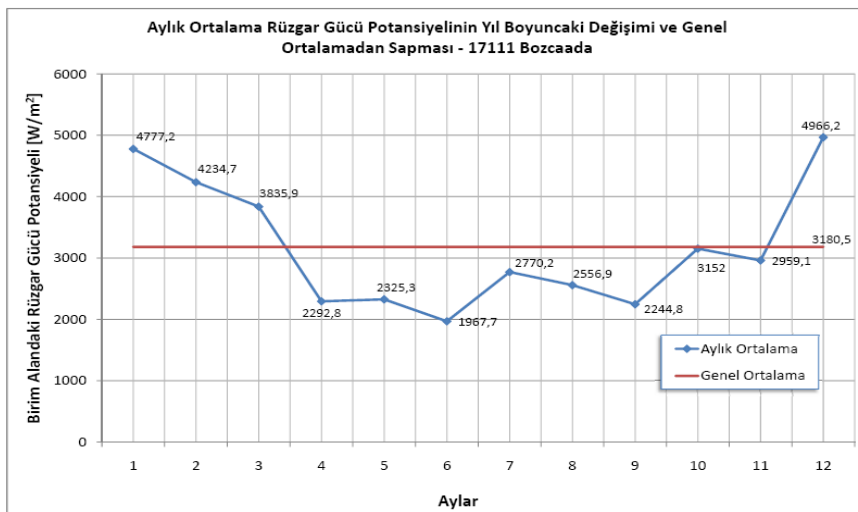
Şekil Ek 4.3 Gökçeada için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.



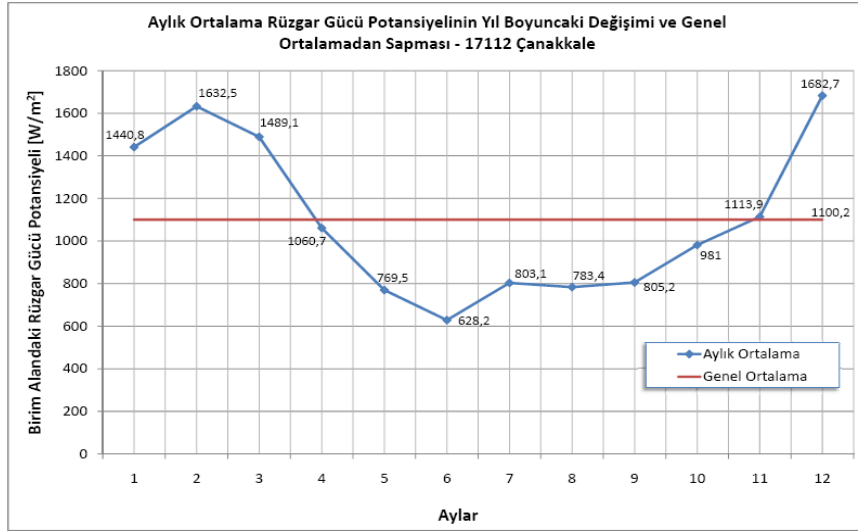
Şekil Ek 4.4 Yalova için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.



Şekil Ek 4.5 Bandırma için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.

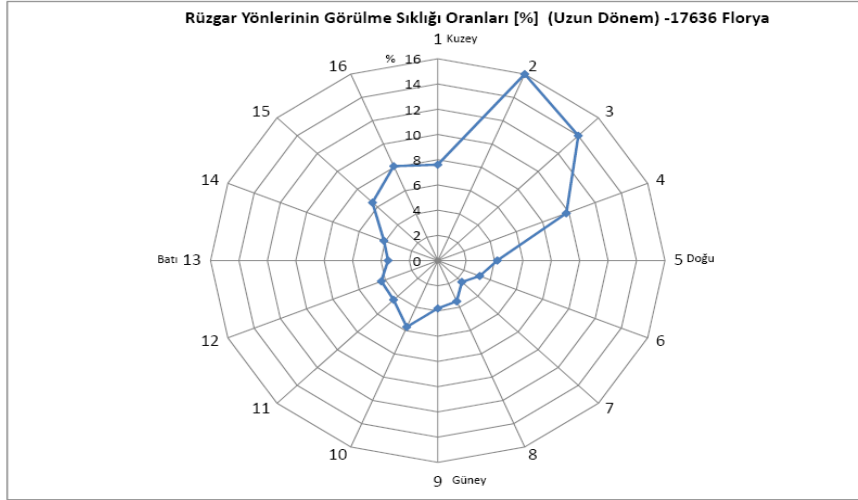


Şekil Ek 4.6 Bozcaada için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.

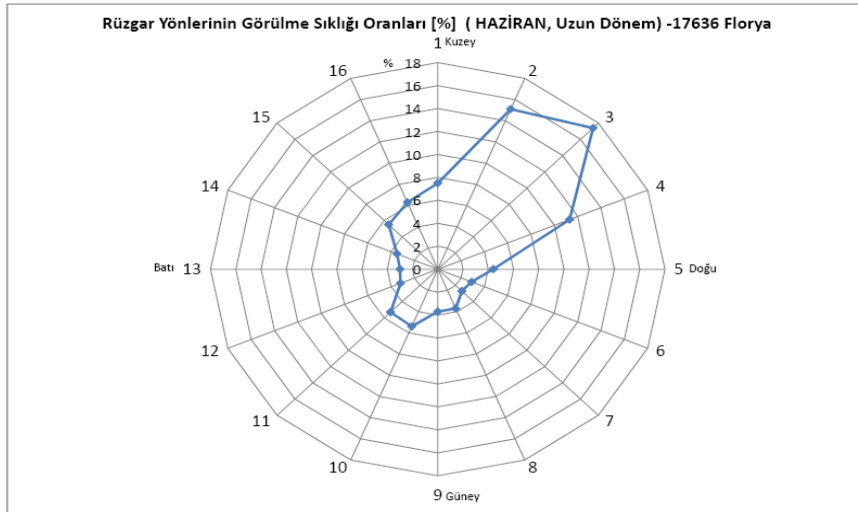


Şekil Ek 4.7 Çanakkale için aylık ortalama rüzgâr gücü potansiyelinin yıl boyuca olan değişimi ve genel ortalamadan sapması.

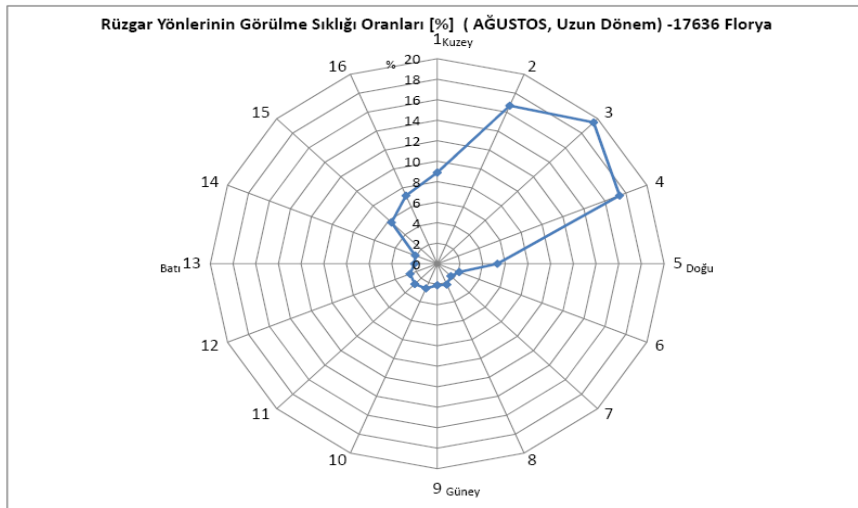
Ek 5 Tüm Yıl ile Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları



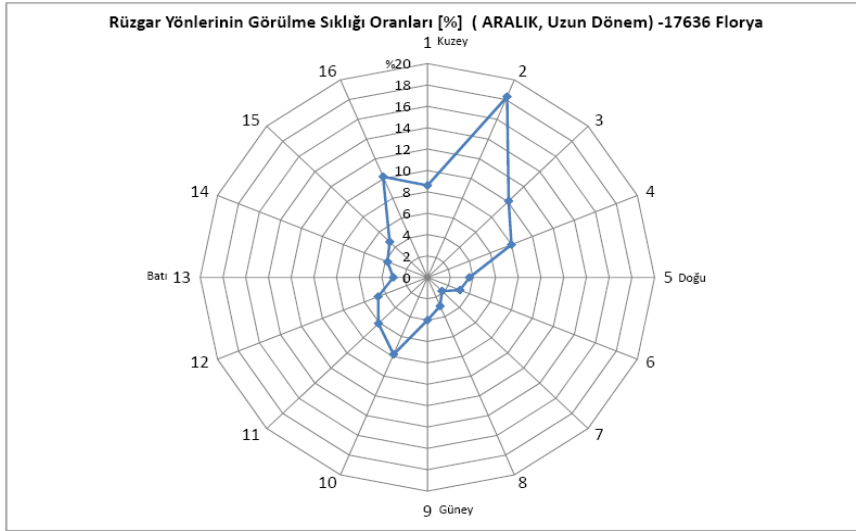
Şekil Ek 5.1 Florya için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



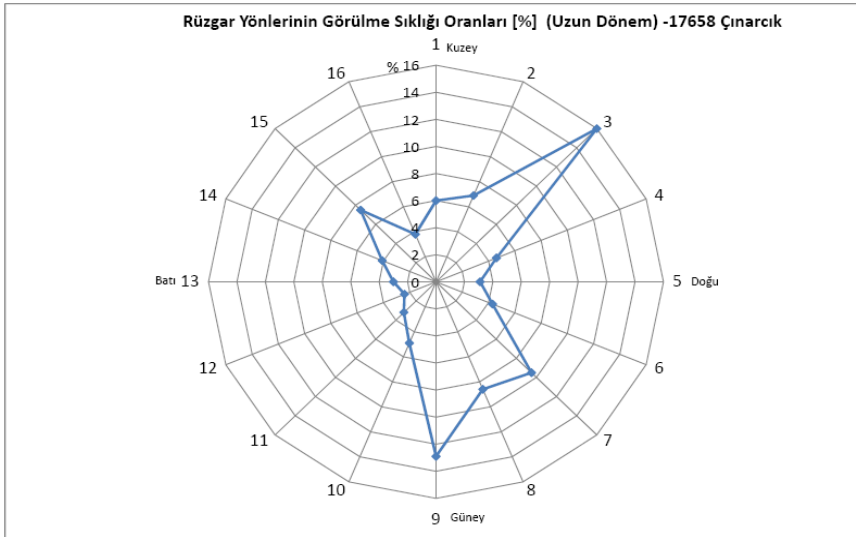
Şekil Ek 5.2 Florya için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.



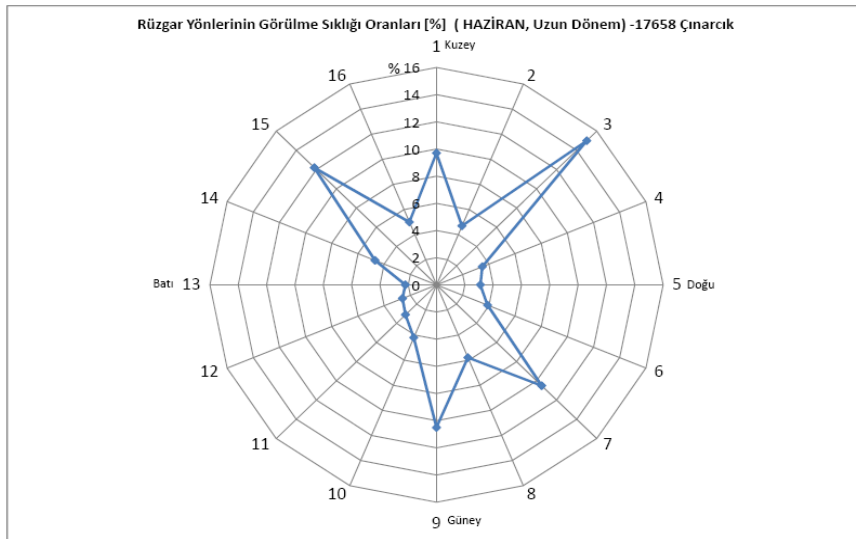
Şekil Ek 5.3 Florya için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.



Şekil Ek 5.4 Florya için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.



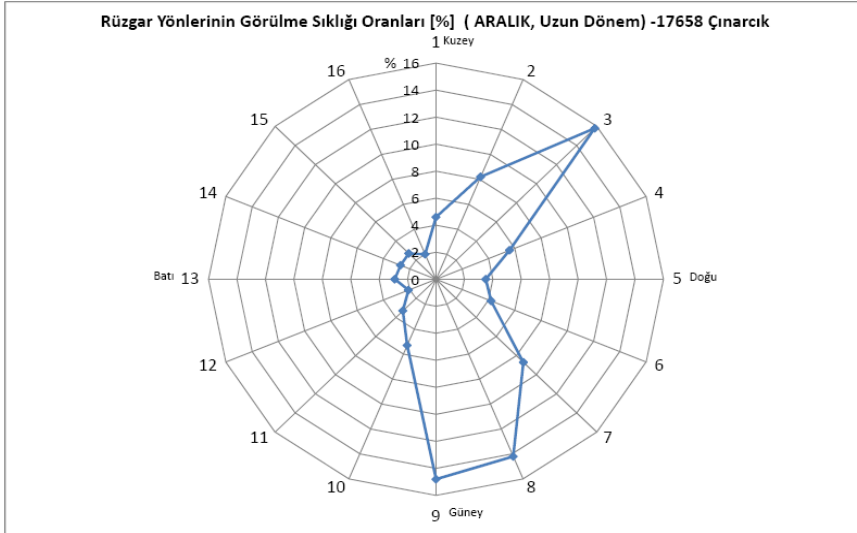
Şekil Ek 5.5 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



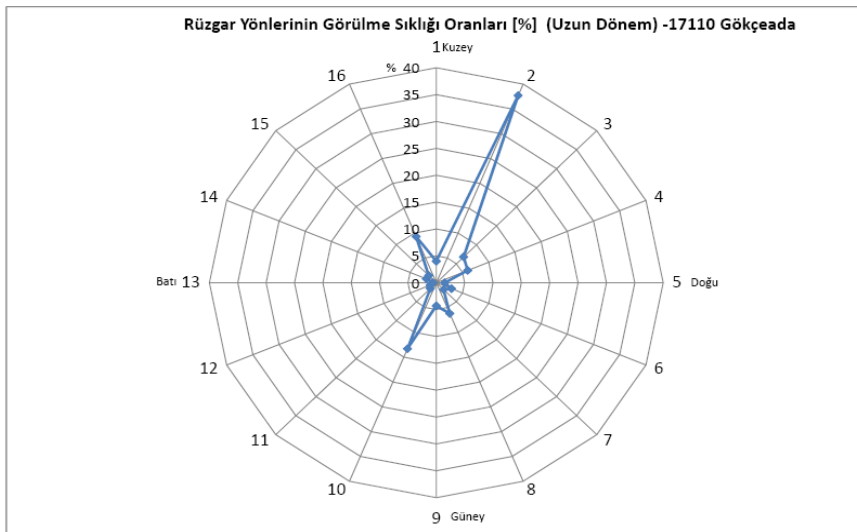
Şekil Ek 5.6 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.



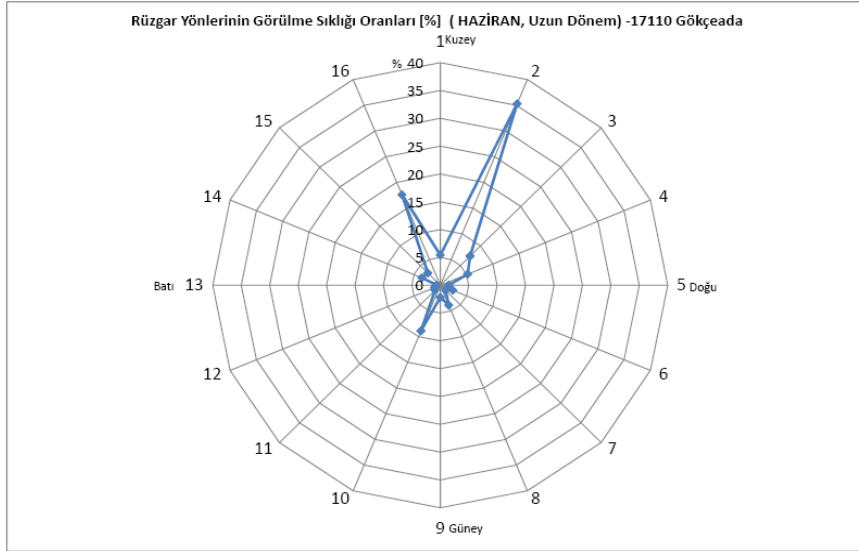
Şekil Ek 5.7 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.



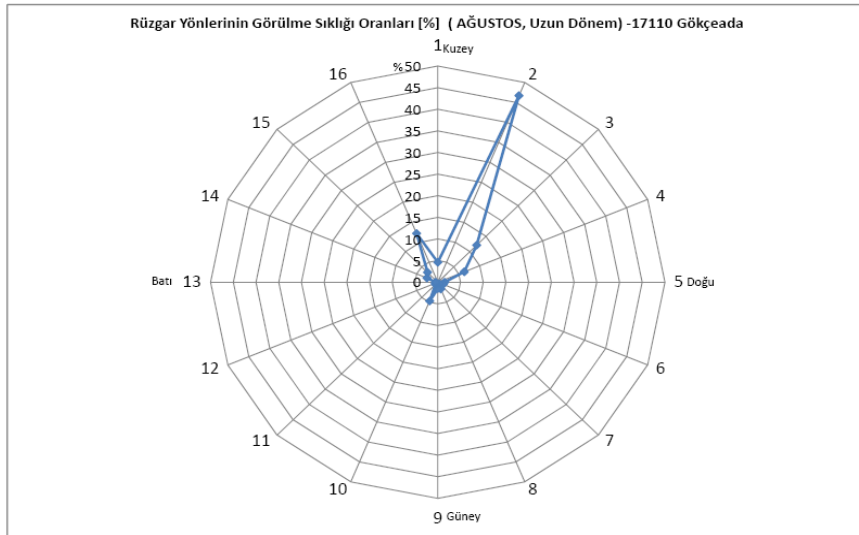
Şekil Ek 5.8 Çınarcık için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.



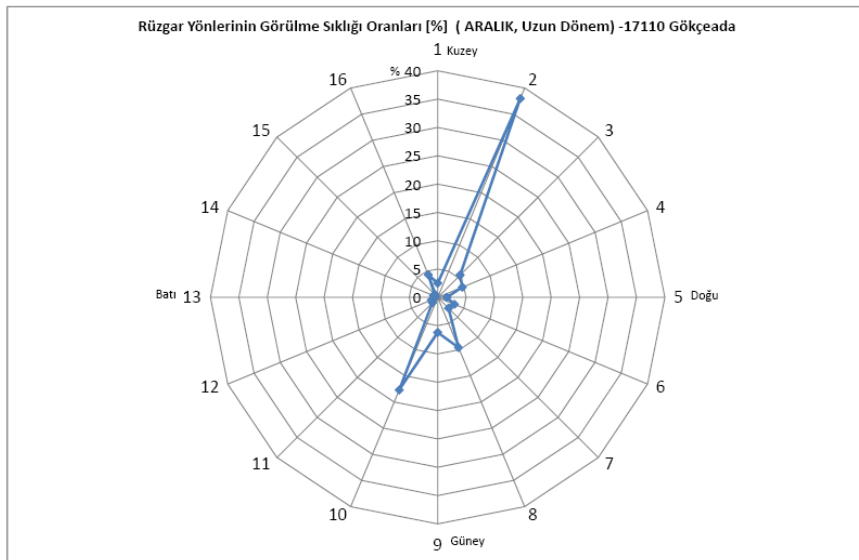
Şekil Ek 5.9 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



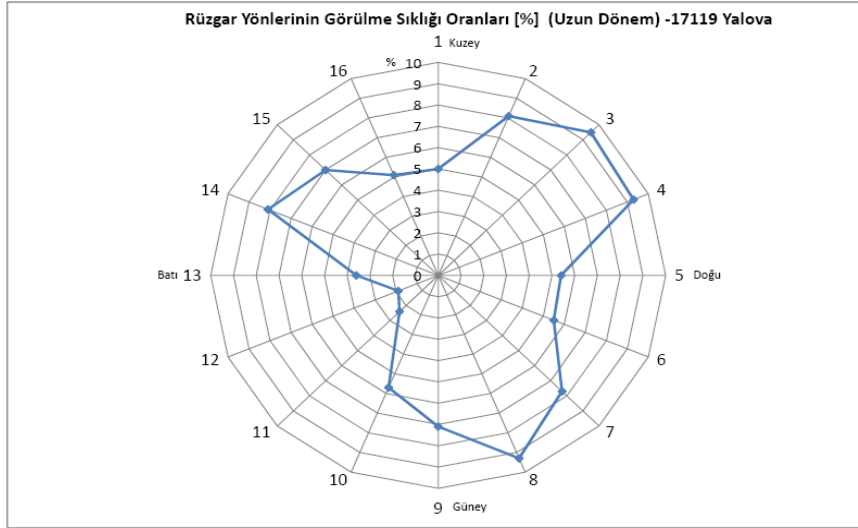
Şekil Ek 5.10 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.



