



TÜRKİYE’NİN GÜNEY, GÜNEYBATI VE BATI BÖLGELERİNDEKİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Mehmet BİLGİLİ*, Beşir ŞAHİN** ve Erdoğan ŞİMŞEK***

*Çukurova Üniversitesi, Adana Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme-Soğutma Programı
01160, Beyazevler, Adana, mbilgili@cu.edu.tr

**Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
01130, Balcalı, Adana, bsahin@cu.edu.tr

***Çukurova Üniversitesi, Adana Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme-Soğutma Programı
01160, Beyazevler, Adana, esimsek@cu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 06. 02. 2009, Kabul Tarihi: 07. 07. 2009)

Özet: Bu çalışmada, Türkiye’nin güney, güneybatı ve batı kıyısında bulunan Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke kısımlarındaki rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kullanılan rüzgar hızı verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından elde edilmiştir. Bölgelerin rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmasında Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarının yanında WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılmıştır. Bu modellerle ve programla elde edilen değerler ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Weibull modeli ve WASP programı ile elde edilen değerler Rayleigh modeli ile elde edilen değerlere göre tüm istasyonlar için daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak incelenen bu bölgelerin rüzgar enerjisi potansiyelleri oldukça yüksek bulunmuş ve rüzgar türbini kurulmasına uygun bölgeler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rayleigh dağılım fonksiyonu, Rüzgar enerjisi, WASP program, Weibull dağılım fonksiyonu.

WIND ENERGY DENSITY IN THE SOUTHERN, SOUTHWESTERN AND WESTERN REGION OF TURKEY

Abstract: In this study, wind energy density of Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada and Söke districts which are located in the southern, southwestern and western region of Turkey, was investigated statistically. The measured data were collected by the General Directorate of Electrical Power Resources Survey Administration (EIE). The Weibull and Rayleigh probability density functions, and the WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) packet program were used. The results obtained with these models were compared with the measured data. The Weibull model and WASP program provide better power density estimations than Rayleigh model for all stations. Finally, it is found that these regions have a reasonable wind power potential and they are suitable for the plantation of wind energy turbines.

Keywords: Rayleigh distribution function, Wind energy, WASP program, Weibull distribution function.

SEMBOLLER

A	: Alan [m^2]	R	: Korelasyon katsayısı
c	: Weibull ölçek parametresi [m/s]	ρ	: Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
$F_W(v)$: Weibull birikmiş olasılık fonksiyonu	σ	: Standart sapma [m/s]
$F_R(v)$: Rayleigh birikmiş olasılık fonksiyonu	v	: Rüzgar hızı [m/s]
$f_W(v)$: Weibull dağılım fonksiyonu	v_m	: Ortalama rüzgar hızı [m/s]
$f_R(v)$: Rayleigh dağılım fonksiyonu		
$\Gamma()$: Gamma fonksiyonu		
k	: Weibull şekil parametresi		
MAPE	: Ortalama mutlak yüzde hata		
n	: Toplam data sayısı		
P_W	: Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu [W/m^2]		
P_R	: Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu [W/m^2]		
$P(v)$: Ortalama rüzgar gücü potansiyeli [W]		

GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen ve sanayinin olduğu kadar halkın günlük yaşantısının da en önemli girdilerinden biri olan enerji, bilindiği gibi kömür, petrol, doğalgaz vb. gibi fosil kökenli kaynaklardan ve güneş, rüzgar, su vb. gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir (Şahin, 2008). Ancak, kaynakları giderek tükenen fosil kökenli yakıtların gün geçtikçe pahalı hale gelmesi, çevreye zarar vermesi ve yakın gelecekte tükenecek olması, buna karşın ihtiyaç duyulan enerjinin günden güne

artması ucuz, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır (Bilgili ve Şahin, 2007). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi, dünyada yaklaşık 70 ülkenin elektrik üretiminden faydalandığı ve son zamanlarda ülkemizde de hızlı bir gelişim gösteren ve fosil kökenli yakıtlarla elde edilen enerjiye alternatif bir enerji türüdür.

2007 yılı sonunda, dünyadaki toplam kurulu rüzgar gücü potansiyeli 93,864 MW'dır. Bu kurulu gücün toplam 57,136 MW'ı Avrupa kıtasına aittir (GWEC, 2008; Bilgili, 2009). Türkiye'de ise toplam kurulu güç sadece 146 MW değerindedir (EPDK, 2008). Oysa Türkiye, Avrupa'da rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 83,000 MW ile en iyi olan ülke durumundadır (Hepbaşlı ve Özgener, 2004). Bu anlamda, özellikle Marmara ve Ege bölgesinin kıyılarında rüzgar santralleri kurulması için çalışmalar ve projeler yapılmakta ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından uygun yerlerden rüzgar verileri elde edilerek istatistiksel analizler yapılmaktadır.

Herhangi bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin analizi için o bölgede saatlik rüzgar hızı ve yön bilgilerinin en az bir yıl boyunca ölçülmesi gerekmektedir. Ayrıca, daha doğru ve hassas sonuçlara ulaşmak için, ölçüm yapılan istasyon etrafında, bu ölçümlerde elde edilecek verileri etkileyecek yakın çevre engellerinin olmamasına dikkat edilmelidir (Bilgili ve Şahin, 2005). Bu çalışmada, Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı kıyısındaki bazı kısımların rüzgar enerjisi potansiyeli, istatistiksel olarak ve WASP paket programı kullanılarak analiz edilmiştir.

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi çalışmaları özellikle 1990'lı yıllarda yapılan çalışmalarla önem kazanmış ve birçok bölgede istatistiksel analizler yapılmıştır. İncecik ve Erdoğan (1995) Weibull dağılım modelini uygulayarak Türkiye'nin batı kıyısındaki sekiz istasyonun (Ayvalık, Bodrum, Bozcaada, Çanakkale, Dikili, Edremit, Gökçeada ve Bozcaada) rüzgar gücü potansiyelini incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda bu sekiz istasyon arasında rüzgar enerjisi potansiyeli en iyi olan yer Bozcaada olarak belirlenmiştir. Tolun vd. (1995) WASP programını kullanarak Ege Denizinin kuzeyindeki Gökçeada'nın rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmıştır. Bu bölgedeki Çınaraltı istasyonuna ait ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyeli sırasıyla 5.9 m/s ve 342 W/m² olarak hesaplanmıştır.

Dündar ve İnan (1996) WASP programını kullanarak Türkiye'nin Ege Denizinde bulunan Bozcaada'nın rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemiştir. Yapılan çalışma sonucunda bu bölgenin rüzgardan elektrik üretimi açısından son derece uygun bir bölge olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin Ege Bölgesindeki Akhisar'ın rüzgar enerjisi potansiyeli Durak ve Şen (2002) tarafından analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda bu bölgenin ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyeli

sırasıyla 5.8 m/s ve 308 W/m² olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'ndeki Nurdağı/Gaziantep'in rüzgar enerjisi potansiyeli Karanlı ve Geçit (2003) tarafından incelenmiştir. Çalışma sonucunda bu bölgenin yer seviyesinden 10 m yükseklikteki ortalama rüzgar enerjisi potansiyeli 222 W/m² olarak hesaplanmıştır. Celik (2003) Türkiye'nin güney bölgesindeki İskenderun ilçesindeki rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull dağılım modelini kullanarak analiz etmiştir.

