

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖKÇEADA RÜZGAR ENERJİ
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ VE ENERJİ
DÖNÜŞÜM ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Müh. Hasan ARTAR**

Anabilim Dalı: MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ISI-AKIŞKAN PROGRAMI

OCAK 2005

**GÖKÇEADA RÜZGAR ENERJİ
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ VE ENERJİ
DÖNÜŞÜM ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Müh. Hasan ARTAR
503031116**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Ocak 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nurdil ESKİN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Süleyman TOLUN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ (İ.T.Ü.)**

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi dünya için her geçen gün daha da artmaktadır. Rüzgar enerjisi ise yenilenebilir enerji kaynakları araştırmalarında ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemizde bu konuda çok fazla araştırma bulunmaması nedeniyle yaptığım çalışma bu konuda bir eksiği kapatma yönünde önemli bir adım sayılabilir.

Yüksek Lisans tez konusu olarak çalıştığım “Gökçeada Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Enerji Dönüşüm Analizi” isimli tezimde bana yardımlarından dolayı hocam Prof. Dr. Nurdil Eskin’e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaya temel teşkil eden Gökçeada rüzgar verileri Prof. Dr. Süleyman Tolun’dan temin edilmiştir. Kendisine katkıları ve çalışmamda gösterdiği destek için teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması ve yayınlanması esnasında gösterdiği arkadaşlık ve katkılarından ötürü Araş. Gör. Y. Müh. Afşin Güngör’e de teşekkür ederim.

Tüm öğrencilik hayatım ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana sevgi, destek ve katkılarını esirgemeyen aileme de minnettarım.

Ocak, 2005

Hasan ARTAR
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	III
TABLO LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
SEMBOL LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
BÖLÜM 1: GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2: RÜZGÂR ENERJİSİNİN TEORİK ANALİZİ.....	7
2.1 GİRİŞ.....	7
2.2 RÜZGAR DATALARININ İSTATİKSEL ANALİZİ	7
2.2.1 RAYLEIGH DAĞILIM FONKSİYONU.....	9
2.2.2 WEIBULL DAĞILIM FONKSİYONU.....	9
2.3 RÜZGAR GÜÇ YOĞUNLUĞU	10
2.4 İDEAL RÜZGAR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN ENERJİ	10
2.5 RÜZGAR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN GERÇEK ENERJİ	11
2.5 RÜZGAR TÜRBİN VERİMİ, KAPASİTE VE UYGUNLUK FAKTÖRLERİ.....	13
BÖLÜM 3: RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI	15
3.1 GİRİŞ:.....	15
3.2 ZAMANA BAĞLI HIZ DEĞERLERİNİN ÖLÇÜLMESİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	16
3.3 RÜZGÂR HIZ DAĞILIMLARININ ÖLÇÜLEN HIZ VERİLERİNDEN HESAPLANMASI	17
3.4 RÜZGÂR ENERJİSİNİN HESAPLANAN HIZ DAĞILIMLARI İLE BULUNMASI.....	19
BÖLÜM 4: HIZ DAĞILIMLARI.....	25
4.1 GÖKÇEADA RÜZGÂR PROFİLLERİ	25
4.2 AYDINCIK.....	25
4.3 ULUSAL HAVA İSTASYONU BÖLGESİ-(UHİ)	32
4.4 UĞURLU BÖLGESİ	36
4.5 ÇINARALTI BÖLGESİ	41
BÖLÜM 5: GÖKÇEADA RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	45
5.1 GÖKÇEADA RÜZGAR ENERJİSİ	45
5.2 AYDINCIK BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ	45
5.3 UHİ BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ	49
5.4 UĞURLU BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ.....	53
5.5 ÇINARALTI BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ.....	57
BÖLÜM 6: SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR.....	64
EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

DME	Devlet Meteoroloji Enstitüsü
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
KTOE	Kilo Ton Eşdeğer
MTOE	Milyon Ton Eşdeğer
UHİ	Ulusal Hava İstasyonu
KTEP	Kilo ton Eşdeğer Petrol
MTEP	Milyon ton Eşdeğer Petrol
NWS	National Weather Station (Ulusal Hava İstasyonu)

TABLO LİSTESİ

Tablo-1.1 1992-1999 yılları arası yenilenebilir ve yenilenemez enerji	2
kaynaklarının tüketim miktarları(ktoe)	2
Tablo-1.2 2000-2005 yılları arası öngörülen enerji üretim ve tüketim (parantez içi) miktarları (ktoe)	3
Tablo-1.3 Türkiye'nin Bölgelere Göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli	3
Tablo-1.4 Türkiye’de bazı rüzgâr ölçüm istasyonlarında belirlenen	4
aylık ortalama rüzgâr hızları	4
Tablo-1.5 Türkiye’de bazı rüzgâr ölçüm istasyonlarında belirlenen rüzgâr karakteristikleri	5
Tablo-4.1 Aydıncık Bölgesi 1994-2002 Yılları Aylık Ortalama Weibull Hız Dağılım Katsayıları	26
Tablo-5.1 Aydıncık bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	46
Tablo-5.2 Aydıncık bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	47
Tablo-5.3 UHİ bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	50
Tablo-5.4 UHİ bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	51
Tablo-5.5 Uğurlu bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	54
Tablo-5.6 Uğurlu bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	55
Tablo-5.7 Çınaraltı bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	58
Tablo-5.8 Çınaraltı bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler.....	59

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Gökçeada Rüzgâr Ölçüm İstasyonları	16
Şekil-3.2 WEIBULL.F90 Fortran Bilgisayar Programı Akış Şeması.....	21
Şekil-3.3 NORDEX N50 800kW Güç Eğrisi.....	22
Şekil 3.4 GAMESA G52 850kW Güç Eğrisi.....	22
Şekil-3.5 ENERJİ.F90 Bilgisayar Programı ve Alt Programlarına ait Akış Şemaları	24
Şekil-4.1 Aydıncık Bölgesi 2002 yılı Sonbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı ..	27
Şekil-4.4 Aydıncık Bölgesi 2002 yılı Yaz Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı.....	29
Şekil-4.5 Aydıncık Bölgesi 2002 yılına ait Rüzgâr Hız Dağılımı	29
Şekil-4.6 Aydıncık Bölgesi 2002 yılı kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı.....	30
Şekil-4.7 Aydıncık Bölgesi 2002 yılı aylık kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı.....	30
Şekil-4.8 AYDINCIK - Aylara Göre Ortalama Hız Grafiği (1994-2002 yılları arası)	31
.....	31
Şekil-4.11 UHİ Bölgesi Kış Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı.....	33
Şekil-4.12 UHİ Bölgesi İlkbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı	33
Şekil-4.13 UHİ Bölgesi Yaz Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı.....	34
Şekil-4.14 UHİ Bölgesi Yıllık Rüzgâr Hız Dağılımı	34
Şekil-4.15 UHİ Bölgesi Yıllık Kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı.....	35
Şekil-4.16 UHİ Bölgesi Aylık Kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı.....	35
Şekil-4.17 Uğurlu Bölgesi Sonbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı	37
Şekil-4.19 Uğurlu Bölgesi İlkbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı.....	38
Şekil-4.21 Uğurlu Bölgesi Yıllık Rüzgâr Hız Dağılımı.....	39
Şekil-4.23 Uğurlu Bölgesi Yıllık Kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı	40
Şekil-4.24 Çınaraltı Bölgesi Sonbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı	42
Şekil-4.25 Çınaraltı Bölgesi Aralık Ayına ait Rüzgâr Hız Dağılımı	42
Şekil-4.26 Çınaraltı Bölgesi Mayıs Ayına ait Rüzgâr Hız Dağılımı.....	43
Şekil-4.27 Çınaraltı Bölgesi Yaz Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı	43
Şekil-4.28 Çınaraltı Bölgesi Aylık (Mayıs-Aralık) Kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı	44
.....	44
Şekil-5.1 Aydıncık Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri	48
Şekil-5.2 Aydıncık Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikler	49
Şekil-5.3 UHİ Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri.....	52
Şekil-5.4 UHİ Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikleri	53
Şekil-5.5 Uğurlu Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri	56
Şekil-5.6 Uğurlu Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikleri	57
Şekil-5.7 Çınaraltı Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri	60
Şekil-5.8 Çınaraltı Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikleri.....	61

SEMBOL LİSTESİ

A_F	Uygunluk faktörü [-]
A	Türbin süpürme alanı [m^2]
c	Weibull ölçü faktörü [m/s]
C_F	Kapasite faktörü [-]
C_{pmax}	Güç katsayısı [-]
E	Enerji [kWh]
E_{TI}	İdeal rüzgar türbininden elde edilebilecek enerji [kWh]
E_{TG}	Toplam gerçek enerji [kWh]
E_{TR}	Rüzgar türbininin maksimum hızda çalıştığında elde edilebilecek enerji [kWh]
$f(V)$	Weibull ağırlıklı olasılık fonksiyonu
$F(V)$	Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu
Γ	Gama fonksiyonu
k	Weibull şekil faktörü [-]
η	Türbin verimi [-]
n	Rüzgar datalarının sayısı [-]
$P(V)$	Güç [kW]
P_R	Türbinde maksimum hızda elde edilebilecek enerji [kW]
P_T	Türbiden elde edilebilecek toplam enerji [kW]
ρ	Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
T	Zaman periyodu [saat]
$V(z)$	z yüksekliğindeki rüzgar hızı [m/s]
$V(z_r)$	z_r yüksekliğindeki rüzgar hızı [m/s]
V_K	Türbin çalışmaya başlama hızı [m/s]
V_R	Türbinde maksimum güç üretilen hız [m/s]
V_B	Türbinin maksimum çalışma hızı [m/s]
V_{ort}	Ortalama rüzgar hızı [m/s]
z_r	Referans yükseklik [m]

.

ÖZET

Gökçeada rüzgar potansiyelinin belirlenmesi için önce Aydıncık bölgesinde ölçülen rüzgar hızları *Güç Kanunu* formülüyle elektrik enerjisi üretimi için kullanılacak rüzgar türbini kule yüksekliği olan 50m'ye uyarlanmıştır. Elde edilen değerler adadaki diğer üç bölge için önceki çalışmalardan alınan rüzgar hızlarıyla beraber rüzgar profillerinin belirlenmesi için *Weibull ağırlıklı olasılık dağılım fonksiyonunda* kullanılmıştır. Weibull fonksiyonunun parametreleri olan şekil faktörü k ve ölçü faktörü c , oluşturulan Fortran programı ile hesaplanarak aylık ve yıllık rüzgar profilleri elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında Gökçeada rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesine yönelik, iki adet rüzgar türbini seçilmiştir. Bu iki rüzgar türbini için ayrı ayrı olmak üzere aylık ve yıllık ortalama değerler halinde ideal türbin enerjileri, elde edilebilecek enerjiler, uygunluk faktörü, kapasite faktörü ve türbin verim değerleri hesaplanmıştır. Enerji değerlerinin hesap edilmesi için de ayrı bir Fortran programı oluşturulmuştur. Hesaplamalar sırasında integral ifadeleri için *Gauss- Legendre Quadrature* nümerik integrasyon metodu kullanılmıştır.

SUMMARY

To assess the wind potential of Gökçeada first of all time series of wind speed data of Aydıncık that has been collected at 10m and 30m of height above the ground, were extrapolated to 50m which had been chosen the wind turbine hub height, using *Power Law*. New values of Aydıncık and wind data of other three sites has been used in *Weibull probability density function* to find the wind speed distribution curves. The parameters of Weibull probability density function k shape parameter and c scale parameter has been calculated by Fortran programme on monthly and yearly basis to find the wind profiles. In the second step, to assess the wind energy potential of Gökçeada two wind turbines were chosen. As monthly and annual averages, wind turbine efficiency, capacity factor, availability factor, energy production of ideal wind turbine, actual energy production of the wind turbine have been calculated for each of the turbines. Energy calculations have been done by using a Fortran programme. Integrations in the calculations have been solved by *Gauss-Legendre Quadrature* numerical integration method.

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Enerji özellikle 20. yüzyılın başlarından bu yana dünyanın kaderini belirleyen etkenlerin başında gelmektedir. Başlıca enerji kaynağı olarak kullanılan petrol ve türevlerinin, kaynaklarının kısıtlı olmasından dolayı zaman içinde yetersiz kalacağı açıktır. Henüz keşfedilmemiş kaynaklarla beraber, fosil yakıtların ortalama 50 veya 60 yıllık bir ömrünün kaldığı araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Bu bağlamda diğer enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın önemi ortaya çıkarmaktadır. Rüzgâr, güneş, jeotermal, biomass, hidroelektrik enerji kaynakları başlıca yenilenebilir kaynaklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle petrol türevi yakıtların sebep olduğu hava kirliliği, sera etkisi, asit yağmurları gibi olumsuz etmenlere bir alternatif olarak yenilenebilir enerjinin önemi gittikçe artmaktadır. Bu kaynaklardan elde edilen enerji miktarı, şu an için ihtiyacın tamamını karşılamaktan uzak bir görüntü çizmekteyse de, petrole olan bağımlılığı azaltacağı kesindir.

Türkiye, neredeyse her çeşit enerji kaynağına sahip olmasına rağmen bu kaynakların sınırlı olmasından dolayı enerji ithal eden bir ülkedir. Enerji tüketiminin yarısından büyük bir bölümü ithal enerjiyle karşılanmakta ve ithal enerjinin toplam tüketimdeki yeri her geçen yıl artmaktadır. Ülkenin enerji ihtiyacını yerel kaynaklardan (linyit, katı kömür, petrol ve doğal gaz) karşılaması durumunda yenilenebilir enerjiye geçiş süreci makul bir sürede gerçekleştirilmelidir. Diğer yandan toplam yenilenebilir enerji üretim ve tüketimi yaklaşık eşit olmakla beraber, 1992-1999 yılları arası zaman periyodu için yıllık 9,6 ile 10,6 mtep eşleşmektedir [1]. Bu yıllara ait yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarına ait sayısal veriler (Tablo-1)' de verilmiştir [1].

Türkiye'nin enerji ihtiyacının 2000-2010 yılları arasında 2, 2000-2025 yılları arası zaman diliminde ise 5 kat artması beklenmektedir[1]. Bu hızlı artış Türkiye'nin yüksek kalkınma hızı sebebiyle gerçekleşmektedir. 2010 yılına kadar üretim faaliyetleri için yaklaşık 45 milyar dolar, dağıtım ve taşıma faaliyetleri içinse yaklaşık 10 milyar dolarlık bir yatırım gerekmektedir. Devlet yerli ve yabancı yatırımcının ilgisini çekebilmek için, hali hazırda bulunan ünitelerin yenilenebilmesi ve etkin kullanımını sağlamak amacıyla kullanım haklarını devretmeye hazırlanmaktadır.

Tablo-1.1 1992-1999 yılları arası yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarının tüketim miktarları(ktoe)

Enerji kaynağı	Yıllar							
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Yenilenemez								
Katı kömür	6803	6671	6428	6690	9115	8495	8160	11286
Linyit	10743	9918	10331	10605	11187	12280	12414	12984
Petrol	24865	28412	27142	29324	30939	30515	32083	32916
Doğal Gaz	4197	4630	4921	6313	7384	9165	10635	12902
Fosil Türevi toplam	46608	49631	48822	52932	58625	60455	63292	70088
Yenilenebilir								
Hidroelektrik	2285	2920	2630	3057	3481	3424	3520	3240
Jeotermal	90	97	115	138	162	179	256	274
Güneş	32	38	45	52	80	80	98	114
Odun Türevi	5421	5451	5482	5512	5512	5512	5512	5512
Hayvan Gübresi	1788	1697	1627	1556	1533	1512	1492	1510
Toplam yenilenebilir	9616	10203	9899	10315	10768	10707	10878	10650
Toplam tüketim	56224	59834	58721	63247	69393	71162	74170	80738
Toplam üretim	26408	26021	26059	26255	26926	27687	28784	27065

Türkiye'nin enerji ithalatında petrol ilk sırayı almaktadır. Enerji kaynaklarının çeşitlenmesi çabaları sonucu olarak doğal gaz ülkemizde yeni kullanılmaya başlanmakla beraber kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Türkiye özellikle linyit yatakları bakımından zengin bir ülkedir. Şu ana kadar belirlenen kaynak 8 milyar ton dolayındadır. Ortaya çıkarılmamış kaynaklarla beraber 30 milyar tonluk linyit kaynağı olduğu tahmin edilmektedir. Linyit kaynaklarının büyük bölümü Afşin-Elbistan, Soma ve Tunçbilek'te bulunmaktadır. Bu bölgelerde çıkarılan linyitte %14-42 yüksek kül oranı, %15-50 yüksek nem ve %16-38 uçucu kısım belirlenmiştir. Diğer yandan ülkemizde son 40 yılda enerji ve elektrik tüketiminde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu zaman aralığında yıllık ortalamalarda enerji tüketimi %5, elektrik tüketimi %10 artış göstermiştir. Yüksek artış oranlarına rağmen enerji ve elektrik üretim değerleri OECD ülkelerinin oldukça altındadır.

Enerji ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı'nın bulgularına göre 2020 yılında Türkiye'nin enerji ihtiyacı 314.353 ktep'e ulaşacaktır. Türkiye Cumhuriyeti'nin 100. kuruluş yılı olan 2023'te bu rakam 367.780 ktep e, 2025 yılında ise 407.106 ktep'e ulaşacaktır. Bakanlığın üretim öngörülerine göre 2020 yılında yerel birincil enerji üretimi 79.399 ktep olarak hedeflenmektedir. Bu projeksiyona göre 2023 yılında 91.408 ktep, 2025 yılında ise 95.946 ktep yerel enerji üretimi öngörülmektedir. Hedeflerle ilgili değerler Tablo-2'de verilmiştir [1] .

Tablo-1.2 2000-2005 yılları arası öngörülen enerji üretim ve tüketim (parantez içi) miktarları (ktoe)

Enerji kaynağı	Yıllar					
	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Katı kömür ve linyit	17202 [20256]	21529 [30474]	28522 [50311]	31820 [83258]	39385 [129106]	45944 [296997]
Petrol ve doğal gaz	3408 [59250]	2127 [73256]	1735 [92637]	1516 [112993]	1604 [136365]	1455 [179765]
Merkezi ısıtma	253 [253]	495 [495]	884 [884]	1336 [1336]	2018 [2018]	2748 [2748]
Hidro elektrik	3763 [3763]	5845 [5845]	7520 [7520]	8873 [8873]	9454 [9454]	10445 [10445]
Odun türevleri ve atık	6963 [6963]	6760 [6760]	6446 [6446]	6029 [6029]	5681 [5681]	5393 [5393]
Jeotermal	432 [432]	1380 [1380]	3760 [3760]	4860 [4860]	4860 [4860]	5400 [5400]
Nükleer	0,0 [0,0]	0,0 [0,0]	3657 [3657]	9143 [9143]	18286 [18286]	29200 [29200]
Güneş	204 [204]	459 [459]	907 [907]	1508 [1508]	2294 [2294]	3248 [3248]
Rüzgâr	55 [55]	250 [250]	620 [620]	980 [980]	1440 [1440]	2134 [2134]

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından da ülkemiz oldukça zengindir. Türkiye’de yüksek sayılabilecek rüzgâr hızlarına sahip birçok bölge bulunmaktadır. Bu bölgeleri genel olarak altı bölgeye ayırmak mümkündür (Tablo-3) [2].

Tablo-1.3 Türkiye'nin Bölgelere Göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Bölgeler	Yıllık ortalama Rüzgâr enerjisi (W/m ²)	Yıllık ortalama Rüzgâr hızı (m/s)
Marmara	51,91	3,29
Güneydoğu Anadolu	29,33	2,69
Ege	23,47	2,65
Akdeniz	21,36	2,45
Karadeniz	21,31	2,38
İç Anadolu	20,14	2,46
Doğu Anadolu	13,19	2,12
Türkiye ortalaması	25,81	2,57

Bu bölgelerin bazılarında zeminden 10m yükseklikte yapılan ölçümlerde, 1000 ila 3000 kWh/(m².yıl) teorik güç üretimi elde edilebileceği saptanmıştır. Rüzgâr bakımından ilgi çekici alanların başında Marmara Denizi bölgesi, Akdeniz sahili, Ege Denizi sahili, ve İç Anadolu gelmektedir. Türkiye'nin ilk rüzgâr tarlası 1998'de kurulmuş ve 1.5 MW kapasiteye sahiptir. Farklı bölgeler için yapılan çalışmalarla beraber kapasitenin 600 MW'a çıkması ihtimal dahilindedir [2]. Belli başlı önerilen yerler arasında Çeşme, İzmir ve Çanakkale bölgeleri gelmektedir.

Ülkemizde rüzgâr verileri Devlet Meteoroloji Enstitüsü (DME) tarafından toplanmaktadır. Ulusal anlamda yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve kullanım olanaklarının belirlenebilmesi bu kaynakların tanımlanması ile gerçekleştirilebilir. Bu konu ile ilgili olarak, Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ) rüzgâr enerji potansiyelini belirlemek amacıyla çeşitli bölgelerde farklı periyotlarda otomatik rüzgâr veri toplama istasyonları kurmuş ve rüzgâr hızı ölçümleri yapmaktadır. Bu çalışmayla EİEİ, DME'nin aylık rüzgâr hız ve yön bilgilerini kullanarak ülke bazında doğal rüzgâr enerji potansiyelini belirlemiştir.

EİEİ'nin yapmış olduğu çalışmanın ikinci aşaması rüzgâr enerjisi bakımından ilk aşamada ümit veren yerlerde yapılacak ölçümleri içermektedir. Bu amaçla işlem devam etmektedir. Ölçümler 10m yükseklikte yapılmaktadır (Tablo 4).

Tablo-1.4 Türkiye'de bazı rüzgâr ölçüm istasyonlarında belirlenen aylık ortalama rüzgâr hızları

İstasyon	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Nurdağı	3,8	4,7	4,5	6,0	-	11,4	13,7	13,7	10,7	4,8	3,3	3,2
Belen	5,4	4,6	4,7	5,1	6,2	8,7	11,0	11,0	8,3	5,3	5,0	4,5
Akhisar	5,8	6,5	7,9	5,3	5,7	6,5	10,0	8,4	4,8	6,7	4,8	6,7
Didim	5,4	5,2	5,7	4,7	3,7	4,3	5,3	4,5	4,0	4,1	4,8	5,5
Kocadağ	9,5	9,4	10,0	7,1	7,4	7,2	10,3	8,3	6,4	8,3	8,3	10,6
Datca	5,4	5,8	5,6	5,5	5,2	5,9	7,8	8,3	6,2	5,9	5,0	4,9
Bandırma	5,5	5,6	6,9	-	-	-	6,9	5,4	4,1	6,4	3,8	5,7
Karabiga	7,6	6,9	7,2	5,3	5,3	5,1	6,7	7,2	6,4	7,1	6,7	6,9
Gökçeada	8,4	7,9	7,8	5,4	6,2	5,3	7,4	6,5	5,8	7,3	6,8	8,3
Söke	4,2	4,4	4,5	3,4	3,8	6,4	6,7	6,5	3,0	3,6	3,2	3,5
Sinop	5,7	4,8	4,6	5,5	4,4	4,9	5,3	3,8	4,6	4,4	4,5	4,4
Yalıkavak	6,0	7,7	6,8	7,8	5,7	5,8	6,9	6,6	5,5	5,2	5,3	7,0

EİEİ'nin yapmış olduğu araştırma Türkiye'de bazı bölgelerin yüksek rüzgâr enerji potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 5) [1]. Bu sonuçlar bazı özel firmaları rüzgâr güç santrali kurma konusunda cesaretlendirmektedir.. Ayrıca yap-işlet-devret tarzında kurulacak rüzgâr güç santrali için fizibilite çalışmalarında sürmektedir.

Bu bölgelerden biri olan Gökçeada için ise mevcut rüzgâr enerjisinin değerlendirilmesine ve bu potansiyelin irdelenmesine yönelik ulusal ve uluslararası detaylı bir enerji analizi çalışmasına literatürde rastlanmamıştır. Bu ada ile ilgili tek çalışma Tolun,S. ve ç.a. tarafından 1995’ de yapılan çalışma olup, bu çalışmanın konusu olan Aydıncık bölgesini kapsamamaktadır [3]. Tolun ve ç.a.’nın çalışmasında 1991-1993 seneleri arasındaki Uğurlu, 1992-1993 seneleri arasında Çınaraltı ve 1979-1988 dönemi ile 1991-1993 seneleri arası UHİ (Ulusal Hava İstasyonu) verilerinin Weibull parametreleri ile tanımlanan rüzgâr dağılımları üzerinde yoğunlaşmış, türbin analizi yapılmamıştır.

Tablo-1.5 Türkiye’de bazı rüzgâr ölçüm istasyonlarında belirlenen rüzgâr karakteristikleri

İstasyon Adı	Enlem (K) (derece)	Boylam (D) (derece)	Rakım (m)	Ortalama Enerji Yoğunluğu (W/m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı	
					5m (m/s)	50m (m/s)
Akhisar	38,55	27,51	93	44	2,7	4,0
Anamur	36,06	32,50	5	52	3,1	4,3
Antakya	36,12	36,10	100	84	4,0	5,8
Ayvalık	39,19	26,42	4	54	3,1	4,2
Balıkesir	39,38	27,53	147	58	2,8	4,2
Bandırma	40,21	27,58	58	301	5,8	6,9
Begama	39,01	27,11	45	61	3,5	4,9
Bodrum	37,02	27,26	27	85	3,7	5,1
Bozcaada	39,50	26,04	40	317	6,2	8,4
Çanakkale	40,08	26,24	2	92	3,9	5,4
Çorlu	41,10	27,47	183	103	3,8	5,3
Etimesgut	39,57	32,40	806	49	2,5	3,1
Gökçeada	40,12	25,54	72	70	3,5	5,5
İnebolu	41,59	33,46	64	63	3,7	5,2
Karapınar	37,43	33,33	997	45	2,8	3,9
Malatya	38,21	38,19	898	51	2,7	3,7
Mardin	37,18	40,44	1080	114	4,3	6,0
Samsun	40,21	36,15	44	41	2,7	3,6
Sarıyer	41,10	29,03	56	42	2,9	4,1
Seydişehir	37,25	31,51	1131	45	2,7	3,8
Silifke	36,23	33,56	15	50	2,9	3,9
Sinop	42,02	35,10	32	84	3,6	5,1

Rüzgâr enerjisinin belirli bir bölge için belirlenmesinde hız profillerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu profillerin oluşturulması için atılacak ilk adım rüzgâr verilerinin toplanmasıdır. Bu veriler bu bölgeye dikilen 10m, 30m veya 50m’lik direkler vasıtasıyla 10 dakikalık aralıklarla rüzgâr hızı ve yönünün uzun yıllar süresince kaydedilmeleriyle toplanmaktadır. Toplanan bu verilerin anlamlandırılması ise oluşturulacak olan hız profilleri ile sağlanmaktadır. Bu

profillere göre seçilen bölgenin rüzgâr açısından potansiyeli ve bu potansiyelin zamanlaması belirlenmiş olur. Hız profillerinden yola çıkarak elde edilen rüzgâr enerjisi değerleri de seçilen bölgede bir istasyon kurmanın verimli olup olmayacağını, verimli ise kurulacak istasyon ve türbin sayısının belirlenerek sistem tasarımının yapılmasını mümkün kılar.

