

## NİĞDE İLİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ<sup>†</sup>

Uğur YILDIRIM<sup>1,\*</sup>, Yavuz GAZİBEY<sup>2</sup>, Afşin GÜNGÖR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, 07058, Antalya, Türkiye

<sup>2</sup>Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü, Kara Harp Okulu, 06654, Ankara, Türkiye

### ÖZET

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2008-2009 yılları arasında 34°42" Doğu boylamı ve 37°59" Kuzey enlemi arasında bulunan Niğde meteoroloji istasyonunda 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgar şiddeti verileri kullanılarak, Niğde bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak irdelenmiştir. Rüzgar verilerinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşım olarak Weibull dağılımı fonksiyonu kullanılmıştır. Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri moment metodu ve enerji eğilim faktörü yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak irdelenmiştir. Kullanılan her iki yöntem Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile karşılaştırılmıştır. Hata analizi sonuçlarına göre moment metodunun daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Weibull dağılım parametrelerine bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğu hesaplanmıştır. Elde edilen değerler aylık, mevsimsel ve yıllık olarak irdelenmiştir. Böylece, genel anlamda Niğde bölgesinin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi için bir ön çalışma yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Weibull Dağılımı, rüzgar enerjisi, rüzgar potansiyeli

## WIND ENERGY POTENTIAL OF NIGDE PROVINCE

### ABSTRACT

In this paper, wind energy potential of Nigde region is reviewed statistically by using the Turkish State Meteorological Service's hourly wind force data between 2008 and 2009 measured in Nigde meteorological station located between 34° 42" east longitude and 37° 59" north latitude. Weibull distribution function is used in the evaluation of wind data as statistical approach. Parameters of the Weibull distribution function moment method and the energy trend factor method were examined using two different methods. Both methods used the coefficient of determination ( $R^2$ ) and root mean square error (RMSE) was compared with error analysis. According to the results of error analysis has been determined that they have better results than the method of moments. Related with Weibull distribution parameters wind speed and wind power densities are calculated. Obtained values are discussed monthly, seasonal and annual basis. Consequently, a preliminary research for the wind energy potential of Nigde region is completed.

**Keywords:** Weibull Distribution, wind energy, wind potential

\*Tel.: +90 533 779 64 19; fax: +90 242 310 63 06. e-mail: [uguryildrm@hotmail.com](mailto:uguryildrm@hotmail.com)

<sup>†</sup>Bu makale Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, YEKS'11, Kayseri, Türkiye 2011' de bildirisi olarak sunulmuştur.

## 1. GİRİŞ

Tüm dünyada ilerleyen teknolojiye bağlı olarak elektrik enerjisine olan ihtiyaçlar da artış göstermektedir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan mevcut fosil kaynakların sınırlı olması ve gün geçtikçe azalmaları ve bir gün tükenecek olmaları nedeniyle, bir yandan elektrik enerjisi tasarruf çalışmaları sürdürülürken diğer taraftan da yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi üzerinde çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Bu kapsamda yürütülen çalışmalardan bir tanesi de son yıllarda Dünyada ve özellikle Avrupa’da büyük bir gelişim gösteren rüzgar potansiyellerinin kullanılmasıyla elektrik enerjisi üretilmesidir.

Türkiye Avrupa’da rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkelerden biridir. 2007 yılında Türkiye’nin Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) [1] yayınlanmakla beraber, Türkiye’nin il bazında rüzgar enerjisi potansiyeli detaylı olarak belirlenmemiştir. Buradan hareketle, bu çalışma kapsamında, Niğde bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün (DMİ) 2008-2009 yılları arasında Niğde ve Ulukışla meteoroloji istasyonlarında 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgar şiddeti verileri kullanılarak irdelenmiştir. Rüzgar verilerinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşım olarak Weibull dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Gerek ülkemizde gerekse de diğer bölgelerde, birçok çalışmada rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında Weibull dağılımı yaygın olarak kullanılmıştır [2-18].