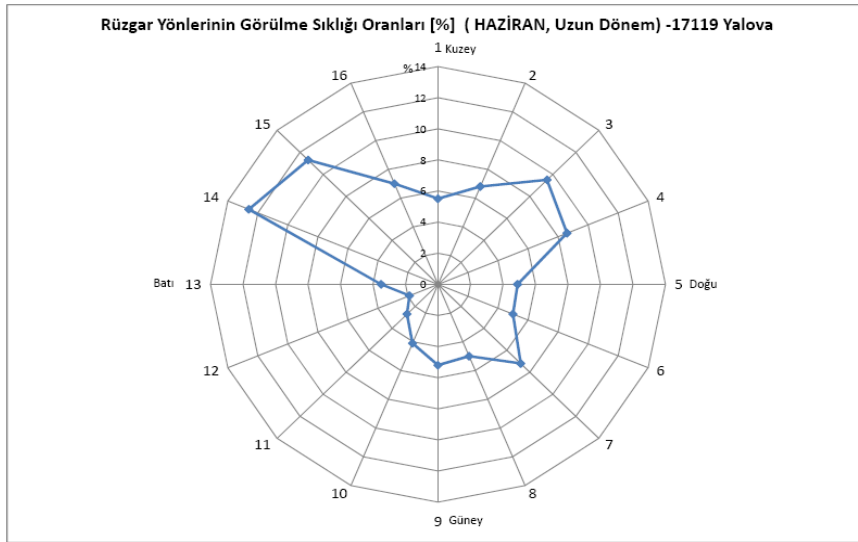
Şekil Ek 5.11 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.



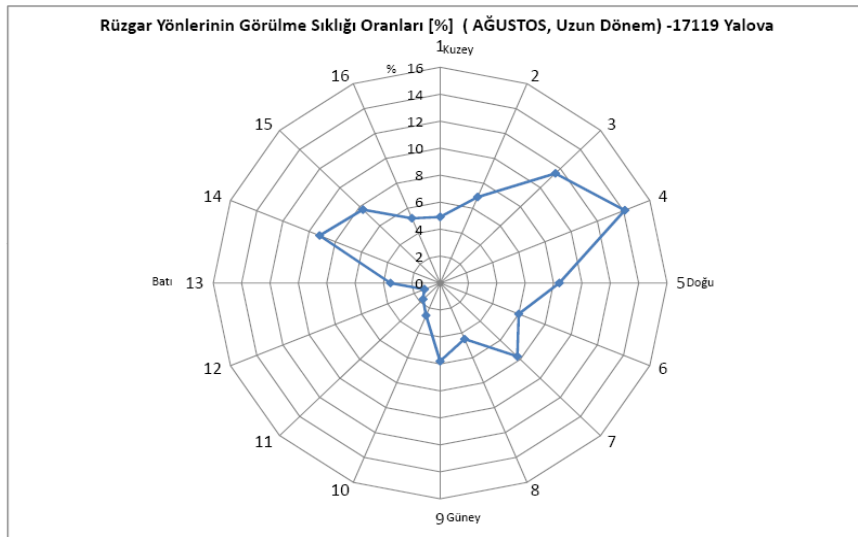
Şekil Ek 5.12 Gökçeada için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.



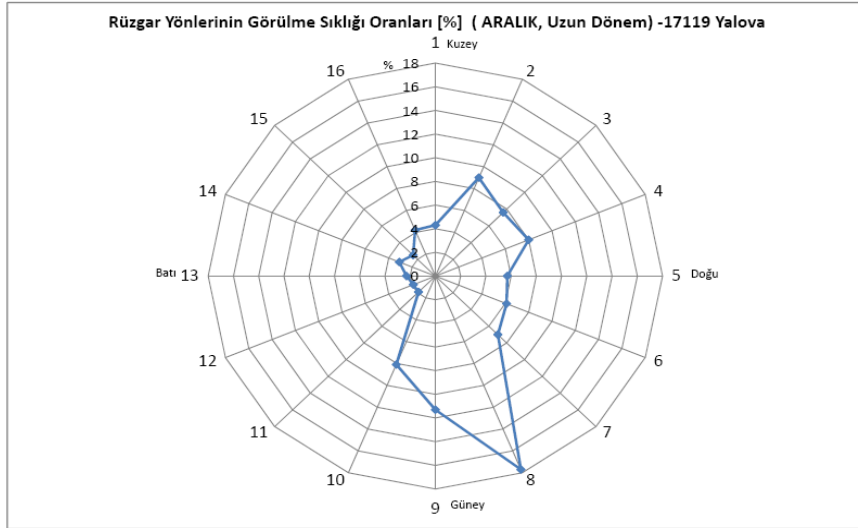
Şekil Ek 5.13 Yalova için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



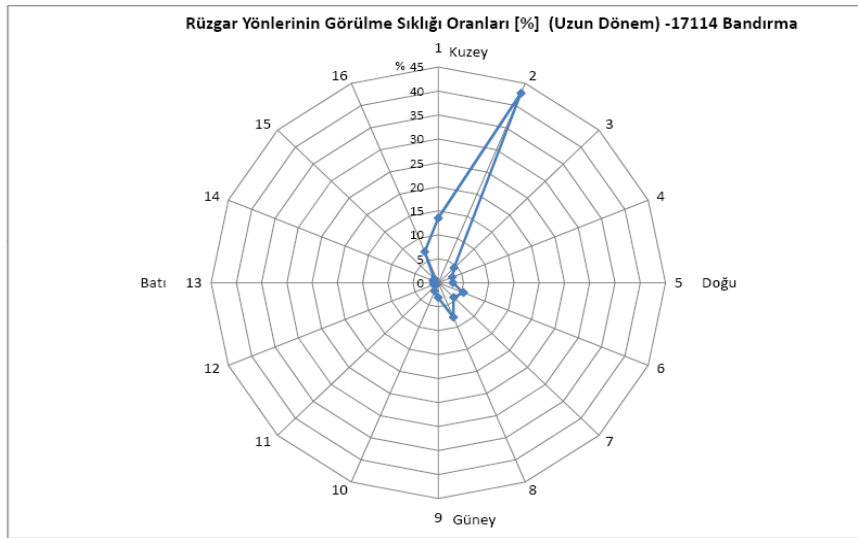
Şekil Ek 5.14 Yalova için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.



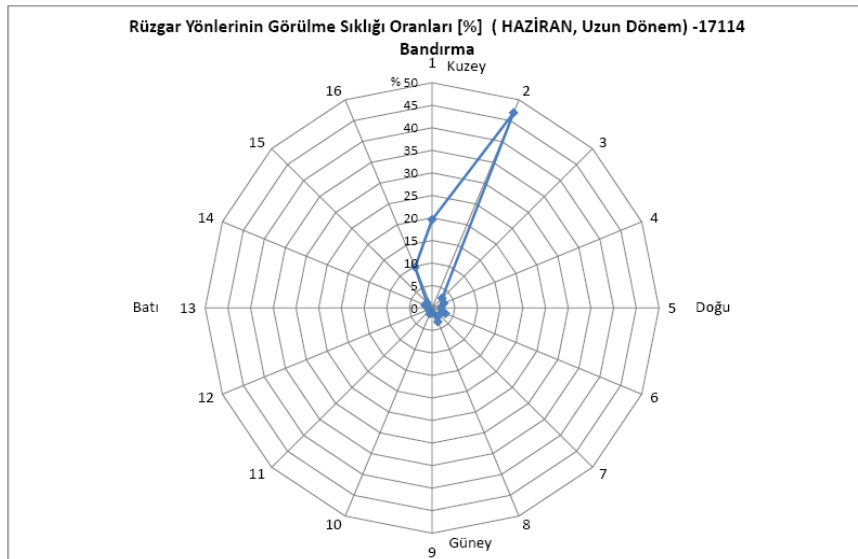
Şekil Ek 5.15 Yalova için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.



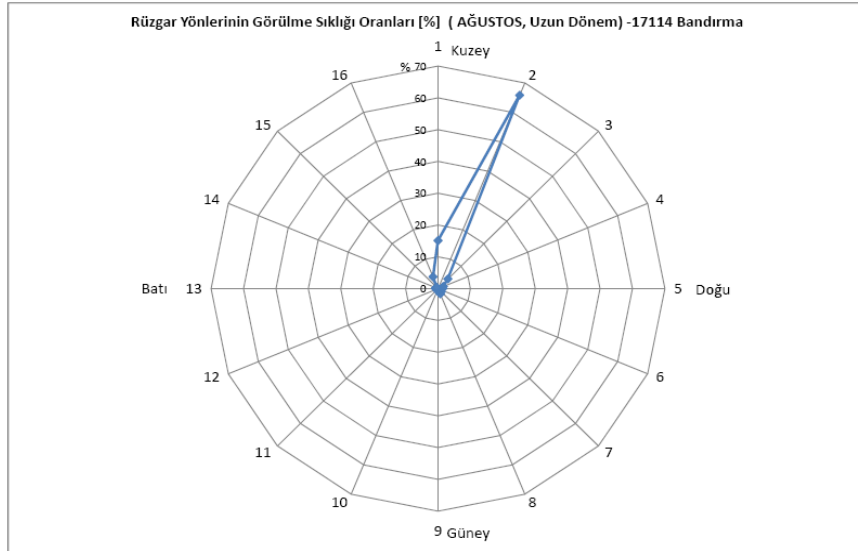
Şekil Ek 5.16 Yalova için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.



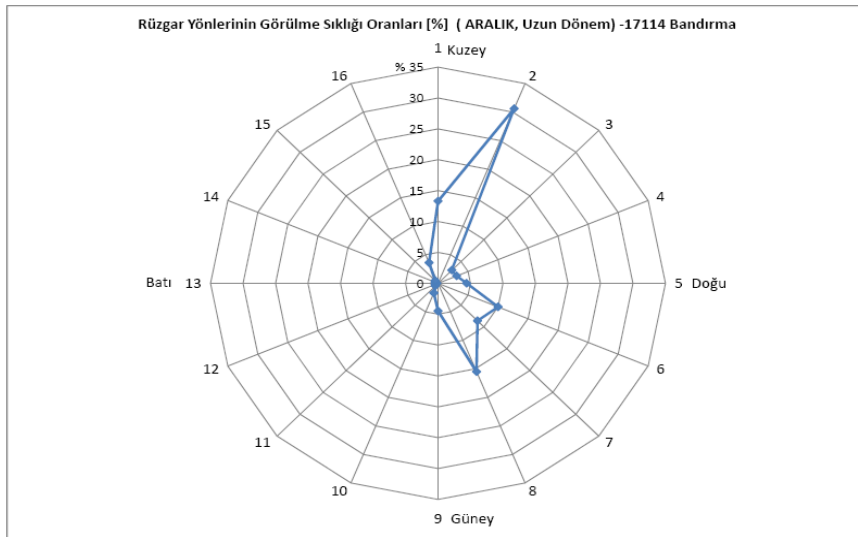
Şekil Ek 5.17 Bandırma için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



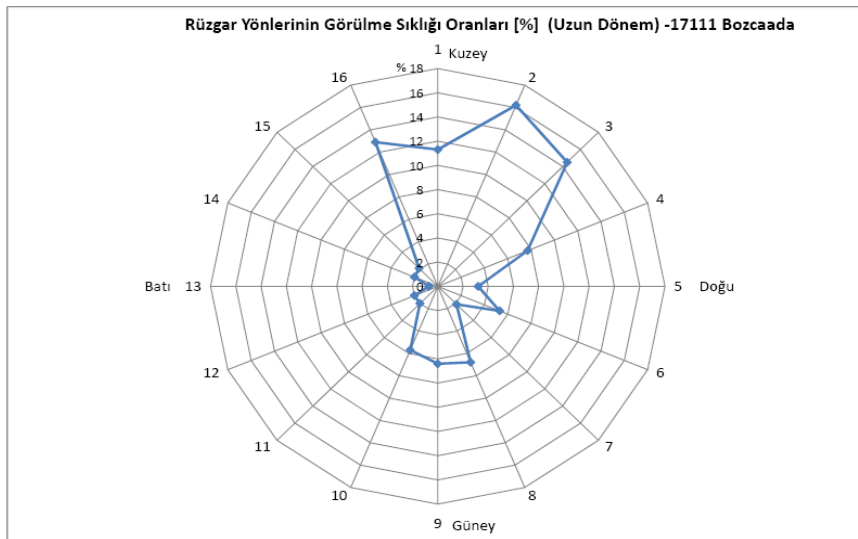
Şekil Ek 5.18 Bandırma için rüzgâr yönlerinin Haziran ayı için dağılım oranları.



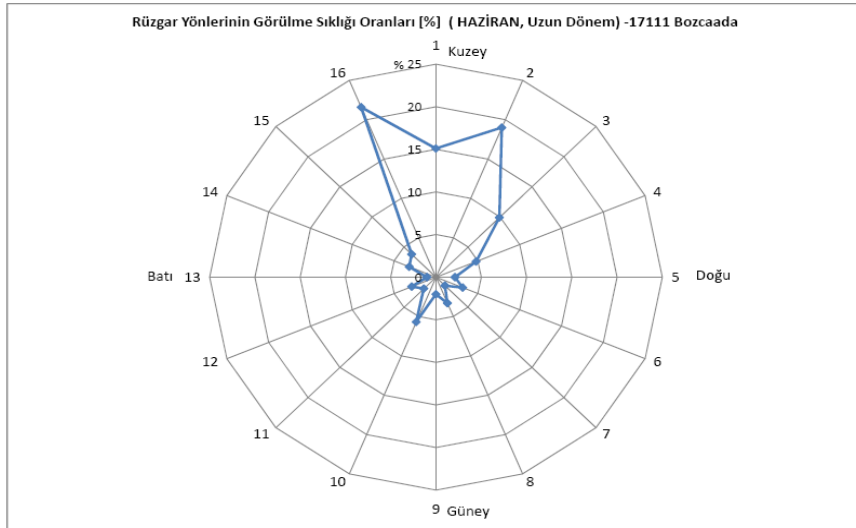
Şekil Ek 5.19 Bandırma için rüzgâr yönlerinin Ağustos ayı için dağılım oranları.



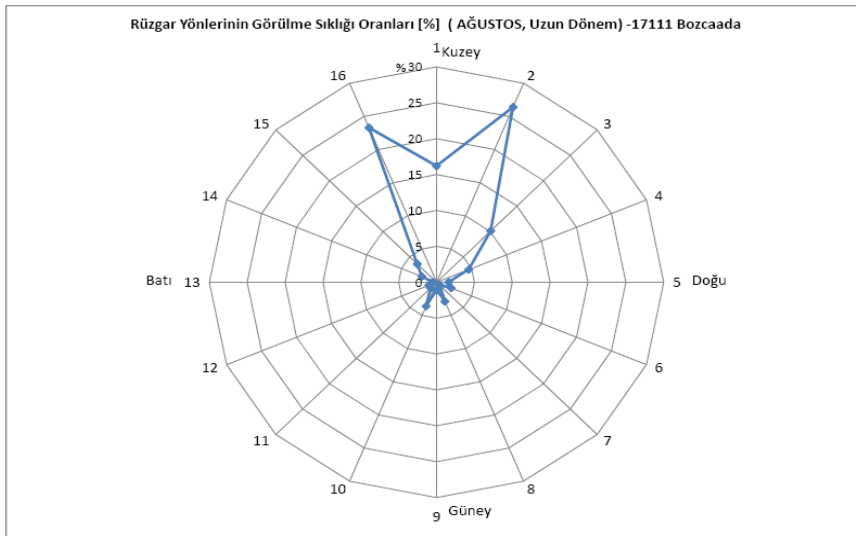
Şekil Ek 5.20 Bandırma için rüzgâr yönlerinin Aralık ayı için dağılım oranları.



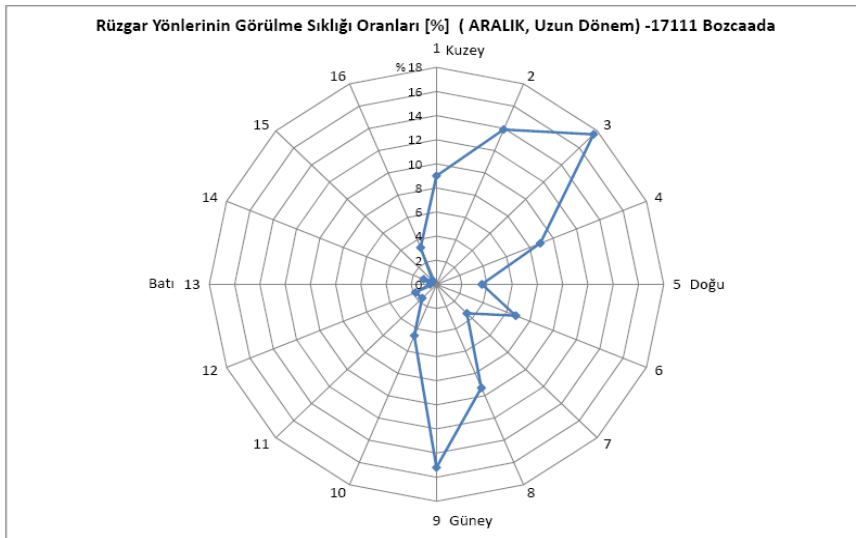
Şekil Ek 5.21 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



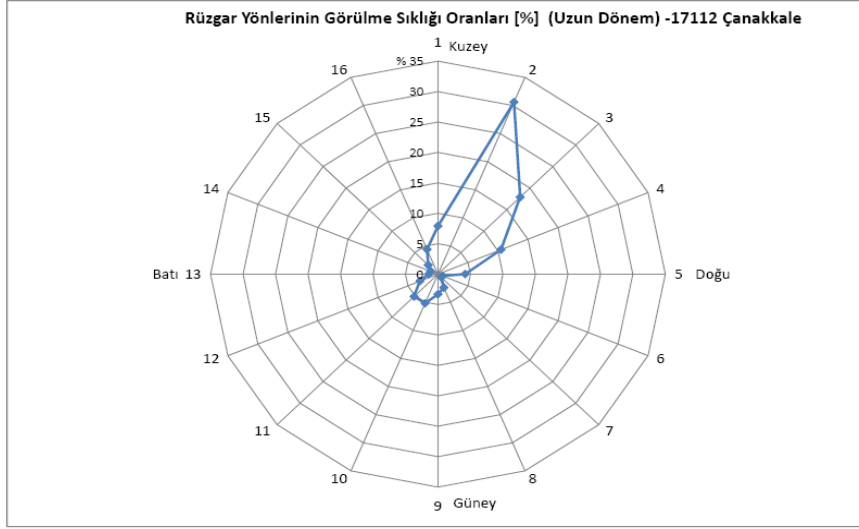
Şekil Ek 5.22 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin Haziran için dağılım oranları.