Rüzgâr hız profillerinin genelleştirilmesi olasılık fonksiyonlarıyla olmaktadır. Çalışmalarda genel olarak *Weibull* ve *Rayleigh* olmak üzere iki çeşit olasılık fonksiyonundan biri kullanılmaktadır. Weibull olasılık fonksiyonu, Rayleigh metoduna göre rüzgâr datalarının frekanslarına daha yakın sonuçlar vermesi nedeniyle araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Rüzgâr enerjisi hesabında türbin güç eğrisinde her hıza karşılık gelen olasılık hesaba katılarak nümerik integrasyon yöntemiyle sonuca gidilmektedir. Türbin güç eğrisinde türbinin çalışmaya başlama hızı ile maksimum güç ürettiği hız ve son çalışma hızı arasındaki bölümler, farklı fonksiyonlarla ifade edilerek türbinden elde edilecek gücün saptanması mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada Gökçeada'da 1994-2002 yılları arasında dört farklı noktada toplanmış olan rüzgâr verileri kullanılarak, adanın rüzgâr enerjisi potansiyeli tespit edilmiştir. Rüzgâr hız profillerinin oluşturulmasında Weibull olasılık fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Bu fonksiyondaki k ve c parametreleri oluşturulan bilgisayar programıyla hesaplanarak, aylık ve yıllık frekans değerleri hesaplanmıştır. Her istasyon için yapılan bu hesaplamalar birbirleriyle karşılaştırılarak adanın rüzgâr potansiyeli irdelenmiştir. Elde edilen rüzgâr hız profilleri kullanılarak, türbin güç eğrisi üzerinden Gauss-Legendre Quadrature nümerik integrasyon yöntemiyle elde edilebilecek elektrik enerjisi hesap edilmiştir. Daha sonra bu kapasiteye ve hıza uygun farklı türbin tipleri için kapasite, verim ve elde edilecek güç miktarları tespit edilerek optimum türbin seçimi yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda Gökçeada-Aydıncık, Çınaraltı, Uğurlu, Ulusal Hava İstasyonu (UHİ) bölgeleri için, mevcut rüzgâr potansiyelinden elektrik enerjisi eldesini sağlayacak sistemin kurulmasının uygun olduğu ve sadece bir türbinden sırasıyla 2,8 milyon kWh ve 3 milyon kWh yıllık enerjinin elde edilebileceği saptanmıştır. Uygun bir yerleşimle Gökçeada' da bir rüzgâr tarlasının tesisi ile elde edilecek enerjinin, sadece adanın ihtiyacını karşılamakla kalmayıp, anakaraya da enerji sağlama potansiyeline haiz olabileceğini düşündürmektedir.

BÖLÜM 2: RÜZGÂR ENERJİSİNİN TEORİK ANALİZİ

2.1 GİRİŞ

Bir bölgenin topografik yapısına veya veri toplama amacı ile dikilen direğin yüksekliğine bağlı olarak, elde edilen rüzgâr hız verileri de farklılık gösterebilir. Aynı bölgede, farklı yüksekliklerde depolanan dataların farklı olması, bu verilerin rüzgâr datalarının kullanılacağı türbin kule yüksekliğine göre düzenlenmesi gereğini de ortaya koyar.

Bunun için *Güç Kanunu Profili* ve *Logaritmik Profil* olmak üzere iki metod bulunmaktadır [4]. Logaritmik profil, temelinde yüzey pürüzlülüğünü esas alan bir yaklaşımdır. Buna karşılık Güç Kanunu Profili daha basit bir yaklaşımla, yükseklik ve rüzgâr hızı arasında bir orantı kurma yolunu takip etmektedir. Rüzgâr profilleri için yapılan araştırmalarda, güç kanunu profilinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada da güç kanunu profilinden yararlanılarak 30m ve 10m’de ölçülen rüzgâr hız değerleri 50m’ye düzenlenmiştir.

Güç kanunu profili;

$$\frac{V(z)}{V(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (2.1)$$

olarak verilmektedir.

Bu denklemdeki α katsayısı farklı değerler alabilmekte ve rüzgâr profilinin düz bir yüzey üzerindeki değişimi kabulüne dayanmaktadır. Çalışmada hazırlanan bir bilgisayar programı vasıtasıyla değişik yıllar için ve 10m ve 30m yüksekliklerde ölçülmüş verilerden yararlanılarak ortalama bir α katsayısı bulma yoluna gidilmiştir. Bu ters düzenleme sonucunda, Gökçeada’da Aydıncık burnu noktası için ortalama α değeri 0,19 olarak hesap edilmiştir.

2.2 RÜZGAR DATALARININ İSTATİKSEL ANALİZİ

Rüzgâr datalarının istatistiksel olarak incelenmesi, bir bölgedeki rüzgâr potansiyeli veya tahmini rüzgâr enerjisinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Mevcut datanın azlığı veya çokluğuna göre olasılık dağılımı ve istatistiksel yöntemlere olan ihtiyaç değişebilir. Örnek datanın azlığı durumunda olasılık dağılımı gelecekle ilgili projeksiyonlar üzerinde büyük avantajlar sağlamaktadır.

İstatistiksel incelemede önemli bir terim olan *Ağırlıklı Olasılık Fonksiyonu*'nun tanımlanması gerekmektedir. Matematiksel bir tanımlamayla; eğer x sürekli bir değişkense onun ağırlıklı olasılık dağılım fonksiyonu f şu özellikleri taşımalıdır, [5]

$$a) f(x) \geq 0$$

$$b) \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$$

$$c) -\infty < a < b < +\infty$$

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x)dx$$

Ağırlıklı olasılık fonksiyonu $f(V)$ çeşitli şekillerde ifade edilebilir. Rüzgâr hız datalarının V_1 ve V_2 gibi iki hız arasındaki olma olasılığı

$$p(V_1 \leq V \leq V_2) = \int_{V_2}^{V_1} p(V)dV \quad (2.2)$$

bağıntısı ile gösterilmektedir [5]. Burada olasılık dağılım fonksiyonu eğrisi altında kalan toplam alan;

$$\int_A^{\infty} p(V)dV = 1 \quad (2.3)$$

bire eşittir. Diğer önemli istatistiksel parametre ise, kümülatif dağılım fonksiyonu $F(V)$ dir. Kümülatif dağılım fonksiyonu $F(V)$, rüzgâr hızının verilen bir hıza eşit veya o hızdan büyük olma olasılığını gösterir [4]. Bu olasılık;

$$F(V) = \int_A^V f(V)dV \quad (2.4)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Ayrıca kümülatif dağılım fonksiyonunun eğimi, ağırlıklı olasılık fonksiyonuna eşittir;[5]

$$f(V) = \frac{dF(V)}{d(V)} \quad (2.5)$$

Giriş bölümünde kısaca bahsedildiği gibi rüzgâr datalarının analizinde Rayleigh ve Weibull olmak üzere iki çeşit olasılık dağılımı kullanılmaktadır. Rayleigh yöntemi tek parametre olarak ortalama hızı kullanırken, Weibull yöntemi iki parametre üzerine inşa edilmiştir. Weibull yöntemi rüzgâr rejimlerinin oldukça geniş bir bölümünü ifade etmede Rayleigh yöntemine göre daha başarılıdır [5].

2.2.1 RAYLEIGH DAĞILIM FONKSİYONU

Rayleigh Dağılımı, parametre olarak sadece ortalama hıza, V_{ort} , gereksinim duyması nedeniyle, hız dağılımlarının oluşturulmasında kullanılan en basit yöntemdir. Rayleigh yöntemi için olasılık dağılım fonksiyonu;

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{V_{ort}^2} \right) \exp \left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ort}} \right)^2 \right) \quad (2.6)$$

ve kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(V) = 1 - \exp \left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ort}} \right)^2 \right) \quad (2.7)$$

şeklinde verilebilir.[5]

2.2.2 WEIBULL DAĞILIM FONKSİYONU

Weibull olasılık fonksiyonunun bulunması iki parametrenin bilinmesini gerektirmektedir: k, şekil faktörü ve c, ölçü faktörü. Weibull ağırlıklı olasılık fonksiyonu ;

$$f(V) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left(-\left(\frac{V}{c} \right)^k \right) \quad (2.8)$$

ve kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(V) = 1 - \exp \left(-\left(\frac{V}{c} \right)^k \right) \quad (2.9)$$

bağıntılarından hesaplanmaktadır [5]. Bu fonksiyonlardaki ölçü ve şekil parametreleri maksimum yaklaşıklık metodu ile bulunabilmektedir. İteratif bir yaklaşımla şekil faktörü k için;

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{n} \right)^{-1} \quad (2.10)$$

ölçü faktörü, c için ise;

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right)^{1/k} \quad (2.11)$$

ifadeleri yazılabilir [6]. Ayrıca ortalama hız, olasılık dağılım fonksiyonundan hesaplanarak aşağıdaki şekilde elde edilebilir;

$$V_{\text{ort}} = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (2.12)$$

Burada

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$$

Gama Fonksiyonu olup, her $(1+1/k)$ değeri için hesaplanması gerekmektedir.

2.3 RÜZGAR GÜÇ YOĞUNLUĞU

V hızıyla türbin süpürme alanı A'dan geçen rüzgârın enerjisi, hızının 3. kuvveti ile doğru orantılı olarak artar. Süpürme alanı, türbin rotor çapının oluşturduğu daire alanı hesaplanarak elde edilmektedir. Bu durumda güç formülü;

$$P(V) = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada ρ akışkan yoğunluğudur. Weibull olasılık fonksiyonu ile bulunan rüzgâr güç yoğunluğu formülü aşağıdaki gibi yazılabilir ;

$$\frac{P}{A} = \int_0^{\infty} P(V) f(V) dV = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(k + \frac{3}{k} \right) \quad (2.14)$$

Bir bölge için rüzgâr güç yoğunluğu verildiğinde belli bir zaman süreci için (bir ay veya bir yıl) rüzgâr enerji yoğunluğu şöyle yazılabilir [6];

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(k + \frac{3}{k} \right) T \quad (2.15)$$

Bu denklemde T zaman periyodu olup, bir ay için 720 saat değerine eşittir.

2.4 İDEAL RÜZGAR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN ENERJİ

Bir rüzgâr türbini rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için tasarlanmıştır. İdeal bir rüzgâr türbininde rüzgârdaki enerjinin tamamı elektrik enerjisine çevrilebilir. Böylece türbin rotoru V_K hızında çalışmaya başlar ve üretilen güç artan rüzgâr hızıyla artar. Güç artışı V_R hızına kadar devam eder. Maksimum güç için

gerekli hız V_R ile V_B hızları arasındaki rüzgâr hızlarında sabit güç üretimi söz konusudur. Bu durumda üretilen güç;

$$P_R = \frac{1}{2} \rho A V_R^3 \quad (2.16)$$

olarak ifade edilir [6] . V_B hızından yüksek hızlarda türbin tamamen durmaktadır. Sonuç olarak ideal bir rüzgâr türbini güç üretimi V_K ile V_R hızları arasında artan hıza bağlı bir değişim gösterirken, V_R ile V_B hızları arasında sabit bir P_R değerinde bulunmaktadır. Bu durumda ideal bir türbinden elde edilen rüzgâr enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.[6]

$$E_{TI} = T \int_0^{\infty} P(V) f(V) dV = T \left(\int_{V_K}^{V_R} P(V) f(V) dV + \int_{V_R}^{V_B} P(V) f(V) dV \right) \quad (2.17)$$

$P(V) = 1/2 \rho A V^3$ ve rated güç değeri $P_R = 1/2 \rho A V_R^3$ denklemde yerine konursa;

$$E_{TI} = \frac{\rho}{2} T A \left(\int_{V_K}^{V_R} V^3 \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + V_R^3 \int_{V_R}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \right) \quad (2.18)$$

Burada T zaman periyodunu göstermektedir. İntegral sınırları olan V_K , V_R ve V_B değerleri sırasıyla rüzgâr türbini çalışmaya başlama hızı, türbinin maksimum güç ürettiği hız ve türbinin son çalışma hızına karşılık gelmektedir. Bu denklemdeki integraller analitik olarak çözülemediğinden nümerik integrasyon ile sonuca gidilmiştir. Çözüm aşamasında altıncı derece Gauss-Legendre Quadrature yöntemi uygulanmıştır [7].

2.5 RÜZGAR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN GERÇEK ENERJİ

Rüzgârın sahip olduğu enerji rotor tarafından mekanik enerjiye dönüştürülürken hava kütlelerinin hızı azalmaktadır. Gerçekte hiçbir türbin rüzgâr enerjisini tamamen elektrik enerjisine dönüştüremez. Rüzgârın sahip olduğu potansiyel enerjinin tamamen elektrik enerjisine dönüşümünün gerçekleşebilmesi için rotor alanıyla temasta bulunan hava kütlesi hızının pervaneye çarptıktan sonra sıfırlanması gerekmektedir.

Güç katsayısı C_p türbinden elde edilebilecek maksimum enerjiyi belirtmek için kullanılan bir parametredir. Bu parametre ;

$$C_p = \frac{\text{Rotor Gücü}}{\text{Rüzgarın sahip olduğu Güç}} = \frac{P_{rotor}}{\frac{1}{2} \rho V^3 A} \quad (2.19)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu ifadenin alabileceği maksimum değer ise;

$$C_{p,max} = 0,5926$$

hesaplanmıştır [5]. Buna göre V_K ile V_R hızları arasında artan güç değerleriyle V_R ile V_B hızları arasında ise sabit P_R gücüyle çalışan bir rüzgâr türbininden elde edilen gerçek güç değeri P_T türbin güç eğrisiyle ifade edilebilir. Bu değerlere göre türbin güç eğrisi için aşağıdaki ifade verilebilir[6];

$$P_T(V) = \begin{cases} 0 & V < V_K \\ (a_1V^3 + a_2V^2 + a_3V + a_4)P_R & V_K \leq V < V_R \\ P_R & V_R \leq V < V_B \\ 0 & V \geq V_B \end{cases} \quad (2.20)$$

Bu ifadede a_1, a_2, a_3, a_4 sayıları rüzgâr türbin güç eğrisinin regresyon katsayılarını göstermektedir. Burada regresyon türbin performans eğrisinin *başlangıç* (cut-in) ile *tam kapasitedeki* (rated) hızları arasındaki bölgeyi ifade etmede kullanılmaktadır. Regresyon için seçilecek fonksiyon 3. dereceden büyük polinomlar şeklinde ifade edilebilir.

Denklemler (2.8), (2.13) ve (2.20) birleştirilerek rüzgâr türbininden elde edilebilecek gerçek güç ifadesine ulaşılabilir. Bu ifadede her hızdaki elektrik gücü $P_T(V)$ o hızın olasılığı $f(V)$ ile çarpılıp olası bütün hız değerleri üzerinden integre edilerek gerçek elde edilen güç hesaplanabilir.

$$E_{TG} = T \int_{V_K}^{V_B} P_T(V) f(V) dV = TP_R \int_{V_K}^{V_R} (a_1V^3 + a_2V^2 + a_3V + a_4) \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + TP_R \int_{V_R}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \quad (2.21)$$

Yukarıdaki denklemdaki integraller, çeşitli nümerik yöntemlerle hesap edilebilmekle beraber bu çalışmada altı nokta Gauss-Legendre Quadrature metodu ile hesaplanmıştır. Gauss-Legendre Quadrature metodu standart halde;

$$\int_{-1}^1 F(z) dz = \sum_{i=0}^n w_i F(z_i) \quad (2.22)$$

şeklinde gösterilmektedir [7]. İntegral sınırları keyfi a ve b sayıları olarak seçildiğinde ise bu formül;

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{(b-a)}{2} \sum_{i=0}^n w_i f\left(\frac{z_i(b-a)+b+a}{2}\right) \quad (2.23)$$

haline dönüşmektedir. Bu formülde z_i Legendre polinomunun köklerini, w_i ise her $f(x_i)$ değerine karşılık gelen ağırlık faktörlerini göstermektedir. Gauss-Legendre integrasyon metodunda, iki noktalı formülünden başlayarak istenen hassasiyet derecesine göre çeşitli formüller geliştirilmiştir. Bu formüllerde sadece z_i ve w_i değerleri değişmekte ve nokta sayısı arttıkça hesaplanan integralin doğruluğu artmaktadır. Her iki değer uygun nokta formülüne göre tablolardan okunarak Gauss-Legendre Quadrature yöntemiyle integral hesaplanabilir.

2.5 RÜZGAR TÜRBİN VERİMİ, KAPASİTE VE UYGUNLUK FAKTÖRLERİ

Rüzgârdaki enerjinin tümü dönüştürülemeyeceğinden rüzgâr enerjisine dayalı bir santral tasarımında η türbin veriminin tanımlanması gerekmektedir. Türbin verimi, türbinden elde edilebilecek gerçek enerjinin ideal rüzgâr türbininden elde edilebilecek enerjiye oranı olarak ifade edilebilir. Denklemler (2.21) ve (2.18) yardımıyla bu verim ifadesi;

$$\eta = \frac{E_{TG}}{E_{TI}} \quad (2.24)$$

şeklinde tanımlanabilir [6].

Verim ifadesinden de görülebileceği üzere türbin verimi sadece türbin güç eğrisinin değil, aynı zamanda rüzgâr hız dağılımında bir fonksiyonudur. Türbin verimi rüzgârın sahip olduğu enerji ile dönüştürülebilecek gerçek enerji miktarı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Betz tarafından 1926'da yapılan çalışmayla geçiş kayıpları ihmal edilerek teorik olarak rüzgârın sahip olduğu enerjinin maksimum %59'unun dönüştürülebileceği ortaya konmuştur. Buna göre hiçbir rüzgâr türbini verimi η 0,59'dan büyük olamamaktadır [6].

Rüzgâr türbini etkinliğini belirlemede bir diğer önemli parametre de kapasite faktörüdür. Bu parametre belli bir zaman aralığında rüzgâr türbininden elde edilen gerçek enerji miktarıyla aynı zaman aralığında maksimum kapasiteyle çalışması durumunda elde edilecek enerji miktarını karşılaştırmaktadır. Rüzgâr türbininin tam kapasitede T zaman aralığında üreteceği enerji;

$$E_{TR} = TP_R \quad (2.25)$$

olarak ifade edilebilir [6]. Bu enerji tam kapasitedeki (rated) enerji olarak anılmaktadır.

Rüzgâr türbininden elde edilen gerçek enerjinin tam kapasitedeki (rated) enerjiye bölünmesiyle elde edilen değer kapasite faktörü olarak tanımlanır [6].

$$C_F = \frac{E_{TG}}{E_{TR}} = \int_{V_K}^{V_B} (a_1 V^3 + a_2 V^2 + a_3 V + a_4) \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + \int_{V_R}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \quad (2.26)$$

Uygunluk faktörü rüzgâr türbininin operasyon yüzdesinin bir ölçütü olarak tanımlanabilir. Türbinin aktif olduğu zaman yüzdesine bağlı bir değer olduğu için türbin karakteristiklerine ve rüzgâr enerjisi potansiyeli ile de doğrudan bağlantılıdır. Çalışmaya başlama hızı V_K , maksimum çalışma hızı ise V_B olan bir rüzgâr türbininde uygunluk faktörü A_F , rüzgâr hızının bu iki değer arasında olma olasılığı olarak $P(V_K \leq V < V_B)$ aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [6].

$$A_F = P(V_K \leq V < V_B) = \int_{V_K}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \quad (2.27)$$

Genel olarak uygunluk faktörü bir türbinin çalışmaya başlayacağı en düşük hızındaki azalma ve türbinin duracağı en yüksek hızdaki artışla artmaktadır. Yeni rüzgâr türbinlerinin çoğu yüksek uygunluk faktörlerine sahiptir. Fakat türbin verimi ve kapasite faktörü nedeniyle üretilen enerji değişmektedir.

Bu durum bir örnek ile açıklanabilir. Büyük bir rotor ve küçük bir jeneratöre sahip bir rüzgâr türbini tam kapasitede çalışmasına rağmen düşük türbin veriminden dolayı çok az elektrik üretecektir. Buna karşılık aynı rotor büyüklüğünde çok büyük bir jeneratöre sahip türbin kullanıldığında ise kapasite faktörü azalacak buna karşılıksa türbin verimi daha fazla olacaktır. Sonuç olarak, rüzgâr türbin karakteristiklerini değerlendirmede kapasite faktörü, uygunluk faktörü ve türbin verimi birlikte ele alınmalıdır.

BÖLÜM 3: RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI

3.1 GİRİŞ:

Gökçeada daha önceki araştırmalar ve gözlemler ışığında rüzgâr enerjisi bakımından Türkiye'nin çok değerli olduğu saptanan bölgelerinden biridir. Türkiye'nin kuzeybatısında Ege Denizi'nde yer alan adanın en yüksek tepesi 250 metredir. Adada bitki örtüsü olarak, deniz etkisinde olan kıyı bölgelerde ot ve diken, orta ve güney bölgesinde kısmi olarak bodur ve baltalık meşe ağaçları dışında herhangi bir bitki örtüsü yoktur. Bu örtünün rüzgâr türbinlerine herhangi bir olumsuz etkisi olmayacağı gibi, türbinlerinde bunlara önemli bir olumsuz etkisi olmayacaktır.

Adada yapılan farklı çalışmalarda Çınaraltı, Ulusal Hava İstasyonu, Uğurlu bölgelerinde ölçümler yapılmış ve rüzgâr enerjisi potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır [3]. Bu adanın Aydıncık bölgesi için 1994 yılından beri bir-iki aylık kesintiler hariç düzenli olarak rüzgâr hızları kaydedilmekle beraber bu hızlar sistematik bir değerlendirmeye tabi tutulmadığı için bu bölgenin rüzgâr potansiyeli hakkında bir sonuç bugüne kadar elde edilememiştir.

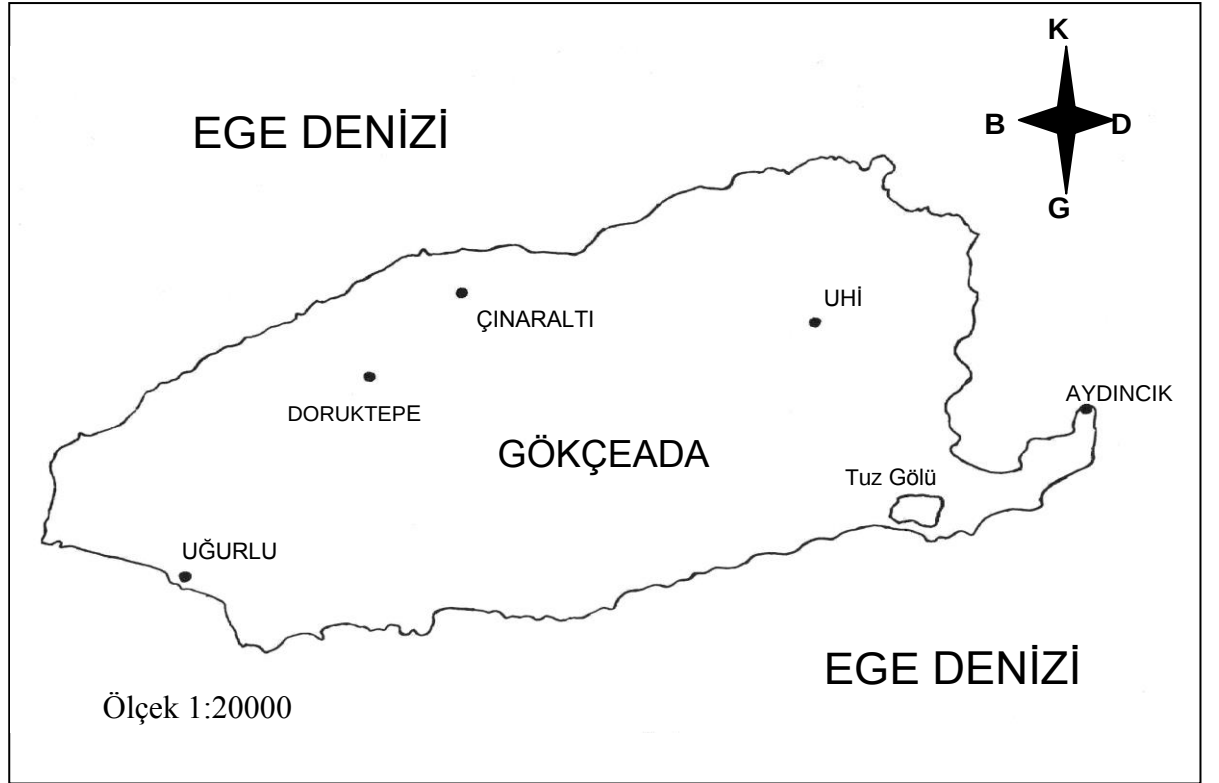
İskân alanından uzakta, herhangi bir faaliyet için kullanılmayan yarımada şeklindeki bu mevkii, hakim rüzgâra açık ve oldukça düzgün bir topoğrafik yapıya sahiptir. Bu mevkinin deniz seviyesinden en yüksek noktası 35 m. dir. Toprağı, yaklaşık 60-70 metre kalınlığında miyosen yapısındadır. Yarımada yüzölçümü yaklaşık 8.000.000 m² büyüklüğündedir ve mülkiyeti hazineindir.

Çalışmada kullanılan Aydıncık ve daha önceki çalışmalarda kullanılan üç istasyon için özet bilgiler şu şekilde sıralanabilir;

- **Aydıncık (Mesecik):** 414.560-4.444.425. (Deniz seviyesinden 25 metre yükseklikte) 10 ve 30 metrede NRG tipi rüzgâr sensörleri olan 30 metre boyundaki borulu kule. Aydıncık Yarımadası'nın kuzeybatı bölümünde yer almaktadır. Bu alan tamamen boş olup yörenin rüzgâr potansiyelini ölçmek için çok uygundur. Rüzgâr hız kaydı zaman periyodu: 1994-2002
- **Ulusal Hava İstasyonu (UHİ):** 40.74 K-25.92 D. (Deniz seviyesinden 71 metre yükseklikte) Kentsel yerleşim içinde ve adanın iç bölgesindedir. Bölgede kuzey ve kuzeydoğu rüzgârları etkindir. Güney rüzgârları topoğrafik

yapıdan etkilenmektedir. Rüzgâr hız kaydı zaman periyodu: 1979-1988, 1991-1993

- **Uğurlu:** 40.11 K-25.73 D. (Deniz seviyesinden 35 metre yükseklikte) Kıyı bölgesinde bulunan istasyon tarım alanı olarak kullanılan kırsal alan içindedir. Güney ve doğu rüzgârları etkisi altındadır. Rüzgâr hız kaydı zaman periyodu: 1991-1993
- **Çınaraltı:** 40.20 K-25.83 D. (Deniz seviyesinden 250 metre yükseklikte) Kıyı bölgesinde bulunan istasyon tarım alanı olarak kullanılan kırsal alan içindedir. Bölgeye hakim olan güney ve batı rüzgârları topoğrafik koşullardan etkilenmektedir. Rüzgâr hız kaydı zaman periyodu: Nisan 1992-1993



Şekil 3.1 Gökçeada Rüzgâr Ölçüm İstasyonları

3.2 ZAMANA BAĞLI HIZ DEĞERLERİNİN ÖLÇÜLMESİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

Gökçeada rüzgâr enerjisi projesinde kullanılan ekipmanlar; 30 metrelik kule, yön göstergesi, anemometre ve data loggerden oluşmaktadır.

Anemometre olarak NRG40 tipi cihaz kullanılmıştır. Anemometre 1m/s ilâ 96m/s aralığında ölçüm yapabilmektedir. Hata aralığı 5-25 m/s hız aralığında 0,1 m/s olarak verilmiştir. Düşük atalet momenti sayesinde değişimleri iyi yakalayabilmektedir.