Türkiye'nin Ege Bölgesindeki Kütahya'nın rüzgar enerjisi potansiyeli Weibull ve Rayleigh dağılım modelleri kullanılarak Kose vd. (2004) tarafından hesaplanmıştır. Akpınar ve Akpınar (2004) Elazığ ilinin Maden kısmındaki rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull ve Rayleigh dağılım modellerini kullanarak incelemiştir. Çalışma sonucunda, bu bölgedeki ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyeli sırasıyla 5.63 m/s ve 244 W/m² olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesindeki Konya ilinin Akşehir kısmındaki rüzgar karakteristikleri Weibull ve Rayleigh dağılım modelleri kullanılarak Ulgen vd. (2004) tarafından analiz edilmiştir.

Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesindeki İskenderun ve Antakya kısımlarındaki rüzgar enerjisi potansiyeli Bilgili vd. (2004) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada WASP paket programı kullanılarak bu kısımlara ait rüzgar atlası ortaya çıkarılmıştır. Bu bölgenin komple rüzgar atlası ise Şahin vd. (2005) tarafından yine WASP paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışma için Antakya, İskenderun, Karataş, Yumurtalık, Dört Yol, Samandağ ve Adana meteoroloji istasyonundan elde edilen saatlik rüzgar hızı ve yön bilgileri kullanılmıştır. Ege Denizinin kuzeyinde yer alan Gökçeada'nın rüzgar enerjisi potansiyeli yine iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılarak Eskin vd. (2008) tarafından incelenmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin İzmir, Kırklareli, Uludağ-Bursa, Belen-Hatay bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli bazı yazarlar tarafından (Ulgen ve Hepbaşlı, 2002; Gökçek vd, 2007; Ucar ve Balo, 2009; Şahin ve Bilgili, 2009) araştırılmış ve istatistiksel analizler yapılmıştır.

Bu çalışmalardan da görüldüğü gibi Weibull ve Rayleigh dağılım modelleri ve ayrıca WASP paket programı kullanılarak Türkiye'nin birçok bölgesinin rüzgar hızı ve enerji potansiyeli araştırılmıştır. Bu çalışmaların dışında, 2002 yılında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüt İdaresinin ortak çalışması sonucu, WASP paket programı kullanılarak Dündar vd. (2002) tarafından Türkiye'nin rüzgar atlası ortaya çıkarılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Rüzgar Verileri

Bu çalışmada kullanılan rüzgar hızı verileri, Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı kıyısında bulunan ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından kurulmuş olan

Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke özel rüzgar ölçüm istasyonlarından elde edilmiştir. Çalışma yapılan bölgedeki istasyonların konumu Şekil 1’de gösterilmiştir. Ayrıca, bu istasyonların koordinatları,

hakim rüzgar yönleri ve ölçüm yapılan yıl Çizelge 1’de verilmiştir. Bu istasyonlarda elde edilen ölçüm değerleri, yer seviyesinden 10 metre yüksekten alınmıştır.



Şekil 1. İstasyonların konumu

Çizelge 1. İstasyonların koordinatları, ölçüm yılı ve hakim rüzgar yönleri

İstasyon	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Ölçüm yılı
Akhisar	38° 52' 44" K	27° 48' 39" D	391	2001
Bababurnu	39° 30' 03" K	26° 12' 39" D	348	2001
Belen	36° 12' 00" K	36° 28' 01" D	474	2005
Datça	36° 46' 04" K	27° 37' 08" D	20	2001
Foça	38° 39' 25" K	26° 46' 22" D	175	2001
Gelendost	38° 08' 27" K	30° 50' 06" D	973	2001
Gelibolu	40° 26' 34" K	26° 32' 56" D	302	2001
Gökçeada	40° 07' 58" K	25° 57' 00" D	244	2001
Söke	37° 41' 56" K	27° 23' 13" D	6	2001

Weibull ve Rayleigh Dağılım Fonksiyonları

Rüzgar hızının dağılımının belirlenmesinde kullanılan pek çok dağılım vardır. İki parametrelili Weibull ve Weibull’un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımı en yaygın kullanılan dağılımlardır (Akpınar ve Akpınar, 2004). Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull dağılımının genel ifadesi,

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

şeklinde. Burada $f_w(v)$ gözlemlenen rüzgar hızı v ’nin olasılık fonksiyonu, k ve c Weibull parametreleridir. Weibull dağılımının birikmiş olasılık fonksiyonu ise,

$$F_w(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle Weibull parametreleri k ve c ’nin bulunması gereklidir. Bunun için çeşitli yöntemler vardır. Bunlar grafiksel metot, maksimum olabilirlik metodu ve moment metodu kullanılarak bulunan yöntemlerdir (Genc vd, 2005; Seguro ve Lambert, 2000; Bilgili ve Şahin, 2005). Bu çalışmada, Weibull parametreleri k ve c değerleri ortama rüzgar hızı ve standart sapma değerleri kullanılarak moment metodu ile elde edilmiştir. Buna göre, Weibull parametreleri k ve c değerleri sırasıyla (3) ve (4) eşitliklerinden hesaplanır (Gökçek vd, 2007).

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m}\right)^{-1.086} \quad (1 \leq k \leq 10) \quad (3)$$

$$c = \frac{v_m}{\Gamma(1+1/k)} \quad (4)$$

Burada, v_m ortalama rüzgar hızıdır ve (5) eşitliği kullanılarak bulunur. σ ise standart sapmadır ve (6)

eşitliğinden faydalanılarak hesaplanır. $\Gamma()$, Gamma fonksiyonudur. Herhangi bir y değeri için bu fonksiyon (7) eşitliği ile ifade edilir.

$$v_m = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n v_i \right] \quad (5)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - v_m)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$\Gamma(y) = \int_0^{\infty} \exp(-x) x^{y-1} dx \quad (7)$$

Burada, n değeri belirli bir periyottaki gözlem sayısıdır. Rayleigh dağılımı ve bu dağılımın birikmiş olasılık fonksiyonu sırasıyla (8) ve (9) eşitlikleri kullanılarak bulunur (Akpınar ve Akpınar, 2004; Gökçek vd, 2007).

$$f_R(v) = \frac{\pi v}{2v_m^2} \exp \left[-\left(\frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{v}{v_m} \right)^2 \right] \quad (8)$$

$$F_R(v) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{v}{v_m} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Weibull parametrelerinin bulunmasıyla birlikte ortalama rüzgar hızı (10) eşitliğinden faydalanılarak hesaplanabilir.

$$v_m = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (10)$$

Bilindiği gibi, kanat süpürme alanı A olan bir rüzgar türbininin v hızında meydana getireceği rüzgar gücü potansiyeli,

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (11)$$

şeklinde ifade edilir. Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu en genel halde aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv \quad (12)$$

Burada, ρ havanın yoğunluğudur ve 1.225 kg/m^3 olarak alınır. Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) \quad (13)$$

Rayleigh dağılımı için ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu ise sırasıyla (14) ve (15) eşitlikleri kullanılarak elde edilebilir.

$$v_m = c \sqrt{\pi / 4} \quad (14)$$

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad (15)$$

WAsP Yazılımı

WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) yazılımı, rüzgar atlası istatistiklerini elde etmek için Danimarka Meteoroloji Teşkilatı'nın Riso Meteoroloji Laboratuvarında hazırlanmış ve geliştirilmiştir. Bu program, Türkiye ve Avrupa Rüzgar Atlasının (European Wind Atlas) hazırlanmasında kullanılmıştır. Günümüzde rüzgar enerjisi ile ilgili birçok çalışmada da kullanılmaya devam edilmektedir.