Rüzgar verilerinin genelde bu dağılıma uyduğu bilinmektedir. Bununla birlikte bazı bölgelerde rüzgar verileri iki parametrelili Weibull dağılımına uymamaktadır [2-4]. Weibull dağılımı dünyanın birçok bölgesinin rüzgar dağılımını temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin kullanılma nedeni, rüzgar dağılımına çok iyi uyması, dağılımın esnek bir yapıya sahip olması, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık, parametre sayısının az olması, parametrelerin bir yükseklik için belirlenmesinin ardından farklı yükseklikler için tahmin edilebilmesi gibi faktörlerdir [2]. Rüzgar ölçümleri genelde 10-30 metre aralığında yapılmaktadır, fakat günümüz büyük güçlü rüzgar türbinlerinin göbek yükseklikleri bu değerlerin çok üzerindedir. Bu nedenle belirli bir yükseklikte ölçülen rüzgar verileri istenilen yükseklikteki değerinin bulunması için rüzgar güç profili kanunu kullanılmaktadır. Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri moment metodu ve enerji eğilim faktörü yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak irdelenmiştir. Kullanılan her iki yöntem Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile karşılaştırılmıştır. Weibull dağılım parametrelerine bağlı olarak ortalama hız ve rüzgar güç yoğunluğu istatistiksel olarak belirlenmiştir. Niğde ve Ulukışla bölgelerinin rüzgar gücü yoğunluğunun genel olarak kış ve ilkbahar aylarında en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiş olup bölgedeki rüzgar enerji potansiyelinin ekonomik açıdan değerlendirilebileceği kanısına varılmıştır.

## 2. WEIBULL DAĞILIMI

Bir bölgenin rüzgar enerjisi, uygun hız dağılımı belirlenerek hesaplanmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki rüzgar potansiyeli hesaplanmasında en yaygın kullanılan yaklaşım iki parametrelili Weibull dağılımıdır. Bu yöntemin kullanılma nedeni, rüzgar dağılımına çok iyi uyması, dağılımın esnek bir yapıya sahip olması, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık, parametre sayısının az olması, parametrelerin bir yükseklik için belirlenmesinin ardından farklı yükseklikler için tahmin edilebilmesi gibi faktörlerdir [2, 3, 14]. Weibull dağılımı, boyutsuz şekil ( $k$ ) ve rüzgar hızı ile aynı birime sahip ölçek ( $c$ ) parametrelerinden oluşan iki parametrelili bir dağılımdır.

İki parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi;

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

şeklinde. Olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f(V)$ , herhangi bir anda  $V$  hızının gözlenme olasılığını vermektedir. Weibull dağılımının ölçek parametresi olan  $c$ , aynı zamanda rüzgar verilerinde referans bir değere sahiptir.  $k$  şekil parametresinin genellikle 1.5 ile 3 değerleri arasında olması beklenmektedir. Kümülatif dağılım fonksiyonu

F(V) ise herhangi bir anda gözlenen hızın V hızına eşit veya daha küçük olma olasılığını belirtmektedir ve eşitlik (2) ile ifade edilmektedir [2,3].

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Weibull kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir. Ortalama rüzgar hızı eşitlik (3)'den hesaplanır.

$$v_{ort} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3)$$

Weibull dağılımı bir fonksiyondur ve bu fonksiyonun bir tepe noktası vardır. Bu noktanın bulunması en olası hızın bulunması yani en fazla esen rüzgar hızının bulunması anlamına gelmektedir [2].

$$v_{enolasi} = c\left(\frac{k-1}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (4)$$

Enerji akısına en fazla katkı yapan hız değeri eşitlik (5)'de ifade edilmiştir [2].

$$v_{maxE} = c\left(\frac{k+2}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (5)$$

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu eşitlik (6)'da gösterilmiştir [3].

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho c^3\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (6)$$

Burada “ρ” havanın yoğunluk değeridir ve hesaplamalarda Niğde ve Ulukışla için ortalama hava yoğunluğu değeri 1.072 kg/m<sup>3</sup> alınmıştır.

