

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Fatih SÜZEK

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ISI - AKIŞKAN

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Fatih SÜZEK
(503041111)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Temmuz 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nurdil ESKİN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ
Prof.Dr. Süleyman TOLUN**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan ve sürekli desteği ile bana yön vermiş olan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Nurdil ESKİN'e teşekkür ederim.

Çalışmanın çeşitli aşamalarında desteğini esirgemeyen, değerli fikirleri ve eleştirileriyle çalışmaya katkıda bulunan Sn. Prof. Dr. Süleyman TOLUN'a, Sn. Y. Doç. Dr. Zeki COŞKUN'a, Sn. Doç. Dr. Ata MUĞAN'a, Sn. Doç. Dr. Hasan GÜNEŞ'e, Sn. Utku TÜRKYILMAZ'a ve Sn. Mehmet TOLAY'a teşekkür ederim.

Her adımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını hissettiren sevgili AİLEM, Sn. Ahmet GÖKŞİN, Sn. Dr. Deniz ŞEKER, ve Sn. Seda KÜÇÜKTEPE başta olmak üzere tüm dostlarıma şükranlarımı sunarım.

Nisan 2007

Fatih SÜZEK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	III
TABLO LİSTESİ	İV
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	XI
ÖZET	XII
SUMMARY	XIII
1. GİRİŞ	1
2. RÜZGAR ÖLÇÜMLERİNİN TEORİK ANALİZİ	8
2.1. Düşey Rüzgar Profili	8
2.2. Hava Yoğunluğunun Yükseklik ve Sıcaklık ile Değişimi	9
2.3. İstatistiksel Analiz	10
2.3.1. Rayleigh dağılımı	10
2.3.2. Weibull dağılımı	11
3. KULLANILAN VERİ VE HESAPLAMALAR	16
3.1. Verilerin Belirlenmesi	16
3.1.1. Hız ölçümleri	17
3.1.2. Hava sıcaklıkları	19
3.1.3. Türkiye coğrafi haritasının çizilmesi	19
3.2. Rüzgar Hızlarının Hesaplanması	20
3.2.1. Ana program akış şeması	20
3.2.2. Weibull faktörlerinin hesaplanması	23
3.3. Kriging Metodu	40
4. NETİCELER VE YORUMLAR	44
3.4. Giriş	44
3.5. Türkiye'deki Tüm İstasyonlar	45
3.6. Marmara Bölgesindeki İstasyonlar	56
3.7. Ege Bölgesindeki İstasyonlar	62
3.8. Karadeniz Bölgesindeki İstasyonlar	68
3.9. Akdeniz Bölgesindeki İstasyonlar	74
3.10. İç Anadolu Bölgesindeki İstasyonlar	80
3.11. Doğu Anadolu Bölgesindeki İstasyonlar	86
3.12. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki İstasyonlar	92
5. SONUÇLAR	98
KAYNAKLAR	100
EKLER	102
ÖZGEÇMİŞ	112

KISALTMALAR

RESSİAD	: Rüzgar Enerjisi ve Su Santralleri İşadamları Derneği
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
REPA	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
WRF	: Weather Research and Forecast
RMS	: Root Mean Square
IMSL	: International Mathematical and Statistical Library
MOY	: Maksimum Olasılık Yöntemi
SSY	: Standart Sapma Yöntemi
GM	: Grafik Yöntem
EEFY	: Enerji Eğilim Faktörü Yöntemi
SSY-ST	: Stirling Yaklaşımı ile Standart Sapma Yöntemi
SSY-LN	: Lanczos Yaklaşımı ile Standart Sapma Yöntemi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Avrupa ülkelerindeki toplam kurulu rüzgar santrali güçleri.....	2
Tablo 1.2 Türkiye’de kurulu rüzgar santralleri.....	3
Tablo 1.3 EİE Türkiye Rüzgar Atlası hız ve güç akısı değerleri	5
Tablo 3.1 Meteoroloji istasyonlarının bölgelere dağılımı	16
Tablo 3.2 10 m yükseklikteki rüzgarların hızlarına göre sınıflandırılması	18
Tablo 3.3 Gama fonksiyonu yöntem seçimi	22
Tablo 3.4 Bozcaada verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2	37
Tablo 3.5 Kumköy verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2	37
Tablo 3.6 Tüm istasyonların yıllık verileri için R^2	38
Tablo 3.7 Bozcaada Ocak verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2	38
Tablo 3.8 Kumköy Ocak verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2	39
Tablo 4.1 Rüzgar güç akısı sınıflandırması	44
Tablo 4.2 Türkiye’deki ölçüm istasyonlarının yıllık enerji akılarına göre sıralaması (ilk 10)	46
Tablo 4.3 Türkiye’deki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 10).....	46
Tablo 4.4 Türkiye’deki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri	47
Tablo 4.5 Türkiye’deki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri.....	47
Tablo 4.6 Marmara Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5).....	57
Tablo 4.7 Marmara Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)	57

Tablo 4.8	Marmara Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri	58
Tablo 4.9	Marmara Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri.....	58
Tablo 4.10	Ege Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)	64
Tablo 4.11	Ege Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5) .	64
Tablo 4.12	Ege Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri	64
Tablo 4.13	Ege Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri	65
Tablo 4.14	Karadeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5).....	69
Tablo 4.15	Karadeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5).....	69
Tablo 4.16	Karadeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri.....	70
Tablo 4.17	Karadeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri.....	70
Tablo 4.18	Akdeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5).....	75
Tablo 4.19	Akdeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5).....	75
Tablo 4.20	Akdeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri	76
Tablo 4.21	Akdeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri.....	76
Tablo 4.22	İç Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5).....	81
Tablo 4.23	İç Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)	81
Tablo 4.24	İç Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri.....	82
Tablo 4.25	İç Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri.....	82

Tablo 4.26 Doğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5).....	87
Tablo 4.27 Doğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5).....	87
Tablo 4.28 Doğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri	88
Tablo 4.29 Doğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri.....	88
Tablo 4.30 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)	93
Tablo 4.31 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5).....	93
Tablo 4.32 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri	93
Tablo 4.33 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri	94
Tablo A.1 Rüzgar verisinin toplandığı meteoroloji istasyonları, bulundukları coğrafi bölge, boylam, enlem, deniz seviyesinden yükseklik, yıllık sıcaklık normali ve yerden 50m yükseklikte hesaplanan hava yoğunluğu.....	102
Tablo B.1 Rüzgar verisi toplanan her istasyon için yıllık olarak durgun ölçüm yüzdesi, Weibull şekil ve ölçek faktörü, $R^2_{1.0}$ katsayısı, standart sapma, ortalama hız, en olası hız, enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hız, güç akısı ve enerji akısı.....	107

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 EİE Türkiye toplam enerji üretimi ve tüketimi.....	3
Şekil 1.2 EİE Türkiye elektrik talebi	4
Şekil 1.3 EİE Türkiye Rüzgar Atlası	5
Şekil 1.4 REPA 2007 rüzgar hızı [m/s]	6
Şekil 1.5 REPA 2007 güç akısı [W/m^2].....	6
Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan verilerin toplandığı meteoroloji istasyonları konumları	17
Şekil 3.3 Türkiye ortalama sıcaklık normalleri.....	19
Şekil 3.1 Türkiye haritası	20
Şekil 3.4 Ana program akış şeması	24
Şekil 3.5 Maksimum olasılık yöntemi akış şeması.....	27
Şekil 3.6 Standart sapma yöntemi akış şeması.....	31
Şekil 3.7 Grafik yöntem akış şeması	33
Şekil 3.8 Enerji eğilim faktörü yöntemi akış şeması	34
Şekil 3.9 Bozcaada verileri için yıllık kümülatif hız dağılımları	35
Şekil 3.10 Kumköy verileri için yıllık kümülatif hız dağılımları.....	36
Şekil 3.11 Bozcaada verileri için Ocak ayı kümülatif hız dağılımları.....	39
Şekil 3.12 Kumköy verileri için Ocak ayı kümülatif hız dağılımları	40
Şekil 3.13 Tayvan meteoroloji istasyonları ve rüzgar güç akısı [W/m^2]	41
Şekil 3.14 Kriging için kullanılan çözüm ağı (grid)	43
Şekil 4.1 Türkiye'deki en yüksek enerji akısına (E/A) sahip istasyonların konumları	45

Şekil 4.2	Bozcaada istasyonu yıllık kümülatif dağılımı	48
Şekil 4.3	Bozcaada istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.4	Bozcaada istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	49
Şekil 4.5	Bozcaada istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.6	Bozcaada istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	51
Şekil 4.7	Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]	52
Şekil 4.8	Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]	52
Şekil 4.9	Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]	53
Şekil 4.10	Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]	53
Şekil 4.11	Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]	54
Şekil 4.12	Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]	55
Şekil 4.13	Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]	55
Şekil 4.14	Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]	56
Şekil 4.15	Marmara Bölgesindeki istasyonların konumları.....	57
Şekil 4.16	Çanakkale istasyonu yıllık kümülatif dağılımı	59
Şekil 4.17	Çanakkale istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.18	Çanakkale istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	60
Şekil 4.19	Çanakkale istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.20	Çanakkale istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	62
Şekil 4.21	Ege Bölgesindeki istasyonların konumları.....	63
Şekil 4.22	Güney istasyonu yıllık kümülatif dağılımı	65
Şekil 4.23	Güney istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	66

Şekil 4.24 Güney istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	66
Şekil 4.25 Güney istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.26 Güney istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	68
Şekil 4.27 Karadeniz Bölgesindeki istasyonların konumları	69
Şekil 4.28 Amasra istasyonu yıllık kümülatif dağılımı	71
Şekil 4.29 Amasra istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.30 Amasra istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	72
Şekil 4.31 Amasra istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	73
Şekil 4.32 Amasra istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	73
Şekil 4.33 Akdeniz Bölgesindeki istasyonların konumları.....	75
Şekil 4.34 Samandağ istasyonu yıllık kümülatif dağılımı	77
Şekil 4.35 Samandağ istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.36 Samandağ istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	78
Şekil 4.37 Samandağ istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.38 Samandağ istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	79
Şekil 4.39 İç Anadolu Bölgesindeki istasyonların konumları.....	81
Şekil 4.40 Yunak istasyonu yıllık kümülatif dağılımı	83
Şekil 4.41 Yunak istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.42 Yunak istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	84
Şekil 4.43 Yunak istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	85

Şekil 4.44 Yunak istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	85
Şekil 4.45 Doğu Anadolu Bölgesindeki istasyonların konumları	87
Şekil 4.46 Maden istasyonu yıllık kümülatif dağılımı	89
Şekil 4.47 Maden istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	89
Şekil 4.48 Maden istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	90
Şekil 4.49 Maden istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.50 Maden istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	91
Şekil 4.51 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki istasyonların konumları.....	92
Şekil 4.52 Mardin istasyonu yıllık kümülatif dağılımı.....	94
Şekil 4.53 Mardin istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.54 Mardin istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	95
Şekil 4.55 Mardin istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.56 Mardin istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması	97

SEMBOL LİSTESİ

ρ	:Yoğunluk
σ	:Standart sapma
Γ	:Gama fonksiyonu
μ'_2	:Popülasyonun ikinci ham momenti
λ_i	:Kriging ağırlık katsayısı
τ	:Gecikme (lag)
ε	:Göreceli yaklaşıklık hatası
a	:Kriging bölge yarıçapı
A	:Alan
f	:Olasılık yoğunluk fonksiyonu
F	:Kümülatif dağılım fonksiyonu
c	:Weibull ölçek faktörü
C	:Von Kármán tipi ortak değişim fonksiyonu
D	:Tarih matrisi
E	:Enerji
E_{PF}	:Enerji Eğilim faktörü
E_{RMS}	:RMS hatası (Root Mean Square error)
k	:Weibull şekil faktörü
K_v	:Modifiye Bessel fonksiyonu
L	:Olasılık fonksiyonu
N, n	:Veri adedi
p	:Basınç
P	:Güç
R	:Gaz Sabiti
R²	:Regresyon katsayısı (Coefficient of Determination)
SL	:İstasyon numarası matrisi
T	:Zaman
$\vec{u}$	:Konum vektörü
V	:Rüzgar hızı
V_m	:Ortalama hız
V_{mE}	:Enerji akısına en büyük katkı sağlayan hız
V_{mp}	:En olası hız
X($\vec{u}_i$)	:Değeri bilinen noktalar
$\hat{X}(\vec{u}_0)$	:Değeri bilinmeyen noktalar
z	:Yükseklik

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Türkiye'nin sahip olduğu yüksek rüzgar enerjisi kaynağının en iyi şekilde değerlendirilmesi için ön çalışmalar ile potansiyeli yüksek bölgeler belirlenmelidir. Bu çalışma kapsamında meteorolojik amaçlarla toplanmış rüzgar ölçümlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve potansiyeli yüksek noktaların tespiti için FORTRAN programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir.

Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyelinin araştırılmasında ülke çapında 224 meteoroloji istasyonundan 2005 yılı boyunca ölçülen saatlik rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. 10 m yükseklikte ölçülmüş olan veriler rüzgar türbinlerinin 50 m kule yüksekliğine sahip olacağı varsayılarak güç kanunu profili ile bu yüksekliğe uyarlanmıştır. Her istasyonun bulunduğu konum için, Türkiye ortalama sıcaklık normali ve meteoroloji istasyonunun deniz seviyesinden yükseklikleri kullanılarak hava yoğunlukları hesaplanmıştır.

Rüzgar verilerinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşım olarak Weibull dağılımı kullanılmıştır. Weibull dağılımını belirleyen şekil ve ölçek faktörlerinin hesaplanması için tüm veri kullanılarak maksimum olasılık yöntemi, standart sapma yöntemi, grafik yöntem ve enerji eğilim faktörü yöntemi uygulanmıştır. Farklı yöntemlerin verdiği sonuçlar elde edilen dağılımın gerçek veriyi temsil etme yeteneğine göre karşılaştırılmış ve mevcut veri ile en iyi netice veren maksimum olasılık yöntemi hesaplamalarda kullanılmak üzere seçilmiştir. Rüzgar verisi toplanan her istasyon için yıllık bazda maksimum olasılık yöntemi kullanılarak Weibull şekil ve ölçek faktörlerine bağlı olan standart sapma, ortalama hız, en olası hız, enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hız, güç akısı ve enerji akısı hesaplanmıştır.

DETERMINATION OF WIND ENERGY POTENTIAL OF TURKEY

SUMMARY

To utilize the great wind energy resources available in Turkey, preliminary research is needed in order to determine the areas with high potential. To perform statistical analysis of the data collected for meteorological purposes and reveal the locations of high potential areas, a software has been developed in FORTRAN programming language.

At the research on Turkey's wind energy potential, hourly wind speed data of the year 2005, which has been collected in 224 meteorological stations throughout the country, has been used. Assuming the wind turbine height as 50 m, the data measured at 10 m height has been oriented to 50 m using the power law profile. Using the Turkey average temperature values and the elevations of the meteorological stations, air densities have been calculated for every station location.

For the assessment of wind speed data, Weibull distribution has been chosen as the statistical approach. In order to calculate the shape and the scale factors determining Weibull distribution; maximum likelihood method, standard deviation method, graphical method and the energy pattern factor method have been utilized for all the data available. These methods have been compared by means of their abilities to represent the real data. The maximum likelihood method giving the best results has been chosen to be used in the calculations. For every wind speed measurement station; standard deviation, average speed, most probable speed, the speed with the maximum contribution to the energy density, power density and energy density values, all depending on shape and scale factors, have been calculated on a yearly basis.

1. GİRİŞ

Rüzgar kendini insanlara hoş bahar esintilerinde, ağaç yapraklarının çıkardığı seslerde hatırlatırken gücünü de fırtınalarda, tırları yollardan savurarak ve binalara hatta ağaçlara yıkıcı hasarlar vererek gösterir. İnsanlığın dünyanın her yerinde bulunan bu büyük güç ile çevreyi kirletmeden ve kaynağı hiç tüketmeden elektrik enerjisi gereksinimini karşılaması mümkündür.

Rüzgar enerjisi kaynağını güneşten alan bir tür yenilenebilir enerji kaynağıdır. Belli bir anda dünyanın bir kısmı güneş tarafından ısıtılırken yoğunluğu düşerek yükselen havanın sebep olduğu düşük basınç bölgelerine büyük hava kütleleri akın eder. Bu hareket rüzgar olarak adlandırılan doğa olaylarına sebep olur. Güneşten dünyaya ulaşan enerjinin %1-2'si rüzgar enerjisine dönüşür. Bu dünyadaki tüm bitkiler tarafından biyolojik kütleye dönüştürülen enerjinin 50–100 katıdır [1].

Rüzgar hızı yer seviyesine yakın noktalarda sürtünmenin etkisi ile daha düşüktür. Örneğin 40 katlı bir binanın tepesindeki rüzgar hızı yer seviyesindeki yaklaşık beş katı olabilir [2]. Rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi rüzgar türbinleri aracılığı ile gerçekleştirilir. Günümüzde rüzgar türbinleri yükseklik avantajından faydalanılması amacıyla yerden 30–100 m yükseklikteki kulelere yerleştirilmiş rotorların rüzgarın hareket enerjisini miller ve dişli kutuları aracılığıyla jeneratörlere iletmesi ve jeneratörlerin kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmeleri yoluyla çalışan makinelerdir.

Dünyadaki ve bilhassa Avrupa'daki rüzgar enerjisi çalışmaları incelendiğinde son yıllarda artan oranlarda rüzgar enerjisi yatırımları olduğu gözlenmektedir. Tablo 1.1 ile Avrupa ülkelerinde 2003 ve 2006 yılları arasındaki toplam kurulu rüzgar santrali güçleri verilmiştir [3]. Tablodaki sıralama 2003–2006 yılları arasında kurulan güç miktarına göre yapılmıştır. Almanya ve İspanya açık farkla Avrupa'da en büyük kurulu güce sahip ülkelerdir. Ayrıca bu iki ülke aynı zamanda son 3 yıl içerisinde yeni santrallerin kurulması için en büyük yatırımları yapan ülkelerdir. Danimarka ise

kurulu güç açısından üçüncü sırada olmasına rağmen, son 3 yıl içerisindeki gelişimi açısından alt sıralarda yer almaktadır. Bunun bir nedeni Danimarka'nın rüzgar gücü kullanımı açısından öncü bir ülke olması ve santral kurulum çalışmalarına erken başlamış olmasıdır. Toplam kurulu güç incelenirken ülkelerin yüzölçümleri, nüfusları, sanayi kapasiteleri dolayısıyla enerji ihtiyaçları göz önüne alınmalıdır. 2005 verilerine göre Danimarka elektrik enerjisi ihtiyacının %19'unu rüzgar enerjisinden karşılarken bu oran Almanya için %5, İspanya için %6'dır [4]. Dünyanın en gelişmiş ekonomisine sahip Amerika Birleşik Devletlerinde ise bu oran 2007 itibariyle %1'in altındadır [2].

Tablo 1.1 Avrupa ülkelerindeki toplam kurulu rüzgar santrali güçleri

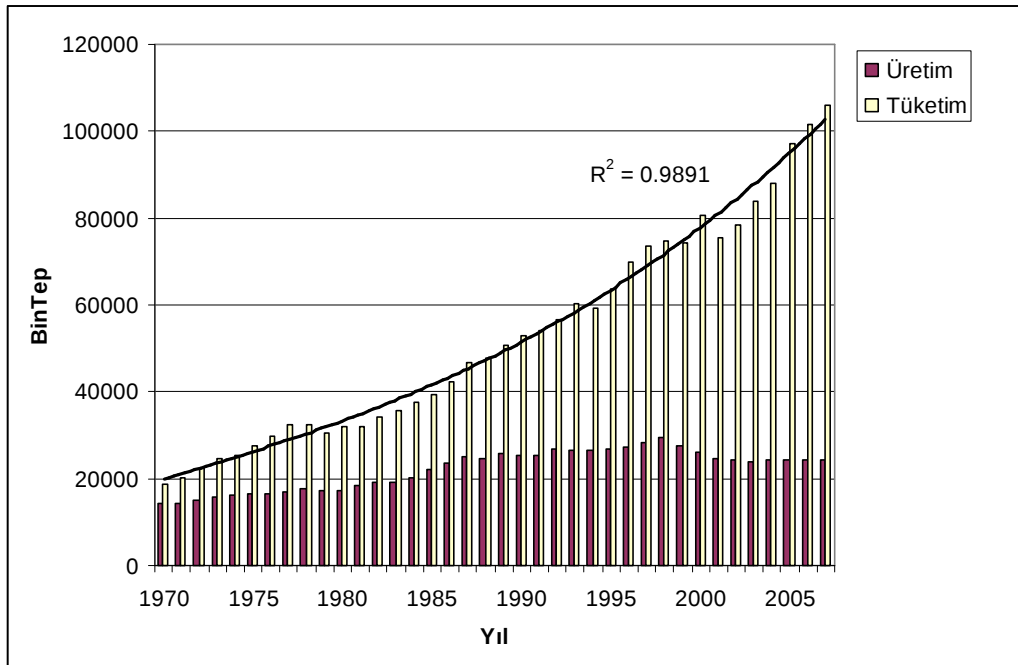
Ülke	Toplam Kurulu Güç [MW]			
	2003 Sonu	2004 Sonu	2005 Sonu	2006 Sonu
Almanya	14609	16629	18414.9	20622
İspanya	6203	8263	10028	11615
Portekiz	296	522	1022	1716
İngiltere	648	907	1332	1963
Fransa	253	390	757	1567
İtalya	904	1265	1718	2123
Hollanda	910	1079	1219	1560
İrlanda	191	338.5	495.5	745
Avusturya	415	606	819	965
Yunanistan	375	473	573.3	746
Norveç	101	160	267	314
İsveç	399	442	509.5	572
Belçika	68	96	167.4	193
Polonya	63	63	83	152.5
Macaristan	3	3	17.5	61
Litvanya	0	7	6.4	55.5
Çek Cumhuriyeti	9	17	28	50
Finlandiya	52	82	82	86
Bulgaristan	0	1	10	32
Türkiye	19	20	20	51
Estonya	2	3	32	32
Danimarka	3115	3118	3128	3136
Hırvatistan	0	6	6	17.2
Lüksemburg	22	35	35.3	35
İsviçre	5	8.7	11.6	11.6
Slovakya	3	5	5	5
Romanya	1	1	1.69	3
Letonya	26	27	27	27
G. Kıbrıs	0	0	0	0
Slovenya	0	0	0	0
İzlanda	0	0	0	0

Türkiye, Greenpeace örgütü ve Avrupa Rüzgar Enerjisi Teşkilatı (European Wind Energy Association) tarafından yayınlanan raporlarda Avrupa'nın rüzgar enerjisi açısından en elverişli ülkelerinden biri olarak gösterilmesine rağmen günümüzde kurulu güç olarak listenin alt sıralarında yer almaktadır. Türkiye'de kurulmuş olan rüzgar santrallerinin konumları Tablo 1.2 ile gösterilmiştir.

Tablo 1.2 Türkiye'de kurulu rüzgar santralleri

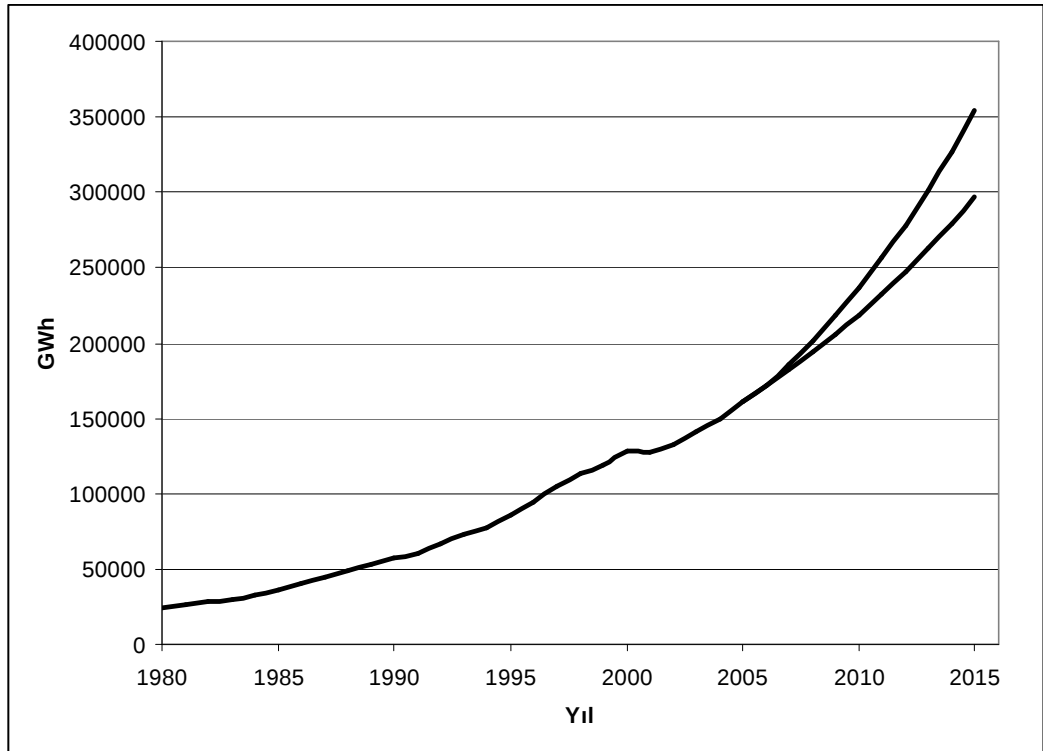
Konum	Güç [MW]
İzmir - Çeşmealtı	7.2
Çanakkale - Bozcaada	10.2
Bandırma	30
Diğer	3.6
Toplam	51

Türkiye'nin toplam enerji tüketimi ile üretimi bir grafik olarak Şekil 1.1 ile gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır [5]. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin (EİE) verilerine dayanan bu grafikte 2005 yılı ve sonrası için bir eğri uydurularak tüketim değerleri tahmin edilmiş, üretim değerleri ise 2004 yılından itibaren sabit varsayılmıştır. 2004 yılında üretim tüketimin %27.7'sini karşılayabilirken, 2007 yılında ise ancak %23'ünü karşılayacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 1.1 EİE Türkiye toplam enerji üretimi ve tüketimi

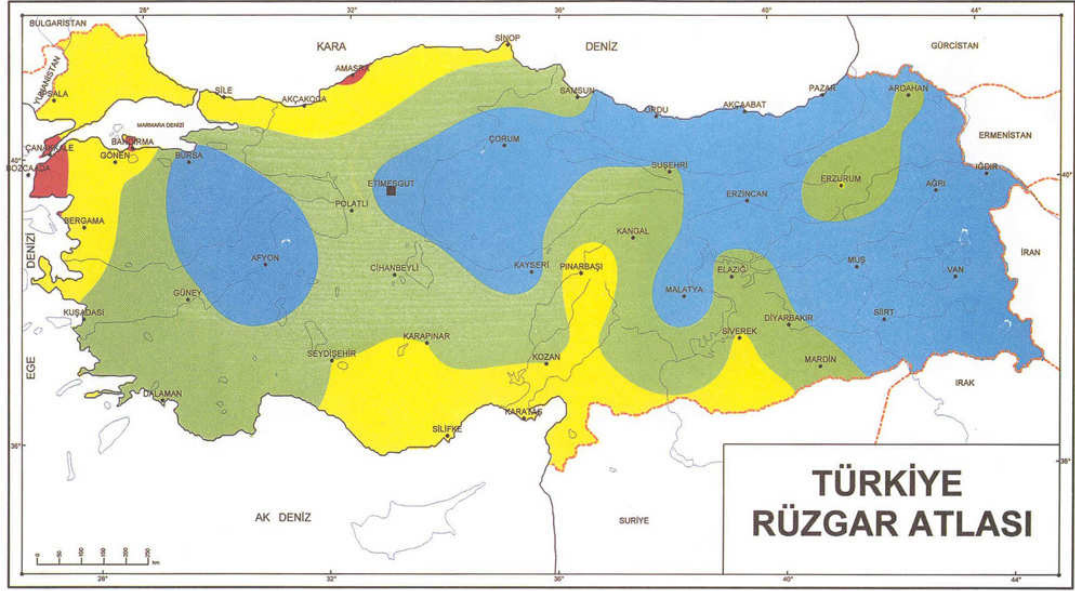
Türkiye'nin yıllara göre elektrik enerjisine olan talebi Şekil 1.2 ile gösterilmiştir [6]. Grafikte 2006 yılına kadar olan değerler gerçek talebi gösterirken, 2006 ve sonrası için Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından yapılan tahminlere göre bir aralık belirlenmiştir. Yüksek değerlere sahip tahmin eğrisi ile yıllık %8.4'lük bir artış öngörülmekte, düşük değerlere sahip tahmin eğrisi ile yıllık %6.3'lük bir artış öngörülmektedir. Türkiye'nin 2004 yılında elektrik üretimi 150698 GWh ve 2005 yılında 161983 GWh olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler yaklaşık olarak o yıllardaki taleple eşit boyutlardadır.



Şekil 1.2 TEİAŞ Türkiye elektrik talebi

Greenpeace örgütü ve Avrupa Rüzgar Enerjisi Teşkilatı tarafından 2005 yılında yayınlanan Wind Force 12 raporunda Türkiye'nin teorik olarak 71000 MW kapasitede rüzgar enerjisi santrali kurabileceği belirtilmiştir [4]. Aynı raporda yetersiz elektrik şebekesi altyapısı da göze alınarak yeterli yatırımın yapılması halinde yakın gelecekte Türkiye'de toplam 10000 MW kapasiteye ulaşılmasının beklendiği belirtilmiştir. Ümit Tolga Bilgin tarafından Rüzgar Enerjisi ve Su Santralleri İşadamları Derneği (RESSİAD) adına yapılan bir açıklamada dernek üyesi kuruluşlar tarafından son 7-8 yılda Türkiye'nin çeşitli yerlerinde yapılan değerlendirilmeler sonucunda 10000 MW gücünde yılda toplam 30000 GWh

elektrik üretilebilecek santrallerin kurulabileceği açıklanmıştır [7]. Bu rakam 2007 için öngörülen en fazla talebin %16'sı anlamına gelmektedir. Açıklamanın devamında EİE tarafından hazırlanan Türkiye'nin rüzgar potansiyelini gösteren çalışmaların rüzgar santrali yatırım ve planlamacıları açısından sağladığı faydalardan övgüyle söz edilmiştir.



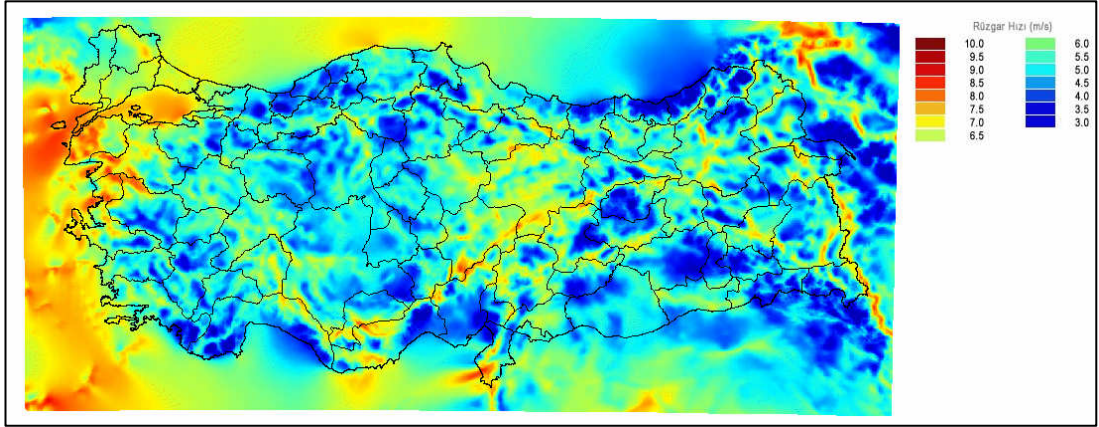
Şekil 1.3 EİE Türkiye Rüzgar Atlası

Tablo 1.3 EİE Türkiye Rüzgar Atlası hız ve güç akısı değerleri

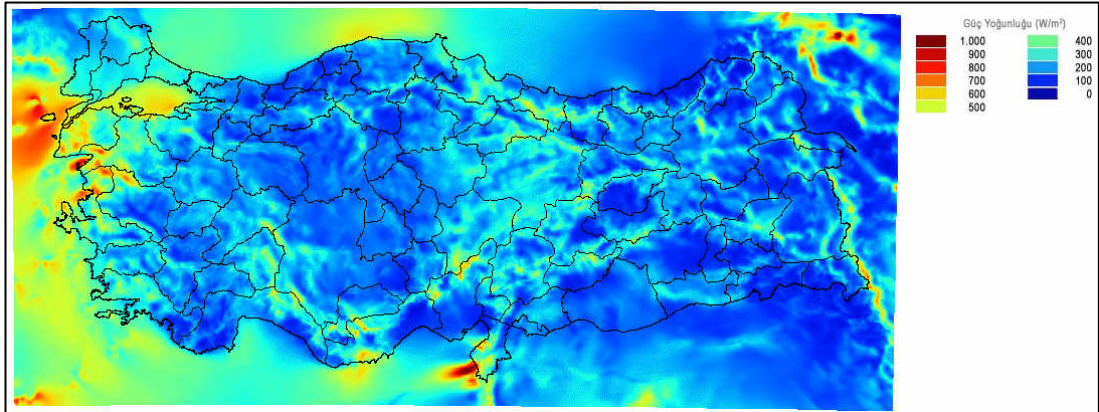
	Kapalı Araziler		Açık araziler		Kıyılar		Tepe ve Bayırlar	
	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²
	>5.0-6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>11.5	>1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	7.0-8.5	400-700
	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<7.0	<400

EİE tarafında hazırlanan Türkiye Rüzgar Atlası Şekil 1.3 ile gösterilmiştir [5]. Tablo 1.3 ile ise bu atlasta yer alan renkli alanların hangi sayısal değerleri temsil ettikleri verilmiştir. Bu atlas farklı konumlardaki 45 meteoroloji istasyonundan toplanan ölçüm verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Hesaplamalar WasP ve WindPro isimli ticari yazılımlar kullanılarak yapılmıştır.

2007 yılında EİE tarafından yayınlanmış olan Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) ile verilen 50 m yükseklikteki rüzgar hızı ve güç akısı haritaları Şekil 1.4 ve Şekil 1.5 ile gösterilmiştir. REPA için kullanılan metodoloji, küresel atmosferik sirkülasyon modeli, orta-ölçekli sayısal hava analiz modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak rüzgar kaynak bilgilerinin üretilmesi olarak tanımlanmıştır [8]. REPA için rüzgar gücü hesaplamaları Amerika Birleşik Devletleri federal kurumları ve üniversitelerinin çabalarıyla üretilmiş olan Weather Research and Forecast (WRF) isimli bir tür meteoroloji tahmin modeli ile gerçekleştirilmiştir [8]. Ancak kullanılan verilerin kaynağı, sayısı ve kaç yıllık veri göz önüne alınarak hesaplandığı belirtilmemiştir.



Şekil 1.4 REPA 2007 rüzgar hızı [m/s]



Şekil 1.5 REPA 2007 güç akısı [W/m²]

Bugüne kadar hazırlanan atlaslardan da görüldüğü gibi, Türkiye’de rüzgar enerjisi potansiyeline yönelik yapılan çalışmalar gerek göz önüne alınan istasyon sayılarının azlığı, gerekse veri alınan istasyonların dağınık yapısı nedeniyle bilhassa Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve Batı Trakya bölgeleri için yaklaşık ortalama hız

değerleri vermekte, rüzgar enerjisinden yararlanma açısından gerekli olan istatistiksel parametreler hakkında ise hiçbir bilgiyi içermemektedir. Yine bu atlasların geliştirilmesinde kullanılan ticari paket programların kendi içinde saklı olan kabuller ve kullanılan formüller nedeniyle elde edilen sonuçlar üzerinde irdeleme yapma ve geliştirme imkanı kullanıcılara verilmemektedir. Bu konuda uluslararası literatürde yayınlanan ve Türkiye kapsamlı çalışmaların ise daha ziyade Batı Anadolu'da Gökçeada, İzmir ve Çeşme, Güneydoğu Anadolu'da İskenderun gibi birkaç ili kapsadığı, diğer bölgeler için ise fazla çalışma yapılmadığı görülmektedir [9, 10, 11, 12].

Bu çalışma, Türkiye'nin 224 farklı noktasında bulunan meteoroloji istasyonlarından bir yıl boyunca yerden 10 m yükseklikte toplanmış olan rüzgar hız ölçümü verileri esas alınarak hazırlanmıştır. Mevcut rüzgar verisi, rüzgar türbinlerinin yerden yükseklikleri göz önüne alınarak güç kanunu profili ile 50m yüksekliğe uyarlanmıştır. Toplanan rüzgar hızı verileri Weibull dağılımı kullanılarak bir sürekli dağılım ile temsil edilmiştir. Weibull dağılımları k şekil faktörü ve c ölçek faktörü olmak üzere iki katsayı yardımıyla tanımlanır. Bu katsayıların bulunması için kullanılabilecek 4 ayrı yöntem denenmiş ve mevcut veri ile en iyi neticenin elde edildiği en büyük olasılık yöntemi seçilmiştir. k ve c parametrelerinin belirlenmesinin ardından rüzgar potansiyelini gösteren ortalama hız ve güç akısı gibi değerler her ölçüm noktası konumu için aylık ve yıllık bazda hesaplanmış, neticeler Kriging yöntemi kullanılarak Türkiye haritası üzerinde eş değer alanları olarak gösterilmiştir. İnceleme yapılırken paket programlardan faydalanılmaması amaç edinilmiş ve hesaplar için FORTRAN programlama dilinde yazılımlar oluşturulmuştur.

Rüzgar santralleri planlanırken rüzgar potansiyeli yüksek bölgelerin önceden bilinmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Bir bölgede rüzgar santrali kurulması kararından önce en az iki yıl boyunca kullanılacak türbin yüksekliklerinde detaylı ölçümler yapılması gerekmektedir. Detaylı ölçümler için bu belirlenen bölgelere yoğunlaşılması hem zaman hem de finansal açıdan tasarruf sağlayacaktır. Bir diğer fayda da tabii ki hem araştırma hem de inşaat yatırımlarının doğru yerlerde yapılması ile ülke imkanlarının daha verimli kullanılması olacaktır.

2. RÜZGAR ÖLÇÜMLERİNİN TEORİK ANALİZİ

Rüzgar santrallerinin planlamalarında ilk aşama rüzgar hız ölçümlerinin incelenerek santralin konumlandırılması, boyutlandırılması ve elde edilebilecek enerjinin saptanmasıdır. Bir rüzgar türbininde, birim rotor alanı başına elde edilebilecek güç, V hızı için Denklem (2.1) ile hesaplanabilir. Birim rotor alanı başına V hızındaki rüzgarda bulunan güç, rüzgar gücü akısı olarak da anılmaktadır [13].

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (2.1)$$

Görüldüğü gibi rüzgarın taşıdığı güç ile hızı arasında kübik bir bağıntının olması nedeniyle, doğru mevsimsel ve yıllık ortalama rüzgar hızı değerlerinin ve değişimlerinin tespiti, bir bölgedeki rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi açısından büyük önem taşır.

2.1. Düşey Rüzgar Profili

Düşey rüzgar profili, rüzgar hızlarının yükseklik ile değişimidir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde esas olan rotor merkez eksen yüksekliğindeki rüzgar hızıdır. Çalışmada bu yükseklik türbin yüksekliği olarak anılacaktır. Hem ölçüm maliyetleri ve ölçüm için gerekli sürenin uzunluğu, hem de göz önüne alınabilecek türbinlerin farklı kule yüksekliklerine sahip olmaları nedeniyle rüzgar hızı ölçümü yapılan yükseklik ile türbin yüksekliği farklı olabilir. Çoğu durumda ölçüm yapılacak yükseklik Dünya Meteoroloji Kurumu (WMO) tarafından önerilen 10 m olarak belirlenmiştir [14].

Verilerin istenen yüksekliğe göre düzenlenmesi amacıyla güç kanunu profili veya logaritmik profil kullanılabilir [15]. Logaritmik profilin hesaplanması için yüzey pürüzlülüğü değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Türkiye genelindeki meteoroloji istasyonlarından toplanan rüzgar hızı verileri kullanılacaktır.

Yüzey pürüzlülükleri için bu çapta bir veri bulunmadığından güç kanunu profilinin kullanılması uygun olacaktır [16].

Güç kanunu profili ile referans bir yükseklikteki bilinen veya ölçülen hız değerine göre, istenen yükseklikteki rüzgar hız değerinin tayin edilmesi mümkündür (Denklem (2.2)).

$$\frac{V(z)}{V_r(z)} = \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (2.2)$$

Denklemdeki α katsayısı yükseklik, gün içindeki zaman, mevsim, arazi şartları, rüzgar hızı ve sıcaklık gibi parametreler ile değişmektedir [13].

2.2. Hava Yoğunluğunun Yükseklik ve Sıcaklık ile Değişimi

Denklem (2.1) ile gösterildiği gibi rüzgarın taşıdığı enerji hava yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Hava yoğunluğu ikisi de yükseklik ile değişen sıcaklık ve basınca bağlıdır. İdeal gaz kabulü ile yoğunluk

$$\rho = \frac{1}{R} \frac{p}{T} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile verilir. Kuru hava için gaz sabitinin (R) 287.05 J/kgK olduğu göz önüne alınırsa hava yoğunluğu (2.4) numaralı denklem ile belirlenebilir [13].

$$\rho = 3.4837 \frac{p}{T} \quad (2.4)$$

5000 m'den düşük yüksekliklerde basıncın yükseklik ile değişimi (2.5) bağıntısı ile hesaplanır.

$$p = 101.29 - (0.011837)z + (4.793 \times 10^{-7})z^2 \quad (2.5)$$

2.3. İstatistiksel Analiz

Ortalama hız değerleri bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında ön izlenim vermektedir. Ancak detaylı bir planlama için istatistiksel dağılımların hesaplanması belli bir zaman aralığında rüzgardan elde edilebilecek enerjinin saptanması açısından gereklidir [14]. İstatistiksel yaklaşım ölçüm değerlerini sürekli hale getirerek mevcut rüzgar hızı verisinin, hesap yapılmak istenen zaman aralığını kapsamaması durumunda avantaj sağlamaktadır. Rüzgar hızı verileri için gerçek rüzgar veri dağılımına uygunlukları nedeniyle Rayleigh Dağılımı ve Weibull Dağılımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Her iki dağılım da sıfır olmayan değerler için geçerlidir ve her iki dağılım da olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonları ile belirlenir [13]. Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(V)$, herhangi bir anda V hızının gözlenme olasılığını vermekte, kümülatif dağılım fonksiyonu $F(V)$ ise herhangi bir anda gözlenen hızın V hızına eşit veya daha küçük olma olasılığını belirtmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ortalama rüzgar hızı, standart sapma ve ortalama rüzgar gücü akısı sırasıyla aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir [13].

$$V_m = \int_0^{\infty} V f(V) dV \quad (2.6)$$

$$\sigma = \sqrt{\int_c^{\infty} (V - V_m)^2 f(V) dV} \quad (2.7)$$

$$P / A = (1/2) \rho \int_0^{\infty} V^3 f(V) dV \quad (2.8)$$

2.3.1. Rayleigh dağılımı

Rayleigh dağılımı sık aralıklarla yapılmış rüzgar ölçümlerinin bulunmadığı, hatta sadece ortalama rüzgar hızının bilindiği durumlar için basitleştirilmiş bir dağılımdır.

Rayleigh dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu sırasıyla denklem (2.9) ve (2.10) ile gösterilmiştir [13].

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{V_m} \right) \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_m} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

$$F(V) = 1 - \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_m} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

2.3.2. Weibull dağılımı

Weibull dağılımı k şekil faktörü ve c ölçek faktörü ile belirlenir. Rayleigh dağılımı, Weibull dağılımının k şekil faktörü ikiye eşit olan özel halidir. Bu katsayıların tayini için yeterli veri olması durumunda Weibull dağılımının kullanılması tercih edilmektedir [14].

Weibull dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu sırasıyla denklem (2.11) ve (2.12) ile gösterilmiştir [13].

$$f(V) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (2.11)$$

$$F(V) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (2.12)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu rüzgarın belli bir hız aralığında olduğu sürenin bulunması için de kullanılabilir. Herhangi bir andaki V rüzgar hızının kendisinden düşük ve büyük V_1 ve V_2 hızları arasında olma ihtimali, kümülatif dağılım fonksiyonlarının farkı ile verilir.

$$P(V_1 < V \leq V_2) = F(V_2) - F(V_1) \quad (2.13)$$

Denklem (2.6)'da Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak ortalama hız aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$V_m = k \int_0^{\infty} \left(\frac{V}{c}\right)^k \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] dV \quad (2.14)$$

Ve uygun değişken dönüşümleri ile (Denklem (2.15)) ortalama hız ifadesi daha basit bir hale indirgenebilir (Denklem (2.16)).

$$x = \left(\frac{V}{c}\right)^k, \quad dV = \frac{c}{k} x^{\left(\frac{1}{k}-1\right)} dx \quad (2.15)$$

$$V_m = c \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\frac{1}{k}} dx \quad (2.16)$$

Eğer Gama fonksiyonunun

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{n-1} dx \quad (2.17)$$

olduğu göz önüne alınırsa k ve c cinsinden ortalama hız,

$$V_m = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2.18)$$

olarak elde edilir.

Rüzgar hızının standart sapması Weibull dağılımı için denklem (2.19) ile verilmiştir [14].

$$\sigma = (\mu'_2 - V_m^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$

Burada μ'_2 terimi popülasyonun ikinci ham momentini olarak adlandırılır.

$$\mu'_2 = \int_0^{\infty} V^2 f(V) dV \quad (2.20)$$

Denklem (2.11) $f(V)$ yerine kullanılır, (2.15) ile verilen dönüşümler yapılır ve ifade (2.17) ile verilen gamma fonksiyonu kullanılarak yeniden düzenlenirse standart sapma k ve c cinsinden ifade elde edilir.

$$\sigma = c \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^{1/2} \quad (2.21)$$

Bu denklemde $\Gamma^2(x)$ ifadesi aynı trigonometrik fonksiyonlarda olduğu gibi $[\Gamma(x)]^2$ anlamına gelmektedir [17].