Çalışma esası olarak dört kutuplu bir mıknatısın sinüs dalgası olarak gelen voltajı bir bobine indirgeyerek rüzgâr hızı ile orantılı frekansta bir sinyal oluşturur. Sürekli performans için tek parça kalıp olarak üretilen 3 kaplı yapı kullanılmaktadır.

Yön göstergesi olarak ise NRG 200P kullanılmıştır. Termoplastik ve paslanmaz çelik parçalardan imal edilmiştir. Bu sayede korozyona dayanıklı ve yüksek sağlamlık/ağırlık oranına sahip olması sağlanmıştır. Pervanesi direkt olarak ana gövdede bulunan bir potansiyometreye bağlanmıştır. Potansiyometreye sabit doğru akım geldiği sürece rüzgâr yönü ile orantılı voltaj çıkışı üretilmektedir. Hata aralığı %1 mertebesinde olduğu üretici firma tarafından belirtilmiştir.

Kule olarak 30 metrelik NRG Tall Tower tipi kule kullanılmıştır. Yön göstergeleri ve anemometreler gerçek türbin kule yüksekliğinde yerleştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Galvanizli çelikten imal edilen kule hafifliği nedeniyle taşınmasında kolaydır. Üzerindeki kancalar yardımıyla insan gücü veya vinç yardımıyla yerden kaldırılabilirdiği gibi bir hava taşıtı yardımıyla da kurulabilmektedir.

Veri kaydedici olarak NRG Logger 9200 Plus kullanılmıştır. Veri kapasitesini arttırmak için üç farklı kayıt seçeneği bulunmaktadır. 0-127,5 Hz frekans aralığında (0-97,4 m/s rüzgâr hız aralığı) üç yükseklikten rüzgâr hızı, iki yükseklikten rüzgâr yönü kaydedebilen cihaz üzerinde bulunan bir adet ekstra analog kanal da sıcaklık, güneş radyasyonu ve diğer meteorolojik ölçümler için ayrılmıştır. 32 KB iki çip sayesinde 60 dakikalık ortalamalar cinsinden 682 güne kadar aralıksız kayıt yapabilmektedir. Herhangi bir rüzgâr hızı aralığı için ortalama rüzgâr hızı ve standart sapma hesabı da yapabilmektedir. Cihazın hassasiyeti 0,0625Hz (0,0022 m/s) olarak verilmiştir.

3.3 RÜZGÂR HIZ DAĞILIMLARININ ÖLÇÜLEN HIZ VERİLERİNDEN HESAPLANMASI

Çalışmanın ilk aşaması olarak eldeki rüzgâr hızı verileri düzenlenmiştir. MS OFFICE EXCEL formatında 3 veya 4 aylık veriler şeklinde bulunan datalar öncelikle 30m ve 10m’lik aylık datalar olarak ayrılmış, daha sonra oluşturulan aylık 10m ve 30m’lik dosyalar, yıllara göre tasnif edilmiştir. Ayırma sırasında veri kaydedicinin hafıza dolumundan dolayı meydana gelen yanlış veriler ayıklanarak, gerekli düzenlemeler de yapılmıştır.

Sonraki aşamada, verilerin seçilen türbin kule yüksekliği olan 50m’ye uyarlanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için önce bilinmeyen α üstel sayısının hesabı Bölüm 2. de verilen denklem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denk. (2.1) 30 m. ve 10m’lik yükseklikler için düzenlenerek;

$$\alpha = \ln(V_{30m}/V_{10m})/\ln(30/10) \quad (3.1)$$

ifadesi elde edilmiştir. Bu ifadeyle 1 senelik 30 m. ve 10m.'lik rüzgâr hızı değerleri oluşturulan bir Fortran programında okutturularak α değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak, çalışmada kullanılacak α değeri olan 0,19 elde edilmiştir. Elde edilen α değeri Denk.(2.1) de, 50m'lik rüzgâr hızlarının bulunması için kullanılmış ve,

$$V_{50m} = (50/10)^{0,19} V_{10m} \quad (3.2)$$

dönüşümü elde edilmiştir. Yine 10m'deki verilerin ayrı bir Fortran programında okutturulmasıyla 50m. için rüzgâr hızı değerleri, güç kanunu formülüyle bulunmuştur.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, zamana bağlı rüzgâr verilerinden hız frekans eğrilerinin elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun için Weibull olasılık fonksiyonundan yararlanılmış, ve Weibull parametreleri (k ve c) hesaplanmıştır. Denk. (2.10)'da ifade edilen k parametresi, üstel ifadeler nedeniyle eşitliğin tek tarafına çekilemediğinden iterasyon hesabıyla bulunmuştur. Denk. (2.10)'da eşitliğin sağ tarafındaki k ifadeleri yerine aşağıdaki ifadede k_2 olarak gösterilen ilk değer (0,1-0,5 arası değerler) konularak,

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i^{k_2} \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^{k_2}} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{n} \right)^{-1} \quad (3.3)$$

yeni bir k değeri hesaplanmıştır. Daha sonra bulunan k değeri Göreceli Yaklaşıklık (Relative Convergence) Metodu ile;

$$\frac{|k - k_2|}{k} \leq \varepsilon \quad (3.4)$$

ilk verilen k_2 değeri ile karşılaştırılmıştır. Göreceli yaklaşıklık metodunda hassasiyet değeri $\varepsilon=5.10^{-5}$ olarak alınmıştır. ε değerine eşit veya daha küçük bir yaklaşıklık elde edilmemişse;

$$k_2 = 0,5k_2 + 0,5k \quad (3.5)$$

ifadesi ile verilen ardışık aşırı rahatlama (successive over-relaxation) metodu ile yeni bir k_2 değeri hesaplanmıştır. Yeni k_2 değeri Denk.(2.10)'da eşitliğin sağ tarafındaki k

ifadelerinin yerine konarak işlemler tekrarlanmış, ε değerine eşit veya ondan küçük bir değer bulunduğunda ise en son kullanılan k_2 değeri Weibull şekil parametresi değeri olarak kaydedilmiştir.

Çalışmada k parametresi aylık ve yıllık değerler kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Denk. (3.3)'de verilen ifade ile Weibull şekil parametresinin (k) hesaplanması esnasında “ n ” sıfırdan-farklı rüzgâr verilerinin sayısını göstermektedir. Bu durumda k için verilen ifadedeki “ n ” değerleri aylık değer bulunurken (verilerin içinde sıfır değerleri olmadığı takdirde) 696-744 arasında değişirken, yıllık değerlerde ise bir yıldaki saat sayısı kadar olmaktadır.

Ardışık Aşırı Rahatlama Metodu, iterasyon işlemlerini çabuklaştırmada kullanılan bir yöntemdir. Eski ve yeni iterasyon değerlerinin, katsayıları toplamı 1 olacak şekilde oluşturulup toplanmasıyla yeni bir iterasyon değerinin elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu metod kullanılmadığı takdirde, sonucun eldesi için ortalama 6000 iterasyon gerekirken, Ardışık Aşırı Rahatlama Metodu ile bu çalışmada oluşturulan Fortran programında iterasyon sayısı 13'e düşürülmüştür.

Weibull ölçü parametresi c ise Denk.(2.11) k parametresinin hesaplanan değeri yerine konularak aylık ve yıllık değerler şeklinde bulunmuştur. Denk. (2.12) yardımıyla ortalama hız, V_{ort} hesaplanmıştır. Bu hesaplamada her $k+1/k$ değerine karşılık gelen gama fonksiyonu, Γ , MATLAB bilgisayar programında hesaplanarak programa dahil edilmiştir. V_{ort} değeri de aylık ve yıllık değerler cinsinden hesap edilmiştir. k ve c parametreleri hesaplandıktan sonra ağırlıklı olasılık fonksiyonu $f(V)$ ve kümülatif dağılım fonksiyonu $F(V)$ bulunabilmektedir. $f(V)$ fonksiyonu Denk.(2.8); $F(V)$ fonksiyonu ise Denk.(2.9) ile hesaplanmıştır. Bu ifadelerdeki hız değerleri alınırken seçilecek türbinin çalışmaya başlama hızı V_K ve son çalışma hızı V_B değerleri göz önüne alınarak 0-25 m/s arası hızlar için frekans değerleri bulunmuştur. Bu aralıktaki rüzgâr hızları denklemde “ V ” ifadesinin yerine konarak bu hızlara karşılık gelen frekans değerleri bulunmuştur. Weibull parametrelerinin aylık ve yıllık değerlerini ve ağırlıklı olasılık fonksiyonu $f(V)$ ve kümülatif dağılım fonksiyonu $F(V)$ dağılımlarını zamana bağlı rüzgâr verilerinden hesaplayan ve Fortran dilinde hazırlanan programın (WEIBULL.f90) akış şeması Şekil-3.2'de ve disketi ekte verilmektedir.

3.4 RÜZGÂR ENERJİSİNİN HESAPLANAN HIZ DAĞILIMLARI İLE BULUNMASI

Her istasyon için bulunan aylık ve yıllık hız dağılımları kullanılarak elde edilecek enerji miktarları ve sistem verimleri bulunmuştur. Bu çalışma için akış şeması Şekil-3.5' te verilen ayrı bir bilgisayar programı geliştirilmiş (ENERJİ.f90) ve önceki

programda elde edilen değerlerden yararlanılarak enerji miktarları ve ilgili parametreler hesaplanmıştır.

Rüzgâr güç yoğunluğu P/A değeri, Denk. (2.14) yardımıyla hesaplanmıştır. Süpürme alanı A , türbin rotor çapının oluşturduğu daire alanı hesaplanarak bulunmuş ve hesaplamada hava yoğunluğunun yükseklikle olan değişimi gözönüne alınmıştır. Bu hesaplama adımı her $k+3/k$ değerine karşılık gelen gama fonksiyonu, MATLAB bilgisayar programında hesaplanarak gama fonksiyonu bulunmuş, bulunan gama fonksiyon değeri rüzgâr güç yoğunluğu için oluşturulan bilgisayar programında kullanılmıştır. Rüzgâr güç yoğunluğu, içindeki c ve k parametrelerine bağlı olarak aylık ve yıllık olarak hesaplanabilmektedir.

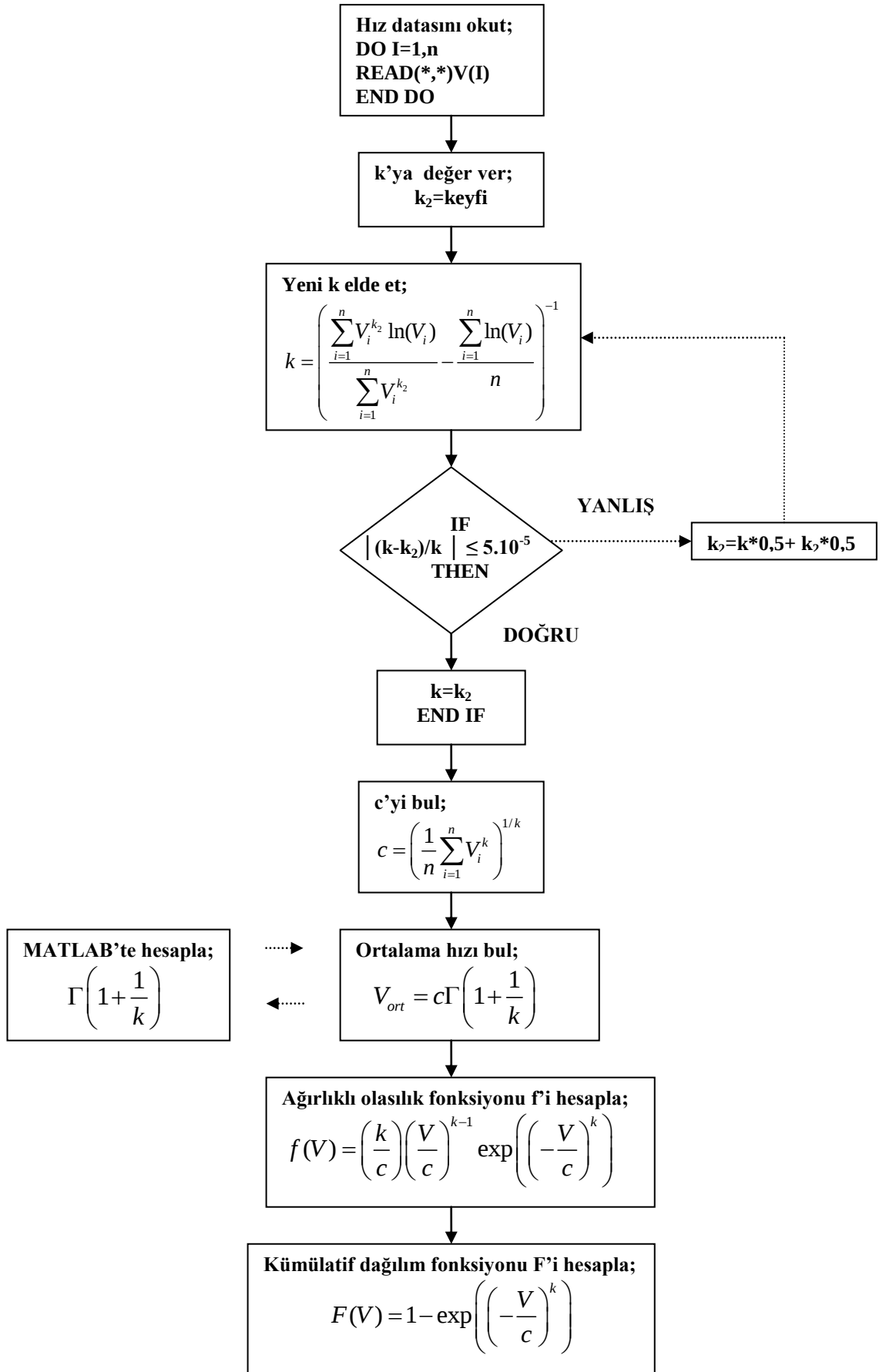
Bu çalışmada rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi miktarlarına, farklı firmalar tarafından üretilmiş ve güç eğrileri farklı olan birbirine yakın kapasitedeki türbinlerin etkisini görmek amacıyla incelemeler iki farklı türbin üzerinde yapılmıştır. Bu türbinlerden NORDEX firmasına ait, tam kapasitedeki güç değeri 800kW olan türbin *stall* kontrollü olup, güç eğrisi Şekil-3.3'te verilmektedir. Diğer türbin ise GAMESA firmasına ait *pitch* kontrollü ve tam kapasitedeki güç değeri 850kW olup, güç eğrisi Şekil-3.4'te verilmektedir.

Türbinden elde edilebilecek teorik enerji miktarı E_{Ti} Denk.(2.18) yardımıyla bulunmaktadır. Denklemdaki integralin nümerik çözümü için Gauss-Quadrature nümerik integrasyon metodu kullanılmıştır. Bu metod için oluşturulan Fortran programı sayesinde denklemdaki integral altı nokta Gauss yöntemiyle hesaplanmaktadır. Bu program ayrıca E_{TG} , η , A_F ve C_F değerlerini hesaplamada da kullanılmaktadır.

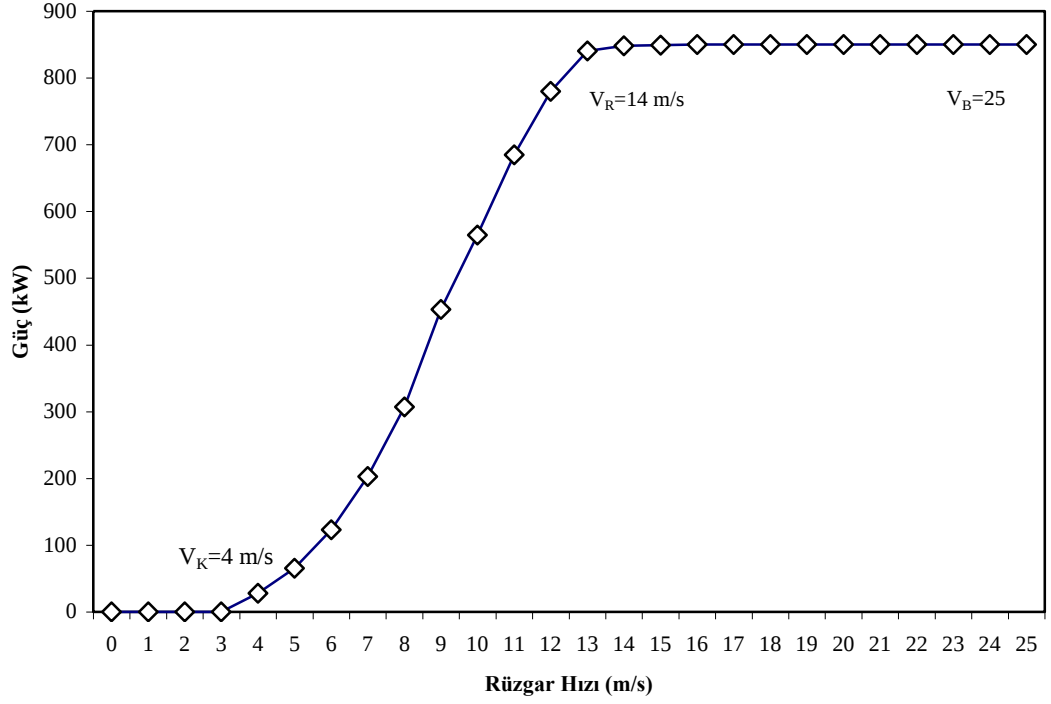
Türbinden elde edilebilecek gerçek enerji E_{TG} , Denk.(2.21) yardımıyla bulunmaktadır. Bu denklemde sınırları V_K ve V_R olan integralin hesabında kullanılan polinomun katsayıları olan a_1 , a_2 , a_3 , a_4 sayıları türbin güç eğrisi yardımıyla bulunmaktadır. Türbin güç eğrisinde V_K ve V_R hızları arasında okunan 4 değere karşılık gelen 4 güç değeri polinomda yerine koyularak 4 bilinmeyenli 4 denklem elde edilmiş ve bir matris işlemiyle a_1 , a_2 , a_3 , a_4 katsayıları hesaplanmıştır.

NORDEX N50 rüzgâr türbini için bu değerler sırasıyla -0.0006, +0,0186, -0,0795, +0,0872 olarak bulunmuştur. Pitch kontrollü GAMESA G52 türbini için ise yapılan hesaplar sonucunda a_1 , a_2 , a_3 , a_4 katsayıları sırasıyla -0,0022, +0,0577, -0,3665 ve +0,7126 bulunmuştur.

Türbinden elde edilen gerçek enerji E_{TG} ve türbin teorik enerji E_{Ti} değerleri bulunduğundan sonra her iki türbin için de hesaplandıktan sonra türbinlerin verimleri aylık ve yıllık ortalama değerler olarak bulunmuştur.



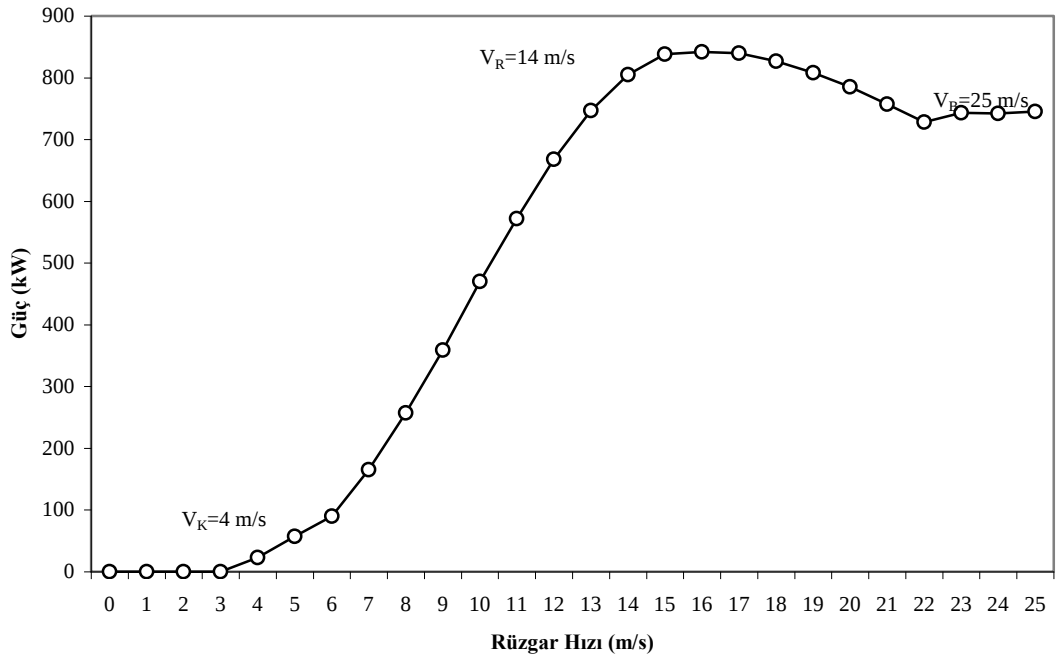
Şekil-3.2 WEIBULL.F90 Fortran Bilgisayar Programı Akış Şeması



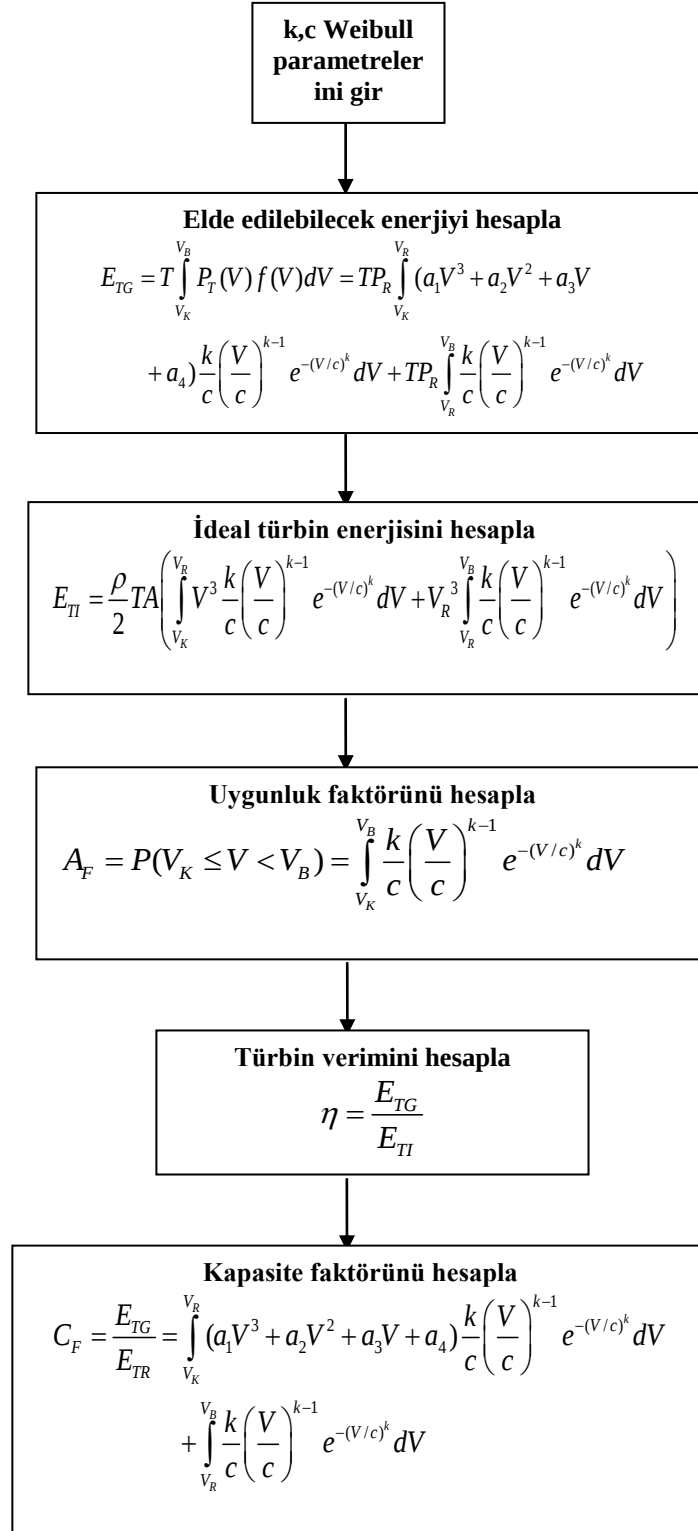
Şekil-3.3 NORDEX N50 800kW Güç Eğrisi

Benzer şekilde türbinlerin Kapasite faktörü C_F ve Uygunluk faktörü A_F sırasıyla Denk.(2.26) ve Denk.(2.27) den hesaplanmıştır.

Rüzgâr hız dağılımlarının aylık ve yıllık değişimleri ile bunlara bağlı olarak hesaplanan enerji ve verimlerin farklı türbinler ve bölgeler için olan değişimleri Bölüm 4' te topluca verilmektedir.

