
Araştırma Makalesi / Research Article

Rüzgâr Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi

Faruk ORAL^{1*}, Rasim BEHÇET²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bitlis
²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Malatya

Özet

Bir bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin enerji üretimi amaçlı değerlendirilmesi için, rüzgâr hız ve yön verilerine ihtiyaç duyulur. Bu amaçla bölgede uygun yer veya yerlere rüzgâr ölçüm istasyonunun kurulması, rüzgâr hız ve yön değerlerinin standartlara uygun periyodik olarak ölçülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, enerji üretimi amaçlı rüzgâr verilerinin değerlendirilmesi incelenmiştir. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan Weibull dağılımı hakkında bilgiler verilmiştir. Bu amaç ile Sakarya-Esentepe bölgesinde kurulan rüzgâr ölçüm istasyonundan 2007 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarına ait rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri kullanılarak, örnek istatistiksel analiz yapılmıştır. Bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak incelenmesinde, Weibull dağılımı kullanılmıştır. Analizde sayısal çözümleme için, MATLAB programı geliştirilmiştir. Ayrıca rüzgâr verilerinin analizinde WindPRO yazılımı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, rüzgâr verileri, istatistiksel analiz

Assessment of Wind Data for the Energy Production

Abstract

The wind energy potential is an area to assess the for energy production, wind speed and direction data are required. For this purpose, firstly the measurement station will be established on suitable place or places and then in accordance with the standard value of wind speed and direction must be measured periodically. In this study, the evaluation of wind data for power generation is examined. The information about Weibull distribution used to determine the potential of wind energy is given. For this purpose, an example of statistical analysis is done with using some data of wind speed and wind direction of the months from January to June in 2007. These data are collected from the station of wind measurement in Sakarya-Esentepe area. Weibull distribution is used for the statistically examination of the potential wind energy in this study. In addition, MATLAB programme is developed for analyze of the numerical solution. And, WindPRO software is used for analyze of evaluation of the wind data.

Keywords: Wind energy, wind data, statistical analysis

1. Giriş

Enerji, ekonomik kalkınmanın ve toplumsal gelişmenin kaynağıdır. Sanayi ve teknolojiye hızlı gelişmeler, ülkelerin enerji gereksinimini her geçen gün artırmaktadır. Bu durum, ülkeleri yeni enerji kaynakları konusunda araştırmalara yönlendirmiştir [1]. Son yıllarda artan enerji gereksiniminin karşılanmasında, fosil enerji kaynaklarındaki rezerv azalışı, üretim ve kullanımında ortaya çıkan çevre kirliliği, tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir yönelme gözlemlenmektedir [2].

* Sorumlu Yazar: foral@beu.edu.tr

Rüzgâr enerjisi, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr enerjisinin ana kaynağı güneştir. Güneşten yeryüzüne gelen enerjinin yaklaşık %1-2'lik kısmı rüzgâr enerjisine dönüşür. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmamasından dolayı meydana gelen sıcaklık ve buna bağlı olarak basınç farklılıkları rüzgârı meydana getirir. Rüzgâr enerjisi, rüzgârı meydana getiren hava akımının sahip olduğu kinetik enerjidir. Bu enerjinin bir bölümü yararlı olan mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Rüzgâr enerjisi, çok eski tarihlerden beri insanlar tarafından yel değirmenlerinde ve su pompalama işlemlerinde kullanılmıştır. Günümüzde ise modern rüzgâr türbinleri yardımı ile rüzgâr enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılmaktadır [3, 4].

Rüzgâr enerji santralının projelendirilmesi ve ekonomisi, temel olarak seçilen santral sahasında üretebilecek enerji miktarına bağlıdır. Bu enerji miktarının tespiti için enerji üretim bölgelerinde yapılan rüzgâr ölçümlerinden elde edilen verilerin istatistiksel olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analiz sonucunda, bölgenin yıllık ortalama rüzgâr hızı, hâkim rüzgâr yönü, ortalama güç yoğunluğu gibi büyüklüklerin belirlenmesi ile bölgede kurulabilecek rüzgâr çiftliği için çok önemli bir alt yapı oluşturulmuş olunacaktır [4].