Şekil Parametresi (k) rüzgar sıklığını gösteren bir parametredir. Bir arazide rüzgar hızı çok fazla değişiklik göstermiyorsa, yani rüzgar hızı yaklaşık olarak sabit bir hızla esiyorsa (düşük veya hızlı olabilir) k parametresi büyüktür. Ölçek parametresi (c) bağıl kümülatif rüzgar hızı frekansını göstermektedir. Basit bir deyişle, c parametresi ortalama hıza bağlı olarak değişir. Ortalama hız yüksek ise, c parametresi de yüksektir [3]. Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri moment metodu ve enerji eğilim faktörü yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Rüzgar ölçümleri genelde 10-30 metre aralığında yapılmaktadır, fakat günümüz büyük güçlü rüzgar türbinlerinin göbek yükseklikleri bu değerlerin çok üzerindedir. Bu nedenle belirli bir yükseklikte ölçülen rüzgar verileri istenilen yükseklikteki değerinin bulunması için rüzgar güç profili kanunu kullanılmaktadır [19]. Farklı yükseklikler için hız eşitlik (7) ile hesaplanır.

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (7)$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{3\alpha} \quad (8)$$

Eşitlik (7)' de  $v_1$  ölçülmüş rüzgar hızını,  $v_2$  belirlenmek istenen rüzgar hızını,  $v_1$  hızının ölçüldüğü yükseklik  $h_1$ ,  $v_2$  hızının belirlenmek istediği yükseklik ise  $h_2$ ,  $\alpha$  ise Helman katsayısıdır ve rüzgar hızı ölçüm yerinin özelliklerine bağlıdır. Eşitlik (7)' de  $h_1$  yüksekliğinde hesaplanmış güç yoğunluğu  $P_1$ ,  $P_2$  ise hesaplanmak istenen  $h_2$  yüksekliğindeki güç yoğunluğudur.

## 2.1. Moment Yöntemi

Moment metodu Weibull dağılımı parametrelerini belirlemek için kullanılan en eski metotlardan birisidir. Moment metodu, veri dağılımının ortalaması ve standart sapması arasındaki ilişkiyi şekil parametresinin 1 ile 10 arasındaki değerleri için nümerik yöntemler kullanarak çözen ve şekil ile ölçek parametresinin belirlenmesini sağlayan bir metottur. Ölçek parametreleri eşitlik (9)'deki gibi ifade edilebilir [2, 3].

$$c = \frac{v_{ort}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (9)$$

Burada "Γ" Gamma fonksiyonudur. Şekil parametresi (k) ise eşitlik (10)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{ort}}\right)^{-1.086} \quad (10)$$

## 2.2. Enerji Eğilim Faktörü Yöntemi

Enerji eğilim faktörü, rüzgarın toplam gücü ile ortalama hızın küpü kullanılarak bulunan rüzgar gücünün oranı olarak tanımlanır. Enerji eğilim faktörü bulunduktan sonra şekil faktörü eşitlik (12) ile yaklaşık olarak hesaplanabilir [2-3].

$$E_{PF} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i\right)^3} \quad (11)$$

$$k = 3.9557E_{PF}^{-0.898} \quad (12)$$

Şekil faktörü bulunduktan sonra ölçek faktörü eşitlik (13) ile bulunur.

$$c = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right)^{1/k} \quad (13)$$

### 2.3. Hata Analizi

Moment metodu ve enerji eğilim faktörü yöntemi ile hesaplanan şekil ve ölçek parametrelerinin hangisinin gerçek veri için daha uygun olduğunun bulunması için hata analizinin yapılması gereklidir. Bu çalışmada kullanılan yöntemler iki farklı hata analizi yöntemi ile analiz edilmiştir. Bunlardan birincisi  $R^2$ , Belirleme katsayısıdır ve eşitlik (14) ile ifade edilebilir [2, 14-18].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (14)$$

Diğer hata analizi yöntemi ise RMSE, Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü ise eşitlik (15) ile ifade edilmiştir. Burada n gözlem sayısı, y'ler gerçek değerler, x'ler Weibull dağılımı ile hesaplanan değerler ve  $\bar{y}$  ortalama gerçek değerdir.  $R^2$  değeri büyük ya da RMSE değeri küçük dağılım fonksiyonu en iyi dağılım fonksiyonu olarak kabul edilir [2, 14-18].

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \right]^{0.5} \quad (15)$$

### 3. ANALİZ SONUÇLARI

Weibull dağılım parametrelerinin tahmin edilmesinde, Niğde ve Ulukışla Meteoroloji İstasyonlarında Ocak 2008 ile Aralık 2009 tarihleri arasında 10 metre yükseklikte ölçülmüş saatlik hız verileri kullanılmıştır.