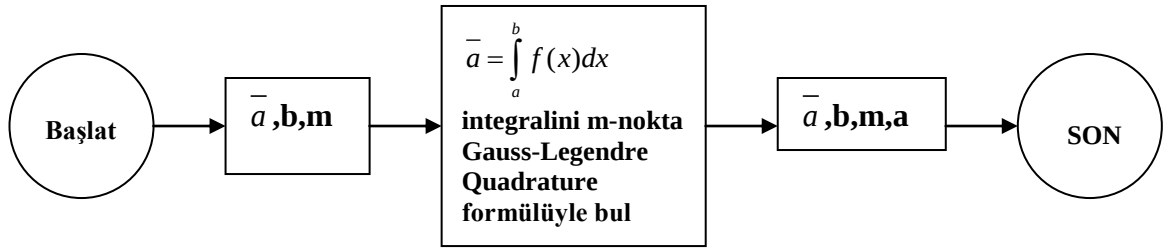


Şekil 3.4 GAMESA G52 850kW Güç Eğrisi

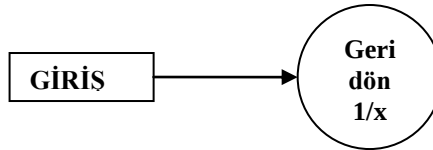


Şekil-3.5 a) Rüzgâr Enerji Miktarlarını Ve Bağlı Parametreleri Hesaplayan Program Akış Şeması

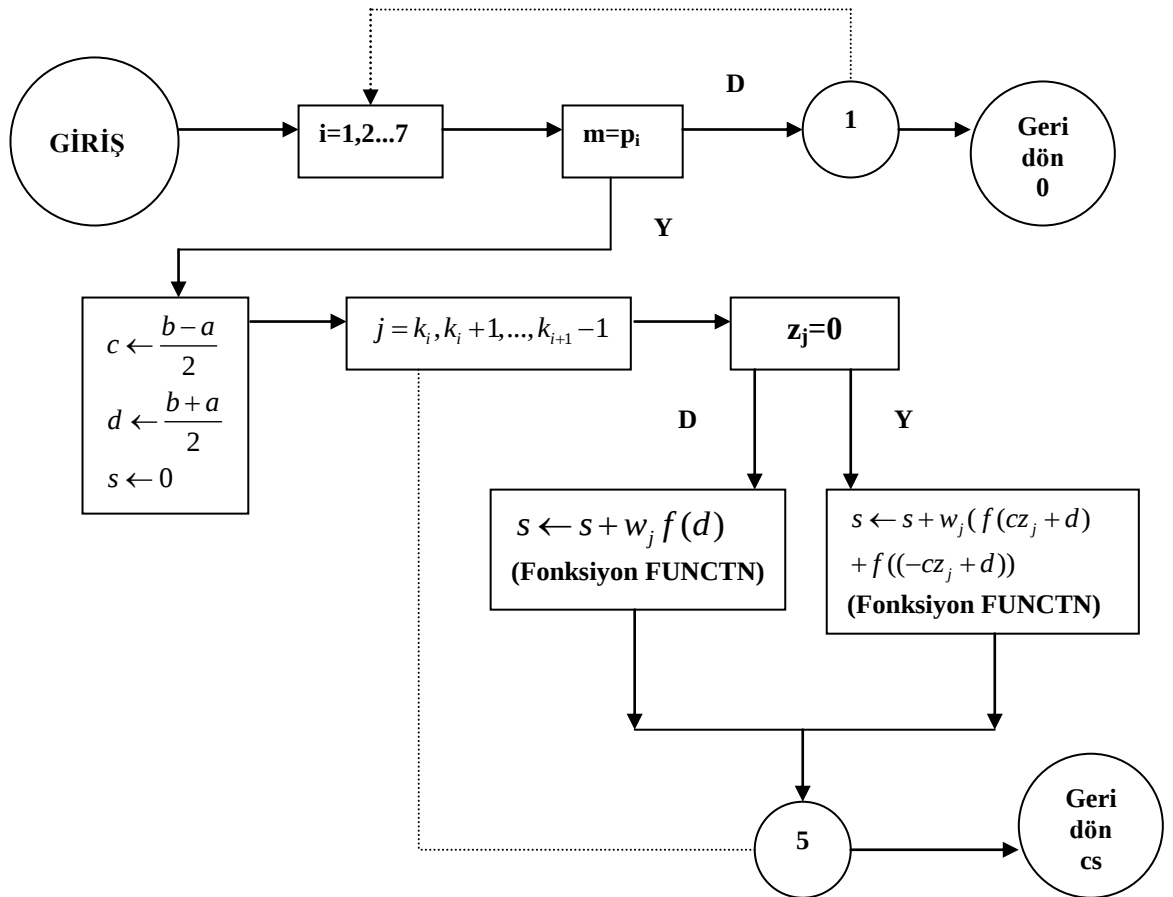
Ana Program



Fonksiyon FUNCTN (Keyfi argüman: x)



Fonksiyon GAUSS(Keyfi argümanlar a,b,m,f; Çağrılan argümanlar:a,b,m,FUNCTN)



Şekil-3.5 b) Gauss-Legendre Quadrature Programı Akış Şeması

Şekil-3.5 ENERJİ.F90 Bilgisayar Programı ve Alt Programlarına ait Akış Şemaları

BÖLÜM 4: HIZ DAĞILIMLARI

4.1 GÖKÇEADA RÜZGÂR PROFİLLERİ

Gökçeada Aydıncık, Çınaraltı, UHİ ve Uğurlu bölgeleri için, Bölüm 3 de detaylı olarak açıklanan Weibull ağırlıklı ve kümülatif olasılık dağılım fonksiyonlarının hesaplanmasıyla elde edilen sonuçlar sayesinde Gökçeada'nın rüzgâr enerjisi potansiyelinin aylara ve yıllara göre olan dağılımlarını grafiksel olarak elde etmek mümkün olmaktadır. Bu bölümde sırasıyla Aydıncık, Çınaraltı, Ulusal Hava İstasyonu ve Uğurlu Bölgelerinin rüzgar hızlarının değişimi incelenecektir.

Hız dağılım fonksiyonları, her bölgenin aylara göre mevsimsel grafikleri biçiminde çizdirilmiş ve ayrıca yıllık ortalama grafik verilmiştir. Hızların kümülatif dağılım fonksiyonları ise, her bölgenin aylara göre yıllık grafikleri ve uzun yıllar ortalaması olarak gösterilmiştir. Tüm grafiklerdeki rüzgâr hızı değerleri 50m. türbin kule yüksekliğine uyarlanmış değerlerdir.

Çınaraltı rüzgâr istasyonu için çizdirilen grafiklerde ocak, şubat, mart ve nisan ayları için veri olmadığından bu aylar için olasılık dağılım fonksiyon grafiği çizdirilememiştir. Yıllık grafikte aynı nedenden dolayı verilmemiştir.

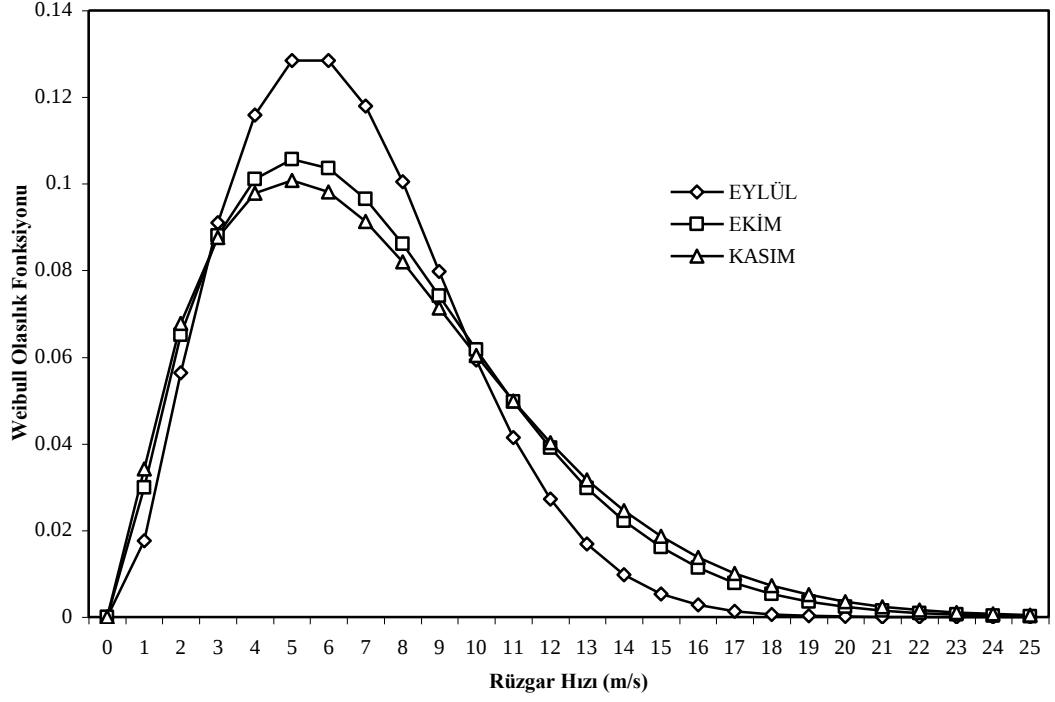
4.2 AYDINCIK

1994-2002 yılları arasında ölçülen hız değerleri kullanılarak saatlik ortalama değerlerden 8 yıllık aylık ortalama rüzgar karakteristikleri Tablo 4.1 de verilmiştir.

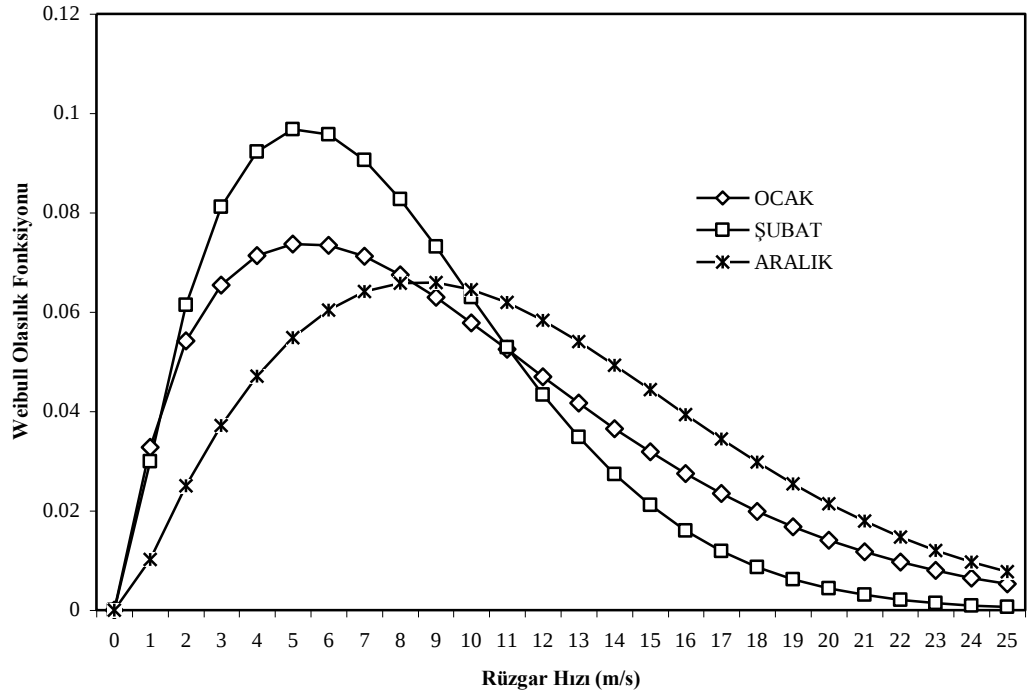
Bir yıllık saatlik ortalama aylık rüzgar karakteristikleri ayrıca irdeleme amacıyla elde edilmiştir. Bir örnek olarak 2002 yılına ait değişim Şekil-4.1' de görülmektedir.

Tablo-4.1 Aydıncık Bölgesi 1994-2002 Yılları Aylık Ortalama Weibull Hız Dağılım Katsayıları

Aylar	k								c						
	1994	1996	1997	1998	2000	2001	2002		1994	1996	1997	1998	2000	2001	2002
Ocak	1,55	2,20	1,78	1,29	2,04	1,63	1,50		11,76	13,16	11,27	7,64	10,27	10,96	10,09
Şubat	1,62	1,88	1,77	1,54	1,82	1,61	1,70		11,14	13,34	11,68	9,60	10,63	10,14	8,06
Mart	1,82	1,95	1,53	1,68	2,51	1,70	1,90		11,55	12,24	11,58	12,50	11,94	9,91	10,92
Nisan	1,74	1,72	1,62	2,35	1,84	1,48	1,88		9,69	6,89	9,25	10,95	5,55	8,35	8,62
Mayıs	1,55	1,84	2,31	1,73	1,62	1,62	2,54		6,80	8,32	13,08	8,91	7,68	7,14	8,44
Haziran	1,67	1,94	-	2,03	1,84	2,21	2,64		8,25	9,10	-	7,84	9,08	7,55	8,42
Temmuz	3,27	1,76	-	-	2,25	2,37	2,27		12,46	10,19	-	-	7,83	8,14	7,37
Ağustos	2,52	2,39	-	-	2,74	2,80	2,05		9,24	9,74	-	-	10,83	10,30	8,58
Eylül	2,07	1,58	2,22	-	2,03	2,15	2,09		9,33	8,12	11,18	-	9,90	7,71	6,81
Ekim	1,66	1,98	1,52	-	1,87	2,54	1,76		10,92	9,39	11,66	-	11,16	10,35	7,51
Kasım	1,47	1,41	1,81	-	1,58	1,78	1,67		11,07	10,24	8,99	-	8,12	9,98	7,70
Aralık	1,47	2,70	1,50	-	1,62	1,99	1,84		9,77	11,99	11,49	-	10,05	16,57	12,32
Yıllık	1,69	1,75	1,65	1,60	1,81	1,69	1,77		10,13	10,15	10,97	9,75	9,47	9,79	8,76



Şekil-4.1 Aydınıcık Bölgesi 2002 yılı Sonbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

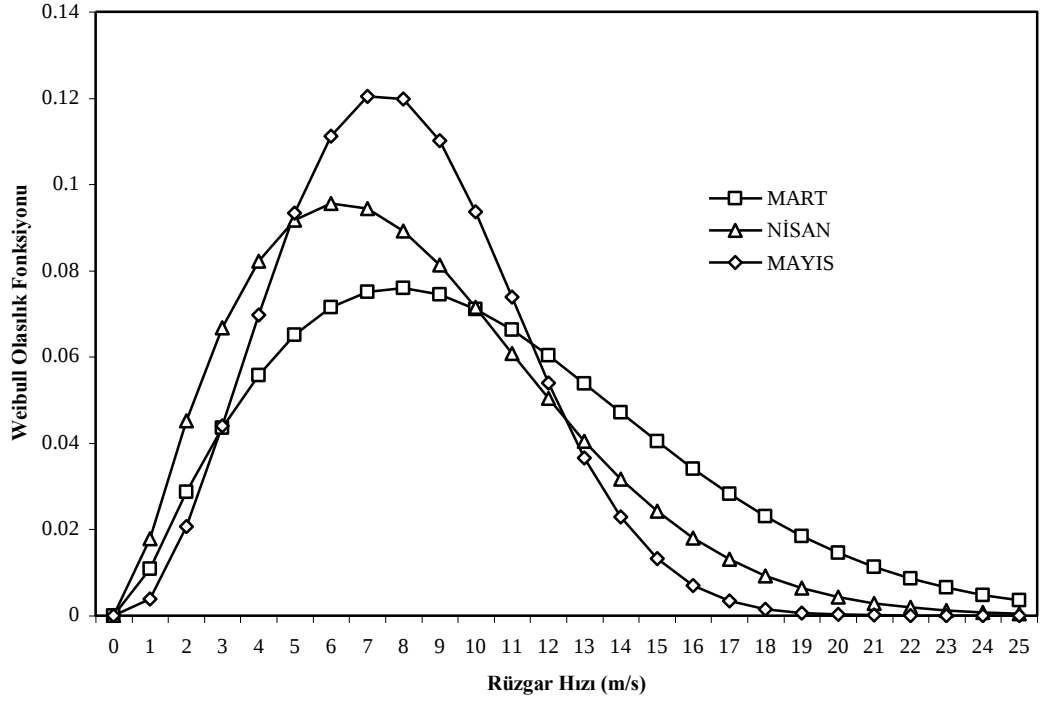


Şekil-4.2 Aydınıcık Bölgesi 2002 yılı Kış Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

Aydınıcık bölgesi için bulunan Weibull ağırlıklı olasılık dağılım fonksiyonu değerlerine bakıldığında Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü üzere kış aylarına doğru rüzgâr hız frekansları yüksek hızlar için artarken nispeten daha düşük hızlar için olan

değerler azalmaktadır. Örneğin Eylül ayında 5 m/s için rüzgâr hızı frekansı 0,13 civarında iken Kasım ayında 0,1, Aralık ayında ise 0,06 civarında gerçekleşmektedir. Buna karşılık seçilen türbinlerin tam kapasite çalışma hızı olan 14 m/s rüzgâr hızının frekans değeri Eylül ayında 0,01, Kasım ayında 0,03, Aralık ayında ise 0,06 dolaylarında gerçekleşmektedir.

Aralık ayını takibeden Ocak ve Şubat aylarında ise, düşük rüzgâr hızlarının frekans değerleri artarken, yüksek hızların frekansında azalma görülmektedir. 5 m/s rüzgâr hız değeri için rüzgâr frekans değerlerine bakıldığında Ocak ayında 0,07, Şubat ayında ise 0,1 değerleri görülmektedir. 14 m/s rüzgâr hızı için Ocak ayında 0,04, Şubat ayında ise 0,03 frekans değerleri grafikten okunmaktadır.

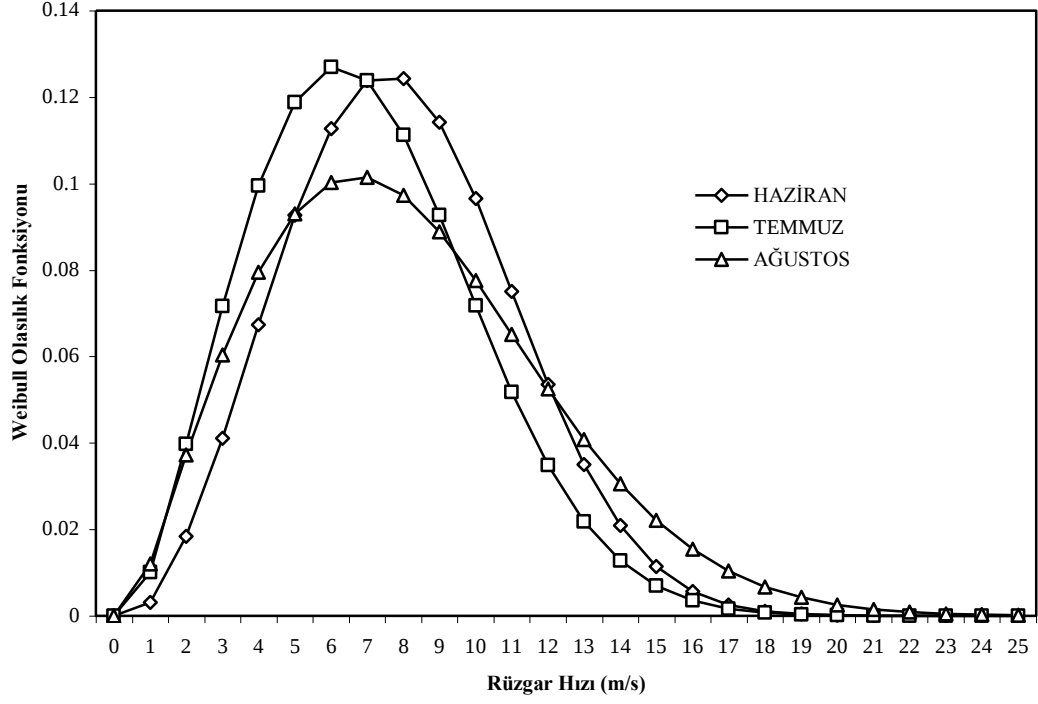


Şekil-4.3 Aydıncık Bölgesi 2002 yılı İlkbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

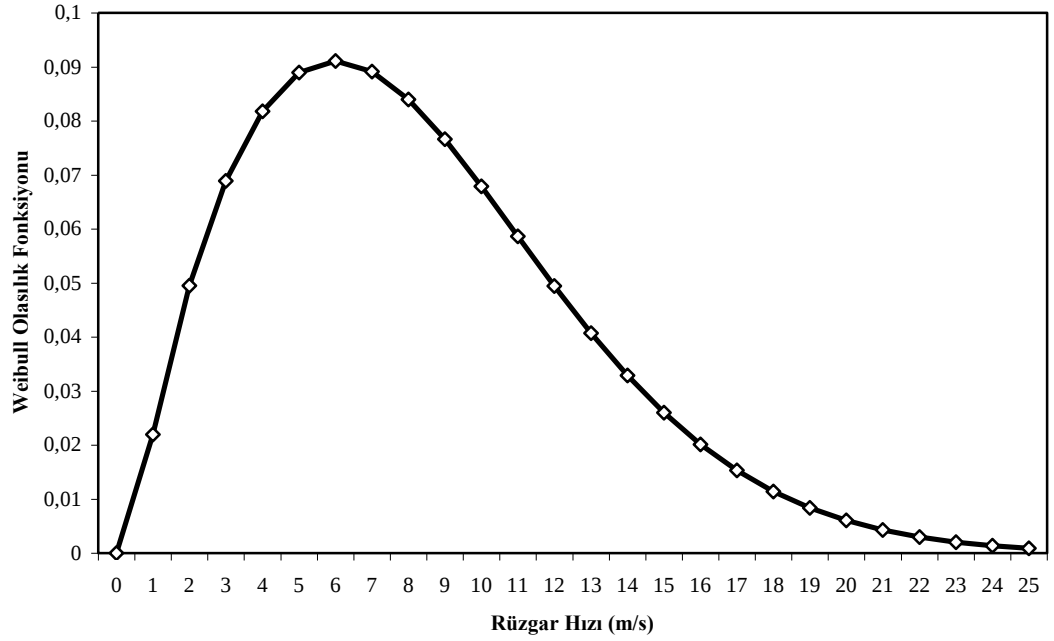
İlkbahar dönemi için oluşturulan Şekil-4.3’de, rüzgâr hızı frekans değerlerinin 12 m/s ve altı rüzgâr hızları için artan, üst hızlar içinse azalan eğilimin devam ettiği görülmektedir. Şekil-4.3 ’den 7 m/s rüzgâr hızı için Mart ayında 0,08, Nisan ayında 0,1, Mayıs ayında ise 0,12 değerleri okunmaktadır. Yine aynı grafikten 16 m/s rüzgâr hızı için Mart ayında 0,04, Nisan ayında 0,02, Mayıs ayında ise 0,01 frekans değerleri okunmaktadır.

Yaz dönemi frekans değerleri Şekil-4.4’de verilmiştir. Yaz aylarında frekans değerlerinin belirgin değişim göstermemesine rağmen Ağustos ayında yüksek rüzgâr hız frekanslarındaki artışla beraber düşük rüzgâr hızlarındaki azalma dikkat çekmektedir.

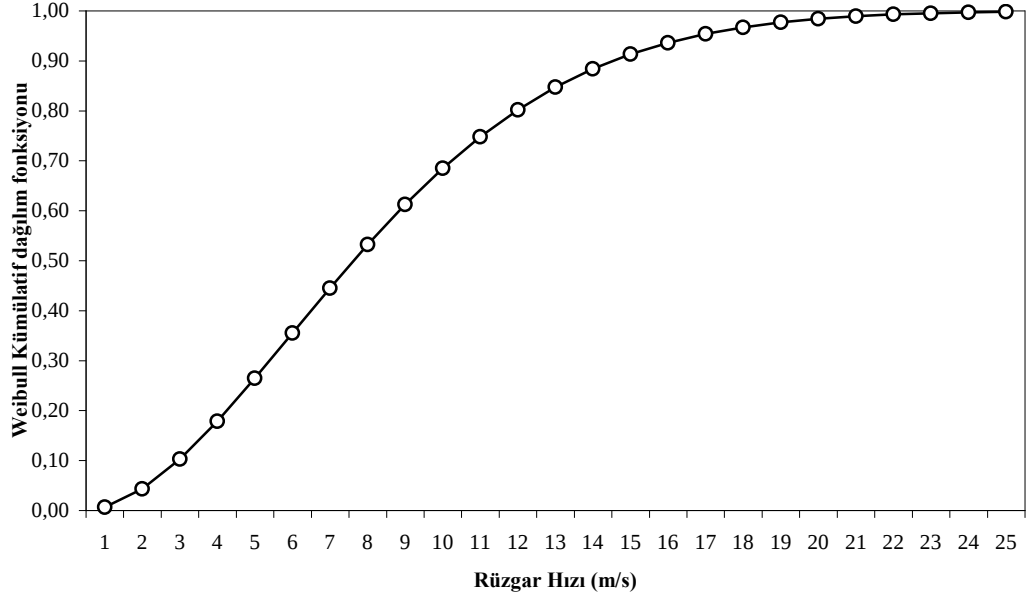
Aydıncık bölgesi için yıllık Weibull ağırlıklı olasılık fonksiyonu değerleri Şekil4.5’de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında 4 m/s rüzgâr hızı için 0,08, 14 m/s rüzgâr hızı için 0,03 yaklaşık değerleri okunmaktadır. Maksimum frekans değeri 0,09 6m/s rüzgâr hızı için gerçekleşmektedir.



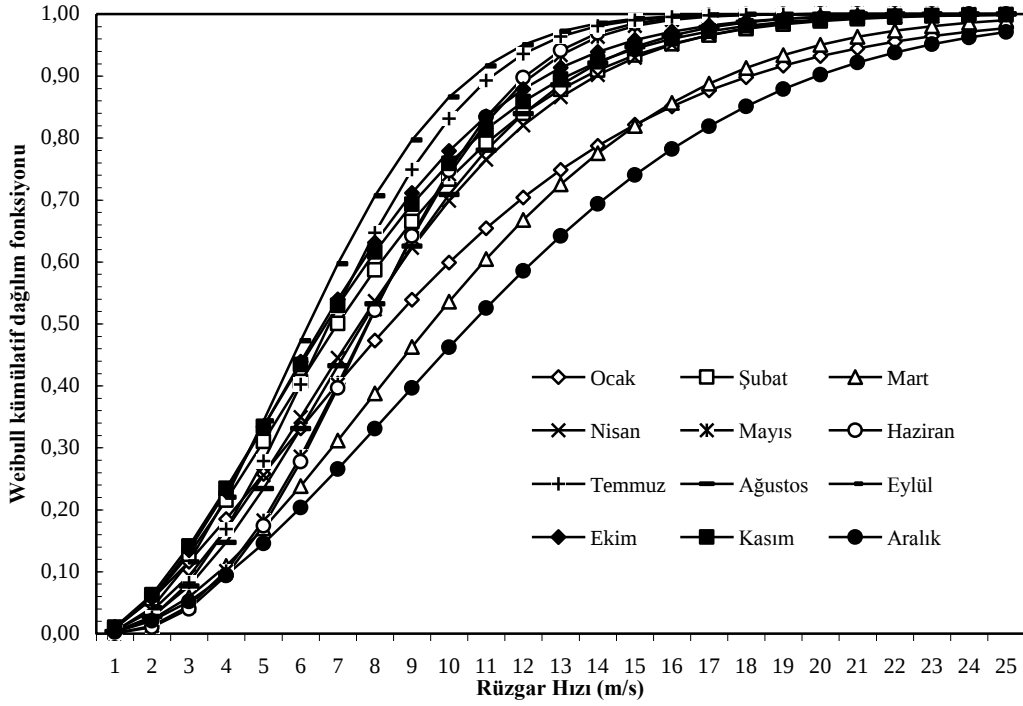
Şekil-4.4 Aydıncık Bölgesi 2002 yılı Yaz Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı



Şekil-4.5 Aydıncık Bölgesi 2002 yılına ait Rüzgâr Hız Dağılımı



Şekil-4.6 Aydınıcık Bölgesi 2002 yılı kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı

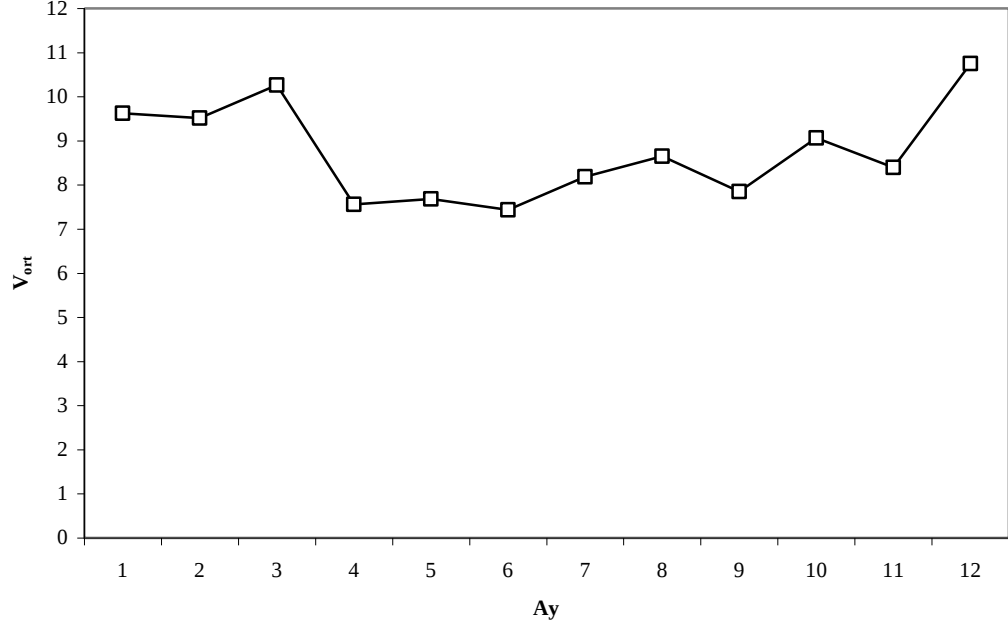


Şekil-4.7 Aydınıcık Bölgesi 2002 yılı aylık kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı

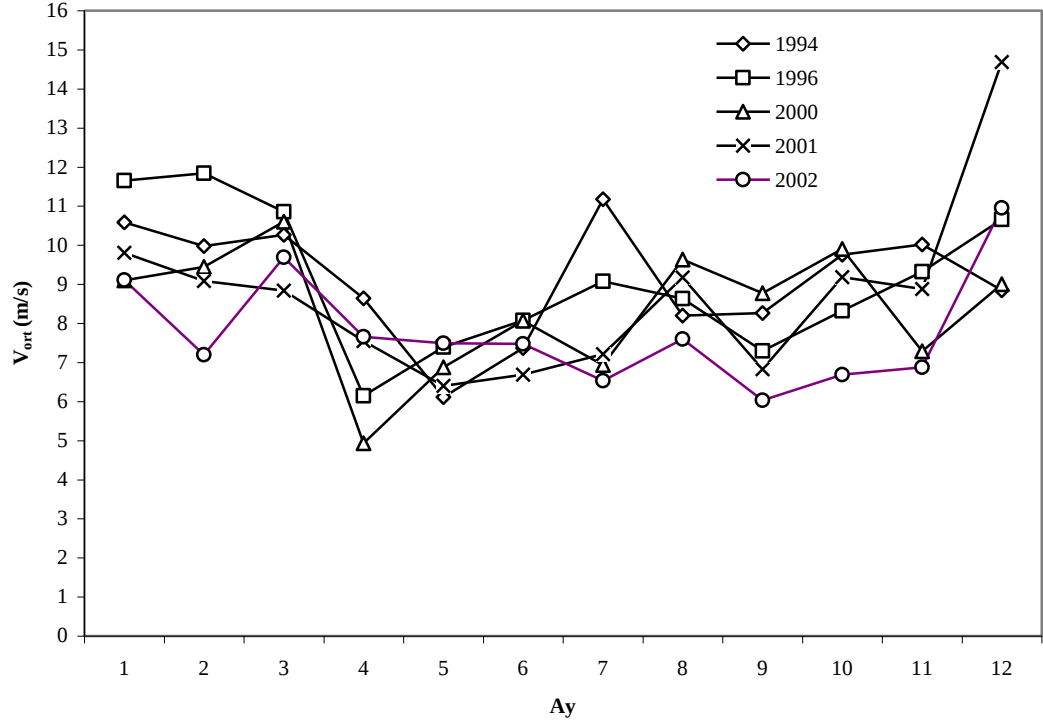
Yıllık kümülatif dağılım fonksiyonu dağılımını veren Şekil-4.6 incelendiğinde türbin tam kapasite hız değeri olan 14 m/s için 0,90, türbin başlangıç hızı olan 4 m/s değeri içinse 0,20 değerleri okunmaktadır. Buradan yıllık rüzgâr hızlarının %80 olasılıkla da 4m/s'den, %10 olasılıkla 14 m/s' den büyük olacağı anlaşılabılır.