Bu çalışmada, enerji üretim amaçlı yapılan rüzgâr ölçümleri için kurulan rüzgâr ölçüm istasyonlarından elde edilen rüzgâr verilerinin istatistiksel analizi incelenmiştir. Ayrıca ölçüm yeri seçimi, rüzgâr ölçümünde dikkat edilmesi gereken hususlar, kullanılan ölçüm cihazları gibi konular ile ilgili bilgiler verilmiştir. Örnek bir uygulama olarak, Sakarya Üniversitesi yakınında Esentepe yöresinde kurulan rüzgâr ölçüm istasyonundan elde edilen rüzgâr verileri yardımıyla istatistiksel analiz yapılarak bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli belirlenmiştir.

2. Rüzgâr Ölçümü ve Kullanılan Cihazlar

Bir bölgede rüzgâr elektrik santralının kurularak elektrik enerji üretiminin yapılması için, bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de, rüzgâr hız ve yön değerlerinin düzenli periyotlarda sürekli olarak ölçülmesi gerekmektedir. Rüzgâr enerji santralının projelendirilmesi ve ekonomisi, temel olarak seçilen santral sahasında üretebilecek enerji miktarına bağlıdır. Bu enerji miktarının tespiti için; muhtemel enerji potansiyeli olan bölgelerinde yapılan rüzgâr ölçümlerinden elde edilen verilerin istatistiksel olarak analizinin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla bölgede uygun görülecek yer veya yerlere, standartlara uygun rüzgâr ölçüm istasyonunun kurulması gerekmektedir. Rüzgâr ölçüm istasyonları, bir ölçüm direği üzerine yerleştirilmiş ölçüm sensörlerinden oluşur. Rüzgâr enerji santral sahasının topoğrafik durumuna göre, sahayı en iyi temsil edecek bir ya da daha fazla ölçüm noktası belirlenir ve bu ölçüm direkleri bu noktalara konuşlandırılır. Ölçüm direkleri santral sahasındaki hâkim rüzgâr önüne dik olacak şekilde yerleştirilir. Ölçüm direğinin yüksekliği en az rüzgâr türbininin kule yüksekliğinin 2/3 katı kadar yapılır. Ayrıca ölçüm yapılacak arazinin topoğrafik koşullarına göre ölçüm yüksekliği değişmektedir. Günümüzde ölçüm sisteminde, boru ve kafes konstrüksiyon olmak üzere iki tip çelik direk kullanılmaktadır. Ölçüm direğinin mekanik ve elektronik olmak üzere iki önemli kısmı mevcuttur. Mekanik kısmı, taban ankraj plaka, çelik halatlar, borular, kızaklar ve diğer ek malzemeler, elektronik kısmı ise anemometre, yön sensörü, veri toplayıcı, kablolar vb. gibi diğer elektronik cihazlardan oluşur [2, 5].

Ölçüm cihazları olarak, rüzgâr hızı ölçümlerinde anemometre, rüzgâr yönü ölçümlerinde ise yön sensörleri kullanılmaktadır. Rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün yanı sıra diğer bazı meteorolojik parametrelerinin de ölçülmesi son derece faydalı olacaktır. Özellikle rüzgâr enerjisi hesaplamalarında kullanılan hava yoğunluğunun hesaplanabilmesi için basınç, çevre sıcaklığı ve nemlilik değerlerinin ölçülmesi önemlidir. İlave olarak güneş ışınım değerinin ölçülmesi de yapılacak güneş enerji santralleri projelendirmesinde fayda sağlayacaktır. Rüzgâr hızı ölçüm yüksekliği, rüzgâr enerji

potansiyeli ölçümleri için en az 30 m veya kurulmak istenen türbin hub eksen yüksekliğinde olması ve ölçümlerin periyodik olarak sürekli yapılması gerekmektedir. Ayrıca ölçüm yapılacak arazinin topoğrafik koşullarına göre ölçüm yüksekliği değişebilmektedir [2, 5].

Anemometreler, rüzgâr hızı ölçümlerinde kullanılan cihazlardır. Anemometreler, rüzgâr hızını elektriksel sinyale dönüştüren sensörlerdir. Kupalı, ultrasonik ve pervaneli anemometre olmak üzere 3 tip anemometre vardır. Rüzgâr hızı ölçümlerinde çoğunlukla kupalı anemometreler kullanılmaktadır. Bu anemometreler, dikey bir eksene sahip olup rüzgârı yakalayan 3 kupası bulunmaktadır. Kupaların dakikadaki dönme sayıları elektronik olarak kaydedilerek rüzgâr ölçümünü yapar. Ayrıca elektriksel olarak ısıtılmış şaftlı özel modelleri ile kupalı olan anemometreler soğuk iklim şartlarında da ölçme amacı ile kullanılabilir. Ultrasonik anemometreler, her bir uçtan yayılan ses dalgasının diğer kol tarafından alınması sırasında geçen sürenin ölçülmesi prensibi ile çalışmaktadır. Kısaca seste oluşan faz kaymalarını ayırt ederek ölçüm yapmaktadır. Pervaneli anemometrelerin çalışma prensibi de kupalı anemometreler ile aynıdır. Kupalı anemometreler rüzgâr yönüne dik olarak yerleştirilirken, pervaneli anemometreler ise rüzgârın esme yönüne paralel olarak yerleştirilir. Ayrıca bu tip anemometreler rüzgâr yönüne paralel monte edildiğinde yatay rüzgâr hızını, dik monte edildiğinde dikey rüzgâr hızını ölçerler. Pervaneli anemometre aslında birleşik bir sensördür. Hem hız hem de yön ölçümleri yapabilmektedir [2, 5].