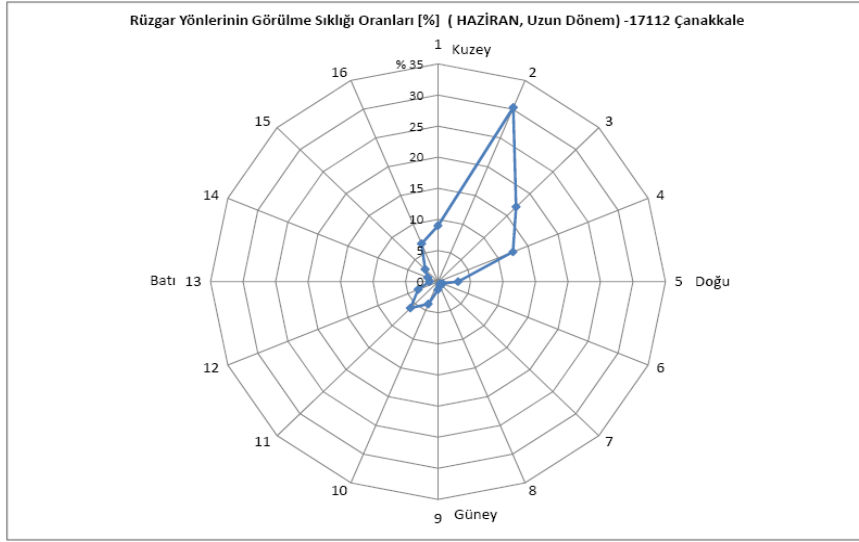
Şekil Ek 5.23 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin Ağustos için dağılım oranları.



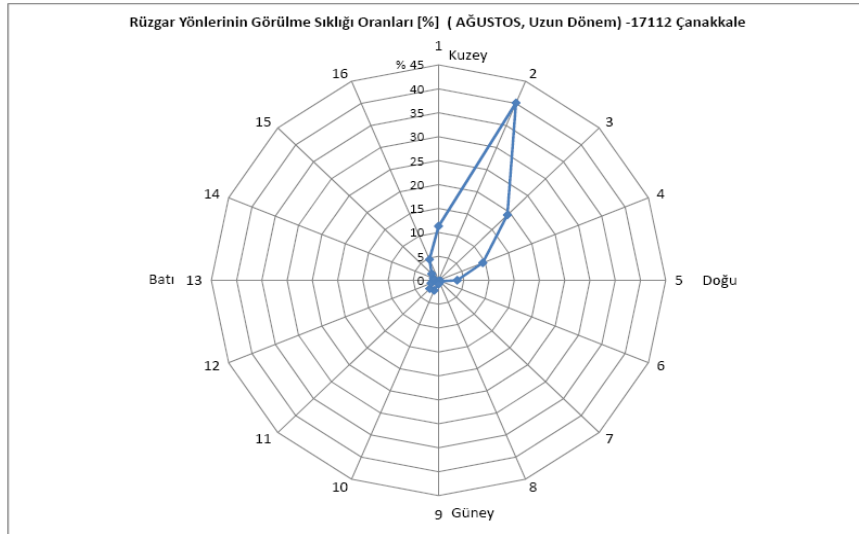
Şekil Ek 5.24 Bozcaada için rüzgâr yönlerinin Aralık için dağılım oranları.



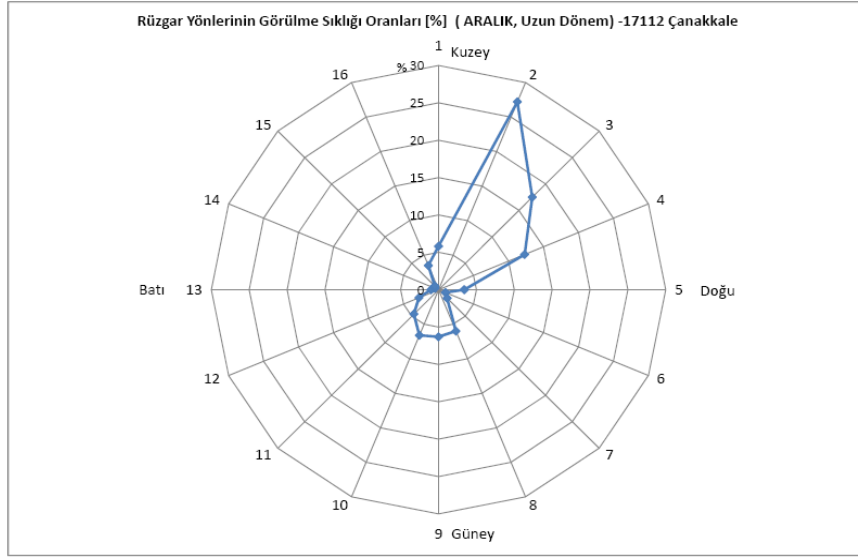
Şekil Ek 5.25 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin tüm yıl için dağılım oranları.



Şekil Ek 5.26 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin Haziran için dağılım oranları.

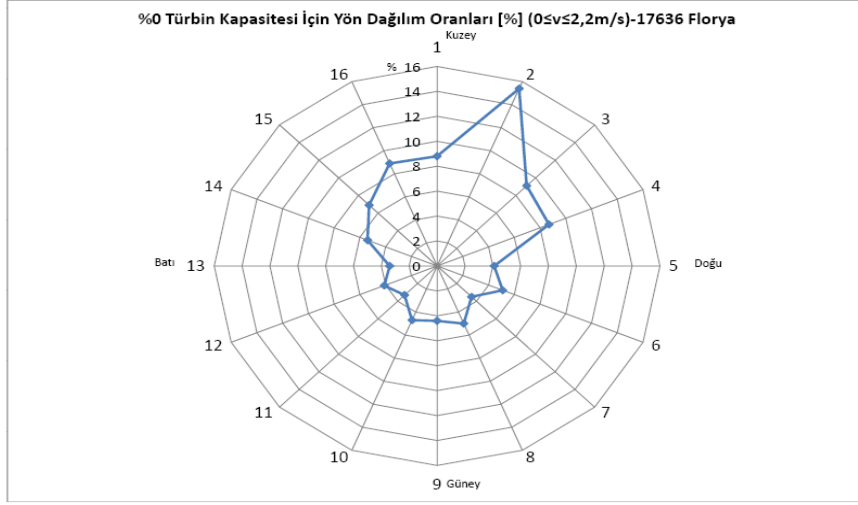


Şekil Ek 5.27 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin Ağustos için dağılım oranları.

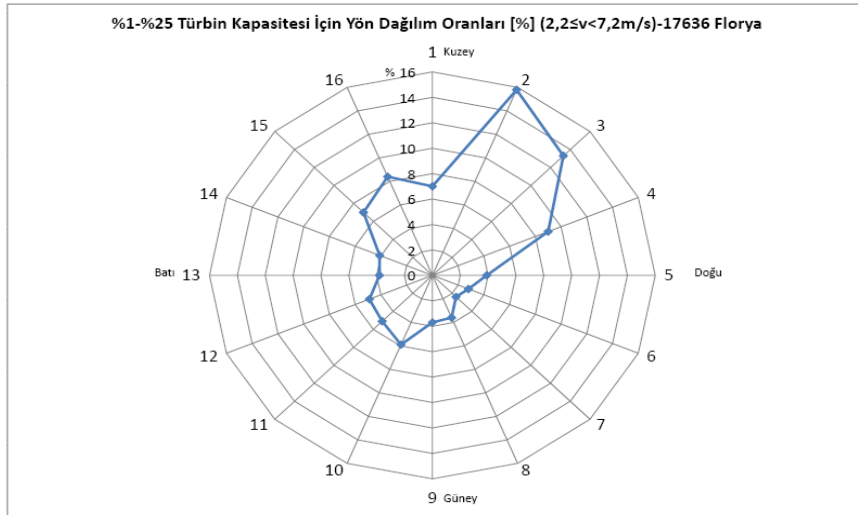


Şekil Ek 5.28 Çanakkale için rüzgâr yönlerinin Aralık için dağılım oranları.

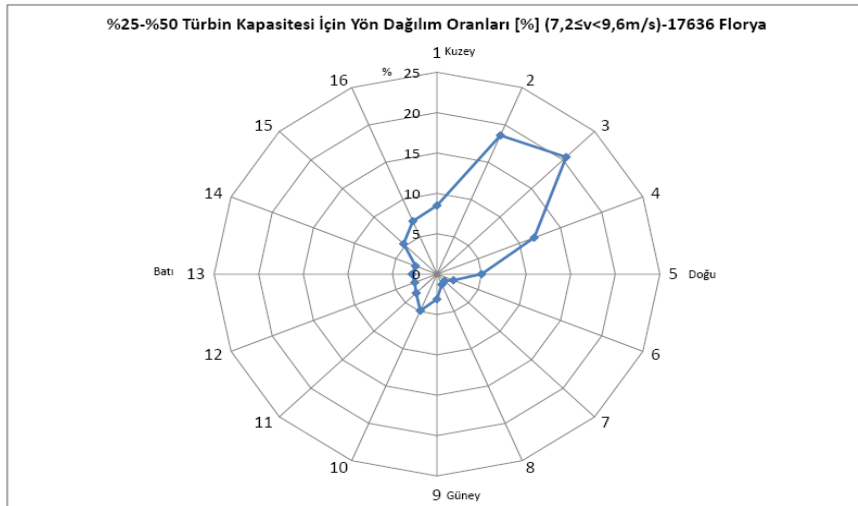
Ek 6 Çeşitli Rüzgâr Türbini Kapasite Aralıkları İçin Rüzgâr Yönlerinin Görülme Sıklığı Oranları İçin Çalışma Sonuçları



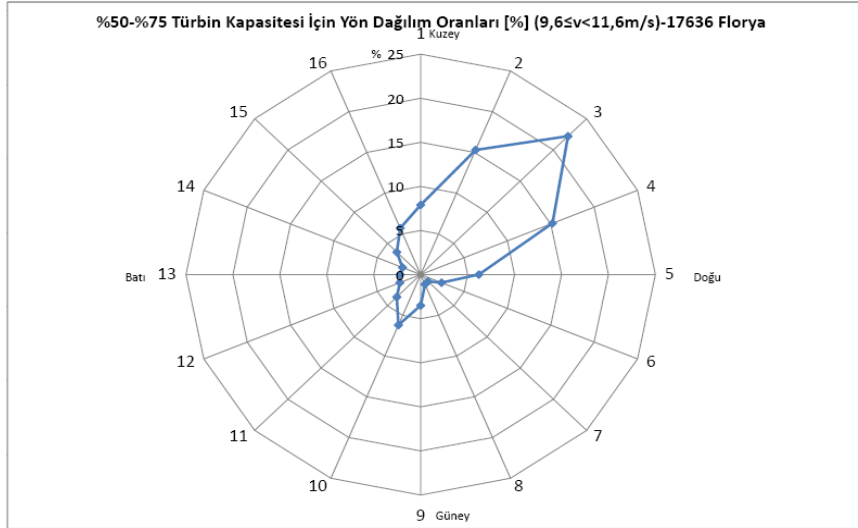
Şekil Ek 6.1 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).



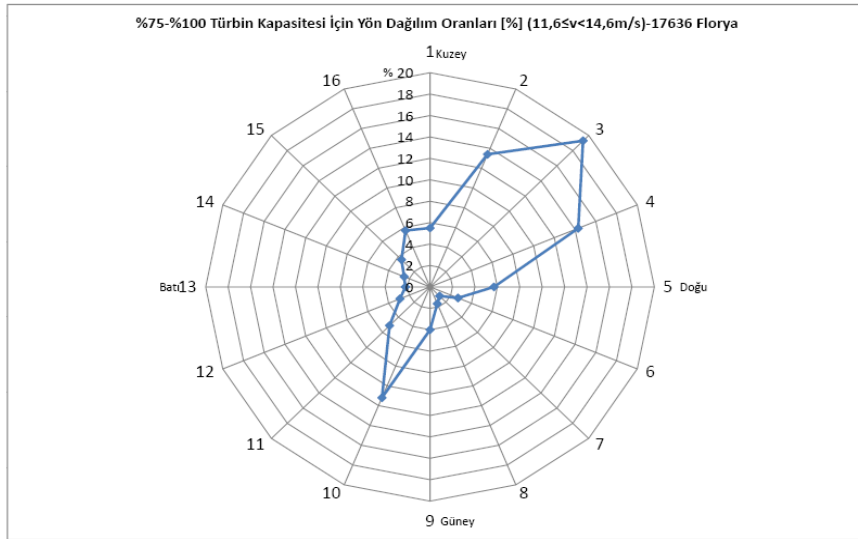
Şekil Ek 6.2 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).



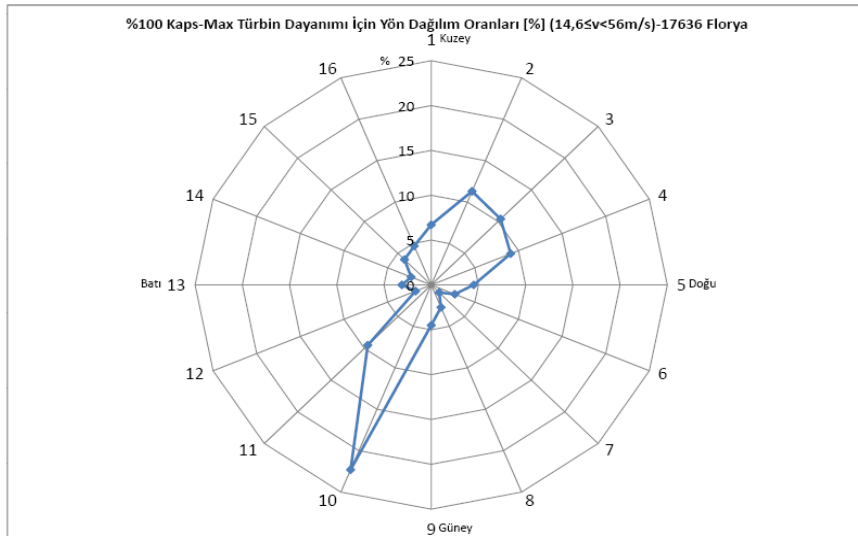
Şekil Ek 6.3 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).



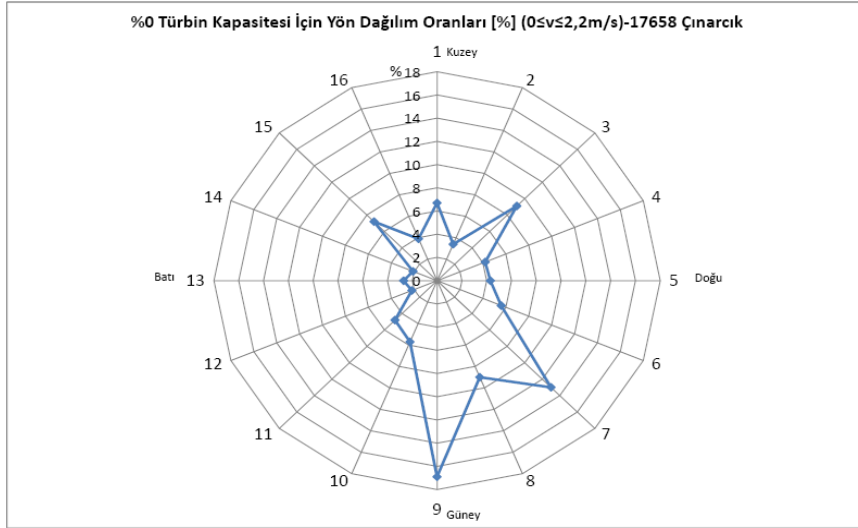
Şekil Ek 6.4 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).



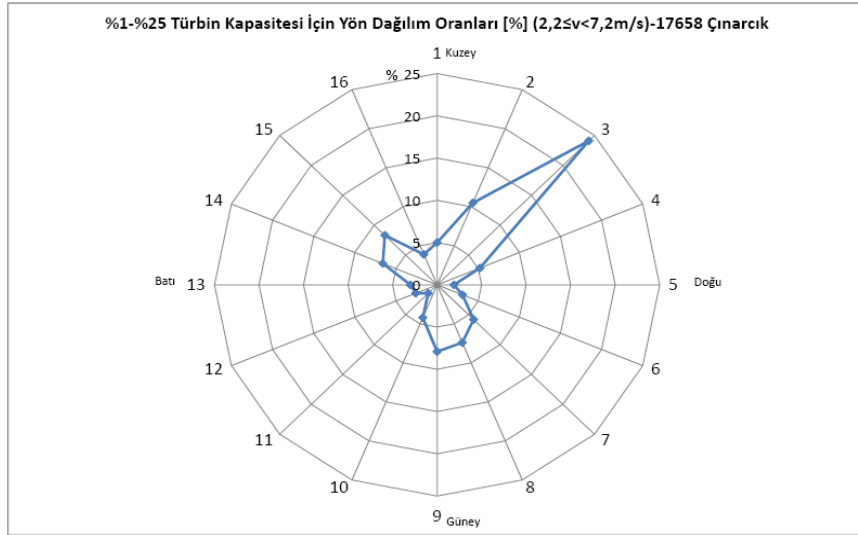
Şekil Ek 6.5 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).



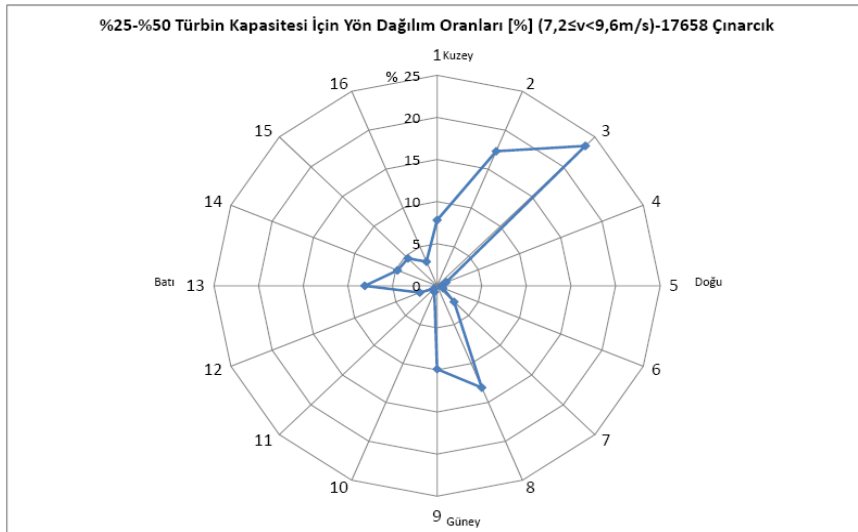
Şekil Ek 6.6 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Florya).



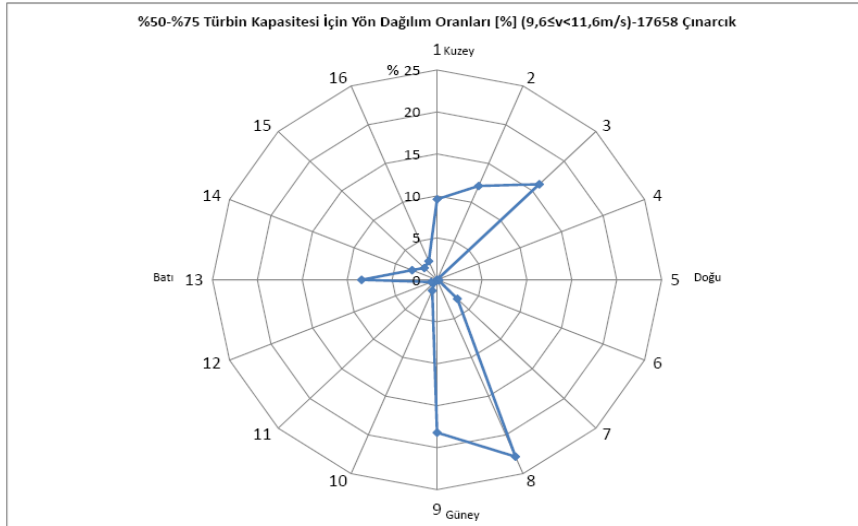
Şekil Ek 6.7 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).



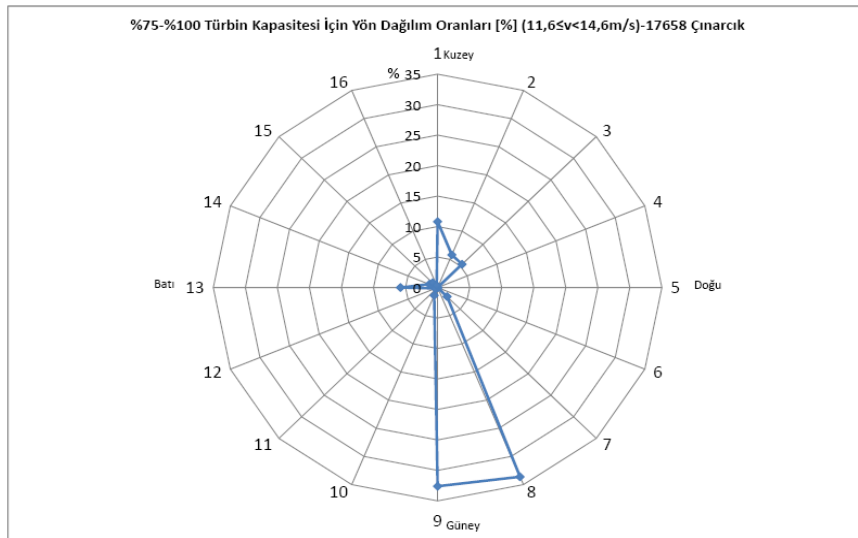
Şekil Ek 6.8 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).