Aydınıcık bölgesi için aylık Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu Şekil-4.7'da verilmiştir. Grafikte en altta yer alan üç ay sırasıyla Aralık, Mart ve Ocak aylarıdır.

Bu durum Aralık ayının frekans değerlerinin genel olarak yüksek rüzgâr hızlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Örneğin 0,7 toplam frekans değerine Aralık ayında 14 m/s değerinde ulaşılırken, Temmuz ayında ise 8 m/s değerinde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil-4.8 AYDINCIK - Aylara Göre Ortalama Hız Grafiği (1994-2002 yılları arası)

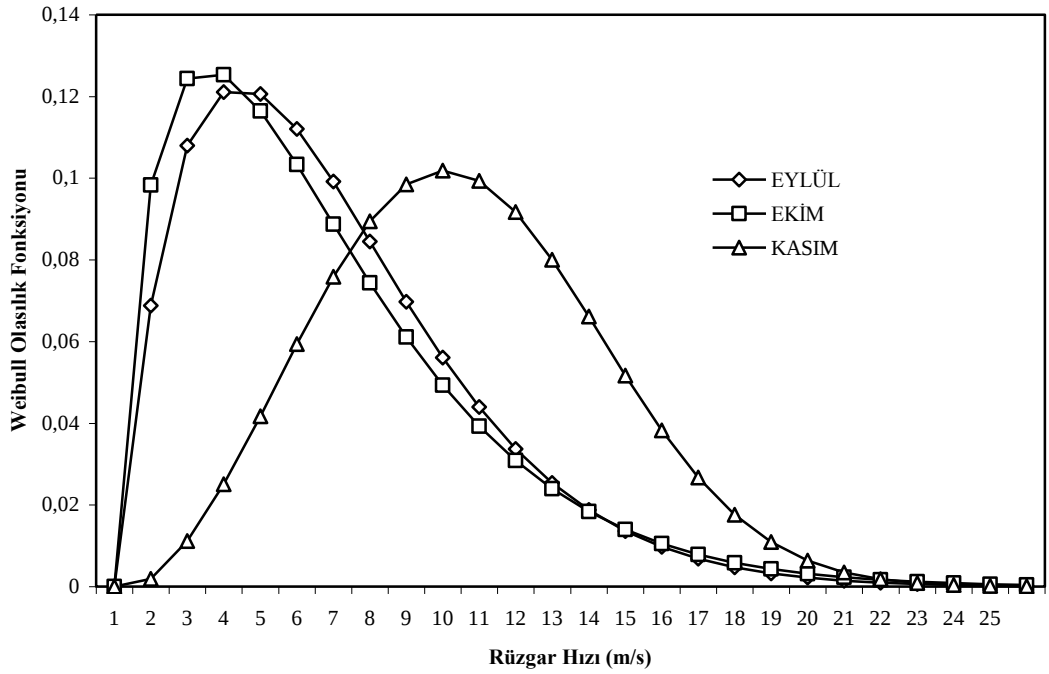


Şekil-4.9 AYDINCIK - Yıllara Göre Aylık Ortalama Hız Tablosu (1994-2002 yılları arası)

Aydıncık bölgesi için bulunan rüzgâr hızı ağırlıklı ve kümülatif fonksiyon değerlerinden rüzgâr potansiyeli açısından en yüksek değerlerin Aralık Mart ve Ocak aylarında olduğu görülmüştür. Buradan genel bir yaklaşımla yüksek rüzgâr hız değerlerinin kış ayları ve ilkbahar başlarında maksimum, yaz aylarında ise minimum frekans değerlerini aldıkları söylenebilir. Şekil-4.8’de 8 yıllık aylık ortalama hızlar ve Şekil-4.9’da her yıla ait aylık ortalama hız değerleri ayrı ayrı verilmiştir.

4.3 ULUSAL HAVA İSTASYONU BÖLGESİ-(UHİ)

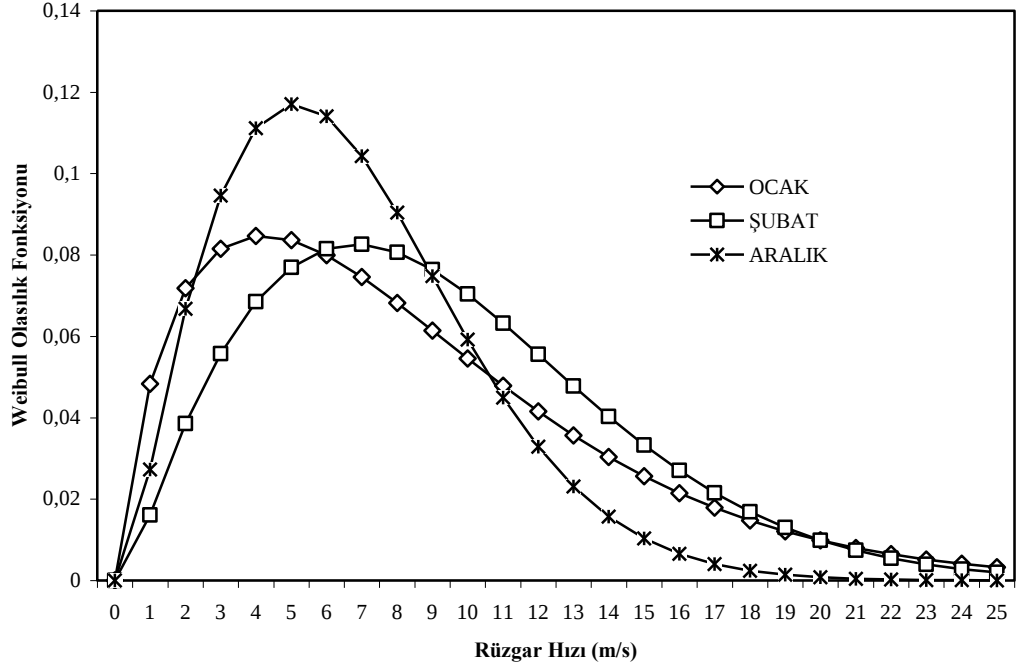
Ulusal Hava İstasyonu (UHİ) için sonbahar aylarına ait rüzgâr hızı Weibull ağırlıklı olasılık fonksiyon değerleri grafik olarak Şekil-4.10’da verilmiştir. Eylül ve ekim ayna ait grafikler çok büyük bir benzerlik gösterirken, kasım ayı frekans değerlerinin özellikle yüksek rüzgâr hızlarında arttığı saptanmıştır. Kasım ayıyla



Şekil-4.10 UHİ Bölgesi Sonbahar Aylarına ait Rüzgar Hız dağılımı

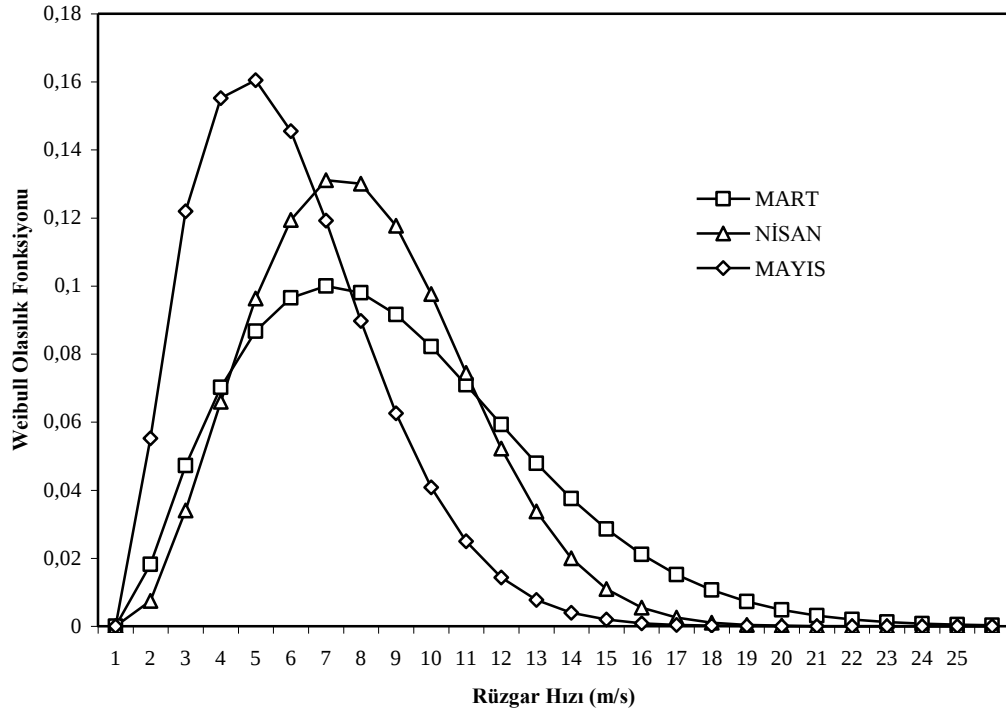
birlikte 8 m/s üstü rüzgâr hızlarının frekans değerlerindeki artış önceki iki aya göre 3 kat mertebelerindedir. Örneğin 12 m/s rüzgâr hızı için frekans değeri eylül ve ekim aylarında 0,04’ün altındayken kasım ayında 0,09’u geçmektedir. Kasım ayında 8-14 m/s arası hızlar grafikte frekansın yoğunlaştığı bölge olarak görülmektedir.

Aynı rüzgâr ölçüm istasyonu için kış aylarına ait rüzgâr hızı frekans değerleri Şekil-4.11’de verilmiştir. Kasım ayı rüzgâr profili ile aralık ayı profili arasında gözle görülür bir farklılık bulunmaktadır. Kasım ayında yüksek rüzgâr hızlarının sahip olduğu frekans değerlerine aralık ayında raslanamamakta, aralık ayında frekans değerleri 3-10 m/s aralığında yoğunlaşmaktadır.

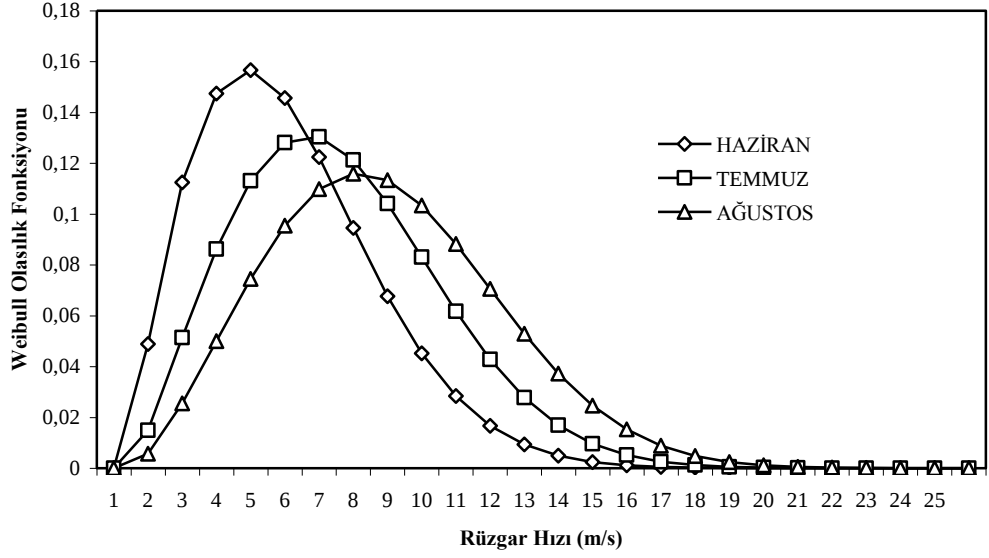


Şekil-4.11 UHİ Bölgesi Kış Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

Ocak ve şubat ayları çok benzer profiller göstermektedir. Bu aylardaki frekans dağılımı aralık ayına göre daha homojen bir yapı göstererek 3-13 m/s rüzgâr hızları arasında yoğunlaşmaktadır.



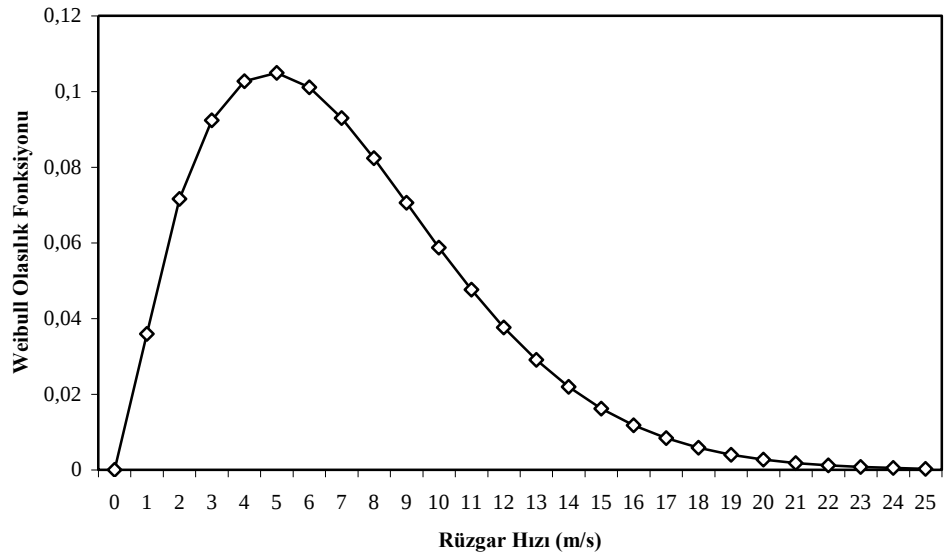
Şekil-4.12 UHİ Bölgesi İlkbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı



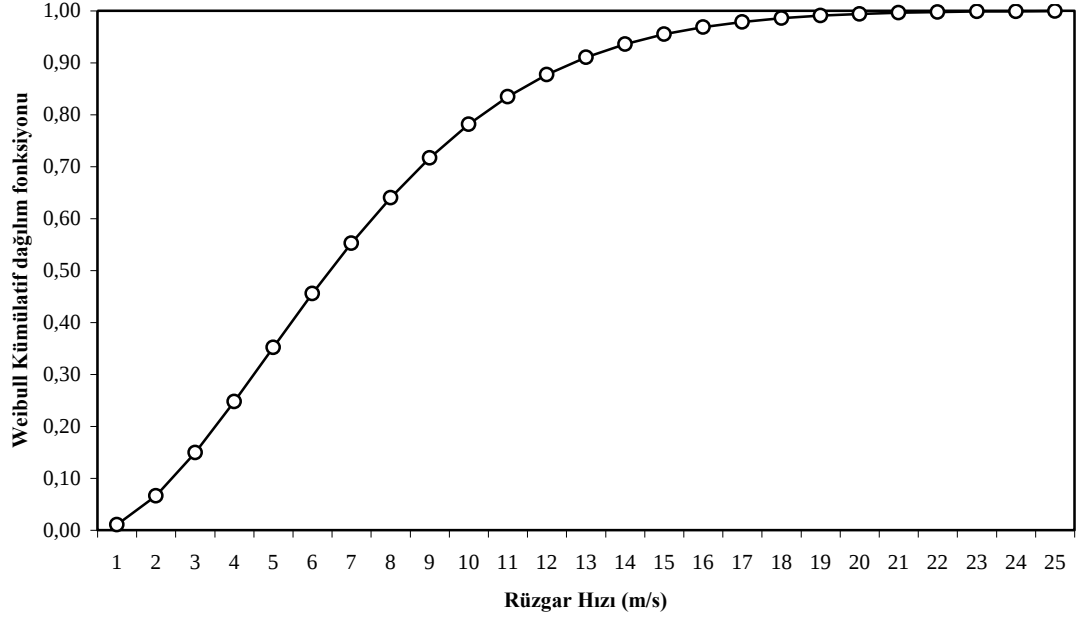
Şekil-4.13 UHİ Bölgesi Yaz Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

UHİ rüzgâr istasyonu için ilkbahar aylarına ait rüzgâr hız profilleri Şekil-4.12’de verilmiştir. Bu grafikte mart ayından mayıs ayına kadar yüksek hız değerlerine ait frekans değerlerinde düşüş nispeten daha düşük hızların frekans değerlerinde ise artış gözlemlenmektedir. Mart ayında frekans değerleri 4-13 m/s hız aralığında yoğunlaşırken, Mayıs ayında frekans değerleri 2-9 m/s hız aralığında çok yoğunlaşmaktadır.

UHİ rüzgâr istasyonu için yaz aylarına ait rüzgâr hız profilleri Şekil-4.13’de verilmiştir. Haziran ayından itibaren grafiklerde yüksek hız frekans değerlerinde düzenli bir artışı gösteren durum gözlenmektedir. Mart-Mayıs ayları arasında gözlenen tersi durum, haziran ayının hız profilleri açısından bölge için bir dönüm noktası olduğunu göstermektedir.



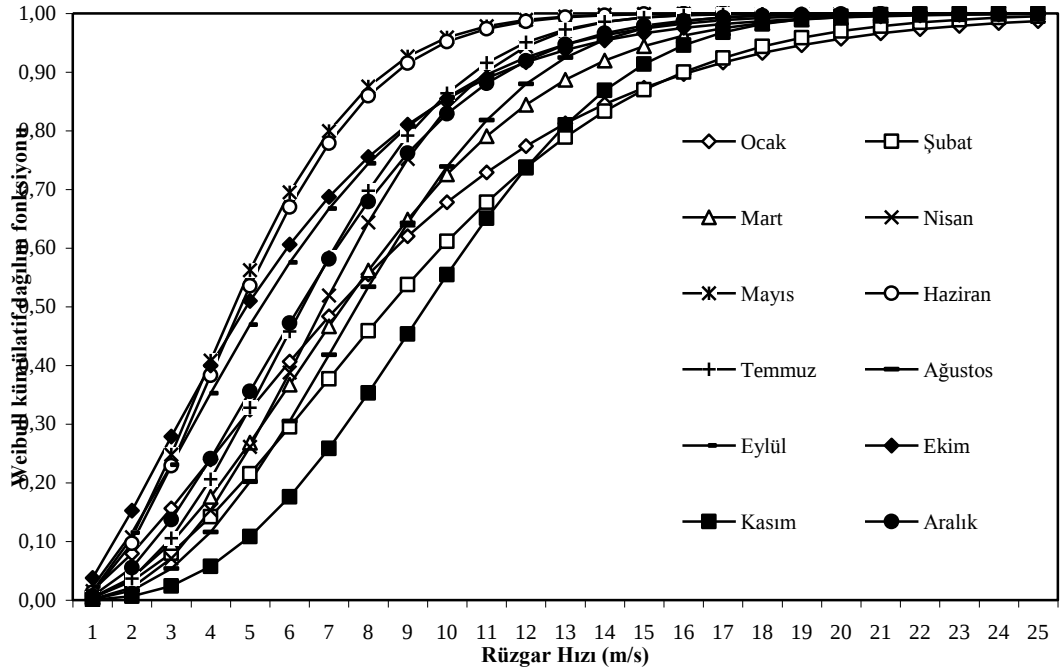
Şekil-4.14 UHİ Bölgesi Yıllık Rüzgâr Hız Dağılımı



Şekil-4.15 UHİ Bölgesi Yıllık Kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı

Grafikten verilebilecek bir örnek olarak 4 m/s rüzgâr hızı için frekans değeri haziran ayında 0,15, temmuz ayında 0,09, ağustos ayında 0,05 olurken, 14 m/s rüzgâr hızı için haziran ayında 0,01, temmuz ayında 0,02, ağustos ayında ise 0,04 olmaktadır.

UHİ rüzgâr istasyonu için yıllık rüzgâr hız profili Şekil-4.14'te verilmiştir. Grafikten görülebileceği üzere frekans değerleri 2-12 m/s rüzgâr hızı aralığında yoğunlaşmıştır. Maksimum frekans değeri 0,10 5 m/s rüzgâr hızı için gerçekleşmektedir. 14 m/s ve üzeri hızların frekans değerleri 0,02'nin altındadır.



Şekil-4.16 UHİ Bölgesi Aylık Kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı

UHİ rüzgâr ölçüm istasyonu için yıllık Weibull kümülatif dağılım fonksiyon grafiği Şekil-4.15'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde 10 m/s rüzgâr hızı için 0,8 toplam frekans değeri karşılık gelmektedir. Türbin tam kapasite çalışma rüzgâr hızı 14 m/s için ise frekans değeri 0,9'un üzerindedir. Buradan, %20 ihtimalle yıllık rüzgâr hızının 10 m/s ve üzerinde; %10 ihtimalle de 14m/s ve üzeri değerlerde olacağı sonucuna varılabilir.

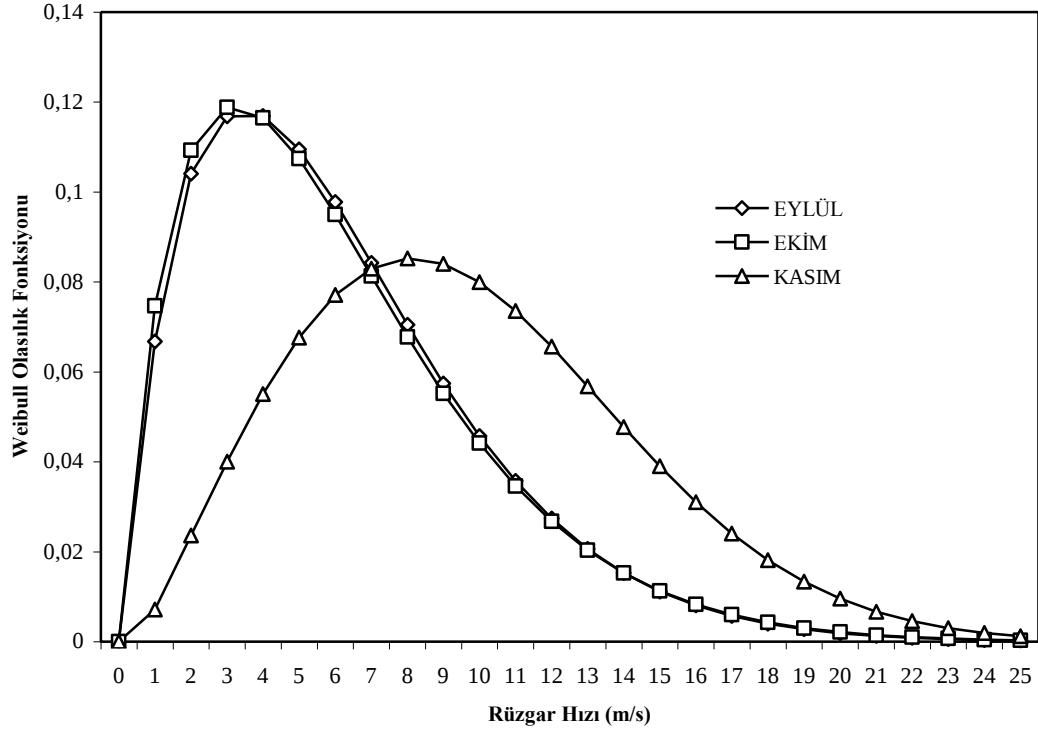
UHİ rüzgâr ölçüm istasyonu için aylık Weibull kümülatif dağılım fonksiyon grafikleri Şeki-4.16'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde 10 m/s ve üzeri rüzgâr hızlarının frekans değerleri açısından en iyi ayların kasım, ocak ve şubat ayları olduğu görülmektedir. 10 m/s rüzgâr hızı için toplam frekans değeri şubat ve kasım ayları için yaklaşık 0,65, ocak ayı için ise 0,7 yaklaşık değerindedir. Bu örnekten %30-35 ihtimalle bu aylar için rüzgâr hızının 10 m/s ve üzerinde olacağı sonucuna varılabilir.

UHİ rüzgâr ölçüm istasyonu için bulunan Weibull olasılık ve kümülatif dağılım fonksiyonları grafiklerinden yüksek rüzgâr hızları için en verimli ayların sırasıyla şubat, ocak ve kasım ayları olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar Aydıncık bölgesinin rüzgâr profilleriyle benzerlik göstermektedir. Aydıncık istasyonunda kış aylarına doğru yüksek rüzgâr hız frekanslarında görülen artış aralık ayı istisna olmak üzere UHİ istasyonunda da gözlemlenmektedir.