Ortalama rüzgar gücü akısını (Denklem (2.8)), Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu yerleştirilir ve uygun değişken dönüşümü (Denklem (2.22)) yapılırsa

$$x = \left(\frac{V}{c}\right)^k \quad (2.22)$$

Weibull faktörleri cinsinden aşağıdaki bağıntı ile hesaplamak mümkündür.

$$\frac{P}{A} = \frac{\rho c^3}{2} \int_0^{\infty} x^{3/k} \exp(-x) dx \quad (2.23)$$

Bu ifade, gama fonksiyonu ve gama fonksiyonunun denklem (2.24) ile verilen özelliği göz önüne alınarak yeniden düzenlenirse

$$\Gamma(n) = (n-1)\Gamma(n-1) \quad (2.24)$$

ortalama rüzgar gücü akısı için daha basit bir bağıntı elde edilmiş olur.

$$\frac{P}{A} = \frac{\rho c^3}{2} \left(\frac{3}{k}\right) \Gamma\left(\frac{3}{k}\right) \quad (2.25)$$

Rüzgar gücü akısı bilindiğinde belli bir T süresi sonunda birim rotor alanı başına rüzgar enerjisi yani enerji akısı (2.26) denklemi ile hesaplanabilir.

$$\frac{E}{A} = \frac{P}{A} T = \frac{\rho c^3 T}{2} \left(\frac{3}{k} \right) \Gamma \left(\frac{3}{k} \right) \quad (2.26)$$

Burada T süresi örneğin bir yıl için 8760 saattir [18, 19].

Olasılık yoğunluk fonksiyonu ve rüzgar hızı eğrisi çizildiğinde eğrinin tepe noktasına karşılık gelen hız değeri en olası hız (V_{mp}) olarak adlandırılır. Bu noktada olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisinin eğimi sıfır olacaktır.

$$f'(V_{mp}) = 0 \quad (2.27)$$

$$\frac{k}{c^k} \exp \left[- \left(\frac{V_{mp}}{c} \right)^k \right] \left[- \frac{k}{c^k} V_{mp}^{2(k-1)} + (k-1) V_{mp}^{(k-2)} \right] = 0 \quad (2.28)$$

Denklem (2.28), V_{mp} için çözülür ise,

$$V_{mp} = c \left(\frac{k-1}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (2.29)$$

V hızının birim zamanda enerji akısına katkısı denklem (2.30) ile de ifade edilebilir.

$$\frac{E}{A} = \frac{P}{A} f(V) \quad (2.30)$$

Güç (P) yerine (2.1) denklemi ve olasılık yoğunluk fonksiyonu için (2.11) denklemi kullanılabilir.

$$\frac{E}{A} = \frac{\rho V^3}{2} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (2.31)$$

(2.32) denklemi ile verilen değişken dönüşümü ile (2.33) denklemi elde edilir.

$$B = \frac{\rho}{2} \frac{k}{c^k} \quad (2.32)$$

$$\frac{E}{A} = BV^{(k+2)} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (2.33)$$

V hızının enerji akısına en büyük katkı sağlayan V_{mE} değerini aldığı noktada enerji akısının hıza karşılık çizilen eğrisi de tepe noktasına ulaşacak ve türevi sıfır olacaktır.

$$\left(\frac{E}{A}\right)' = 0 \quad (2.34)$$

$$B \left[-\exp\left[-\left(\frac{V_{mE}}{c}\right)^k\right] V_{mE}^{(k+2)} \frac{k}{c^k} V_{mE}^{(k-1)} + \exp\left[-\left(\frac{V_{mE}}{c}\right)^k\right] (k+2) V_{mE}^{(k+1)} \right] = 0 \quad (2.35)$$

(2.35) denklemi V_{mE} için çözülerek enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hız k ve c cinsinden ifade edilebilir.

$$V_{mE} = \frac{c(k+2)^{1/k}}{k^{1/k}} \quad (2.36)$$

3. KULLANILAN VERİ VE HESAPLAMALAR

Bu bölümde yapılan hesaplamalar için kullanılan rüzgar hızı verisi, hazırlanan harita verisi ve yazılan FORTRAN programı ile yapılan hesaplamalar detaylı olarak tanıtılacaktır.

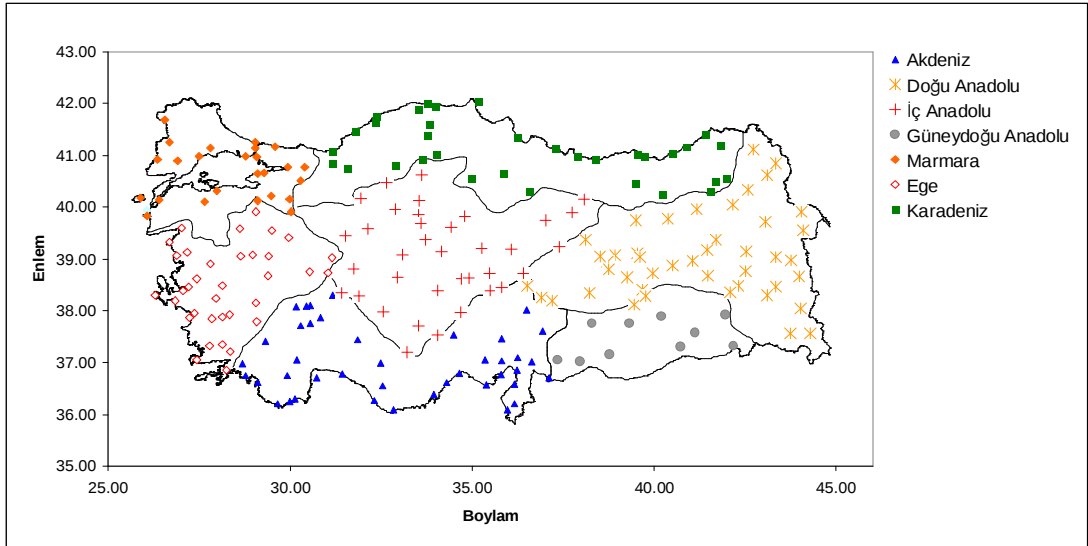
3.1. Verilerin Belirlenmesi

Türkiye çapında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı toplam 451 adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu çalışmada bu istasyonlardan 224 tanesinde toplanmış olan rüzgar hız ölçümleri veri olarak kullanılmıştır. Bu istasyonların Türkiye'nin coğrafi bölgelerine göre adet dağılımları Tablo 3.1 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Meteoroloji istasyonlarının bölgelere dağılımı

Coğrafi Bölge	İstasyon Adedi
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	10
Marmara Bölgesi	25
İç Anadolu Bölgesi	36
Ege Bölgesi	35
Karadeniz Bölgesi	33
Akdeniz Bölgesi	41
Doğu Anadolu Bölgesi	44

Veri toplanan meteoroloji istasyonlarının Türkiye haritası üzerindeki konumları ise Şekil 3.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan verilerin toplandığı meteoroloji istasyonları konumları

3.1.1. Hız ölçümleri

Rüzgar hızı ölçümleri Türkiye genelindeki 224 meteoroloji istasyonundan 2005 yılı boyunca toplanmıştır. Yıl boyunca yerden 10 m yükseklikteki rüzgar hızlarının saatlik ortalamaları kaydedilmiştir. Veri içinde rüzgar yönü bilgisi de mevcuttur. Ancak bu çalışmada rüzgar potansiyeli, rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisinden faydalanılması amacıyla araştırılmaktadır. Bu nedenle rüzgar türbininin rüzgarın geliş yönüne bağlı olarak direği ekseninde dönerek rüzgar yönüne uyum sağlayacağı varsayımı ile rüzgar yönleri dikkate alınmamıştır.

Ortalama hız ve güç akısının yaklaşık olarak rüzgar türbininin rotor merkez ekseninin muhtemel olabileceği bir yükseklikteki değerlerinin hesaplanması önemlidir. Halihazırda kullanılan çeşitli rüzgar türbinlerinin üreticileri tarafından üretilen modeller için farklı yükseklikler önerilmektedir. Enercon firması tarafından üretilen E-48 modeli için bu yükseklik 50-76 m, Siemens firması tarafından üretilen SWT-1.3-62 modeli için 45-68 m olarak önerilmektedir [20, 21]. Çalışmada yapılacak olan hesaplamalar ve verilen sonuçlar için bu değer 50 m olarak seçilmiştir.

Mevcut veri 10 m yükseklikte ölçülmüş olduğundan rüzgar hızlarının 50 m yüksekliğe denk gelen değerlere uyarlanması güç kanunu profiline göre denklem (2.2) kullanılarak yapılmıştır. Denklemdeki α katsayısının belirlenmesi için yüzey

şartları ile ilgili kullanılabilir bilgi mevcut olmadığından tüm veri için IEC-61400-1 standartlarında önerilen $\alpha = 0.2$ değeri kullanılacaktır [22]. Denklem (3.1) ile denklem (2.2)'nin bu bilgiler ışığında düzenlenmiş hali gösterilmiştir.

$$\frac{V_{50}(z)}{V_{10}(z)} = \left(\frac{50}{10}\right)^{0.2} \quad (3.1)$$

Tablo 3.2 ile 10 m yükseklikteki rüzgar hızlarının sınıflandırılması verilmiştir [1]. Bu sınıflandırmaya göre 34 m/s üstündeki rüzgar hızları kasırga şartlarında görülmektedir. 10 m yükseklikte 34 m/s olarak ölçülen rüzgar hızı denklem (3.1) uyarınca 50 m yükseklikteki yaklaşık 47 m/s olmaktadır. 2005 yılı içerisinde Türkiye’de bir kasırga yaşanmadığından mevcut rüzgar verisinde 50 m yükseklikte 50 m/s hızı aşan değerler geçersiz kayıt kabul edilmiştir. Ayrıca ölçüm sırasında ölçüm hatası sonucu oluşan değerler veri içerisinde 99.9 m/s olarak belirtilmiştir.

Tablo 3.2 10 m yükseklikteki rüzgarların hızlarına göre sınıflandırılması

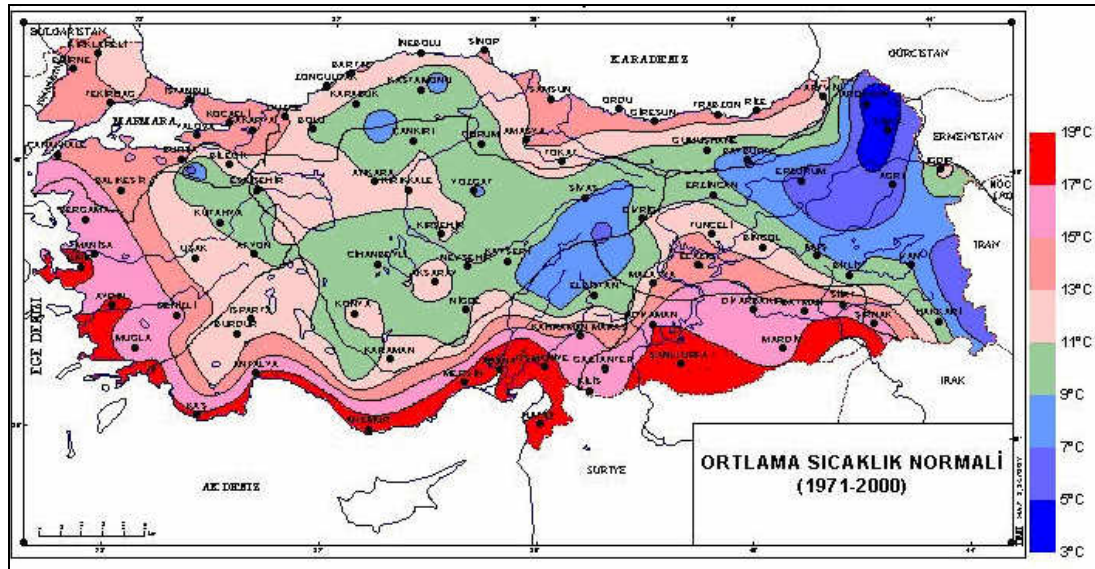
Rüzgar Hızı [m/s]	Rüzgar Tipi
0.0-0.4	Sakin
0.4-1.8	Hafif
1.8-3.6	
3.6-5.8	
5.8-8.5	Orta
8.5-11	Rüzgarlı
11-14	Güçlü
14-17	
17-21	Sert
21-25	
25-29	Çok Sert
29-34	
>34	Kasırga

2005 yılı içerisinde 224 ölçüm istasyonunda toplam 1950048 adet saatlik ortalama rüzgar hızı ölçümü kayıt altına alınmıştır. Tüm veri içinde ölçümlerin 2583 adedi (%0.13) geçersiz kayıt, 32312 adedi (%1.7) 0 m/s’dir.

12 istasyon için veri 365 günün altındadır. Konya meteoroloji istasyonu için veri 300 günün altında, sadece 31 günlük Ocak ayı verisidir. Bu nedenle Konya istasyonu verileri hesaplamalarda kullanılmayacaktır. Diğer küme halinde eksik olan veriler Bozcaada istasyonu için Nisan ayı verisi ve Düzce istasyonu için Mayıs ayı verisidir.

3.1.2. Hava sıcaklıkları

Rüzgar havadan oluşan bir kütleinin yer değiştirmesi ile oluşmaktadır. Denklem (2.1) ile gösterildiği gibi yer değiştiren havanın taşıdığı güç havanın yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Bir konumda hava yoğunluğunun denklem (2.4) ile hesaplanabilmesi için deniz seviyesinden yüksekliğe ek olarak sıcaklık değerleri de gereklidir. Hız ölçümlerinin yapıldığı konumlardaki yıllık ortalama sıcaklık değerleri Şekil 3.2 ile verilen Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanmış olan Türkiye ortalama sıcaklık normali haritası ve Şekil 3.1 ile verilen meteoroloji istasyonları konumları haritasının karşılaştırılması ile belirlenmiştir [23]. Hız verisi toplanan meteoroloji istasyonları için yıllık ortalama sıcaklıklar Ek-A Tablo A.1 ile gösterilmiştir.

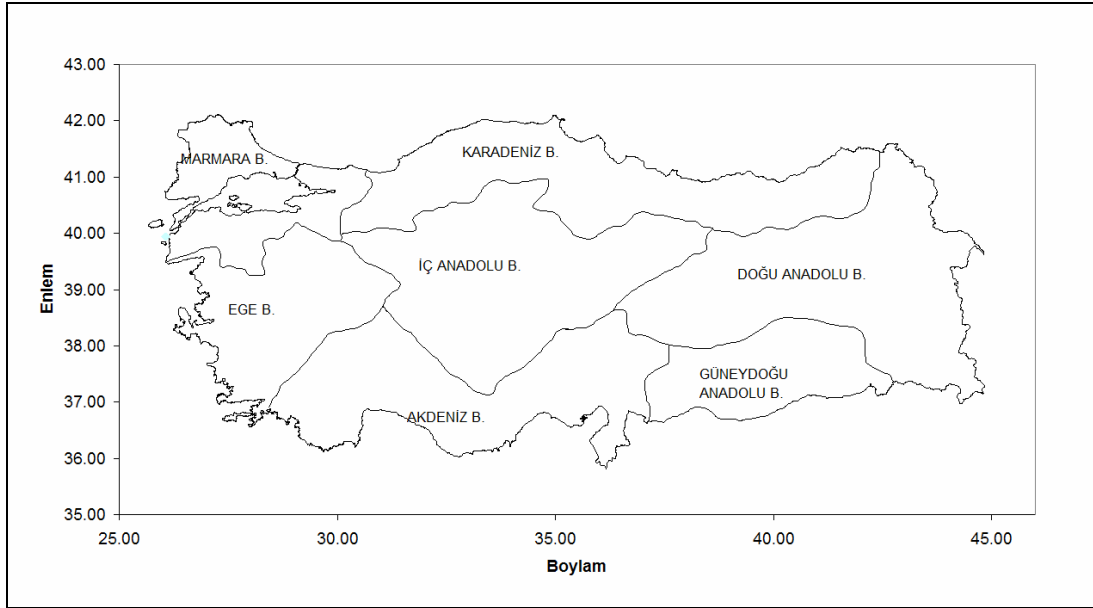


Şekil 3.2 Türkiye ortalama sıcaklık normalleri

3.1.3. Türkiye coğrafi haritasının çizilmesi

Türkiye sınırlarının çizilmesinde 1992 yılında Amerikan Savunma Harita Teşkilatı tarafından hazırlanmış olan 12 grup halinde toplam 15750 adet enlem boylam verisinden faydalanılmıştır [24]. Şekil 3.3, Ek-A Tablo A.1 ve bu çalışmada çizilen tüm haritalarda enlem ve boylam değerleri derece cinsinden olup, noktadan sonraki haneler ondalık dereceleri göstermektedir. Türkiye coğrafi bölgelerini ayıran çizgiler ise Türkiye atlasındaki çizgilerinin Google Earth programındaki izdüşümleri üzerine

Çizilen çizgilere ait 1018 adet enlem ve boylamı belli nokta ile çizilmiştir [25].
Türkiye sınırları ve coğrafi bölgelerini gösteren harita şekil 3.3 ile verilmiştir.



şekil 3.3 Türkiye haritası

3.2. Rüzgar Hızlarının Hesaplanması

3.2.1. Ana program akış şeması

Yazılan FORTRAN programı ile ilk olarak tüm istasyonlar için hız ölçüm verileri kayıtlı oldukları dosyadan bir matris olarak okunmaktadır. Ardından tüm istasyon noktaları için yükseklik ve sıcaklık verisi yine bir matris halinde okunmaktadır. Yardımcı matrisler olarak hız veri matrisinde hangi verinin hangi istasyona ve tarihe ait olduğunu sınır değerleri işaretleyerek belirleyen ve istasyonlara program içinde kullanılmak üzere okundukları sıra ile numara veren ek matrisler oluşturulmuştur. İstatistiksel hesaplamalara başlanmadan önce hız verileri g kanunu profili kullanılarak 50 m yüksekliğe uyarlanmış ve veri içinde geçersiz olarak kabul edilen değerler, hesaplamalarda kullanılacak değerlerden ayrılmıştır. Hesaplamaların istasyonlar için yıllık verilerin tamamı yerine örneğin sadece belli bir ayda yer alan veriler ile yapılması istendiğinde bu ay dışında yer alan veriler geçersiz veri olarak tanımlanmıştır.

Ana programın bir sonraki aşamasında Gama fonksiyonu değerlerinin hesaplanması gerekecektir. Gama fonksiyonunun yazılan FORTRAN programı ile yapılan hesaplamalarda kullanımı paket programların neticelerinin alınması, hazır gama fonksiyonu kodlarının yazılan koda dahil edilmesi veya fonksiyonu bir polinom olarak ifade etmek amacıyla matematiksel yaklaşımların kullanımıyla mümkün olabilir. Bu çalışmada Stirling ve Lanczos yaklaşımları kullanılarak gama fonksiyonu kodda bir polinom ile temsil edilecektir.

Stirling yaklaşımına göre gama fonksiyonu (3.2) numaralı denklem ile hesaplanabilir [26].

$$\Gamma(x) = \sqrt{\frac{2\pi}{x}} \left(\frac{x}{e} \sqrt{x \sinh\left(\frac{1}{x}\right) + \frac{1}{810x^6}} \right)^x \quad (3.2)$$

Lanczos yaklaşımı 1964'de Cornelius Lanczos tarafından yayınlanmıştır. Bu yaklaşıma göre gama fonksiyonu (3.3) numaralı denklem ile temsil edilir.

$$\Gamma(z+1) = \sqrt{2\pi} (z+g+0.5)^{z+0.5} \exp[-(z+g+0.5)] A(z) \quad (3.3)$$

(3.4) denklemindeki g katsayısı, p matrisi ile verilen katsayılar, değişken dönüşümü ile gama fonksiyonu denklem (3.5) ile verilen şekilde yazılabilir [26]. Burada A yakınsak bir seridir ve denklem (3.6) ile verilmiştir.

$$g = 7 ; p = \begin{bmatrix} 0.9999999999980993 \\ 676.5203681218851 \\ -1259.1392167224028 \\ 771.32342877765313 \\ -176.61502916214059 \\ 12.507343278686905 \\ -0.13857109526572012 \\ 9.9843695780195716e-6 \\ 1.5056327351493116e-7 \end{bmatrix} ; x = z + 1 \quad (3.4)$$

$$\Gamma(x) = \sqrt{2\pi} (x+6.5)^{x-0.5} \exp[-(x+6.5)] A(x-1) \quad (3.5)$$

$$A(x-1) = p[1] + \frac{p[2]}{x} + \frac{p[3]}{x+1} + \dots \quad (3.6)$$

Gama fonksiyonunun FORTRAN kodu ile hesaplanması için denenen yöntemler Stirling Yaklaşımı, Lanczos Yaklaşımı, Microsoft Developer Studio Fortran Power Station 4.0 programı bünyesindeki Numerical Recipes kütüphanesinden alınan hazır gama fonksiyonu kodu ve Compaq Visual Fortran Professional Edition 6.1.0 programı bünyesindeki “International Mathematical and Statistical Library” (IMSL) kütüphanesinden alınan hazır gama fonksiyonudur. Yöntemler kıyaslanırken paket program Matlab 5.3 ile hesaplanan gama fonksiyonu değerleri kullanılmıştır. Rüzgar verisi ile yapılan hesaplamalara uygun bir aralık olarak $\Gamma(x)$ fonksiyonu x değerinin (1,8) aralığında 0.1 fark ile değişen 71 değeri için her yöntemle hesaplanarak kıyaslanmıştır. Kıyaslama için bu aralıkta “Root Mean Square” (RMS) hataları kullanılmıştır. RMS hata tanımı denklem (3.7) ile verilmiştir [27].

$$E_{RMS} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_1(x_i) - y_2(x_i)|^2 \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

Bu denklemde y_1 Matlab ile hesaplanan gama fonksiyonu değeri, y_2 denenen yöntemle hesaplanan gama fonksiyonu değeri ve N karşılaştırma yapılan nokta sayısıdır.

Tablo 3.3 Gama fonksiyonu yöntem seçimi

Yöntem	E_{RMS}
Stirling Yaklaşımı	0.01033
Lanczos Yaklaşımı	0.00947
Numerical Recipes	0.01015
IMSL Kütüphanesi	0.01049

Hata kıyaslamasının sonuçları Tablo 3.3 ile verilmiştir. Denenen yöntemlerin hepsinin yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Matlab programı ile yapılan hesaplama en yakın sonucu veren Lanczos yaklaşımı hesaplamalarda kullanılmak üzere seçilmiştir.

İstatistiksel hesaplamaların ilk adımında her istasyon için rüzgar hız verisinin aritmetik ortalaması V_{ma} ve standart sapması σ_a hesaplanmıştır. Ardından Weibull

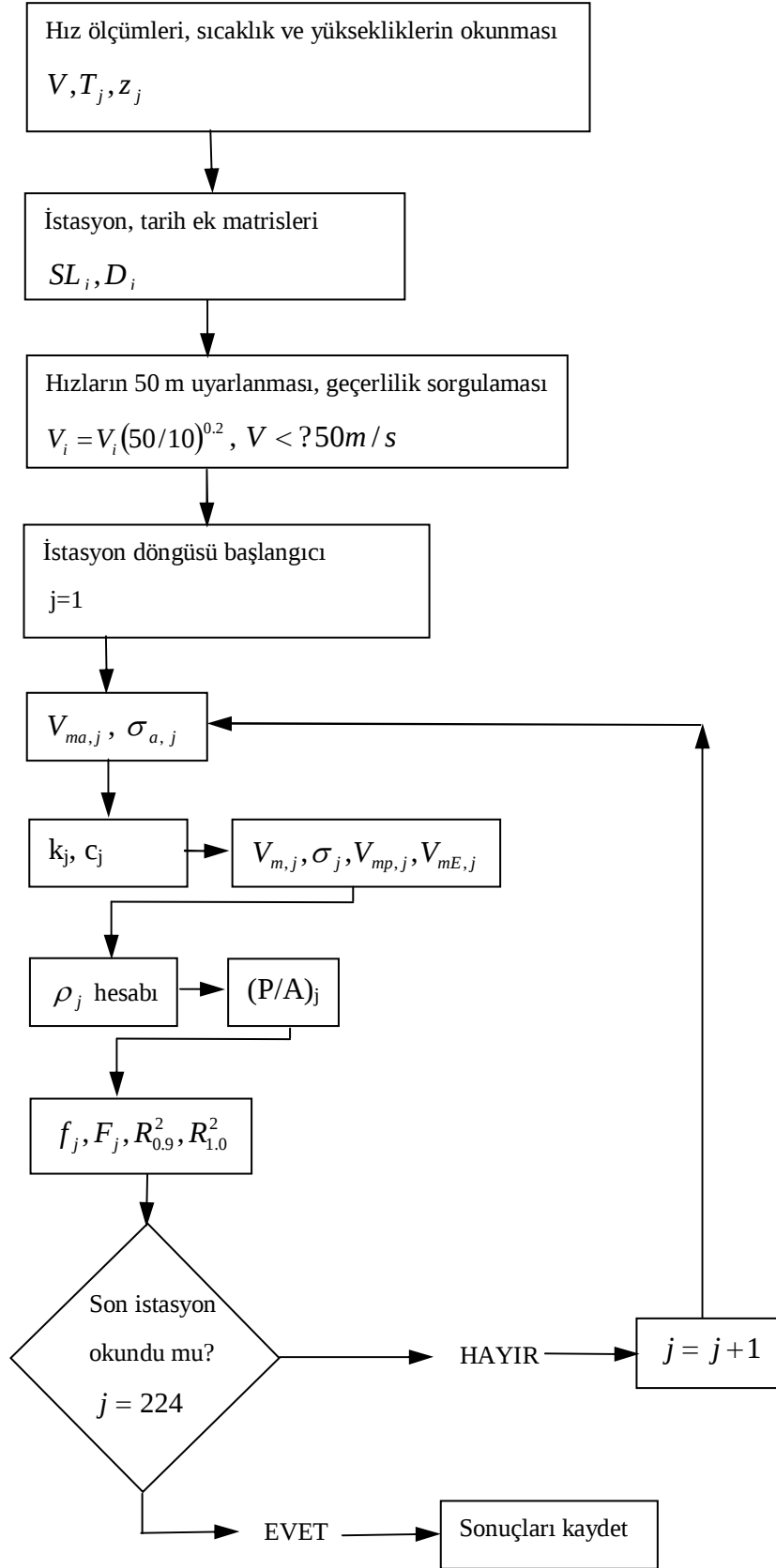
dağılımı şekil faktörü k ve ölçek faktörü c hesaplanmıştır. Bu faktörlere bağlı olarak dağılım için ortalama hız değeri V_m , standart sapma σ , en olası hız V_{mp} ve enerji dağılımına en büyük katkıyı yapan hız V_{mE} değerleri hesaplanmıştır. Ardından istasyon için yükseklik ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak hava yoğunluğu ρ hesaplanmıştır. Hava yoğunluğu, şekil ve ölçek faktörlerine bağlı olarak güç akısı P/A hesaplanmıştır. Sonraki adımda her istasyon için 0-34 m/s aralığında olasılık yoğunluk fonksiyonu f ve kümülatif dağılım fonksiyonu F değerleri hesaplanmıştır. Son olarak her istasyon için $R^2_{0.9}$ ve $R^2_{1.0}$ katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalarla her istasyon elde için elde edilen sonuçlar istasyon adı belirtilerek dosyalara kaydedilmiştir.

Program için Weibull dağılım faktörlerinin hesaplandığı kısım farklı hesap yöntemleri için değiştirilerek kodun farklı versiyonları elde edilmiş ve bu farklı versiyonların kullanımı ile yöntemler denenmiştir. FORTRAN programının ana program olarak anılan kısmı Weibull dağılım faktörlerinin hesaplanmalarını içermeyen kısımdır. Bu faktörlerin hesaplandığı kısma ait hesaplamalar ile ilgili açıklamalar ve akış şemaları bölüm 3.2.2 içerisinde verilmiştir.

Ana program akış şeması Şekil 3.4 ile gösterilmiştir. Şemada j indisi, j numaralı ölçüm istasyonunu belirtmektedir.

3.2.2. Weibull faktörlerinin hesaplanması

Weibull dağılımını mevcut veri ile elde edilen şekil ve ölçek faktörü belirlemektedir. Ortalama hız, en olası hız, güç akısı ve benzeri hesaplanan değerler de yine bu faktörlere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Şekil ve ölçek faktörünün tayin edilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu bölümde maksimum olasılık yöntemi, standart sapma yöntemi, grafik yöntem ve enerji eğilim faktörü yöntemi incelenmiş, karşılaştırılmış ve hesaplamalar için yöntem seçimi yapılmıştır.



Şekil 3.4 Ana program akış şeması

Maksimum Olasılık Yöntemi

Weibull dağılımı için olasılık fonksiyonu (3.8) numaralı denklem ile verilmiştir [28].

$$L(c, k) = \prod_{i=1}^n f(V_i) \quad (3.8)$$

Denklem (2.9) ile verilen olasılık yoğunluk fonksiyonu bu denklemde kullanılabilir.

$$L(c, k) = \prod_{i=1}^n kc^{-k}V_i^{k-1} \exp(-c^{-k}V_i^k) \quad (3.9)$$

(3.9) numaralı denklemin her iki tarafının doğal logaritması alınarak (3.11) elde edilir.

$$\ln L(c, k) = \sum_{i=1}^n [\ln k - k \ln c + (k-1) \ln V_i - c^{-k}V_i^k] \quad (3.10)$$

$$\ln L(c, k) = n \ln k - nk \ln c + (k-1) \sum_{i=1}^n \ln V_i - c^{-k} \sum_{i=1}^n V_i^k \quad (3.11)$$

Olasılık fonksiyonunun maksimum değeri için şekil faktörü ve ölçek faktörüne göre türevleri sıfıra eşitlenerek aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\frac{\partial \ln L(c, k)}{\partial c} = -nkc^{-1} + kc^{-(k+1)} \sum_{i=1}^n V_i^k = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial \ln L(c, k)}{\partial k} = nk^{-1} - n \ln c + \sum_{i=1}^n \ln V_i - c^{-k} \sum_{i=1}^n V_i^k \ln V_i + c^{-k} \ln c \sum_{i=1}^n V_i^k = 0 \quad (3.13)$$

(3.12) numaralı denklemden (3.14) elde edilebilir. (3.14) denklemi (3.13)'de yerine yerleştirilerek şekil faktörü için (3.15) elde edilir.

$$c^k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \quad (3.14)$$

$$k = \left[\frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \ln V_i}{\sum_{i=1}^n V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln V_i}{n} \right]^{-1} \quad (3.15)$$

Denklem (3.15) iteratif olarak çözülmüştür. İterasyonun yakınsama kriteri olarak göreceli yaklaşıklık (relative convergence) metodu ile hata belirlenmiştir.

$$\left| \frac{k_{m+1} - k_m}{k_m} \right| < \varepsilon \quad (3.16)$$

Bu denklemde ε ile gösterilen hata 10^{-4} değerinin altında ise iterasyon neticelendirilmiş, değilse (3.17) denklemi ile yeni şekil faktörü hesaplanarak iterasyona devam edilmiştir.

$$k_m = 0.3k_{m+1} + 0.7k_m \quad (3.17)$$

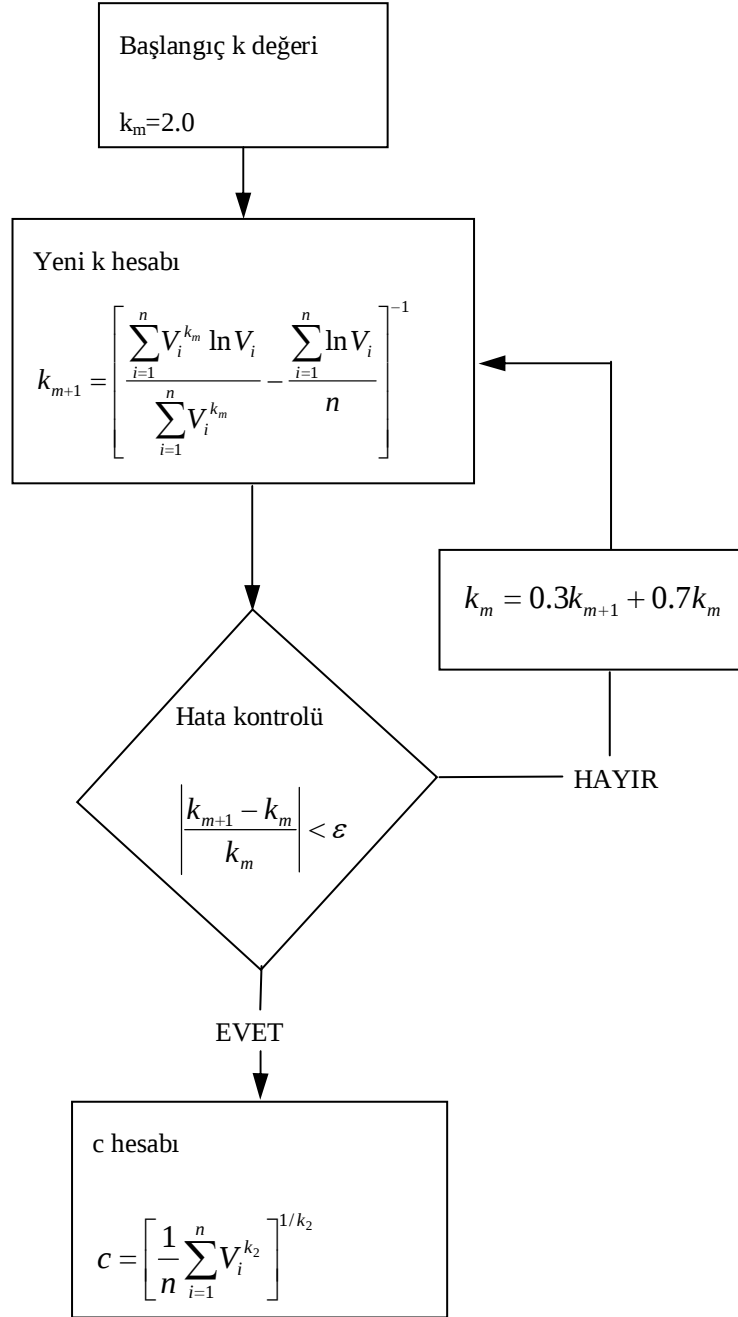
Şekil faktörü hesaplandıktan sonra (3.14) denklemi düzenlenerek (3.18) ile ölçek faktörü hesaplanmaktadır.

$$c = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right]^{1/k} \quad (3.18)$$

Maksimum olasılık yöntemi ile Weibull faktörlerinin hesaplanması için yazılan programın akış şeması Şekil 3.5 ile gösterilmiştir. Bu yöntem çalışmada MOY kısaltması ile anılacaktır.

Standart Sapma Yöntemi

Weibull dağılımı şekil ve ölçek faktörleri, direkt olarak rüzgar hız verisi ile hesaplanan aritmetik ortalama ve standart sapma kullanılarak hesaplanabilir. Direkt veriden hesaplanan aritmetik ortalama ve standart sapma denklem (3.19) ve (3.20) ile tanımlanmıştır [13].



Şekil 3.5 Maksimum olasılık yöntemi akış şeması

Sırasıyla denklem (2.18) ve (2.21) ile verilen Weibull ortalama rüzgar hızı ve standart sapmasını oranlayarak ve (3.21) ile verilen değişken dönüşümü yapılarak aritmetik ortalama hız ve standart sapmadan şekil ve ölçek faktörlerinin bulunmasını sağlayan (3.22) denklemi bulunabilir [29].

$$V_{ma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (3.19)$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (V_i - V_m)^2} \quad (3.20)$$

$$x = \frac{1}{k} \quad (3.21)$$

$$g(x) = \frac{\Gamma(1+2x)}{\Gamma^2(1+x)} - 1 - \left(\frac{\sigma}{V_m} \right)^2 = 0 \quad (3.22)$$

Bu denklem x için ilk değer atanarak Newton iterasyon yöntemi ile çözülebilir [27].

$$x_{m+1} = x_m - \frac{g_m}{g'_m} \quad (3.23)$$

x dolayısıyla şekil faktörünün iterasyon sırasında bulunması sırasında yakınsama kriteri olarak denklem (3.16) ile verilmiş olan göreceli yaklaşıklık metodu hata 10^{-4} olarak kullanılmıştır. Yakınsama olmayan adımlarda bir sonraki iterasyon değerine geçilmesi için denklem (3.17) kullanılmıştır.

Şekil faktörü bulunduktan sonra ölçek faktörü denklem (2.18) düzenlenerek denklem (3.24) ile hesaplanır.

$$c = \frac{V_{ma}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (3.24)$$

g fonksiyonunun türevi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$g' = \frac{dg(x)}{dx} = \frac{\Gamma'(1+2x)\Gamma(1+x) - 2\Gamma(1+2x)\Gamma'(1+x)}{\Gamma^3(1+x)} \quad (3.25)$$

Gama fonksiyonun türevinin yazılması için iki ayrı yol izlenecektir. Birincisi Windrose paket programının algoritması kullanılarak Stirling yaklaşımı yardımı ile ikincisi ise bu çalışmada seçilen yöntem olan Lanczos yaklaşımı yardımı ile olacaktır. İki hesaplama bu çalışmada sırasıyla SSY-ST ve SSY-LN kısaltmalarıyla anılacaktır.

Stirling yaklaşımıyla gama fonksiyonu aşağıdaki seri ile temsil edilebilir.

$$\Gamma(x) = x^{(x-0.5)} e^{-x} \sqrt{2\pi} A(x) \quad (3.26)$$

$$A(x) = 1 + \frac{a_1}{x} + \frac{a_2}{x^2} + \frac{a_3}{x^3} + \frac{a_4}{x^4} + \dots \quad (3.27)$$

$$a_1 = \frac{1}{12} ; a_2 = \frac{1}{288} ; a_3 = -\frac{139}{51840} ; a_4 = -\frac{571}{2488320} ; \dots \quad (3.28)$$

Bu üç denklem kullanılarak gama fonksiyonun türevi (3.29) ile gösterilmiştir.

$$\Gamma'(x) = \frac{\sqrt{2\pi} x^x e^{-x}}{x} \left\{ -\frac{1}{2x} A(x) + A(x) \ln x + \frac{dA(x)}{dx} \right\} \quad (3.29)$$

Denklem basitleştirilerek,

$$\Gamma'(x) = \frac{\sqrt{2\pi} x^x e^{-x}}{x} \left\{ A(x) \left[\frac{1}{2x} + \ln x \right] + \frac{dA(x)}{dx} \right\} - \frac{\Gamma(x)}{x} \quad (3.30)$$

$$\Gamma'(x) = \frac{B(x) - \Gamma(x)}{x} \quad (3.31)$$

şeklinde elde edilir. Buradaki $B(x)$, $A(x)$ serisinin ilk dört terimi kullanılarak denklem (3.32) ile gösterilmiştir.

$$B(x) = \sqrt{2\pi} x^x e^{-x} \left\{ A(x) \left[\frac{1}{2x} + \ln x \right] - \frac{a_1}{x^2} - \frac{2a_2}{x^3} - \frac{3a_3}{x^4} \right\} \quad (3.32)$$

Lanczos yaklaşımı ile kullanılan katsayılar, gama fonksiyonunun temsili ve $A(x-1)$ serisi denklem (3.4), (3.5) ve (3.6) ile gösterilmiştir. (3.5) numaralı denklemin türevi alınarak,

$$\Gamma'(x) = \sqrt{2\pi} e^{-(x+6.5)} (x+6.5)^{x-0.5} \left[(x-0.5)(x+6.5)^{x-1} A(x-1) + \right. \\ \left. A(x-1) \ln(x+6.5) - A(x-1) + \frac{dA(x-1)}{dx} \right] \quad (3.33)$$

elde edilebilir. $A(x-1)$ serisinin türevi denklem (3.34) ile gösterilmiştir.

$$\frac{dA(x-1)}{dx} = -\frac{p[2]}{x^2} - \frac{p[3]}{(x+2)^2} - \frac{p[4]}{(x+3)^2} - \dots \quad (3.34)$$

Standart sapma yöntemi ile Weibull faktörlerinin hesaplanması için yazılan programın akış şeması Şekil 3.6 ile gösterilmiştir.

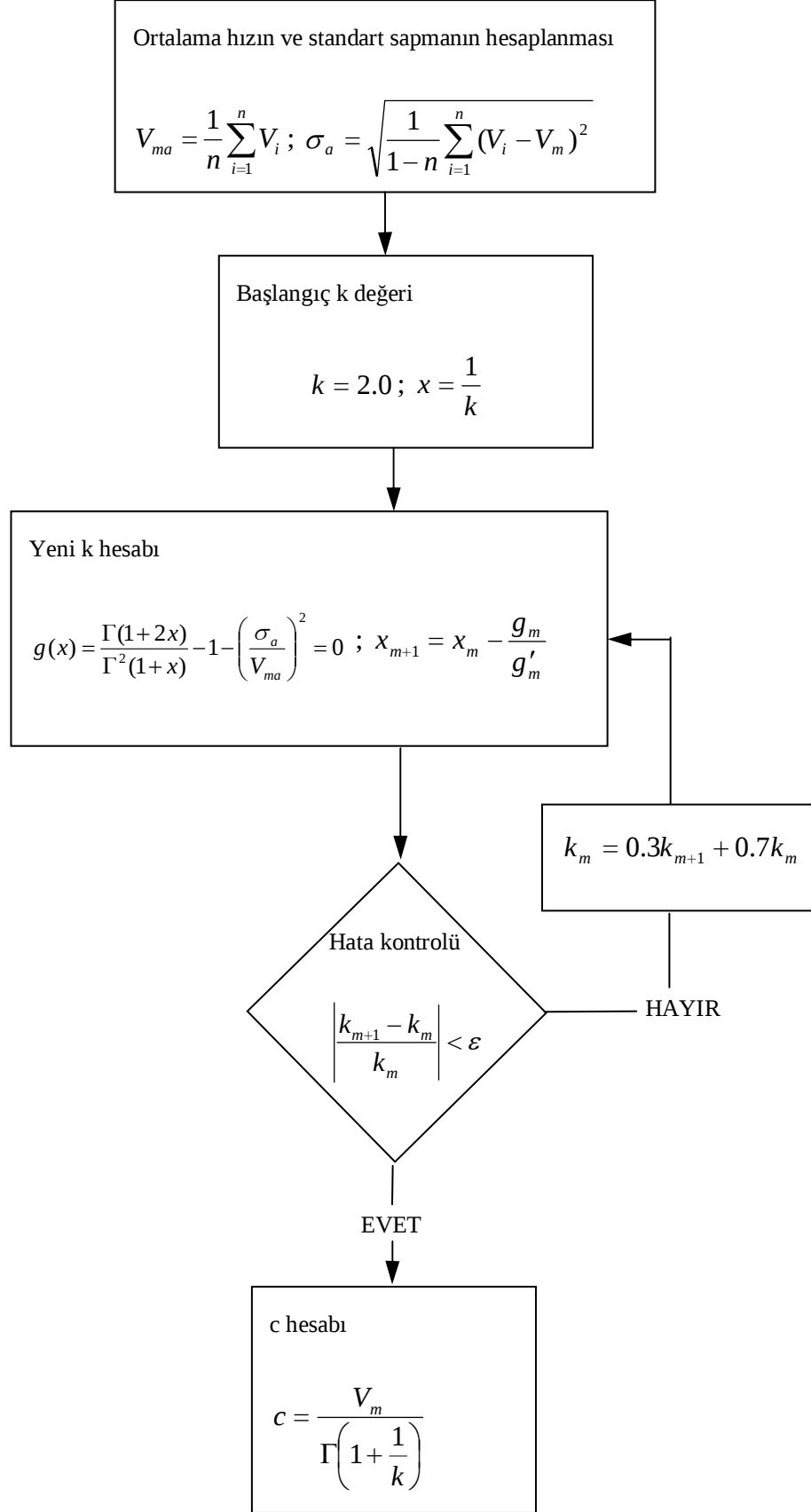
Grafik Yöntem

Denklem 2.11 ile verilmiş olan Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu yeniden yazılarak,

$$1 - F(V) = \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (3.35)$$

elde edilir. Bu denklemin iki defa doğal logaritması alınarak denklem (3.36) elde edilir.

$$\ln \{ -\ln[1 - F(V)] \} = k \ln(V_i) - k \ln c \quad (3.36)$$



Şekil 3.6 Standart sapma yöntemi akış şeması

(3.36) ile verilen bağıntıdaki $\ln(V_i)$ x eksenine ve $\ln\{-\ln[1 - F(V)]\}$ y eksenine yerleştirilse yaklaşık doğrusal bir grafik elde edilebilir [14]. Bu noktaları temsilen denklem (3.39) ile gösterildiği gibi bir doğru çizilebilir.

$$x = \ln(V_i) \quad (3.37)$$

$$y = \ln\{-\ln[1 - F(V)]\} \quad (3.38)$$

$$y = Ax + B \quad (3.39)$$

Doğrunun eğimi şekil faktörüne eşit olacaktır. Bulunan şekil faktörü ve denklemin x eksenini kestiği noktadan faydalanılarak ölçek faktörü hesaplanabilir.

$$k = A \quad (3.40)$$

$$c = \exp\left(-\frac{B}{k}\right) \quad (3.41)$$

Hesaplanan (x,y) çiftlerine bir doğru uydurulması için en küçük kareler doğrusu (Least squares line) kullanılabilir. Bu yöntem ile denklem (3.39)'daki A ve B, (3.42) ve (3.43) denklemleri çözülerek bulunur [27]. Bu denklemlerde N kullanılan nokta sayısıdır.

$$\left(\sum_{i=1}^N x_i^2\right)A + \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)B = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (3.42)$$

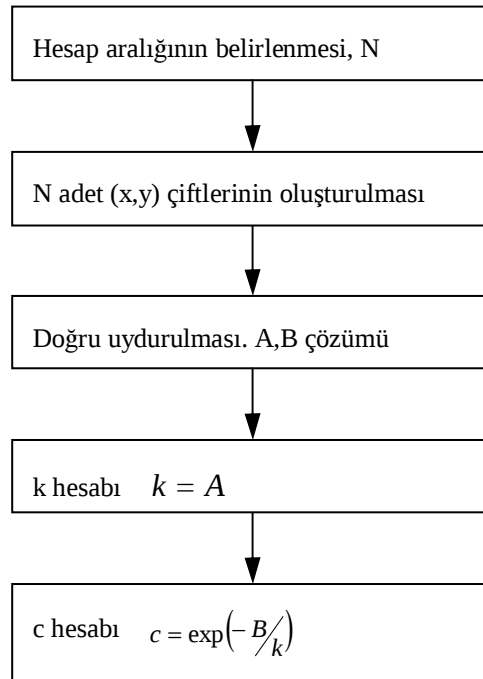
$$\left(\sum_{i=1}^N x_i\right)A + NB = \sum_{i=1}^N y_i \quad (3.43)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 = Z_1; \sum_{i=1}^N x_i = Z_2; \sum_{i=1}^N x_i y_i = Z_3; \sum_{i=1}^N y_i = Z_4; N = Z_5 \quad (3.44)$$

$$A = \frac{\begin{vmatrix} Z_3 & Z_2 \\ Z_4 & Z_5 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} Z_1 & Z_2 \\ Z_2 & Z_5 \end{vmatrix}}; B = \frac{\begin{vmatrix} Z_1 & Z_3 \\ Z_2 & Z_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} Z_1 & Z_2 \\ Z_2 & Z_5 \end{vmatrix}} \quad (3.45)$$

Grafik yöntem ile Weibull faktörleri hesaplanırken 4-16 m/s aralığındaki verilerin kullanılması önerilmektedir [29]. Ancak bu çalışmada kullanılan veri sadece rüzgar potansiyeli yüksek bölgelerde toplanmadığı için önerilen aralık bazı veri grupları için yanıltıcı olmakta hatta hesaplanamamalarına sebep olmaktadır. Bu sebeple hesap aralığı 1 m/s ile her ölçüm noktası verisi için gerçek kümülatif dağılımın bire eşit olduğu hız değeri olarak belirlenmiştir.