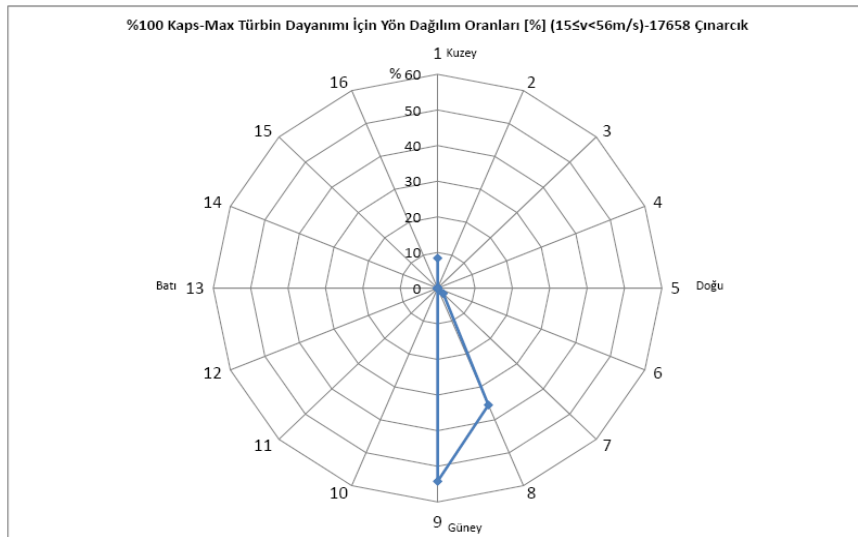
Şekil Ek 6.9 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).



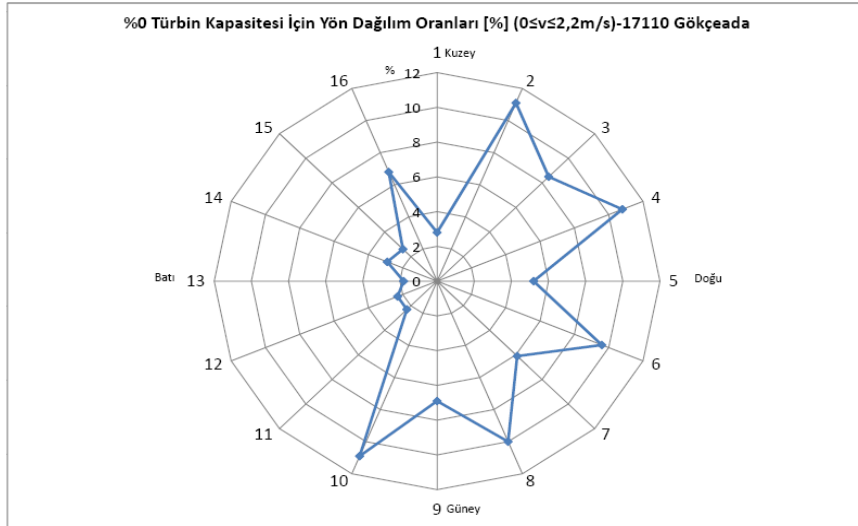
Şekil Ek 6.10 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).



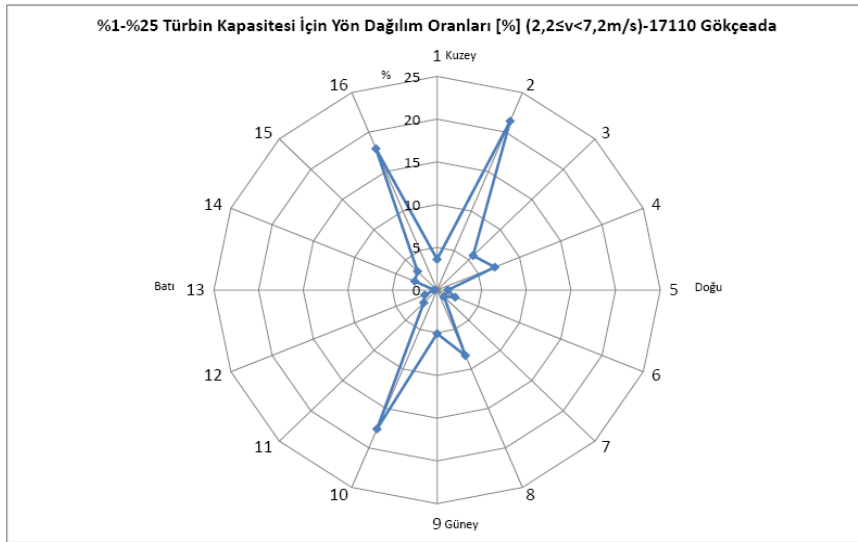
Şekil Ek 6.11 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).



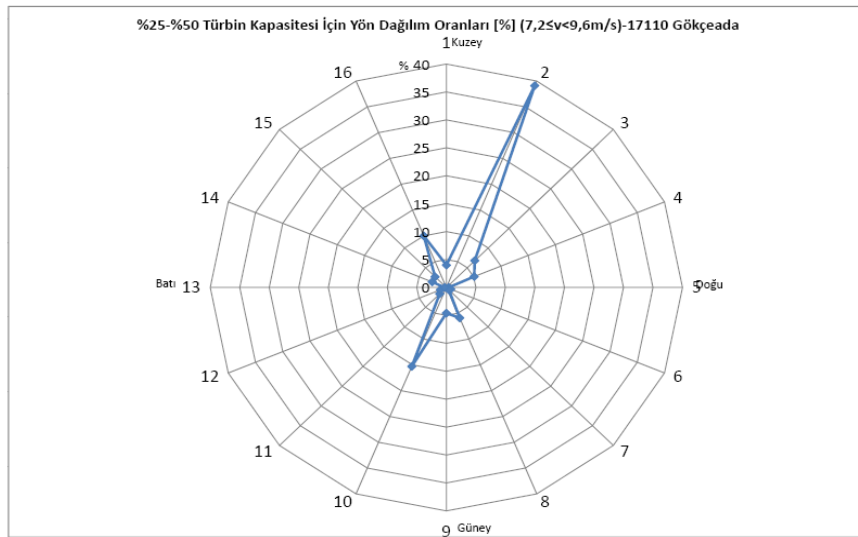
Şekil Ek 6.12 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çınarcık).



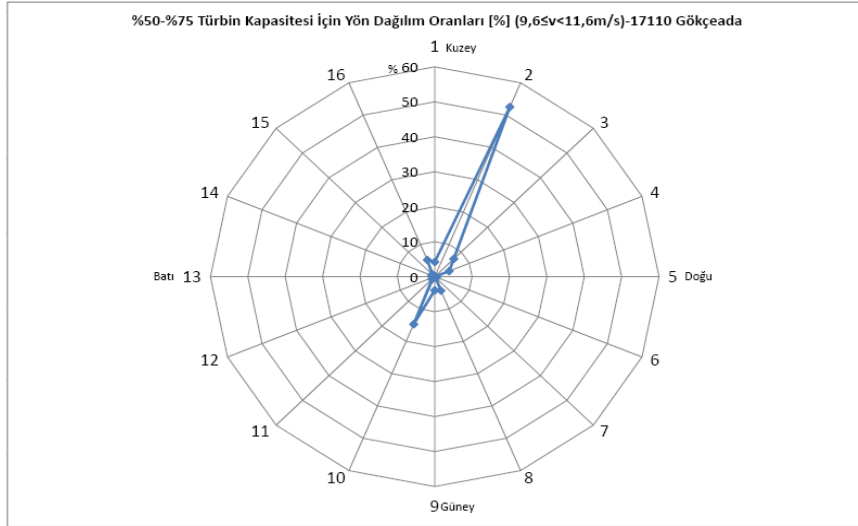
Şekil Ek 6.13 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).



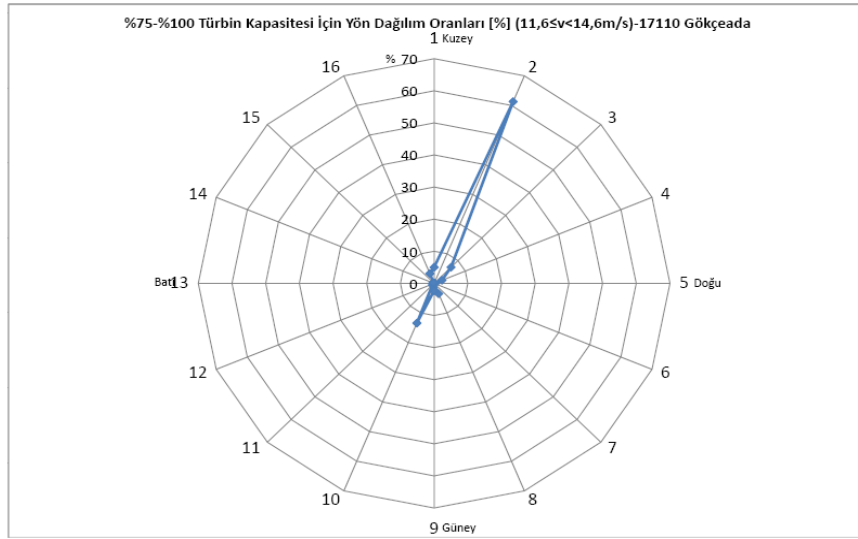
Şekil Ek 6.14 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).



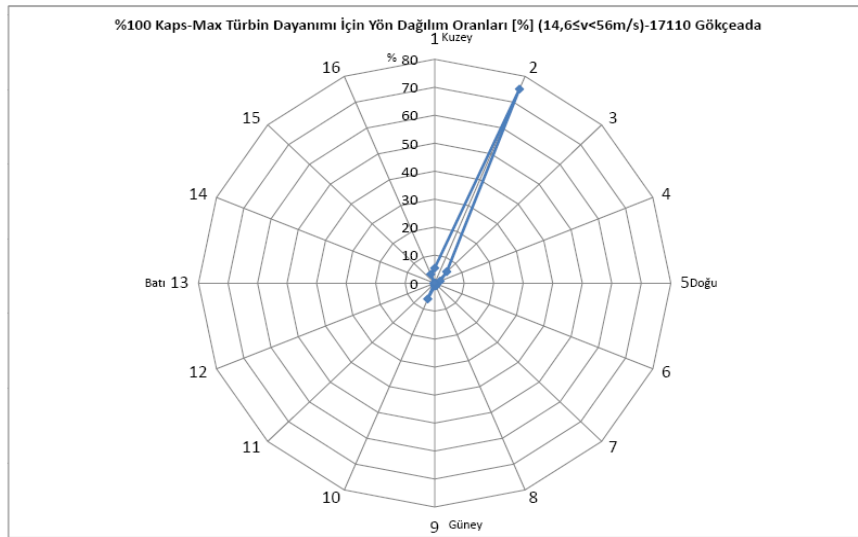
Şekil Ek 6.15 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).



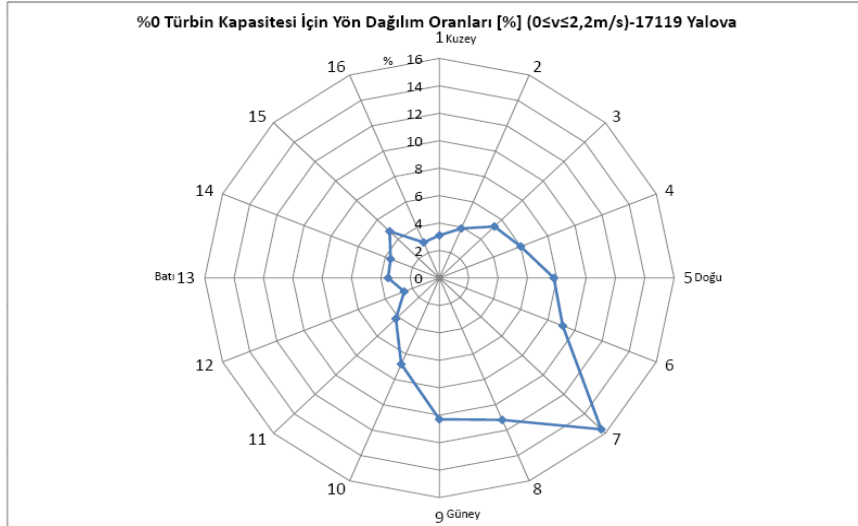
Şekil Ek 6.16 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).



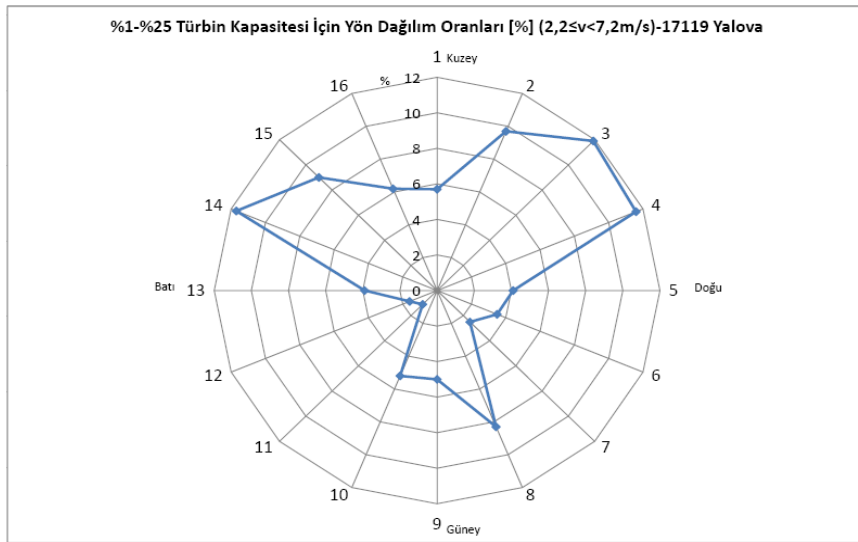
Şekil Ek 6.17 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).



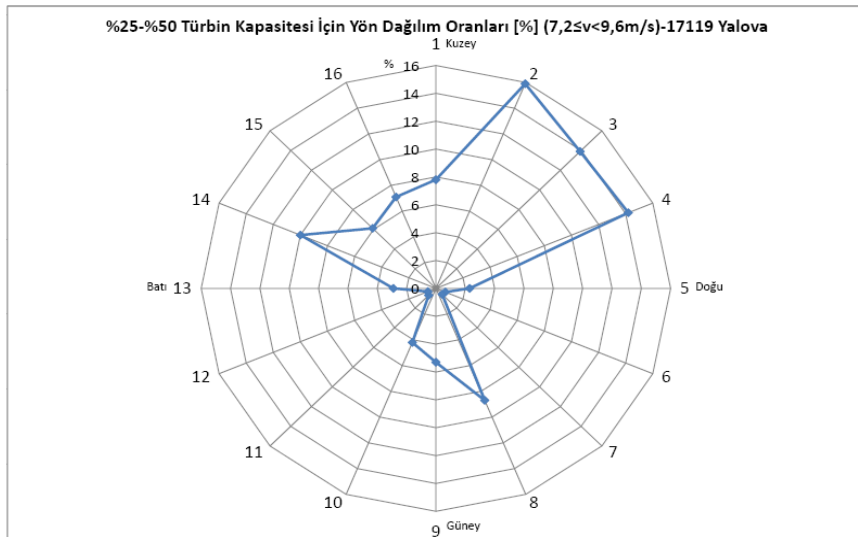
Şekil Ek 6.18 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Gökçeada).



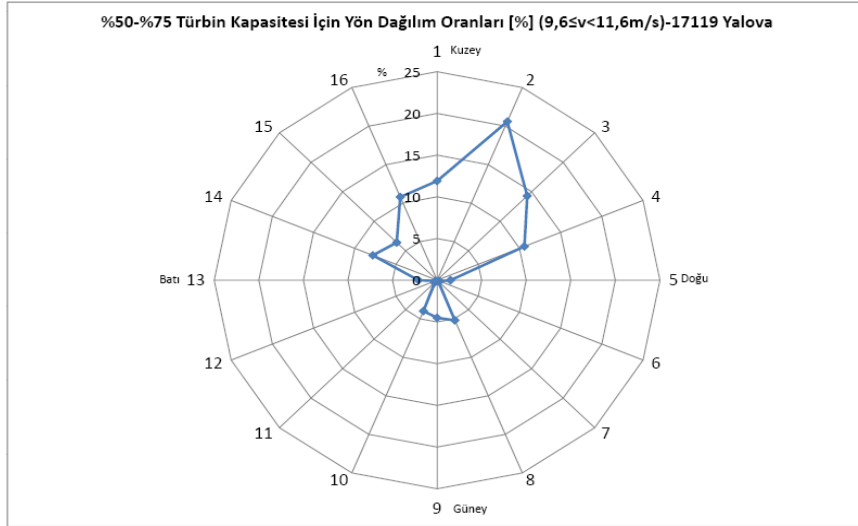
Şekil Ek 6.19 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).



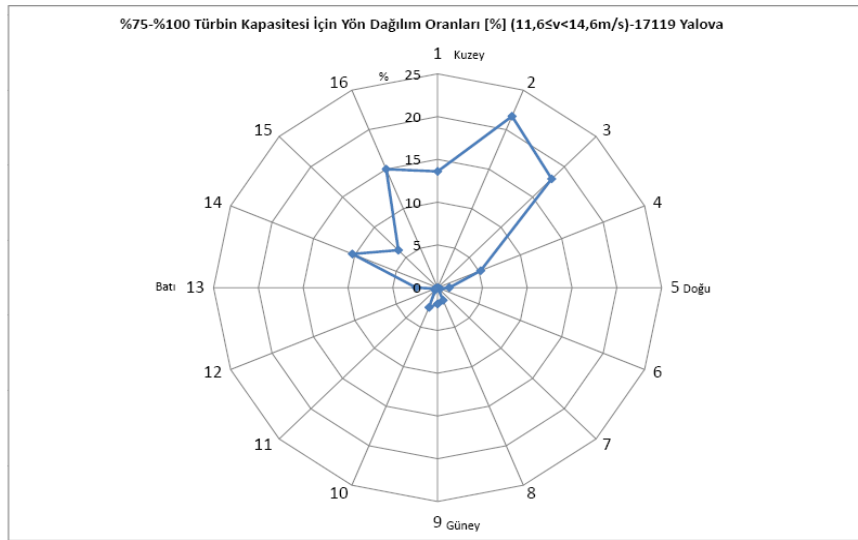
Şekil Ek 6.20 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).



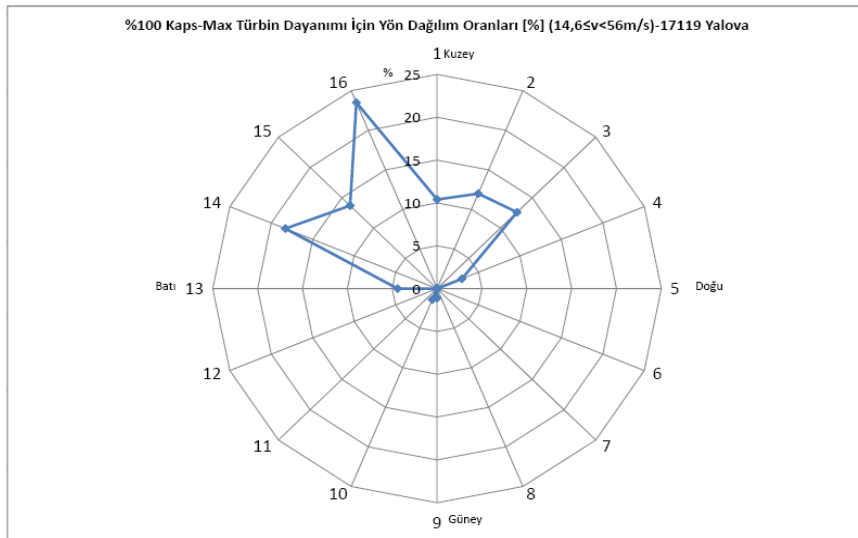
Şekil Ek 6.21 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).