WAsP yazılımı, veri analizlerini rüzgar hız verilerinin 2 parametrelili Weibull dağılımına uygun bir dağılım gösterdiğini varsayarak yapmaktadır. Bu yazılım, saatlik rüzgar verisi, bölge pürüzlülük bilgileri, yakın çevre engel bilgileri ve bölgenin topografyası gibi dört değişik girdi bilgisini kendi alt modellerinde değerlendirerek bölgesel rüzgar atlası istatistiklerini hesaplamaktadır.

WAsP paket programı ile noktasal analiz yönteminde, belirlenen alan içindeki herhangi bir nokta programa tanımlanarak bu nokta için çizelge halinde analiz sonuçları elde edilir. Ölçüm noktası için yapılan analizlerde bu noktaya gelen rüzgara etki eden yakın çevre engelleri, pürüzlülük ve topografya etkilerinin tamamı dikkate alınır. Ancak, bu noktanın dışındaki başka nokta için hesaplama yapılmak istenirse, ölçülen hız değerleri verilerinin kullanılması yanlış sonuçlar verecektir. Çünkü ikinci bir noktada, ölçüm noktasının çevresinde bulunan engellerin benzerleri bulunmayacaktır. Bu nedenle, ölçüm noktasının çevresindeki engeller göz önüne alınarak, düzeltilmiş hız ve potansiyel bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, WAsP paket programının en önemli avantajı topografik model, pürüzlülük değişim modeli ve engel perdeleme modellerini kullanarak ölçüm yapılan istasyondaki rüzgar verileri üzerindeki yüzey yapılarının etkisi düzeltilmektedir. Böylece ölçüm yapılan bölgeye ait bir rüzgar atlası ortaya çıkarılabilmektedir (Dündar, 1997).

Performans Analizi

Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonları ile WAsP paket programı ile elde edilen değerlerin performansını görmek ve gerçek değerler ile karşılaştırmak için ortalama mutlak yüzde hata oranı (MAPE) ve korelasyon katsayısı (R) parametrelerinden faydalanılmıştır. MAPE ve R parametreleri;

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{abs} \left(\frac{y_i - x_i}{y_i} \right) \cdot 100 \quad (16)$$

$$R = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[\left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (17)$$

ile ifade edilmektedir (Bilgili vd, 2007). Burada, x gerçek değer, y tahmin edilen değeri, n ise toplam data sayısıdır. R değerinin 1 olması gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki korelasyonun mükemmel olduğunu ifade etmektedir. R değeri 0 ise iki değişken arasında doğrusal bir korelasyon yoktur.

SAYISAL SONUÇLAR

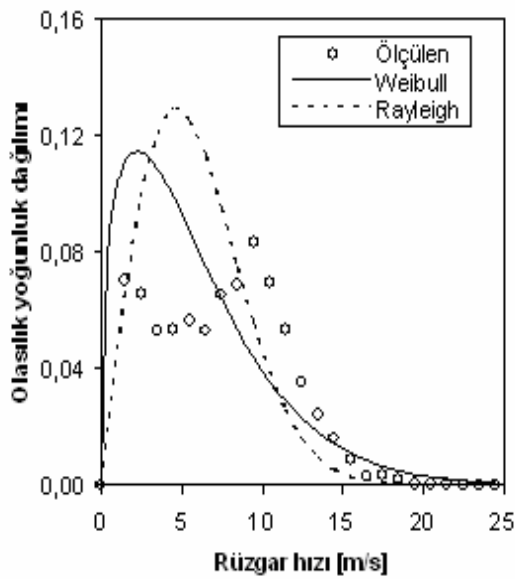
İlk olarak dokuz istasyona ait bir yıl boyunca ölçülen saatlik rüzgar hızı ve yön bilgileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bunun için rüzgar hızları belirli

aralıklarda gruplandırılmış ve bu aralıklardaki frekans (esme sayısı) ve olasılık değerleri elde edilmiştir. Enerji potansiyellerinin belirlenmesi için öncelikle Weibull parametreleri k ve c değerlerinin bulunması gereklidir. Bunun için tüm istasyonlara ait aylık ve yıllık ortalama rüzgar hızları ve standart sapmaları (5) ve (6) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra, (3) ve (4) eşitlikleri kullanılarak Weibull parametreleri elde edilmiştir.

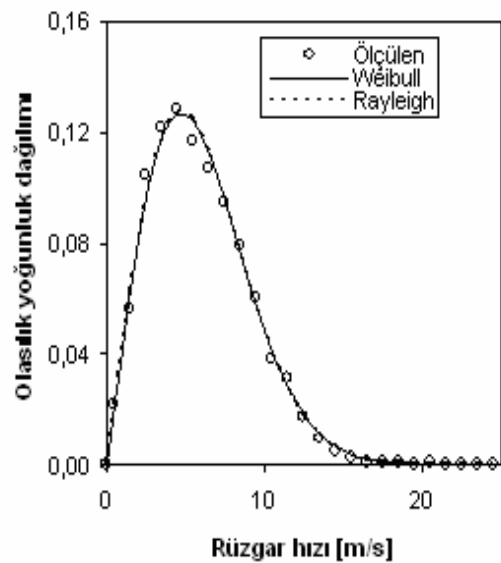
İstasyonlara ait elde edilen yıllık rüzgar karakteristikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Yıllık ortalama rüzgar hızı en düşük Söke istasyonu için 4.1 m/s ile en yüksek Gökçeada istasyonu için 7.23 m/s arasında değişirken, rüzgar hızlarının standart sapması ise 2.53 m/s ile 4.56 m/s arasında bulunmuştur. Hakim rüzgar yönleri ise Belen, Datça, Gelendost ve Söke istasyonları için aynı olup BK (300°)’dir. Bababurnu ve Foça için KD (30°)’dur. Akhisar, Gelibolu ve Gökçeada istasyonları için ise sırasıyla K (0°), D (90°) ve GB (210°)’dir.

Çizelge 2. İstasyonlara ait yıllık rüzgar karakteristikleri

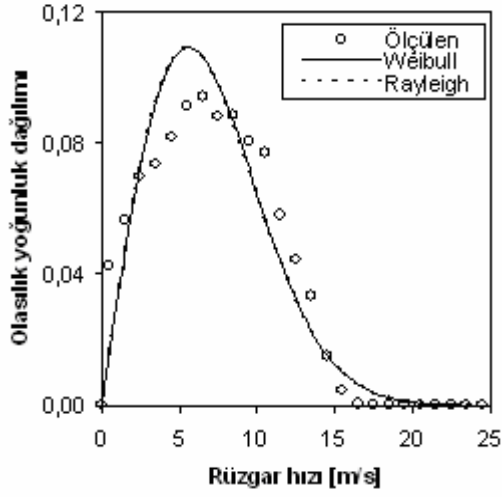
İstasyon	Ortalama rüzgar hızı v_m (m/s)	Standart sapma σ (m/s)	Weibull parametresi k	Weibull parametresi c (m/s)	Hakim rüzgar yönü
Akhisar	5.88	4.56	1.33	6.40	K (0°)
Bababurnu	5.96	3.16	1.99	6.72	KD (30°)
Belen	6.97	3.66	2.01	7.87	BK (300°)
Datça	5.63	3.44	1.71	6.31	BK (300°)
Foça	5.73	2.68	2.28	6.47	KD (30°)
Gelendost	5.05	3.63	1.43	5.56	BK (300°)
Gelibolu	6.85	3.87	1.86	7.71	D (90°)
Gökçeada	7.23	4.37	1.73	8.11	GB (210°)
Söke	4.10	2.53	1.69	4.59	BK (300°)