Grafik yöntem ile Weibull faktörlerinin hesaplanması için yazılan programın akış şeması Şekil 3.7 ile gösterilmiştir. Bu yöntem çalışmada GM kısaltması ile anılacaktır.



Şekil 3.7 Grafik yöntem akış şeması

Enerji Eğilim Faktörü Yöntemi

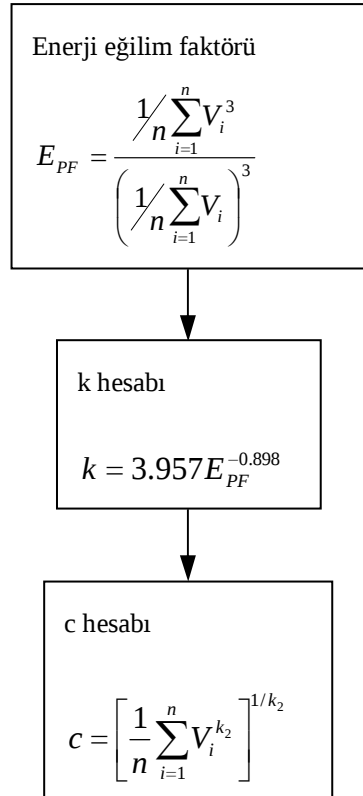
Enerji eğilim faktörü rüzgarın toplam gücü ile ortalama hızın küpü ile bulunan rüzgar gücünün oranı olarak tanımlanır. Enerji eğilim faktörü bulunduğundan sonra şekil faktörü denklem (3.47) ile yaklaşık olarak hesaplanabilir [14].

$$E_{PF} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \right)^3} \quad (3.46)$$

$$k = 3.957 E_{PF}^{-0.898} \quad (3.47)$$

Şekil faktörü bulunduğundan sonra ölçek faktörü denklem (3.18) ile hesaplanmaktadır.

Enerji eğilim faktörü yöntemi ile Weibull faktörlerinin hesaplanması için yazılan programın akış şeması Şekil 3.8 ile gösterilmiştir. Bu yöntem çalışmada EEFY kısaltması ile anılacaktır.

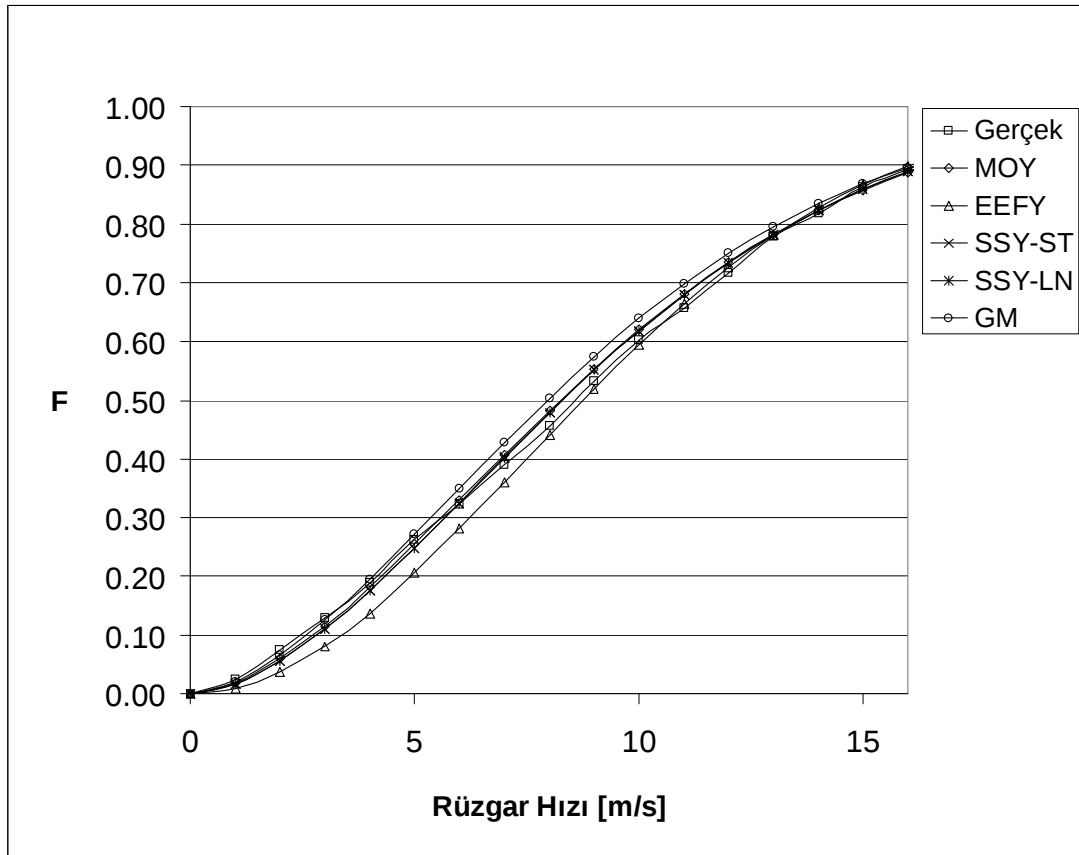


Şekil 3.8 Enerji eğilim faktörü yöntemi akış şeması

Yöntem Seçimi

Weibull faktörlerinin belirlenmesi için kullanılan hesap yöntemlerinin kıyaslanması ve hesaplamaların devamında kullanılacak yöntemin seçilmesi için kümülatif

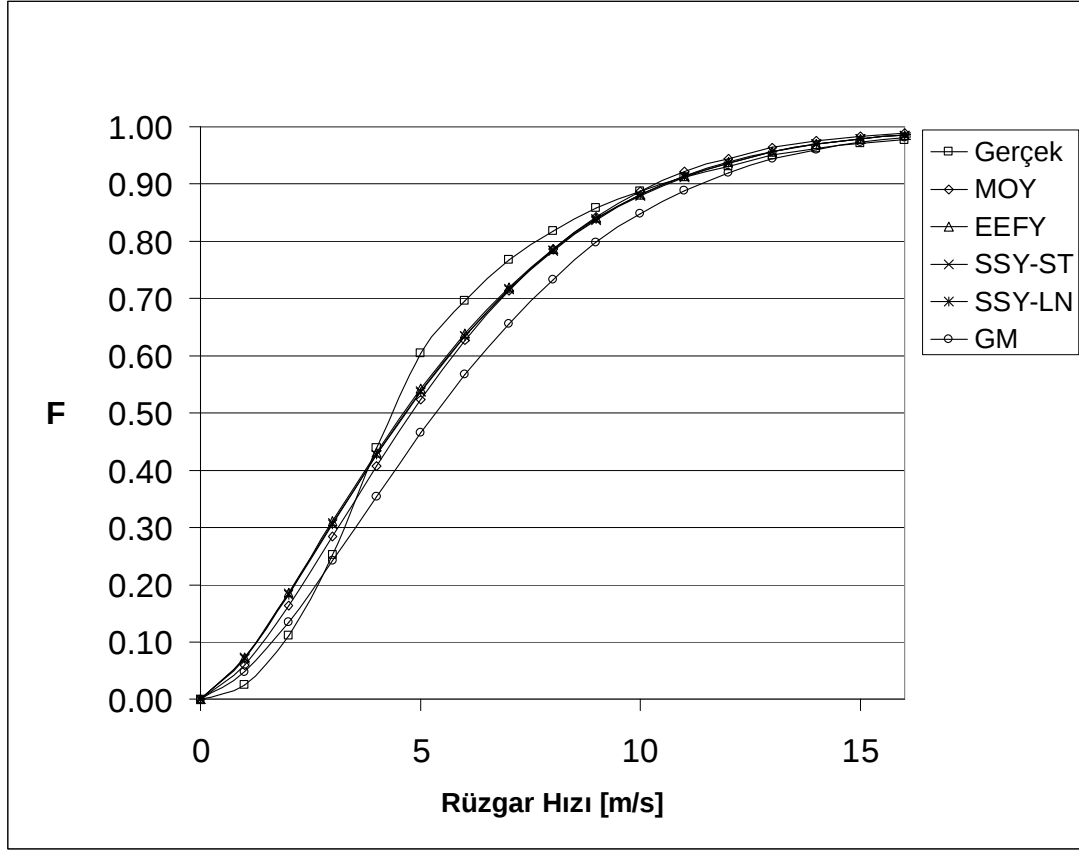
dağılım fonksiyonunun çeşitli hızlardaki değerleri kullanılacaktır. Örnek olarak seçilen Bozcaada ve Kumköy istasyonları için farklı yöntemlerle bulunan katsayılar ile yıllık kümülatif dağılımlar çizilmiştir. Şekil 3.9 ile Bozcaada istasyonunda ölçülen yıllık hız değerleri ve hesaplanan dağılımların kümülatif dağılım fonksiyonunun rüzgar hızı ile değişimi gösterilmiştir. GM ile bulunan dağılım nispeten gerçek dağılımın üstünde olasılıklı değerlere sahip bir hız dağılımı vermiştir. Oysaki yaklaşık 5 m/s değerine kadar gerçeğe en uygun dağılım bu yöntemle elde edilmiştir. EEFY ile hesaplanan dağılımın ise nispeten gerçek dağılımın altında olasılıklı değerlerde olduğu gözlenmiştir. SSY-LN ve SSY-ST çok yakın neticeler vermektedir. MOY de SY-LN ve SSY-ST ile benzer sonuçlar vermiştir ve her üç yöntem ile elde edilen dağılımlar gerçek dağılıma benzerdir.



Şekil 3.9 Bozcaada verileri için yıllık kümülatif hız dağılımları

Şekil 3.10 ile benzer dağılım grafiği Kumköy istasyonundan alınan veriler kullanılarak gösterilmiştir. Bu istasyon verisi için GM 3 m/s'nin altındaki değerler için en yakın neticeleri vermiş, üstündeki değerler için gerçek dağılımından düşük olasılık değerlerinde kalmıştır. Diğer yöntemler ise 4 m/s altındaki hızlarda gerçek

dağılımın üstünde olasılık değerleri verirken 4 m/s üstündeki hızlar için gerçek dağılımın altında olasılık değerleri ve birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 3.10 Kumköy verileri için yıllık kümülatif hız dağılımları

Dağılımların kıyaslanmasında net bir sonuç elde etmek için R^2 regresyon katsayısı (coefficient of determination) kullanılmıştır. R^2 katsayısının tanımı denklem (3.48) ile gösterilmiştir [30].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^V (F_{i,gerçek} - F_{i,Weibull})^2}{\sum_{i=1}^V (F_{i,gerçek} - F_{ortalama})^2} \quad (3.48)$$

R^2 katsayısı gerçek dağılım ile Weibull dağılımlarının kıyaslanması için Weibull dağılımının bir ortalama değer ile olan toplam farkının Gerçek dağılımının aynı ortalama değerle farkının oranıdır. Weibull dağılımı gerçek dağılıma ne kadar yakın olursa R^2 değeri de 1 değerine yaklaşmaktadır. Dağılımlar arasındaki farklılıklar kümülatif dağılımın 0.9 değerinin altında daha belirgindir. 0.9-1.0 değerleri arasında

dağılım düşük eğimli, düşük hatalı ve çok yakın değerler aldığından bu kısmın denklem (3.48) kullanılırken hesaba katılması yöntemler arasındaki farklılıkların gözlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle denklem (3.48)'de toplamalar 1m/s'den F fonksiyonunun 0.9 olduğu noktaya kadar hesaplanarak Tablo 3.4 oluşturulmuştur. F fonksiyonunun 0.9 olduğu noktaya kadar hesap yapıldığı 0.9 indisi ile belirtilmiştir. Bu durumda denklem (3.48) 'deki $F_{ortalama}$ değeri, kümülatif fonksiyonun 0.9'dan önceki en büyük değerinin yarısına eşit olmaktadır.

Tablo 3.4 Bozcaada verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2

	Gerçek	MOY	EEFY	SSY-ST	SSY-LN	GM
$R^2_{0.9}$	1.000	0.997	0.990	0.997	0.997	0.991
k	-	1.72	1.98	1.76	1.76	1.69
c [m/s]	-	10.19	10.53	10.22	10.22	0.99
V_m [m/s]	9.10	9.08	9.33	9.10	9.10	9.10

Tablo 3.5 Kumköy verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2

	Gerçek	MOY	EEFY	SSY-ST	SSY-LN	GM
$R^2_{0.9}$	1.000	0.979	0.978	0.977	0.978	0.933
k	-	1.56	1.45	1.46	1.46	1.60
c [m/s]	-	6.07	5.94	5.98	5.98	0.92
V_m [m/s]	5.41	5.45	5.38	5.42	5.42	5.42

R^2 değerleri göz önüne alınarak Kumköy istasyonu verileri için en iyi neticenin MOY ile alındığı görülmektedir. Bozcaada verileri için ise MOY, SSY-ST ve SSY-LN birbirine eşit ve en yakın neticeleri vermiştir. Tüm istasyon verileri için kullanılacak ortak yöntemin seçimi için ise tüm istasyonların yıllık verileri için kümülatif fonksiyonun 1.0 değerini aldığı noktaya kadar R^2 katsayıları kıyaslanmıştır. F fonksiyonunun 1.0 olduğu noktaya kadar hesap yapıldığı 1.0 indisi ile belirtilmiştir. Bu durumda $F_{ortalama}$ değeri kümülatif fonksiyonun 1.0'dan önceki en büyük değerinin yarısına eşit olmaktadır. Tablo 3.6 ile bu katsayıların tüm istasyon verileri için aritmetik ortalaması ve R^2 katsayısının aldığı en küçük değer gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Tüm istasyonların yıllık verileri için R^2

	MOY	EEFY	SSY-ST	SSY-LN	GM
Ortalama $R^2_{1.0}$	0.996	0.994	0.996	0.996	0.991
En Düşük $R^2_{1.0}$	0.975	0.960	0.970	0.968	0.943

Ortalama R^2 göz önüne alınarak yöntemlerin tamamı hem birbirlerine hem de gerçek veriye yakın neticeler vermektedir. MOY, SSY-ST ve SST-LN en iyi ve eşit yaklaşıklıkla gerçek veriyi en iyi temsil eden Weibull faktörlerinin elde edilmesini sağlamıştır. GM metodu ise gerçek veriden en uzak neticeleri vermiştir. Ancak GM kullanılırken hesap için seçilen hız aralığı büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada olduğu gibi birçok farklı ölçüm istasyonuna ait veri için ortak yöntem seçimi yapılmayarak, bir grup veri üzerinde çalışıldığında GM hesap aralığı bu veriye uygun şekilde seçilerek daha iyi neticeler elde edilebilir.

Bu çalışmada MOY, SSY-ST ve SST-LN arasında bir seçim yapılması için farklı istasyon verileri arasında elde edilen en düşük R^2 katsayısı dikkate alınarak maksimum olasılık yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

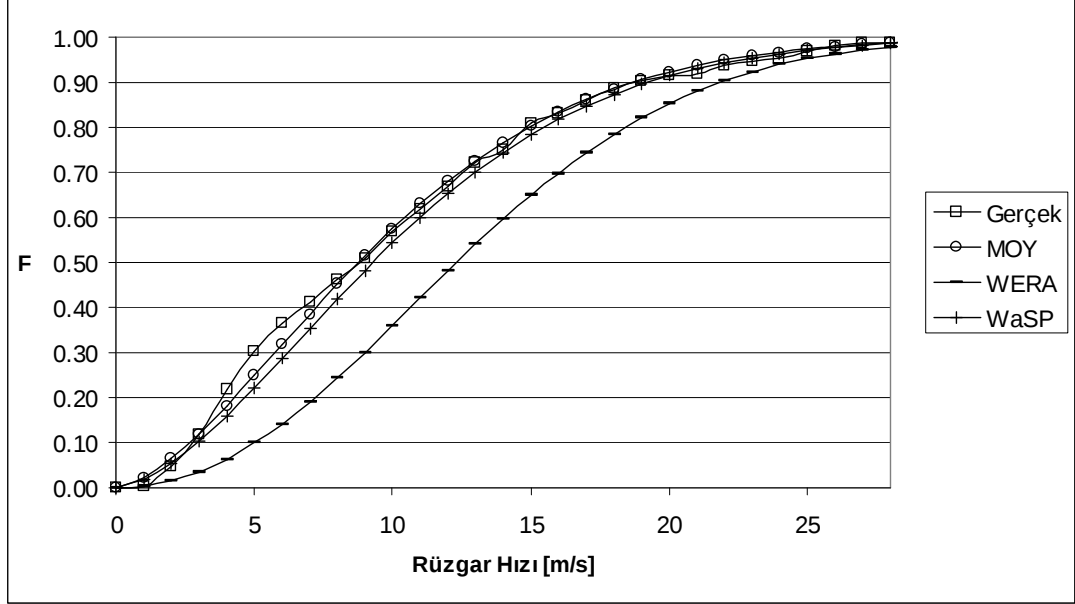
Maksimum olasılık yöntemi ile elde edilen neticeler WERA ve WaSP paket programları ile karşılaştırılmıştır. Programların mevcut kopyalarındaki kısıtlamalar nedeniyle karşılaştırma sadece bir aylık veri ile yapılabilmektedir. Örnek olarak Bozcaada ve Kumköy istasyonlarında Ocak ayı içerisinde toplanmış rüzgar hızı verisi kullanılmıştır.

Tablo 3.7 ile Bozcaada istasyonu Ocak verileri ile yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir. $R^2_{0.9}$ katsayısı göze alındığında en iyi sonucun MOY ile elde edildiği görülmektedir. İkinci en iyi netice ise yaklaşık %1 fark ile WaSP programı kullanılarak bulunmuştur. Ortalama hızlar açısından ise MOY ve WaSP gerçek değere yakın neticeler verirken WERA yaklaşık 3 m/s yüksek bir ortalama hız sonucu vermiştir.

Tablo 3.7 Bozcaada Ocak verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2

	Gerçek	MOY	WEA	WaSP
k	-	1.58	2.10	1.65
c [m/s]	-	11.04	14.68	11.60
V_m [m/s]	9.88	9.91	13.00	10.37
$R^2_{0.9}$	1.000	0.995	0.694	0.984

Şekil 3.11 ile Bozcaada verileri için Ocak ayı kümülatif hız dağılımları gösterilmiştir. Gerçek dağılıma en yakın netice MOY ile elde edilmiştir. WaSP programı ile hesaplanan dağılım MOY sonucuna çok yakın netice verirken WERA programı ile elde edilen dağılım nispeten gerçek veriden daha uzak ve yüksek ortalamalar verecek nitelikte olduğu görülmüştür.



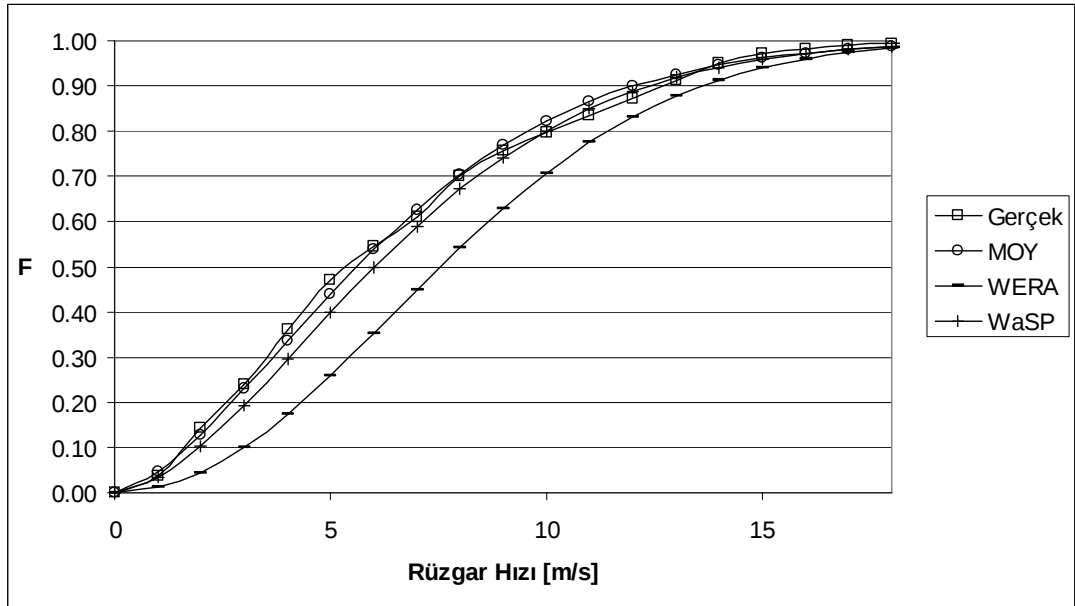
Şekil 3.11 Bozcaada verileri için Ocak ayı kümülatif hız dağılımları

Tablo 3.8 ile Kumköy istasyonu Ocak verileri ile yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir. $R^2_{0.9}$ katsayısı göze alındığında en iyi sonucun MOY ile elde edildiği görülmektedir. İkinci en iyi netice ise Bozcaada verisi için olduğu gibi %1 fark ile WaSP programı kullanılarak bulunmuştur. Ortalama hızlar açısından ise MOY ve WaSP gerçek değere yakın neticeler verirken WERA yaklaşık 1.5 m/s yüksek bir ortalama hız sonucu vermiştir.

Tablo 3.8 Kumköy Ocak verileri için ortalama hız, Weibull faktörleri ve R^2

	Gerçek	MOY	WERA	WaSP
k	-	1.57	2.04	1.67
c [m/s]	-	7.07	9.03	7.50
V_m [m/s]	6.34	6.35	8.00	6.70
R²_{0.9}	1.000	0.996	0.807	0.986

Şekil 3.12 ile gösterilen Kumköy istasyonu için çizilen kümülatif dağılımlarda MOY ile ne iyi netice elde edilmiştir. MOY ile hesaplanan dağılım 6 m/s altındaki hızlarda gerçekten daha düşük olasılıklı bir dağılım verirken, 6-14 m/s aralığında gerçek değerlerden daha yüksek olasılıklı bir dağılım vermiştir. 14 m/s üstünde ise ufak bir farkla gerçek dağılımdan daha ufak olasılık değerleri vermektedir. WaSP ile hesaplanan dağılım da gerçek ve MOY dağılımına yakındır. 10 m/s altında dağılım gerçek dağılımdan daha küçük olasılık değerlerinde kalmakta, 10-14 m/s arasında gerçek dağılımdan daha yüksek olasılıklarda sonuç vermekte ve 15 m/s hızından itibaren MOY sonuçları ile çakışmaktadır. WERA programı ile elde edilen dağılım ise Bozcaada verilerinde olduğu gibi nispeten gerçek veriden daha uzak ve yüksek ortalamalar verecek nitelikte olduğu görülmüştür.

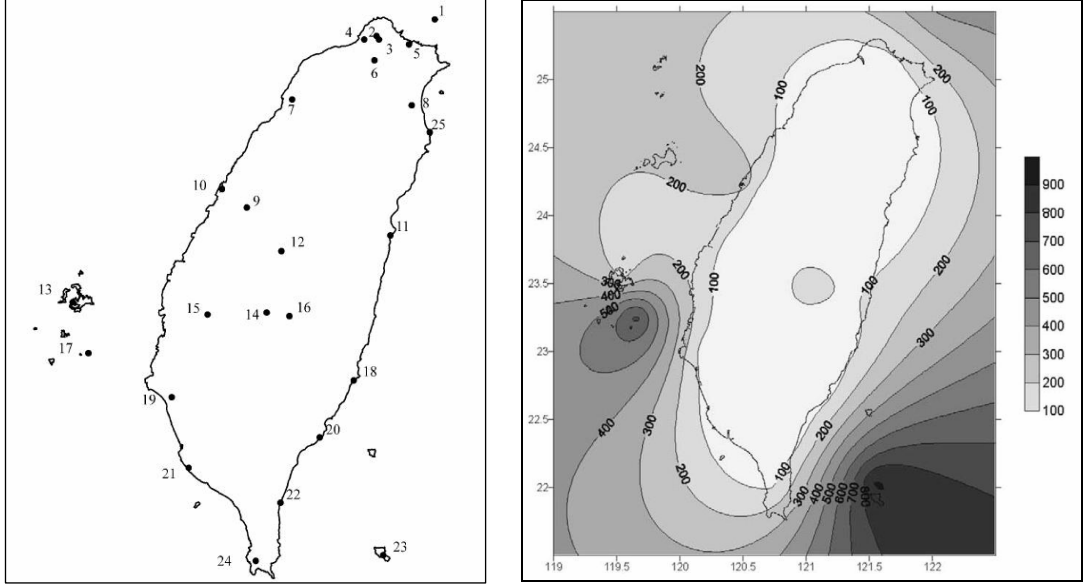


Şekil 3.12 Kumköy verileri için Ocak ayı kümülatif hız dağılımları

3.3. Kriging Metodu

Bu çalışmada veri alınan noktalar ve dolayısıyla hesaplama sonuçlarının temsil ettiği noktalar 2 boyutlu Türkiye haritası üzerinde birçok farklı konumdadır (Bakınız Şekil 3.1). Bu noktaların konumları herhangi bir düzene uymamaktadır. Nokta sayısının çokluğu bu tip sonuç verilerinin hem sunumunu hem de anlaşılır olmasını zorlaştırmaktadır. Bu durumda en uygun yöntem verilerin iki boyutlu bir düzlem üzerinde eş değer alan dağılımı olarak gösterilmesidir. Bu gösterim örneğin rüzgar

hızı için harita üzerinde yapıldığında rüzgar hızı atlası olarak adlandırılır. Örnek olarak Şekil 3.13 ile verilen Tayvan meteoroloji istasyonlarında toplanmış veri ve rüzgar güç akısı atlası ve Şekil 1.4 ile gösterilen Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyeli Atlası rüzgar dağılımı gösterilebilir [18, 8].



Şekil 3.13 Tayvan meteoroloji istasyonları ve rüzgar güç akısı [W/m^2]

Bu çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları arasında kalan alanlar için rüzgar dağılımlarını etkileyen coğrafi yeryüzü şekilleri gibi bilgiler mevcut olmadığından bilinen noktalar arasında kriging tekniği ile interpolasyon yapılmıştır. Hesaplamalar Sidler, R. tarafından bitirme tezi için yazılmış olan MATLAB programı ile yapılmıştır. Program sıradan kriging (ordinary kriging) yöntemini kullanmaktadır [31].

Kriging jeo-istatistik konularda kullanılmak üzere örneğin birkaç noktada hakkında bilgi bulunan bir madenin bulunduğu diğer muhtemel noktaların tahmininde kullanılmıştır. Kriging kelimesi optimum tahmin anlamında kullanılmaktadır [32]. Hesaplamalarda iki ana kabul yapılmaktadır. Göz önüne alınan alanın büyüklüğünden ve bilinen noktalarının konumlarından bağımsız olarak değişkenin bu alandaki aritmetik ortalaması sabittir. İkinci olarak iki ayrı noktada değişkenin değerleri arasındaki ilişki sadece noktalar arasındaki mesafeye bağlıdır. Noktaların mutlak konumlarından bağımsızdır. Sıradan kriging yönteminde $\vec{u}$ konum vektörü ve λ_i kriging ağırlık katsayıları olmak üzere bilinen $X(\vec{u}_i)$ değerlerinden

bilinmeyen $\hat{X}(\vec{u}_0)$ değerin hesaplanması denklem (3.49) ile gösterilmiştir. Bilinmeyen noktadaki değer tanımlanan çevre içinde kalan noktalardaki değerler kriging katsayıları ile ağırlıklandırılarak hesaplanır. Yakın noktalardaki noktaların ağırlığı fazla, uzak noktaların ağırlıkları azdır [31].

$$\hat{X}(\vec{u}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i X(\vec{u}_i) \quad (3.49)$$

Sıradan kriging için λ_i katsayıları denklem (3.50) ile verilen şartı sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.50)$$

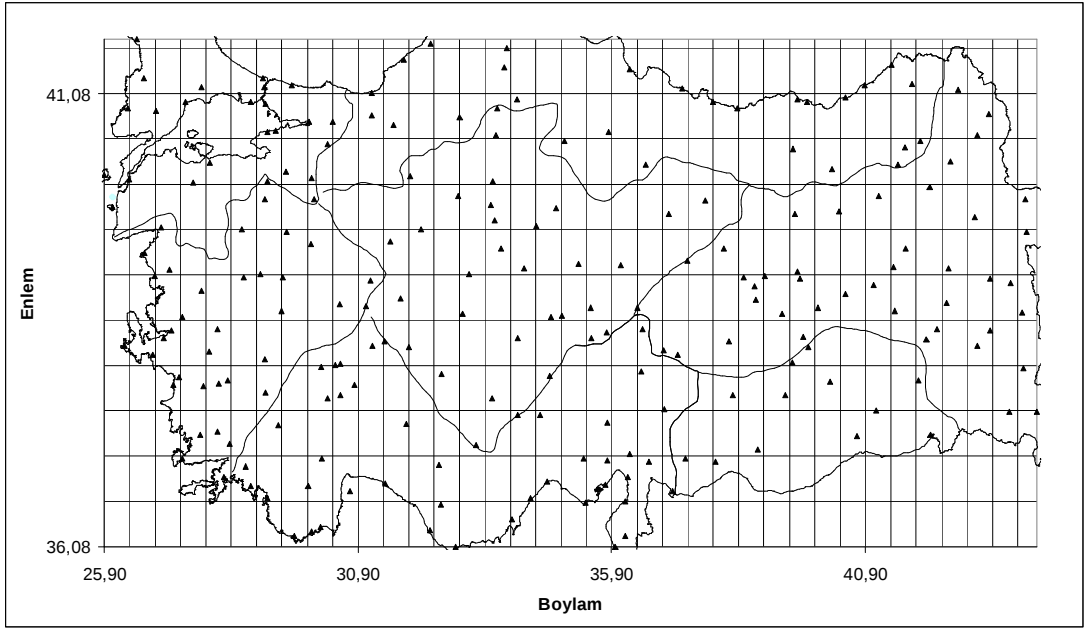
Tahmin edilen değerler ve gerçek değerler arasında standart sapma σ , gerçek değerler bilinmediğinden direkt hesaplanamaz. Bu nedenle standart sapma istatistiksel ortak değişim (covariance) fonksiyonları yardımı ile yazılır. Bu çalışmada denklem (3.51) ile gösterilen Von Kármán tipi ortak değişim fonksiyonu kullanılmıştır [31]. Denklemden K_ν modifiye Bessel fonksiyonu, a bölge yarıçapıdır.

$$C(\tau) = \frac{\sigma^2}{2^{\nu-1} \Gamma(\nu)} (\tau/a)^\nu K_\nu(\tau/a) \quad (3.51)$$

λ_i katsayıları standart sapmayı en küçük yapacak şekilde hesaplanır. Bu amaçla denklem (3.52) ile gösterilen türev sıfıra eşit olacak şekilde oluşan denklemler çözülerek λ_i katsayıları bulunur.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \lambda} = 0 \quad (3.52)$$

Kriging hesabı için kullanılan çözüm ağı (grid) Şekil 3.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Kriging için kullanılan çözüm ağı (grid)

4. NETİCELER VE YORUMLAR

4.1.Giriş

Bu bölümde çalışma kapsamında yazılmış olan FORTRAN kodu ile elde edilen sonuçlar sunulmuş ve sonuçlar hakkında yorumlar yapılmıştır. Sonuçlar 8 ayrı başlık altında verilmiştir. Bu başlıklardan birincisi Türkiye genelindeki tüm istasyonlar için yapılan tespitler, diğer 7 bölüm ise bu istasyonların bulundukları coğrafi bölgelere göre gruplanarak yapılan tespitleri kapsamaktadır. Türkiye genelinde tüm istasyonların sonuçlarının verildiği birinci bölümde tablolar ve şekiller ile ilgili detaylı açıklama yapılmıştır. Diğer 7 bölümde ise aynı düzende ve yöntemle oluşturulmuş tablo ve şekiller kullanılacaktır. Birinci bölümde yapılan açıklamalar geçerlidir.

Her bölümde öncelikle rüzgar güç akısına göre en yüksek değerlere sahip istasyonlar sıralanacak, bu istasyonlar için enerji akısı ve $R^2_{1.0}$ değerleri verilecektir.

Güç akısı için genel anlamda bir değerlendirme Tablo 4.1 ile verilmiştir [13].

Tablo 4.1 Rüzgar güç akısı sınıflandırması

P / A	Değerlendirme
$< 100 \text{ W/m}^2$	Zayıf
$\approx 400 \text{ W/m}^2$	İyi
$> 700 \text{ W/m}^2$	Çok iyi

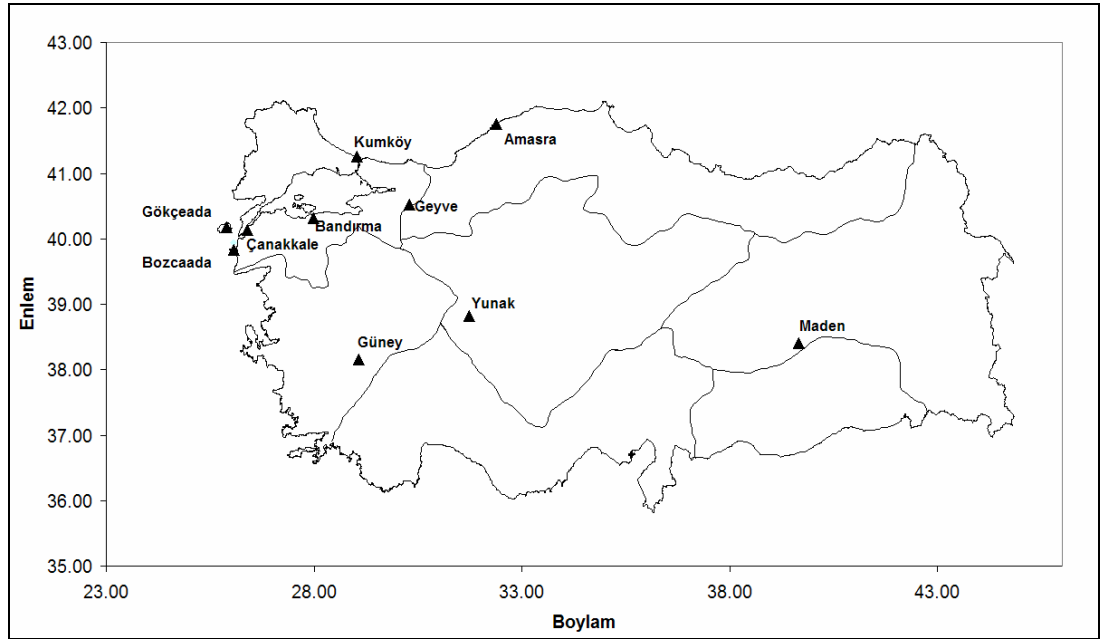
Ortalama hız, en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hız açısından da en büyük değerlerdeki istasyonlar verilmiştir. Güç akısı açısından en iyi değerlere sahip istasyonlara ait yıllık şekil faktörleri, ölçek faktörleri, ortalama hızlar ve güç akıları da tablolar halinde sunulmuştur.

Tablolarda %S olarak gösterilen değer 0m/s olan ölçümlerin bir yıl içindeki yani 8760 saat içerisindeki yüzdelik oran olarak kapladığı zamandır.

Weibull olasılık fonksiyonları gerçek ölçüm verileri için sıfır ölçüm değerlerini kapsamamaktadır. Bu nedenle gerçek ve Weibull olasılık fonksiyonlarının karşılaştırıldığı eğrilerin çiziminde 0 m/s hız değerlerinin olasılığının $S/100$ olduğu değerlendirilerek düzenleme yapılmıştır [33].

4.2. Türkiye’deki Tüm İstasyonlar

Türkiye’de rüzgar hızı ölçüm verileri toplanmış olan tüm istasyonlara ait veriler değerlendirilerek enerji akısı bakımından en yüksek değerlere sahip ilk on istasyon belirlenmiştir. Şekil 4.1 ile bu ilk on istasyonun konumları gösterilmiştir. Diğer istasyonların tamamının konumları ilgili coğrafi bölgeye ait başlık altındaki şekiller ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Türkiye’deki en yüksek enerji akısına (E/A) sahip istasyonların konumları

Bu istasyonlara ait yıllık enerji akısı, güç akısı, R^2_{10} katsayıları ve 0 m/s ölçüm yüzdelik oranları (S) Tablo 4.2 ile verilmiştir.

Bozcaada istasyonu enerji akısı açısından Türkiye’deki en yüksek değere sahiptir. Güç akısı da Tablo 4.1 ile verilen sınıflandırmaya göre çok iyi olarak tanımlanabilir. Bozcaada çok iyi tanımlamasına uyan tek ölçüm noktasıdır. 224 ölçüm istasyonu arasında iyi olarak tanımlanabilecek 4, zayıf tanımının üstünde kalan ise toplam 25 istasyon bulunmaktadır.

İyi tanımındaki istasyonlar Amasra, Maden, Çanakkale ve Gökçeada'dır. Enerji akısı açısından ilk on istasyon arasında nispeten en fazla durgun hava hızlarının gözlemlendiği istasyon yılın %4.58'i ile Bandırma'dır.

Tablo 4.2 Türkiye'deki ölçüm istasyonlarının yıllık enerji akılarına göre sıralaması (ilk 10)

	E/A [MJ/m ²]		P/A [W/m ²]	R ² _{1.0}	S%
1	Bozcaada	32179	1020	0.999	0.05
2	Amasra	18236	578	0.999	0.00
3	Maden	14534	461	0.999	0.05
4	Çanakkale	13390	425	0.999	0.21
5	Gökçeada	10322	327	0.992	0.08
6	Bandırma	8944	284	0.989	4.58
7	Geyve	8039	255	0.975	0.40
8	Kumköy	7981	253	0.992	0.10
9	Yunak	7040	224	1.000	0.01
10	Güney	6409	203	0.996	0.03

Bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk on istasyon Tablo 4.3 ile verilmiştir. En büyük enerji akısına sahip Bozcaada istasyonu bu üç hız değerinde de yine Türkiye'de en yüksek değerlere sahip ölçüm noktasıdır. Hız değerlerinde üst sıralardaki bazı istasyonların enerji sıralandırılmasında alt konumlarda bulunmaları en az yıllık ortalama kadar yıl içindeki dağılımın da önemli olduğuna işaret etmektedir. Örneğin Samandağ istasyonu yıllık ortalama hız açısından en yüksek değere sahip altıncı istasyon iken yıllık enerji akısı açısından ilk on içerisinde yer almamaktadır.

Tablo 4.3 Türkiye'deki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 10)

	V _m [m/s]		V _{mp} [m/s]		V _{mE} [m/s]	
1	Bozcaada	9.08	Bozcaada	6.16	Bozcaada	15.93
2	Amasra	6.99	Samandağ	4.82	Amasra	13.84
3	Maden	6.98	Güney	4.31	Maden	13.12
4	Çanakkale	6.56	Maden	4.07	Geyve	12.58
5	Güney	5.67	Çanakkale	4.00	Çanakkale	12.10
6	Samandağ	5.51	Geyve	4.00	Gökçeada	12.09
7	Kumköy	5.45	Yatağan	4.00	Bandırma	11.32
8	Gökçeada	5.35	Köyceğiz	4.00	Yunak	10.47
9	Yunak	5.28	Mazgirt	4.00	Kumköy	10.29
10	Bandırma	5.21	İnebolu	3.94	Ağın	9.69

Tablo 4.4 Türkiye’deki en yüksek enerji akıllı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

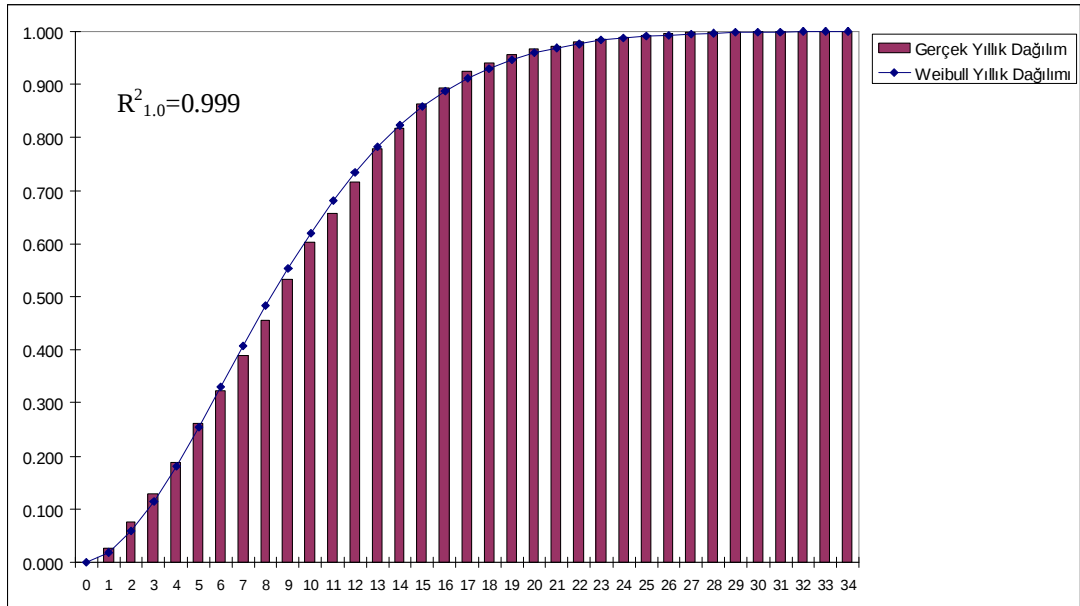
	Amasra		Bandırma		Bozcaada		Çanakkale		Geyve		Gökçeada		Güney		Kumköy		Maden		Yunak	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	1.48	8.63	0.97	5.02	1.58	11.04	1.36	7.35	0.87	3.05	1.06	5.93	1.68	6.24	1.57	7.07	1.23	7.13	1.31	5.87
Şubat	1.50	8.22	1.43	6.60	1.84	12.80	1.46	9.19	1.10	3.13	1.34	7.70	1.72	7.03	1.28	8.31	1.17	5.50	1.33	7.63
Mart	1.54	9.81	1.10	5.42	1.61	10.05	1.54	7.99	1.01	4.45	1.19	5.81	1.89	5.84	1.75	6.16	1.28	6.73	1.38	7.03
Nisan	1.39	7.79	1.30	5.12	-	-	1.63	7.99	0.95	3.62	1.18	5.38	1.86	6.81	1.78	5.66	1.59	5.90	1.48	6.19
Mayıs	1.40	5.56	1.19	4.34	1.74	8.59	1.54	5.92	0.97	4.45	1.40	4.33	1.90	5.59	1.67	4.00	1.67	7.13	1.54	5.35
Haziran	1.40	6.10	1.69	6.10	1.86	9.05	1.88	6.33	1.13	5.82	1.49	5.09	2.38	6.99	1.88	4.53	2.02	9.61	2.11	5.29
Temmuz	1.30	7.41	1.74	6.64	1.68	9.71	1.93	7.07	1.07	5.62	1.43	5.84	2.46	6.94	1.72	5.08	2.08	9.81	2.16	5.94
Ağustos	1.49	6.53	1.82	6.78	1.64	8.77	1.96	7.02	1.09	5.94	1.41	5.33	2.19	7.13	2.08	4.91	2.00	8.59	2.07	6.19
Eylül	1.82	7.11	1.34	4.90	1.89	8.54	2.08	5.76	0.95	3.80	1.28	5.23	1.93	6.41	1.60	6.43	2.13	9.02	1.92	5.00
Ekim	1.59	8.97	1.20	6.20	1.77	11.28	1.90	7.08	0.95	3.18	1.18	6.43	2.05	6.70	1.82	6.48	1.88	8.92	1.71	4.86
Kasım	1.63	7.16	1.55	5.10	2.21	10.63	1.67	7.21	1.05	2.42	1.54	6.20	1.95	5.78	1.59	7.55	1.68	6.74	1.47	5.85
Aralık	1.94	9.57	1.41	5.55	1.97	11.35	1.75	9.10	1.07	2.94	1.52	6.27	1.60	5.20	1.85	6.89	1.45	7.88	1.04	4.74
Yıllık	1.47	7.72	1.33	5.66	1.72	10.19	1.61	7.32	0.97	3.97	1.28	5.77	1.90	6.39	1.56	6.07	1.57	7.77	1.47	5.84

Tablo 4.5 Türkiye’deki en yüksek enerji akıllı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Amasra		Bandırma		Bozcaada		Çanakkale		Geyve		Gökçeada		Güney		Kumköy		Maden		Yunak	
	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	7.81	801	5.09	518	9.91	1488	6.74	596	3.26	181	5.80	617	5.57	222	6.35	397	6.67	603	5.42	293
Şubat	7.43	675	6.00	383	11.37	1853	8.33	996	3.03	81	7.07	691	6.27	307	7.71	989	5.21	319	7.01	614
Mart	8.83	1087	5.22	412	9.00	1084	7.20	598	4.44	313	5.48	400	5.18	156	5.49	222	6.23	452	6.42	444
Nisan	7.11	664	4.73	220	-	-	7.15	539	3.70	211	5.09	330	6.05	253	5.04	169	5.29	197	5.60	264
Mayıs	5.06	236	4.09	168	7.65	605	5.33	243	4.52	366	3.95	112	4.96	136	3.58	65	6.37	322	4.82	158
Haziran	5.56	317	5.44	225	8.04	649	5.62	221	5.56	466	4.60	160	6.19	215	4.02	81	8.52	620	4.69	101
Temmuz	6.84	665	5.92	279	8.67	917	6.27	297	5.46	499	5.31	264	6.16	206	4.53	128	8.69	642	5.26	139
Ağustos	5.89	340	6.03	281	7.85	699	6.23	287	5.76	569	4.85	206	6.31	245	4.35	92	7.61	448	5.48	164
Eylül	6.32	323	4.49	179	7.58	532	5.10	149	3.89	243	4.84	242	5.68	202	5.77	289	7.99	487	4.43	94
Ekim	8.05	789	5.83	476	10.04	1337	6.28	304	3.26	144	6.08	560	5.93	216	5.76	245	7.92	536	4.33	100
Kasım	6.41	384	4.59	152	9.41	878	6.44	382	2.37	43	5.58	274	5.13	146	6.78	475	6.02	269	5.29	224
Aralık	8.49	731	5.06	235	10.06	1192	8.11	719	2.87	72	5.65	288	4.66	138	6.12	289	7.14	556	4.67	303
Yıllık	6.99	578	5.21	284	9.08	1020	6.56	425	4.02	255	5.35	327	5.67	203	5.45	253	6.98	461	5.28	224

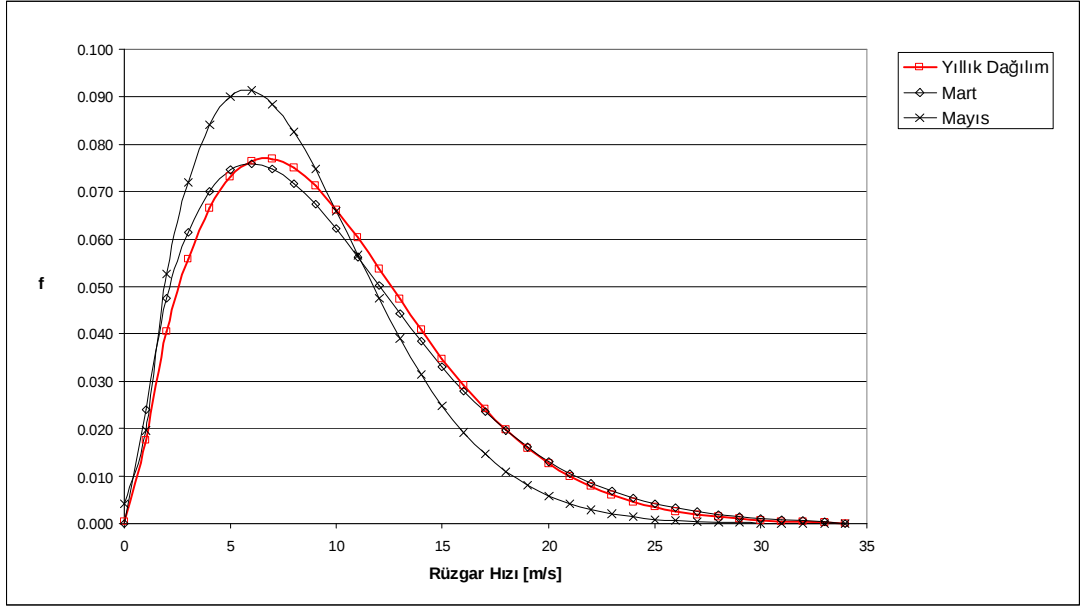
İstasyonlara ait aylık olarak hesaplanmış Weibull faktörleri Tablo 4.4 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.5 ile gösterilmiştir. Bozcaada için Nisan verisi olmadığından bu kısımlar boş bırakılmıştır. Bozcaada için ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ortalama hızların nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. En büyük ortalama hız ve güç akısı Şubat ayında gözlenmiştir. Güç akısı yılın 8 ayı için çok iyi, 3 ayı için iyi olarak sınıflandırılabilir.