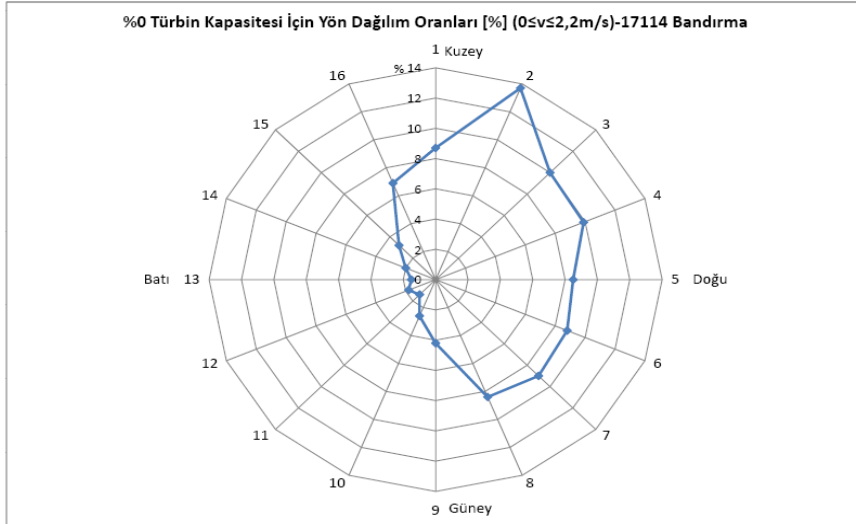
Şekil Ek 6.22 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).



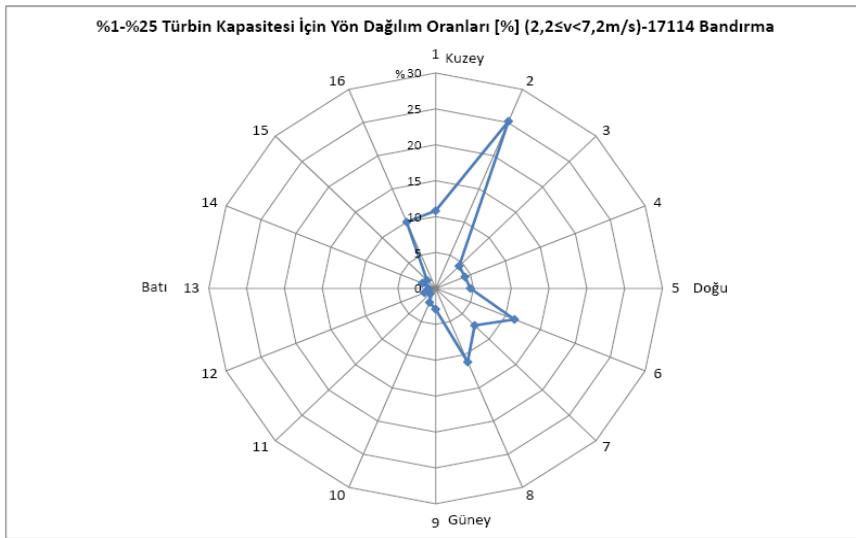
Şekil Ek 6.23 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).



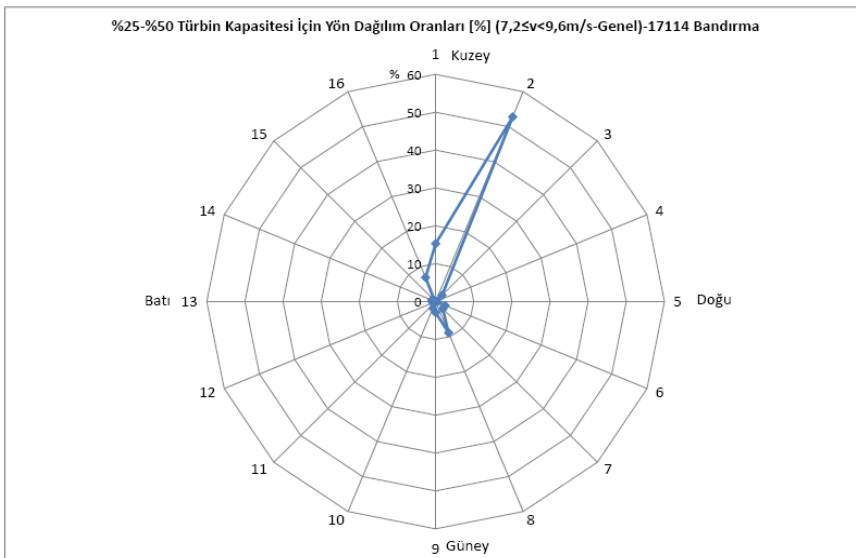
Şekil Ek 6.24 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Yalova).



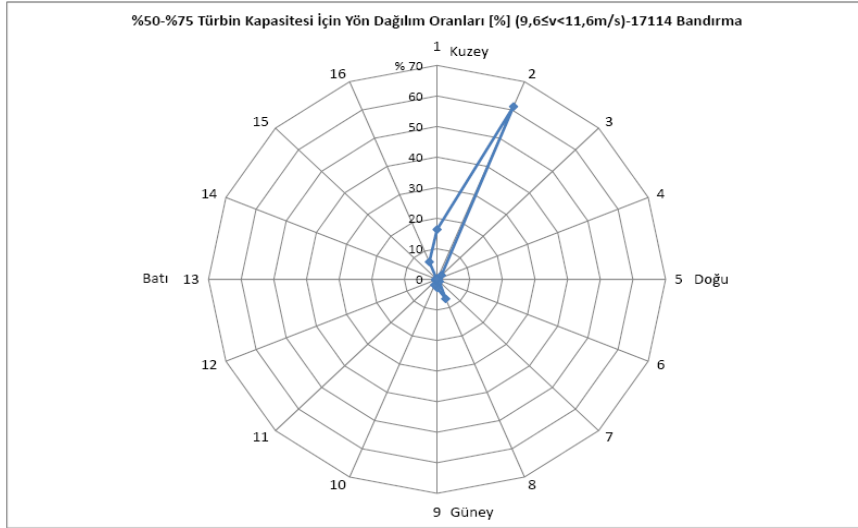
Şekil Ek 6.25 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).



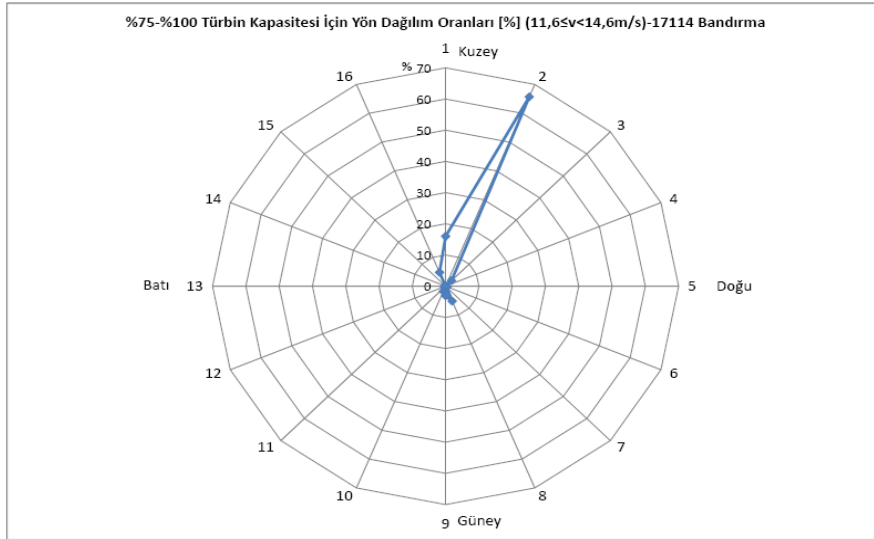
Şekil Ek 6.26 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).



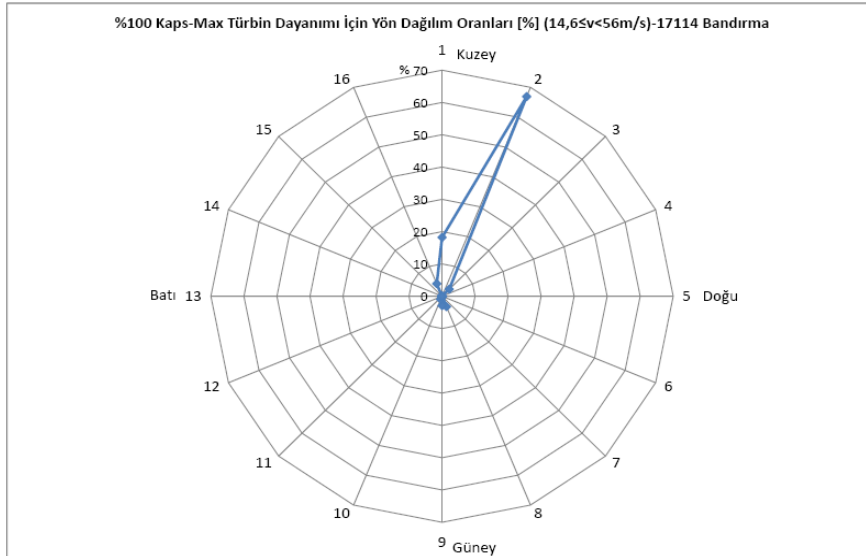
Şekil Ek 6.27 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).



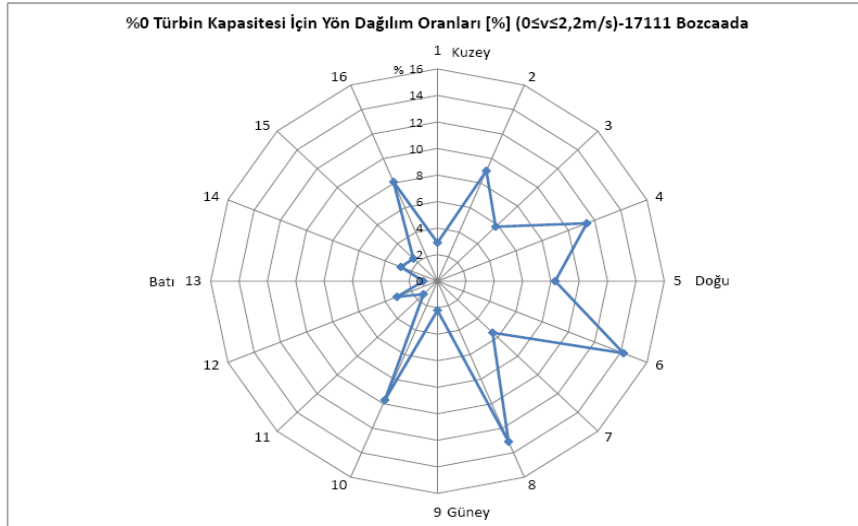
Şekil Ek 6.28 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).



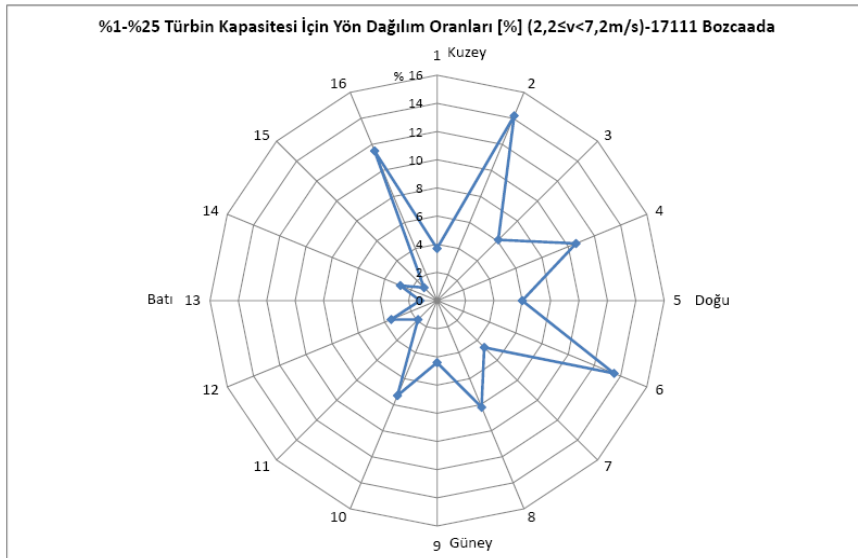
Şekil Ek 6.29 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).



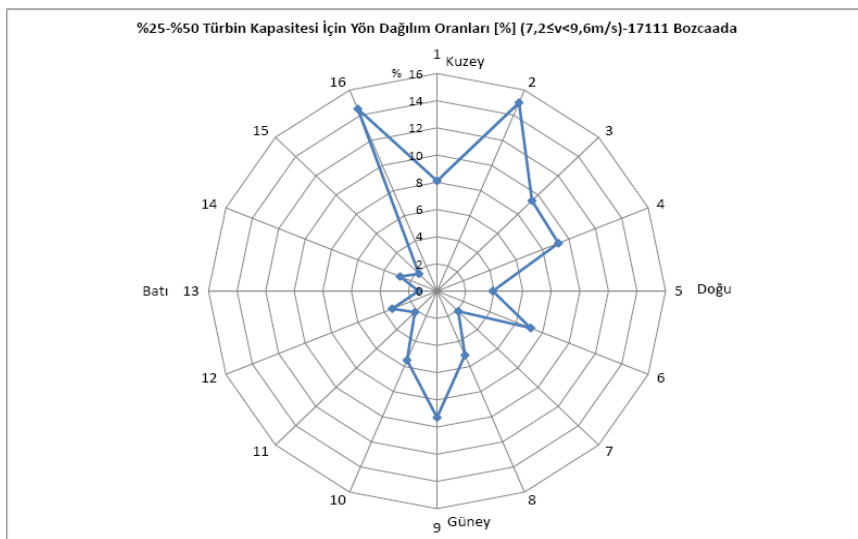
Şekil Ek 6.30 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bandırma).



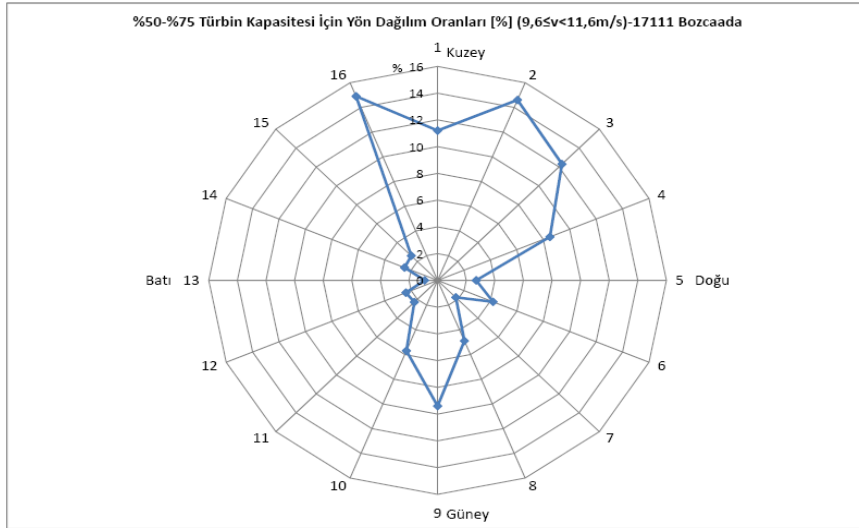
Şekil Ek 6.31 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).



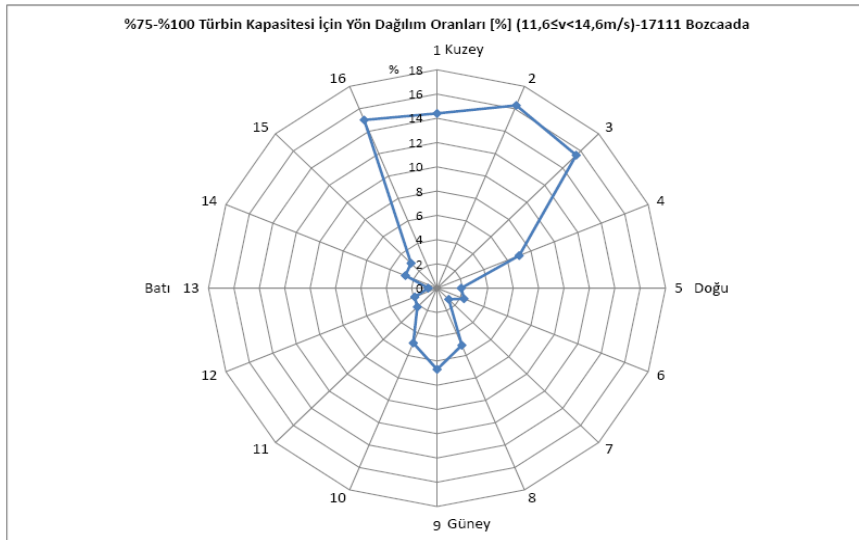
Şekil Ek 6.32 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).



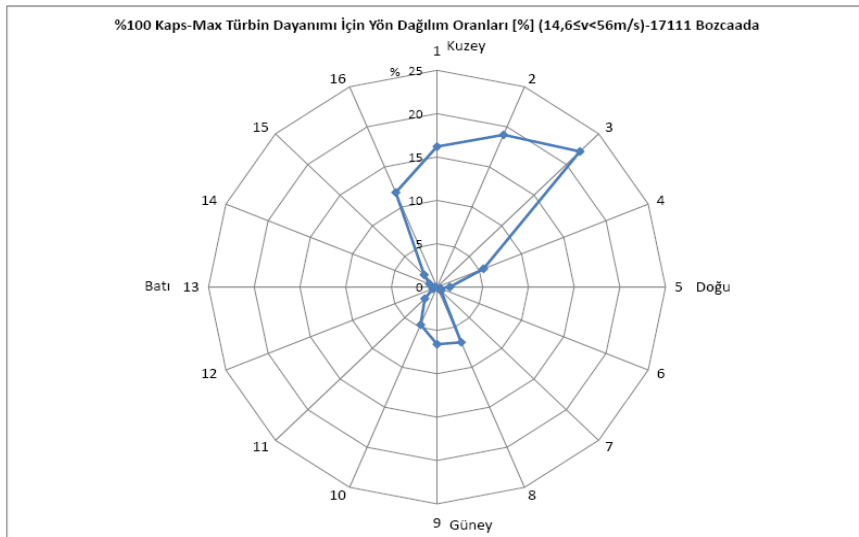
Şekil Ek 6.33 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).



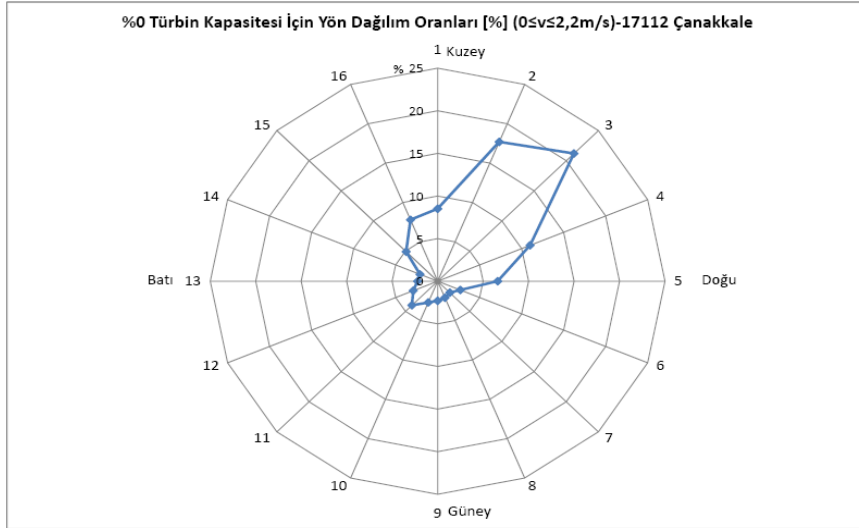
Şekil Ek 6.34 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).