Kaliteli ve iyi kalibre edilmiş anemometrelerin rüzgâr enerjisi ölçümlerinde kullanılması bir gerekliliktir. Enerji üretim amaçlı rüzgâr hızı ölçümlerinde, bağımsız ve akredite olmuş kuruluşlar tarafından rüzgâr tünellerinde yapılan kalibrasyon sertifikalı anemometreler kullanılmalıdır. Rüzgâr hızı ölçümlerinde hız ve yönün aynı düzenekte olduğu birleşik sistemler kullanılmamalıdır. Bu sistemlerde rüzgâr hızı gölgelenebilmektedir. Yön sensörünün anemometreye yakın olması ölçüm kalitesini bozmaktadır. Ayrıca kullanılacak anemometrenin gövdesi keskin hatlı olmamalı, küçük ve simetrik hatlı olmalıdır. Aksi takdirde anemometre gövdesine gelen rüzgâr, türbülans oluşturarak ölçüm sonuçlarının hatalı olmasına yol açacaktır. Kupaları ana gövdeye bağlayan bilyeli yataklar, mekanik sürtünmeyi en aza indirebilecek şekilde yüksek kalitede olmalıdır. Kullanılan anemometreler kesinlikle kalibrasyonlu olmalı ve bu kalibrasyon değerleri verileri toplayan cihaza tanıtılmalıdır [2, 5].

Yön sensörleri, rüzgârın esme yönünün belirlenmesinde kullanılan cihazlardır. Rüzgâr ölçümleri yapılırken rüzgârın hızının yanında, yönünün de ölçülmesi gereken bir diğer meteorolojik parametredir. Ölçüm yapılan bölgedeki rüzgâr, belirli bir hâkim yönden esebileceği gibi, farklı yönlerde ve farklı yüzdelerde de esebilmektedir. Rüzgâr yönlerinin değişen frekanslarını ve rüzgâr hızlarının dağılımını göstermek için yönünün ölçülmesi gerekir. Yön sensörü, rüzgârın esme yönünü elektriksel sinyale çeviren sensördür [5].

Rüzgâr ölçümlerinde ana cihazlar, anemometre ve yön sensörü olmakla beraber yardımcı cihazlar olan, sıcaklık, nem ve basınç sensörleri de kullanılmaktadır. Sıcaklık sensörleri genellikle ölçüm direğinin 2 veya 3. metresine monte edilir [5].

Veri yükleyici, anemometre, yön sensörü ve rüzgâra ait çeşitli özellikleri ölçen sensörlerden gelen bütün verilerin elektronik olarak saklandığı ve değerlendirilmesinin yapıldığı ortamı sağlayan cihazdır. Kısaca rüzgâr verisi toplayıcılarıdır. Farklı markalara ait ve değişik tasarımda bulunabilirler. Veri yükleyiciler, rüzgâr verilerini, üzerlerinde bulunan veri yongalarında depolarlar [5].

3. Materyal ve Yöntem

Bir bölgenin ekonomik amaçlı rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve sonrasında elektrik enerjisi üretim amaçlı kurulması düşünülen rüzgâr çiftliği yer seçimi, kullanılacak rüzgâr türbin tipinin belirlenmesi, yapılacak ekonomik ve fizibilite analizleri için ilk etapta doğru ve düzenli olarak

ölçülmüş rüzgâr verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla bölgede kurulacak rüzgâr ölçüm istasyonlarından alınan rüzgâr hızı, yönü ve ortam çevre sıcaklığı değerleri bir Veri yükleyicisine iletilerek depolanır. Depolanan veriler bilgisayar ortamına aktarılıp değerlendirilir. Ölçüm sistemi, anemometre ve yön sensörleri, ölçüm değerlerini her 10 saniyede bir okuyarak sonuçları 10 dakikalık ortalamalar olarak Veri yükleyicisine kaydetmektedir [2].