Tablo 1. Niğde ili için Weibull parametreleri ve hata değerleri

Aylar	Metot	2008				2009			
		k	c	R <sup>2</sup>	RMSE	k	c	R <sup>2</sup>	RMSE
Ocak	MM	2.34460	2.95010	0.95348	0.02635	1.32900	2.68180	0.95861	0.02016
	EEFY	2.32190	2.95040	0.95138	0.02694	1.31410	2.67610	0.95499	0.02103
Şubat	MM	2.37380	2.99770	0.99328	0.00994	1.35090	3.37940	0.74606	0.04830
	EEFY	2.28330	2.99920	0.98815	0.01321	1.32560	3.36770	0.73520	0.04932
Mart	MM	1.42920	3.67740	0.91854	0.02233	1.60190	4.00730	0.84305	0.03179
	EEFY	1.34250	3.64010	0.88183	0.02689	1.55230	3.99490	0.83325	0.03276
Nisan	MM	1.40830	3.24910	0.91992	0.02382	1.82520	2.76530	0.91133	0.03611
	EEFY	1.39900	3.24580	0.91955	0.02388	1.70620	2.75510	0.88230	0.04161
Mayıs	MM	1.92310	2.22120	0.93841	0.03627	2.06790	2.47370	0.92144	0.03880
	EEFY	1.85630	2.21850	0.92911	0.03891	2.00740	2.47270	0.91944	0.03929
Haziran	MM	2.27880	2.79010	0.98305	0.01634	2.03620	2.73600	0.97771	0.01782
	EEFY	2.25980	2.79030	0.98209	0.01679	1.97020	2.73440	0.97067	0.02044
Temmuz	MM	2.60420	2.92210	0.91866	0.03477	2.27720	2.56280	0.92820	0.03438
	EEFY	2.57410	2.92310	0.92126	0.03420	2.28070	2.56270	0.92770	0.03450
Ağustos	MM	2.53140	2.66150	0.92090	0.03753	2.73790	2.67270	0.92365	0.03899
	EEFY	2.51140	2.66210	0.92459	0.03664	2.68130	2.67460	0.93289	0.03656
Eylül	MM	1.91280	2.47110	0.86119	0.05141	2.28710	2.52040	0.98613	0.01593
	EEFY	1.84750	2.46810	0.85415	0.05270	2.24420	2.52090	0.98510	0.01651
Ekim	MM	1.83160	2.08350	0.93393	0.03890	2.21590	2.63150	0.97883	0.01860
	EEFY	1.76960	2.08010	0.91946	0.04295	2.17340	2.63170	0.97702	0.01938
Kasım	MM	1.56810	2.21090	0.79911	0.06683	1.67970	2.61830	0.98235	0.01481
	EEFY	1.47570	2.19560	0.75984	0.07307	1.57680	2.60430	0.96080	0.02207
Aralık	MM	2.24280	2.59420	0.99227	0.01095	1.47700	3.00810	0.94051	0.02280
	EEFY	2.24890	2.59410	0.99197	0.01116	1.43390	2.99600	0.92750	0.02517
Kış	MM	2.29660	2.84450	0.99276	0.01038	1.36550	3.00560	0.91021	0.02813
	EEFY	2.25810	2.84490	0.99105	0.01151	1.33470	2.99340	0.89941	0.02977
İlkbahar	MM	1.37970	3.01510	0.89870	0.02860	1.57660	3.06320	0.85251	0.04104
	EEFY	1.30840	2.98630	0.87311	0.03201	1.47090	3.03910	0.81177	0.04636
Yaz	MM	2.45330	2.79240	0.96898	0.02266	2.29790	2.66010	0.96933	0.02243
	EEFY	2.43140	2.79290	0.97014	0.02224	2.25290	2.66060	0.97042	0.02202
Sonbahar	MM	1.74320	2.25430	0.88180	0.04955	1.99780	2.59620	0.99112	0.01151
	EEFY	1.65820	2.24660	0.85842	0.05423	1.90270	2.59310	0.98093	0.01686
Yıllık	MM	1.75080	2.74060	0.96143	0.01989	1.64050	2.83820	0.92710	0.02935
	EEFY	1.60590	2.72320	0.92799	0.02718	1.52220	2.81750	0.88501	0.03686