4.4 UĞURLU BÖLGESİ

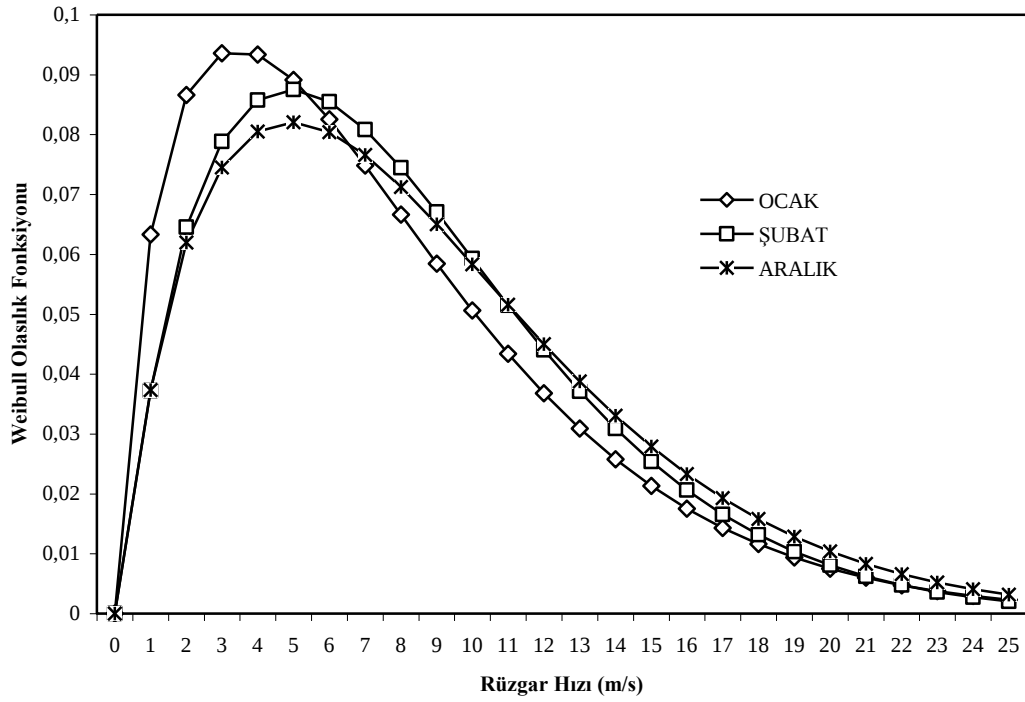
Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için sonbahar aylarına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyon grafikleri Şekil-4.17'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde frekans değerleri ve rüzgâr profillerinin UHİ rüzgâr ölçüm istasyonu sonbahar ayı değerleriyle çok benzer olduğu görülecektir. Eylül ve ekim ayı rüzgâr profillerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Buna karşın kasım ayında 7 m/s ve üzeri rüzgâr hızları frekans değerlerinin belirgin biçimde bu iki aydan daha yüksek olduğu gözükmemektedir. 14 m/s rüzgâr hızı için eylül ve ekim aylarında 0,02 olan frekans değeri kasım ayında 0,05 olmaktadır.

Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için kış aylarına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyon grafikleri Şekil-4.18'de verilmiştir. Kış aylarına ait rüzgâr profillerinin çok benzer olduğu görülmektedir. Frekans değerlerindeki değişimler çok belirgin gözükmemektedir.

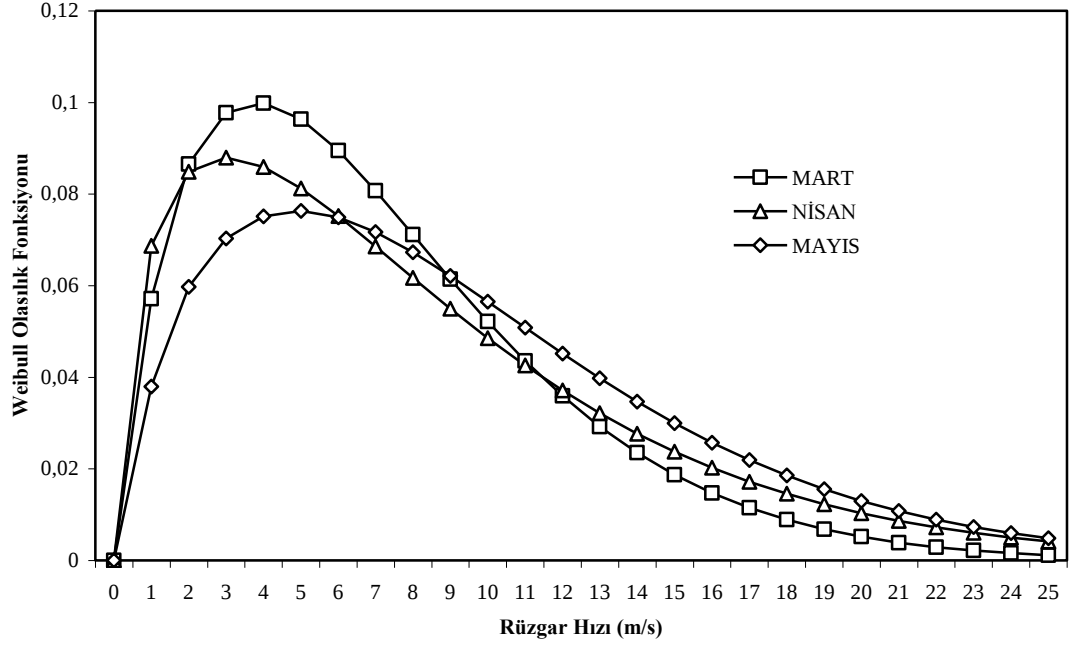


Şekil-4.17 Uğurlu Bölgesi Sonbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

Frekans değerlerindeki yoğunlaşma 2-12 m/s rüzgâr hızlarında olmaktadır. Örneğin 12 m/s rüzgâr hızı için aralık ve şubat aylarında frekans değeri 0,045 iken ocak ayında yaklaşık 0,035 olmaktadır.

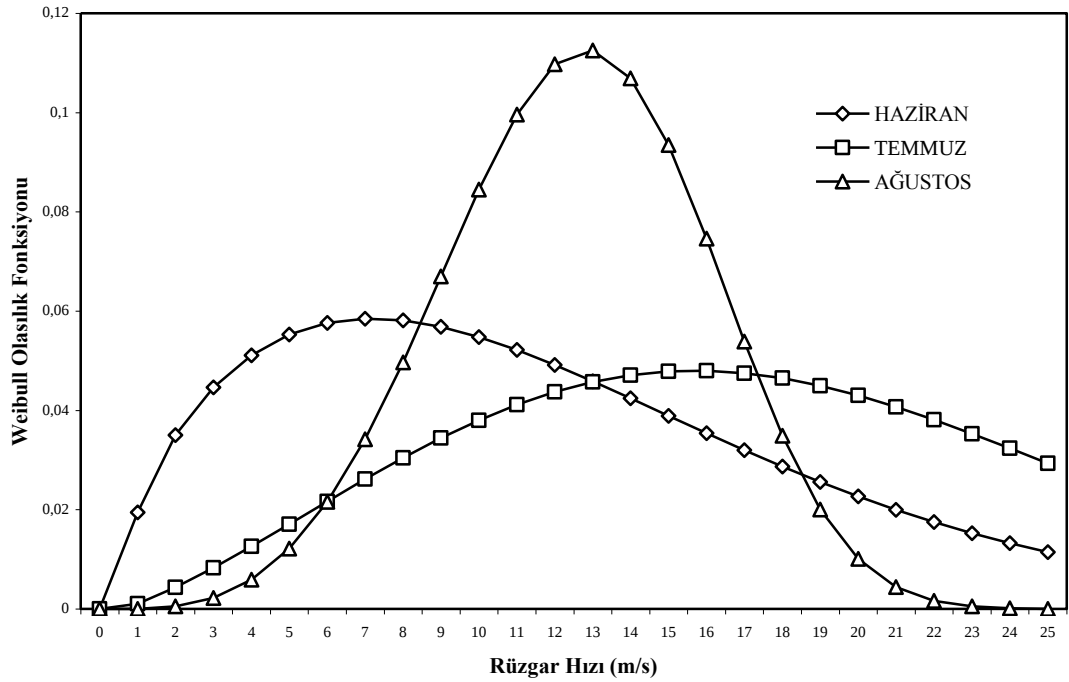


Şekil-4.18 Uğurlu Bölgesi Kış Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı



Şekil-4.19 Uğurlu Bölgesi İlkbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

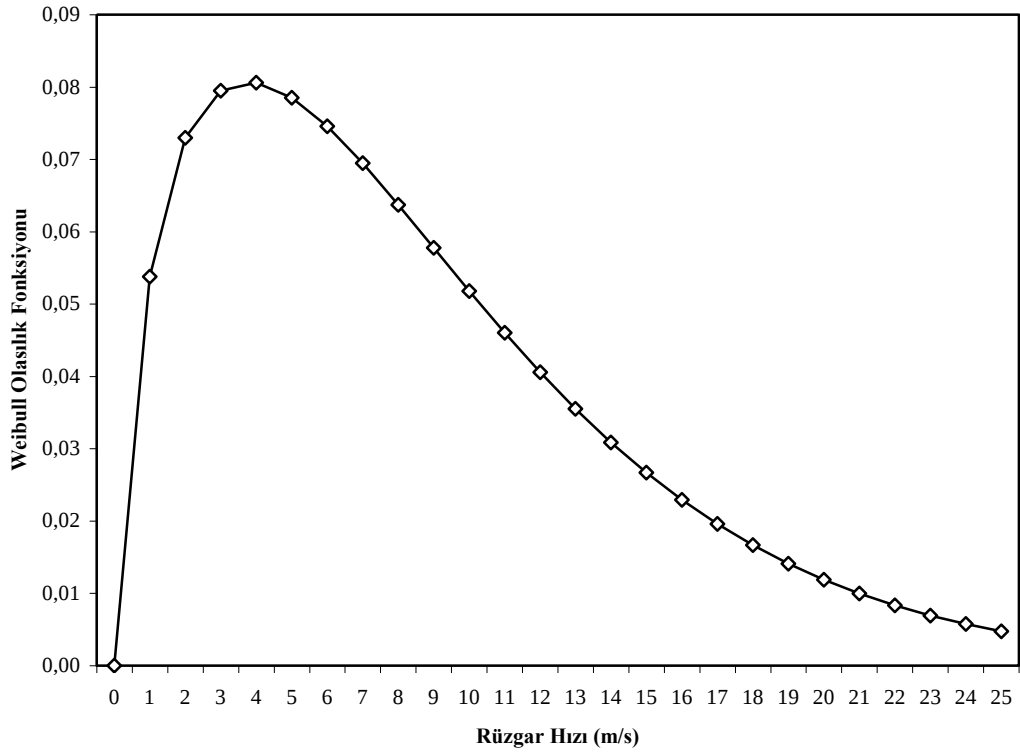
Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için ilkbahar aylarına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyon grafikleri Şekil-4.19’da verilmiştir. Kış ayı rüzgâr profilleri gibi ilkbahar rüzgâr profilleride birbirlerine benzemektedir. Fakat frekans değerleri kış aylarında olduğu kadar birbine yakın değerlerde bulunmamaktadır. Mart nisan ayları arasında 9 m/s ve üstü rüzgâr hızları frekans değerlerinde küçük artışlar gözlemlenmektedir. Frekans değerleri 2-14 m/s rüzgâr hızları arasında yoğunlaşmaktadır.



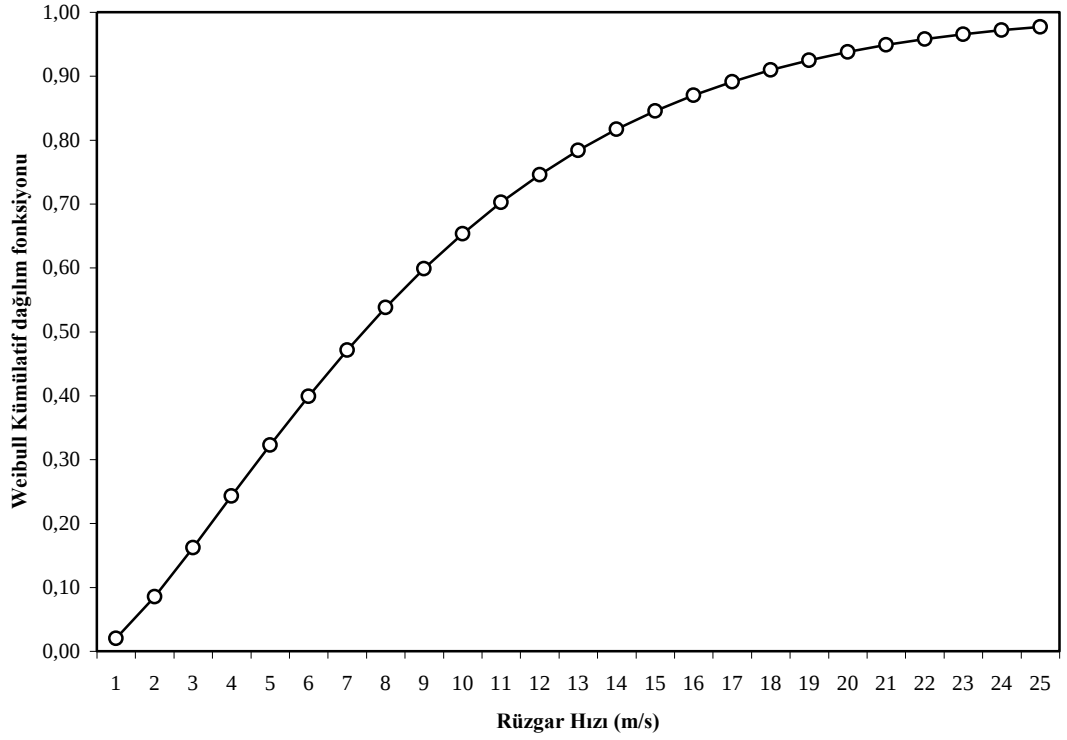
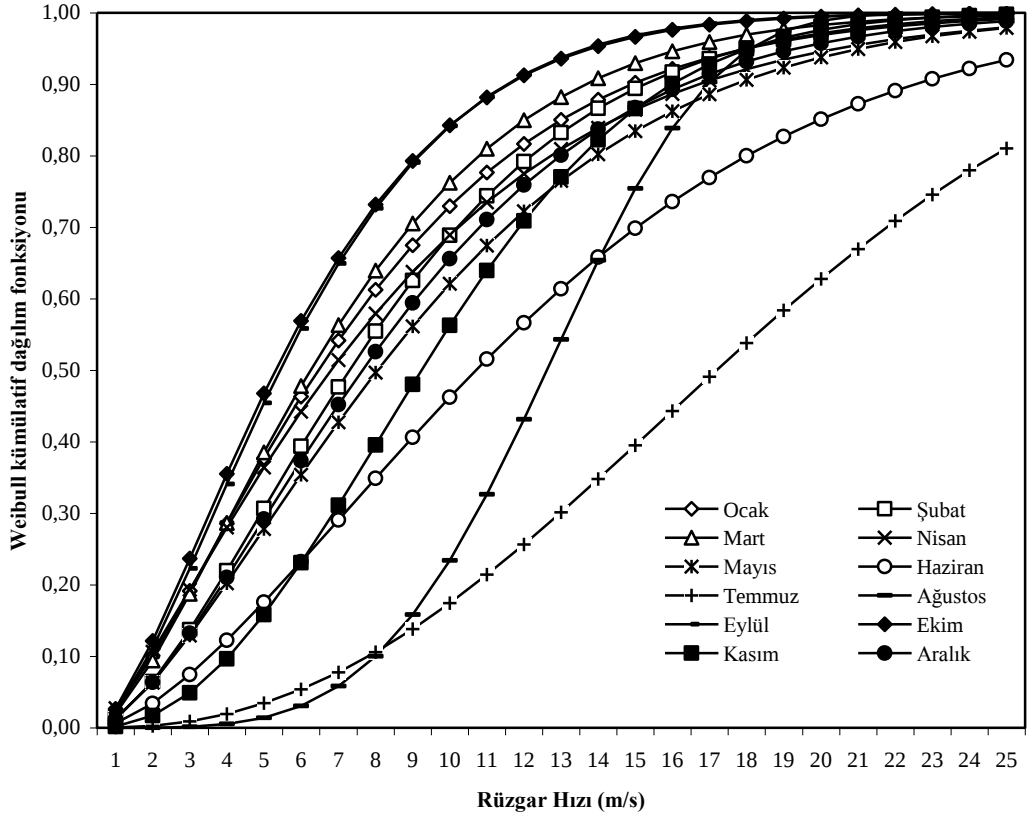
Şekil-4.20 Uğurlu Bölgesi Yaz Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için yaz aylarına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyon grafikleri Şekil-4.20’de verilmiştir. Yaz aylarına ait grafiklerde her üç ay için farklı rüzgâr profilleriyle karşılaşılmaktadır. Haziran ayında gözlemlenen yüksek rüzgâr hızları frekans değerlerindeki artış, temmuz ayında daha da belirginleşmekte, ağustos ayında ise maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Örneğin 15 m/s rüzgâr hızı için frekans değeri haziran ayında 0,04, temmuz ayında 0,05 iken ağustos ayında 0,09’a ulaşmaktadır.

Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için yıllık Weibull olasılık dağılım fonksiyon grafiği Şekil-4.21’de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında frekans değerlerinin 2-16 m/s rüzgâr hızı değerleri arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Yaz aylarının etkisiyle yüksek rüzgâr hızlarının frekans değerlerinde önemli artışlar görülmektedir. 14 m/s için 0,03, 17 m/s için 0,02 frekans değerleri grafikten okunabilir.



Şekil-4.21 Uğurlu Bölgesi Yıllık Rüzgâr Hız Dağılımı



Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için aylık Weibull kümülatif dağılım fonksiyon grafikleri Şekil-4.22’de verilmiştir. Şekilde temmuz, ağustos ve haziran aylarının yüksek rüzgâr hızları toplam frekans değerleri açısından diğer aylardan ayrıldığı görülmektedir. Temmuz ayında 15 m/s rüzgâr hızı için 0,4, 20 m/s rüzgâr hızı için 0,6 toplam frekans değerleri oldukça yüksek değerlerdir. Bir başka ifade ile temmuz ayı içinde rüzgâr hızının 15 m/s ve üzerinde olma olasılığı %60 iken 20 m/s ve üzerinde olma olasılığı %40’tır.

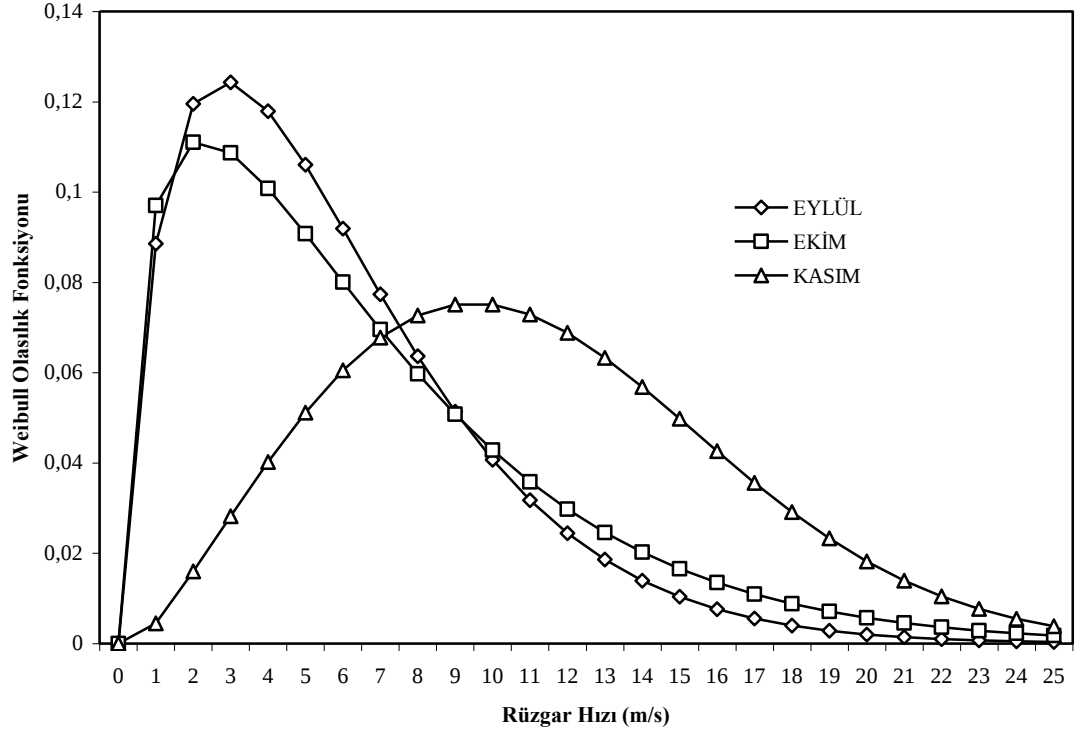
Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için yıllık Weibull olasılık dağılım fonksiyon grafiği Şekil-4.23’de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında diğer istasyonların yıllık kümülatif dağılım grafiklerine göre aşağıya kaydığı görülmektedir. Bu durum yüksek rüzgâr hızlarına ait frekans değerlerinin arttığı anlamına gelmektedir. 14 m/s rüzgâr hızı için toplam frekans değeri 0,8 dolaylarındadır. Bu değer Aydıncık ve UHİ istasyonlarının grafiklerinde yaklaşık 0,9’dur. Bu durum, Uğurlu bölgesinde yıl içinde 14 m/s ve üstü rüzgâr hızlarının %20 olasılıkla oluşabileceğini göstermektedir.

Uğurlu rüzgâr ölçüm istasyonu için bulunan Weibull olasılık ve kümülatif dağılım fonksiyon grafikleri, yüksek rüzgâr hızları frekans değerlerinin yaz aylarında arttığını göstermektedir. Yaz ayları içinde yapılabilecek sıralamada ise temmuz ayı ilk sırada yer almaktadır.

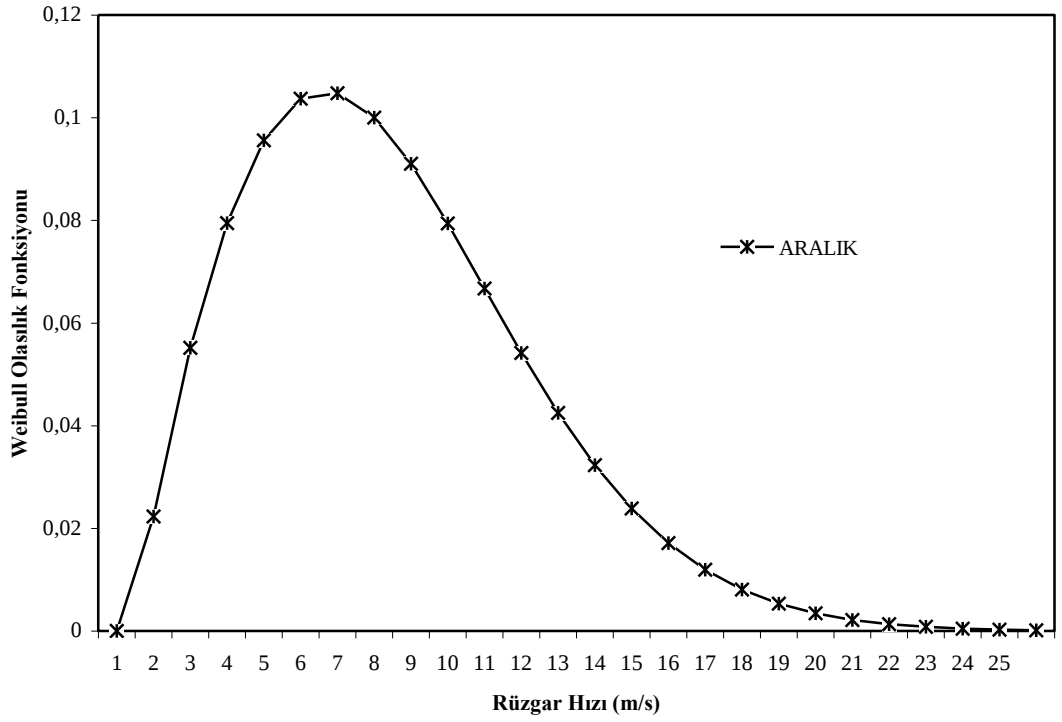
4.5 ÇINARALTI BÖLGESİ

Çınaraltı rüzgâr ölçüm istasyonu için sonbahar aylarına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyonu grafikleri Şekil-4.24’te verilmiştir. Sonbahar aylarına ait grafikler, Uğurlu ve UHİ rüzgâr ölçüm istasyonlarından aynı aylar için elde edilen grafiklerle benzerlik göstermektedir. Eylül ve ekim ayları rüzgâr profilleri çok büyük bir değişim göstermezken kasım ayında 8 m/s ve üstü rüzgâr hızlarının frekanslarında belirgin artış gözlemlenmektedir. 12 m/s rüzgâr hızı için frekans değeri eylül ayında 0,02, ekim ayında 0,025, kasım ayında ise 0,07 yaklaşık değerlerindedir.

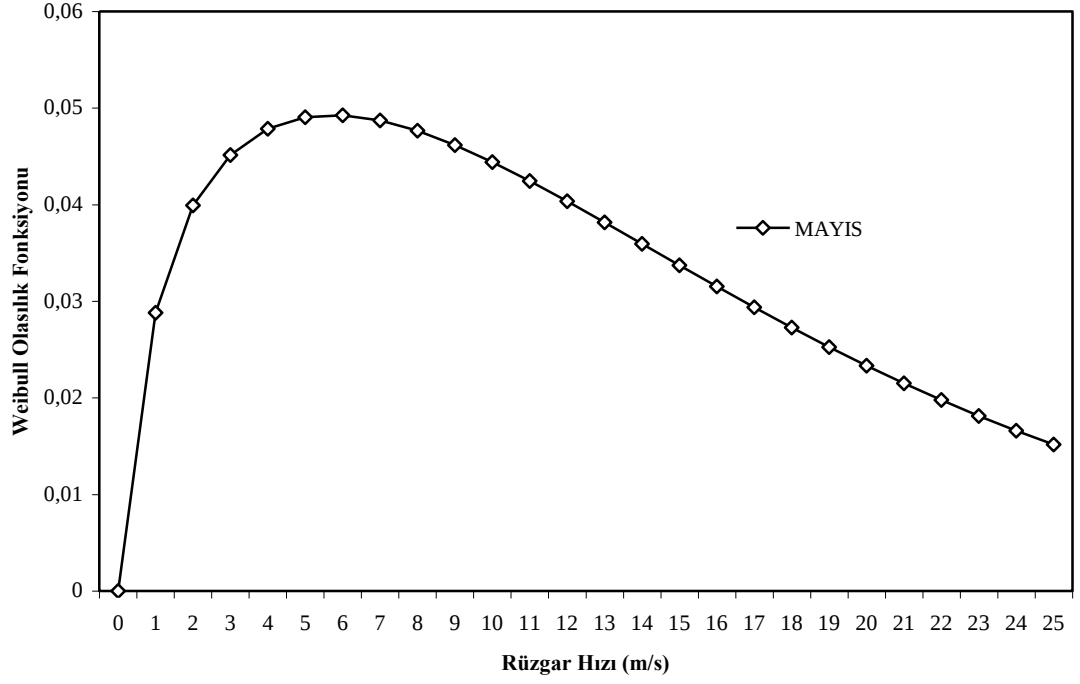
Çınaraltı rüzgâr ölçüm istasyonu için aralık ayına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyonu grafiği Şekil-4.25’te verilmiştir. Veri yetersizliğinden dolayı kış mevsimi için sadece aralık ayı Weibull dağılımı hesaplanabilmiştir. Aralık ayında kasım ayına göre 12 m/s ve üzeri rüzgâr hızları frekans değerlerinde düşüş yaşanmaktadır. 14 m/s rüzgâr hızı için kasım ayında 0,06 olan frekans değeri, aralık ayında 0,03’e gerilemiştir.