Rüzgâr hızının istatistiksel analizinde, iki parametrelili Weibull ve Weibull'ın şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull'a göre daha az esnektir. Ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır [6]. Weibull dağılımı birçok çalışmada rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisi analizi yapan çoğu bilgisayar yazılımları da Weibull dağılımının kullanılmasını bir zorunluluk haline getirmiştir. Weibull dağılımı, rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılmasında tercih edilen dağılım yöntemidir [7-13]. Bu analiz çalışmasında rüzgâr hızı dağılımının belirlenmesinde, iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılmıştır. Bu dağılımın şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerinin kestiriminde grafik yöntemi kullanılmıştır. Grafik yönteminin temel ilkesi, rüzgâr hızı verilerini temsil eden doğru ile gözlenen rüzgâr hızı verileri arasındaki dikey farkları en az yapmaya dayanır.

3.1. Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Rüzgâr verilerinin analizinde kullanılan Weibull dağılımının parametreleri kullanılarak herhangi bir rüzgâr hızının frekansı konusunda hassas bir tahminde bulunmak mümkün olabilmektedir. Weibull yoğunluk fonksiyonu, rüzgârın herhangi bir hızda esme sıklığını gösteren fonksiyondur. Weibull yoğunluk fonksiyonunun elde edilebilmesi için şekil ve ölçek parametrelerinin bilinmesi gerekir. Rüzgâr hızı için, iki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi,

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

biçimindedir [9]. Burada $f(v)$, v rüzgâr hızındaki Weibull yoğunluk fonksiyonunu, k boyutsuz şekil parametresini ve c ise ölçek parametresini ifade etmektedir. Ortalama rüzgâr hızı v_m , aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir [14].

$$v_m = \int_0^{\infty} v f(v) dv = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2)$$

Burada $\Gamma(\cdot)$, gama fonksiyonu aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir [6].

$$\Gamma(y) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{y-1} dx \quad (3)$$

Weibull dağılımı parametrelerinin belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Grafik metodu, en yüksek olasılık metodu en çok kullanılan yöntemlerdendir [11]. Bu çalışmada grafik metodu kullanılmıştır. Grafik metodunun temel ilkesi, rüzgâr hızı verilerini temsil eden doğru ile gözlenen rüzgâr hızı verileri arasındaki dikey farkları minimum yapmaya dayanır [15].

3.2. Rüzgâr Gücü Yoğunluğu

Rüzgâr hareket halinde bir hava akımı olduğundan kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgârdan elde edilebilecek güç,

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (4)$$

eşitliği ile ifade edilebilir [6]. Burada $P(v)$, v hızındaki rüzgârın sahip olduğu gücü, A süpürme alanını ve ρ ise havanın yoğunluğunu ifade etmektedir. Weibull dağılımı için ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu P_m aşağıda verilen eşitlik ile ifade edilebilir [7, 13].

$$P_m = \int_0^{\infty} P(v) f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left[1 + \frac{3}{k} \right] \quad (5)$$

4. Örnek Uygulama Çalışması

Bu çalışmaya örnek olması bakımından, Sakarya–Esentepe bölgesinde kurulan rüzgâr ölçüm istasyonundan elde edilen rüzgâr hızı ve yönü değerleri, rüzgâr analizde kullanılmıştır. Bu istasyonda 10 ve 30 metrelerde rüzgâr hızı, 30 metrede rüzgâr yönü ile 3 metrede çevre sıcaklığı değerlerinin ölçümü periyodik olarak yapılmaktadır. Bu analiz çalışmasında rüzgâr hızı dağılımının belirlenmesinde, iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılmıştır. Analizde, rüzgâr ölçüm istasyonundan elde edilen 2007 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran aylarını içeren rüzgâr verileri kullanılmıştır. Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerinin belirlenmesi, grafik yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Rüzgâr verilerinin analizinde kullanılmak üzere MATLAB programı geliştirilmiştir. Ayrıca rüzgâr verilerinin analizinde, grafiklerin oluşturulmasında WindPRO yazılımı kullanılmıştır. Bölgenin aylık istatistiksel rüzgâr enerjisi analizi yapılmış olup, Weibull parametreleri, rüzgâr hız dağılım frekansı, ortalama rüzgâr hızı ile güç yoğunluğu değerleri bulunmuştur.