Weibull parametrelerini belirleme yöntemlerinden hangisinin daha iyi sonuç verdiğini belirlemede iki yöntemle hesaplanan parametrelerin gerçek verilere göre RMSE ve R<sup>2</sup> hata analizleri yapılmıştır. Tablo 1’de Niğde ili için, Tablo 2’de ise Ulukışla için Weibull parametreleri ve hata değerleri sunulmuştur. Tablo 1 ve Tablo 2 incelendiğinde moment yönteminin genellikle daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Fakat görüldüğü üzere moment yöntemi bütün aylarda en iyi yöntem değildir. İnceleme yapılırken her zaman aynı yöntemin iyi olması beklenmemelidir. Sonuçlardan yola çıkılarak genellikle en iyi sonuç veren yöntemin moment yöntemi olduğu görülmüştür. Ortalama hız, enolasi hız, en fazla enerjiyi taşıyan hız ve rüzgar güç yoğunluğu moment metodu ile belirlenen parametreler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Ulukışla için Weibull parametreleri ve hata değerleri

Aylar	Metot	2008				2009			
		k	c	R <sup>2</sup>	RMSE	k	c	R <sup>2</sup>	RMSE
Ocak	MM	1.47700	2.40510	0.87254	0.04251	1.54930	3.50990	0.87217	0.02336
	EEFY	1.37540	2.37990	0.83827	0.04788	1.59540	3.52020	0.84781	0.02549
Şubat	MM	1.66630	2.62890	0.93043	0.02847	1.65590	4.22630	0.93357	0.01642
	EEFY	1.58410	2.61750	0.92108	0.03033	1.65120	4.22530	0.93424	0.01633
Mart	MM	1.63220	4.37700	0.96280	0.01159	1.59710	3.88190	0.97114	0.01183
	EEFY	1.61820	4.37380	0.96405	0.01139	1.58680	3.87960	0.97149	0.01176
Nisan	MM	1.59420	3.53090	0.89171	0.02468	1.48080	2.75060	0.95751	0.01919
	EEFY	1.59520	3.53110	0.89161	0.02470	1.46820	2.74750	0.95965	0.01870
Mayıs	MM	1.63780	2.71640	0.87118	0.03393	1.59250	2.94960	0.76273	0.04416
	EEFY	1.65960	2.71930	0.86157	0.03517	1.61620	2.85350	0.75032	0.04530
Haziran	MM	1.76380	2.92590	0.78854	0.03975	1.77520	2.83520	0.81653	0.03940
	EEFY	1.79560	2.92860	0.77316	0.04117	1.79620	2.86680	0.80814	0.04029
Temmuz	MM	1.83470	3.08740	0.63313	0.05131	1.87480	2.87010	0.50618	0.06037
	EEFY	1.87860	3.09030	0.61398	0.05263	1.95120	2.87350	0.45134	0.06364
Ağustos	MM	1.73010	2.76120	0.45720	0.06826	1.70880	2.59670	0.57421	0.06942
	EEFY	1.78480	2.76610	0.41378	0.07093	1.76550	2.60170	0.53697	0.07240
Eylül	MM	1.68890	2.78070	0.63932	0.04952	1.80210	2.53680	0.75949	0.04964
	EEFY	1.74630	2.78670	0.59321	0.05259	1.84010	2.53910	0.73789	0.05182
Ekim	MM	1.54200	2.22540	0.93907	0.02912	1.73330	2.41320	0.92098	0.02934
	EEFY	1.51190	2.22050	0.94313	0.02813	1.74330	2.41410	0.91667	0.03013
Kasım	MM	1.48760	2.31750	0.91922	0.03092	1.69350	2.79880	0.94263	0.02363
	EEFY	1.49760	2.31950	0.91470	0.03177	1.68180	2.79740	0.94419	0.02331
Aralık	MM	1.10090	2.31080	0.97238	0.01759	1.65420	4.22840	0.55162	0.03802
	EEFY	1.19830	2.36890	0.96043	0.02105	1.71970	4.24010	0.48636	0.04069
Kış	MM	1.35430	2.45400	0.93558	0.02681	1.60490	3.97730	0.89883	0.02044
	EEFY	1.33680	2.44820	0.93167	0.02761	1.63690	3.98410	0.88666	0.02164
İlkbahar	MM	1.51960	3.51870	0.94894	0.01683	1.49920	3.15150	0.94853	0.01864
	EEFY	1.49940	3.51320	0.95105	0.01648	1.48550	3.14800	0.95026	0.01832
Yaz	MM	1.77210	2.92460	0.66298	0.05177	1.78180	2.76680	0.67591	0.05448
	EEFY	1.81370	2.92800	0.64107	0.05343	1.83050	2.77030	0.64890	0.05670
Sonbahar	MM	1.55610	2.43710	0.90641	0.03219	1.72470	2.57990	0.94944	0.02321
	EEFY	1.56810	2.43890	0.90192	0.03295	1.72540	2.58000	0.94927	0.02325
Yıllık	MM	1.48230	2.82660	0.95318	0.01959	1.53760	3.09950	0.95229	0.01817
	EEFY	1.46000	2.82100	0.95518	0.01917	1.52350	3.09630	0.95414	0.01782