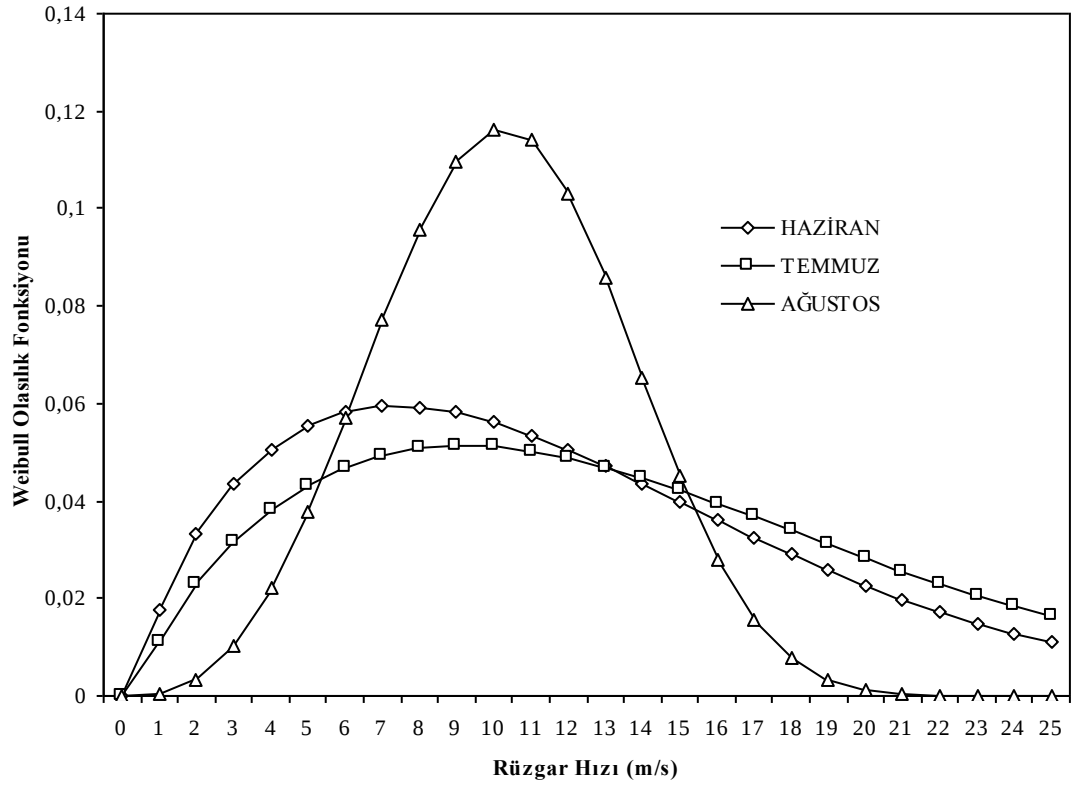
Şekil-4.24 Çınaraltı Bölgesi Sonbahar Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı



Şekil-4.25 Çınaraltı Bölgesi Aralık Ayına ait Rüzgâr Hız Dağılımı



Şekil-4.26 Çınaraltı Bölgesi Mayıs Ayına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

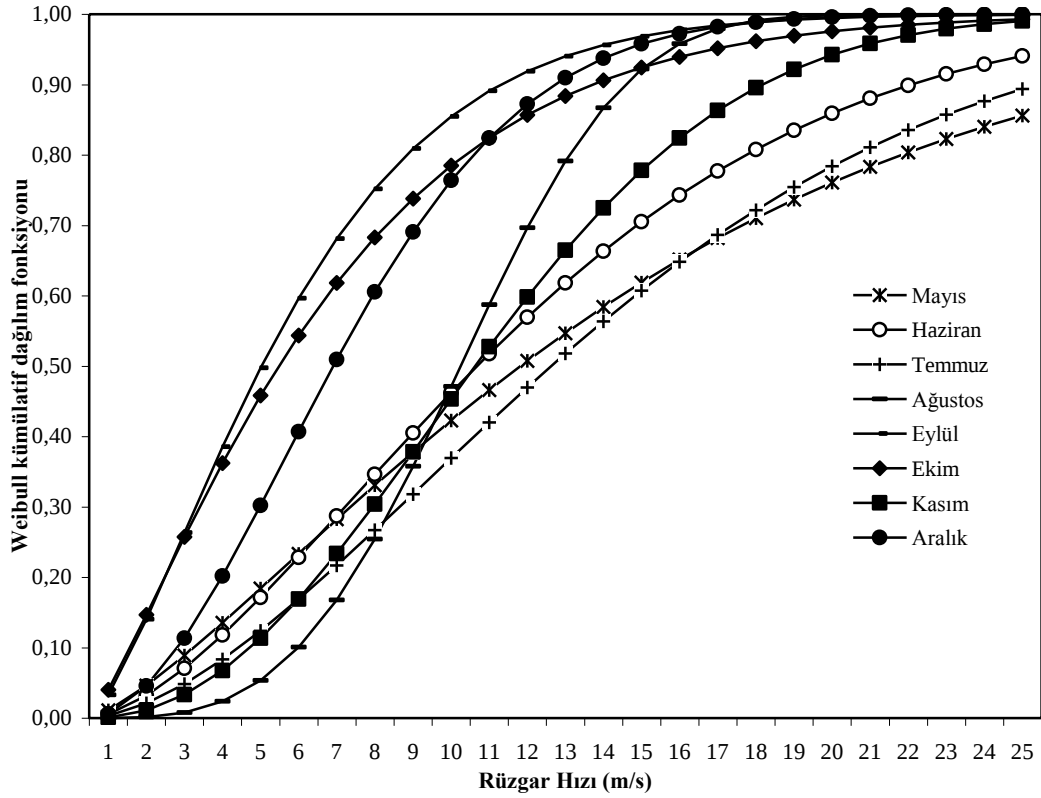


Şekil-4.27 Çınaraltı Bölgesi Yaz Aylarına ait Rüzgâr Hız Dağılımı

Çınaraltı rüzgâr ölçüm istasyonu için mayıs ayına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyonu grafiği Şekil-4.26'da verilmiştir. Veri yetersizliğinden dolayı ilkbahar mevsimi için sadece mayıs ayı Weibull dağılımı hesaplanabildiği görülmüştür. Mayıs ayında 0-

25 m/s rüzgâr hızları için oldukça homojen bir dağılım gözükmektedir. 7 m/s rüzgâr hızı için 0,05 olan frekans değeri 22 m/s için 0,02 değerini almaktadır.

Çınaraltı rüzgâr ölçüm istasyonu için yaz aylarına ait Weibull olasılık dağılım fonksiyonu grafiği Şekil-4.27’de verilmiştir. Haziran ve temmuz aylarında mayıs ayına benzer rüzgâr profilleri gözlenirken ağustos ayında 6-15 m/s aralığındaki rüzgâr hızları frekans değerlerinin oldukça büyük bir artış gösterdiği görülmektedir. Örneğin 10 m/s rüzgâr hızı frekans değeri haziran ve temmuz aylarında 0,06 civarındayken ağustos ayında bu değerin 0,12’ye çıktığı görülmektedir. Ağustos ayında 6-15 m/s rüzgâr hızı aralığı dışındaki hızlar için ise frekans değerlerinde düşüş gözlemlenmektedir.



Şekil-4.28 Çınaraltı Bölgesi Aylık (Mayıs-Aralık) Kümülatif Rüzgâr Hız Dağılımı

Çınaraltı rüzgâr ölçüm istasyonu için aylık Weibull olasılık dağılım fonksiyonu grafikleri Şekil-4.28’de verilmiştir. Ölçüm yapılabilen 8 ayı gösteren grafikte 8 m/s ve üstü rüzgâr hızları frekans değerleri açısından mayıs, haziran ve temmuz aylarının üstünlüğü göze çarpmaktadır. Temmuz ayı bu sıralamada ilk sırayı almaktadır. Temmuz ayında 0,7 toplam frekans değerine yaklaşık 18 m/s rüzgâr hızında ulaşılmaktadır. Bu durumda, 8 aylık zaman dilimi içerisinde 18 m/s ve üstü rüzgâr hızlarının Çınaraltı bölgesinde gerçekleşme olasılığı yaklaşık %30’dur.

BÖLÜM 5: GÖKÇEADA RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 GÖKÇEADA RÜZGAR ENERJİSİ

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde hesaplanan rüzgar kapasitelerine göre, Aydıncık, Uğurlu, UHI ve Çınaraltı bölgeleri için seçilen rüzgar türbinlerine bağlı olarak elde edilebilecek gerçek ve teorik enerji miktarları aylara göre hesap edilmiş, aylık değerlerin toplamı olarak yıllık değerler bulunmuştur. Hesaplamalar iki farklı rüzgar türbini ele alınarak yapılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Her türbine ait uygunluk faktörü, kapasite faktörü ve rüzgar türbini verim değerlerinin aylara göre değişimi bulunmuştur. Her bölgenin rüzgar ölçüm periyodunun ortalama değerleri olarak weibull parametreleri c ve k , rüzgar güç yoğunluğu değerleri, aylık ortalama hızlar iki rüzgar türbini için ayrı ayrı olmak üzere tablo halinde gösterilmiştir.

Bu çalışma ile, Gökçeada'da tesis edilecek bir güç santralının verimliliği hakkında fikir sahibi olmak mümkündür.

5.2 AYDINCIK BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ

Bu çalışmada seçilen iki ayrı özellikteki türbinler, her bölge rüzgar potansiyeli verilerine uyarlanmıştır. Aydıncık bölgesi için Nordex N50 rüzgar türbinine ait değerler Tablo-5.1'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere, Aydıncık bölgesi için elde edilen enerji değerlerinde kış aylarında önemli artışlar olmaktadır. Kış ayları boyunca ve ilkbahar başlangıcı olan mart ayında aylık elde edilen güç değerleri 250-300 bin kWh arasında değişmektedir. Elde edilen bu güç değerleri bulunan rüzgar profilleriyle paralellik göstermektedir. Nordex N50 rüzgar türbini için Aydıncık bölgesinde yıllık elde edilebilecek enerji miktarı da yaklaşık 2,8 milyon kWh olarak hesaplanmıştır.

Aynı tabloda elde edilen uygunluk faktörü değerlerine baktığımızda yıllık 0,87 değerini görmekteyiz. Uygunluk faktörü bir rüzgar türbininin çalışma yüzdesini gösteren bir değer olduğundan her ay için bulunan yüksek değerler türbin için o

Tablo-5.1 Aydıncık bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	10,74	1,71	9,62	1225	261.330	1.015.344	0,879	0,454	0,257
Şubat	10,65	1,70	9,51	1204	258.649	1.002.739	0,876	0,449	0,258
Mart	11,52	1,87	10,26	1343	288.708	1.137.907	0,908	0,501	0,254
Nisan	8,47	1,80	7,56	560	193.569	665.600	0,856	0,336	0,291
Mayıs	8,62	1,89	7,69	556	198.818	678.163	0,872	0,345	0,293
Haziran	8,37	2,06	7,44	463	187.906	608.088	0,886	0,326	0,309
Temmuz	9,20	2,38	8,18	544	221.713	725.495	0,933	0,385	0,306
Ağustos	9,74	2,50	8,65	624	245.214	824.132	0,949	0,426	0,298
Eylül	8,84	2,02	7,85	557	206.980	699.544	0,893	0,359	0,296
Ekim	10,16	1,89	9,06	910	252.499	941.007	0,901	0,438	0,268
Kasım	9,35	1,62	8,4	877	221.122	823.076	0,846	0,384	0,269
Aralık	12,03	1,85	10,75	1550	298.295	1.195.563	0,905	0,518	0,250
Yıllık	9,86	1,71	8,89	868	238.311	895.586	0,870	0,414	0,266
TOPLAM				10.411	2.834.803	10.316.659			

Tablo-5.2 Aydıncık bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

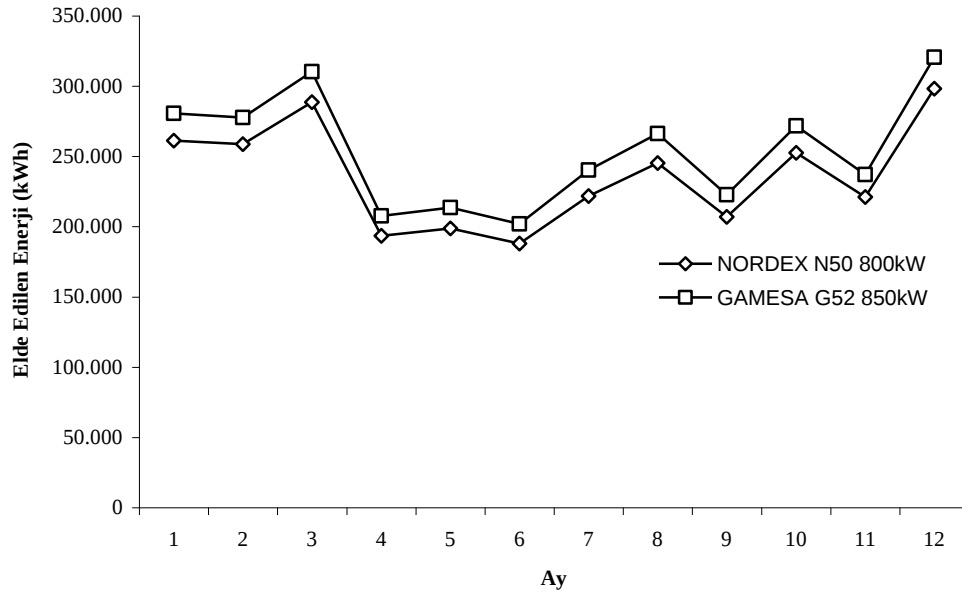
Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	10,74	1,71	9,62	1225	280.530	1.095.502	0,817	0,458	0,256
Şubat	10,65	1,70	9,51	1204	277.622	1.081.830	0,814	0,454	0,257
Mart	11,52	1,87	10,26	1343	310.368	1.228.466	0,857	0,507	0,253
Nisan	8,47	1,80	7,56	560	207.519	716.302	0,771	0,339	0,290
Mayıs	8,62	1,89	7,69	556	213.484	730.026	0,791	0,349	0,292
Haziran	8,37	2,06	7,44	463	201.989	654.198	0,804	0,330	0,309
Temmuz	9,20	2,38	8,18	544	240.185	782.017	0,871	0,392	0,307
Ağustos	9,74	2,50	8,65	624	266.290	889.120	0,898	0,435	0,299
Eylül	8,84	2,02	7,85	557	222.785	753.378	0,817	0,364	0,296
Ekim	10,16	1,89	9,06	910	271.650	1.015.057	0,838	0,444	0,268
Kasım	9,35	1,62	8,4	877	236.970	886.969	0,769	0,387	0,267
Aralık	12,03	1,85	10,75	1550	320.508	1.290.945	0,857	0,524	0,248
Yıllık	9,86	1,71	8,89	868	255.775	965.655	0,800	0,418	0,265
TOPLAM				10.411	3.049.899	11.123.810			

bölgenin iyi bir yerleşim yeri olduğunu göstermektedir. Uygunluk faktörünün elde edilen enerji ile orantılı değişmediği de tablodan açıkça görülmektedir.

Tablo-5.1’de kapasite faktörü değerleri uygunluk faktörüne oranla yüzde olarak daha çok değişim göstermektedir. Rüzgar türbininin kapasite kullanımının bir ölçüsü olan bu faktörün enerji üretiminin yüksek olduğu kış aylarında yüksek, diğer aylarda ise nispeten daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo-5.1’de Nordex N50 rüzgar türbini için verim değerlerine bakıldığında aylık 0,25-0,31 değerleri arasında bir dağılım olduğu görülmektedir. Bu değer rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümündeki verim olup, bu tip sistemlerde görülen aralıklar arasındadır.

Aydıncık bölgesi için Gamesa G52 rüzgar türbinine ait hesaplanan değerler Tablo-5.2’de verilmiştir. Elde edilen enerji değerlerine bakıldığında aylık değerlerde Nordex N50 rüzgar türbinine göre daha fazla enerji elde edilmekte olup, 300 bin kWh’ı aşan aylık elektrik enerjisi üretimi değerleri söz konusudur (Şekil-5.1). Enerjinin dağılımında aylık dağılımlarda bir değişiklik gözlemlenmemektedir. Gamesa G52 rüzgar türbini için Aydıncık bölgesinde yıllık elde edilecek enerji miktarı da yaklaşık 3 milyon kWh olarak hesaplanmıştır.

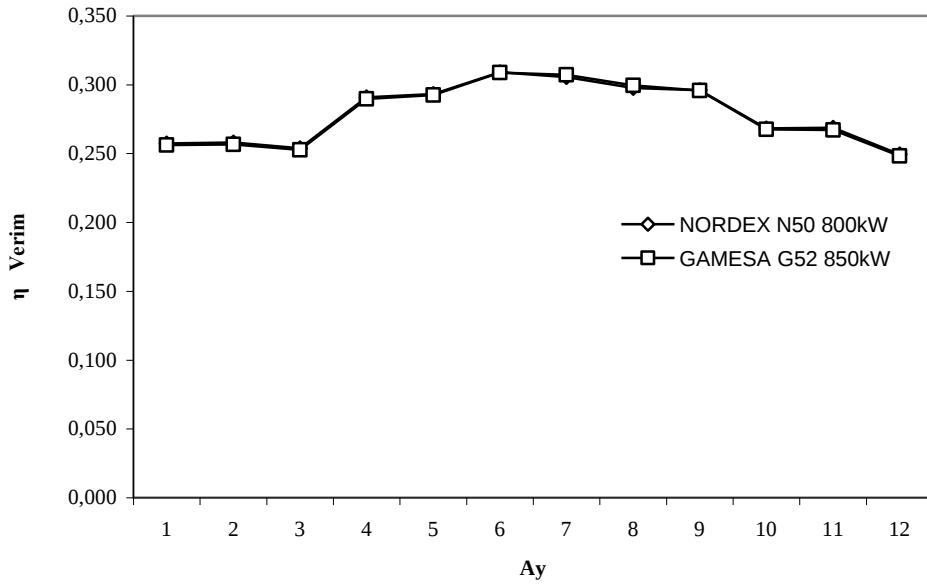


Şekil-5.1 Aydıncık Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri

Tablo-5.2’de uygunluk faktörü değerlerinde Nordex N50 rüzgar türbinine göre azalma gözlemlenmektedir. Nordex N50 için 0,87 olan yıllık uygunluk faktörü değeri, Gamesa G52 için 0,8’edüşmektedir. Bu azalma aylık bazda da kendini

hissettirmektedir. Bunun sonucu olarak Gamesa G52 rüzgar türbininin çalışma yüzdesinin Nordex N50'ye göre daha az olduğu söylenebilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta her iki türbininde aynı başlangıç ve tam kapasite hızlarına sahip olduklarıdır.

Tablo-5.2'de kapasite faktörü değerlerinde Nordex N50 türbinine göre önemsenmeyecek artışlar olduğu görülmektedir. Gamesa G52 için yıllık 0,418 değerine karşılık Nordex N50 rüzgar türbini yıllık 0,414 kapasite faktörü değerine sahiptir.



Şekil-5.2 Aydıncık Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikleri

Tablo-5.2'de verim değerlerinde Gamesa G52 rüzgar türbini Nordex N50'ye göre farklılık göstermemektedir. Yıllık verim değerleri neredeyse aynı kalmaktadır (Şekil-5.2).

5.3 UHİ BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ

UHİ bölgesi için Nordex N50 rüzgar türbinine ait değerler Tablo-5.3'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere, UHİ bölgesi için elde edilen enerji değerlerinde Şubat ve Kasım aylarında önemli artışlar olmaktadır. Bu aylarda elde edilen güç değerleri 240-270 bin kWh arasında değişmektedir. UHİ bölgesi yıllık elde edilen enerji miktarı bakımından Aydıncık bölgesinden geride kalmaktadır. Nordex N50 rüzgar türbini için UHİ bölgesinde yıllık elde edilecek enerji miktarı yaklaşık 1,8 milyon kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo-5.3 UHİ bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	8,7	1,42	7,9	895	198.188	741.274	0,791	0,344	0,267
Şubat	9,8	1,82	8,7	843	239.459	884.815	0,886	0,416	0,271
Mart	8,3	1,90	7,4	494	186.445	620.428	0,865	0,324	0,301
Nisan	7,4	2,40	6,6	287	142.511	395.298	0,891	0,247	0,361
Mayıs	5,0	1,81	4,4	112	61.438	158.907	0,673	0,107	0,387
Haziran	5,2	1,84	4,6	123	67.358	175.391	0,695	0,117	0,384
Temmuz	6,9	2,16	6,1	250	124.863	347.221	0,847	0,217	0,360
Ağustos	8,4	2,39	7,4	409	186.820	569.414	0,918	0,324	0,328
Eylül	6,1	1,50	5,5	272	112.393	352.871	0,708	0,195	0,319
Ekim	5,8	1,33	5,4	313	109.150	356.956	0,659	0,189	0,306
Kasım	10,3	2,62	9,2	723	269.896	934.052	0,961	0,469	0,289
Aralık	7,0	1,86	6,3	309	135.380	409.349	0,813	0,235	0,331
Yıllık	7,4	1,68	6,6	415	155.182	509.560	0,803	0,269	0,305
TOPLAM				5.030	1.833.903	5.945.976			

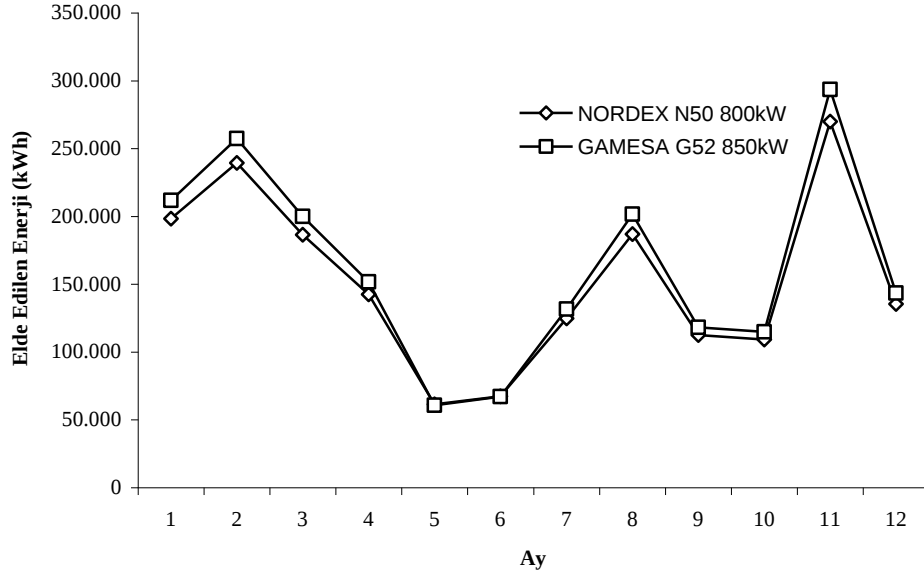
Tablo-5.4 UHİ bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	8,7	1,42	7,9	895	211.747	798.200	0,706	0,346	0,265
Şubat	9,8	1,82	8,7	843	257.359	954.069	0,818	0,421	0,270
Mart	8,3	1,90	7,4	494	199.973	667.393	0,779	0,327	0,300
Nisan	7,4	2,40	6,6	287	151.667	423.490	0,796	0,248	0,358
Mayıs	5,0	1,81	4,4	112	60.691	165.327	0,513	0,099	0,367
Haziran	5,2	1,84	4,6	123	67.186	183.302	0,540	0,110	0,367
Temmuz	6,9	2,16	6,1	250	131.578	370.834	0,735	0,215	0,355
Ağustos	8,4	2,39	7,4	409	201.699	612.689	0,844	0,330	0,329
Eylül	6,1	1,50	5,5	272	118.177	376.704	0,588	0,193	0,314
Ekim	5,8	1,33	5,4	313	114.810	381.303	0,542	0,188	0,301
Kasım	10,3	2,62	9,2	723	293.473	1.008.384	0,920	0,480	0,291
Aralık	7,0	1,86	6,3	309	143.482	438.129	0,702	0,234	0,327
Yıllık	7,4	1,68	6,6	415	165.265	546.861	0,700	0,270	0,302
TOPLAM				5.030	1.951.841	6.379.824			

Aynı tabloda elde edilen uygunluk faktörü değerlerine baktığımızda yıllık 0,803 değerini görmekteyiz ki buda Aydıncık bölgesinde elde edilen değerlerden düşüktür. Bu durum Nordex N50 rüzgar türbininin çalışma yüzdesinin UHİ bölgesinde daha düşük olduğunu belirtmektedir.

Tablo-5.3’de kapasite faktörü değerleri Aydıncık bölgesi için bulunanlardan oldukça düşük değerler içermektedir. Elde edilen enerjinin Aydıncık bölgesine oranla düşük olması kapasite faktörü değerlerindeki düşmesine neden olmaktadır.

Tablo-5.3’te Nordex N50 rüzgar türbininin için verim değerlerine bakıldığında Haziran ayı için 0,387 değeri dikkat çekmektedir. Fakat bu verim değeri için elde edilen enerjiye bakıldığında ise aylık 61 kWh gibi düşük bir değerle karşılaşılmaktadır.

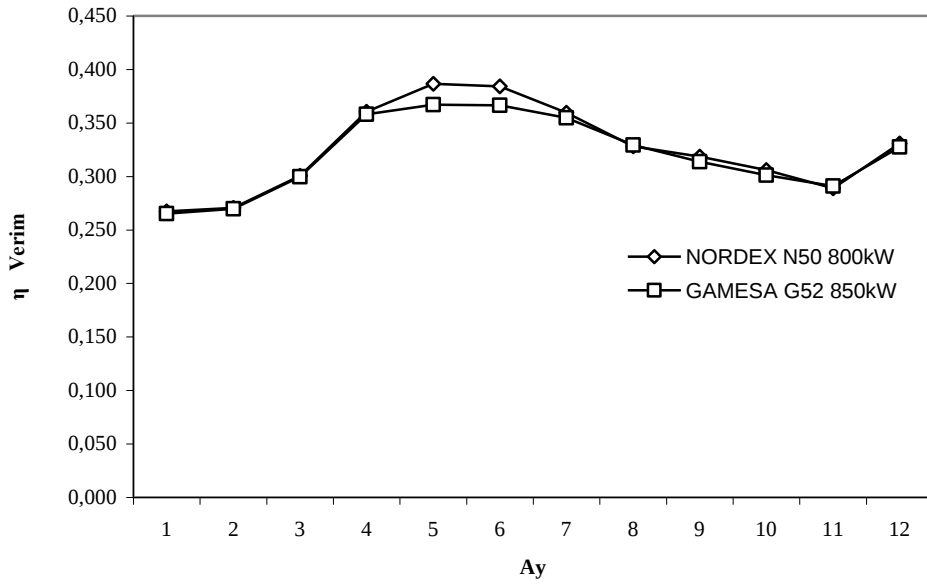


Şekil-5.3 UHİ Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri

UHİ bölgesi için Gamesa G52 rüzgar türbinine ait hesaplanan değerler Tablo-5.4’te ve her iki türbinden elde edilen enerji miktarlarının karşılaştırılması Şekil-5.3’te verilmiştir. Elde edilen enerji değerlerine bakıldığında yıllık değerlerde Nordex N50 rüzgar türbinine göre %9-10 artış söz konusudur. Kasım ayı için 300 bin kWh ‘a yaklaşan elektrik enerjisi üretimi hasaplanmıştır. Enerji değerlerinin aylık dağılımında ise bir değişiklik gözlemlenmemektedir. Gamesa G52 rüzgar türbini için UHİ bölgesinden yıllık elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 1,9 milyon kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo-5.4'te uygunluk faktörü değerlerinde Nordex N50 rüzgar türbinine göre belli bir düşüş gözlemlenmektedir. Aynı durum Aydıncık bölgesi için yapılan hesaplarda da belirlenmiştir. UHİ bölgesi hesaplamalarında yıllık uygunluk faktörü Nordex N50 için 0,803 iken Gamesa G52 için 0,700' gerilemektedir.