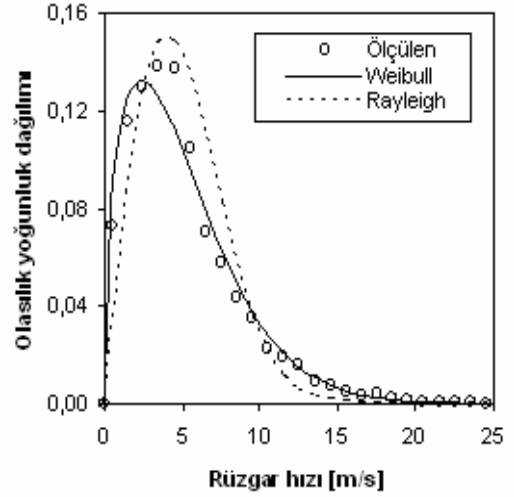
a) Akhisar



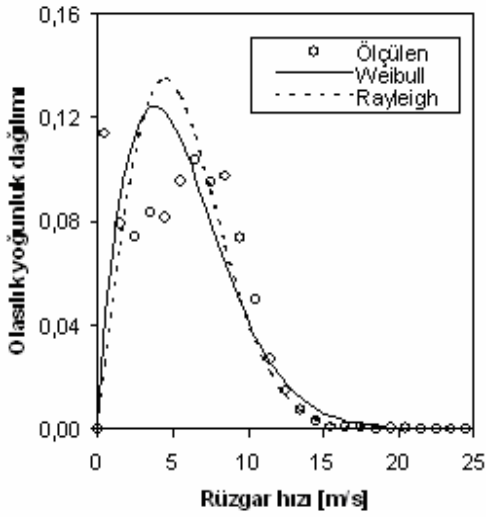
b) Bababurnu



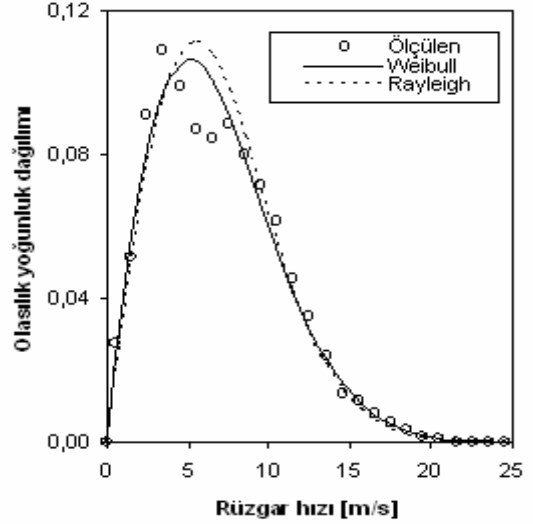
c) Belen



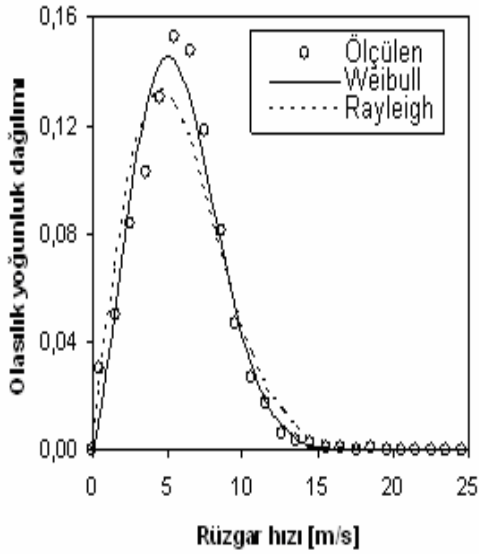
f) Gelendost



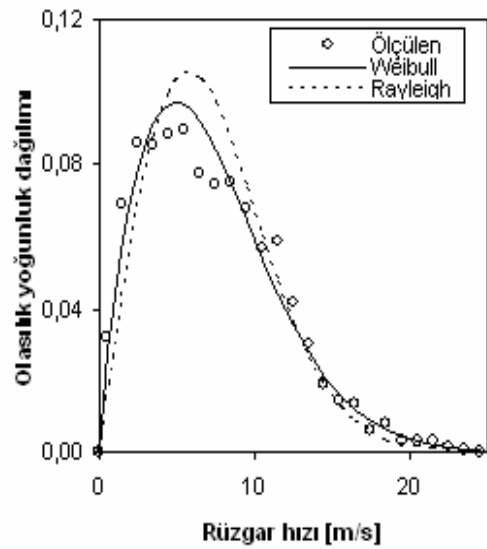
d) Datça



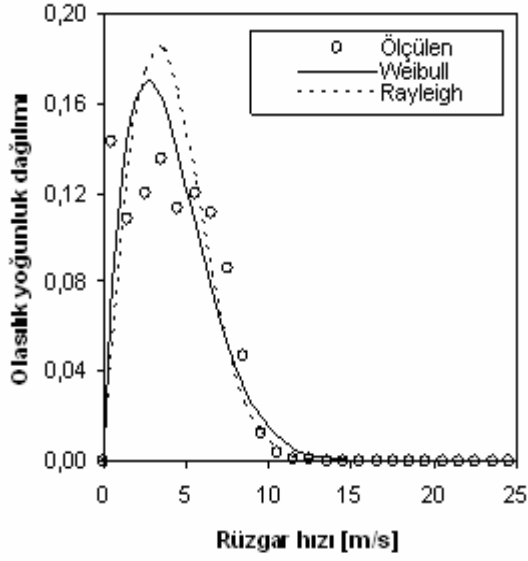
g) Gelibolu



e) Foca



h) Gökçeada



1) Söke

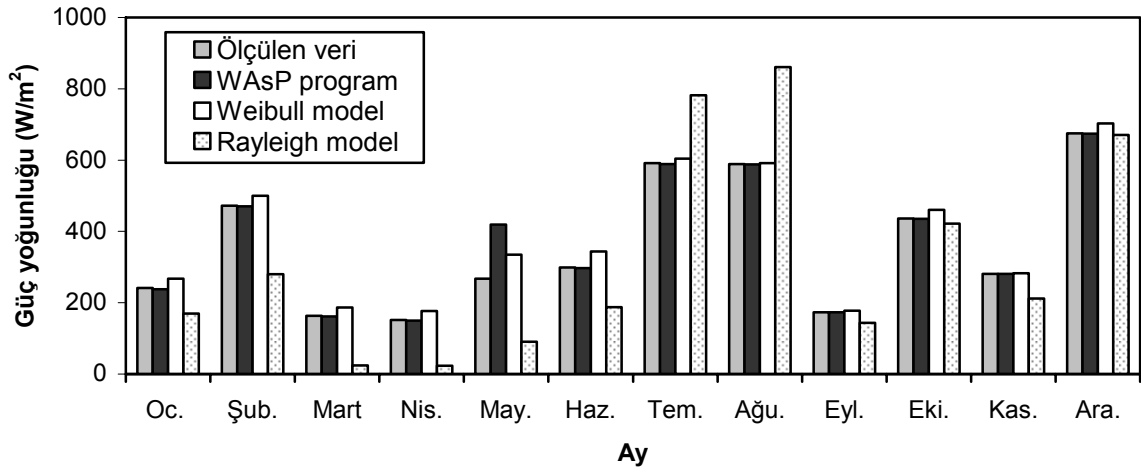
Şekil 2. İstasyonlara ait rüzgar hızlarının frekans dağılımları

Weibull parametreleri k ve c değerlerinin bulunması ile Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımının değerleri (1) ve (8) eşitlikleri ile kullanılarak tüm istasyonlar için elde edilmiştir. Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke istasyonları için rüzgar hızlarının frekans dağılımları Şekil 2'de gösterilmiştir.