5. Bulgular ve Tartışma

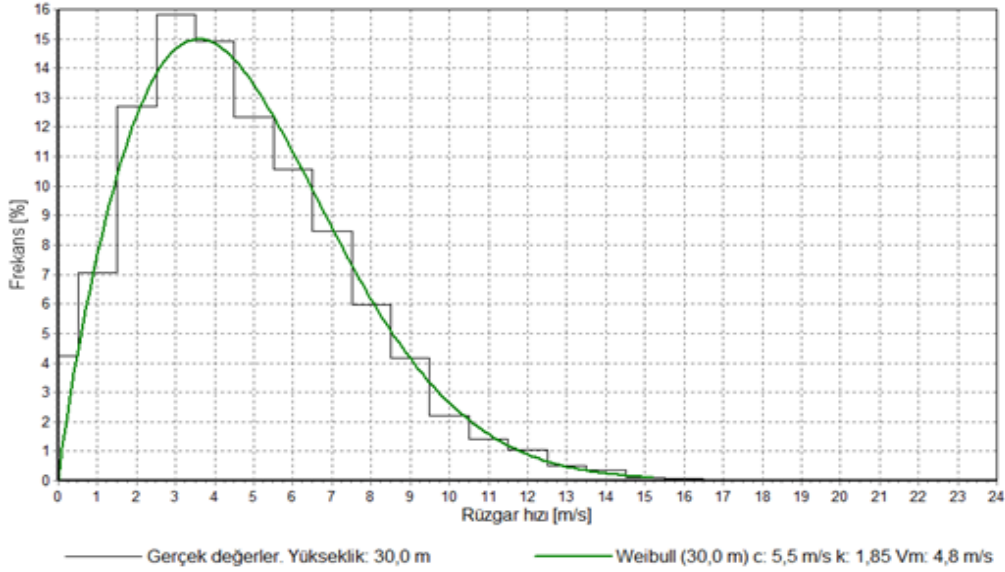
Tablo 1’de 6 aylık bir zaman periyodunu kapsayan, aylık ortalama rüzgâr hızı, Weibull parametreleri ile ortalama güç yoğunluğu değerleri verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi aylık ortalama rüzgâr hızının gerçek değerlerinin, 3.85 ile 6.16 m/s arasında değiştiği, en yüksek ortalama rüzgâr hızının Ocak ayında, en düşük ortalama rüzgâr hızının ise Haziran ayında olduğu ve tüm aylar için ortalama rüzgâr hızının gerçek değerinin 4.76 m/s olduğu belirlenmiştir. Aynı tabloda Weibull dağılımına göre aylık ortalama rüzgâr hızının 3.92 ile 6.22 m/s arasında değiştiği, en yüksek ortalama rüzgâr hızının Ocak ayında, en düşük ortalama rüzgâr hızının ise Haziran ayında gerçekleştiği ve tüm aylar için ortalama rüzgâr hızının 4.84 m/s olduğu belirlenmiştir. Tabloda görülebileceği gibi, tüm aylar boyunca ortalama (k) şekil parametresinin 1.85 ve (c) ölçek parametresini ise 5.45 m/s olduğu bulunmuştur.

Rüzgâr hızının frekans dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Ayrıca sektörel tüm aylar için ortalama rüzgâr hızı, Weibull parametreleri ile frekans değerleri, Tablo 2, Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, en büyük rüzgâr hızı frekansının % 20.85 değerinde kuzey yönde olduğu ve bu yönde yıllık ortalama rüzgâr hızının 5.16 m/s olduğu görülmüştür. Tablo 2 ve

Şekil 2’de görüldüğü gibi bölgede hâkim rüzgâr yönünün kuzey olduğu, hâkim yönde Weibull (k) şekil parametresinin 2.41, (c) ölçek parametresinin ise 5.82 m/s değerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kuzey–doğu ve kuzey–batı yönlerinde önemsenecek büyüklükte bir rüzgâr frekansının olduğu görülmüştür. Sektörel ortalama rüzgâr hızı değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Tablo 2 ve Şekil 3 incelendiğinde, yıllık ortalama rüzgâr hızı değerinin kuzey, kuzey-doğu, kuzey-batı, batı ve güney yönlerinde 4 m/s ’lik hız değerinden büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Aylık ortalama rüzgâr hızı, Weibull parametreleri ile ortalama güç yoğunluğu (30 m için)