Tablo 3’de ortalama hız, en olası hız (en fazla esen rüzgar hızı),  $V_{\max E}$  (enerji akısına en fazla katkı sağlayan rüzgar hızı) ve güç yoğunluğu değerleri verilmiştir. Tablo 4’de görüldüğü gibi 2008’de Niğde’de en fazla ortalama hız ve güç yoğunluğuna sahip olan aylar mart ve nisan aylarıdır. Sonuçlardan anlaşıldığı gibi bu yılda en yüksek hız değerleri ve güç yoğunluğu ilkbahar aylarında gözlenmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, 2008 yılında ilkbahar mevsiminde rüzgar güç yoğunluğu yüksek değerlerde iken 2009 yılında kış mevsimi rüzgar güç yoğunluğunun yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Niğde ili için mevsimsel ve yıllık hız değerleri ve güç yoğunlukları

	2008				2009			
	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>Kış</b>	2.5199	2.2177	3.7364	14.45	2.7506	1.1451	5.8184	35.11
<b>İlkbahar</b>	2.7545	1.1836	5.7716	34.71	2.7502	1.6185	5.1501	28.22
<b>Yaz</b>	2.4765	2.2557	3.5605	13.10	2.3566	2.0747	3.4933	11.81
<b>Sonbahar</b>	2.0082	1.3823	3.4947	9.64	2.3008	1.8341	3.6739	12.48
<b>Yıllık</b>	2.4407	1.6897	4.2348	17.26	2.5391	1.5999	4.6136	21.05

Tablo 4. Niğde ili için aylık hız değerleri ve güç yoğunlukları

Aylar	2008				2009			
	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>Ocak</b>	2.6141	2.3272	3.8377	15.86	2.4662	0.9381	5.3515	26.55
<b>Şubat</b>	2.6569	2.3808	3.8778	16.49	3.0985	1.2459	6.6205	51.19
<b>Mart</b>	3.3412	1.5847	6.7844	58.52	3.5924	2.1752	6.6452	61.54
<b>Nisan</b>	2.9586	1.3488	6.0858	41.46	2.4576	1.7901	4.1477	16.75
<b>Mayıs</b>	1.9703	1.5165	3.2180	8.15	2.1912	1.7971	3.4312	10.42
<b>Haziran</b>	2.4715	2.1653	3.6786	13.71	2.4240	1.9635	3.8286	14.32
<b>Temmuz</b>	2.5955	2.4260	3.6368	14.36	2.2701	1.9881	3.3800	10.63
<b>Ağustos</b>	2.3622	2.1822	3.3498	11.04	2.3779	2.2639	3.2654	10.68
<b>Eylül</b>	2.1923	1.6785	3.5924	11.29	2.2327	1.9602	3.3173	10.08
<b>Ekim</b>	1.8513	1.3538	3.1174	7.13	2.3306	2.0072	3.5178	11.77
<b>Kasım</b>	1.9861	1.5717	3.7348	10.71	2.3382	1.5281	4.1761	15.94
<b>Aralık</b>	2.2977	1.9938	3.4471	11.17	2.7208	1.3995	5.3707	30.03