İkinci en büyük yıllık enerji akısına sahip olan Amasra istasyonunda ise ortalama hız Mayıs ve Haziran aylarında nispeten daha düşüktür ama genel olarak ortalama hız değeri yıl içinde az değişmektedir. En büyük güç akısı Mart ayında gözlenmiştir.



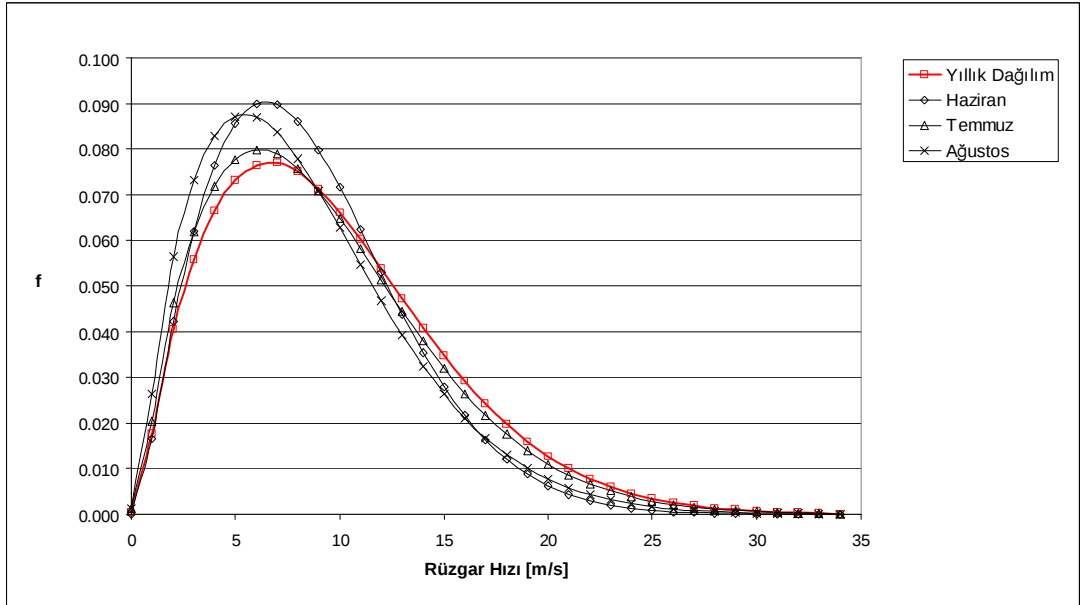
Şekil 4.2 Bozcaada istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Bozcaada istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.2 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 6 m/s altında gerçek dağılımdan daha yüksek, 6-12 m/s aralığında ise gerçek dağılımdan daha düşük olasılıklı hız dağılımı vermiştir. Ancak farklar çok ufaktır ve R²_{1,0} değerinin de gösterdiği gibi Weibull dağılımı Bozcaada verisini büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



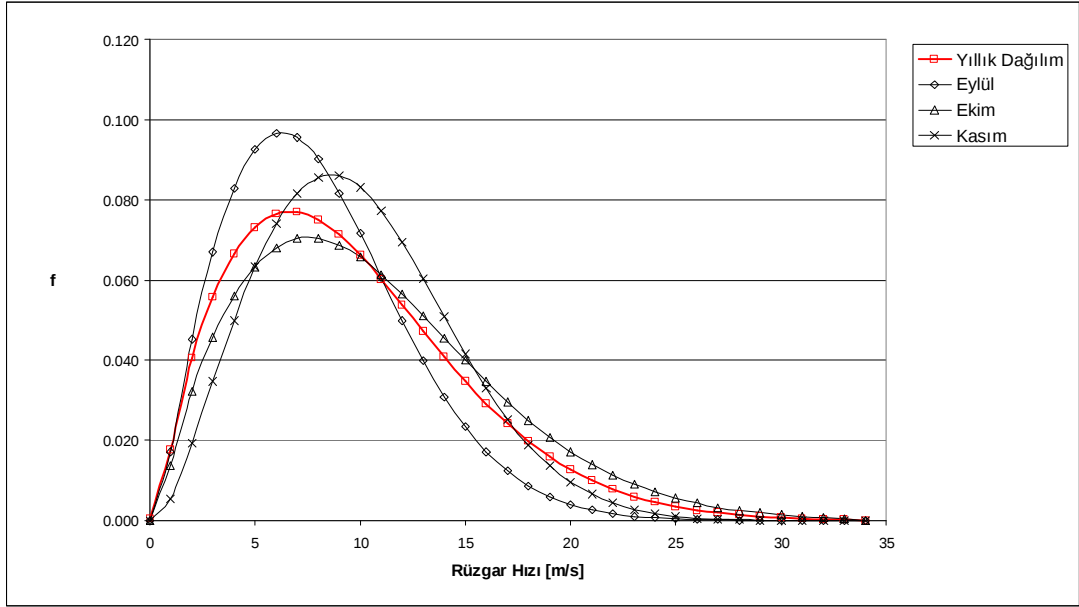
Şekil 4.3 Bozcaada istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Bozcaada istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.3 ile gösterilmiştir. Mart ayı için hız dağılımı yıllık dağılıma çok yakındır. Mayıs ayında ise dağılımın ay ortalaması yakınında toplandığı görülmüştür. 11 m/s üstündeki hızların olasılıkları Mart ayına ve yıllık dağılıma göre daha düşüktür.



Şekil 4.4 Bozcaada istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

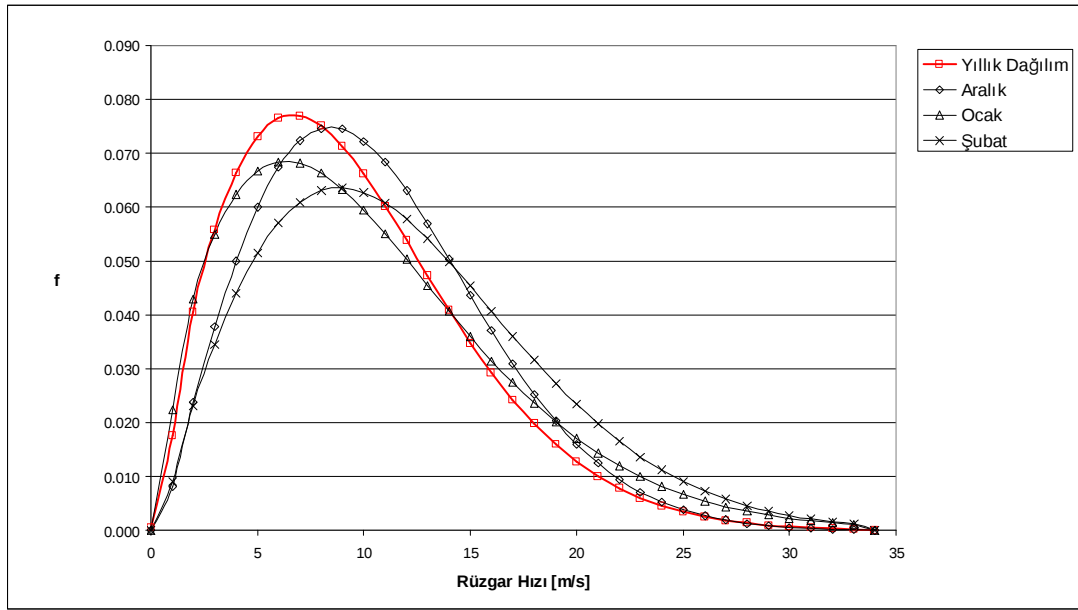
Bozcaada istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.4 ile gösterilmiştir. Yaz mevsiminde yıllık dağılıma en yakın dağılım Temmuz ayında gözlemlenmiştir. Yaz mevsiminde aylık dağılımlar diğer mevsimlere göre daha büyük benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.5 Bozcaada istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Bozcaada istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.5 ile gösterilmiştir. Ekim ayı olasılık dağılımının yıllık dağılıma en yakın olduğu aydır. Ekim ayı aynı zamanda Sonbahar mevsiminde en büyük ortalama hızın gözlemlendiği zamandır. Rüzgar türbinlerinin çalışma aralıklarının yaklaşık olarak 3-5 m/s ile 25 m/s arasında olduğu göze alınırsa Kasım ayı türbin çalışma aralığı için en iyi dağılımı göstermektedir.

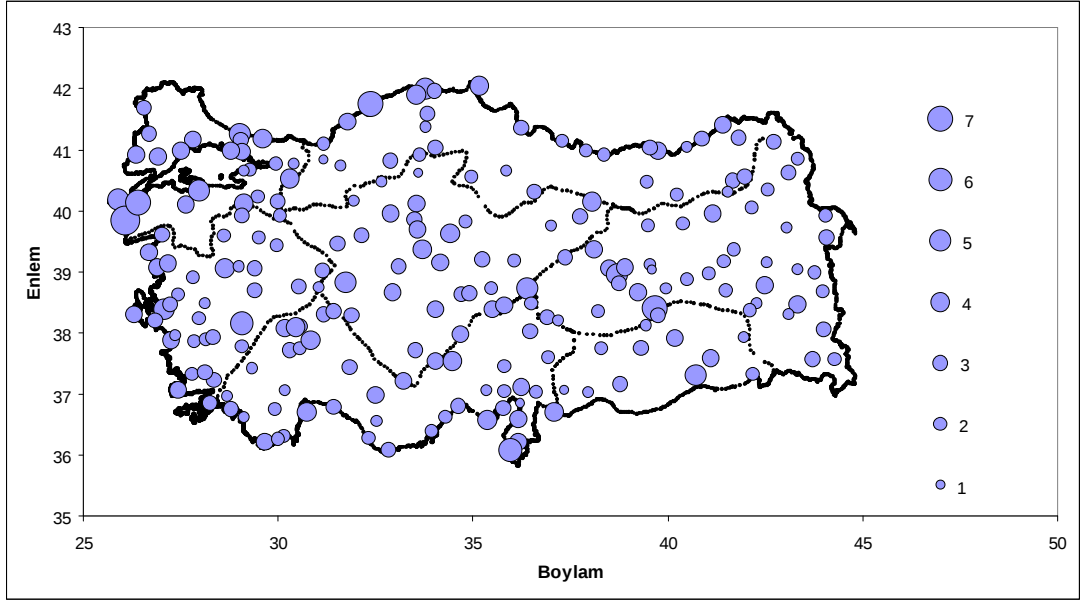
Bozcaada istasyonu için yıllık ve kış ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.6 ile gösterilmiştir. En büyük ortalama hız değerleri kış mevsiminde gözlemlenmiştir. Özellikle Şubat ayında 10 m/s üzerindeki hızların olasılıkları yüksektir.



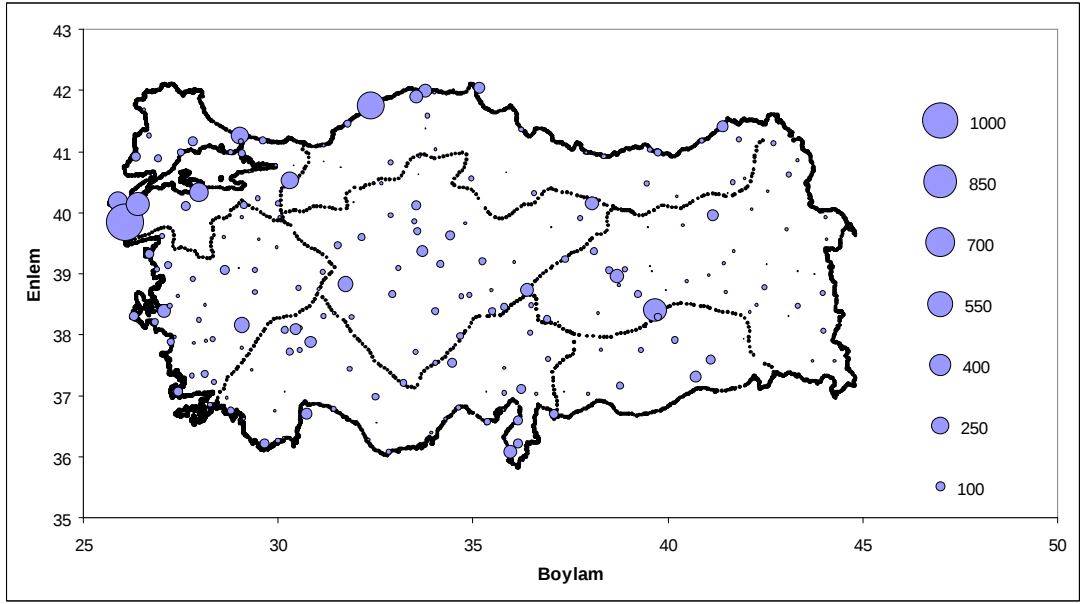
Şekil 4.6 Bozcaada istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Türkiye genelindeki tüm istasyonlar için ortalama hız değerleri Şekil 4.7 ile balon grafik halinde gösterilmiştir. Ortalama hızların büyüklüğü açısından en dikkat çekici konumlar batı Marmara'daki Bozcaada, Gökçeada ve Çanakkale, kuzeybatı Karadeniz'de Amasra, Ege'nin güneyine doğru Güney istasyonu ve batısındaki İzmir, Akdeniz'in güneydoğusundaki Samandağ, İç Anadolu'nun batısındaki Yunak ve doğusundaki Pınarbaşı, Güneydoğu Anadolu'da Mardin ve Doğu Anadolu'nun güneybatısındaki Maden istasyonlarıdır.

Türkiye genelindeki tüm istasyonlar için güç akısı değerleri Şekil 4.8 ile balon grafik halinde gösterilmiştir. Güç akıları açısından istasyonlar arasındaki farklılıklar ortalama hızlara göre çok daha belirgindir. Bu durumun nedeni hız ve güç arasındaki kübik bağıntı ve yıl içindeki hız dağılımı farklılıklarıdır. Bozcaada, Gökçeada, Çanakkale istasyonlarının bulunduğu batı Marmara, kuzeybatı Karadeniz'de Amasra ve güneybatı Doğu Anadolu Maden'deki güç akısı değerleri açık şekilde diğer istasyonlardan büyüktür.



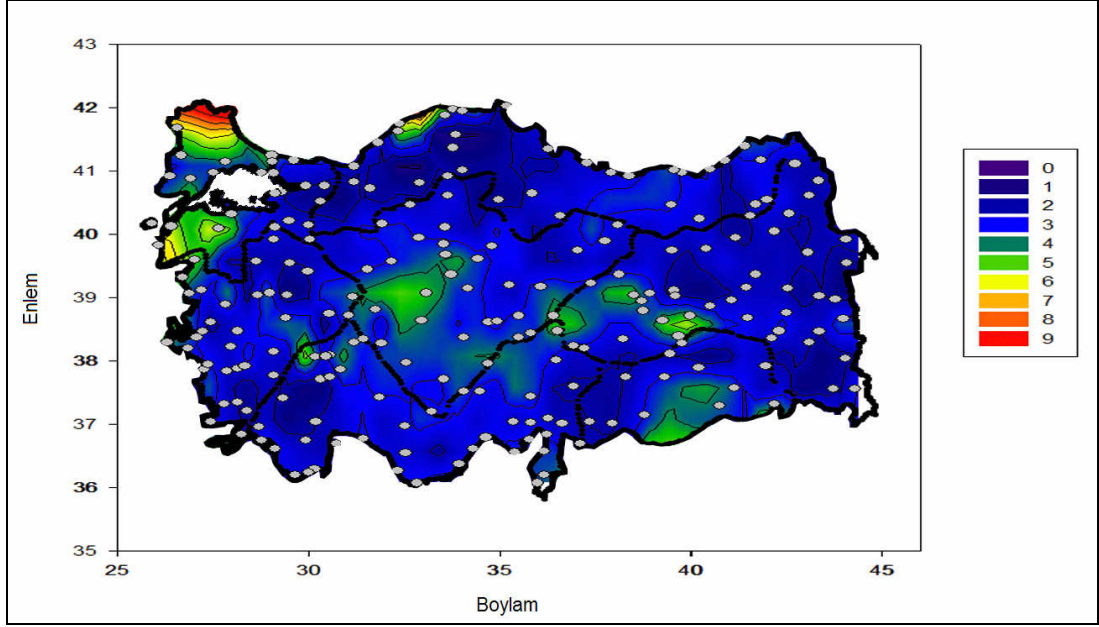
Şekil 4.7 Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]



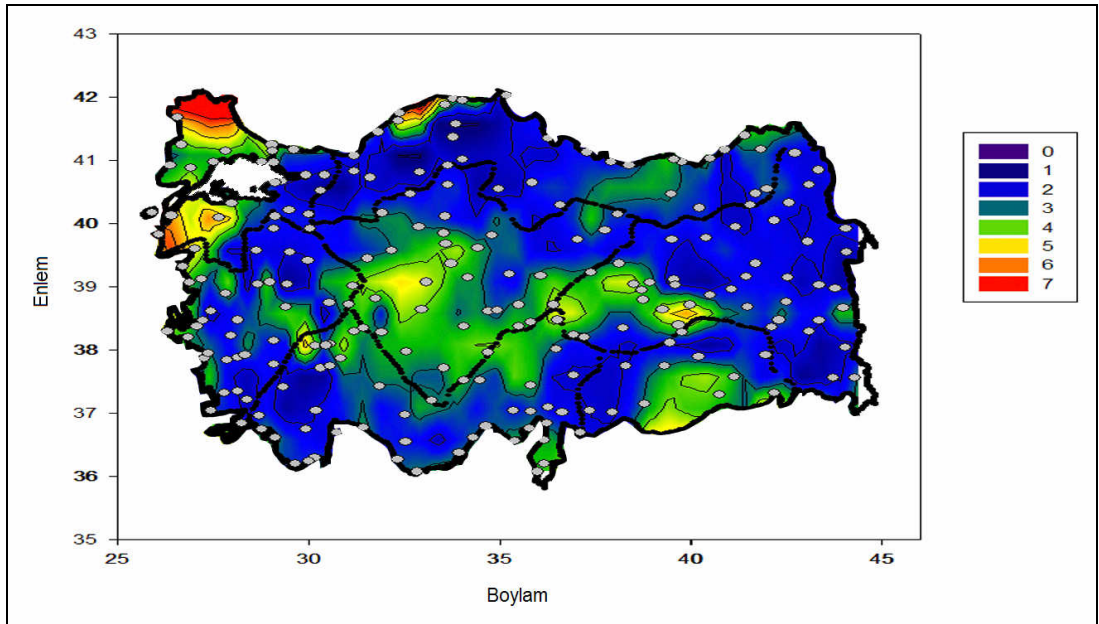
Şekil 4.8 Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]

Türkiye haritası üzerinde sonuçların balon grafiklerle gösterimi noktaların değerlerinin okunması açısından pratik olmamaktadır. Haritanın daha anlaşılır hale getirilmesi için noktasal değerler daha sık ve düzenli bir ağ (grid) üzerine Kriging ile dağıtılmış ve eş değer alanlar (contours) oluşturulmuştur. Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 ile gösterilmiştir. Düşük değerlerin gösterilebilmesi için eş değer alanlar üç ayrı şekilde üç farklı skala ile gösterilmiştir. Gri noktalar ölçüm istasyonlarını göstermektedir. Doğu Ağrı, Iğdır ve Hakkari'nin

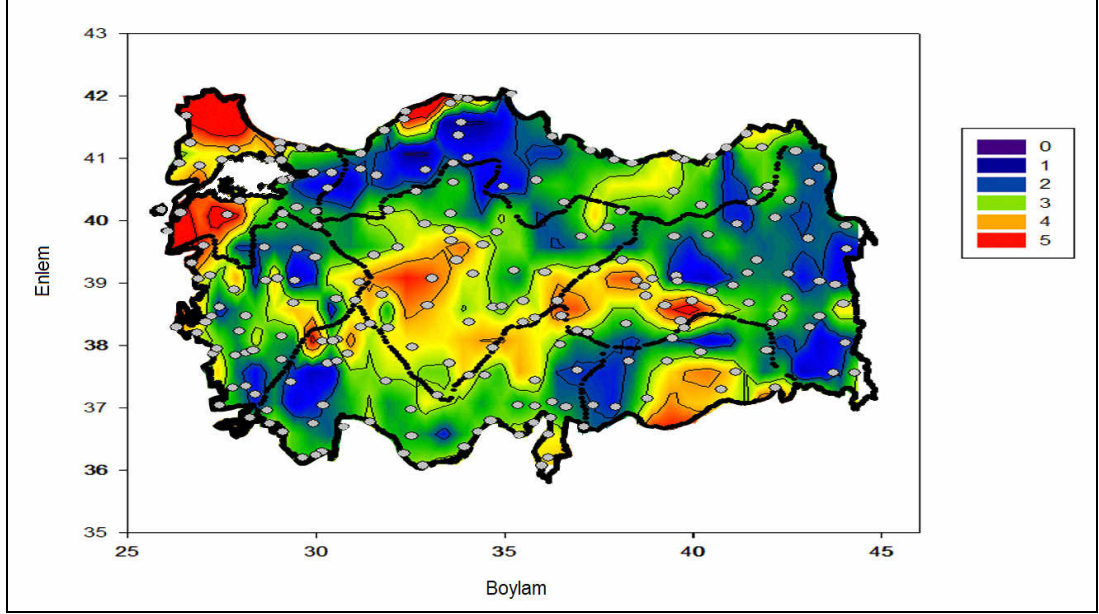
bir kısmına çözüm ağının dışında kaldıklarından değer atanamamıştır. Kuzey Trakya'daki yüksek değerler dikkate alınmamalıdır. Çünkü bu alan Kriging için değeri bilinen ölçüm istasyonlarının dışındaki bölgede kalmaktadır ve bu bölgedeki sonuçlar interpolasyon yerine ekstrapolasyon neticesinde bulunmuştur.



Şekil 4.9 Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]



Şekil 4.10 Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]

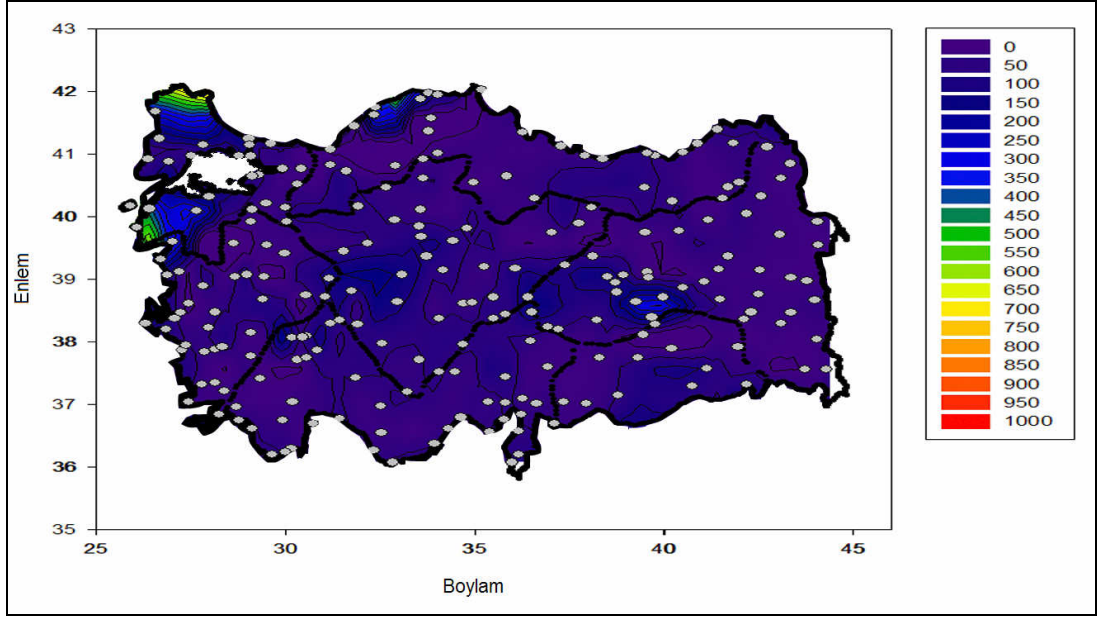


Şekil 4.11 Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızları [m/s]

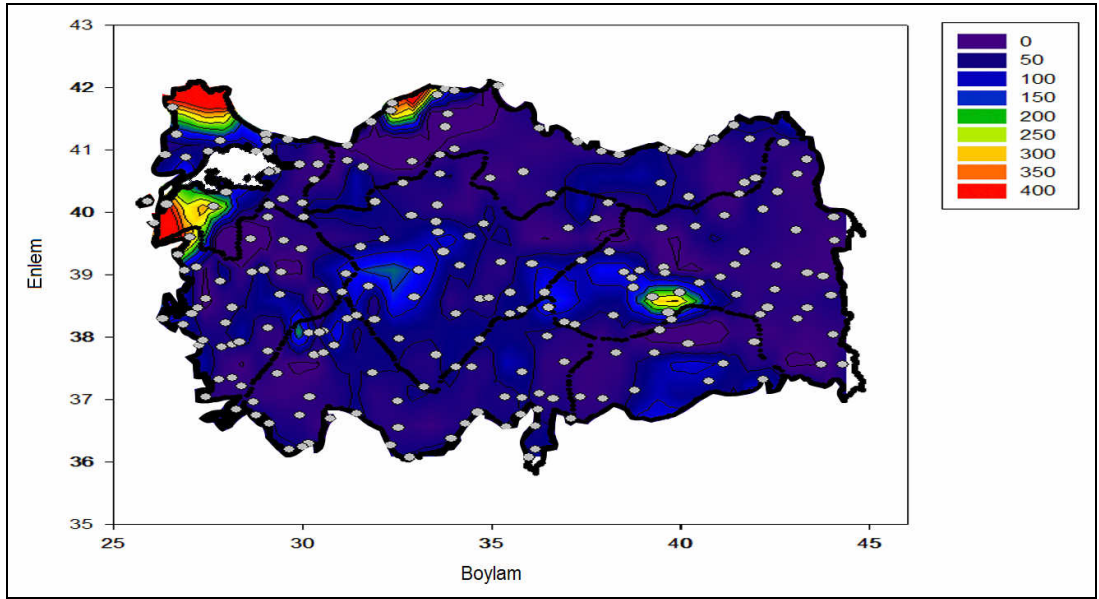
Balon grafiklerde de görüldüğü gibi batı Marmara, kuzeybatı Karadeniz, Ege'nin güneyinde kalan kuzey Denizli, batı İç Anadolu, batı Doğu Anadolu, güneydoğu Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin güneydoğusundaki kısımları yüksek hız değerlerinin gözlemlendiği noktalardır.

Türkiye yıllık ortalama güç akıları Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 ile gösterilmiştir. Düşük değerlerin gösterilebilmesi için eş değer alanlar üç ayrı şekilde üç farklı skala ile gösterilmiştir. Gri noktalar ölçüm istasyonlarını göstermektedir. Doğu Ağrı, Iğdır ve Hakkari'nin bir kısmına çözüm ağının dışında kaldıklarından değer atanamamıştır. Kuzey Trakya'daki yüksek değerler dikkate alınmamalıdır. Çünkü bu alan Kriging için değeri bilinen ölçüm istasyonlarının dışındaki bölgede kalmaktadır ve bu bölgedeki sonuçlar interpolasyon yerine ekstrapolasyon neticesinde bulunmuştur.

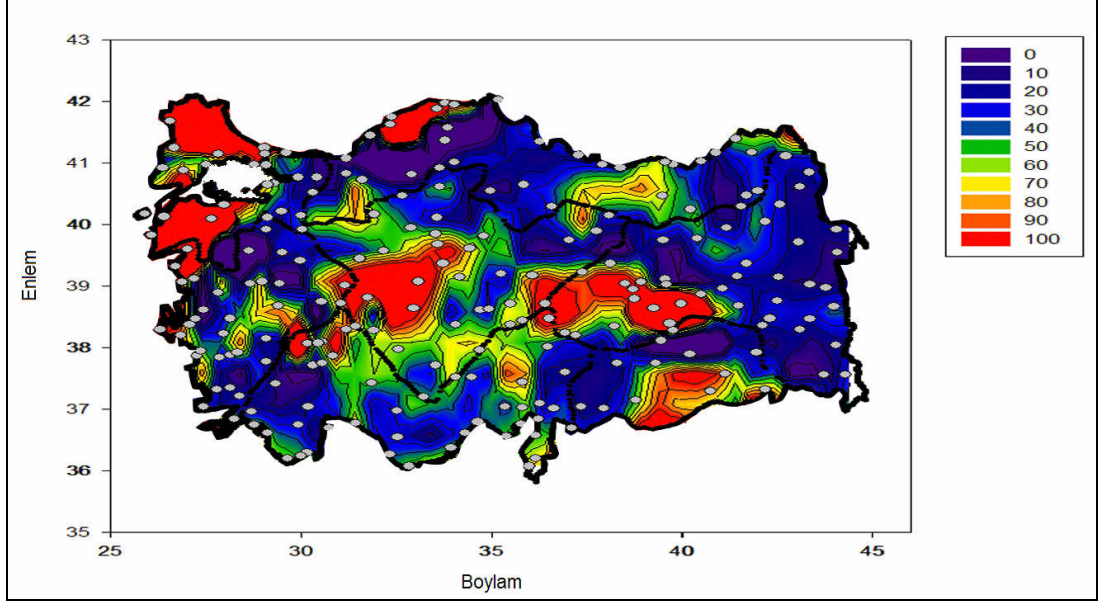
Batı Marmara, kuzeybatı ve kısmen doğu Karadeniz, doğu ve batı İç Anadolu, güney Ege ve Ege sahilleri, güneydoğu Güneydoğu Anadolu, güneybatı Doğu Anadolu, doğu Akdeniz ve Akdeniz sahillerindeki güç akısı değerleri açık şekilde diğer istasyonlardan büyüktür.



Şekil 4.12 Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]



Şekil 4.13 Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]



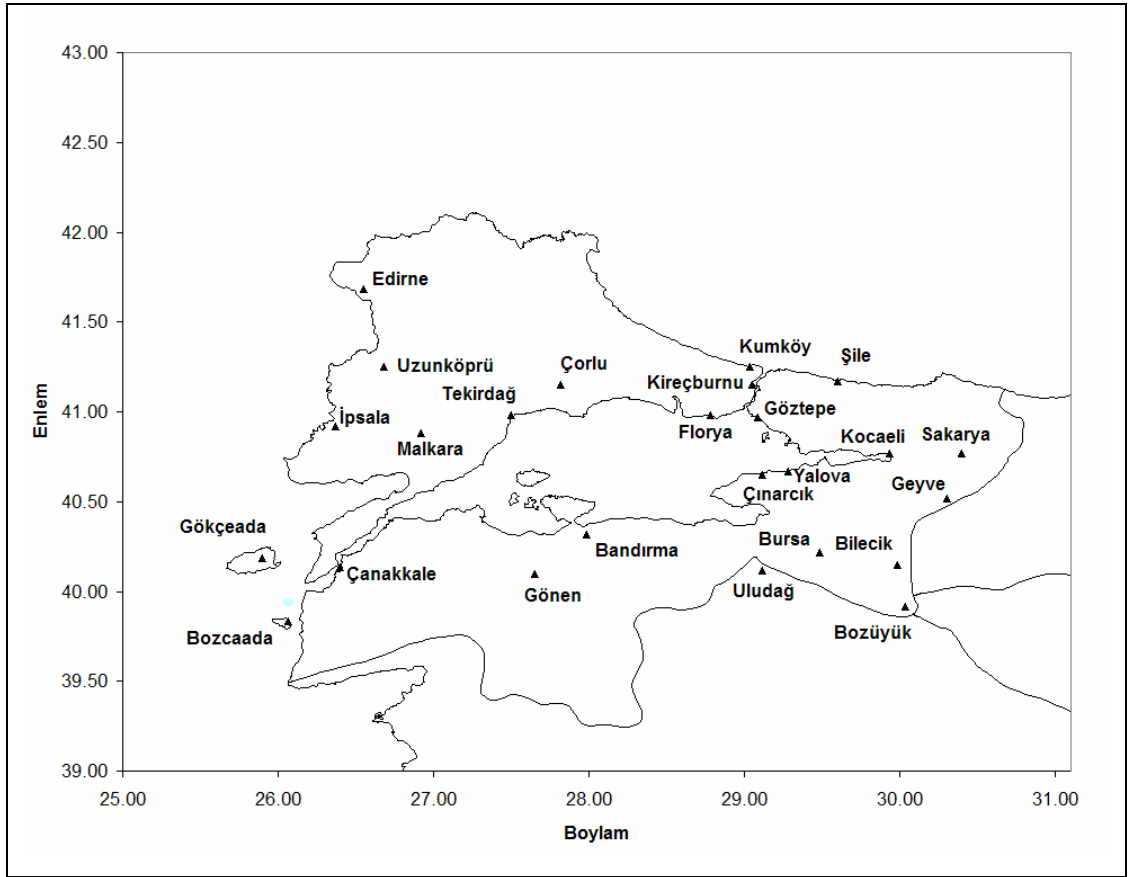
Şekil 4.14 Türkiye yıllık ortalama güç akıları [W/m^2]

4.3.Marmara Bölgesindeki İstasyonlar

Sonuçlar bu bölgedeki 25 adet istasyonun verileri kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Bu ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 4.15 ile gösterilmiştir.

Marmara Bölgesindeki en büyük enerji akısı değerlerine sahip beş istasyon Tablo 4.6 ile gösterilmiştir. İlk sıradaki Bozcaada güç akısı bakımından çok iyi, Çanakkale ve Gökçeada ise iyi olarak sınıflandırılabilir. Bu beş istasyon arasında %4.58 ile Bandırma yıl boyunca en uzun süre durgun hava hızlarının gözlemlendiği istasyondur.

Marmara Bölgesindeki bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk beş istasyon Tablo 4.7 ile gösterilmiştir. Enerji akısı için ilk beş istasyon içerisinde yer almayan Kumköy en yüksek üçüncü ortalama hız değerine sahiptir. En olası hız bakımından Kumköy ve yine enerji akısı için ilk beş içinde yer almayan Şile istasyonları sırasıyla dördüncü ve beşinci sıradadır.



Şekil 4.15 Marmara Bölgesindeki istasyonların konumları

Tablo 4.6 Marmara Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)

	E/A [MJ/m ²]		P/A [W/m ²]	R ² _{1.0}	S%
1	Bozcaada	32179	1020	0.999	0.05
2	Çanakkale	13390	425	0.999	0.21
3	Gökçeada	10322	327	0.992	0.08
4	Bandırma	8944	284	0.989	4.58
5	Geyve	8039	255	0.975	0.40

Tablo 4.7 Marmara Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)

	V _m [m/s]		V _{mp} [m/s]		V _{me} [m/s]	
1	Bozcaada	9.08	Bozcaada	6.16	Bozcaada	15.93
2	Çanakkale	6.56	Çanakkale	4.00	Geyve	12.58
3	Kumköy	5.45	Geyve	4.00	Çanakkale	12.10
4	Gökçeada	5.35	Kumköy	3.15	Gökçeada	12.09
5	Bandırma	5.21	Şile	3.10	Bandırma	11.32

Tablo 4.8 Marmara Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

	Bandırma		Bozcaada		Çanakkale		Geyve		Gökçeada	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	0.97	5.02	1.58	11.04	1.36	7.35	0.87	3.05	1.06	5.93
Şubat	1.43	6.60	1.84	12.80	1.46	9.19	1.10	3.13	1.34	7.70
Mart	1.10	5.42	1.61	10.05	1.54	7.99	1.01	4.45	1.19	5.81
Nisan	1.30	5.12	-	-	1.63	7.99	0.95	3.62	1.18	5.38
Mayıs	1.19	4.34	1.74	8.59	1.54	5.92	0.97	4.45	1.40	4.33
Haziran	1.69	6.10	1.86	9.05	1.88	6.33	1.13	5.82	1.49	5.09
Temmuz	1.74	6.64	1.68	9.71	1.93	7.07	1.07	5.62	1.43	5.84
Ağustos	1.82	6.78	1.64	8.77	1.96	7.02	1.09	5.94	1.41	5.33
Eylül	1.34	4.90	1.89	8.54	2.08	5.76	0.95	3.80	1.28	5.23
Ekim	1.20	6.20	1.77	11.28	1.90	7.08	0.95	3.18	1.18	6.43
Kasım	1.55	5.10	2.21	10.63	1.67	7.21	1.05	2.42	1.54	6.20
Aralık	1.41	5.55	1.97	11.35	1.75	9.10	1.07	2.94	1.52	6.27
Yıllık	1.33	5.66	1.72	10.19	1.61	7.32	0.97	3.97	1.28	5.77

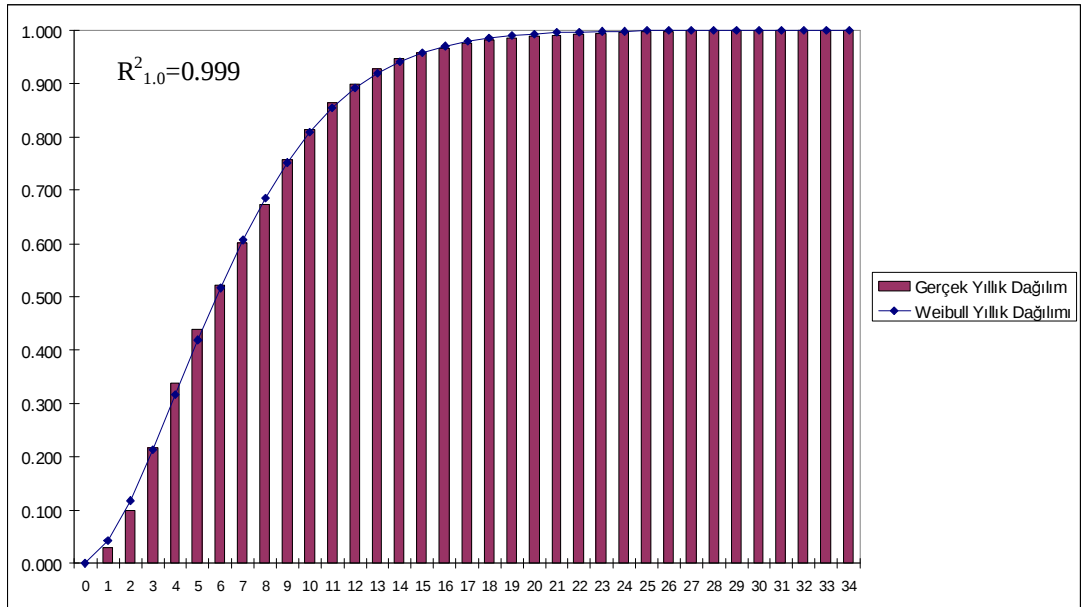
Tablo 4.9 Marmara Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Bandırma		Bozcaada		Çanakkale		Geyve		Gökçeada	
	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	5.09	518	9.91	1488	6.74	596	3.26	181	5.80	617
Şubat	6.00	383	11.37	1853	8.33	996	3.03	81	7.07	691
Mart	5.22	412	9.00	1084	7.20	598	4.44	313	5.48	400
Nisan	4.73	220	-	-	7.15	539	3.70	211	5.09	330
Mayıs	4.09	168	7.65	605	5.33	243	4.52	366	3.95	112
Haziran	5.44	225	8.04	649	5.62	221	5.56	466	4.60	160
Temmuz	5.92	279	8.67	917	6.27	297	5.46	499	5.31	264
Ağustos	6.03	281	7.85	699	6.23	287	5.76	569	4.85	206
Eylül	4.49	179	7.58	532	5.10	149	3.89	243	4.84	242
Ekim	5.83	476	10.04	1337	6.28	304	3.26	144	6.08	560
Kasım	4.59	152	9.41	878	6.44	382	2.37	43	5.58	274
Aralık	5.06	235	10.06	1192	8.11	719	2.87	72	5.65	288
Yıllık	5.21	284	9.08	1020	6.56	425	4.02	255	5.35	327

İstasyonlara ait aylık olarak hazırlanmış Weibull faktörleri Tablo 4.8 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.9 ile gösterilmiştir.

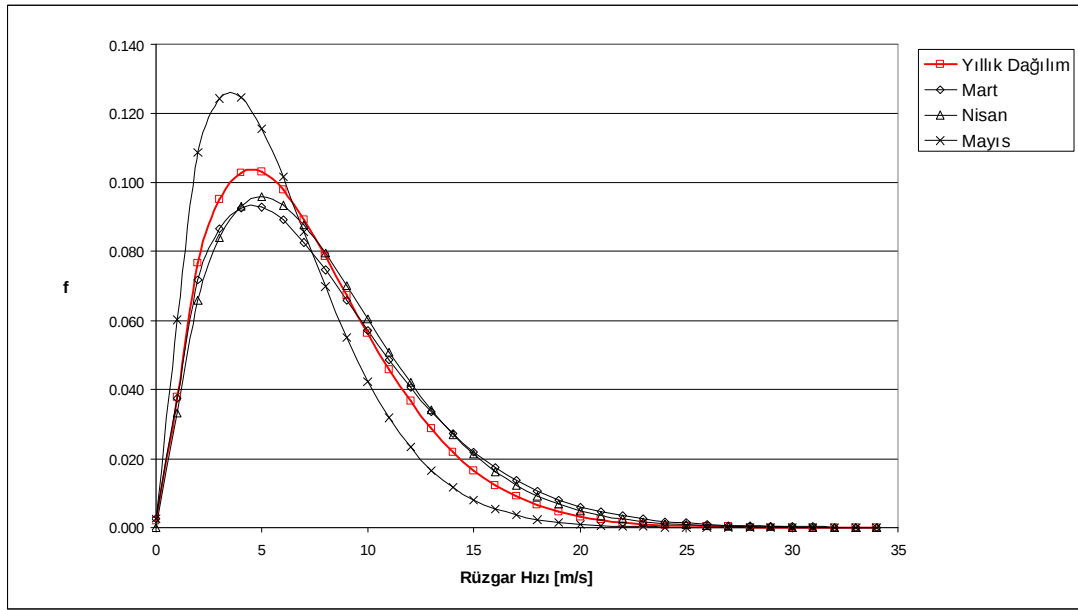
Bozcaada istasyonu için yorumlar Türkiye’de enerji akısı bakımından en yüksek değere sahip ölçüm istasyonu olması nedeniyle Türkiye’deki tüm istasyonların incelenmesi sırasında yapılmıştı. Bu sebeple bu bölümde Marmara Bölgesi için ikinci en yüksek enerji akısına sahip olan Çanakkale istasyonu için benzer yorumlar yapılacaktır.