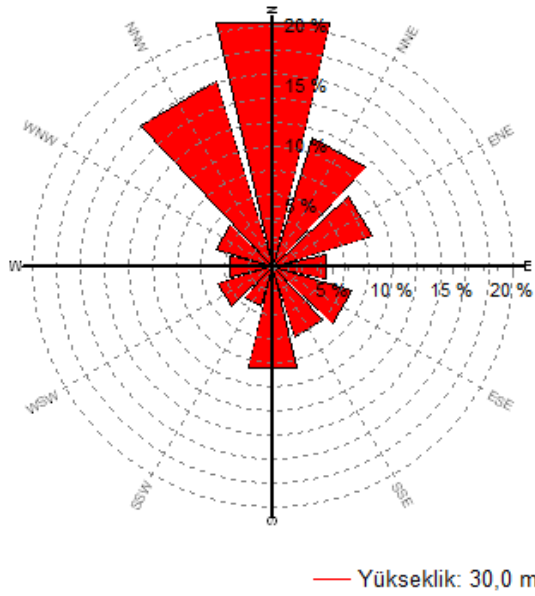
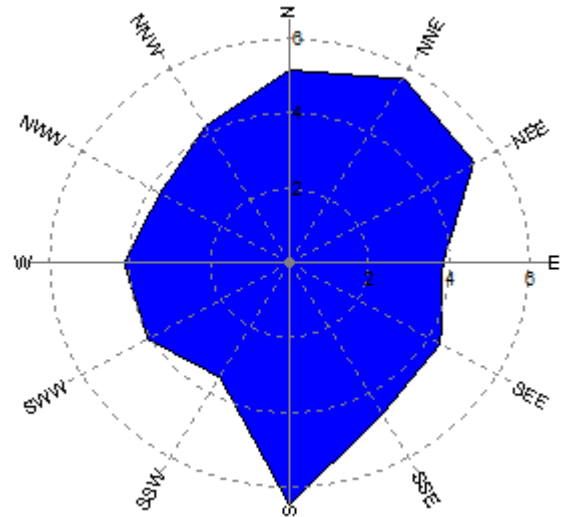
Aylar	Weibull dağılımı				Gerçek değerler	
	V_m (m/s)	k	c (m/s)	P_m (W/m ²)	V_m (m/s)	P_m (W/m ²)
Ocak	6.22	2.11	7.02	258.00	6.16	261.19
Şubat	5.37	1.99	6.06	177.06	5.23	178.54
Mart	5.28	1.91	5.95	178.77	5.27	181.05
Nisan	4.24	2.03	4.79	86.53	4.16	87.90
Mayıs	3.99	1.94	4.50	76.60	3.91	77.74
Haziran	3.92	1.90	4.41	72.95	3.85	74.43
6 Aylık	4.84	1.85	5.45	142.58	4.76	143.61



Şekil 1. Rüzgâr hızı frekans dağılımı

Tablo 2. Sektörel ortalama rüzgâr hızı, Weibull parametreleri ve frekans

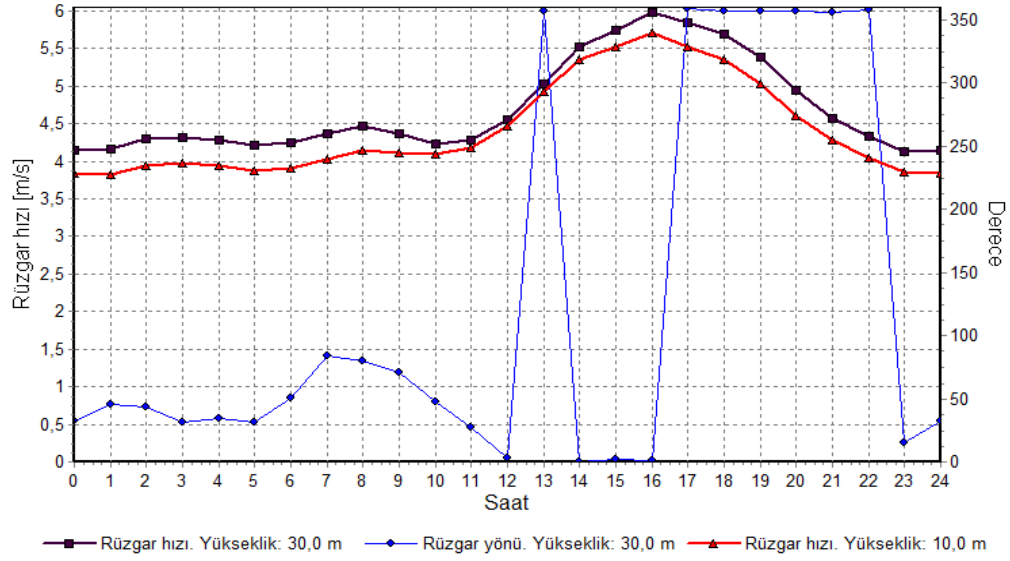
Sektör	c (m/s)	V_m (m/s)	k	Frekans (%)
0-N	5.82	5.16	2.41	20.85
1-NNE	6.43	5.70	1.99	11.27
2-ENE	6.01	5.36	1.72	8.67
3-E	4.33	3.87	1.68	4.57
4-ESE	4.87	4.36	1.62	6.90
5-SSE	5.17	4.64	1.55	6.14
6-S	7.30	6.48	2.52	8.64
7-SSW	3.93	3.50	1.73	3.43
8-WSW	4.58	4.10	1.64	4.78
9-W	4.49	4.14	1.30	3.70
10-WNW	4.20	3.74	1.82	4.95
11-NNW	4.78	4.24	2.23	16.09
Ortalama	5.45	4.84	1.85	100