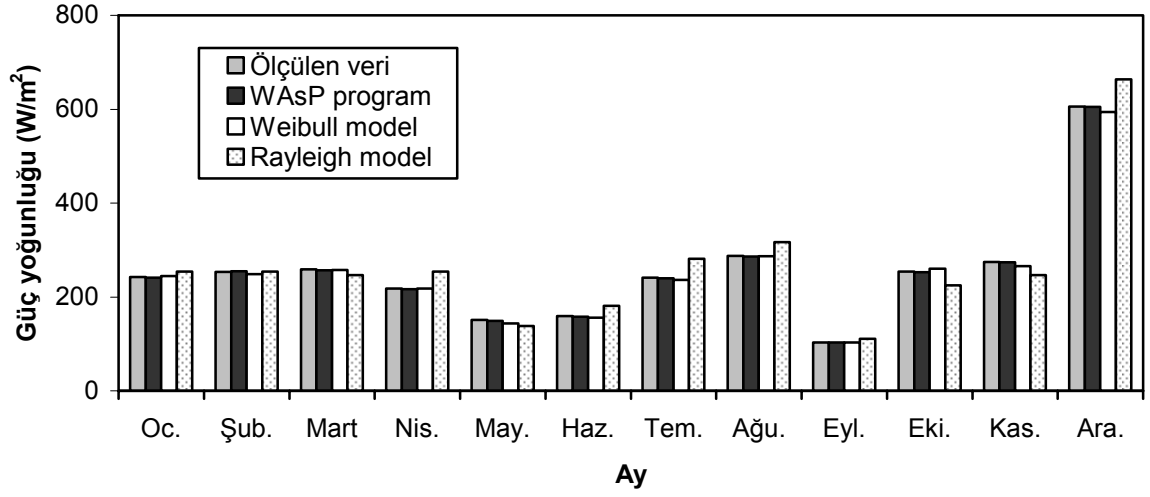
Denklem (13) ve (15)'ten faydalanarak ise Weibull ve Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca WASP paket programı kullanılarak da tüm istasyonlara ait aylık ve yıllık ortalama rüzgar gücü potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Böylece, üç farklı şekilde elde edilen bu rüzgar gücü potansiyeli değerleri, gerçek ölçüm verilerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke istasyonları için aylık ortalama rüzgar gücü yoğunluğunun değişimi Şekil 3'de gösterilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda tüm istasyonlara ait aylık olarak elde edilen sonuçların performans değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgedeki değerlerden de görüldüğü gibi, Weibull modeli ve WASP programı ile elde edilen değerler Rayleigh modeli ile elde edilen değerlere göre tüm istasyonlar için daha iyi sonuçlar vermiştir. En iyi sonuç ise % 0.53 hata ile Gelibolu istasyonundan ve WASP programından elde edilmiştir. Korelasyon katsayısı sonuçlarına baktığımızda en yüksek değer 0.99999 olarak Gökçeada istasyonundan WASP programı için ve en düşük değer ise 0.88092 olarak Datça istasyonundan Rayleigh modeli için elde edilmiştir. Genel olarak korelasyon katsayısı değerleri, Rayleigh modeli ile elde edilen değerler hariç, oldukça yüksek çıkmıştır.

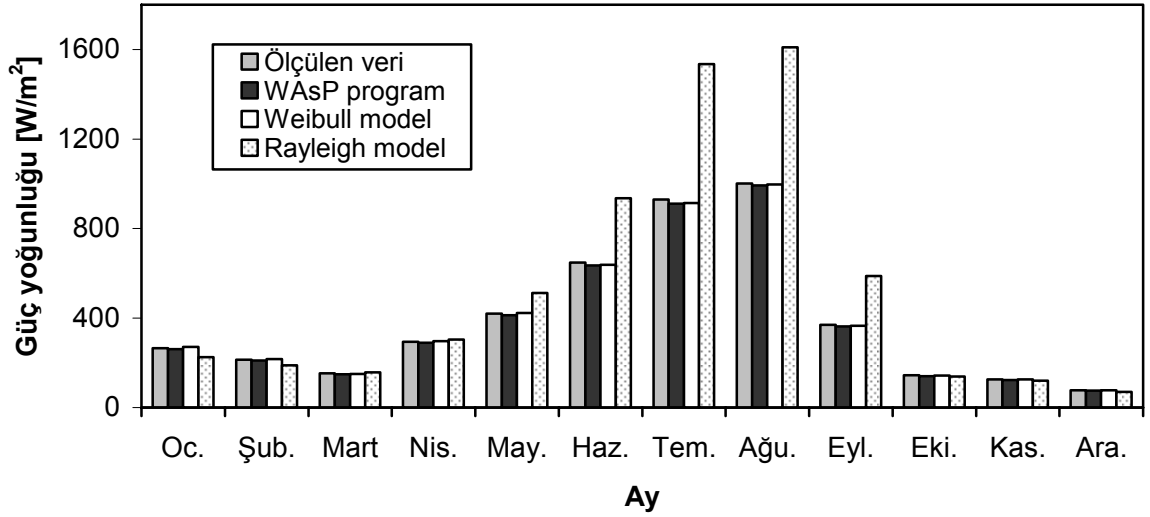
Tüm istasyonlara ait yıllık ortalama rüzgar gücü potansiyelleri Çizelge 4'te verilmiştir. En yüksek rüzgar gücü potansiyeli 526 W/m^2 ile Gökçeada istasyonundan elde edilmiştir. Diğer istasyonlar için hesaplanan rüzgar gücü potansiyelleri de oldukça yüksektir. Gelibolu ve Belen istasyonlardaki potansiyel değerleri sırasıyla 410 W/m^2 ve 387 W/m^2 olarak elde edilmiştir. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin yaptığı sınıflandırmaya göre, rüzgar enerjisinden yararlanılacak yükseklikteki (rüzgar türbini eksen yüksekliği) ortalama rüzgar hızları, sırasıyla 6.5 m/s için iyiye yakın, 7.5 için iyi ve 8.5 m/s için çok iyi olarak belirtilmiştir. Enerji potansiyelleri açısından sınıflandırılırsa $100-300 \text{ W/m}^2$ arası iyiye yakın, $300-700 \text{ W/m}^2$ iyi ve 700 W/m^2 'den büyük için çok iyi olarak belirtilmiştir (Bilgili, 2003). Bu sınıflandırmaya göre, Çizelge 3 ve 4'deki sonuçların yer seviyesinden 10 m yükseklikte yapıldığı ve türbin eksen yüksekliklerinin genellikle $50-70 \text{ m}$ arasında olduğu göz önünde bulundurulduğunda, Söke istasyonu hariç diğer tüm bölgelerde rüzgar enerjisinden oldukça iyi bir şekilde yararlanılabileceği görülmektedir.