Çanakkale istasyonu için en yüksek ortalama hız değerleri her ikisi de kış mevsimi ayları olan Aralık ve Şubat’ta görülmektedir. Güç akısı yılın 2 ayı için çok iyi, 4 ayı için iyi olarak sınıflandırılabilir.



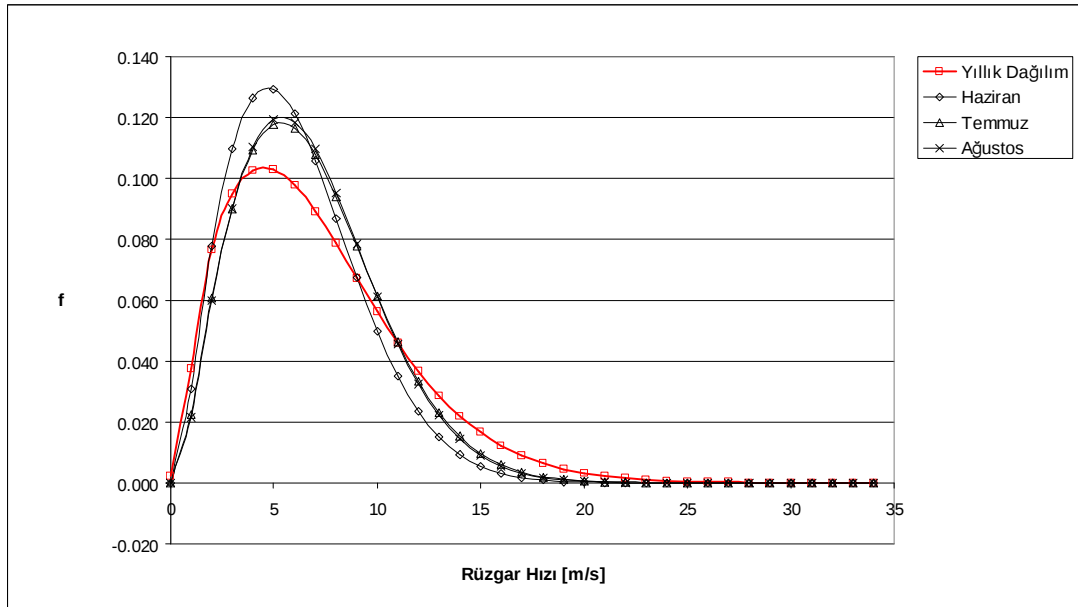
Şekil 4.16 Çanakkale istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Çanakkale istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.16 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 1-2 m/s için gerçek dağılımdan yüksek, 2-7 m/s arasında ise gerçek dağılımdan düşük olasılıklar vermektedir. Ancak farklar ufaktır ve R²_{1,0} değerinin gösterdiği gibi Weibull dağılımı Çanakkale istasyonu verisini büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



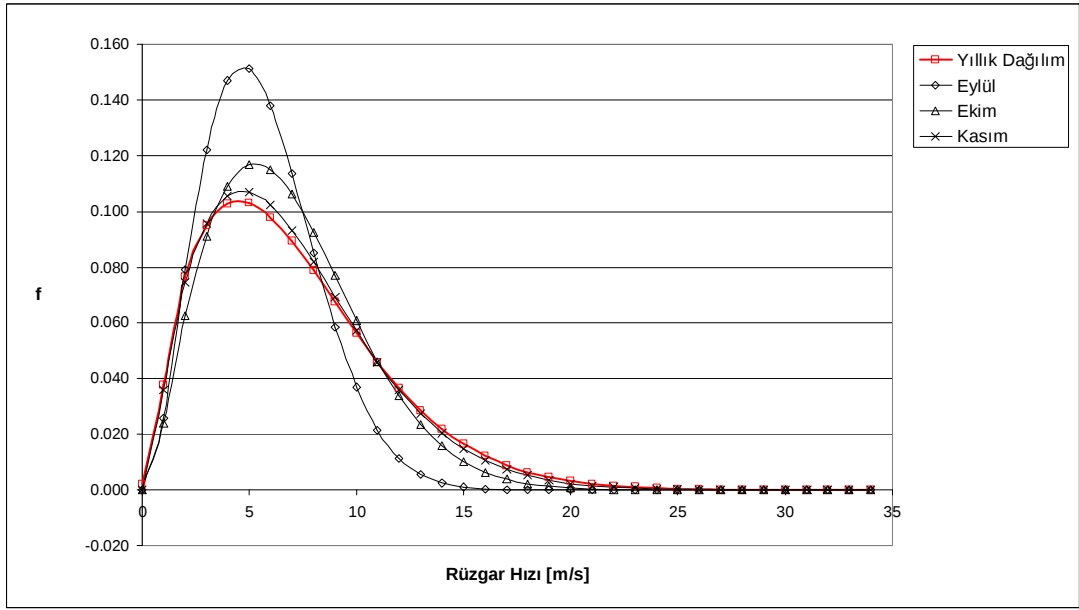
Şekil 4.17 Çanakkale istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Çanakkale istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.17 ile gösterilmiştir. Mart ve Nisan aylarında 10 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının yıllık dağılımdan yüksek olmasının etkisiyle bu aylarda ortalama hız, yıllık ortalamanın üstündedir. Mayıs ayında ise dağılımda 7 m/s altındaki hızların olasılıkları baskındır ve ortalama hız da daha düşüktür.



Şekil 4.18 Çanakkale istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Çanakkale istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.18 ile gösterilmiştir. Temmuz ve Ağustos aylarında 10 m/s üzerindeki hızlar için olasılıklar yıllık dağılımın altında olmasına rağmen ortalama hız, yıllık ortalama olan 6.56 m/s yakınındadır. Ancak dağılımın bu şekilde olması bu aylardaki güç akısının, yıllık güç akısı olan 425 W/m^2 değerinin altında kalmasına sebep olmuştur. Haziran ayında ise yaz mevsiminin en düşük ortalaması ve zayıf dağılımı gözlenmiştir.

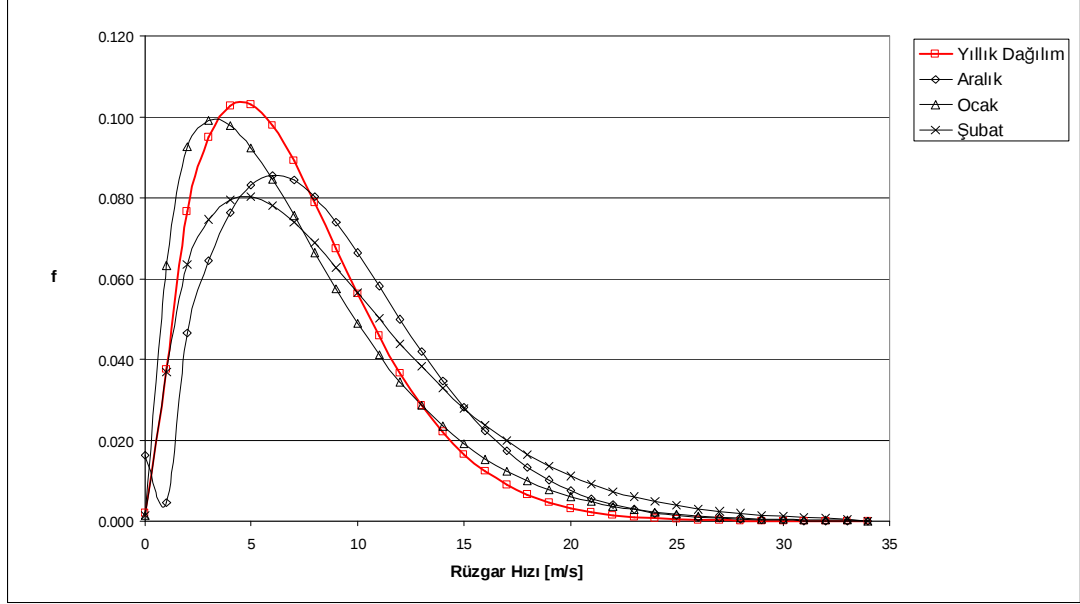


Şekil 4.19 Çanakkale istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Çanakkale istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.19 ile gösterilmiştir. Eylül ayında yıllık dağılıma göre daha düşük hız değerleri yüksek olasılıklara sahiptir. Ekim ayında dağılım yıllık ortalamaya yaklaşırken Kasım ayı için dağılım yıllık dağılıma çok benzerdir. Dolayısıyla Kasım ayında hem ortalama hız hem de güç akısı yıllık olarak hesaplanan değerlere çok yakındır.

Çanakkale istasyonu için yıllık ve kış ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.20 ile gösterilmiştir. Yıl içinde en büyük aylık ortalama hız ve aylık güç akısı değerleri kış mevsimindeki Aralık ve Şubat aylarında gözlenmiştir. Aralık ayında durgun hava ölçümleri yapılmıştır. 8 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının yüksek olması Aralık ayı ortalamasını yükseltmiştir. Şubat ayı içinde 10 m/s üzeri

hızların olasılıkları yüksektir ve bu sayede aylık ortalama hız Aralık ayı ile aynı mertebede ancak güç akısı 250 W/m^2 daha yüksektir. Ocak ayında ise 4 m/s yakınındaki hızların olasılıklarının yıllık dağılıma göre daha yüksek olmasına rağmen 14 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının biraz daha yüksek olması bu ay içinde ortalama hız ve güç akısının yıllık ortalamanın üstünde olmasını sağlamıştır.



Şekil 4.20 Çanakkale istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

4.4.Ege Bölgesindeki İstasyonlar

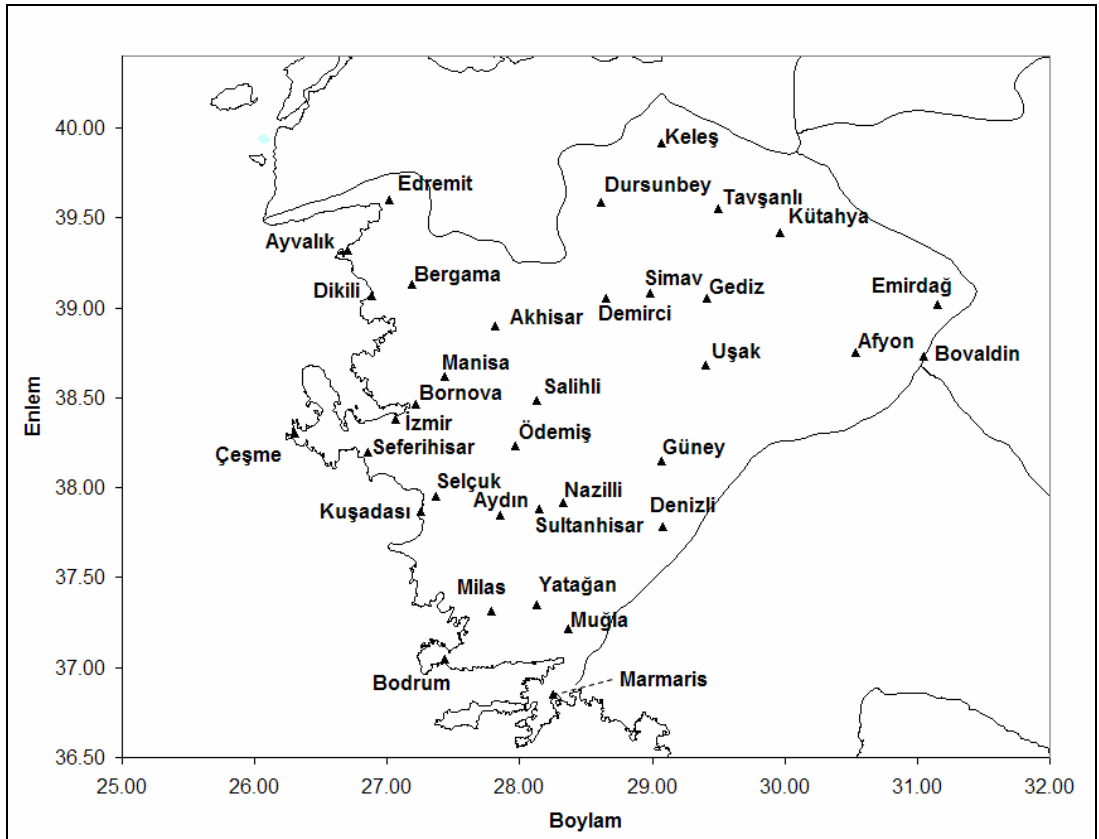
Sonuçlar bu bölgedeki 35 adet istasyonun verileri kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Bu ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 4.21 ile gösterilmiştir.

Ege Bölgesindeki en büyük enerji akısı değerlerine sahip beş istasyon Tablo 4.10 ile gösterilmiştir. Enerji akısı bakımından en yüksek değerlere sahip olan Güney ve İzmir güç akısı bakımından zayıfın üstünde olarak sınıflandırılabilir. Bu beş istasyon arasında %5.45 ile Bodrum yıl boyunca en uzun süre durgun hava hızlarının gözlemlendiği istasyondur.

Ege Bölgesindeki bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk beş istasyon Tablo 4.11 ile gösterilmiştir. Enerji akısı için ilk beş istasyon içerisinde yer almayan Kuşadası en yüksek beşinci ortalama hız değerine sahiptir. En olası hız bakımından enerji akısı için ilk beş içinde yer almayan Yatağan, Dikili ve Bergama istasyonları sırasıyla ikinci, dördüncü ve beşinci sıradadır.

İstasyonlara ait aylık olarak hazırlanmış Weibull faktörleri Tablo 4.12 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.13 ile gösterilmiştir.

Güney istasyonu için en yüksek ortalama hız değeri Ağustos ayında görülmektedir. Genel olarak yıl boyunca aylık ortalama hız, yıllık ortalama olan 5.67 m/s hızına yakın değerlerde gözlemlenmiştir. Güç akısı yıl boyunca aylık ortalamalarda zayıfın üstü olarak sınıflandırılan mertebelerdedir. Güney istasyonunda yıl boyunca değişimin az olması enerji üretimi açısından olumlu bir göstergedir.



Şekil 4.21 Ege Bölgesindeki istasyonların konumları

Tablo 4.10 Ege Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)

	E/A [MJ/m ²]		P/A [W/m ²]	R ² _{1.0}	S%
1	Güney	6409	203	0.996	0.03
2	İzmir	4975	158	0.999	0.00
3	Bodrum	3061	97	0.993	5.45
4	Demirci	2587	82	0.998	0.01
5	Ayvalık	2284	72	0.993	0.06

Tablo 4.11 Ege Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)

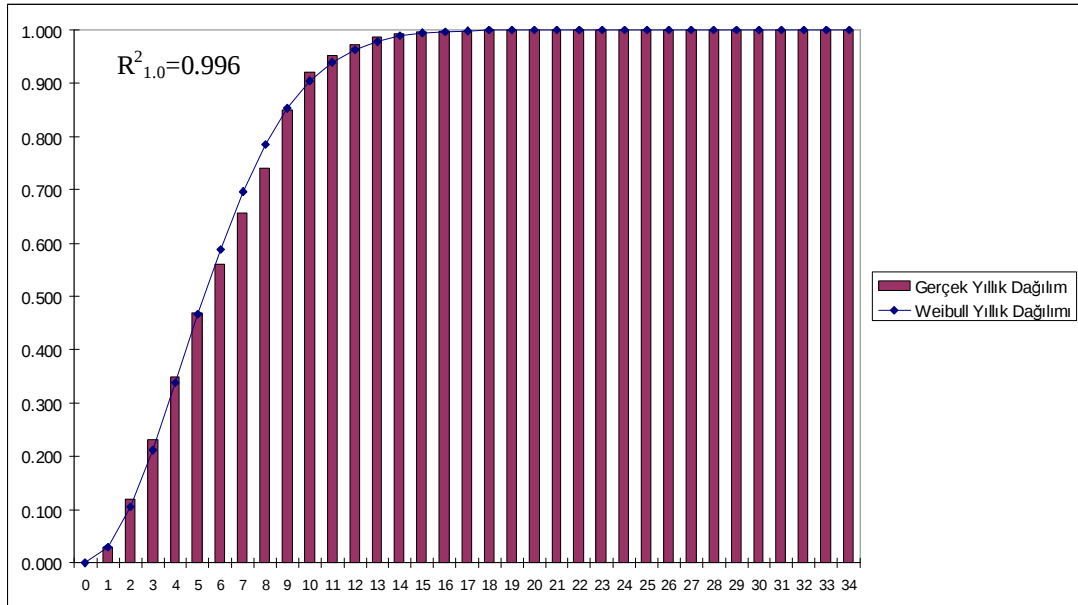
	V _m [m/s]		V _{mp} [m/s]		V _{me} [m/s]	
1	Güney	5.67	Güney	4.31	Güney	9.33
2	İzmir	4.97	Yatağan	4.00	İzmir	8.47
3	Demirci	3.88	İzmir	3.56	Bodrum	8.30
4	Ayvalık	3.54	Dikili	2.53	Yatağan	7.37
5	Kuşadası	3.50	Bergama	2.31	Çeşme	7.31

Tablo 4.12 Ege Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

	Ayvalık		Bodrum		Demirci		Güney		İzmir	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	1.18	3.68	1.30	3.59	1.37	4.44	1.68	6.24	1.66	5.35
Şubat	1.75	4.95	1.47	4.88	1.79	5.79	1.72	7.03	2.25	7.46
Mart	1.46	3.23	1.32	3.38	1.60	3.98	1.89	5.84	1.73	5.36
Nisan	1.45	3.77	1.13	3.65	1.64	4.78	1.86	6.81	1.75	6.26
Mayıs	1.67	3.38	1.16	3.11	1.59	3.79	1.90	5.59	1.73	5.45
Haziran	2.11	4.82	1.16	3.96	1.78	4.53	2.38	6.99	2.09	5.67
Temmuz	1.50	4.36	1.18	3.67	1.66	4.42	2.46	6.94	1.74	5.51
Ağustos	1.73	4.79	1.16	3.59	1.63	4.34	2.19	7.13	2.05	5.57
Eylül	1.50	3.61	1.20	3.87	1.57	4.05	1.93	6.41	1.76	4.91
Ekim	1.54	3.88	1.06	3.10	1.58	3.71	2.05	6.70	1.76	4.50
Kasım	1.58	3.19	1.23	3.88	1.73	4.30	1.95	5.78	1.88	5.48
Aralık	1.59	3.63	1.17	2.95	1.46	3.87	1.60	5.20	1.92	5.72
Yıllık	1.51	3.93	1.19	3.62	1.58	4.32	1.90	6.39	1.80	5.59

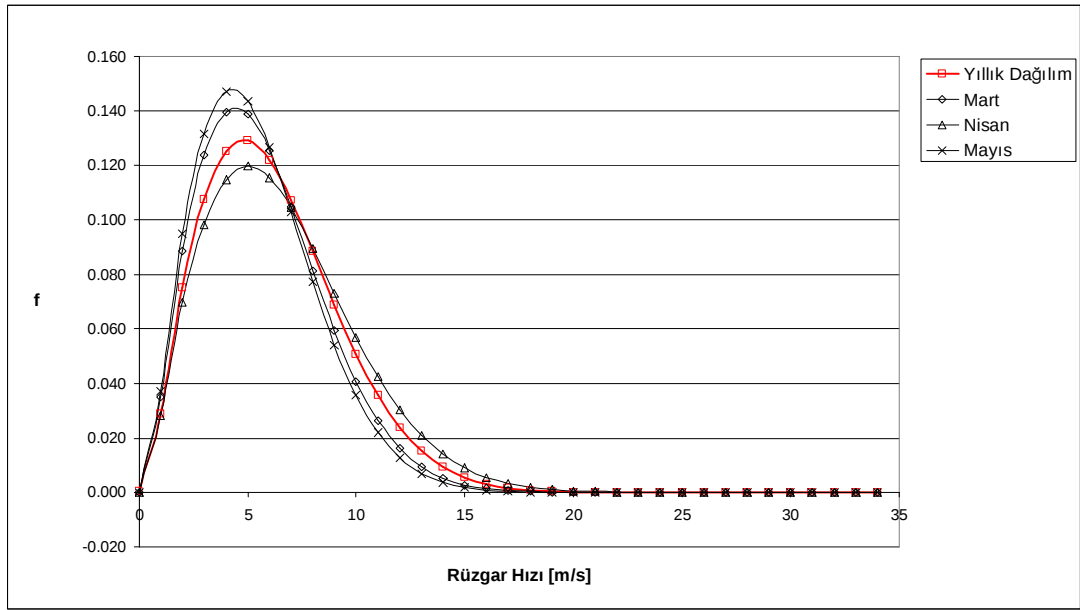
Tablo 4.13 Ege Bölgesindeki en yüksek enerji akülü istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Ayvalık		Bodrum		Demirci		Güney		İzmir	
	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	3.47	104	3.32	76	4.06	117	5.57	222	4.79	156
Şubat	4.41	115	4.41	144	5.15	163	6.27	307	6.61	297
Mart	2.93	43	3.11	60	3.57	63	5.18	156	4.78	148
Nisan	3.42	69	3.50	117	4.28	104	6.05	253	5.58	230
Mayıs	3.02	39	2.95	66	3.40	55	4.96	136	4.86	154
Haziran	4.27	86	3.77	138	4.03	79	6.19	215	5.02	139
Temmuz	3.93	101	3.47	104	3.95	81	6.16	206	4.91	159
Ağustos	4.27	106	3.41	102	3.88	78	6.31	245	4.93	134
Eylül	3.26	57	3.64	116	3.64	68	5.68	202	4.37	110
Ekim	3.49	67	3.03	87	3.33	52	5.93	216	4.01	85
Kasım	2.86	36	3.62	108	3.84	71	5.13	146	4.86	141
Aralık	3.26	52	2.80	55	3.51	68	4.66	138	5.07	156
Yıllık	3.54	72	3.41	97	3.88	82	5.67	203	4.97	158



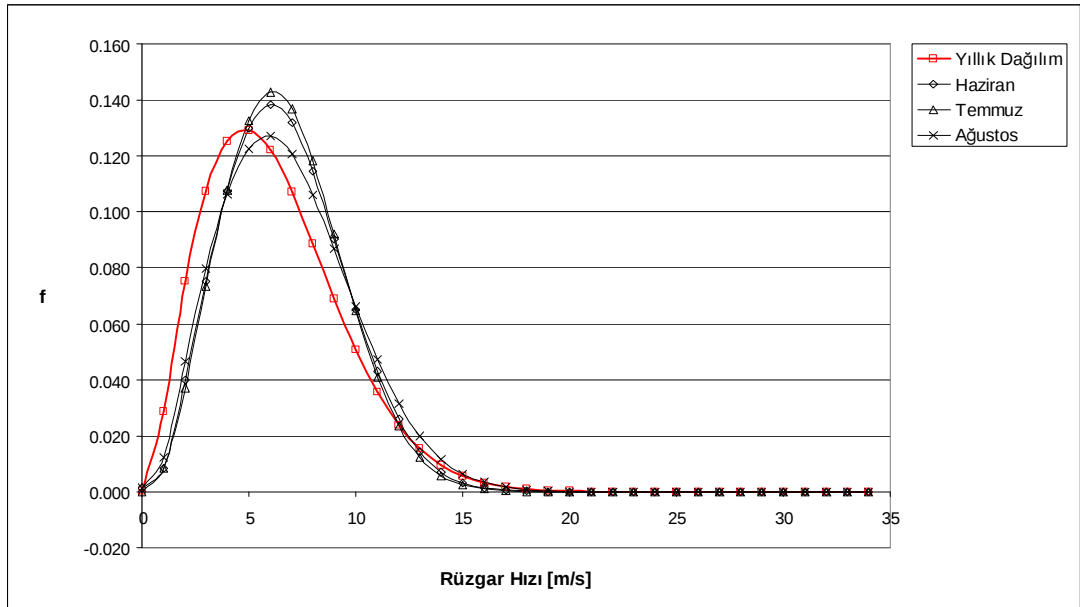
Şekil 4.22 Güney istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Güney istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.22 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 2-5 m/s aralığı için gerçek dağılımdan düşük, 6-9 m/s arasında gerçek dağılımdan yüksek, 10 m/s ve 11 m/s için ise gerçek dağılımın altında olasılıklar vermektedir. Ancak farklar ufaktır ve $R^2_{1.0}$ değerinin gösterdiği gibi Weibull dağılımı Güney istasyonu verisini büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



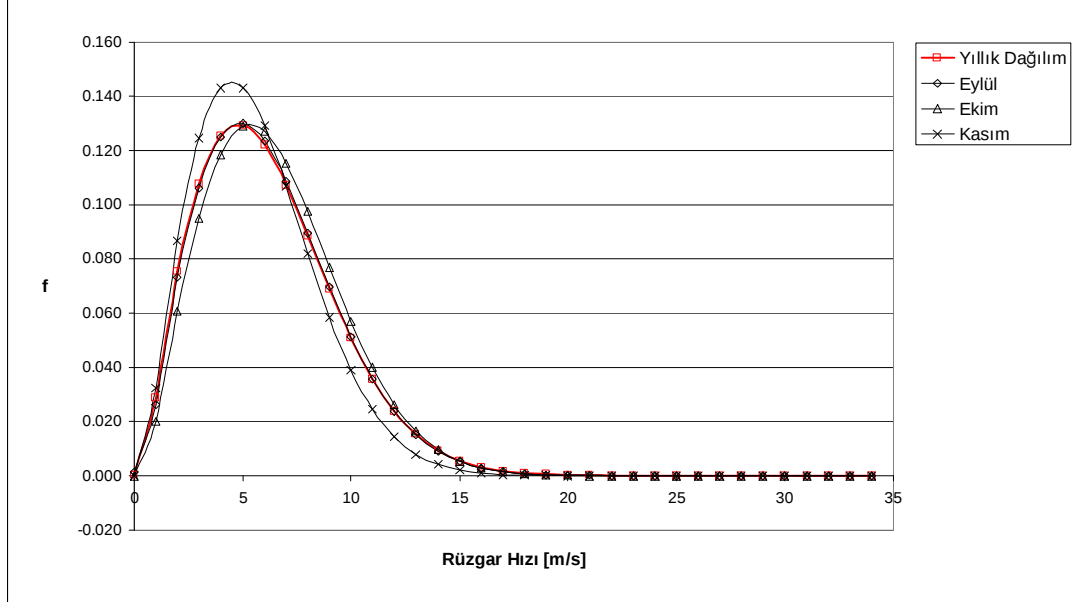
Şekil 4.23 Güney istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Güney istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.23 ile gösterilmiştir. Bu üç ay için dağılımlar yıllık dağılıma yakındır. Nisan ayı yıllık ortalamanın üstünde ortalama hız ve güç akısı değerlerine sahiptir. Mart ve Mayıs aylarındaki dağılım ise yıllık dağılımın altında ortalamalar gözlenmiştir. Bu farklılıkta 8 m/s üzerindeki hızların olasılıkları etkili olmuştur.



Şekil 4.24 Güney istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

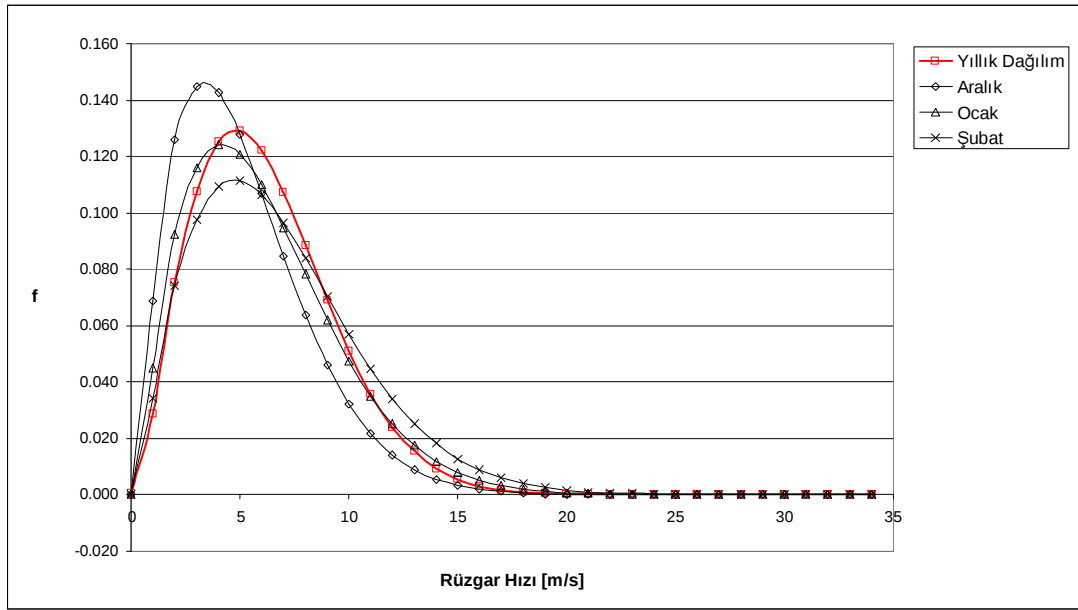
Güney istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.24 ile gösterilmiştir. Sadece yaz mevsimi aylarının tamamında yıllık ortalamadan daha yüksek ortalama hız ve güç akısı değerleri gözlenmiştir. Dağılımlar açısından da türbin çalışma aralığı varsayılabilecek 3-25 m/s aralığındaki hızların olasılıklarının yıllık dağılımdan daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25 Güney istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Güney istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.25 ile gösterilmiştir. Eylül ayı dağılımı yıllık dağılım ile yaklaşık olarak örtüşmektedir. Ekim ayında ise dağılım daha yüksek ortalama hız ve güç akısı verecek şekilde az miktarda iyileşmiştir. Kasım ayında 9 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının düşmesi ile ortalama değerler yıllık ortalamanın altında kalmıştır.

Güney istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.26 ile gösterilmiştir. Aralık ayında yılın en düşük ortalama hız değeri gözlenmiştir. Ocak ayında ise ortalama hız yıllık ortalamanın altında olmasına rağmen güç akısı, 12 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının yıllık dağılımdan yüksek olması sebebiyle, yıllık güç akısından yüksektir. Şubat ayında ise yılın en yüksek ikinci aylık ortalama hız ve 10 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının etkisiyle en yüksek aylık güç akısı gözlenmiştir.



Şekil 4.26 Güney istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

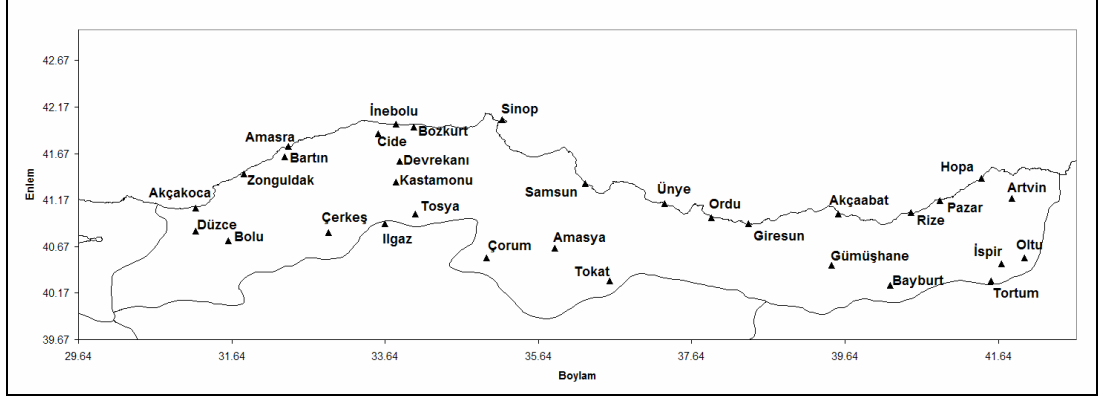
4.5. Karadeniz Bölgesindeki İstasyonlar

Sonuçlar bu bölgedeki 33 adet istasyonun verileri kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Bu ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 4.27 ile gösterilmiştir.

Karadeniz Bölgesindeki en büyük enerji akısı değerlerine sahip beş istasyon Tablo 4.14 ile gösterilmiştir. Enerji akısı bakımından en yüksek değerlere sahip olan Amasra güç akısı bakımından iyi olarak sınıflandırılabilir. Bu beş istasyon arasında %0.89 ile Hopa yıl boyunca en uzun süre durgun hava hızlarının gözlemlendiği istasyondur. Karadeniz Bölgesindeki bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk beş istasyon Tablo 4.15 ile gösterilmiştir. Enerji akısı için ilk beş istasyon aynı zamanda en yüksek ortalama hızların gözlemlendiği konumlardır. En olası hız bakımından enerji akısı için ilk beş içinde yer almayan Pazar, Akçaabat ve Trabzon istasyonları sırasıyla üçüncü, dördüncü ve beşinci sıradadır.

İstasyonlara ait aylık olarak hazırlanmış Weibull faktörleri Tablo 4.16 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.17 ile gösterilmiştir.

Amasra istasyonu için en yüksek ortalama hız değeri Mart ayında görülmektedir. Mayıs ve Haziran ayları ortalama hızların en düşük olduğu dönemlerdir. Güç akısı yılın 4 ayı için çok iyi, 4 ayı için iyi olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 4.27 Karadeniz Bölgesindeki istasyonların konumları

Tablo 4.14 Karadeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)

	E/A [MJ/m ²]		P/A [W/m ²]	R ² _{1.0}	S%
1	Amasra	18236	578	0.999	0.00
2	Cide	5029	159	0.997	0.10
3	İnebolu	4517	143	0.997	0.02
4	Sinop	3988	126	0.997	0.37
5	Hopa	3612	115	0.985	0.89

Tablo 4.15 Karadeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)

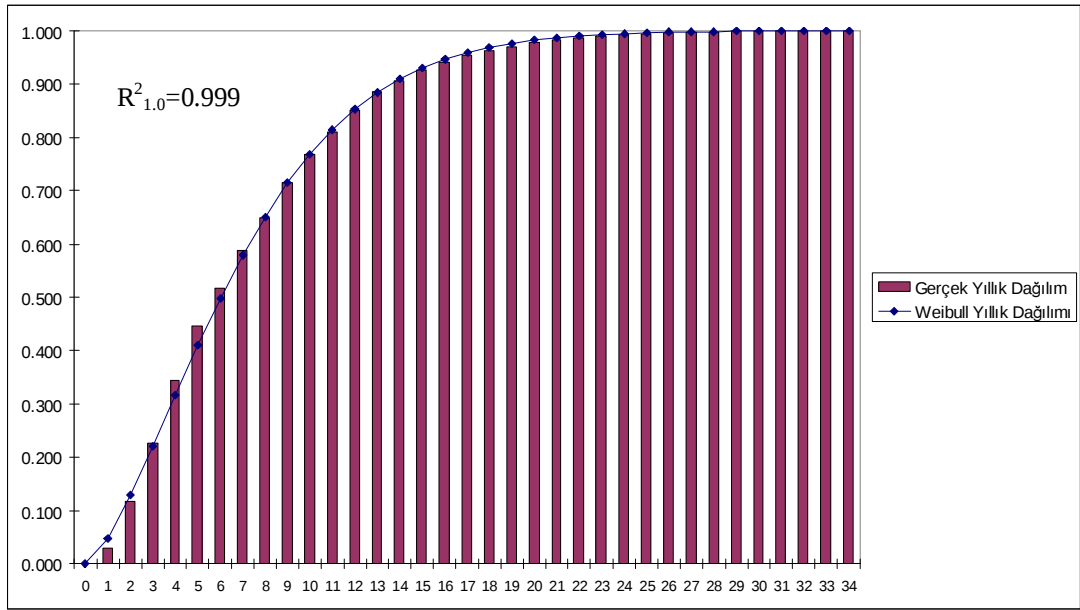
	V _m [m/s]		V _{mp} [m/s]		V _{mE} [m/s]	
1	Amasra	6.99	İnebolu	3.94	Amasra	13.84
2	İnebolu	4.96	Amasra	3.57	Cide	9.34
3	Cide	4.26	Pazar	2.62	Hopa	8.66
4	Sinop	3.97	Akçaabat	2.49	Sinop	8.65
5	Hopa	3.64	Trabzon	2.38	İnebolu	7.94

Tablo 4.16 Karadeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

	Amasra		Cide		Hopa		İnebolu		Sinop	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	1.48	8.63	1.38	5.22	1.44	7.11	1.88	6.32	1.21	4.54
Şubat	1.50	8.22	1.49	5.09	1.32	5.51	1.69	5.40	1.39	5.42
Mart	1.54	9.81	1.44	5.62	1.19	3.86	2.16	5.76	1.41	4.87
Nisan	1.39	7.79	1.36	4.67	1.14	2.75	1.91	4.60	1.45	4.85
Mayıs	1.40	5.56	1.44	3.52	1.34	2.25	1.84	4.60	1.42	3.90
Haziran	1.40	6.10	1.20	4.00	1.77	2.82	1.92	5.55	1.34	4.17
Temmuz	1.30	7.41	1.20	3.96	2.25	2.53	2.09	5.14	1.44	3.69
Ağustos	1.49	6.53	1.25	3.96	1.95	2.72	2.04	5.31	1.30	4.19
Eylül	1.82	7.11	1.29	4.06	2.07	3.05	2.19	6.00	1.39	3.14
Ekim	1.59	8.97	1.37	5.32	1.62	3.97	2.63	6.50	1.32	4.79
Kasım	1.63	7.16	1.35	4.50	1.21	4.43	2.38	5.72	1.35	4.62
Aralık	1.94	9.57	1.44	5.79	1.13	6.28	2.10	6.18	1.28	3.83
Yıllık	1.47	7.72	1.32	4.63	1.21	3.87	1.99	5.60	1.32	4.31

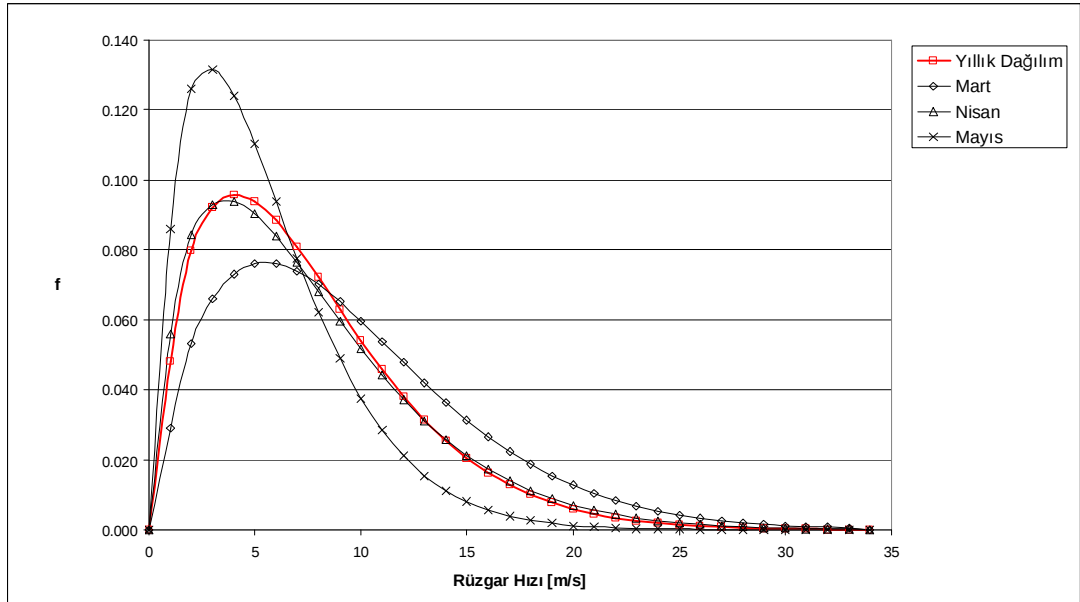
Tablo 4.17 Karadeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Amasra		Cide		Hopa		İnebolu		Sinop	
	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	7.81	801	4.77	207	6.46	476	5.61	220	4.26	185
Şubat	7.43	675	4.60	164	5.07	265	4.82	157	4.95	227
Mart	8.83	1087	5.10	237	3.64	119	5.10	144	4.43	159
Nisan	7.11	664	4.28	152	2.63	49	4.08	83	4.40	149
Mayıs	5.06	236	3.20	58	2.07	17	4.09	87	3.55	80
Haziran	5.56	317	3.77	132	2.51	21	4.92	146	3.83	112
Temmuz	6.84	665	3.73	127	2.24	12	4.55	106	3.35	66
Ağustos	5.89	340	3.69	113	2.41	17	4.70	119	3.87	120
Eylül	6.32	323	3.76	113	2.70	22	5.31	160	2.87	44
Ekim	8.05	789	4.87	221	3.55	66	5.78	179	4.41	174
Kasım	6.41	384	4.13	139	4.15	170	5.07	130	4.24	149
Aralık	8.49	731	5.25	256	6.02	605	5.47	182	3.54	95
Yıllık	6.99	578	4.26	159	3.64	115	4.96	143	3.97	126



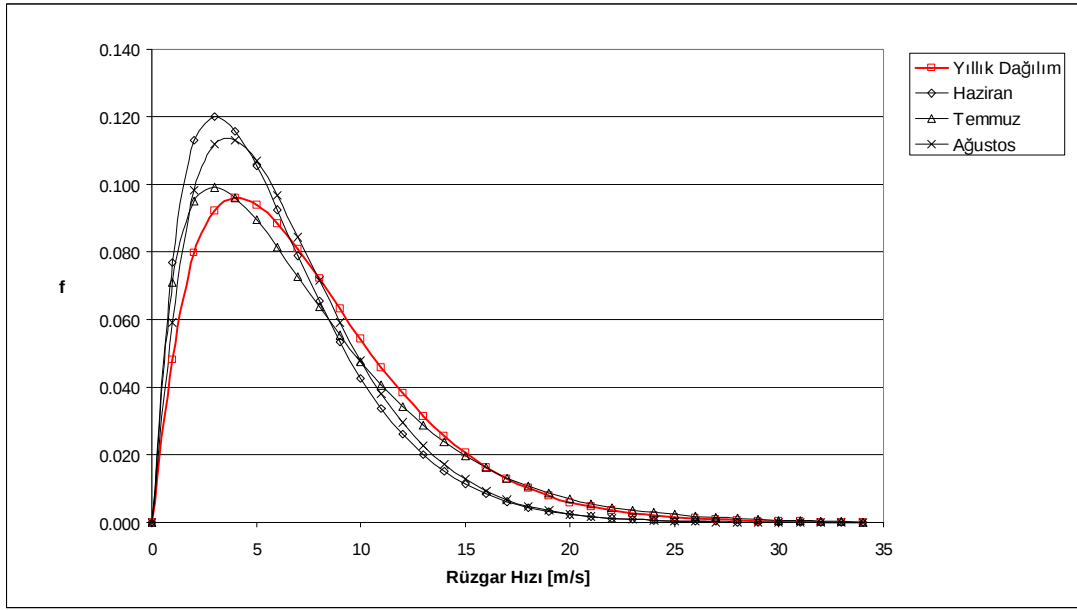
Şekil 4.28 Amasra istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Amasra istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.28 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 0-3 m/s aralığı için gerçek dağılımdan yüksek, 3-8 m/s arasında ise gerçek dağılımdan düşük olasılıklar vermektedir. Ancak farklar ufaktır ve $R^2_{1,0}$ değerinin gösterdiği gibi Weibull dağılımı Amasra istasyonu verisini büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



Şekil 4.29 Amasra istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

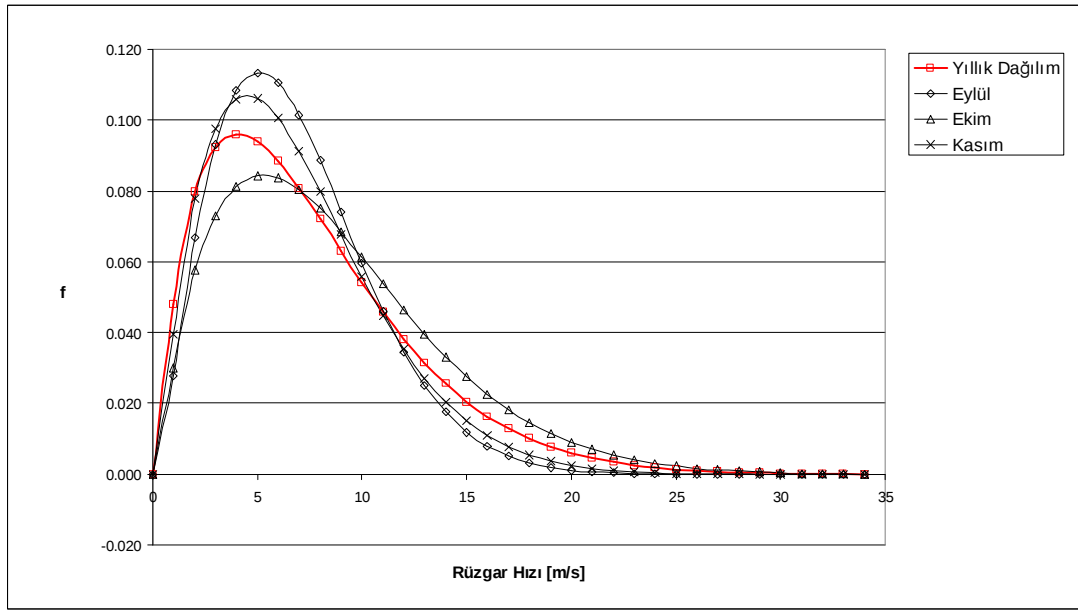
Amasra istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.29 ile gösterilmiştir. Mart ayında 9 m/s değerinden büyük hızların olasılıkları yıllık dağılımdaki olasılıklarından yüksektir ve bu nedenle Mart ayında yılın en yüksek aylık güç akısı değeri gözlenmiştir. Nisan ayı dağılımı da yıllık ortalamanın üstünde kalırken Mayıs ayında 8 m/s üzerindeki hızlarının olasılıklarının düşük olması sonucu yıllık dağılımın altında ortalama hız ve güç akısı değerleri gözlenmiştir.