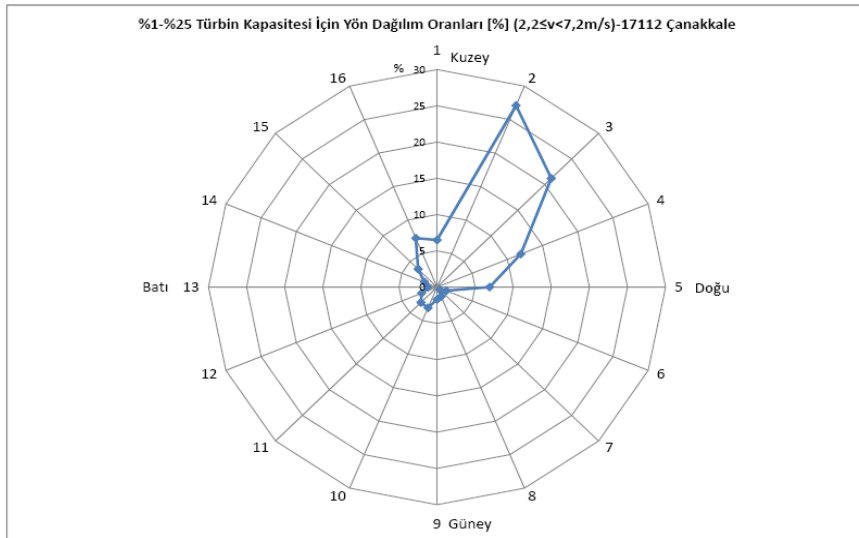
Şekil Ek 6.35 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).



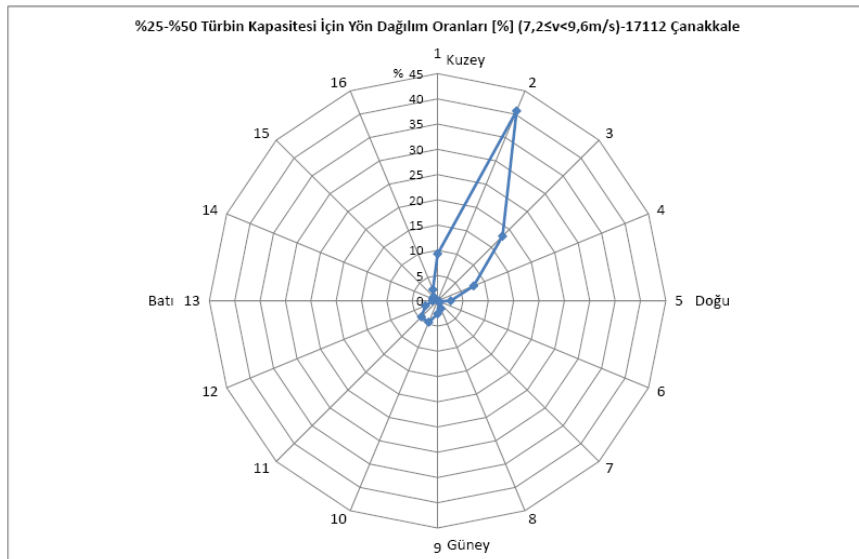
Şekil Ek 6.36 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Bozcaada).



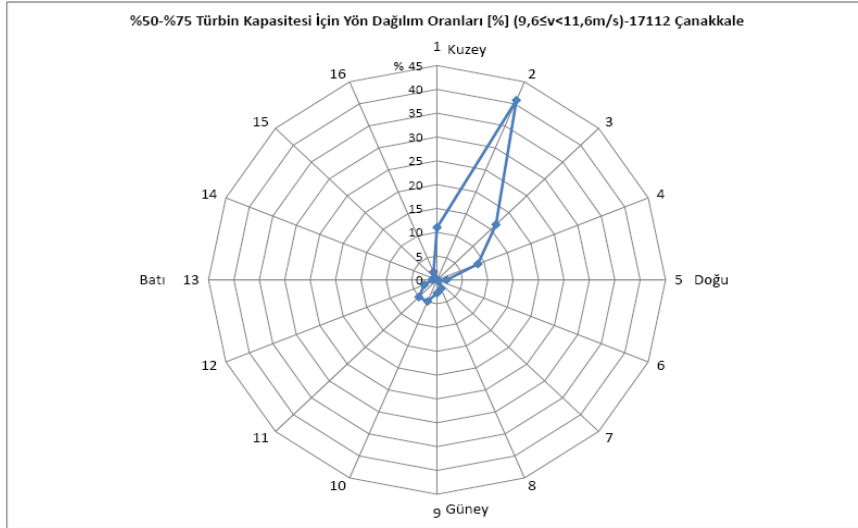
Şekil Ek 6.37 %0 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).



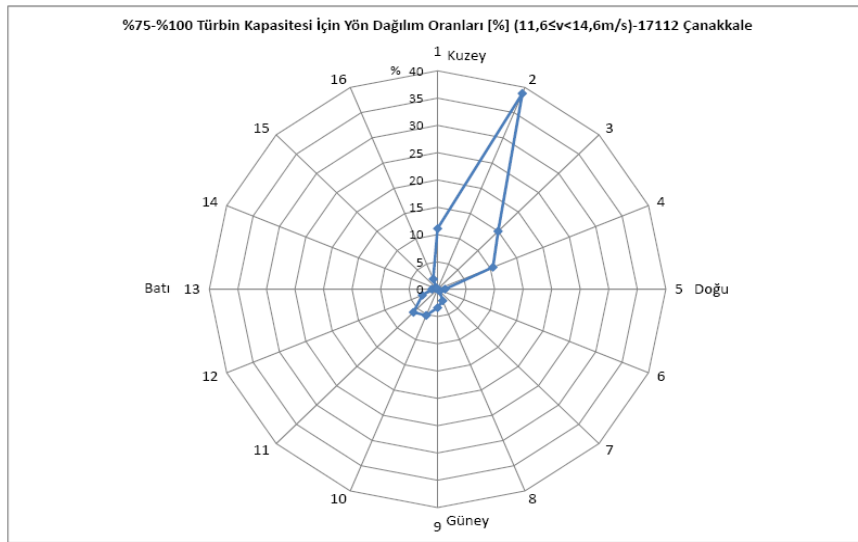
Şekil Ek 6.38 %1-%25 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).



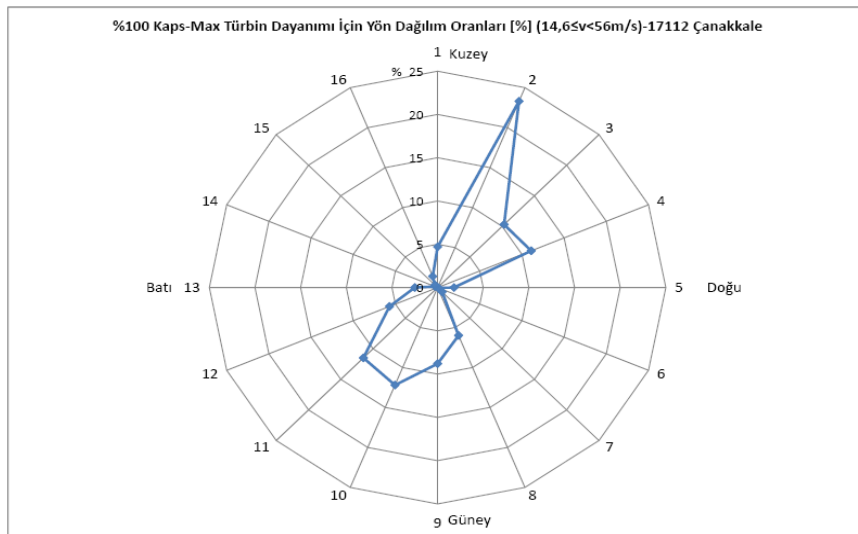
Şekil Ek 6.39 %25-%50 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).



Şekil Ek 6.40 %50-%75 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).

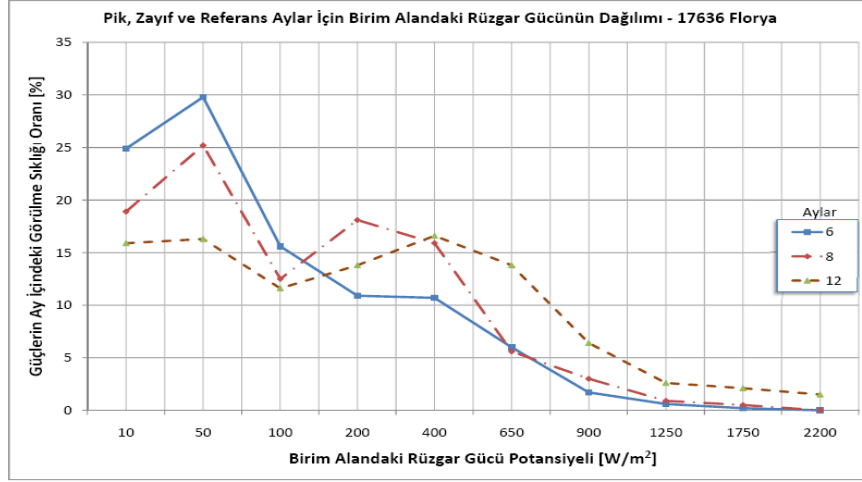


Şekil Ek 6.41 %75-%100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).

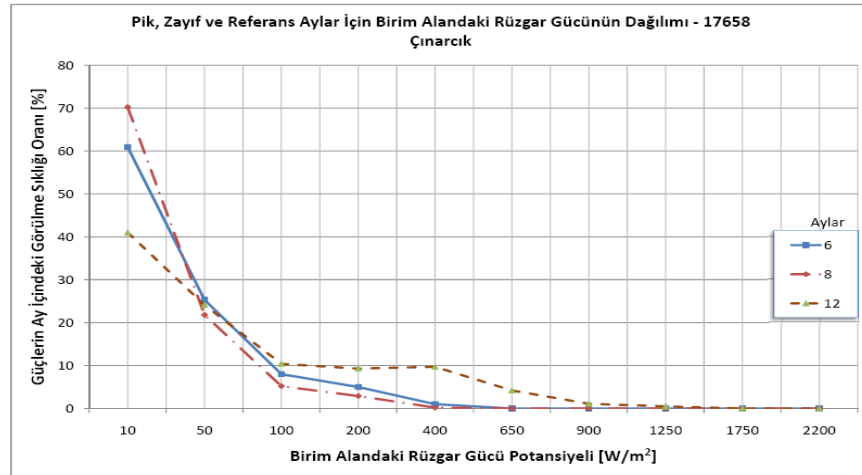


Şekil Ek 6.42 %100 türbin kapasitesi için yön dağılım oranları (Çanakkale).

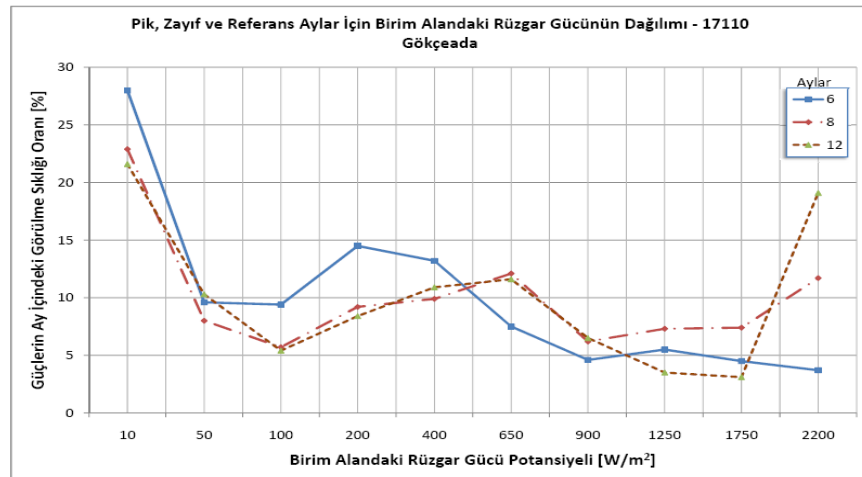
Ek 7 Pik, Zayıf ve Referans Aylar İçin Birim Alandaki Rüzgâr Gücünün Dağılımı İçin Çalışma Sonuçları



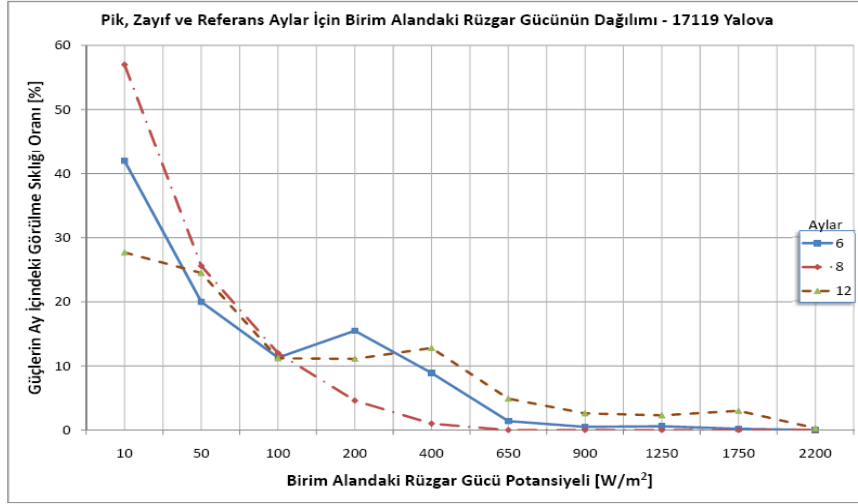
Şekil Ek 7.1 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Florya).



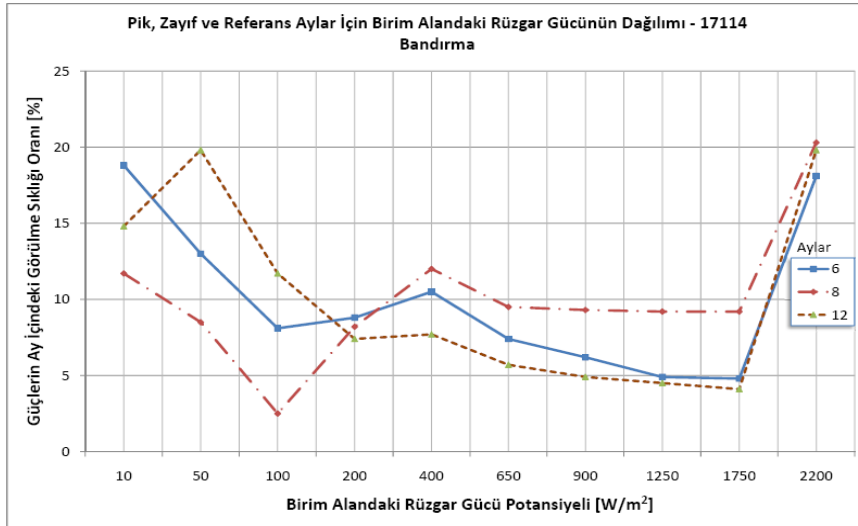
Şekil Ek 7.2 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Çınarcık).



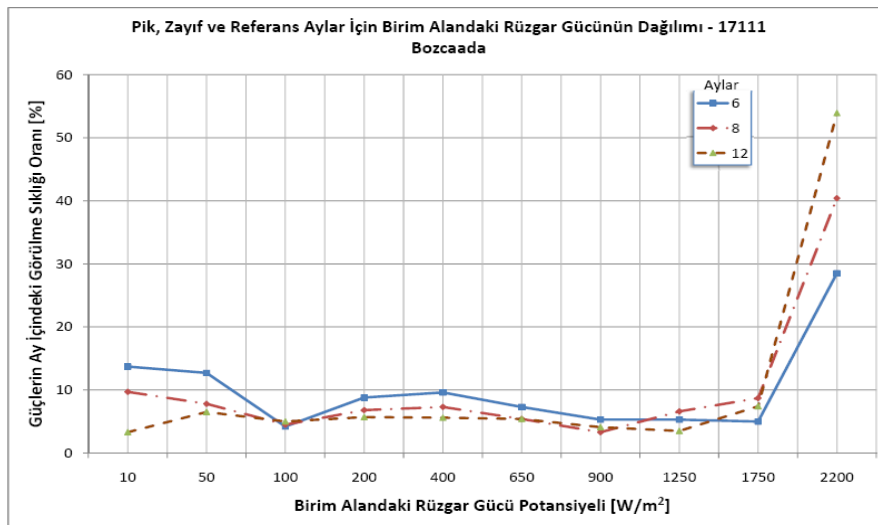
Şekil Ek 7.3 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Gökçeada).



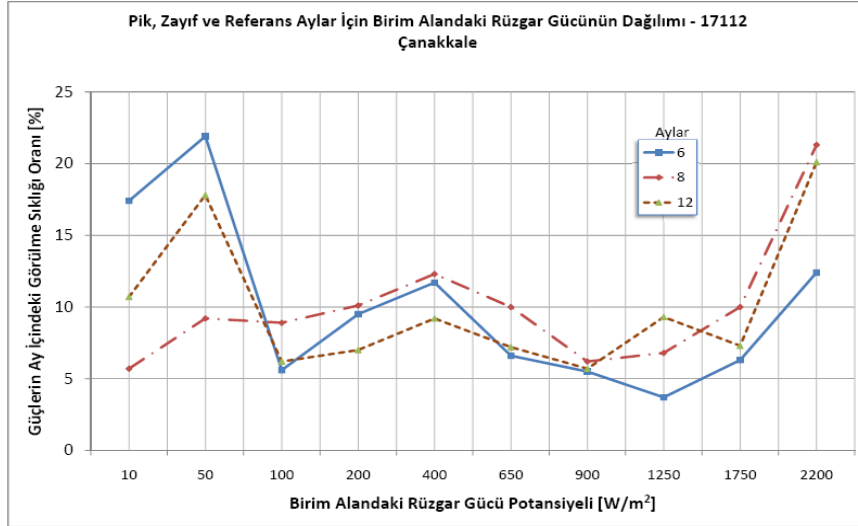
Şekil Ek 7.4 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Yalova).



Şekil Ek 7.5 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Bandırma).

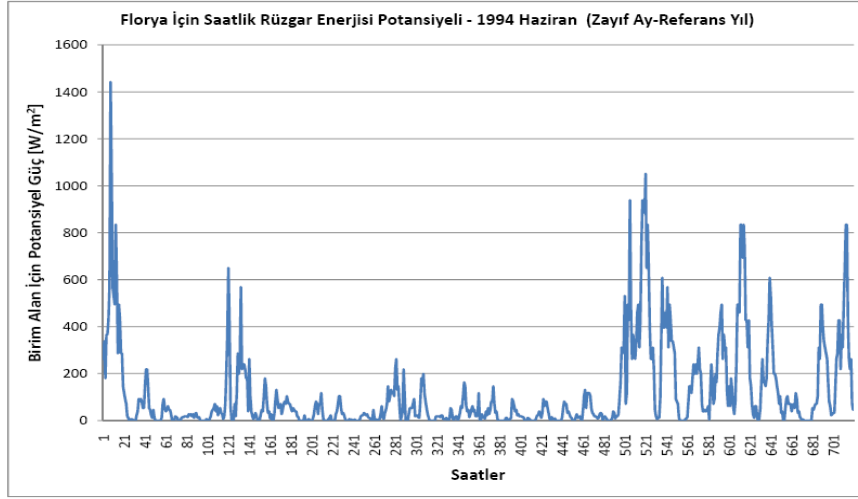


Şekil Ek 7.6 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Bozcaada).

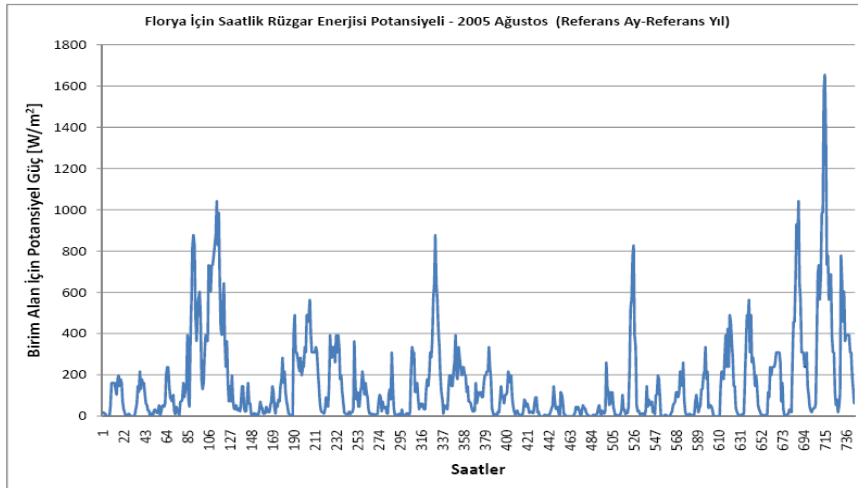


Şekil Ek 7.7 Pik, zayıf ve referans aylar için birim alandaki rüzgâr gücünün dağılım oranları (Çanakkale).