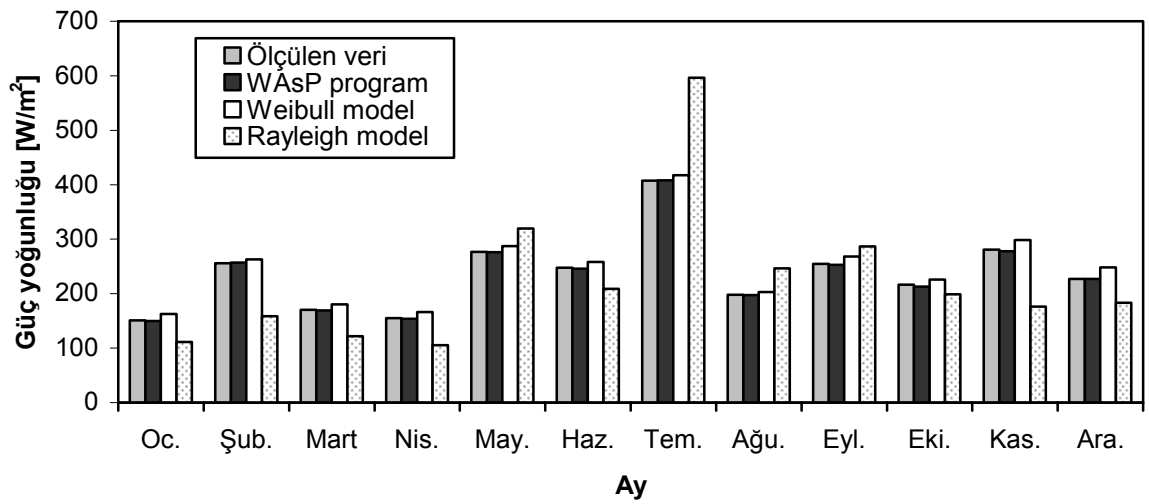
a) Akhisar



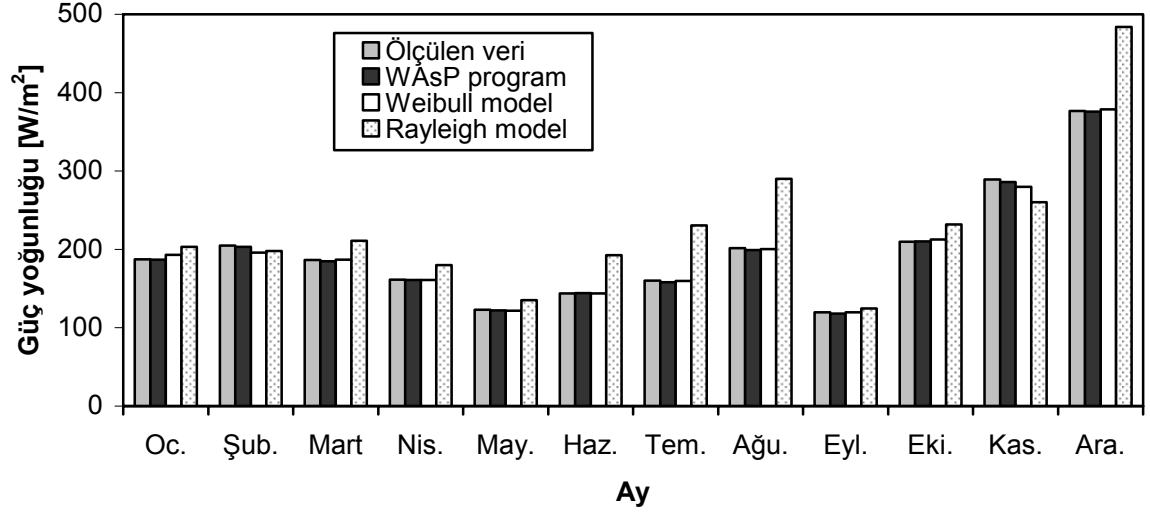
b) Bababurnu



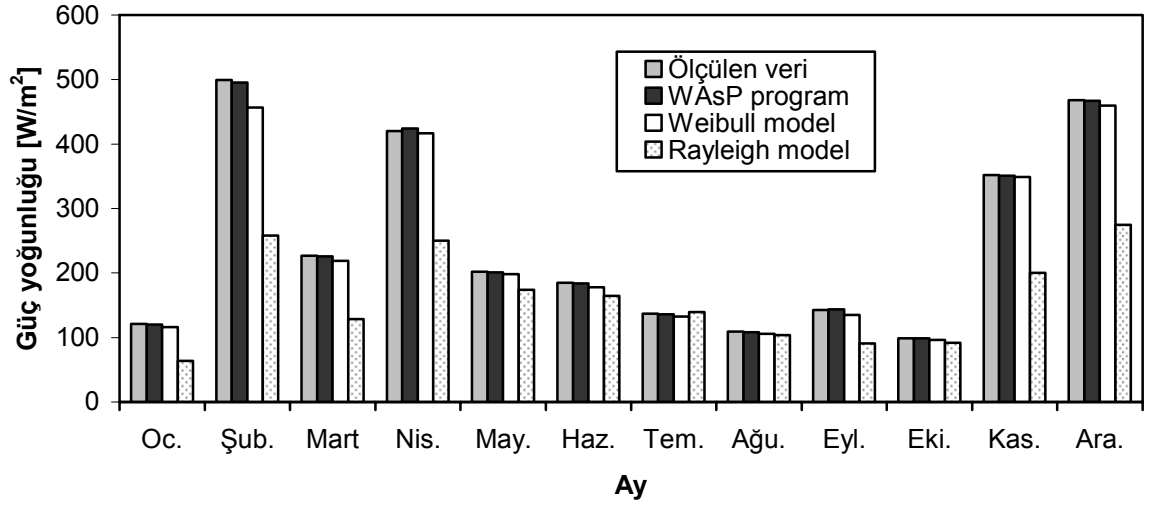
c) Belen



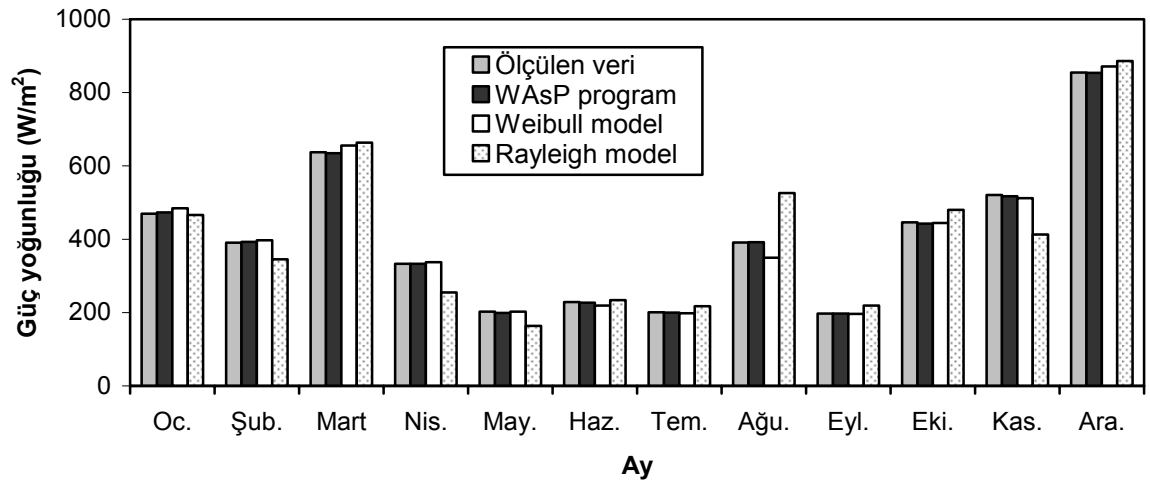
d) Datça



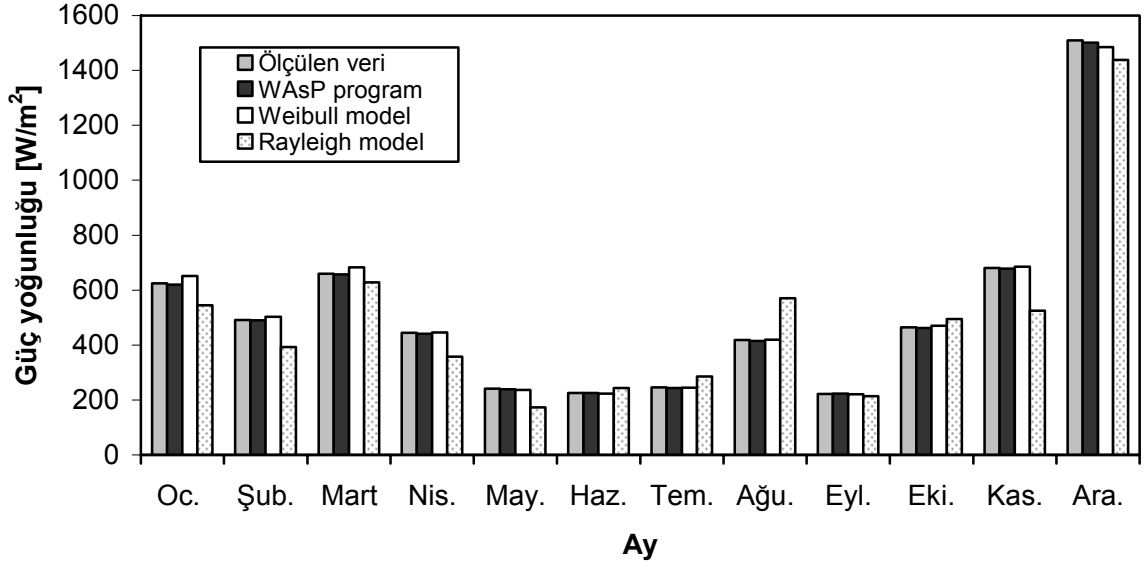
e) Foca



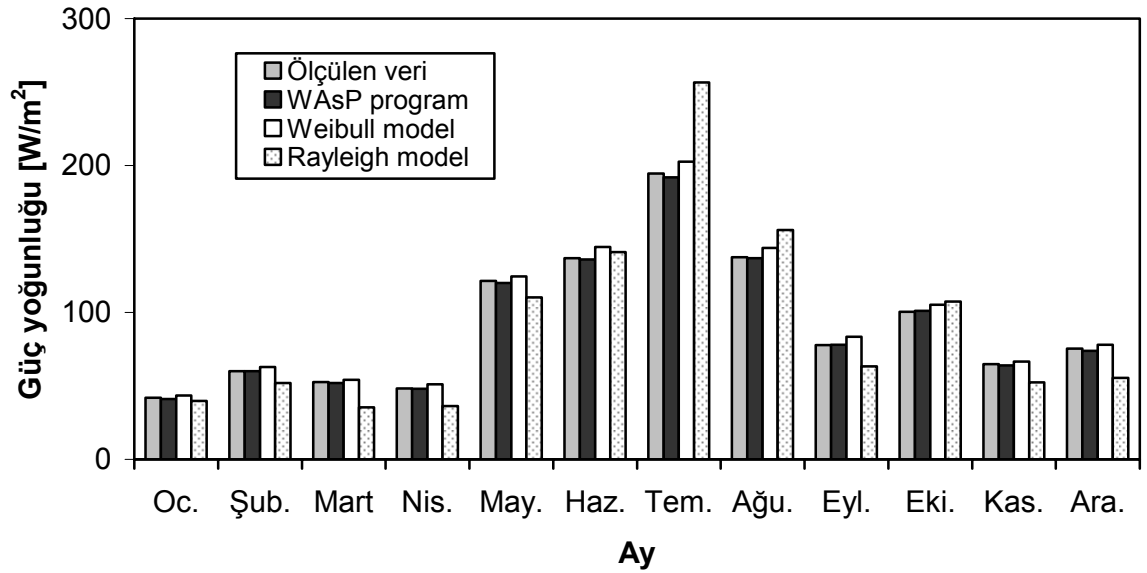
f) Gelendost



g) Gelibolu



h) Gökçeada



ı) Söke

Şekil 3. İstasyonlara ait aylık ortalama rüzgar gücü yoğunluğunun değişimi

Çizelge 3. Aylık ortalama rüzgar gücü yoğunluklarının performans değerleri

İstasyon	WAsP programı		Weibull modeli		Rayleigh Modeli	
	MAPE	R	MAPE	R	MAPE	R
Akhisar	3.56	0.97083	7.40	0.99476	134.97	0.92815
Bababurnu	0.56	0.99997	1.76	0.99935	9.06	0.98363
Belen	2.00	0.99995	1.10	0.99990	18.14	0.99319
Datça	0.59	0.99985	5.36	0.99809	35.43	0.88092
Foça	0.72	0.99987	1.23	0.99823	14.63	0.91253
Gelendost	0.59	0.99992	3.47	0.99795	47.88	0.94197
Gelibolu	0.53	0.99994	2.56	0.99749	12.83	0.95710
Gökçeada	0.58	0.99999	1.47	0.99935	16.77	0.97343
Söke	0.99	0.99988	4.16	0.99969	20.09	0.98119

Çizelge 4. İstasyonlara ait yıllık ortalama rüzgar gücü potansiyelleri

İstasyon	Ölçülen veri	WASP programı	Weibull modeli	Rayleigh Modeli
Akhisar	362.47	365.00	402.68	237.82
Bababurnu	254.89	257.00	248.40	247.65
Belen	383.72	387.00	394.81	396.09
Datça	236.55	238.00	248.38	208.75
Foça	197.19	199.00	195.40	220.08
Gelendost	244.47	246.00	230.60	150.65
Gelibolu	407.10	410.00	405.18	375.99
Gökçeada	520.82	526.00	517.40	442.08
Söke	93.05	95.00	97.26	80.62

SONUÇ

Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı kıyısında bulunan Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak analizi, Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarının yanında WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılarak incelenmiştir. Weibull modeli ve WASP programı ile elde edilen değerler, Rayleigh modeli ile elde edilen değerlere göre tüm istasyonlar için daha iyi sonuçlar vermiştir. En yüksek rüzgar gücü potansiyelinin sırasıyla; 526 W/m² ile Gökçeada'da, 410 W/m² ile Gelibolu'da, 387 W/m² ile Belen'de olduğu görülmüştür.