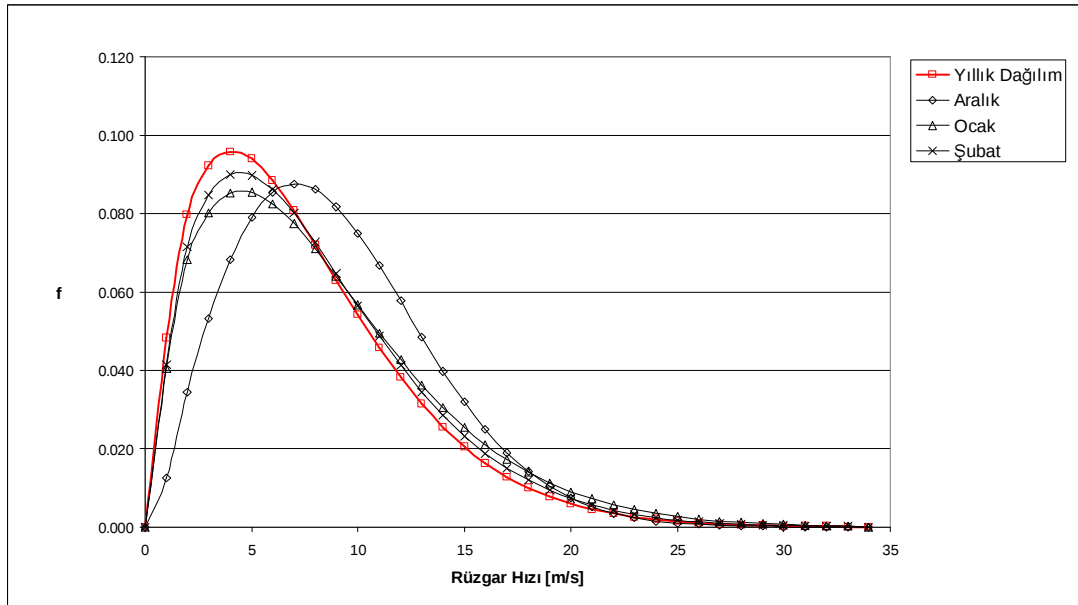
Şekil 4.30 Amasra istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Amasra istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.30 ile gösterilmiştir. Yaz aylarının tamamında aylık ortalama hız yıllık ortalamanın altında kalmıştır. Sadece Temmuz ayında dağılımın etkisi ile aylık güç akısı yıllık değerin üstündedir.

Amasra istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.31 ile gösterilmiştir. Ekim ayı yıllık dağılıma göre daha iyi ortalama hız ve güç akısı değerleri verirken diğer aylar için bu değerler yıllık ortalamaların altındadır. 10 m/s değerinin üzerindeki hızların olasılıkları belirleyicidir.



Şekil 4.31 Amasra istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.32 Amasra istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Amasra istasyonu için yıllık ve kış ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.32 ile gösterilmiştir. Ocak ve Şubat aylarında yıllık dağılımdan biraz daha yüksek ortalamalar elde edilmiştir. Aralık ayında ise ortalama hız yüksektir ve türbin çalışma aralıklarına uygun bir dağılım elde edilmiştir.

4.6.Akdeniz Bölgesindeki İstasyonlar

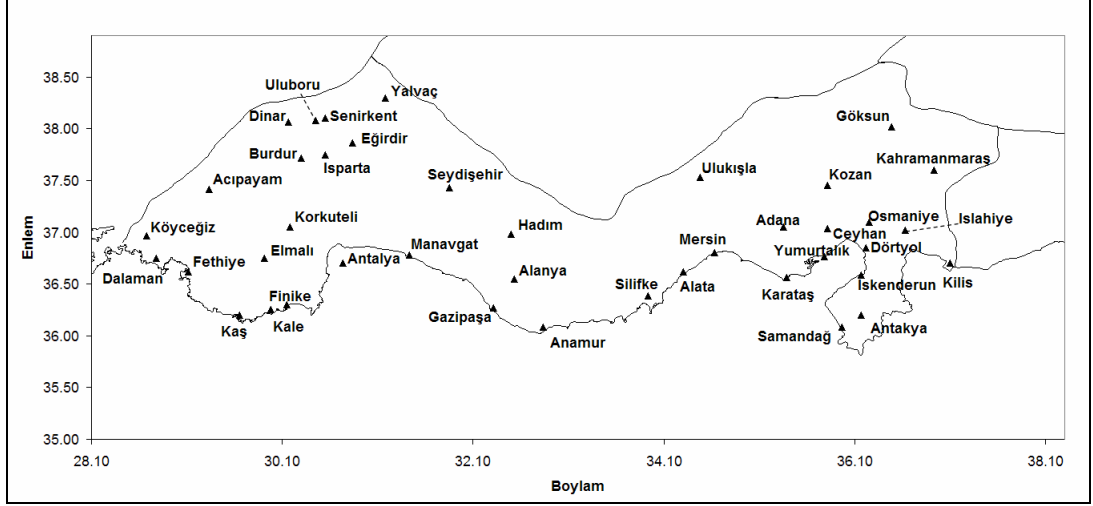
Sonuçlar bu bölgedeki 41 adet istasyonun verileri kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Bu ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 4.33 ile gösterilmiştir.

Akdeniz Bölgesindeki en büyük enerji akısı değerlerine sahip beş istasyon Tablo 4.18 ile gösterilmiştir. Enerji akısı bakımından en yüksek değerlere sahip olan Samandağ güç akısı bakımından zayıfın üstünde olarak sınıflandırılabilir. Bu beş istasyon arasında %0.84 ile Uluborlu yıl boyunca en uzun süre durgun hava hızlarının gözlemlendiği istasyondur.

Akdeniz Bölgesindeki bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk beş istasyon Tablo 4.19 ile gösterilmiştir. Enerji akısı için ilk beş istasyon içerisinde yer almayan Ulukışla en yüksek dördüncü ortalama hız değerine sahiptir. En olası hız bakımından enerji akısı için ilk beş içinde yer almayan Köyceğiz ve Karatas istasyonları sırasıyla ikinci ve dördüncü sıradadır.

İstasyonlara ait aylık olarak hazırlanmış Weibull faktörleri Tablo 4.20 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.21 ile gösterilmiştir.

Samandağ istasyonu için en yüksek ortalama hız değerleri Ağustos ve Temmuz aylarında gözlenmiştir. Bu aylar dışında kış ayının tamamında aylık ortalama hızlar yüksek değerler almışlardır. Güç akısı Eylül ve Ekim ayları için zayıf, yılın kalanı için zayıfın üstünde olarak sınıflandırılabilir. Güç akısı sadece Temmuz, Ağustos ve Aralık aylarında 200 W/m^2 'nin üstünde değerler almıştır.



Şekil 4.33 Akdeniz Bölgesindeki istasyonların konumları

Tablo 4.18 Akdeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)

		E/A [MJ/m ²]	P/A [W/m ²]	R²_{1.0}	S%
1	Samandağ	5400	171	0.999	0.00
2	Eğirdir	4143	131	0.998	0.03
3	Uluborlu	3602	114	0.999	0.84
4	Antalya	3277	104	0.997	0.08
5	Kilis	2993	95	0.999	0.29

Tablo 4.19 Akdeniz Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)

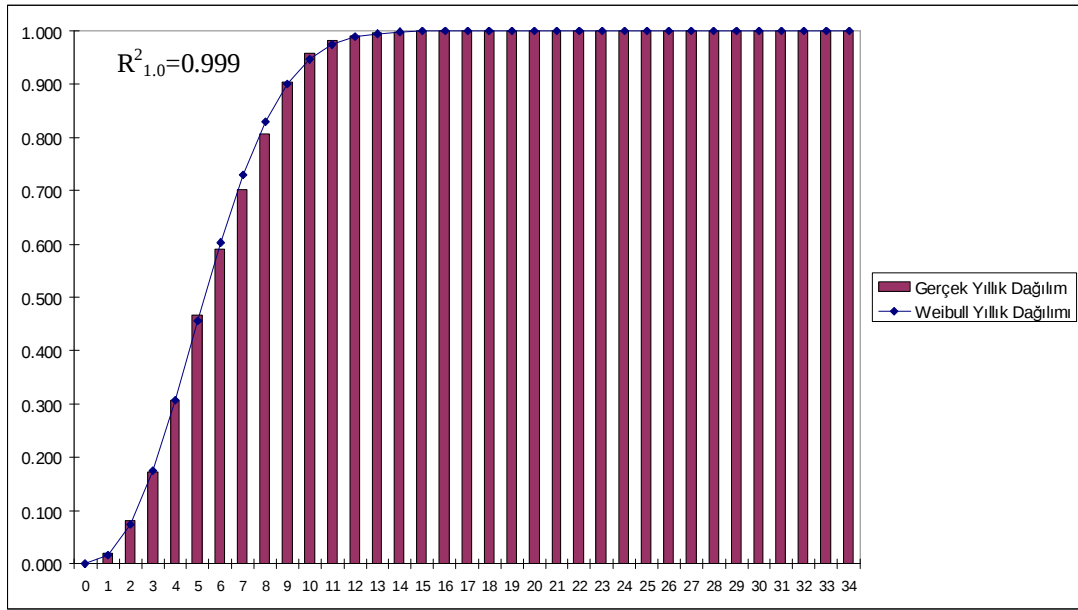
	V_m [m/s]	V_{mp} [m/s]	V_{mE} [m/s]
1	Samandağ 5.51	Samandağ 4.82	Uluborlu 8.76
2	Eğirdir 4.54	Köyceğiz 4.00	Eğirdir 8.53
3	Kilis 4.31	Kilis 3.14	Samandağ 8.22
4	Ulukışla 4.10	Karataş 3.11	Antalya 7.81
5	Antalya 3.98	Eğirdir 2.65	Ulukışla 7.72

Tablo 4.20 Akdeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

	Antalya		Eğirdir		Kilis		Samandağ		Uluborlu	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	1.63	5.19	1.39	4.83	1.66	4.13	2.59	6.75	1.16	4.83
Şubat	1.45	5.80	1.69	6.95	1.71	4.18	2.43	6.56	1.39	7.38
Mart	1.57	4.37	1.84	6.05	1.71	4.55	1.71	5.88	1.48	5.20
Nisan	1.59	4.51	1.64	5.92	1.83	4.73	2.19	6.06	1.51	5.30
Mayıs	1.44	4.09	1.78	5.28	2.16	4.92	1.96	5.09	1.43	3.95
Haziran	1.58	3.95	1.95	4.75	2.78	6.26	2.38	5.80	1.51	3.55
Temmuz	1.55	3.66	1.83	4.12	3.63	7.59	3.49	7.41	1.42	3.05
Ağustos	1.60	3.67	1.82	4.75	3.05	6.88	3.39	7.48	1.44	3.56
Eylül	1.78	4.49	1.56	3.91	2.65	5.24	2.46	5.04	1.45	3.10
Ekim	1.54	4.53	1.47	4.12	1.92	3.43	1.99	4.90	1.58	3.69
Kasım	1.34	4.52	1.51	5.35	1.80	3.32	2.32	6.44	1.38	4.20
Aralık	1.40	4.38	1.41	4.91	1.68	2.74	2.63	6.95	1.15	3.84
Yıllık	1.49	4.41	1.57	5.05	1.82	4.85	2.27	6.22	1.29	4.24

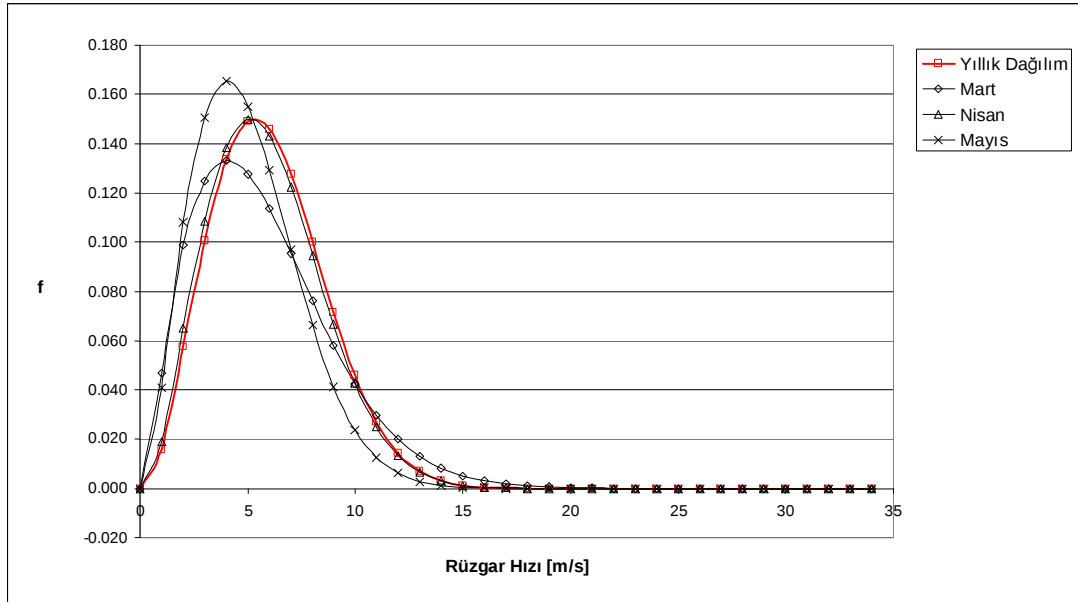
Tablo 4.21 Akdeniz Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Antalya		Eğirdir		Kilis		Samandağ		Uluborlu	
	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	4.64	145	4.41	145	3.69	67	5.99	199	4.59	226
Şubat	5.26	248	6.20	302	3.73	66	5.81	191	6.73	509
Mart	3.92	92	5.38	179	4.06	86	5.24	197	4.70	157
Nisan	4.04	99	5.30	197	4.20	87	5.37	163	4.78	161
Mayıs	3.71	88	4.69	123	4.36	83	4.51	108	3.59	74
Haziran	3.55	67	4.21	81	5.57	143	5.14	134	3.20	48
Temmuz	3.29	55	3.66	56	6.84	230	6.66	232	2.78	34
Ağustos	3.29	53	4.22	88	6.15	181	6.72	241	3.23	53
Eylül	4.00	83	3.51	61	4.66	86	4.47	86	2.81	35
Ekim	4.07	105	3.73	80	3.04	31	4.34	95	3.31	50
Kasım	4.15	138	4.83	167	2.95	31	5.71	187	3.84	96
Aralık	3.99	116	4.46	146	2.44	19	6.17	215	3.66	116
Yıllık	3.98	104	4.54	131	4.31	95	5.51	171	3.92	114



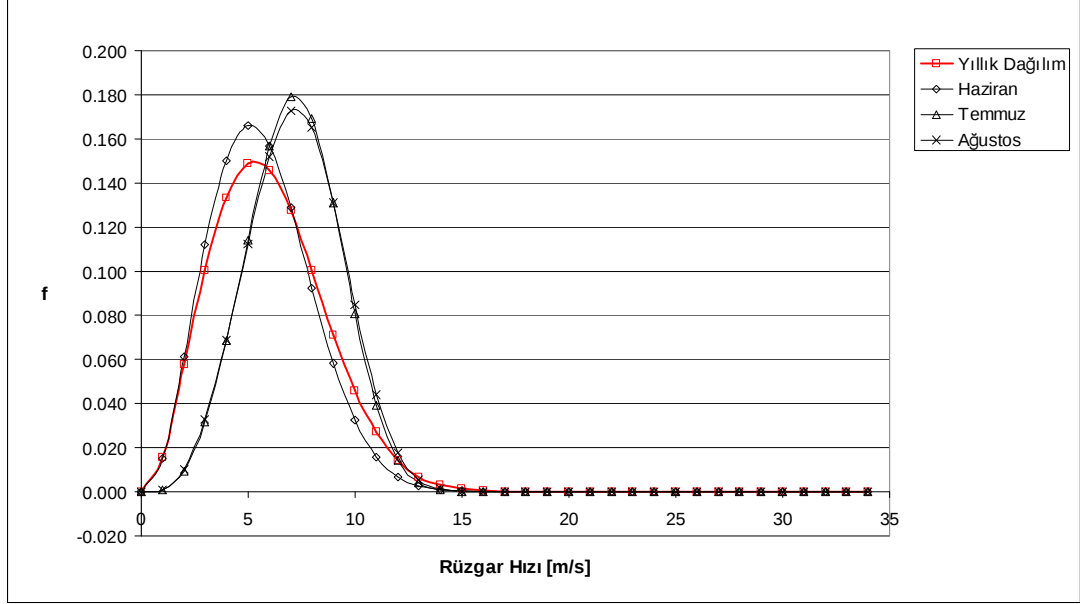
Şekil 4.34 Samandağ istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Samandağ istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.34 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 4-6 m/s aralığı için gerçek dağılımdan düşük, 6-9 m/s arasında ise gerçek dağılımdan yüksek olasılıklar vermektedir. Ancak farklar ufaktır ve $R^2_{1.0}$ değerinin gösterdiği gibi Weibull dağılımı Samandağ istasyonu verisini büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



Şekil 4.35 Samandağ istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

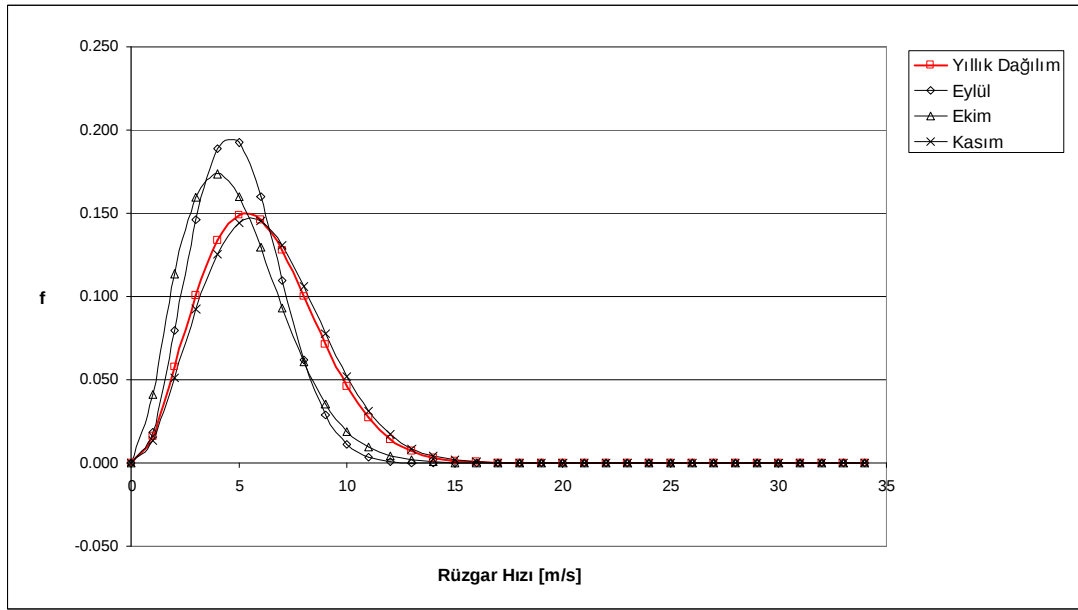
Samandağ istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.35 ile gösterilmiştir. İlkbahar mevsimindeki tüm aylar için ortalama hızlar yıllık ortalamanın altında kalmıştır. Mart ayında 11 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının yıllık ortalamanın üstünde olması nedeniyle aylık güç akısı yıllık akıdan büyüktür.



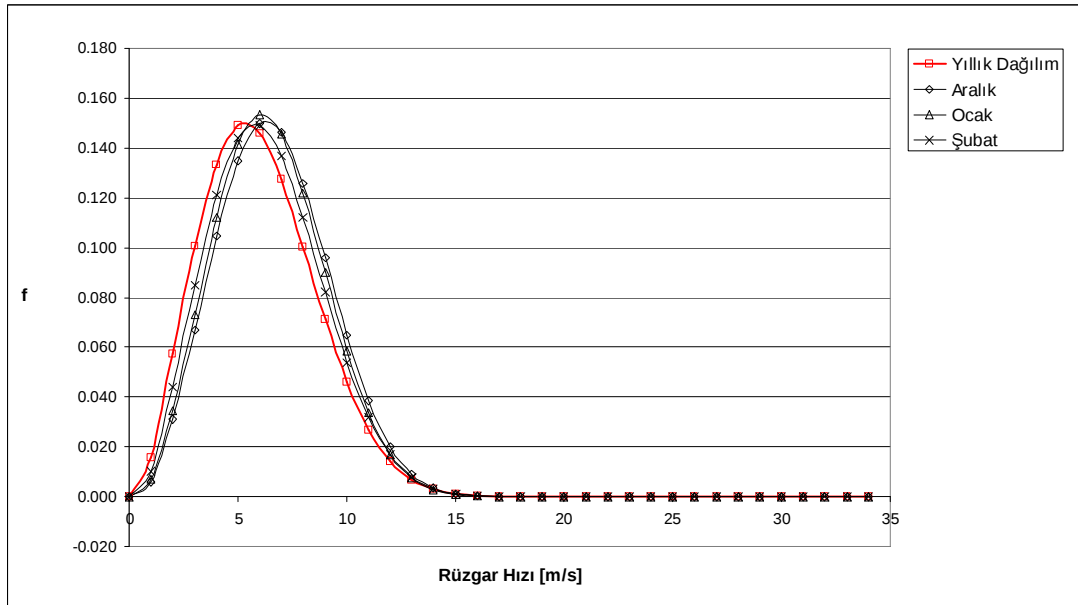
Şekil 4.36 Samandağ istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Samandağ istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.36 ile gösterilmiştir. Yaz mevsiminde haziran ayı dışında aylık ortalama hızlar yıllık ortalamanın üstündedir. Temmuz ve Ağustos aylarında yıl içindeki en büyük güç akısı değerleri gözlenmiştir. Bu iki aya ait dağılımlar neredeyse tamamen 3 m/s saniyenin üzerinde kaldıklarından bu konumlarda kurulacak rüzgar türbinlerinin sürekli çalışacakları yorumu yapılabilir.

Samandağ istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.37 ile gösterilmiştir. Eylül ve Ekim aylarında güç akısı yılın en düşük değerlerini alarak zayıf seviyeye düşmüştür. Kasım ayında ise ortalama hız ve güç akısı yıllık değerlerin üstünde, dağılım ise yıllık dağılıma benzerdir.



Şekil 4.37 Samandağ istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.38 Samandağ istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Samandağ istasyonu için yıllık ve kış ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.38 ile gösterilmiştir. Kış aylarının tamamında ortalama hız ve güç akısı değerleri yıllık değerlerin üzerindedir. Dağılımlar ise yıllık dağılım ile tam bir uyum içersindedir.

4.7.İç Anadolu Bölgesindeki İstasyonlar

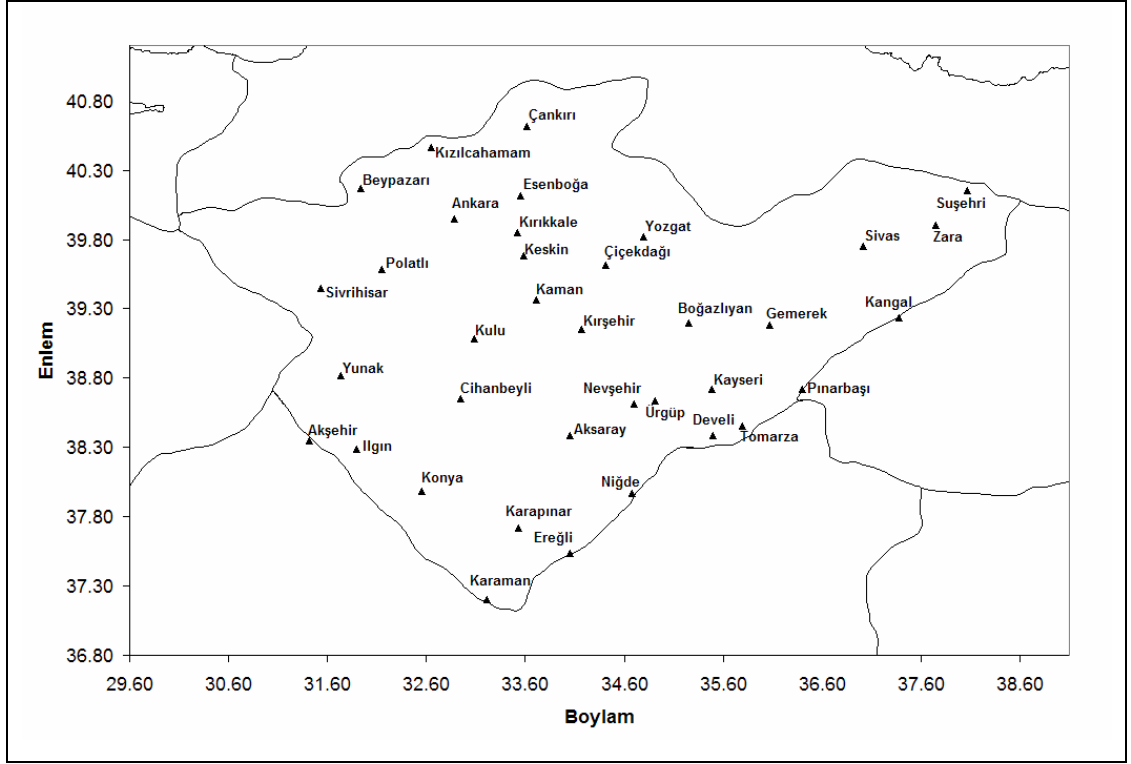
Sonuçlar bu bölgedeki 36 adet istasyonun verileri kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Bu ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 4.39 ile gösterilmiştir.

İç Anadolu Bölgesindeki en büyük yıllık enerji akısı değerlerine sahip beş istasyon Tablo 4.22 ile gösterilmiştir. Enerji akısı bakımından en yüksek değerlere sahip olan Yunak güç akısı bakımından zayıfın üstünde olarak sınıflandırılabilir. Bu beş istasyon arasında durgun hava ölçümü yaklaşık olarak hiç yapılmamıştır.

İç Anadolu Bölgesindeki bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk beş istasyon Tablo 4.23 ile gösterilmiştir. Enerji akısı için ilk beş istasyon aynı zamanda en yüksek ortalama hızların da gözlendiği konumlardır. En olası hız bakımından enerji akısı için ilk beş içinde yer almayan Develi, Ankara ve Cihanbeyli istasyonları sırasıyla ikinci, üçüncü ve dördüncü sıradadır.

İstasyonlara ait aylık olarak hazırlanmış Weibull faktörleri Tablo 4.24 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.25 ile gösterilmiştir.

Yunak istasyonu için en yüksek ortalama hız değerleri Şubat ve Mart aylarında görülmektedir. Güç akısı yılın 2 ayı için iyi olarak sınıflandırılabilir. Sadece Eylül ayı için güç akısı zayıf seviyededir.



Şekil 4.39 İç Anadolu Bölgesindeki istasyonların konumları

Tablo 4.22 İç Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)

	E/A [MJ/m ²]		P/A [W/m ²]	R ² _{1.0}	S%
1	Yunak	7040	224	1.000	0.01
2	Pınarbaşı	5683	180	0.995	0.00
3	Suşehri	4571	145	0.989	0.00
4	Kaman	4316	137	1.000	0.00
5	Çiçekdağı	3038	96	0.999	0.03

Tablo 4.23 İç Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)

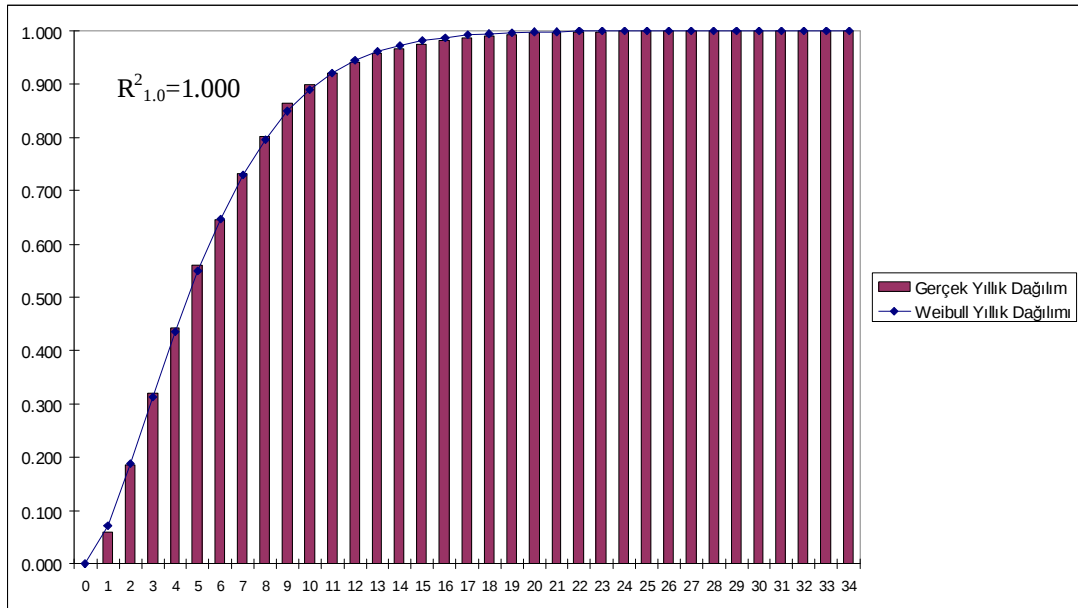
	V _m [m/s]		V _{mp} [m/s]		V _{me} [m/s]	
1	Yunak	5.28	Pınarbaşı	3.05	Yunak	10.47
2	Pınarbaşı	5.16	Develi	2.95	Pınarbaşı	9.64
3	Suşehri	4.59	Ankara	2.76	Suşehri	9.06
4	Kaman	4.58	Cihanbeyli	2.75	Kaman	8.76
5	Çiçekdağı	4.10	Yunak	2.69	Çiçekdağı	7.64

Tablo 4.24 İç Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akıllı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

	Çiçekdağı		Kaman		Pınarbaşı		Suşehri		Yunak	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	1.43	4.89	1.44	5.35	1.45	5.60	1.43	3.79	1.31	5.87
Şubat	1.76	5.83	1.52	6.28	1.26	6.28	1.52	4.84	1.33	7.63
Mart	1.69	4.92	1.69	6.34	1.34	6.21	1.60	5.29	1.38	7.03
Nisan	1.72	5.11	1.57	5.71	1.57	6.56	1.57	5.45	1.48	6.19
Mayıs	1.66	4.43	1.61	4.79	1.62	6.09	1.58	4.61	1.54	5.35
Haziran	1.79	4.67	1.77	4.74	2.12	5.70	1.61	6.03	2.11	5.29
Temmuz	1.90	4.94	1.78	4.95	2.38	5.66	1.49	6.25	2.16	5.94
Ağustos	1.94	4.53	1.90	5.06	2.17	5.85	1.60	6.34	2.07	6.19
Eylül	1.52	3.91	1.73	4.22	2.08	5.06	1.51	5.06	1.92	5.00
Ekim	1.62	3.54	1.54	4.01	1.80	5.13	1.53	4.74	1.71	4.86
Kasım	1.49	3.73	1.39	4.89	1.55	5.57	1.35	4.01	1.47	5.85
Aralık	1.32	4.47	1.33	4.87	1.32	4.99	1.38	3.44	1.04	4.74
Yıllık	1.59	4.57	1.54	5.09	1.58	5.75	1.48	5.07	1.47	5.84

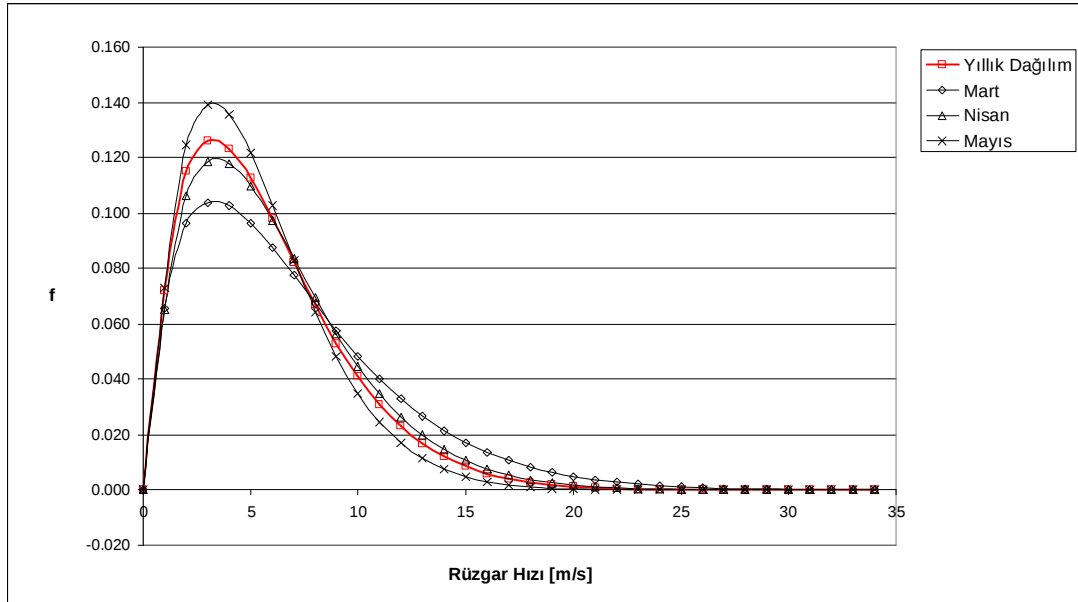
Tablo 4.25 İç Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akıllı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Çiçekdağı		Kaman		Pınarbaşı		Suşehri		Yunak	
	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	4.44	143	4.86	180	5.08	194	3.44	64	5.42	293
Şubat	5.19	171	5.66	261	5.84	378	4.36	119	7.01	614
Mart	4.39	109	5.66	226	5.70	316	4.74	142	6.42	444
Nisan	4.55	119	5.12	185	5.90	272	4.89	161	5.60	264
Mayıs	3.96	81	4.29	105	5.46	207	4.14	96	4.82	158
Haziran	4.16	86	4.22	89	5.05	121	5.40	208	4.69	101
Temmuz	4.39	95	4.41	101	5.02	108	5.64	265	5.26	139
Ağustos	4.02	71	4.49	99	5.18	128	5.68	245	5.48	164
Eylül	3.52	65	3.77	65	4.48	86	4.56	138	4.43	94
Ekim	3.17	43	3.61	67	4.56	106	4.27	111	4.33	100
Kasım	3.37	58	4.46	148	5.01	169	3.68	86	5.29	224
Aralık	4.11	129	4.48	161	4.59	169	3.14	52	4.67	303
Yıllık	4.10	96	4.58	137	5.16	180	4.59	145	5.28	224



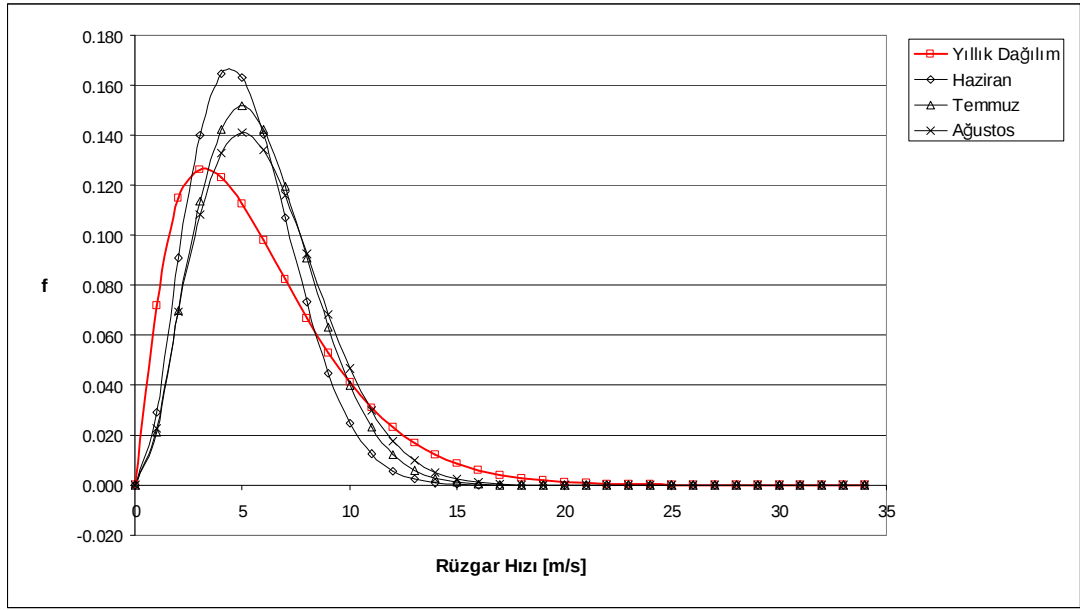
Şekil 4.40 Yunak istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Yunak istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.40 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 3-6 m/s aralığı için gerçek dağılımdan düşük olasılıklar vermektedir. Ancak farklar ufaktır ve $R^2_{1.0}$ değerinin gösterdiği gibi Weibull dağılımı Yunak istasyonu verisini kullanılan hassasiyette fark anlaşılamayacak kadar büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



Şekil 4.41 Yunak istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

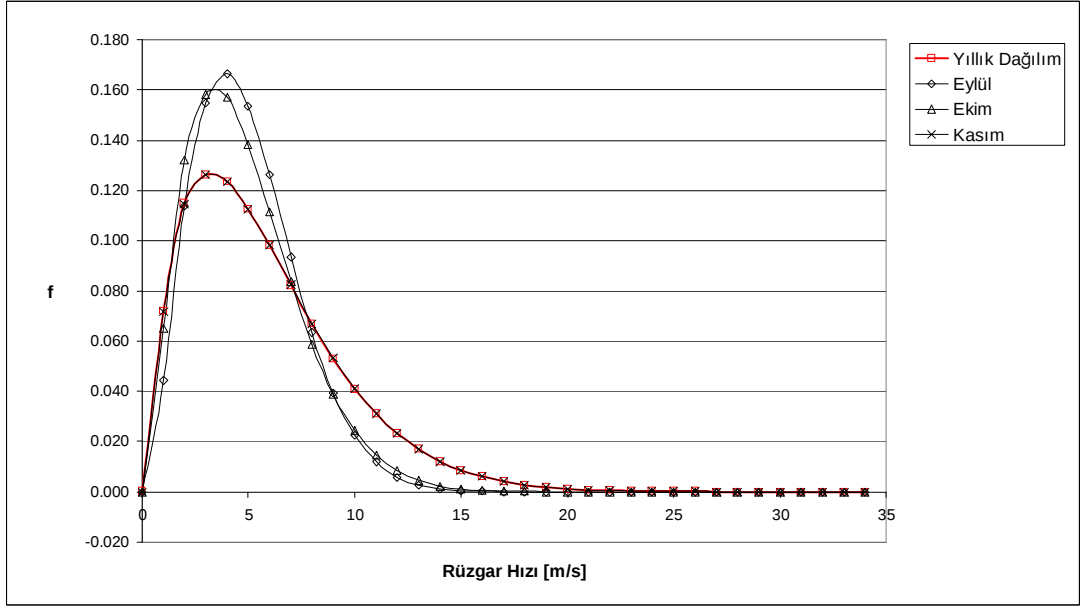
Yunak istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.41 ile gösterilmiştir. Mart ayında 9 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının yüksek olmasının etkisi ile yıl içindeki en büyük ikinci ortalama hız ve güç akısı değerleri gözlenmiştir. Nisan ayı ortalamaları da yıllık ortalamadan yüksek iken Mayıs ayı ortalama değerleri yıllık ortalamadan altındadır. İlkbahar aylarındaki dağılımlar 5 m/s altında büyük değerlere sahip olduklarından türbin çalışma aralıkları ile uyum problemleri gözlenmesi beklenebilir.



Şekil 4.42 Yunak istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

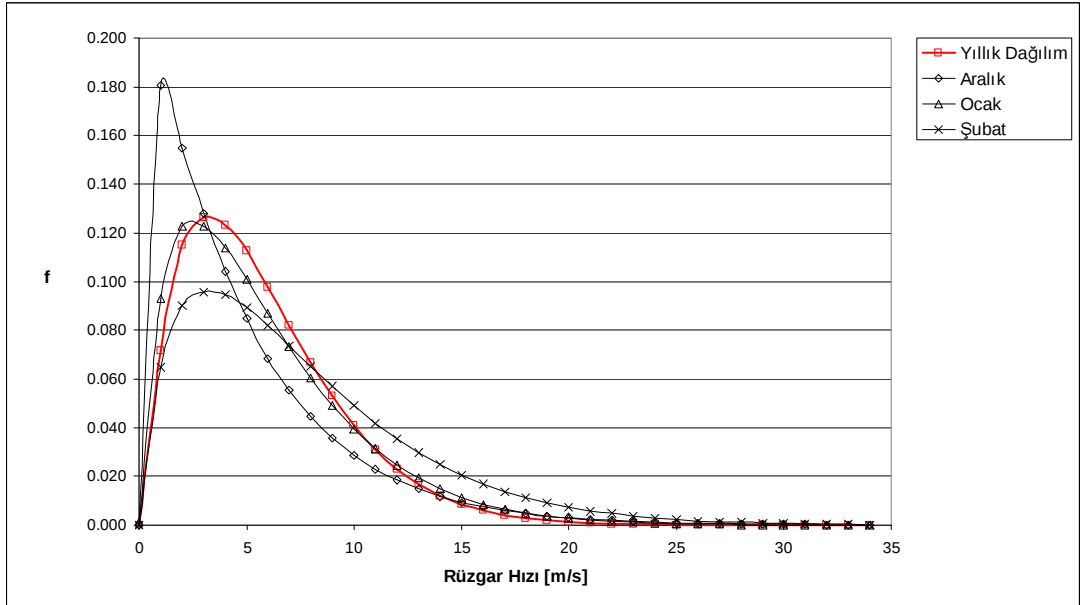
Yunak istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.42 ile gösterilmiştir. Haziran ayında aylık ortalama yıllık ortalamadan altında, güç akısı da zayıf seviyesi sınırındadır. Temmuz ayında ortalama hız yıllık ortalamaya yakın, Ağustos ayında ise üstünde olmasına rağmen yüksek hızların olasılıklarının düşük olması nedeniyle güç akısı bakımından yıllık ortalamadan altında kalmaktadır. Ancak yaz mevsimindeki dağılımların ilkbahar mevsimine göre türbin çalışma aralıkları açısından daha elverişli olacağı söylenebilir.

Yunak istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.43 ile gösterilmiştir. Eylül ayında yılın en düşük güç akı değeri gözlenmiştir. Sonbahar mevsimi sonuna doğru ortalamalar artarak yıllık ortalama seviyeye ulaşmaktadır.



Şekil 4.43 Yunak istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Yunak istasyonu için yıllık ve kış ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.44 ile gösterilmiştir. Aralık ayında nispeten yüksek bir güç akısı değeri hesaplanmasına rağmen dağılım türbin çalışma aralıkları açısından son derece elverişsizdir. Ocak ayı dağılımı yıllık dağılıma benzerdir. Şubat ayında ise yılın en yüksek ortalama hız ve güç akısı değerleri gözlenmiştir.



Şekil 4.44 Yunak istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

4.8.Doğu Anadolu Bölgesindeki İstasyonlar

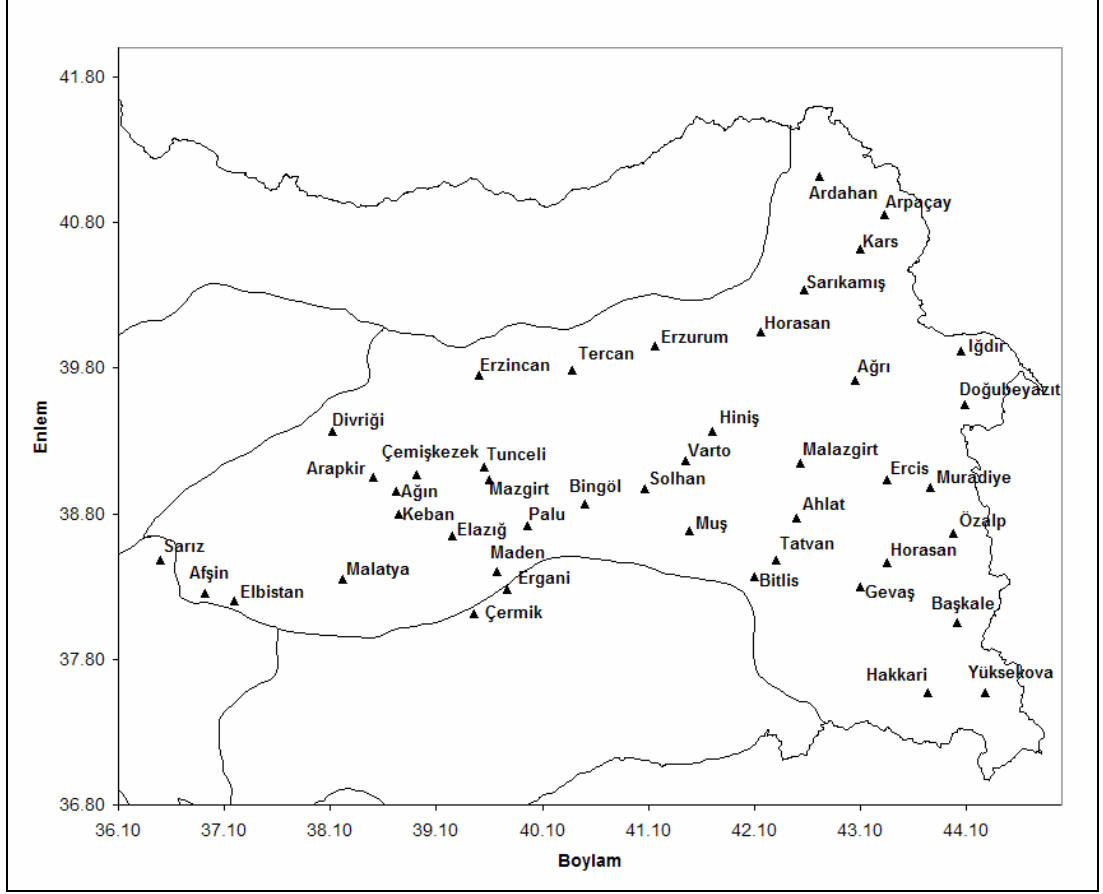
Sonuçlar bu bölgedeki 44 adet istasyonun verileri kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Bu ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 4.45 ile gösterilmiştir.

Doğu Anadolu Bölgesindeki en büyük enerji akısı değerlerine sahip beş istasyon Tablo 4.26 ile gösterilmiştir. Enerji akısı bakımından en yüksek değerlere sahip olan Maden güç akısı bakımından iyi olarak sınıflandırılabilir. Bu beş istasyon arasında %2.83 ile Erzurum yıl boyunca en uzun süre durgun hava hızlarının gözlemlendiği istasyondur.