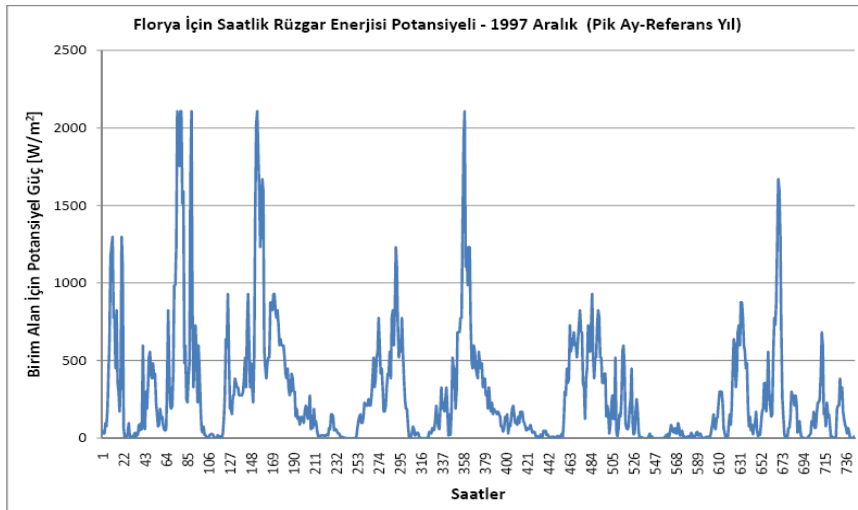
Ek 8 Saatlik Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli İçin Çalışma Sonuçları



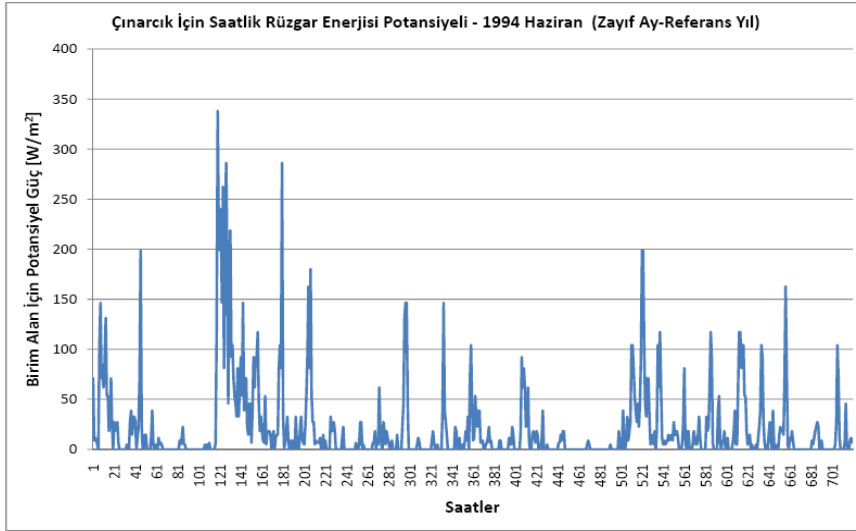
Şekil Ek 8.1 Florya için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



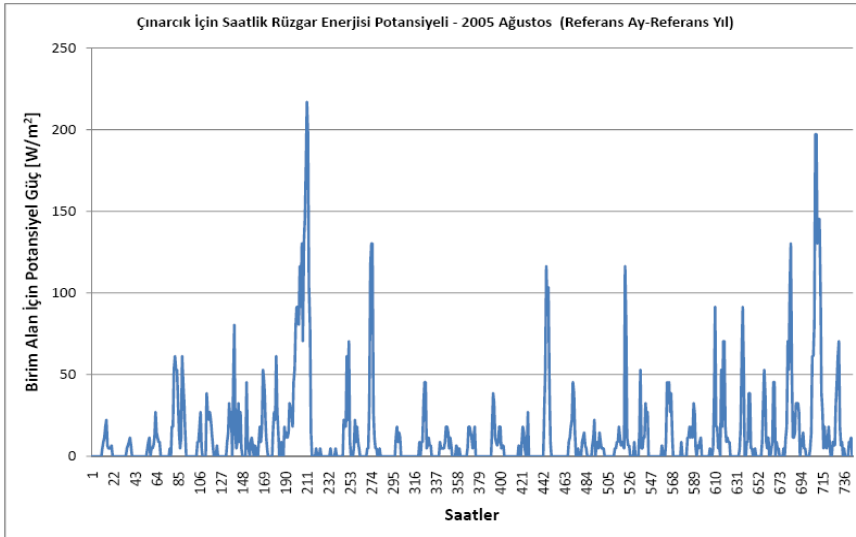
Şekil Ek 8.2 Florya için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.



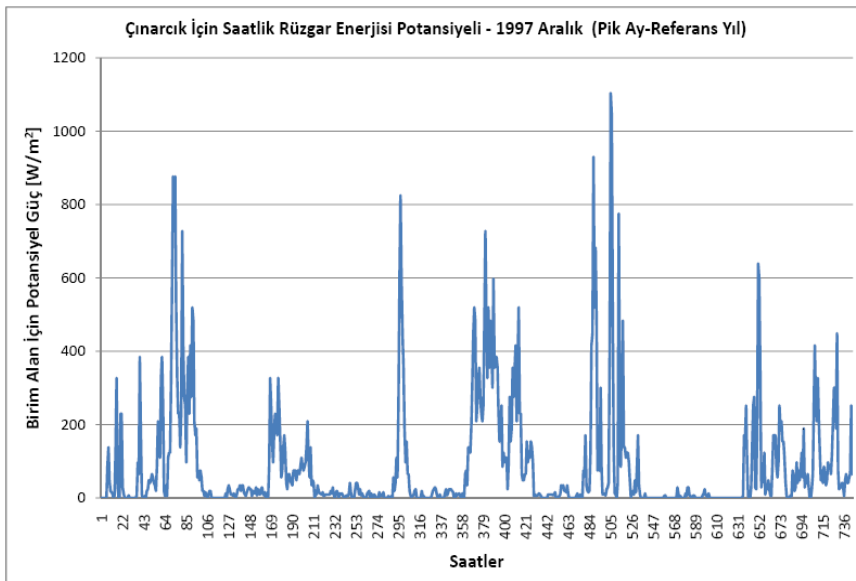
Şekil Ek 8.3 Florya için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.



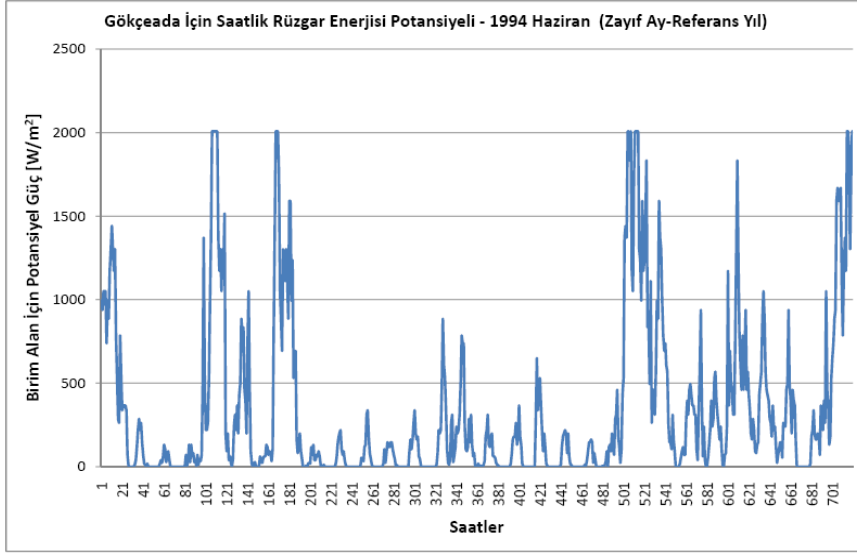
Şekil Ek 8.4 Çınarcık için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



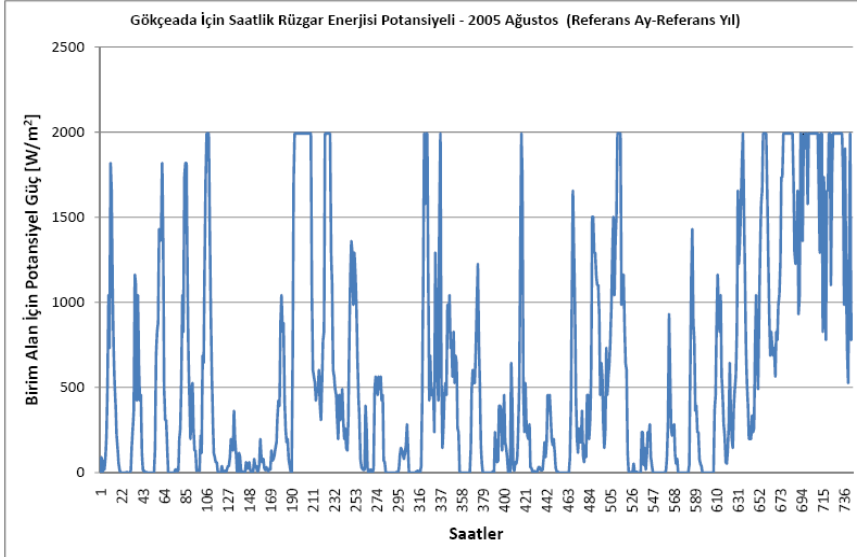
Şekil Ek 8.5 Çınarcık için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.



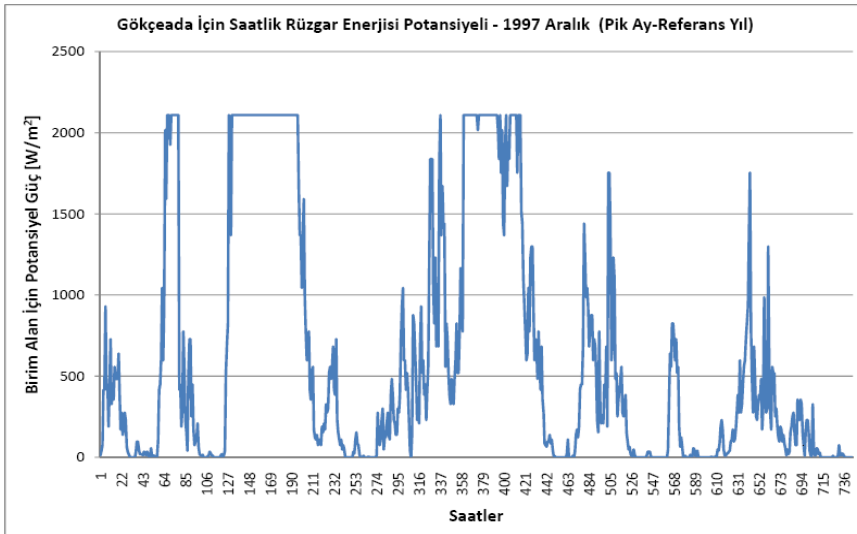
Şekil Ek 8.6 Çınarcık için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.



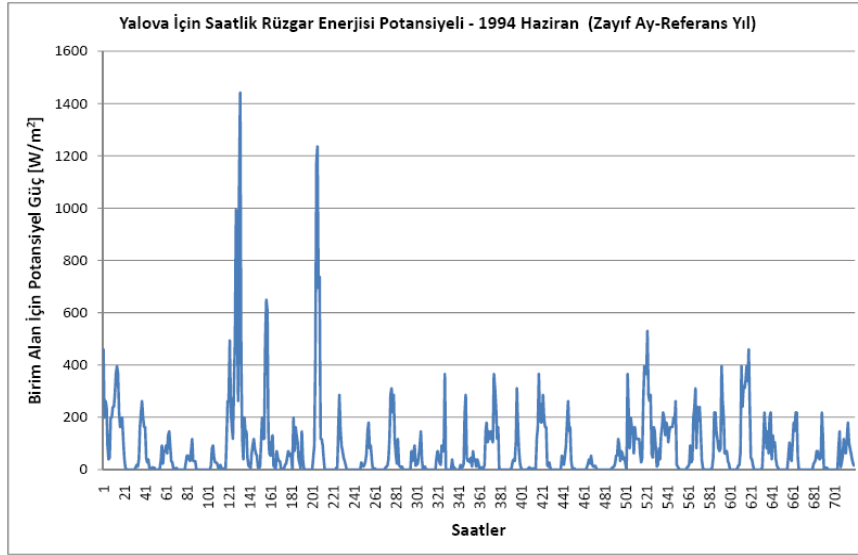
Şekil Ek 8.7 Gökçeada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



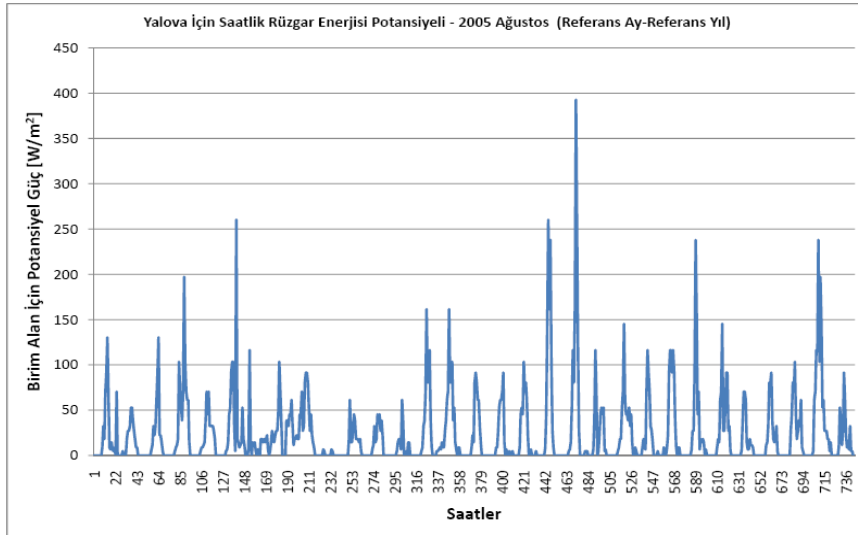
Şekil Ek 8.8 Gökçeada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.



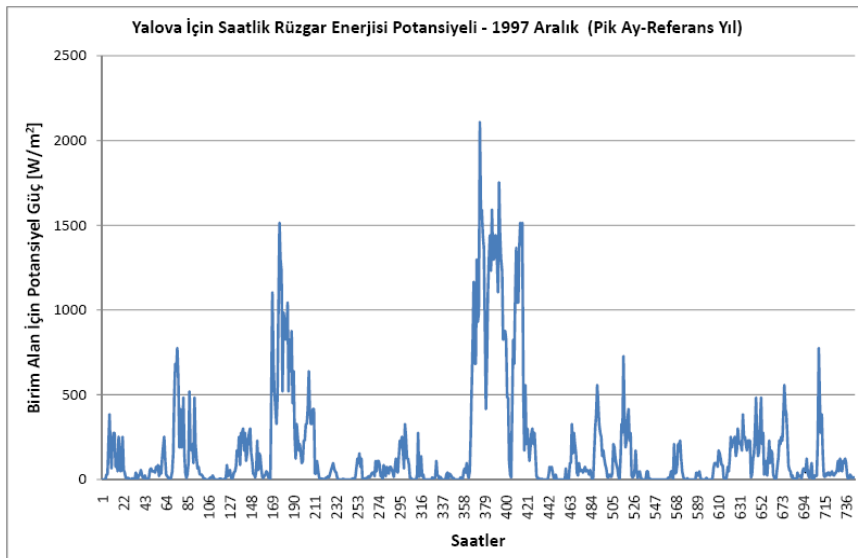
Şekil Ek 8.9 Gökçeada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.



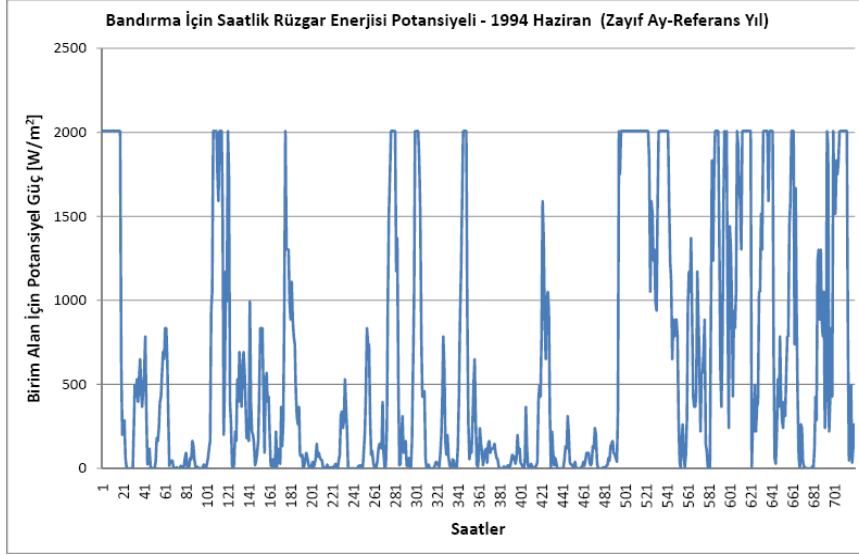
Şekil Ek 8.10 Yalova için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



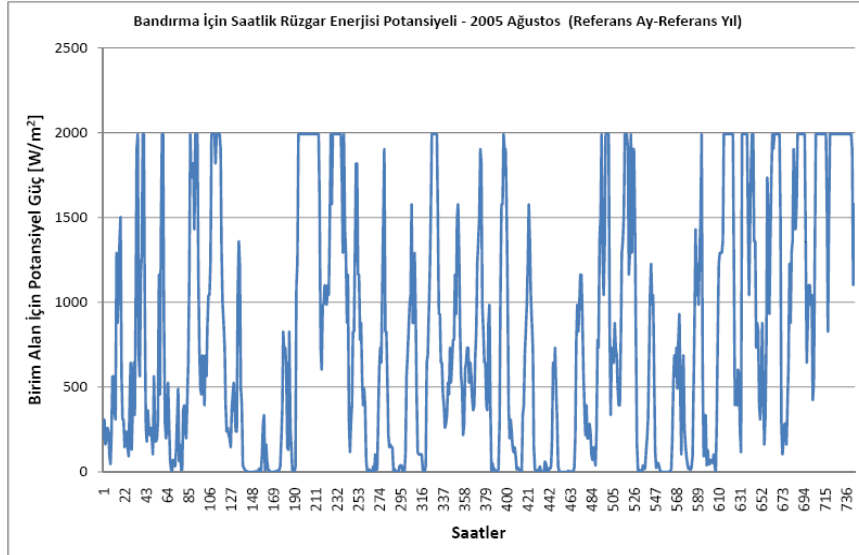
Şekil Ek 8.11 Yalova için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.



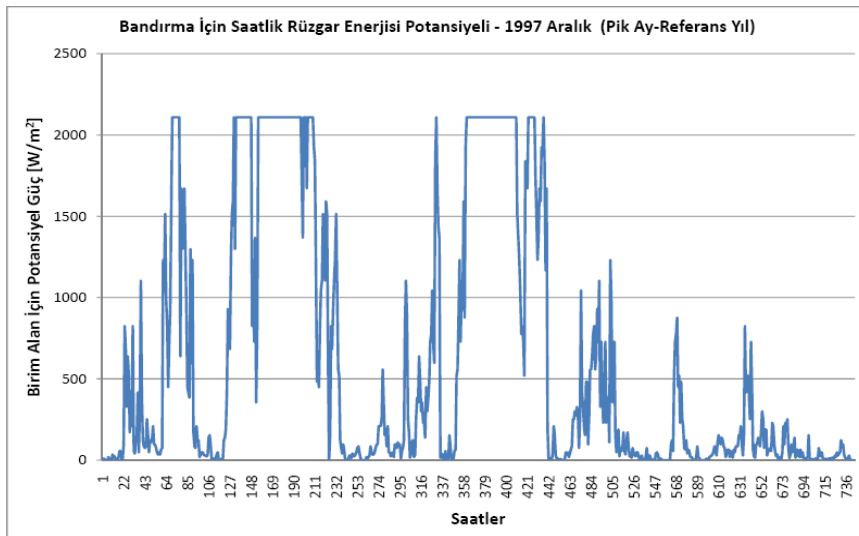
Şekil Ek 8.12 Yalova için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.