**Şekil 2.** Sektörel ortalama rüzgâr frekansı**Şekil 3.** Sektörel ortalama rüzgâr hızı

Şekil 4’de tüm aylar için saatlik ortalama rüzgâr hızı ve yön değerlerinin değişimi verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi ortalama hız değerlerin 30 m’lik ölçüm yüksekliğinde, saat 14:00 ile 20:00 arasında 4-6 m/s arasında değiştiği, yıllık ortalama hız değerinin saat 12:00’ dan saat 17:00’a kadar artarak yaklaşık 6 m/s değerine kadar yükseldiği ve daha sonra normaleştiği belirlenmiştir. Benzer durumun 10 m’lik ölçüm yüksekliği içinde görülmüştür.

Rüzgârdan üretilen elektrik enerjisinin türbin göbek (hub) yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak sınıflandırılır. Buna göre bulunan yerin ortalama rüzgâr hızı, 6.5 m/s ve üzeri rüzgâr hızı enerji açısından orta düzey, 7.5 m/s ve üzeri iyi, 8.5 m/s ve yukarısı hızlar çok iyi

olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca ekonomik RES yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgâr hızı gerekmektedir [16, 17].



Şekil 4. Saatlik ortalama rüzgâr hızı ve yönü

Aylık ortalama güç yoğunluğunun değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de gösterildiği gibi aylık ortalama güç yoğunluğunun en büyük gerçek değeri Ocak ayında, en küçük değeri ise Haziran ayında 74.43 W/m^2 olarak gerçekleşmiştir. Benzer şekilde aylık ortalama güç yoğunluğunun Weibull dağılımına göre en büyük değeri Ocak ayında 258 W/m^2 olarak, en küçük değeri ise Haziran ayında 72.95 W/m^2 olduğu görülmüştür. Tüm aylar boyunca ortalama güç yoğunluğunun gerçek değeri 143.61 W/m^2 , Weibull değeri ise 142.58 W/m^2 olarak bulunmuştur.

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, enerji üretimi, amaçlı yapılan rüzgâr ölçümlerinden elde edilen rüzgâr verilerinin değerlendirilmesi incelenmiştir. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizi için örnek bir uygulama yapılmıştır. Bu amaç ile Sakarya – Esentepe bölgesinde kurulan rüzgâr ölçüm istasyonunda, 2007 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran aylarını kapsayan ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin ön araştırılması, Weibull dağılımı kullanılarak yapılmıştır. Bulunan önemli sonuç ve öneriler aşağıda özetlenebilir.

1. Rüzgâr elektrik santral projelerinde, rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde, mutlaka enerji üretim amaçlı rüzgâr ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.
2. Enerji üretim amaçlı rüzgâr ölçümlerinin yapılabilmesi için, rüzgâr elektrik santral sahasında uygun yer veya yerlere rüzgâr ölçüm istasyonu kurulması, bu istasyonlarda yapılan rüzgâr ölçümlerinin standartlara uygun periyodik olarak sürekli yapılması gerekmektedir.
3. Enerji amaçlı rüzgâr ölçümleri çok dikkat ve hassasiyet gerektirmektedir. Bu nedenle rüzgâr ölçüm istasyonunun kurulması ve ölçüm cihazlarının seçiminde uluslararası standartlara uyulması önem taşımaktadır.
4. Weibull dağılımına göre yapılan analizde, 30 m yükseklikte tüm aylar için ortalama rüzgâr hızı 4.84 m/s , aylık ortalama en yüksek rüzgâr hızının Ocak ayında, en düşük ise Haziran

ayında olduğu belirlenmiştir. Tüm aylar için Weibull parametreleri k ve c değerleri, 1.85 ve 5.45 m/s olarak hesaplanmıştır.