Doğu Anadolu Bölgesindeki bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk beş istasyon Tablo 4.27 ile gösterilmiştir. Enerji akısı için ilk beş istasyon içerisinde yer almayan Ahlat ve Çemişkezek sırasıyla en yüksek dördüncü ve beşinci ortalama hız değerlerine sahiptir. En olası hız bakımından en yüksek değere Maden sahiptir. Diğer dört istasyon olan Mazgirt, Ahlat, Çemişkezek ve Van enerji akısı bakımından ilk beş içerisinde değildir.

İstasyonlara ait aylık olarak hazırlanmış Weibull faktörleri Tablo 4.28 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.29 ile gösterilmiştir.

Maden istasyonu için en yüksek ortalama hız değerleri Haziran ve Temmuz aylarında görülmektedir. Güç akısı yılın 8 ayı için iyi olarak sınıflandırılabilir. Yıl içinde aylık ortalama güç akısı zayıf seviyeye düşmemektedir. Maden istasyonu aylık güç akısı değerleri yıl içinde az değişim göstermeleri açısından enerji üretimi için olumlu bir dağılım göstermektedir.



Şekil 4.45 Doğu Anadolu Bölgesindeki istasyonların konumları

Tablo 4.26 Doğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)

	E/A [MJ/m ²]		P/A [W/m ²]	R ² _{1.0}	S%
1	Maden	14534	461	0.999	0.05
2	Ağın	5304	168	0.995	0.15
3	Erzurum	3284	104	0.994	2.83
4	Arapkir	2002	63	0.995	0.19
5	Divriği	1760	56	0.993	0.03

Tablo 4.27 Doğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)

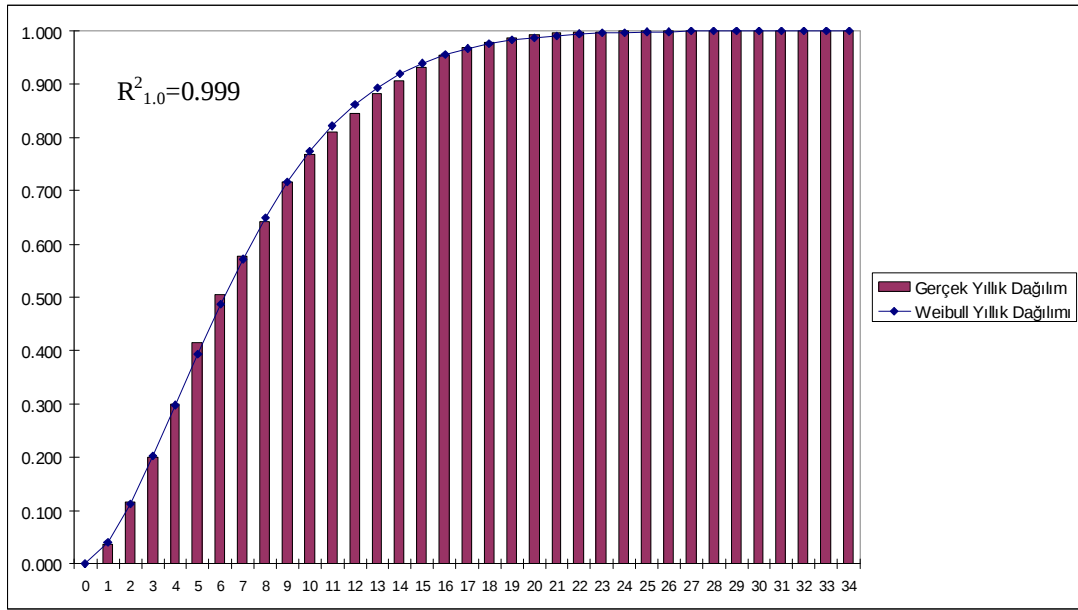
	V _m [m/s]		V _{mp} [m/s]		V _{me} [m/s]	
1	Maden	6.98	Maden	4.07	Maden	13.12
2	Ağın	4.62	Mazgirt	4.00	Ağın	9.69
3	Erzurum	3.53	Ahlat	2.84	Erzurum	9.24
4	Ahlat	3.51	Çemişkezek	2.54	Arapkir	7.18
5	Çemişkezek	3.30	Van	1.99	Divriği	6.73

Tablo 4.28 Doğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

	Ağın		Arapkir		Divriği		Erzurum		Maden	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	1.27	4.50	0.94	2.52	1.23	2.91	0.93	1.81	1.23	7.13
Şubat	1.29	4.79	1.05	2.44	1.18	4.11	0.96	2.81	1.17	5.50
Mart	1.33	5.49	1.27	3.69	1.44	4.62	1.18	4.18	1.28	6.73
Nisan	1.51	4.51	1.46	3.62	1.46	4.94	1.23	4.63	1.59	5.90
Mayıs	1.39	4.84	1.60	3.59	1.71	3.45	1.39	5.08	1.67	7.13
Haziran	1.53	6.52	1.98	5.08	1.65	3.61	1.35	4.13	2.02	9.61
Temmuz	1.69	6.34	2.43	5.04	1.68	3.52	1.27	4.50	2.08	9.81
Ağustos	1.56	6.13	2.00	4.82	1.70	3.47	1.36	4.27	2.00	8.59
Eylül	1.61	5.74	1.94	4.49	1.72	3.16	1.21	3.86	2.13	9.02
Ekim	1.26	4.62	1.26	3.71	1.50	2.93	1.06	3.78	1.88	8.92
Kasım	1.34	3.97	1.21	2.44	1.28	2.91	1.13	3.14	1.68	6.74
Aralık	1.46	3.49	1.24	1.70	1.18	2.87	1.02	2.21	1.45	7.88
Yıllık	1.38	5.06	1.32	3.58	1.39	3.53	1.12	3.68	1.57	7.77

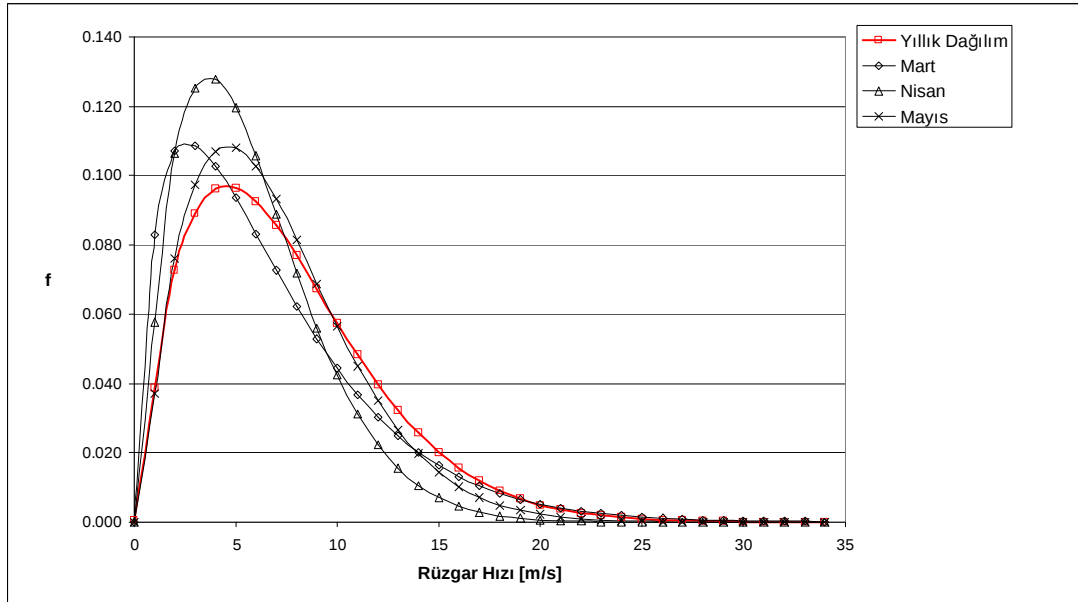
Tablo 4.29 Doğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Ağın		Arapkir		Divriği		Erzurum		Maden	
	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]	V _m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	4.18	144	2.59	66	2.72	41	1.87	24	6.67	603
Şubat	4.43	168	2.39	38	3.89	133	2.86	78	5.21	319
Mart	5.05	234	3.43	77	4.19	115	3.96	131	6.23	452
Nisan	4.07	99	3.28	54	4.47	137	4.33	157	5.29	197
Mayıs	4.42	146	3.22	44	3.08	36	4.63	154	6.37	322
Haziran	5.87	294	4.51	94	3.23	43	3.79	89	8.52	620
Temmuz	5.66	229	4.47	77	3.14	39	4.17	132	8.69	642
Ağustos	5.51	235	4.28	79	3.09	37	3.91	97	7.61	448
Eylül	5.14	183	3.98	66	2.82	27	3.63	95	7.99	487
Ekim	4.30	160	3.45	79	2.64	27	3.69	132	7.92	536
Kasım	3.64	86	2.29	25	2.69	37	3.00	62	6.02	269
Aralık	3.16	49	1.58	8	2.71	44	2.19	31	7.14	556
Yıllık	4.62	168	3.30	63	3.22	56	3.53	104	6.98	461



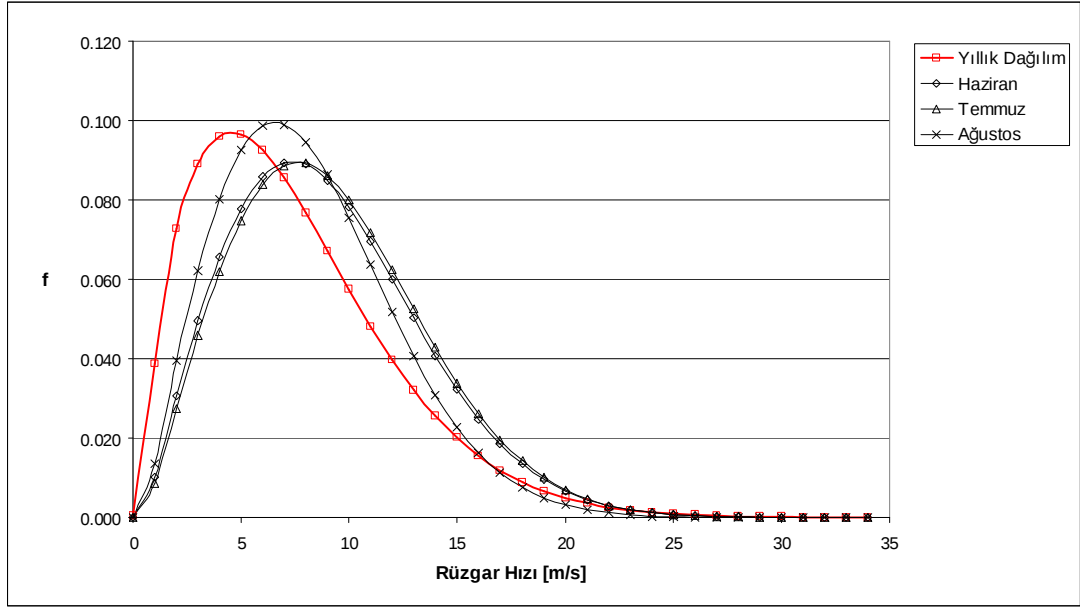
Şekil 4.46 Maden istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Maden istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.46 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 4-7 m/s aralığı için gerçek dağılımdan düşük, 10-16 m/s arasında ise gerçek dağılımdan yüksek olasılıklar vermektedir. Ancak farklar ufaktır ve $R^2_{1,0}$ değerinin gösterdiği gibi Weibull dağılımı Maden istasyonu verisini büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



Şekil 4.47 Maden istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

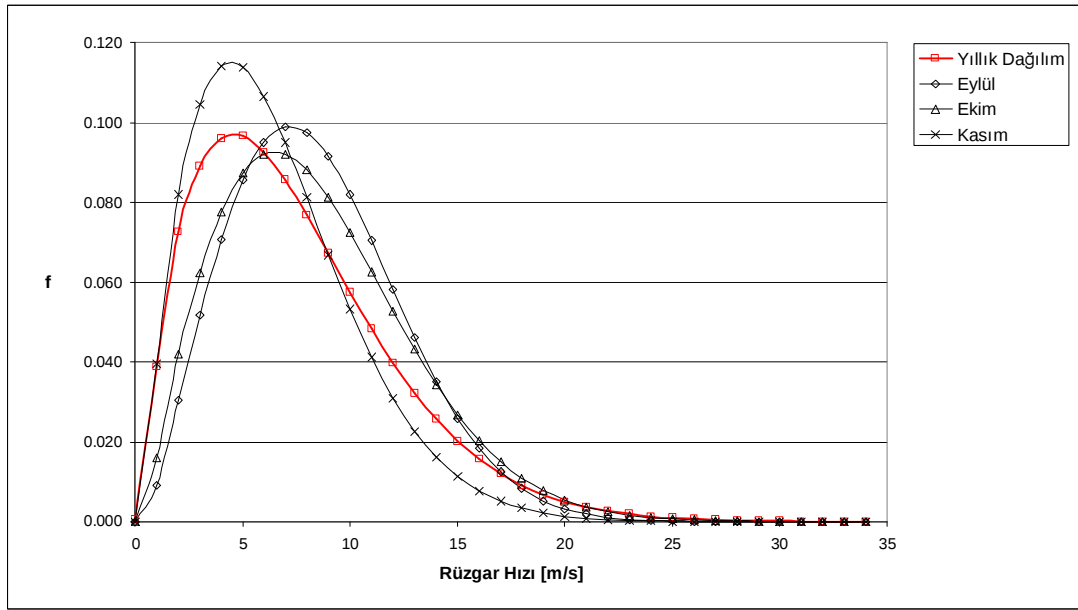
Maden istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.47 ile gösterilmiştir. Her üç ay için ortalama hız ve güç akısı değerleri yıllık ortalamanın altında kalmış, Nisan ayında yılın en düşük aylık güç akısı değeri gözlenmiştir.



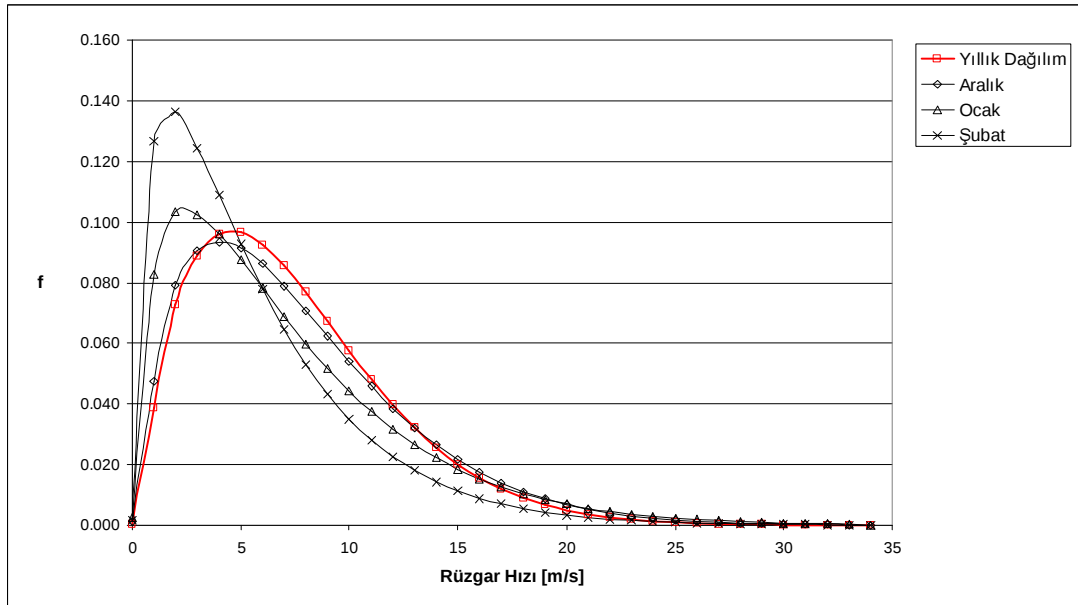
Şekil 4.48 Maden istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Maden istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.48 ile gösterilmiştir. Yaz mevsimi boyunca tüm aylarda yıllık ortalamanın üstünde aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri elde edilmiştir. Haziran ve Temmuz ayları yılın en yüksek ortalama değerlere sahip iki aydır. Yaz aylarındaki dağılımlar da türbin çalışma aralıklarına uyumlu eğrilerdir.

Maden istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.49 ile gösterilmiştir. Eylül ve Ekim aylarında yaz aylarında gözlenen yüksek ortalama dağılımlar devam ederken, Kasım ayında olasılık yoğunluk eğrisinin düşük hız değerlerine kaydığı ve ortalama değerlerin yıllık ortalamanın altına düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 4.49 Maden istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.50 Maden istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Maden istasyonu için yıllık ve kış ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.50 ile gösterilmiştir. Aralık ayı dağılımı yıllık dağılıma yakın ve ortalama hız ve güç akıları yıllık ortalamanın üstündedir. Ocak ve Şubat aylarında eğrilerin 5 m/s altındaki değerlere doğru kaymış olduğu göz önüne alınırsa türbin çalışma aralıkları ile uyum sorunları yaşanması olası gözükmemektedir.

4.9.Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki İstasyonlar

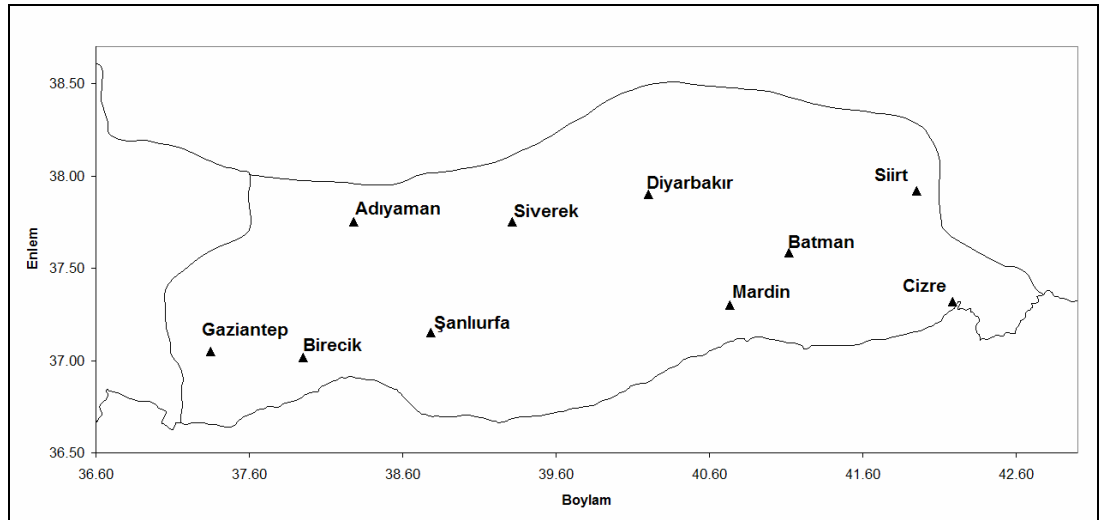
Sonuçlar bu bölgedeki 10 adet istasyonun verileri kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Bu ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 4.51 ile gösterilmiştir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en büyük enerji akısı değerlerine sahip beş istasyon Tablo 4.30 ile gösterilmiştir. Enerji akısı bakımından en yüksek değerlere sahip olan Mardin güç akısı bakımından zayıfın üstünde olarak sınıflandırılabilir. Bu beş istasyon arasında %4.38 ile Şanlıurfa yıl boyunca en uzun süre durgun hava hızlarının gözlemlendiği istasyondur.

Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki bütün istasyonlar arasında yıllık ortalama hız, yıllık en olası hız ve enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hıza göre ilk beş istasyon Tablo 4.31 ile gösterilmiştir. Enerji akısı için ilk beş istasyon aynı zamanda en yüksek ortalama hızların da gözlemlendiği konumlardır. En olası hız bakımından enerji akısı için ilk beş içinde yer almayan Cizre beşinci sıradadır.

İstasyonlara ait aylık olarak hazırlanmış Weibull faktörleri Tablo 4.32 ile, aylık olarak hesaplanmış ortalama hız ve güç akısı değerleri Tablo 4.33 ile gösterilmiştir.

Mardin istasyonu için en yüksek ortalama hız değeri Ocak ayında görülmektedir. Güç akısı Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında zayıf seviyededir. Diğer aylarda ise iyi şekilde sınıflandırılacak seviyeye ulaşmamaktadır. Aylık ortalama güç akısı sadece Ocak ayında 200 W/m^2 'nin üzerindedir.



Şekil 4.51 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki istasyonların konumları

Tablo 4.30 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının enerji akılarına göre sıralaması (ilk 5)

	E/A [MJ/m ²]		P/A [W/m ²]	R ² _{1.0}	S%
1	Mardin	4241	134	0.999	0.03
2	Batman	2353	75	0.994	0.06
3	Diyarbakır	1992	63	1.000	1.44
4	Şanlıurfa	1501	48	0.999	4.38
5	Siverek	1146	36	1.000	0.70

Tablo 4.31 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki ölçüm istasyonlarının hızlara göre sıralaması (ilk 5)

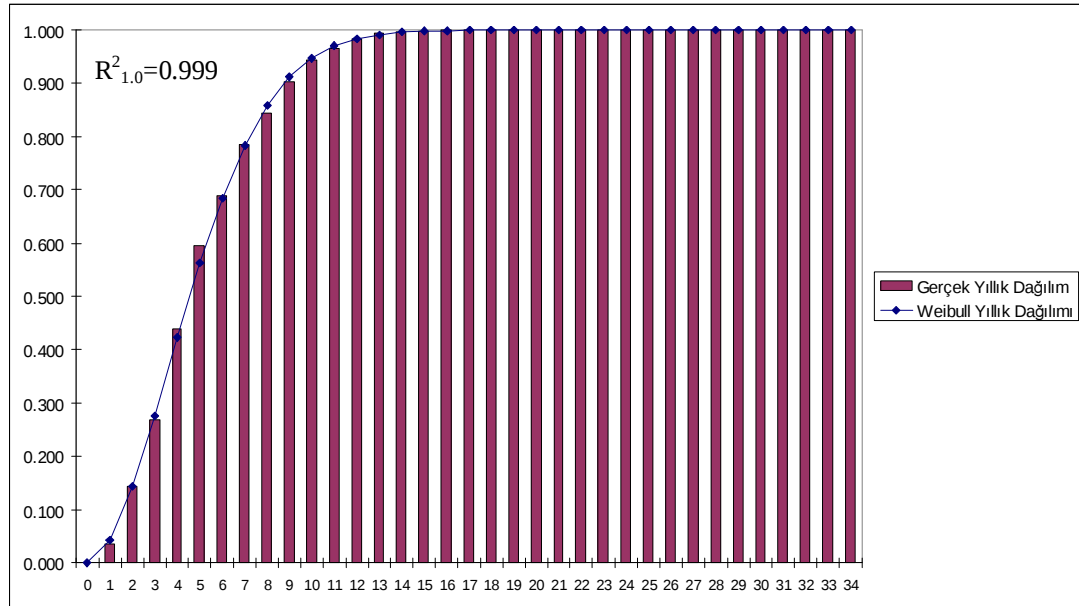
	V _m [m/s]		V _{mp} [m/s]		V _{me} [m/s]	
1	Mardin	4.93	Mardin	3.62	Mardin	8.30
2	Batman	3.42	Siverek	1.69	Batman	7.42
3	Diyarbakır	3.17	Batman	1.31	Diyarbakır	7.14
4	Şanlıurfa	2.98	Şanlıurfa	1.22	Şanlıurfa	6.34
5	Siverek	2.95	Cizre	1.16	Siverek	5.57

Tablo 4.32 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akılı istasyonlar için aylık k ve c değerleri

	Batman		Diyarbakır		Mardin		Siverek		Şanlıurfa	
	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]	k	c [m/s]
Ocak	1.19	2.81	1.07	2.77	1.91	6.80	1.51	3.62	1.41	2.98
Şubat	1.14	3.35	1.20	2.93	1.90	5.56	1.33	2.88	1.44	2.88
Mart	1.44	4.63	1.16	3.73	2.00	6.13	1.65	3.63	1.49	4.01
Nisan	1.22	4.49	1.34	3.31	1.75	5.70	1.67	3.54	1.54	4.15
Mayıs	1.52	4.32	1.38	3.43	1.92	5.15	1.58	3.22	1.71	4.17
Haziran	1.66	4.23	1.62	4.87	2.06	6.09	1.71	3.89	2.03	4.79
Temmuz	1.67	3.86	1.68	4.56	2.06	5.04	1.71	3.53	1.88	5.13
Ağustos	1.62	3.91	1.59	3.96	1.84	4.80	1.52	3.24	1.26	2.87
Eylül	1.48	3.71	1.54	3.73	1.87	4.55	1.76	3.00	1.33	2.62
Ekim	1.30	3.87	1.40	3.48	2.09	5.71	1.71	3.17	1.45	2.23
Kasım	1.38	2.75	1.15	2.27	1.67	5.34	1.41	2.68	1.62	1.72
Aralık	1.19	2.83	1.11	2.15	1.63	5.73	1.49	2.87	1.46	1.60
Yıllık	1.33	3.72	1.28	3.42	1.84	5.55	1.56	3.28	1.36	3.26

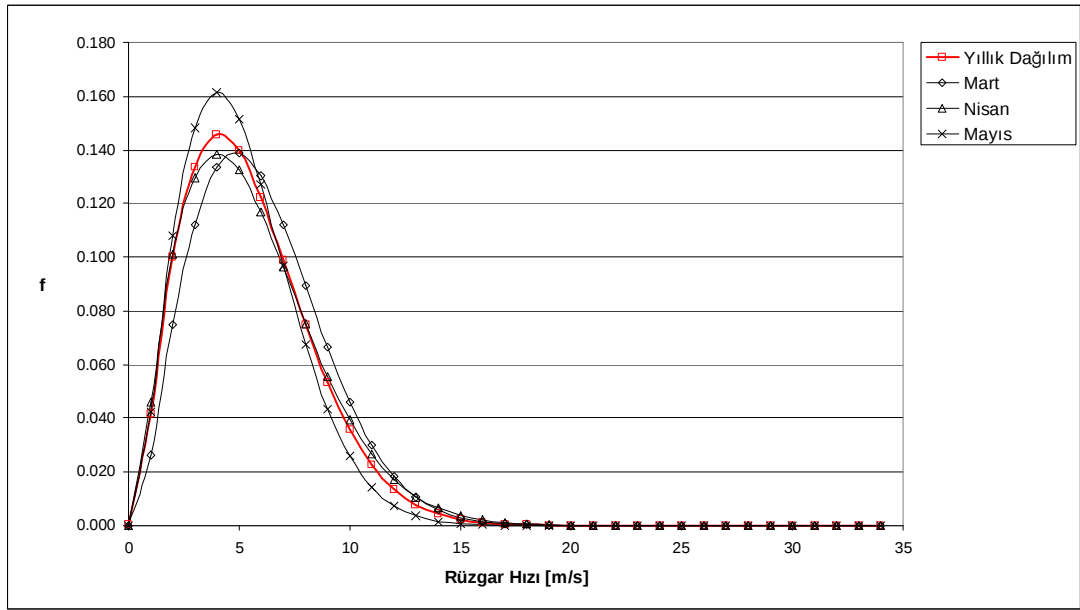
Tablo 4.33 Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek enerji akıllı istasyonlar için aylık ortalama hız ve güç akısı değerleri

	Batman		Diyarbakır		Mardin		Siverek		Şanlıurfa	
	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]	V_m [m/s]	P/A [W/m ²]
Ocak	2.65	43	2.70	57	6.03	235	3.27	52	2.71	34
Şubat	3.20	83	2.76	47	4.93	130	2.65	34	2.61	29
Mart	4.20	120	3.54	105	5.44	164	3.25	45	3.62	74
Nisan	4.21	161	3.04	52	5.08	155	3.17	41	3.73	77
Mayıs	3.90	89	3.13	53	4.57	102	2.89	34	3.72	66
Haziran	3.78	72	4.36	114	5.39	156	3.47	53	4.24	81
Temmuz	3.45	54	4.07	88	4.47	89	3.15	39	4.55	108
Ağustos	3.51	59	3.56	63	4.27	87	2.92	37	2.67	39
Eylül	3.35	59	3.36	56	4.04	73	2.67	23	2.41	26
Ekim	3.57	88	3.18	55	5.06	127	2.83	28	2.02	13
Kasım	2.52	28	2.16	25	4.77	136	2.44	24	1.54	5
Aralık	2.67	44	2.07	23	5.13	175	2.59	26	1.45	5
Yıllık	3.42	75	3.17	63	4.93	134	2.95	36	2.98	48



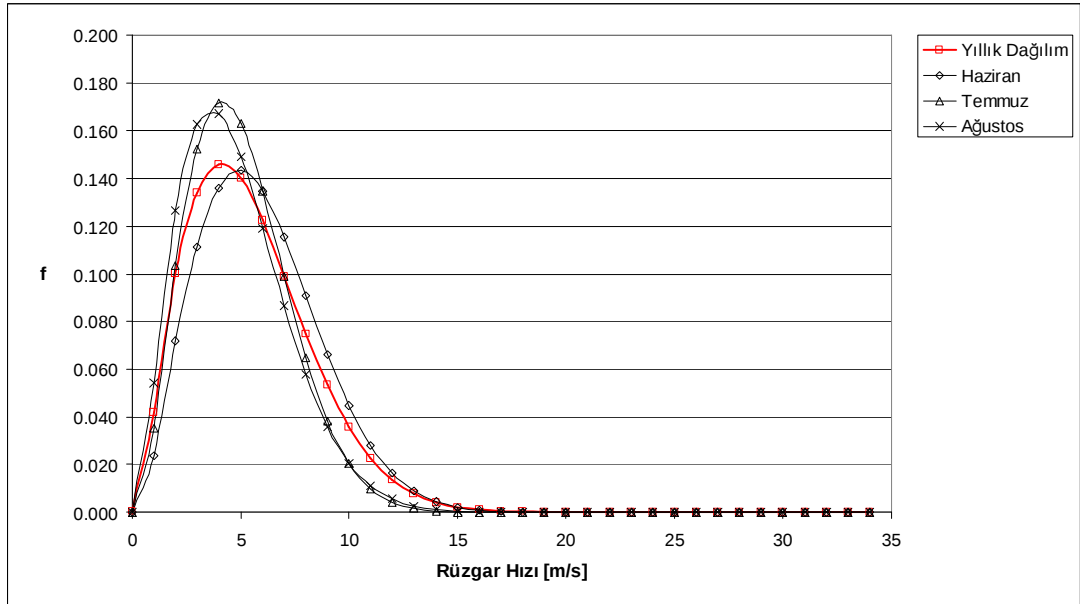
Şekil 4.52 Mardin istasyonu yıllık kümülatif dağılımı

Mardin istasyonu için yıllık gerçek ve Weibull kümülatif dağılımları Şekil 4.52 ile gösterilmiştir. Weibull dağılımı 3-7 m/s aralığı için gerçek dağılımdan düşük, 7-12 m/s arasında ise gerçek dağılımdan yüksek olasılıklar vermektedir. Ancak farklar ufaktır ve $R^2_{1,0}$ değerinin gösterdiği gibi Weibull dağılımı Mardin istasyonu verisini büyük yaklaşıklıkla temsil etmektedir.



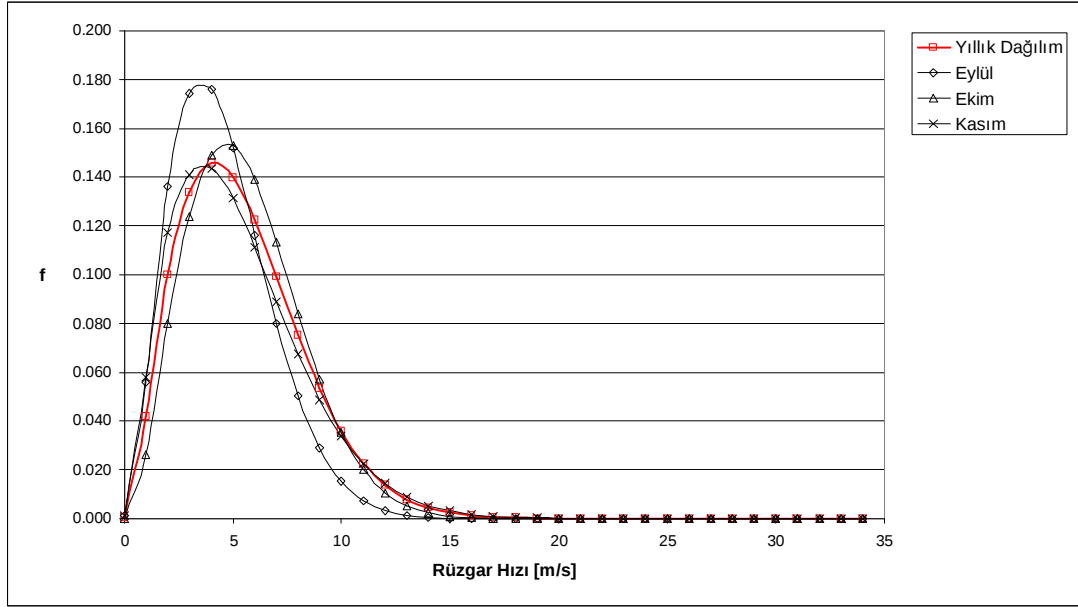
Şekil 4.53 Mardin istasyonu, yıllık ve ilkbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Mardin istasyonu için yıllık ve ilkbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.53 ile gösterilmiştir. Mart ve Nisan aylarında yıllık ortalamanın üstünde ortalama hız ve güç akısı değerleri gözlenmiştir. Mayıs ayında ise ortalamalar yıllık değerlerin altındadır.



Şekil 4.54 Mardin istasyonu, yıllık ve yaz ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

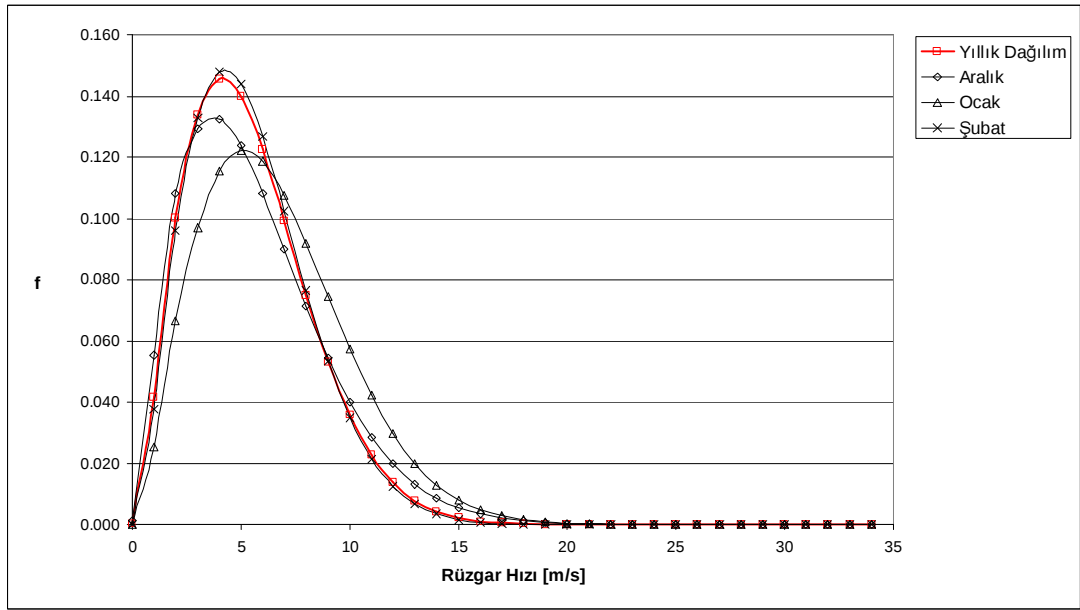
Mardin istasyonu için yıllık ve yaz ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.54 ile gösterilmiştir. Haziran ayında yıllık ortalamanın üstünde değerler elde edilirken Temmuz ve Ağustos aylarından güç akıları zayıf seviyelere düşmüştür. Aylık dağılımlarda büyük farklılıklar görülmemektedir.



Şekil 4.55 Mardin istasyonu, yıllık ve sonbahar ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

Mardin istasyonu için yıllık ve sonbahar ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.55 ile gösterilmiştir. Eylül ayında yaz mevsiminin son iki ayında olduğu gibi güç akısı değeri zayıf seviyede kalmış, Ekim ve Kasım aylarında dağılımlar yeniden yıllık ortalama dağılıma benzer bir grafik çizmişlerdir.

Mardin istasyonu için yıllık ve kış ayları için aylık olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri Şekil 4.56 ile gösterilmiştir. Kış mevsimi genel olarak hem ortalama hız değerleri hem de güç akıları açısından yılın en yüksek aylık değerlerine ulaşılan zamanıdır. Ocak ayında güç akısı değeri 235 W/m^2 ile yılın en yüksek aylık değeridir. 7 m/s üzerindeki hızların olasılıklarının artması ortalama akıyı arttırmıştır. Yıllık dağılıma en benzer dağılım Şubat ayında elde edilmiştir.



Şekil 4.56 Mardin istasyonu, yıllık ve kış ayları için aylık Weibull dağılımlarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Türkiye'nin rüzgar enerjisi kaynakları açısından sahip olduğu büyük potansiyel bilinmektedir. Bu kaynağın en iyi şekilde değerlendirilmesi için ön çalışmalar ile potansiyeli yüksek bölgeler belirlenmelidir. Daha sonra bu bölgelerde türbin kule yüksekliklerinde ölçümler ve detaylı analizler yapılarak kurulacak türbinlerin tam konumları, adetleri ve elde edilebilecek enerji miktarları belirlenebilir.

Bu çalışma kapsamında meteorolojik amaçlarla toplanmış rüzgar ölçümlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve potansiyeli yüksek noktaların tespiti için FORTRAN programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir.

Türkiye'nin rüzgar potansiyelinin araştırılmasında ülke çapında 224 meteoroloji istasyonundan 2005 yılı boyunca ölçülen saatlik rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Veriler 10 m yükseklikte toplanmıştır. Rüzgar türbinlerinin 50 m kule yüksekliğine sahip olacağı varsayılarak rüzgar verisi güç kanunu profili kullanılarak 50 m yüksekliğe uyarlanmıştır. Her istasyonun bulunduğu konum için, Türkiye ortalama sıcaklık normali ve meteoroloji istasyonunun deniz seviyesinden yükseklikleri kullanılarak hava yoğunlukları hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan rüzgar verilerinin toplandığı meteoroloji istasyonlarının bulundukları coğrafi bölgeler, koordinatları, deniz seviyesinden yükseklikleri, yıllık ortalama sıcaklık değerleri ve türbin yüksekliğinde hesaplanan hava yoğunlukları Ek-A Tablo A.1 ile verilmiştir.

Rüzgar verilerinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşım olarak Weibull dağılımı kullanılmıştır. Weibull dağılımı şekil faktörü ve ölçek faktörü ile belirlenmektedir. Bu faktörlerin hesaplanması için tüm veri kullanılarak maksimum olasılık yöntemi, standart sapma yöntemi, grafik yöntem ve enerji eğilim faktörü yöntemi uygulanmıştır. Farklı yöntemlerin verdiği sonuçlar elde edilen dağılımın gerçek veriyi temsil etme yeteneğine göre karşılaştırılmış ve mevcut veri ile en iyi

netice veren maksimum olasılık yöntemi hesaplamalarda kullanılmak üzere seçilmiştir. Rüzgar verisi toplanan her istasyon için yıllık bazda maksimum olasılık yöntemi kullanılarak hesaplanan Weibull şekil ve ölçek faktörü, bu faktörlere bağlı olarak hesaplanan standart sapma, ortalama hız, en olası hız, enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hız, güç akısı ve enerji akısı Ek-B Tablo B.1 ile verilmiştir.

Elde edilen neticeler sırasıyla Bozcaada, Amasra, Maden, Çanakkale ve Gökçeada ölçüm istasyonlarının Türkiye'deki en büyük yıllık enerji akısı değerlerine sahip olduklarını ortaya koymuştur. Bozcaada ölçüm istasyonunda toplanan veriler için yıllık güç akısı 1020 W/m^2 , yıllık ortalama hız ise 9.08 m/s olarak hesaplanmıştır.

Noktasal olarak bulunan değerler Kriging metodu ile düzenli bir ağ üzerine dağıtılarak eş değer alanları oluşturulmuştur. Bu alanlara göre yüksek potansiyelli bölgeler batı Marmara, kuzeybatı ve kısmen doğu Karadeniz, doğu ve batı İç Anadolu, güney Ege ve Ege sahilleri, güneydoğu Güneydoğu Anadolu, güneybatı Doğu Anadolu, doğu Akdeniz ve Akdeniz sahilleri olarak belirlenmiştir.

İlerideki çalışmaların yeni veriler eklenerek sürekli güncelleştirilmesi gerekmektedir. Ölçüm istasyonlarının sayılarının artırılması, mümkün olduğunca uzun bir zaman aralığını kapsayan rüzgar hızı ölçüm verilerinin kullanılması ve bölgelerin coğrafi özelliklerinin rüzgar profilleri üzerindeki etkilerini açığa çıkaracak ölçüm ve hesaplamaların yapılması çalışmaları geliştirecektir. Ticari paket programların kullanımı; kullanılan hesap yönteminin gizli tutulması, yapılan kabullerin bilinmemesi, değişikliklerin sadece program geliştiricilerin öngördüğü şekilde yapılabilmesi ve hesap tekniğindeki gelişmelerin takip edilememesi gibi dezavantajları beraberinde getirmektedir. Ticari paket programların kullanımı yanında yeni yazılımların geliştirilmesi kullanıcıların hesaplamalar ve sonuçlar üzerindeki hakimiyetlerini arttıracak, teknik gelişmelerden geride kalmamalarını sağlayacaktır.

Yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olan bölgelerin belirlenmesi, türbin kurulumuna yönelik detaylı incelemelerin bu bölgelere yoğunlaşmasına yol açarak yatırımcılara yön verecek, hem zaman hem de maddi kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacak ve ülkemizin rüzgar enerjisi kaynaklarından daha erken faydalanabilmesinin önünü açacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Danish Wind Industry Association**. <http://www.windpower.org>
- [2] **The American Wind Energy Association**, 2007. Wind Power Today. <http://www.awea.org>
- [3] **The European Wind Energy Association**, 2004, 2005, 2006. European Capacity Map. <http://www.ewea.org>
- [4] **The European Wind Energy Association and Greenpeace**, 2005. Wind Force 12 Report. <http://www.greenpeace.org>
- [5] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü**. <http://www.eie.gov.tr>
- [6] **Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi**. <http://www.teias.gov.tr>
- [7] **Ümit Tolga Bilgin**, 2007. Rüzgar Enerjisi Ve Su Santralleri İşadamları Derneği. <http://www.ressiad.org.tr/makaleler.php?ID=62>
- [8] **Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası**. <http://repa.eie.gov.tr>
- [9] **Eskin, N., Artar, H., Tolun, S.**, 2006. Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*
- [10] **Özerdem, B., Özer, S., Tosun, M.**, 2006. Feasibility study of wind farms: A case study for İzmir, Turkey, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94, 725-743.
- [11] **Özdamar, A.**, 2004. Investigation of the potential of wind-waves as a renewable energy resource: by the example of Çeşme, Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 581-592.
- [12] **Çelik, A.N.**, 2003. A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey, *Renewable Energy*, 29, 593-604.
- [13] **Manwell, J.F., McGowan, J.G. and Rogers, A.L.**, 2002. Wind Energy Explained. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.
- [14] **Mathew, S.**, 2007. Wind Energy. Springer, Heidelberg.
- [15] **Artar, H.**, 2005. Gökçeada rüzgar enerji potansiyelinin incelenmesi ve enerji dönüşüm analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Bagiorgas, H.S., Assimakopoulos, M.N., Theoharopoulos, D., Matthopoulos, D., Mihalakakou, G.K.**, 2006. Electricity generation using wind energy conversion systems in the area of Western Greece, *Energy Conversion and Management*, 48, 1640-1655.

- [17] **Weistein, E.W.**, 2007. Gamma Function From MathWorld, A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/GammaFunction.html>
- [18] **Chang, T.J., Wu, Y.T., Hsu, H.Y., Chu, C.R., Liao, C.M.**, 2002. Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan, *Renewable Energy*, 25, 851-871.
- [19] **Jaramillo, O.A., Saldaña, R., Miranda, U.**, 2004. Wind power potential of Baja California Sur, México, *Renewable Energy*, 29, 2087-2100.
- [20] **Enercon GmbH**. <http://www.enercon.de>
- [21] **Siemens Power Generation**. <http://www.powergeneration.siemens.com>
- [22] **Lange, B., Larsen, S., Højstrup, J., Barthelmie, R.**, 2004. Importance of thermal and sea surface roughness for offshore wind resource assessment, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92, 959-988.
- [23] **Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü**. <http://www.meteor.gov.tr>
- [24] **Digital Chart of the World Server**. Penn State University, Pennsylvania. <http://www.maproom.psu.edu/dcw>
- [25] **Prof. Dr. Faik Sabri Duran**, 2006. Büyük Atlas. Kanaat Yayınları, İstanbul.
- [26] **Wikipedia, The Free Encyclopedia**. <http://en.wikipedia.org>
- [27] **Mathews, J.H.**, 1992. Numerical Methods for Mathematics, Science and Engineering. Pearson Prentice Hall, Boston.
- [28] **Genç, A., Erisoğlu, M., Pekgör, A., Oturanç, G., Hepbaşlı, A., Ülgen, K.**, 2005. Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution, *Energy Sources*, 27, 809-822.
- [29] **Centre for Renewable energy Sources**, 2007. Windrose User's Guide Version 7, Pikerimi. <http://www.cres.gr/windrose>
- [30] **iSixSigma, Six Sigma Portal and Community**. <http://www.isixsigma.com>
- [31] **Sidler, R.**, 2003. Kriging and Conditional Geostatistical Simulation Based on Scale-Invariant Covariance Models, *Diploma Thesis*, Swiss Federal Institute of Technology. Institute of Geophysics, Zurich.
- [32] **Lang, C.Y.**, Kriging Interpolation. Cornell University, New York. <http://www.nbb.cornell.edu/neurobio/land/OldStudentProjects/cs490-94to95/clang/kriging.html>
- [33] **Bivona, S., Burlon, R., Leone, C.**, 2003. Hourly wind speed analysis in Sicily, *Renewable Energy*, 28, 1371-1385.