Kapasite faktörü değerlerinde Gamesa G52 için değişiklik gözlemlenmemektedir. Her iki türbin içinde düşük değerler elde edilmiştir. Tablo-5.4'ten okunan yıllık 0,270 değeri, Aydıncık bölgesi için aynı türbinden elde edilen 0,414 değerinden oldukça düşük bir kapasite kullanımını ifade etmektedir.



Şekil-5.4 UHİ Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikleri

Gamesa G52 için verim değerlerinde de Nordex N50 rüzgar türbinine göre belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Yıllık verim değeri iki türbin için aynı sayılabilir (Şekil-5.4).

5.4 UĞURLU BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ

Uğurlu bölgesi için Nordex N50 rüzgar türbinine ait değerler Tablo-5.5'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere, Uğurlu bölgesi için elde edilen enerji değerlerinde yaz aylarında önemli artışlar olmaktadır. Özellikle Temmuz ayı için hesaplanan 413 kWh'lik değer dikkat çekicidir. Uğurlu bölgesi yıllık elde edilen enerji miktarı bakımından Aydıncık bölgesine yakın, UHİ bölgesinden ise daha iyi değerler vermektedir. Nordex N50 rüzgar türbini için Uğurlu bölgesinde yıllık elde edilebilecek enerji miktarı yaklaşık 2,7 milyon kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo-5.5 Uğurlu bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	7,8	1,36	7,2	713	172.589	628.996	0,754	0,300	0,274
Şubat	8,6	1,55	7,8	742	197.587	719.096	0,817	0,343	0,275
Mart	7,4	1,45	6,7	529	159.634	557.749	0,760	0,277	0,286
Nisan	8,4	1,27	7,8	1042	186.362	707.130	0,745	0,324	0,264
Mayıs	9,7	1,46	8,8	1168	224.055	862.918	0,816	0,389	0,260
Haziran	12,9	1,56	11,6	2458	283.313	1.168.046	0,842	0,492	0,243
Temmuz	19,6	2,28	17,3	5404	369.092	1.671.412	0,811	0,641	0,221
Ağustos	13,3	3,93	12	1330	413.334	1.652.371	0,995	0,718	0,250
Eylül	6,3	1,49	5,7	314	120.075	384.496	0,718	0,208	0,312
Ekim	6,2	1,44	5,7	325	118.426	383.032	0,703	0,206	0,309
Kasım	10,4	2,10	9,2	864	265.461	977.918	0,927	0,461	0,271
Aralık	9,1	1,51	8,2	913	211.234	791.090	0,819	0,367	0,267
Yıllık	9,1	1,34	8,3	1155	204.836	786.179	0,777	0,356	0,261
TOPLAM				15.802	2.721.162	10.504.253			

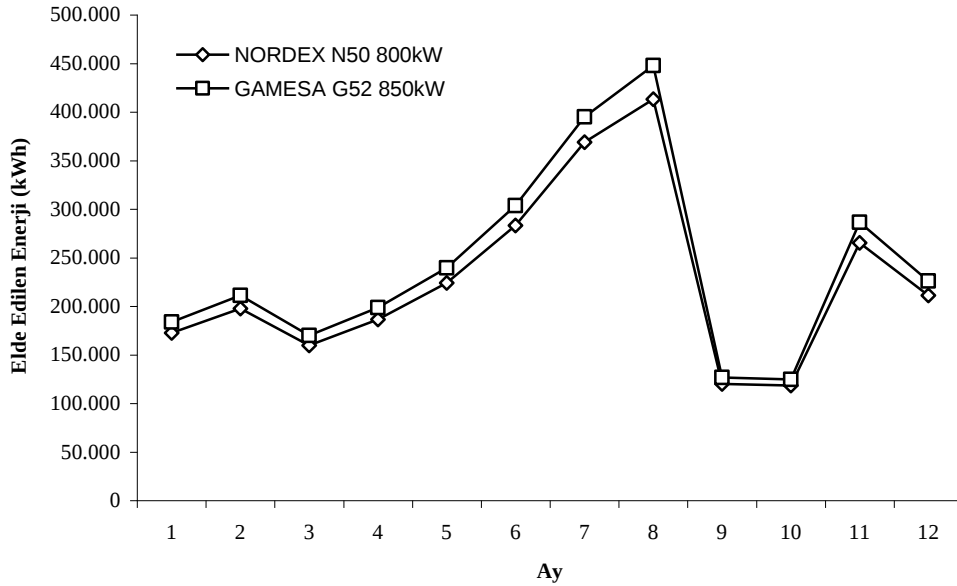
Tablo-5.6 Uğurlu bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	7,8	1,36	7,2	713	183.926	676.426	0,661	0,301	0,272
Şubat	8,6	1,55	7,8	742	211.327	774.160	0,732	0,345	0,273
Mart	7,4	1,45	6,7	529	169.919	599.110	0,661	0,278	0,284
Nisan	8,4	1,27	7,8	1042	198.766	761.232	0,659	0,325	0,261
Mayıs	9,7	1,46	8,8	1168	239.767	930.135	0,741	0,392	0,258
Haziran	12,9	1,56	11,6	2458	303.589	1.261.097	0,791	0,496	0,241
Temmuz	19,6	2,28	17,3	5404	394.974	1.807.047	0,798	0,645	0,219
Ağustos	13,3	3,93	12	1330	447.697	1.786.724	0,990	0,732	0,251
Eylül	6,3	1,49	5,7	314	126.636	411.053	0,601	0,207	0,308
Ekim	6,2	1,44	5,7	325	124.860	409.494	0,587	0,204	0,305
Kasım	10,4	2,10	9,2	864	286.389	1.055.293	0,872	0,468	0,271
Aralık	9,1	1,51	8,2	913	226.025	852.236	0,739	0,369	0,265
Yıllık	9,1	1,34	8,3	1155	218.816	846.931	0,696	0,358	0,258
TOPLAM				15.802	2.913.876	11.324.010			

Tablo-5.5’te elde edilen uygunluk faktörü değerlerine baktığımızda yıllık 0,777 değerini görmekteyiz. Uygunluk faktörünün aynı türbin için Aydıncık ve UHI bölgeleri için elde edilen yıllık değerlerin altında kaldığı görülmektedir

Kapasite faktörü yıllık ortalama olarak aynı türbin için Aydıncık bölgesinde elde edilen değerin altında kalsa da aylık bazda önemli değişiklikler göstermektedir. Ağustos ve temmuz ayları için sırasıyla hesaplanan 0,641 ve 0,718 değerleri yüksek kapasite kullanımını göstermektedir.

Verim değerleri açısından aylık değişimlerin çok az olduğu görülmektedir. Hesaplanan verim değerlerinin değişimi aynı türbin için Aydıncık bölgesinin değerleriyle benzerlik göstermektedir (Şekil-5.6).

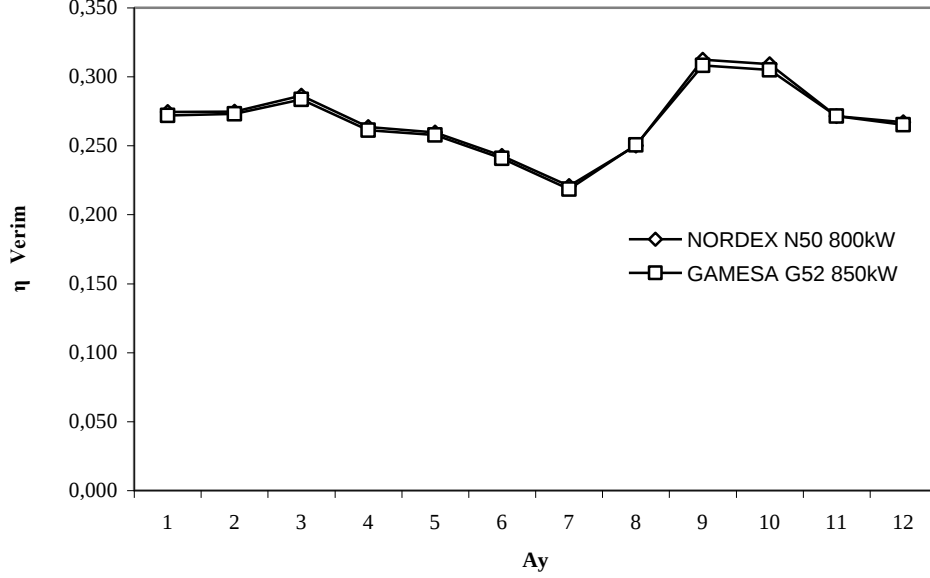


Şekil-5.5 Uğurlu Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri

Uğurlu bölgesi için Gamesa G52 rüzgar türbinine ait hesaplanan değerler Tablo-5.6’da ve iki türbinden elde edilen enerji miktarlarının karşılaştırılması Şekil-5.5’te verilmiştir. Elde edilen enerji değerlerine bakıldığında yıllık değerlerde Nordex N50 rüzgar türbinine göre %6-7 artış söz konusudur. Ağustos ayı için 448 bin kWh ‘a yaklaşan elektrik enerjisi üretimi hesaplanmıştır. Enerji değerlerinin aylık dağılımında bir değişiklik gözlemlenmemektedir. Gamesa G52 rüzgar türbini için Uğurlu bölgesinden yıllık elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 2,9 milyon kWh olarak hesaplanmıştır.

Uygunluk faktörü değerlerinde Gamesa G52 türbini için, diğer iki bölgede olduğu gibi burada da düşüş söz konusudur. Fakat ağustos ayı için her iki türbinden elde

edilen yaklaşık 0,99 değerleri en yüksek uygunluk faktörü değerleridir. Bu ay süresince türbinin devamlı çalışma halinde olduğu söylenebilir.



Şekil-5.6 Uğurlu Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikleri

Kapasite faktörü değerlerinde iki türbin arasında önemli değişiklikler görülmemektedir. Ağustos ve temmuz ayları için yüksek kapasite değerlerinin Gamesa G52 türbini içinde korunduğu Tablo-5.6’da izlenmektedir.

Verim değerlerinde de iki türbin arasında belirgin değişikliklerden söz etmek olası değildir. Yıllık değer olarak 0,258 hesaplanmıştır (Şekil-5.6).

5.5 ÇINARALTI BÖLGESİ TÜRBİN DEĞERLERİ

Çınaraltı bölgesi için Nordex N50 rüzgar türbinine ait değerler Tablo-5.7’de verilmiştir. Yılın ilk dört aya ait veriler mevcut olmadığından yıllık değerler hesaplanamamış aylık değerler verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere, Çınaraltı bölgesi için elde edilen enerji değerlerinde Kasım, Temmuz ve Ağustos aylarında önemli artışlar olmaktadır. Çınaraltı bölgesi yıllık elde edilen enerji miktarı bakımından 8 aylık periyot değerlendirildiğinde, Aydıncık bölgesinden daha iyi değerler vereceği görülmektedir.

Uygunluk faktörü değerleri ağustos ve Kasım aylarında 0,90’ın üzerine çıkmaktadır. Diğer aylarda da yüksek değerler görülmekte ve bu faktör 0,67’nin altına

Tablo-5.7 Çınaraltı bölgesi NORDEX N50 800kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şubat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mart	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nisan	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayıs	14,9	1,33	13,7	5150	260.858	1.101.546	0,751	0,453	0,237
Haziran	12,8	1,60	11,5	2300	286.870	1.179.761	0,853	0,498	0,243
Temmuz	15,1	1,67	13,5	3518	310.600	1.321.177	0,837	0,539	0,235
Ağustos	10,9	3,28	9,8	773	304.340	1.044.765	0,988	0,528	0,291
Eylül	5,9	1,38	5,4	303	110.344	356.623	0,674	0,192	0,309
Ekim	6,7	1,23	6,3	572	141.634	506.528	0,683	0,246	0,280
Kasım	12,0	2,16	10,6	1360	316.173	1.247.045	0,944	0,549	0,254
Aralık	7,8	1,86	7,0	428	167.297	540.840	0,844	0,290	0,309
Yıllık									
TOPLAM									

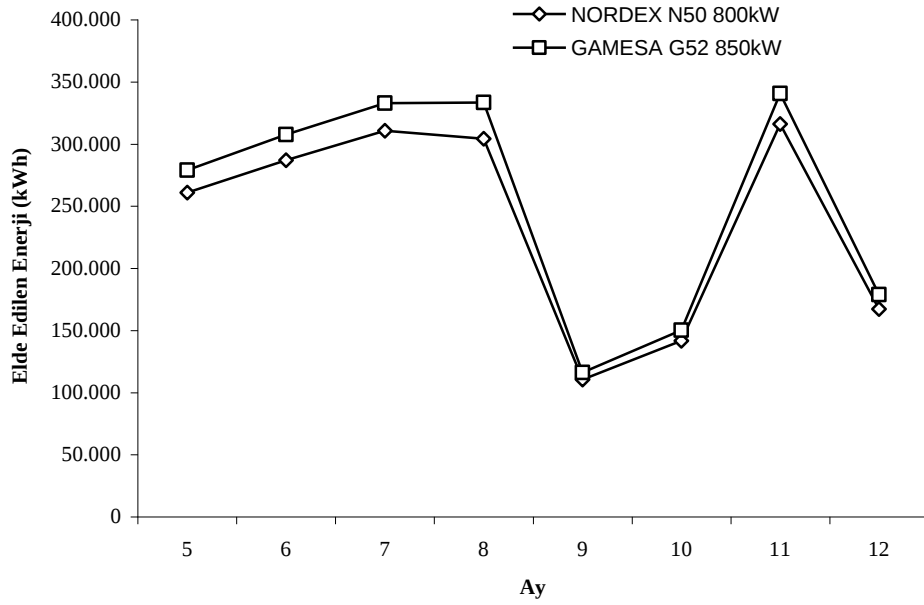
Tablo-5.8 Çınaraltı bölgesi GAMESA G52 850kW rüzgar türbini için genel ortalama değerler

Aylar	c (m/s)	k	V _{ort} (m/s)	P/A (W/m ²)	E _{TG} (kWh)	E _{TI} (kWh)	A _F	C _F	η
Ocak	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şubat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mart	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nisan	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayıs	14,9	1,33	13,7	5150	279.049	1.189.322	0,704	0,456	0,235
Haziran	12,8	1,60	11,5	2300	307.499	1.273.784	0,802	0,502	0,241
Temmuz	15,1	1,67	13,5	3518	332.824	1.427.235	0,799	0,544	0,233
Ağustos	10,9	3,28	9,8	773	333.423	1.128.929	0,965	0,545	0,295
Eylül	5,9	1,38	5,4	303	116.057	380.881	0,557	0,190	0,305
Ekim	6,7	1,23	6,3	572	150.269	543.692	0,582	0,246	0,276
Kasım	12,0	2,16	10,6	1360	340.700	1.346.958	0,903	0,557	0,253
Aralık	7,8	1,86	7	428	178.843	580.963	0,749	0,292	0,308
Yıllık									
TOPLAM									

düşmemektedir. Nordex N50 türbini için çalışma yüzdesinin genel olarak bölgede yüksek olduğu bu değerlerden anlaşılmaktadır.

Kapasite faktörü değerleri enerji üretiminin yüksek olduğu aylarda iyi değerler vermektedir. Maksimum değerini kasım ayı için 0,549 değeriyle almaktadır.

Nordex N50 türbini için verim değerleri aylık bazda 0,23-0,31 değerleri arasında değişmektedir.

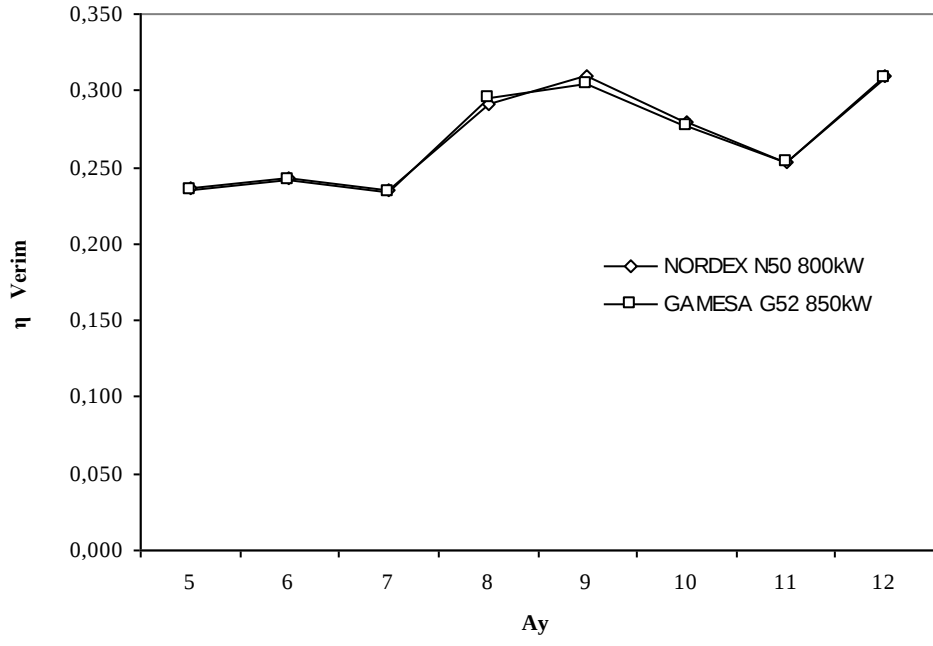


Şekil-5.7 Çınaraltı Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerden elde edilen güç grafikleri

Çınaraltı bölgesi için Gamesa G52 rüzgar türbinine ait hesaplanan değerler Tablo-5.8’de iki türbinin enerji miktarlarının karşılaştırılması Şekil-5.7’de verilmiştir. Kasım ayı için 340 bin kWh ‘a yaklaşan elektrik enerjisi üretimi hesaplanmıştır. Ağustos ve temmuz aylarının yüksek enerji değerleri Gamesa G52 türbininde de gözlemlenmektedir. Enerji değerlerinin aylık dağılımında bir değişiklik görülmemekte, Gamesa G52 türbini için uygunluk faktörü değerlerinde düşüş gözlemlenmekle beraber Kasım ve Ağustos ayları için 0,9 üzeri değerler hala korunmaktadır.

Bu bölge için yapılan hesaplarda, her iki türbin için de kapasite faktörü değerlerinde çok büyük farklılıklar bulunmamıştır. Kasım ayı için 0,557 değeri 8 aylık periyotta ölçülen en yüksek kapasite kullanımını göstermektedir.

Yine verim değerlerindeki değişiklik iki türbin için farkedilmeyecek seviyelerde kalmaktadır (Şekil5-8).



Şekil-5.8 Çınaraltı Rüzgar ölçüm istasyonu için aylara göre türbinlerin verim grafikleri

BÖLÜM 6: SONUÇLAR

Gökçeada rüzgar potansiyelinin belirlenmesi için önce Aydıncık bölgesinde ölçülen rüzgar hızları güç kanunu formülüyle elektrik enerjisi üretimi için kullanılacak rüzgar türbini kule yüksekliği olan 50m'ye uyarlanmıştır. Yeniden düzenlenen hızlar rüzgar profillerinin belirlenmesi için Weibull ağırlıklı olasılık dağılım fonksiyonunda kullanıldı. Weibull fonksiyonunun parametreleri olan şekil faktörü k ve ölçü faktörü c değerleri elde edilerek aylık ve yıllık rüzgar profilleri bulunmuştur. Çınaraltı, Ulusal Hava İstasyonu (UHİ) ve Uğurlu bölgeleri için de benzer çalışmalarla bulunan weibull parametreleri k ve c değerleri kullanılarak Weibull olasılık fonksiyonu hesaplanmıştır. Yapılan hesaplarda Aydıncık bölgesi için 8,8 m/s; UHİ bölgesi için 6,6m/s, Uğurlu bölgesi için 8,3 m/s yıllık ortalama hızlara ulaşılmıştır. Aylara göre rüzgar hızlarının analizinden de Aydıncık bölgesi için kış ayları ve Mart ayı; UHİ bölgesi için Kasım, Ocak ve Şubat ayları; Uğurlu ve Çınaraltı bölgeleri için ise yaz aylarının rüzgar hızları ortalamalarının en yüksek aylar olduğu görülmüştür.

Gökçeada rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi aşamasında, iki adet rüzgar türbini seçilmiştir. Bunlardan ilki Nordex firmasına ait N50 tipli 800kW maksimum güce haiz olan türbin, diğeri ise Gamesa firmasına ait G52 tipli 850kW maksimum gücünde olan rüzgar türbinidir. Bu iki rüzgar türbini için ayrı ayrı olmak üzere aylık ve yıllık ortalama değerler halinde gerçek ve teorik elde edilebilecek enerjiler, uygunluk faktörü, kapasite faktörü ve türbinlerin verim değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında integral ifadeleri için Gauss- Legendre Quadrature nümerik integrasyon metodu kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda cinsinden Aydıncık bölgesi için Nordex N50 türbini için yaklaşık 2,8, Gamesa G52 içinse 3 milyon kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği hesaplanmıştır. UHİ bölgesinde Nordex N50 için yaklaşık 1,8, Gamesa G52 için 1,9; Uğurlu bölgesinde Nordex N50 için yaklaşık 2,7, Gamesa G52 için 2,9 milyon kWh yıllık enerji değerleri elde edilmiştir. Çınaraltı bölgesinde ise veri yetersizliği nedeniyle yılın ilk dört ayı için hesap yapılamadığından yıllık ortalama elde edilebilecek enerji değerleri hesaplanamamıştır. Bunun yanında 8 aylık veriler ışığında Çınaraltı bölgesinin enerji potansiyelinin Aydıncık bölgesine yakın olduğu söylenebilir. Bu çalışma Gökçeada'nın rüzgar enerjisini elektrik enerjisine çevrilmesi ile oldukça yüksek bir enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ada bulunduğu coğrafi konum itibarıyla güneş enerjisi açısından da zengindir. Bu nedenle rüzgar ve güneş enerjisi kullanan hibrid sistemlerin verimliliğinin de bir ileri çalışma olarak incelenmesi,

yenilenebilir enerji kaynakları ile adanın enerji ihtiyacının ne oranda karşılanabileceğinin irdelenmesi açısından önemlidir.

Yapılan çalışma sonucunda özellikle Aydıncık ve Uğurlu bölgelerinde kurulacak rüzgar güç santrallerinin verim ve kullanma süreleri açısından doğru bölgeler olduğunu göstermektedir. Adanın enerji ihtiyacının anakaradan karşılandığı düşünüldüğünde, bunun ivedilikle gözönüne alınması yararlı olacaktır.

Tüm bölgelerde pitch kontrollü Gamesa G52 türbini ile daha fazla enerji elde edildiği görülmektedir. Bu farklılık bu tip türbinin sürekli rejimdeki gücünün fazlalığından ziyade, stall kontrollü Nordex N50 türbininde pala (türbin kanadı) arkasında oluşan dalga (wake) nedeniyle yüksek rüzgar hızlarında palanın yavaşlaması ve türbinin güç kaybetmesi olarak görülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kaygusuz, K. ve Sarı, A., 2003. Renewable energy potential and utilization in Turkey, *Energy Conversion And Management*, 44, 459-478
- [2] Kaygusuz, K., 2004. The role of renewables in future energy directions of Turkey, *Energy Sources*, 26, 1131-1140
- [3] Tolun, S., Menteş, S., Aslan, Z. ve Yükselen, M.A., 1995. The wind energy potential of Gökçeada in the northern Aegean Sea, *Renewable Energy*, Vol. 6, No. 7, pp. 679-685
- [4] Manwell, J. F. ve McGowan, J. G. ve Rogers A. L., 2002. Wind Energy Explained, John Wiley & Sons Ltd., 44-60
- [5] Meyer, Paul L., 1974. Introductory Probability and Statistical Applications, Addison-Wesley Publishing Company, 66-67
- [6] Chang, T. J., Wu, Y. T., Hsu, H. Y., Chu, C. R. ve Liao, C. M., 2003. Assesment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan, *Renewable Energy*, 28, 851-871
- [7] Carnahan, B., Luther, H. A. ve Wilkes, J. O., 1969. Applied Numerical Methods, John Wiley & Sons Ltd., 101-111
- [8] World Meteorological Organization, 1981. Meteorological Aspects of Wind As An Energy Source, Teknik Not No. 175
- [9] İstanbul Teknik Üniversitesi, Çanakkale H-16, Gökçeada, Ölçek 1: 20,000, 1 Pafta, Şehir ve Bölge Planlama
- [10] Tolun, S., 2004. Kişisel Görüşme

EKLER

EK-I

GAMESA G52 RÜZGAR TÜRBİNİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Türbin Çalışmaya Başlama Hızı (cut-in): 4 m/s

Türbin Maksimum Güç Üretme Hızı (Rated): 14 m/s

Türbin Son Çalışma Hızı: 25 m/s

Türbin Süpürme Alanı: 2124 m²

Türbin Jeneratörü Maksimum Gücü: 850 kW

Türbin Rotor Çapı: 52 m

Türbin Rotor Dönüş Hızı: Değişken, 14,6-30,8 rpm

Türbin Pala Sayısı ve Çeşidi: 3 Adet, NACA 63.XXX + FFA-W3

Türbin Pala Kontrolü: Pitch kontrollü

Türbin Pala Uzunluğu: 25,3 m

Türbin Kule Uzunluğu: 50 m

GÜÇ EĞRİSİ

Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	27,9
5	65,2
6	123,1
7	203
8	307
9	453,3
10	564,5
11	684,6
12	779,9
13	840,6
14	848
15	849
16	850
17-25	850

EK-II

NORDEX N50 RÜZGAR TÜRBİNİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Türbin Çalışmaya Başlama Hızı (cut-in): 3-4 m/s

Türbin Maksimum Güç Üretme Hızı (Rated): 14 m/s

Türbin Son Çalışma Hızı: 25 m/s

Türbin Süpürme Alanı: 1964 m²

Türbin Jeneratörü Maksimum Gücü: Asenkronize, 800 kW

Türbin Rotor Çapı: 50 m

Türbin Rotor Dönüş Hızı: Değişken, 15,3-23,75 rpm

Türbin Pala Sayısı : 3 Adet

Türbin Pala Kontrolü: Stall kontrollü

Türbin Pala Uzunluğu: 23,3 m

Türbin Kule Uzunluğu: 50 m

GÜÇ EĞRİSİ

Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	23
5	57
6	90
7	165
8	257
9	359
10	470
11	572
12	668
13	747
14	805
15	838
16	842
17	840
18	827
19	808
20	785
21	757
22	728
23	743
24	742
25	745

ÖZGEÇMİŞ

Hasan ARTAR 25.12.1980 yılında İstanbul Fatih'te doğmuş, ilköğrenimini Mustafa Aykın İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. Ortaöğrenimini sırasıyla Mehmed Beyazıd ve Maltepe Liselerinde görmüştür. Kadir Has Süper Lisesi'nden 1998 Haziranında mezun olduktan sonra, Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünü kazanmıştır. Dört yıllık lisans eğitimi sonrası 2002 yılında Makina Mühendisliği lisans diplomasını almıştır. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilimdalı Isı-Akışkan Yüksek Lisans programına kabul edilmiştir. Kendisi halen derslerini tamamlamış olup, öğrencisi olduğu programdan sunulan Yüksek Lisans Tezi ile mezun olma aşamasındadır.