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla rüzgar enerji santrallerinin kurulması için son derece uygun bir durumdadır. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi, özellikle Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz Bölgesinin bazı kısımları oldukça zengin rüzgar potansiyeline sahiptir. Bu bölgeler, rüzgar santrali kurulmasına uygun bölgelerdir.

Bu bölgelere kurulacak rüzgar santralleriyle çoğu, doğu bölgelerinde yoğunlaşan enerji üretim santralleri batı bölgelerinde de yaygınlaşacaktır. Böylece, Türkiye'de üretilen enerjide kaynak çeşitliliği sağlanacağı gibi, doğuda üretilen elektrik enerjisinin tüketimin yoğun olduğu batı bölgelerine taşınması sırasında oluşan kayıplar da ortadan kaldırılacaktır. Aynı zamanda, bu bölgelerde kurulacak santrallerle yeni istihdam sahaları açılacaktır. Çevreye dost bu santrallerin kurulmasıyla bölgenin mevcut doğal yapısının korunması sağlanacaktır.

Enerji ihtiyacı gün geçtikçe artan Türkiye'nin bu potansiyeli bir an önce değerlendirmesi gerekir.

KAYNAKLAR

Akpınar, E. K. ve Akpınar, S., Determination of the Wind Energy Potential for Maden-Elazığ, Turkey, *Energy Conversion and Management*, 45, 2901-2914, 2004.

Bilgili, M., The Wind Energy Potential in Some Locations of Turkey, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2003.

Bilgili, M., Şahin, B. ve Kahraman, A., Wind Energy Potential in Antakya and İskenderun Regions, Turkey, *Renewable Energy*, 29, 1733-1745, 2004.

Bilgili, M. ve Şahin, B., Yönlere ve Pürüzlülük Değerlerine Göre Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, *15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Trabzon, 107-113, 2005.

Bilgili, M. ve Şahin B., Rüzgar Gücü Potansiyelinin Belirlenmesinde Weibull Parametrelerinin Bulunması, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Enerji Yönetimi Sempozyumu*, Kayseri, 229-234, 2005.

Bilgili, M. ve Şahin, B., Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Bir Hedef İstasyonun Rüzgar Hızı Tahmini, *16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, 162-167, 2007.

Bilgili, M., Şahin, B. ve Yasar, A., Application of Artificial Neural Networks for the Wind Speed Prediction of Target Station Using Reference Stations Data, *Renewable Energy* 32, 2350-2360, 2007.

Bilgili, M., A Global Review of Wind Power Installations and their Development in Turkey, *Clean-Soil, Air, Water*, 37, 195-202, 2009.

Celik, A. N., A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh Models at the Southern Region of Turkey, *Renewable Energy*, 29, 593-604, 2003.

Durak, M. ve Şen, Z., Wind Power Potential in Turkey and Akhisar Case Study, *Renewable Energy*, 25, 463-472, 2002.

Dündar, C. ve Inan, D., Investigation of Wind Energy Application Possibilities for a Specific Island (Bozcaada) in Turkey, *WREC*, 822-826, 1996.

Dündar, C., Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgeleri İçin Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi, *Hacette Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 1997.

Dündar, C., Canbaz, M., Akgün, N. ve Ural, G., Türkiye Rüzgar Atlası, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) & Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), Ankara, 2002.

EPDK, Energy Market Regulatory Authority, Electricity Market, 2008. <<http://www.epdk.gov.tr>>

Eskin, N., Artar, H. ve Tolun, S., Wind Energy Potential of Gökçeada Island in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 839-851, 2008.

Genc, A., Erisoglu, M., Pekgor, A., Oturanc, G., Hepbasli, A. ve Ulgen, K., Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution, *Energy Sources*, 27, 809-822, 2005.

Gökçek, M., Bayülken, A. ve Bekdemir, Ş., Investigation of Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Kirklareli, Turkey, *Renewable Energy*, 32, 1739-1752, 2007.

GWEC, Global Wind Energy Council, Global Wind 2007 Report, 2008. <<http://www.gwec.net>>

Hepbaşlı, A. ve Özgener Ö., A Review on the Development of Wind Energy in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 257-276, 2004.

İncecik, S. ve Erdoğan F., An Investigation of the Wind Power Potential on the Western Coast of Anatolia, *Renewable Energy*, 6, 863-865, 1995.

Karsli, V. M. ve Geçit, C., An Investigation on Wind Power Potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey, *Renewable Energy*, 28, 823-830, 2003.

Kose, R., Ozgur, M. A., Erbas, O. ve Tugcu, A., The Analysis of Wind Data and Wind Energy Potential in Kütahya, Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8, 277-288, 2004.

Sahin, B., Bilgili, M., ve Akilli, H., The Wind Power Potential of the Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93, 171-183, 2005.

Sahin, A. D., A Review of Research and Development of Wind Energy in Turkey, *Clean-Soil, Air, Water* 36, 734-742, 2008.

Sahin, B. ve Bilgili, M., Wind Characteristics and Energy Potential in Belen-Hatay, Turkey, *International Journal of Green Energy*, 6, 1-16, 2009.

Seguro J.V., and Lambert, T.W., Modern Estimation of the Parameters the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Analysis", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 85, 75-84, 2000.

Tolun, S., Menteş, S., Aslan, Z. ve Yükselen, M. A., The Wind Energy Potential of Gökçeada in the Northern Aegean Sea, *Renewable Energy*, 6, 679-685, 1995.

Ucar, A. ve Balo, F., Investigation of Wind Characteristics and Assessment of Wind-Generation Potentiality in Uludag-Bursa, Turkey, *Applied Energy* 86, 333-339, 2009.

Ulgen, K. ve Hepbasli, A., Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir, Turkey, *International Journal of Energy Research*, 26, 495-506, 2002.

Ulgen, K., Genc, A., Hepbasli, A. ve Oturanc, G., Assessment of Wind Characteristics for Energy Generation, *Energy Sources*, 26, 1227-1237, 2004.



Mehmet BİLGİLİ, 1971 yılı Adana doğumludur. 1992 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında yine Çukurova üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek lisans ve 2007 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. Halen aynı üniversitenin Adana Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme-Soğutma Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.



Beşir ŞAHİN, 1977 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1985 yılında Brunel Üniversitesinde (İngiltere) doktora eğitimini tamamladı. 1988 yılında, Ç. Ü., Müh. Mim. Fak., Termodinamik Anabilim Dalında Yard. Doç., 1991 yılında Doçent, 1997 yılında ise Profesör oldu. Halen aynı üniversitede Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlığı görevini yapmaktadır.



Erdoğan ŞİMŞEK, 1965 yılı Hafik doğumludur. 1982-1992 yılları arasında çeşitli firmalarda teknisyen olarak, 1992 yılından itibaren Gaziantep ve Çukurova Üniversitesinde İklimlendirme soğutma teknikeri olarak çalıştı. 2000 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2000 yılından itibaren Çukurova üniversitesi Adana Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme-Soğutma Programında Öğretim Görevlisi olarak mesleğine devam etmektedir.