EK-A

Tablo A.1 Rüzgar verisinin toplandığı meteoroloji istasyonları, bulundukları coğrafi bölge, boylam, enlem, deniz seviyesinden yükseklik, yıllık sıcaklık normali ve yerden 50m yükseklikte hesaplanan hava yoğunluğu

İst. No	İstasyon Adı	Bölge	Boylam [°]	Enlem [°]	Yükseklik [m]	Sıcaklık [°C]	ρ [kg/m ³]
17020	Bartın	Karadeniz	32.33	41.63	32.52	12.00	1.226
17022	Zonguldak	Karadeniz	31.80	41.45	135.35	14.00	1.202
17024	İnebolu	Karadeniz	33.78	41.98	63.82	12.00	1.221
17026	Sinop	Karadeniz	35.17	42.03	32.00	14.00	1.217
17030	Samsun	Karadeniz	36.25	41.35	4.00	14.00	1.221
17033	Ordu	Karadeniz	37.90	40.98	4.13	14.00	1.221
17034	Giresun	Karadeniz	38.38	40.92	38.00	14.00	1.216
17037	Trabzon	Karadeniz	39.75	40.98	30.00	14.00	1.217
17040	Rize	Karadeniz	40.50	41.03	8.60	14.00	1.22
17042	Hopa	Karadeniz	41.42	41.40	32.56	14.00	1.217
17045	Artvin	Karadeniz	41.82	41.18	628.35	12.00	1.142
17050	Edirne	Marmara	26.55	41.68	51.19	14.00	1.214
17054	Çorlu	Marmara	27.82	41.15	183.00	12.00	1.204
17056	Tekirdağ	Marmara	27.50	40.98	3.60	14.00	1.221
17059	Kumköy	Marmara	29.03	41.25	38.18	14.00	1.216
17061	Kireçburnu	Marmara	29.05	41.15	58.54	14.00	1.213
17062	Göztepe	Marmara	29.08	40.97	32.98	14.00	1.217
17066	Kocaeli	Marmara	29.93	40.77	76.00	14.00	1.211
17069	Sakarya	Marmara	30.40	40.77	30.43	14.00	1.217
17070	Bolu	Karadeniz	31.60	40.73	742.92	10.00	1.134
17072	Düzce	Karadeniz	31.17	40.83	145.67	14.00	1.201
17074	Kastamonu	Karadeniz	33.78	41.37	799.91	10.00	1.127
17080	Çankırı	İç Anadolu	33.62	40.62	751.00	10.00	1.133
17084	Çorum	Karadeniz	34.97	40.55	775.91	10.00	1.13
17085	Amasya	Karadeniz	35.85	40.65	411.69	14.00	1.164
17086	Tokat	Karadeniz	36.57	40.30	607.60	12.00	1.145
17088	Gümüşhane	Karadeniz	39.47	40.47	1219.00	10.00	1.071
17090	Sivas	İç Anadolu	37.02	39.75	1285.00	8.00	1.07
17094	Erzincan	Doğu Anadolu	39.50	39.75	1218.22	10.00	1.071
17096	Erzurum	Doğu Anadolu	41.17	39.95	1758.18	6.00	1.017
17097	Kars	Doğu Anadolu	43.10	40.62	1775.00	4.00	1.022
17099	Ağrı	Doğu Anadolu	43.05	39.72	1632.00	6.00	1.033
17100	Iğdır	Doğu Anadolu	44.05	39.92	858.00	10.00	1.119
17110	Gökçeada	Marmara	25.90	40.18	79.00	16.00	1.202
17111	Bozcaada	Marmara	26.07	39.83	30.00	16.00	1.209
17112	Çanakkale	Marmara	26.40	40.13	5.50	14.00	1.221

İst. No	İstasyon Adı	Bölge	Boylam [°]	Enlem [°]	Yükseklik [m]	Sıcaklık [°C]	ρ [kg/m ³]
17114	Bandırma	Marmara	27.98	40.32	63.00	14.00	1.213
17116	Bursa	Marmara	29.48	40.22	100.32	14.00	1.207
17119	Yalova	Marmara	29.28	40.67	3.81	14.00	1.221
17120	Bilecik	Marmara	29.98	40.15	539.19	12.00	1.154
17128	Esenboğa	İç Anadolu	33.55	40.12	959.33	12.00	1.097
17130	Ankara	İç Anadolu	32.88	39.95	890.52	12.00	1.107
17135	Kırıkkale	İç Anadolu	33.52	39.85	750.89	12.00	1.125
17140	Yozgat	İç Anadolu	34.80	39.82	1298.43	8.00	1.068
17145	Edremit	Ege	27.02	39.60	20.66	16.00	1.21
17155	Kütahya	Ege	29.97	39.42	969.28	10.00	1.104
17160	Kırşehir	İç Anadolu	34.17	39.15	1007.17	12.00	1.091
17162	Gemerek	İç Anadolu	36.07	39.18	1171.00	10.00	1.077
17165	Tunceli	Doğu Anadolu	39.55	39.12	980.91	12.00	1.095
17172	Van	Doğu Anadolu	43.35	38.47	1670.52	8.00	1.02
17175	Ayvalık	Ege	26.70	39.32	3.55	16.00	1.213
17180	Dikili	Ege	26.88	39.07	3.40	16.00	1.213
17184	Akhisar	Ege	27.82	38.90	92.03	16.00	1.2
17186	Manisa	Ege	27.43	38.62	71.00	16.00	1.203
17188	Uşak	Ege	29.40	38.68	919.22	12.00	1.103
17190	Afyon	Ege	30.53	38.75	1033.74	12.00	1.088
17191	Cihanbeyli	İç Anadolu	32.95	38.65	968.73	10.00	1.104
17192	Aksaray	İç Anadolu	34.05	38.38	960.77	12.00	1.097
17193	Nevşehir	İç Anadolu	34.70	38.62	1259.54	10.00	1.066
17196	Kayseri	İç Anadolu	35.48	38.72	1092.00	10.00	1.088
17199	Malatya	Doğu Anadolu	38.22	38.35	947.87	12.00	1.099
17201	Elazığ	Doğu Anadolu	39.25	38.65	989.75	14.00	1.086
17203	Bingöl	Doğu Anadolu	40.50	38.87	1177.00	12.00	1.069
17204	Muş	Doğu Anadolu	41.48	38.68	1322.76	10.00	1.057
17205	Tatvan	Doğu Anadolu	42.30	38.48	1664.65	8.00	1.021
17210	Siirt	Güneydoğu Anadolu	41.95	37.92	895.54	16.00	1.091
17220	İzmir	Ege	27.07	38.38	28.55	18.00	1.201
17221	Çeşme	Ege	26.30	38.30	5.00	18.00	1.204
17232	Kuşadası	Ege	27.25	37.87	25.00	16.00	1.21
17234	Aydın	Ege	27.85	37.85	56.30	18.00	1.197
17237	Denizli	Ege	29.08	37.78	425.29	16.00	1.154
17238	Burdur	Akdeniz	30.30	37.72	957.00	12.00	1.098
17240	Isparta	Akdeniz	30.55	37.75	996.88	12.00	1.092
17244	Konya	İç Anadolu	32.55	37.98	1030.61	12.00	1.088
17246	Karaman	İç Anadolu	33.22	37.20	1023.05	12.00	1.089
17248	Ereğli	İç Anadolu	34.05	37.53	1042.00	10.00	1.094
17250	Niğde	İç Anadolu	34.68	37.97	1210.50	10.00	1.072
17255	Kahramanmaraş	Akdeniz	36.93	37.60	572.13	16.00	1.134
17261	Gaziantep	Güneydoğu Anadolu	37.35	37.05	854.00	16.00	1.096
17265	Adıyaman	Güneydoğu Anadolu	38.28	37.75	672.00	16.00	1.12
17270	Şanlıurfa	Güneydoğu Anadolu	38.78	37.15	547.19	18.00	1.129
17290	Bodrum	Ege	27.43	37.05	26.47	18.00	1.201

İst. No	İstasyon Adı	Bölge	Boylam [°]	Enlem [°]	Yükseklik [m]	Sıcaklık [°C]	ρ [kg/m ³]
17280	Diyarbakır	Güneydoğu Anadolu	40.20	37.90	674.01	16.00	1.12
17282	Batman	Güneydoğu Anadolu	41.12	37.58	610.00	16.00	1.129
17285	Hakkari	Doğu Anadolu	43.73	37.57	1727.74	10.00	1.006
17275	Mardin	Güneydoğu Anadolu	40.73	37.30	1050.00	16.00	1.07
17292	Muğla	Ege	28.37	37.22	646.07	16.00	1.124
17294	Dalaman	Akdeniz	28.78	36.75	13.00	18.00	1.203
17296	Fethiye	Akdeniz	29.12	36.62	3.00	16.00	1.213
17298	Marmaris	Ege	28.25	36.85	16.19	18.00	1.203
17300	Antalya	Akdeniz	30.73	36.70	63.57	18.00	1.196
17310	Alanya	Akdeniz	32.53	36.55	5.88	18.00	1.204
17320	Anamur	Akdeniz	32.83	36.08	3.94	18.00	1.204
17330	Silifke	Akdeniz	33.93	36.38	15.01	18.00	1.203
17340	Mersin	Akdeniz	34.63	36.80	3.40	18.00	1.204
17351	Adana	Akdeniz	35.35	37.05	27.00	18.00	1.201
17370	İskenderun	Akdeniz	36.17	36.58	3.59	18.00	1.204
17375	Finike	Akdeniz	30.15	36.30	2.02	18.00	1.205
17380	Kaş	Akdeniz	29.65	36.20	153.39	18.00	1.183
17602	Amasra	Karadeniz	32.38	41.75	73.00	14.00	1.211
17604	Cide	Karadeniz	33.55	41.88	36.00	12.00	1.225
17606	Bozkurt	Karadeniz	34.02	41.95	167.00	12.00	1.206
17608	Uzunköprü	Marmara	26.68	41.25	51.69	14.00	1.214
17610	Şile	Marmara	29.60	41.17	83.00	14.00	1.21
17612	Akçakoca	Karadeniz	31.17	41.08	10.00	12.00	1.229
17618	Devrekani	Karadeniz	33.83	41.58	1050.00	8.00	1.101
17624	Ünye	Karadeniz	37.28	41.13	20.00	14.00	1.219
17626	Akçaabat	Karadeniz	39.55	41.02	6.00	14.00	1.221
17628	Pazar	Karadeniz	40.88	41.17	79.00	14.00	1.21
17630	Ardahan	Doğu Anadolu	42.72	41.12	1829.00	4.00	1.015
17632	İpsala	Marmara	26.37	40.92	9.71	14.00	1.22
17634	Malkara	Marmara	26.92	40.88	207.00	14.00	1.192
17636	Florya	Marmara	28.78	40.98	37.20	14.00	1.216
17646	Çerkeş	Karadeniz	32.90	40.82	1126.00	8.00	1.091
17648	Ilgaz	Karadeniz	33.63	40.92	885.00	10.00	1.115
17650	Tosya	Karadeniz	34.03	41.02	870.00	10.00	1.117
17656	Arpaçay	Doğu Anadolu	43.33	40.85	1688.00	6.00	1.025
17658	Çınarcık	Marmara	29.12	40.65	16.25	14.00	1.219
17662	Geyve	Marmara	30.30	40.52	100.00	14.00	1.207
17664	Kızılcahamam	İç Anadolu	32.65	40.47	1033.00	10.00	1.095
17666	İspir	Karadeniz	41.68	40.48	1222.00	10.00	1.071
17668	Oltu	Karadeniz	41.98	40.55	1322.00	10.00	1.057
17674	Gönen	Marmara	27.65	40.10	37.00	14.00	1.216
17676	Uludağ	Marmara	29.12	40.12	1877.00	4.00	1.009
17680	Beyşehir	İç Anadolu	31.93	40.17	682.00	12.00	1.135
17688	Tortum	Karadeniz	41.55	40.30	1572.00	8.00	1.033
17686	Bayburt	Karadeniz	40.23	40.25	1584.00	8.00	1.031
17684	Suşehri	İç Anadolu	38.07	40.15	1163.00	10.00	1.078
17690	Horasan	Doğu Anadolu	42.17	40.05	1540.00	4.00	1.052

İst. No	İstasyon Adı	Bölge	Boylam [°]	Enlem [°]	Yükseklik [m]	Sıcaklık [°C]	ρ [kg/m ³]
17692	Sarıkamış	Doğu Anadolu	42.57	40.33	2102.00	4.00	0.981
17695	Keleş	Ege	29.07	39.92	1063.00	8.00	1.099
17700	Dursunbey	Ege	28.62	39.58	637.00	12.00	1.141
17702	Bozüyük	Marmara	30.03	39.92	754.00	12.00	1.125
17704	Tavşanlı	Ege	29.50	39.55	833.00	10.00	1.122
17716	Zara	İç Anadolu	37.75	39.90	1347.00	8.00	1.062
17718	Tercan	Doğu Anadolu	40.38	39.78	1425.00	8.00	1.052
17720	Doğubeyazıt	Doğu Anadolu	44.08	39.55	1725.00	8.00	1.013
17726	Sivrihisar	İç Anadolu	31.53	39.45	1070.00	12.00	1.083
17728	Polatlı	İç Anadolu	32.15	39.58	886.00	12.00	1.107
17730	Keskin	İç Anadolu	33.58	39.68	1140.00	12.00	1.074
17732	Çiçekdağı	İç Anadolu	34.42	39.62	900.00	10.00	1.113
17734	Divriği	Doğu Anadolu	38.12	39.37	1120.00	10.00	1.084
17736	Mazgirt	Doğu Anadolu	39.60	39.03	1400.00	12.00	1.04
17740	Hiniş	Doğu Anadolu	41.70	39.37	1715.00	6.00	1.022
17742	Bergama	Ege	27.18	39.13	53.00	16.00	1.206
17746	Demirci	Ege	28.65	39.05	855.00	12.00	1.111
17748	Simav	Ege	28.98	39.08	809.00	12.00	1.118
17750	Gediz	Ege	29.42	39.05	736.00	12.00	1.127
17752	Emirdağ	Ege	31.15	39.02	983.00	10.00	1.102
17754	Kulu	İç Anadolu	33.08	39.08	1010.00	10.00	1.098
17756	Kaman	İç Anadolu	33.72	39.37	1075.00	12.00	1.082
17760	Boğazlıyan	İç Anadolu	35.25	39.20	1067.00	10.00	1.091
17762	Kangal	İç Anadolu	37.38	39.23	1541.00	6.00	1.044
17764	Arapkir	Doğu Anadolu	38.50	39.05	1200.00	12.00	1.066
17766	Ağın	Doğu Anadolu	38.72	38.95	900.00	14.00	1.098
17768	Çemişkezek	Doğu Anadolu	38.92	39.07	953.00	14.00	1.091
17776	Solhan	Doğu Anadolu	41.07	38.97	1366.00	10.00	1.052
17778	Varto	Doğu Anadolu	41.45	39.17	1650.00	8.00	1.023
17780	Malazgirt	Doğu Anadolu	42.53	39.15	1565.00	6.00	1.041
17784	Ercis	Doğu Anadolu	43.35	39.03	1678.00	8.00	1.019
17786	Muradiye	Doğu Anadolu	43.77	38.98	1706.00	6.00	1.023
17790	Bornova	Ege	27.22	38.47	27.00	18.00	1.201
17792	Salihli	Ege	28.13	38.48	111.00	16.00	1.198
17796	Bolvadin	Ege	31.05	38.73	1018.00	10.00	1.097
17798	Yunak	İç Anadolu	31.73	38.82	1140.00	10.00	1.081
17802	Pınarbaşı	İç Anadolu	36.40	38.72	1500.00	8.00	1.042
17804	Keban	Doğu Anadolu	38.75	38.80	808.00	14.00	1.11
17806	Palu	Doğu Anadolu	39.97	38.72	1000.00	14.00	1.084
17810	Ahlat	Doğu Anadolu	42.50	38.77	1750.00	8.00	1.01
17812	Özalp	Doğu Anadolu	43.98	38.67	2100.00	4.00	0.981
17820	Seferihisar	Ege	26.85	38.20	22.00	18.00	1.202
17822	Ödemiş	Ege	27.97	38.23	111.00	16.00	1.198
17824	Güney	Ege	29.07	38.15	825.00	14.00	1.108
17826	Senirkent	Akdeniz	30.55	38.10	959.00	16.00	1.082
17828	Yalvaç	Akdeniz	31.18	38.30	1096.00	12.00	1.079
17830	Akşehir	İç Anadolu	31.42	38.35	1002.00	12.00	1.092
17832	Ilgın	İç Anadolu	31.90	38.28	1034.00	10.00	1.095
17835	Ürgüp	İç Anadolu	34.92	38.63	1060.00	10.00	1.092

İst. No	İstasyon Adı	Bölge	Boylam [°]	Enlem [°]	Yükseklik [m]	Sıcaklık [°C]	ρ [kg/m ³]
17836	Develi	İç Anadolu	35.50	38.38	1180.00	10.00	1.076
17837	Tomarza	İç Anadolu	35.80	38.45	1397.00	8.00	1.055
17840	Sarız	Doğu Anadolu	36.50	38.48	1500.00	8.00	1.042
17846	Maden	Doğu Anadolu	39.67	38.40	1100.00	16.00	1.064
17847	Ergani	Doğu Anadolu	39.77	38.28	1000.00	16.00	1.077
17848	Bitlis	Doğu Anadolu	42.10	38.37	1573.00	10.00	1.025
17850	Sultanhisar	Ege	28.15	37.88	73.00	18.00	1.195
17852	Gevaş	Doğu Anadolu	43.10	38.30	1694.00	10.00	1.01
17854	Selçuk	Ege	27.37	37.95	17.00	16.00	1.211
17860	Nazilli	Ege	28.33	37.92	84.00	16.00	1.201
17862	Dinar	Akdeniz	30.17	38.07	864.00	12.00	1.11
17864	Uluborlu	Akdeniz	30.45	38.08	1025.00	12.00	1.089
17866	Göksun	Akdeniz	36.48	38.02	1344.00	12.00	1.047
17868	Afşin	Doğu Anadolu	36.92	38.25	1180.00	8.00	1.084
17870	Elbistan	Doğu Anadolu	37.20	38.20	1137.00	10.00	1.082
17874	Çermik	Doğu Anadolu	39.45	38.12	700.00	16.00	1.117
17880	Başkale	Doğu Anadolu	44.02	38.05	2400.00	6.00	0.938
17882	Eğirdir	Akdeniz	30.83	37.87	920.00	12.00	1.103
17884	Milas	Ege	27.78	37.32	52.00	18.00	1.198
17886	Yatağan	Ege	28.13	37.35	365.00	16.00	1.162
17890	Acıpayam	Akdeniz	29.33	37.42	941.00	14.00	1.092
17898	Seydişehir	Akdeniz	31.85	37.43	1131.00	10.00	1.082
17902	Karapınar	İç Anadolu	33.53	37.72	1004.00	10.00	1.099
17906	Ulukışla	Akdeniz	34.48	37.53	1453.00	10.00	1.041
17908	Kozan	Akdeniz	35.82	37.45	109.00	18.00	1.19
17912	Siverek	Güneydoğu Anadolu	39.32	37.75	801.00	16.00	1.103
17920	Yüksekova	Doğu Anadolu	44.28	37.57	1877.00	6.00	1.002
17924	Köyceğiz	Akdeniz	28.68	36.97	24.00	18.00	1.202
17926	Korkuteli	Akdeniz	30.18	37.05	1017.00	14.00	1.082
17928	Hadım	Akdeniz	32.50	36.98	1552.00	10.00	1.028
17940	Osmaniye	Akdeniz	36.25	37.10	99.00	18.00	1.191
17950	Cizre	Güneydoğu Anadolu	42.18	37.32	400.00	18.00	1.149
17952	Elmalı	Akdeniz	29.92	36.75	1095.00	14.00	1.072
17954	Manavgat	Akdeniz	31.43	36.78	38.00	18.00	1.2
17958	Alata	Akdeniz	34.30	36.62	9.00	18.00	1.204
17960	Ceyhan	Akdeniz	35.82	37.03	30.00	18.00	1.201
17962	Dört Yol	Akdeniz	36.22	36.85	28.00	18.00	1.201
17964	İslahiye	Akdeniz	36.63	37.02	512.84	16.00	1.142
17966	Birecik	Güneydoğu Anadolu	37.95	37.02	345.07	18.00	1.157
17970	Kale	Akdeniz	29.98	36.25	25.00	18.00	1.201
17974	Gazipaşa	Akdeniz	32.32	36.27	21.00	18.00	1.202
17978	Kilis	Akdeniz	37.10	36.70	650.00	16.00	1.123
17979	Yumurtalık	Akdeniz	35.78	36.77	27.00	18.00	1.201
17981	Karatas	Akdeniz	35.38	36.57	22.00	18.00	1.202
17984	Antakya	Akdeniz	36.17	36.20	100.00	18.00	1.191
17986	Samandağ	Akdeniz	35.97	36.08	4.00	18.00	1.204

EK-B

Tablo B.1 Rüzgar verisi toplanan her istasyon için yıllık olarak durgun ölçüm yüzdesi, Weibull şekil ve ölçek faktörü, $R^2_{1.0}$ katsayısı, standart sapma, ortalama hız, en olası hız, enerji akısına en büyük katkıyı sağlayan hız, güç akısı ve enerji akısı

İstasyon	S%	k	c [m/s]	$R^2_{1.0}$	σ [m/s]	V_m [m/s]	V_{mp} [m/s]	V_{mE} [m/s]	P/A [W/m ²]	E/A [MJ/m ²]
Acıpayam	5.59	1.08	1.66	0.991	1.49	1.61	0.16	4.37	11	359
Adana	2.63	1.43	1.84	0.999	1.19	1.67	0.79	3.39	8	259
Adıyaman	0.01	1.43	2.57	0.994	1.66	2.34	1.10	4.76	21	663
Afşin	0.10	1.24	3.05	0.995	2.31	2.85	0.82	6.61	47	1476
Afyon	0.00	1.67	3.44	0.998	1.89	3.07	2.00	5.50	37	1162
Ağın	0.15	1.38	5.06	0.995	3.39	4.62	1.99	9.69	168	5304
Ağrı	2.00	1.13	1.81	0.996	1.54	1.73	0.26	4.46	12	381
Ahlat	0.00	2.03	3.96	0.997	1.81	3.51	2.84	5.54	41	1290
Akçaabat	0.00	2.18	3.29	0.997	1.41	2.92	2.49	4.43	27	839
Akçakoca	0.19	1.74	2.34	0.995	1.24	2.09	1.43	3.64	12	392
Akhisar	7.71	1.08	2.14	0.987	1.93	2.08	0.18	5.67	27	855
Aksaray	0.07	1.66	4.12	0.999	2.28	3.68	2.36	6.64	65	2043
Akşehir	0.00	1.47	2.79	0.995	1.75	2.52	1.27	5.01	25	777
Alanya	3.29	1.36	1.74	0.997	1.18	1.59	0.65	3.38	8	243
Alata	0.00	1.76	2.48	0.992	1.30	2.21	1.54	3.82	14	449
Amasra	0.00	1.47	7.72	0.999	4.83	6.99	3.57	13.84	578	18236
Amasya	0.03	1.58	1.96	0.998	1.14	1.76	1.04	3.28	8	251
Anamur	0.58	1.42	2.87	0.999	1.87	2.61	1.22	5.34	32	1005
Ankara	0.25	2.01	3.88	0.999	1.79	3.44	2.76	5.47	43	1347
Antakya	0.01	1.60	4.13	0.983	2.37	3.70	2.23	6.86	75	2369
Antalya	0.08	1.49	4.41	0.997	2.72	3.98	2.09	7.81	104	3277
Arapkir	0.19	1.32	3.58	0.995	2.51	3.30	1.23	7.18	63	2002
Ardahan	2.57	1.20	2.83	0.997	2.23	2.66	0.64	6.40	38	1204
Arpaçay	2.34	1.25	2.29	0.995	1.72	2.13	0.63	4.92	18	579
Artvin	0.95	1.22	2.66	0.999	2.05	2.49	0.66	5.89	34	1075
Aydın	1.69	1.52	2.26	0.998	1.37	2.04	1.12	3.92	13	424
Ayvalık	0.06	1.51	3.93	0.993	2.39	3.54	1.92	6.86	72	2284
Bandırma	4.58	1.33	5.66	0.989	3.96	5.21	1.97	11.32	284	8944
Bartın	0.02	1.21	1.88	0.987	1.46	1.77	0.44	4.21	13	417
Başkale	0.51	1.18	2.64	0.997	2.11	2.49	0.55	6.09	30	940
Batman	0.06	1.33	3.72	0.994	2.60	3.42	1.31	7.42	75	2353
Bayburt	0.02	1.42	2.36	0.993	1.53	2.15	1.00	4.38	15	475
Bergama	0.05	1.72	3.82	0.999	2.04	3.41	2.31	5.98	54	1695
Beypazarı	1.74	1.23	1.63	0.998	1.25	1.52	0.42	3.57	8	241
Bilecik	0.01	1.59	3.17	0.999	1.83	2.84	1.70	5.29	33	1046
Bingöl	0.21	1.58	2.40	0.997	1.39	2.16	1.28	4.03	14	426
Birecik	3.11	1.29	2.01	0.999	1.45	1.86	0.64	4.16	13	410
Bitlis	5.27	1.52	2.47	0.995	1.50	2.23	1.22	4.31	15	480
Bodrum	5.45	1.19	3.62	0.993	2.88	3.41	0.77	8.30	97	3061
Boğazlıyan	2.44	1.19	3.11	0.996	2.47	2.93	0.66	7.12	56	1757
Bolu	0.17	1.34	1.87	0.995	1.29	1.72	0.67	3.69	9	294

İstasyon	S%	k	c [m/s]	$R^2_{1.0}$	σ [m/s]	V_m [m/s]	V_{mp} [m/s]	V_{mE} [m/s]	P/A [W/m ²]	E/A [MJ/m ²]
Bolvadin	13.11	1.20	1.92	1.000	1.51	1.81	0.43	4.36	13	408
Bornova	0.47	1.52	3.26	0.994	1.97	2.94	1.62	5.65	40	1276
Bozcaada	0.05	1.72	10.19	0.999	5.43	9.08	6.16	15.93	1020	32179
Bozkurt	0.13	1.88	2.88	0.999	1.41	2.56	1.92	4.23	21	647
Bozüyük	0.06	1.53	2.70	0.997	1.63	2.43	1.34	4.68	22	678
Burdur	0.05	1.25	3.14	0.995	2.36	2.93	0.86	6.77	51	1608
Bursa	1.03	1.19	2.50	0.998	1.99	2.36	0.53	5.73	32	1015
Ceyhan	15.41	1.01	2.00	0.997	1.98	2.00	0.02	5.91	28	881
Cide	0.10	1.32	4.63	0.997	3.27	4.26	1.56	9.34	159	5029
Cihanbeyli	0.00	1.83	4.24	0.999	2.14	3.77	2.75	6.36	62	1962
Cizre	0.00	1.60	2.14	0.997	1.23	1.92	1.16	3.55	10	317
Çanakkale	0.21	1.61	7.32	0.999	4.18	6.56	4.00	12.10	425	13390
Çankırı	13.31	1.02	1.30	0.999	1.26	1.29	0.03	3.75	7	216
Çemişkezek	0.19	1.92	3.72	0.994	1.79	3.30	2.54	5.39	39	1229
Çerkeş	0.05	1.27	2.75	0.993	2.02	2.56	0.82	5.79	33	1026
Çermik	0.14	1.36	1.81	0.995	1.23	1.65	0.68	3.51	8	252
Çeşme	1.06	1.27	3.48	1.000	2.56	3.23	1.03	7.31	72	2279
Çınarcık	0.42	1.48	1.81	0.998	1.12	1.63	0.85	3.21	7	231
Çiçekdağı	0.03	1.59	4.57	0.999	2.64	4.10	2.44	7.64	96	3038
Çorlu	0.10	1.68	4.17	0.997	2.28	3.72	2.43	6.66	73	2287
Çorum	2.82	1.03	2.24	0.996	2.14	2.21	0.07	6.37	34	1070
Dalaman	2.55	1.23	3.07	0.986	2.34	2.87	0.80	6.71	54	1694
Demirci	0.01	1.58	4.32	0.998	2.52	3.88	2.28	7.26	82	2587
Denizli	0.14	1.52	2.16	0.995	1.31	1.95	1.07	3.76	11	359
Develi	0.00	1.98	4.22	0.996	1.97	3.74	2.95	6.00	54	1711
Devrekani	0.23	1.20	2.78	0.997	2.19	2.62	0.62	6.31	39	1245
Dikili	0.00	1.93	3.69	0.999	1.77	3.28	2.53	5.34	42	1332
Dinar	3.76	1.19	3.33	0.993	2.66	3.14	0.70	7.65	70	2211
Divriği	0.03	1.39	3.53	0.993	2.36	3.22	1.40	6.73	56	1760
Diyarbakır	1.44	1.28	3.42	1.000	2.50	3.17	1.04	7.14	63	1992
Doğubeyazıt	0.07	1.53	2.81	0.994	1.69	2.53	1.40	4.87	22	689
Dört Yol	0.50	1.65	1.36	0.997	0.76	1.22	0.77	2.20	3	81
Dursunbey	0.48	1.22	2.33	0.997	1.80	2.18	0.57	5.17	23	724
Düzce	5.31	1.08	1.28	0.995	1.15	1.24	0.11	3.38	6	181
Edirne	0.38	1.64	2.79	0.999	1.56	2.49	1.58	4.52	23	710
Edremit	0.00	1.70	3.41	0.994	1.84	3.04	2.03	5.38	39	1226
Eğirdir	0.03	1.57	5.05	0.998	2.96	4.54	2.65	8.53	131	4143
Elazığ	0.01	1.57	3.59	0.989	2.10	3.23	1.89	6.06	46	1462
Elbistan	0.00	1.39	1.91	0.990	1.27	1.74	0.76	3.64	9	278
Elmalı	0.47	1.29	2.14	0.996	1.54	1.98	0.68	4.40	14	452
Emirdağ	0.24	1.35	3.11	0.995	2.13	2.85	1.15	6.07	41	1284
Ercis	0.33	1.50	1.58	0.997	0.97	1.42	0.76	2.77	4	126
Ereğli	0.00	1.56	3.46	0.991	2.04	3.11	1.79	5.89	43	1344
Ergani	0.92	1.25	3.07	0.999	2.31	2.86	0.83	6.62	47	1474
Erzincan	0.07	1.49	2.11	0.996	1.30	1.90	1.00	3.72	10	318
Erzurum	2.83	1.12	3.68	0.994	3.17	3.53	0.48	9.24	104	3284
Esenboğa	0.73	1.51	4.12	0.997	2.51	3.71	2.01	7.20	76	2384
Fethiye	0.29	1.09	1.71	0.976	1.52	1.65	0.18	4.44	13	421
Finike	0.03	1.39	2.47	0.996	1.65	2.25	0.98	4.71	21	670

İstasyon	S%	k	c [m/s]	$R^2_{1.0}$	σ [m/s]	V_m [m/s]	V_{mp} [m/s]	V_{mE} [m/s]	P/A [W/m ²]	E/A [MJ/m ²]
Florya	0.71	1.79	3.62	0.999	1.86	3.22	2.29	5.50	44	1376
Gaziantep	1.74	1.40	1.48	0.999	0.97	1.35	0.61	2.78	4	127
Gazipaşa	0.14	1.46	2.48	0.992	1.57	2.25	1.12	4.48	19	609
Gediz	0.79	1.44	3.17	0.993	2.03	2.88	1.39	5.81	39	1228
Gemerek	1.22	1.09	2.12	0.997	1.90	2.06	0.21	5.56	23	730
Gevaş	0.39	1.03	1.55	0.996	1.49	1.53	0.05	4.42	10	319
Geyve	0.40	0.97	3.97	0.975	4.15	4.02	4.00	12.58	255	8039
Giresun	4.78	1.12	2.21	0.999	1.90	2.12	0.30	5.51	27	840
Gökçeada	0.08	1.28	5.77	0.992	4.23	5.35	1.74	12.09	327	10322
Göksun	0.34	1.18	2.62	0.998	2.11	2.48	0.53	6.09	33	1043
Gönen	2.47	1.21	3.30	0.998	2.59	3.10	0.76	7.43	72	2265
Göztepe	0.72	1.61	3.65	0.997	2.08	3.27	2.00	6.01	52	1642
Gümüşhane	0.21	1.19	2.47	0.995	1.97	2.33	0.51	5.69	28	874
Güney	0.03	1.90	6.39	0.996	3.11	5.67	4.31	9.33	203	6409
Hadım	0.01	1.44	3.83	0.995	2.45	3.47	1.68	7.00	62	1962
Hakkari	4.98	1.52	2.84	0.997	1.71	2.56	1.41	4.92	22	706
Hiniş	2.45	1.18	2.30	0.998	1.85	2.18	0.46	5.34	22	686
Hopa	0.89	1.21	3.87	0.985	3.01	3.64	0.92	8.66	115	3612
Horasan	4.77	1.23	2.07	0.994	1.58	1.94	0.53	4.55	15	459
Iğdır	0.08	1.48	2.39	0.993	1.49	2.16	1.12	4.26	16	495
Ilgaz	0.10	1.26	2.09	0.995	1.56	1.94	0.59	4.45	15	470
Ilgın	0.03	1.30	3.08	0.999	2.20	2.84	1.00	6.30	43	1359
İsparta	10.70	1.07	2.49	0.997	2.28	2.43	0.19	6.70	40	1268
İnebolu	0.02	1.99	5.60	0.997	2.61	4.96	3.94	7.94	143	4517
İpsala	0.32	1.54	4.22	0.999	2.51	3.80	2.14	7.24	87	2754
İskenderun	0.05	1.42	3.98	0.995	2.59	3.62	1.68	7.39	84	2661
İslahiye	0.55	1.38	2.44	0.994	1.64	2.23	0.95	4.70	20	625
İspir	0.21	1.34	2.94	0.994	2.04	2.70	1.05	5.82	34	1082
İzmir	0.00	1.80	5.59	0.999	2.86	4.97	3.56	8.47	158	4975
Kahramanmaraş	3.69	1.02	2.11	0.986	2.06	2.10	0.04	6.14	30	944
Kale	1.16	1.11	2.42	0.985	2.10	2.33	0.30	6.12	36	1124
Kaman	0.00	1.54	5.09	1.000	3.05	4.58	2.56	8.76	137	4316
Kangal	0.09	1.26	3.31	0.997	2.47	3.08	0.94	7.06	56	1758
Karaman	0.31	1.41	3.61	0.998	2.37	3.29	1.49	6.77	58	1828
Karapınar	0.57	1.49	3.35	0.999	2.06	3.02	1.59	5.91	42	1311
Karatas	0.02	2.02	4.35	0.999	1.99	3.85	3.11	6.11	65	2045
Kars	0.29	1.37	3.23	0.991	2.18	2.95	1.24	6.22	41	1299
Kastamonu	1.29	1.43	1.69	0.996	1.09	1.53	0.73	3.10	6	186
Kaş	0.34	1.45	4.02	0.997	2.54	3.64	1.80	7.28	81	2562
Kayseri	0.11	1.38	2.42	0.991	1.62	2.21	0.96	4.62	18	569
Keban	0.02	1.57	2.79	0.999	1.63	2.51	1.47	4.70	22	699
Keleş	0.10	1.71	2.91	0.997	1.57	2.60	1.74	4.59	22	694
Keskin	0.15	1.48	3.76	0.999	2.34	3.40	1.77	6.69	58	1844
Kırıkkale	0.00	1.54	3.24	0.992	1.94	2.92	1.63	5.58	37	1156
Kırşehir	2.93	1.35	3.64	0.999	2.51	3.34	1.33	7.16	66	2072
Kızılcahamam	4.89	1.20	1.90	0.993	1.50	1.79	0.43	4.31	13	395
Kilis	0.29	1.82	4.85	0.999	2.45	4.31	3.14	7.28	95	2993
Kireçburnu	5.57	1.30	2.94	0.993	2.11	2.72	0.95	6.02	42	1314
Kocaeli	6.46	1.20	2.10	1.000	1.65	1.97	0.48	4.74	19	584

İstasyon	S%	k	c [m/s]	$R^2_{1.0}$	σ [m/s]	V_m [m/s]	V_{mp} [m/s]	V_{mE} [m/s]	P/A [W/m ²]	E/A [MJ/m ²]
Korkuteli	2.80	1.18	1.73	0.997	1.39	1.64	0.35	4.01	10	308
Kozan	5.84	1.24	2.28	0.999	1.73	2.13	0.60	4.97	22	682
Köyceğiz	12.93	0.93	1.51	0.994	1.67	1.56	4.00	5.16	16	515
Kulu	0.00	1.62	3.29	0.994	1.87	2.95	1.81	5.42	34	1088
Kumköy	0.10	1.56	6.07	0.992	3.57	5.45	3.15	10.29	253	7981
Kuşadası	0.00	1.59	3.90	0.994	2.25	3.50	2.09	6.50	65	2038
Kütahya	2.10	1.26	2.36	0.998	1.75	2.19	0.67	5.02	21	668
Maden	0.05	1.57	7.77	0.999	4.55	6.98	4.07	13.12	461	14534
Malatya	0.16	1.55	2.41	0.991	1.43	2.17	1.23	4.12	15	460
Malazgirt	4.53	1.24	1.73	0.995	1.31	1.62	0.47	3.75	8	258
Malkara	1.12	1.50	3.87	0.998	2.38	3.49	1.85	6.83	69	2190
Manavgat	2.68	1.25	2.78	0.997	2.08	2.59	0.78	5.95	38	1204
Manisa	0.06	1.40	2.42	0.997	1.60	2.20	0.99	4.56	20	615
Mardin	0.03	1.84	5.55	0.999	2.79	4.93	3.62	8.30	134	4241
Marmaris	1.10	1.53	3.19	0.998	1.92	2.88	1.60	5.52	38	1191
Mazgirt	33.53	0.99	1.28	1.000	1.31	1.29	4.00	3.94	7	218
Mersin	0.01	1.48	3.25	0.993	2.02	2.94	1.51	5.80	42	1339
Milas	0.94	1.02	1.98	0.979	1.92	1.96	0.05	5.72	26	812
Muğla	0.43	1.53	2.90	0.975	1.74	2.62	1.46	5.01	26	834
Muradiye	0.61	1.69	2.31	0.998	1.25	2.06	1.36	3.66	10	324
Muş	3.74	1.53	2.30	0.990	1.38	2.07	1.15	3.98	12	392
Nazilli	0.02	1.39	2.71	0.988	1.81	2.48	1.08	5.16	28	883
Nevşehir	0.42	1.58	3.04	0.998	1.77	2.73	1.61	5.10	27	859
Niğde	0.03	1.78	4.08	0.996	2.11	3.63	2.57	6.22	55	1747
Oltu	0.59	1.63	2.78	0.994	1.56	2.49	1.56	4.54	20	622
Ordu	0.25	1.59	2.50	0.994	1.45	2.24	1.33	4.18	17	543
Osmaniye	1.78	1.30	3.77	0.997	2.69	3.48	1.23	7.68	85	2691
Ödemiş	0.02	1.11	2.48	0.992	2.15	2.38	0.31	6.27	38	1203
Özalp	0.63	1.14	2.54	0.998	2.14	2.43	0.40	6.19	31	984
Palu	1.59	1.28	1.90	0.995	1.38	1.76	0.58	3.95	10	327
Pazar	0.00	2.20	3.45	0.995	1.47	3.06	2.62	4.64	30	956
Pınarbaşı	0.00	1.58	5.75	0.995	3.34	5.16	3.05	9.64	180	5683
Polatlı	0.15	1.38	3.32	0.999	2.23	3.03	1.30	6.37	48	1515
Rize	0.00	1.54	1.98	0.994	1.18	1.78	1.00	3.40	9	286
Sakarya	7.81	1.08	1.49	0.999	1.34	1.45	0.14	3.91	9	288
Salihli	2.26	1.27	1.97	0.999	1.45	1.83	0.59	4.14	13	413
Samandağ	0.00	2.27	6.22	0.999	2.57	5.51	4.82	8.22	171	5400
Samsun	0.03	1.44	3.07	0.997	1.97	2.79	1.34	5.62	38	1205
Sarıkamış	3.12	1.41	2.22	1.000	1.46	2.03	0.92	4.18	12	387
Sarız	0.19	1.28	2.60	0.995	1.89	2.41	0.80	5.41	26	805
Seferihisar	0.16	1.45	3.35	0.991	2.13	3.04	1.50	6.09	48	1523
Selçuk	0.23	1.07	1.89	0.993	1.73	1.84	0.14	5.09	19	613
Senirkent	11.42	1.21	2.89	0.997	2.27	2.72	0.66	6.51	43	1356
Seydişehir	0.09	1.38	2.72	0.999	1.83	2.49	1.06	5.21	26	813
Siirt	0.81	1.09	1.53	0.990	1.36	1.48	0.16	3.96	9	271
Silifke	0.10	1.40	2.62	0.997	1.73	2.39	1.07	4.95	25	785
Simav	5.23	1.29	1.93	0.995	1.40	1.79	0.60	4.00	11	353
Sinop	0.37	1.32	4.31	0.997	3.03	3.97	1.49	8.65	126	3988
Sivas	0.58	1.28	1.96	0.996	1.43	1.82	0.60	4.08	11	355

İstasyon	S%	k	c [m/s]	$R^2_{1.0}$	σ [m/s]	V_m [m/s]	V_{mp} [m/s]	V_{mE} [m/s]	P/A [W/m ²]	E/A [MJ/m ²]
Siverek	0.70	1.56	3.28	1.000	1.93	2.95	1.69	5.57	36	1146
Sivrihisar	3.80	1.17	2.87	0.996	2.32	2.71	0.56	6.70	45	1426
Solhan	0.99	1.35	2.51	0.999	1.72	2.30	0.93	4.91	21	648
Sultanhisar	0.15	1.22	2.02	0.990	1.56	1.90	0.50	4.49	16	497
Su�ehri	0.00	1.48	5.07	0.989	3.16	4.59	2.36	9.06	145	4571
�anlıurfa	4.38	1.36	3.26	0.999	2.22	2.98	1.22	6.34	48	1501
�ile	0.00	2.02	4.35	0.998	2.00	3.86	3.10	6.12	66	2067
Tatvan	14.17	1.16	1.91	0.996	1.56	1.81	0.35	4.52	13	408
Tav�anlı	0.01	1.60	2.62	0.995	1.50	2.35	1.42	4.35	18	570
Tekirdağ	0.00	1.59	3.87	0.996	2.23	3.47	2.08	6.45	64	2014
Tercan	0.66	1.23	2.11	0.998	1.61	1.97	0.54	4.62	15	484
Tokat	0.02	1.70	3.05	0.997	1.64	2.72	1.81	4.81	26	830
Tomarza	0.26	1.21	3.36	0.997	2.63	3.15	0.77	7.55	65	2060
Tortum	2.79	1.26	1.91	0.998	1.42	1.78	0.55	4.07	11	333
Tosya	0.08	1.47	2.72	0.992	1.70	2.46	1.26	4.86	23	729
Trabzon	0.03	1.74	3.90	0.998	2.06	3.48	2.38	6.06	57	1797
Tunceli	0.96	1.32	1.86	0.999	1.31	1.71	0.63	3.74	9	288
Uluborlu	0.84	1.29	4.24	0.999	3.06	3.92	1.33	8.76	114	3602
Uludağ	0.07	1.67	4.35	0.998	2.39	3.89	2.52	6.97	69	2186
Uluk��la	0.08	1.57	4.56	0.996	2.68	4.10	2.38	7.72	92	2889
U�ak	0.00	1.78	3.20	0.993	1.66	2.85	2.01	4.89	28	872
Uzunköprü	0.09	1.50	3.28	1.000	2.01	2.96	1.57	5.78	43	1356
�ny�	0.08	1.76	2.27	0.999	1.19	2.02	1.40	3.50	11	349
�rg�p	0.06	1.54	3.17	0.992	1.88	2.85	1.61	5.42	33	1037
Van	0.43	1.64	3.52	0.996	1.97	3.15	1.99	5.72	38	1204
Varto	9.98	1.26	2.03	0.996	1.50	1.89	0.59	4.30	12	391
Yalova	0.13	1.46	2.23	0.999	1.40	2.02	1.02	4.02	14	447
Yalvaç	0.01	1.32	2.74	0.995	1.93	2.53	0.94	5.51	29	915
Yata�an	14.67	1.00	2.45	0.989	2.46	2.45	4.00	7.37	52	1627
Yozgat	4.60	1.51	2.68	0.999	1.64	2.42	1.31	4.70	20	644
Yumurtalık	0.00	1.73	2.97	0.997	1.58	2.65	1.81	4.63	25	788
Yunak	0.01	1.47	5.84	1.000	3.65	5.28	2.69	10.47	224	7040
Yüksekova	6.76	1.51	2.49	0.997	1.52	2.25	1.21	4.37	15	486
Zara	0.09	1.43	2.85	0.996	1.84	2.59	1.23	5.27	27	854
Zonguldak	0.09	1.60	3.85	0.999	2.22	3.46	2.08	6.41	62	1948

ÖZGEÇMİŞ

Fatih Süzek, 1981 yılında İstanbul'un Şişli ilçesinde doğmuştur. Ortaöğrenimini Üsküdar Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 1998 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makine Mühendisliğı Bölümü'n kazanmıştır. İlk öğretim yılı sonunda bölüm birincisi olarak, 2000 yılında yatay geçiş ile İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makine Mühendisliğı öğrencileri arasına katılmıştır. 2003 yılında lisans diplomasını alarak Arçelik A.Ş. AR-GE Akışkanlar Dinamiğı Teknoloji Ailesi bölümünde proje asistanı olarak iki yıl görev almıştır. 2005 yılında Arçelik 7. buluş günü ödülü almaya hak kazanmıştır. "Bir faz ayırıcı ve kullanıldığı soğutucu" ve "Bir elektrikli süpürge" başlıklı iki adet patentte baş katılımcı olarak ismi yer almıştır. 2005 yılında Ford Otomotiv Sanayi A.Ş. firmasında ithal ikmal analiz mühendisi olarak başladığı görevden 2006 Eylül ayında ayrılmıştır. Halen Havak Ltd. firmasında dış ticaret müdürü görevini sürdürmektedir. Şu anda 2004 yılında kabul edildiğı İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim dalı Isı-Akışkan Yüksek Lisans programında derslerini tamamlamış olup, Yüksek Lisans Tezi ile mezun olma aşamasındadır.