5. Bölgede sektörel bakımdan hâkim rüzgâr yönünün Kuzey olduğu ve bu yönde %20.85'lik bir frekans değerine sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca Kuzey-doğu ve Kuzey-batı istikametlerinde önemsenecek rüzgâr frekansının olduğu görülmüştür.
6. Weibull dağılımına göre 10 m ve 30 m yüksekliklerde yapılan ölçümlerde elde edilen verilerin saatlik değişimleri hesaplanmış ve ortalama saatlik rüzgâr hızı değerlerinin özellikle saat 12:00'den başlayarak arttığı ve bu artışın saat 17:00'a kadar sürdüğü ve sonrası azalarak normaleştiği görülmüştür. Ortalama rüzgâr hızında artışın görüldüğü bu saatlerde hâkim rüzgâr yönünün Kuzey olduğu belirlenmiştir.
7. Weibull dağılımına göre tüm aylar için ortalama güç yoğunluğunun değeri 142.58 W/m^2 , ortalama güç yoğunluğunun en yüksek değeri Ocak ayında, olduğu belirlenmiştir.
8. Aylık ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu değerlerinin gerçek ve Weibull sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak Sakarya-Esentepe bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin Weibull dağılımına göre yapılan istatistiksel analizinde, Weibull sonuçları ile gerçek sonuçların birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Bölgenin ortalama rüzgâr hızı, elektrik enerjisi üretimi açısından, orta düzeyin aşagısında olduğu fakat bölgede ölçüm yüksekliğinin artırılması, rüzgâr verilerinin en az bir yılı kapsayacak şekilde değerlendirilmesi ve arazinin farklı bölgelerinde rüzgâr ölçümünün yapıp araştırılmasıyla birlikte bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından elverişli olması beklenmektedir.

Kaynaklar

1. Oral F, Ekmekçi İ, 2009. Sakarya bölgesi rüzgâr enerjisi potansiyeli, V. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 16-17 Ekim, Kayseri.
2. Oral F, Ekmekçi İ, 2007. Rüzgâr Ölçüm İstasyonu Standartları ve Sakarya-Esentepe Rüzgâr Ölçüm İstasyonu, IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 23-24 Kasım, Kayseri.
3. Özgür MA, 2006. Kütahya rüzgâr karakteristiğinin istatistiksel analizi ve elektrik üretimine uygulanabilirliği. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
4. Oral F, Ekmekçi İ, 2010. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında Weibull dağılımının kullanılması, VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES'2010), 1-3 Aralık, Bursa.
5. Durak M, Özer S, 2008. Rüzgâr enerjisi: teori ve uygulama, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını, 543s. Ankara.
6. Johnson GL, 2001. Wind Energy Systems, Electronic Edition, KS, Manhattan.
7. Celik AN, 2003. A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey, Renewable Energy, 29: 593-604.
8. Bansal C, Bhatti TS, Kothari DP, 2002. On some of the design aspects of wind energy conversion systems, Energy Conversion and Management, 43: 2175-87.
9. Persaud S, Flynn D, Fox B, 1999. Potential for wind generation on the Guyana coastlands, Renewable Energy, 18: 175-189.
10. Lun IYF, Lam JC, 2000. A study of Weibull parameters using long-term wind observations, Renewable Energy, 20: 145-53.
11. Seguro JV, Lambert TW, 2000. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind Speed distribution for wind energy analysis, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 85: 75-84.

12. Ulgen K, Hepbasli A, 2002. Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey. International Journal of Energy Research, 26:495-506.
13. Gökçek M, Bayülken A, Bekdemir Ş, 2007. Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey, Renewable Energy, 32: 1739-1752.
14. Mayhoub AB, Azzam A, 1997. A Survey on the Assessment of Wind Energy Potential in Egypt, Renewable Energy, 11(2):235-247.
15. Karşlı VM, Geçit C, 2003. An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey, Renewable Energy, 28: 823-830.
16. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (Erişim tarihi: 11.10.2015)
17. <http://www.eie.gov.tr/yekrepa/SAKARYA-REPA.pdf> (Erişim tarihi: 11.10.2015)

Geliş Tarihi: 04/08/2015

Kabul Tarihi: 05/11/2015