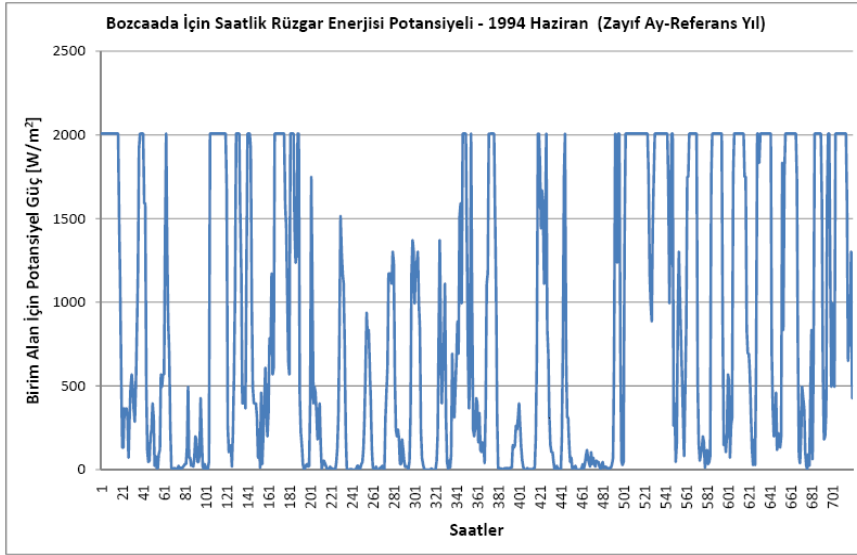
Şekil Ek 8.13 Bandırma için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



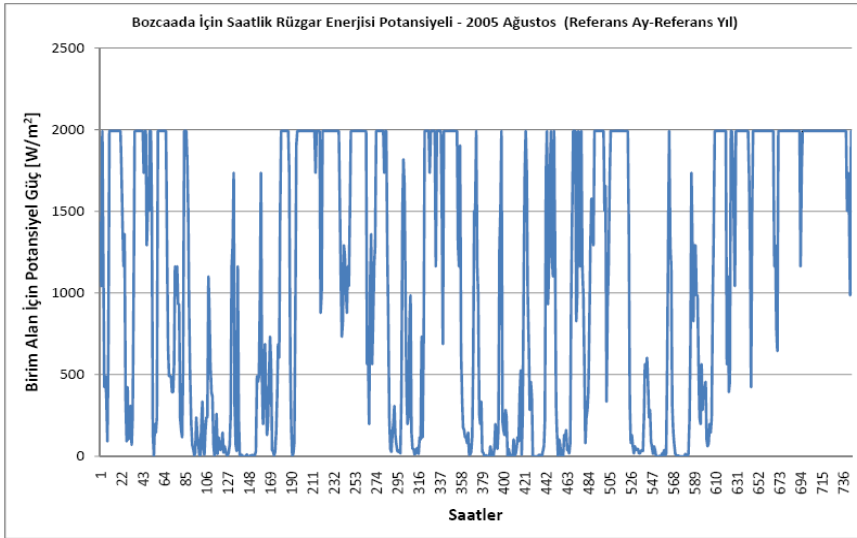
Şekil Ek 8.14 Bandırma için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.



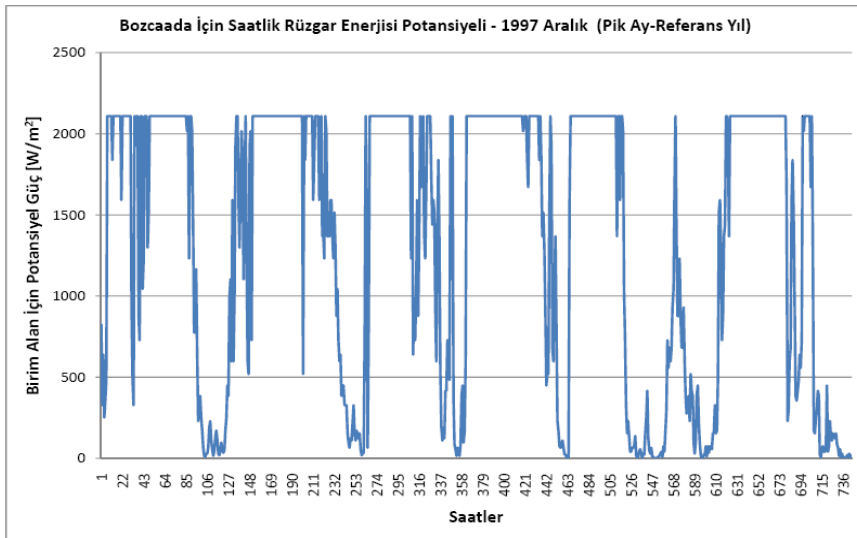
Şekil Ek 8.15 Bandırma için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.



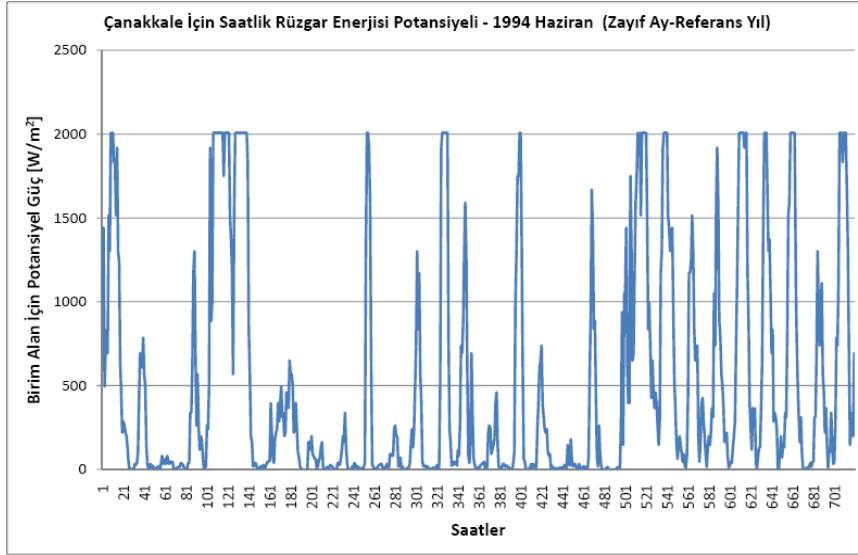
Şekil Ek 8.16 Bozcaada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



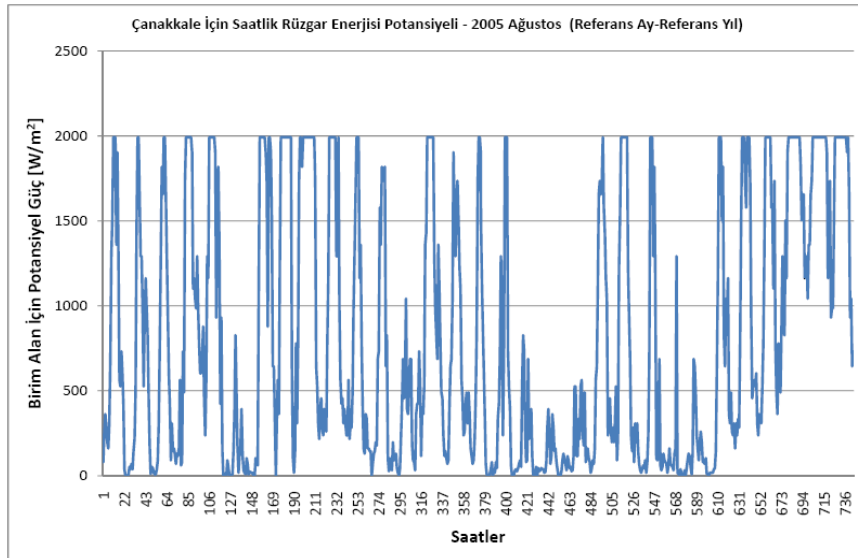
Şekil Ek 8.17 Bozcaada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.



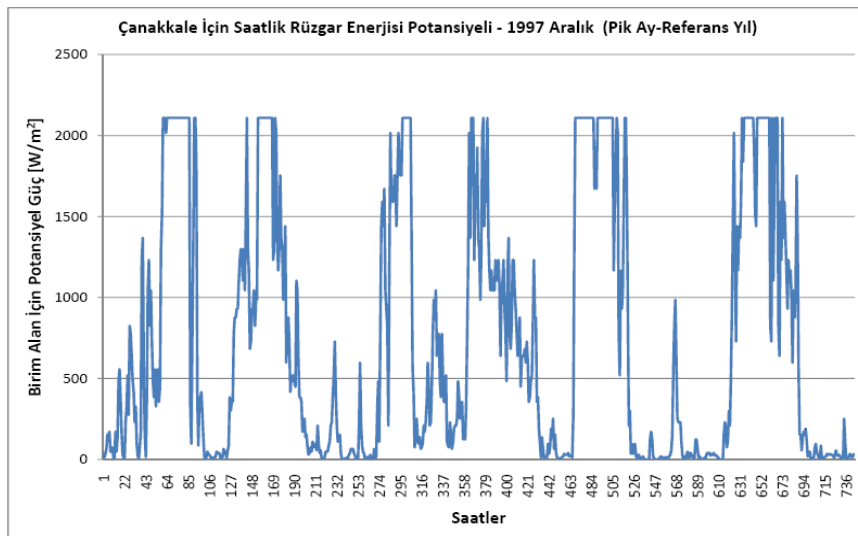
Şekil Ek 8.18 Bozcaada için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.



Şekil Ek 8.19 Çanakkale için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1994 Haziran.



Şekil Ek 8.20 Çanakkale için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 2005 Ağustos.



Şekil Ek 8.21 Çanakkale için saatlik rüzgâr enerjisi potansiyeli - 1997 Aralık.

KAYNAKLAR

- Alexiadis, M. C., Dokopoulos, P. S., Sahsamanoglou, H. S. ve Manousaridis, I. M., (1998), “Short-Term Forecasting of Wind Speed and Related Electrical Power”, *Solar Energy*, 63:61-68.
- Amal, Z. M., Mona, N. ve Fadia, A., (2001), “Fuzzy Logic Control Based Maximum Power Tracking of a Wind Energy System”, *Renewable Energy*, 23:235-245.
- Bagiorgas, H. S., Assimakopulos, M. N., Theoharopoulos, D., Matthopoulos, D. ve Mihalakakou, G. K., (2007), “Electricity Jeneration Using Wind Energy Conversion Systems in the Area of Western Greece”, *Energy Conversion and Management*, 48:1640–1655.
- Barbounis, T. G. ve Theocharis, J. B., (2007), “Locally Recurrent Neural Networks for Wind Speed Prediction Using Spatial Correlation”, *Information Sciences*, 177:5775–5797.
- Borhan, Y., (1998), “Mesoscale Interactions on Wind Energy Potential in the Northern Aegean Region a Case Study”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2:353-360.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E., (2001), *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons, New York.
- Cadenas, E. ve Rivera, W., (2006), “Wind Speed Forecasting in the South Coast of Oaxaca, Mexico”, *Renewable Energy*, doi:10.1016/j.renene.2006.10.005.
- Chen, Z., (2001), “Grid Power Quality with Variable Speed Wind Turbines”, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 16:148-154.
- Çam, A., Arcaklıoğlu, E., Çavuşoğlu, A. ve Akbıyık, B., (2005), “A Classification Mechanism for Determining Average Wind Speed and Power in Several Regions of Turkey Using Artificial Neural Networks”, *Renewable Energy*, 30:227-239.
- Dadone, A. ve Dambrosio, L., (2003), “Estimator Based Adaptive Fuzzy Logic Control Technique for a Wind Turbine-Jenerator System”, *Energy Conversion and Management*, 44:135-153.
- Delarue, P., Bouscayrol, A., Tounzi, A., Guillaud, X. ve Lancigu, G., (2003), “Modelling, Control and Simulation of an Overall Wind Energy Conversion System”, *Renewable Energy*, 28:1169-1185.
- Demuth, H. ve Beale, M., (2000), *Neural Network Toolbox User’s Guide for Use With Matlab*, The Mathworks Inc., Natick/ABD.
- Durak, M. ve Şen, Z., (2002), “Wind Power Potential in Turkey and Akhisar Case Study”, *Renewable Energy*, 25:463–472.
- Eskin, N., Artar, H. ve Tolun, S., (2008) “Wind Energy Potential of Gokceada Island in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12:839–851.
- Flores, P., Tapia, A. ve Tapia, G., (2005), “Application of a Control Algorithm for Wind Speed Prediction and Active Power Jeneration”, *Renewable Energy*, 30: 523–536.
- Ghielmi, L. ve Eccel, E., (2006), “Descriptive Models and Artificial Neural Networks for Spring Frost Prediction in an Agricultural Mountain Area”, *Computers and Electronics in*

Agriculture, 54:101–114.

Goh, S. L., Chen, M., Popovic, D. H., Aihara, K., Obradovic, D. ve Mandic, D. P., (2006), “Complex-Valued Forecasting of Wind Profile”, *Renewable Energy*, 31:1733–1750.

Gökçek, M., Bayülken, A. ve Bekdemir, S., (2007), “Investigation of Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Kırklareli, Turkey”, *Renewable Energy*, 32: 1739–1752.

Hayashi, M. ve Kermanshahi, B., (2001) “Application of Artificial Neural Network for Wind Speed Prediction and Determination of Wind Power Jeneration Output”, *Proceedings of ICEE 2001*, 12-15 July 2001, Xian, 34-43.

Herbert, G. M. J., Iniyar, S., Sreevalsan, G. M., Herberta, J. S., Iniyar, E., Sreevalsan, S., Rajapandian, E. ve Rajapandian, S., (2007), “A Review of Wind Energy Technologies”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 11:1117-1145.

Kalaitzakis, K., Stavrakakis, G. S. ve Anagnostakis, E. M., (2002), “Short-Term Load Forecasting Based on Artificial Neural Networks Parallel Implementation”, *Electric Power Systems Research*, 63:185-196.

Kalogirou, S. A., (2000), “Applications of Artificial Neural-Networks for Energy Systems”, *Applied Energy*, 67:17-35.

Kalogirou, S. A., (2001), “Artificial Neural Networks in Renewable Energy Systems Applications: A Review”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 5:373-401.

Kalogirou, S. A., Neocleous, C. C., Pashiardis, S. ve Schizas, C. N., (1999), “Wind Speed Prediction Using Artificial Neural Networks”, *Proceedings of ESIT'99, the European Symposium on Intelligent Techniques*, 3-4 June 1999, Greece, 160-172.

Li, S., Wunsch, D. C., O'Hair, E. A. ve Giesselmann, M. G., (2001), “Using Neural Networks to Estimate Wind Turbine Power Jeneration”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 16:276-282.

Liera, C. P., Baizan, M. C. F. ve Feito, J. L., (2002), “Local Short Term Prediction of Wind Speed: A Neural Network Analysis”, *The International Environmental Modelling and Software Society Conference Papers*, 24-27 June 2002, Switzerland, 124-129.

Luk, C. K., Ball, J. E. ve Sharma, A., (2001), “An Application of Artificial Neural Networks for Rainfall Forecasting”, *Mathematical and Computer Modelling*, 33:883-699.

Mohandes, M. A., Rehman, S. ve Halawani, T. O., (1998), “A Neural Networks Approach For Wind Speed Prediction”, *Renewable Energy*, Vol. 13, No. 3:345-354.

More, A. ve Deo, M. C., (2003), “Forecasting Wind With Neural Networks”, *Marine Structures*, 16:35–49.

Muljadi, E. ve Butterfield, C. P., (1999), “Pitch-Controlled Variable-Speed Wind Turbine Jeneration”, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 3-7 Oct 1999, Phoenix.

Munoz, G. V. M. ve Gandara, P. M. A., (2002), “Local Wind Patterns for Modeling Renewable Energy Systems by Means of Cluster Analysis Techniques”, *Renewable Energy*, 25:171-182.

Nauck, D., Klawonn, F. ve Kruse, R., (1993), “Combining Neural Networks and Fuzzy Controllers”, *FLAI'93*, 28 Jun-2 Jul 1993, Linz.

- Özpınar, A., (2007), “Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Nöral Ağ-Bulanık Mantık Yöntemleriyle Enerji Üretiminin Kontrolü ve Planlanması”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü , 2007.
- Öztopal, A., (2006), “Artificial Neural Network Approach to Spatial Estimation of Wind Velocity Data”, *Energy Conversion and Management*, 47:395-496.
- Öztopal, A., Şahin, A. D., Akgün, N. ve Şen, Z., (2000), “On the Regional Wind Energy Potential of Turkey”, *Energy*, 25:189–200.
- Patel, M. R., (1999), *Wind and Solar Power Systems*, CRC Press, New York.
- Ramirez, M. C. F., Velho, H. F. C. ve Ferreira, N. J., (2005), “Artificial Neural Network Technique for Rainfall Forecasting Applied to the Sao Paulo Region”, *Journal of Hydrology*, 301:146–162.
- REHES, (2007), “Renewable Energy for Heat Supply in Dwellings with Individual and Local Heating Systems-Country Report”, İstanbul.
- Sfetsos, A., (2000), “A Comparison of Various Forecasting Techniques Applied to Mean Hourly Wind Speed Time Series”, *Renewable Energy*, 21:23-35.
- Sfetsos, A., (2002), “A Novel Approach for the Forecasting of Mean Hourly Wind Speed Time Series”, *Renewable Energy*, 27:163-174.
- Sırdaş, S., (2005), “Daily Wind Speed Harmonic Analysis for Marmara Region in Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 46:1267–1277.
- Song, Y. D., Dhinakaran, B. ve Bao, X. Y., (2000), “Variable Speed Control of Wind Turbines Using Nonlinear and Adaptive Algorithms”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 85:293-308.
- Sztobryn, M., (2003), “Forecast of Storm Surge by Means of Artificial Neural Network”, *Journal of Sea Research*, 49:317-322.
- Şahin, A. D., (2004), “Progress and Recent Trends in Wind Energy”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30:501–543.
- Şahin, B., Bilgili, M. ve Akıllı, H., (2005), “The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93:171–183.
- Şahin, B., Bilgili, M. ve Yaşar, A., (2006), “Application of Artificial Neural Networks for the Wind Speed Prediction of Target Station Using Reference Stations Data”, *Renewable Energy*, doi:10.1016/j.renene.2006.12.001.
- Şen, Z. ve Şahin, A. D., (1997), “Regional Assessment of Wind Power in Western Turkey by the Cumulative Semivariogram Method”, *Renewable Energy*, Vol. 12, 2:169-177.
- Şen, Z. ve Şahin, A. D., (1998), “Regional Wind Energy Evaluation in Some Parts of Turkey”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76:345-353.
- Vogiatzis, N., Kotti, K., Spanomitsios, S. ve Stoukides, M., (2004), “Analysis of Wind Potential and Characteristics in North Aegean, Greece”, *Renewable Energy*, 29:1193–1208.
- Yin, M., Li, G., Zhou, M., Liu, Y., (2005), “Analysis and Control of Wind Farm Incorporated VSC-HVDC in Unbalanced Conditions”, 2005 IEEE/PES Transmission and Distribution

Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China

Yurdusev, M. A., Ata, R. ve Çetin, N. S., (2006), “Assessment of Optimum Tip Speed Ratio in Wind Turbines Using Artificial Neural Networks”, Energy, 31:2153-2161.

Yurtoğlu, H., (2005), ”Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği”, DPT Uzmanlık Tezleri, DPT 2683.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.wwindea.org
- [2] www.eere.energy.gov
- [3] www.cedgm.gov.tr
- [4] www.windpower.org
- [5] www.energy.iastate.edu
- [6] www.enerji.gov.tr
- [7] www.teias.gov.tr
- [8] www.ruzgarenerjisibirligi.org.tr
- [9] www.eie.gov.tr
- [10] www.epdk.gov.tr
- [11] www.alternaturk.org
- [12] www.nordex-online.com
- [13] www.gepower.com
- [14] www.renewables-made-in-germany.com
- [15] www.meteor.gov.tr

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 08.07.1978

Doğum yeri Eskişehir

Lise 1989-1996 İSTEK Özel Acıbadem Lisesi

Lisans 1997-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Doktora 2005-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

2002-2003 Birikim Mühendislik Ltd. Şti.

2003- Devam ediyor TOKAR Yapı ve Endüstri Tesisleri Sanayi ve
Ticaret A.Ş.