Tablo 5. Ulukışla için aylık hız değerleri ve güç yoğunlukları

Aylar	2008				2009			
	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>Ocak</b>	2.1754	1.1190	4.2940	14.90	3.1570	1.7974	5.9933	42.48
<b>Şubat</b>	2.3490	1.5166	4.2198	15.86	3.7781	2.4160	6.8181	66.52
<b>Mart</b>	3.9174	2.4479	7.1453	75.57	3.4810	2.0965	6.4542	54.59
<b>Nisan</b>	3.1668	1.9012	5.8796	41.20	2.4871	1.2869	4.8987	22.19
<b>Mayıs</b>	2.4305	1.5273	4.4219	17.96	2.5560	1.5317	4.7995	21.69
<b>Haziran</b>	2.6047	1.8205	4.4967	20.15	2.5230	1.7778	4.3367	18.17
<b>Temmuz</b>	2.7433	2.0099	4.6143	22.49	2.5480	1.9112	4.2274	17.59
<b>Ağustos</b>	2.4609	1.6769	4.3048	17.39	2.3161	1.5517	4.0866	14.72
<b>Eylül</b>	2.4822	1.6353	4.4161	18.39	2.5558	1.6189	3.8389	12.76
<b>Ekim</b>	2.0027	1.1296	3.8163	10.91	2.1505	1.4691	3.7571	11.58
<b>Kasım</b>	2.0943	1.0949	4.1094	13.16	2.4979	1.6521	4.4355	18.68
<b>Aralık</b>	2.2291	0.2635	5.9199	27.59	3.7804	2.4134	6.8274	66.72

Tablo 5’de görüldüğü gibi Ulukışla’da en fazla ortalama hız ve güç yoğunluğuna sahip olan aylar mart ve nisan aylarıdır. Sonuçlardan anlaşıldığı gibi bu yılda en yüksek hız değerleri ve güç yoğunluğu ilkbahar

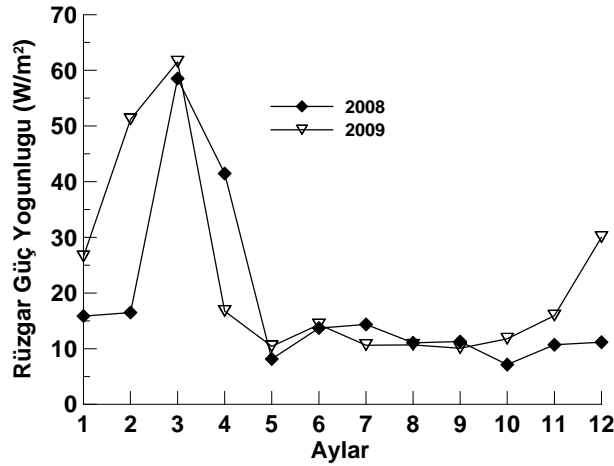


aylarında gözlenmiştir. Tablo 6 incelendiğinde, 2008 yılında ilkbahar mevsiminde rüzgar güç yoğunluğu yüksek değerlerde iken 2009 yılında kış mevsimi rüzgar güç yoğunluğunun yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

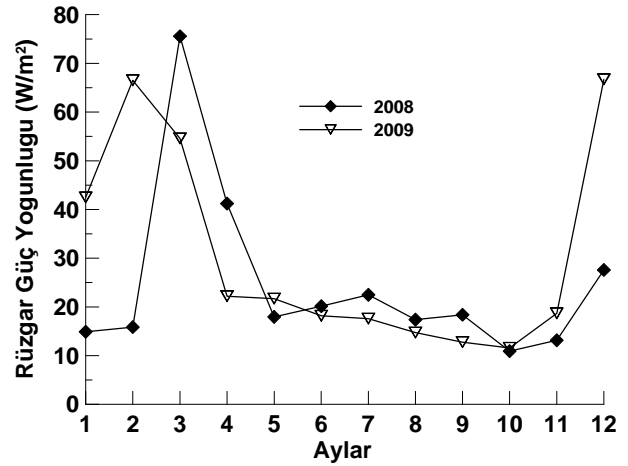
**Tablo 6.** Ulukışla için mevsimsel ve yıllık hız değerleri ve güç yoğunlukları

	2008				2009			
	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_m$ (m/s)	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	$P/A$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>Kış</b>	2.2490	0.9117	4.7941	18.93	3.5649	2.1655	6.5851	58.25
<b>İlkbahar</b>	3.1716	1.7367	6.1151	44.29	2.8452	1.5135	5.5470	32.61
<b>Yaz</b>	2.6029	1.8300	4.4795	20.81	2.4617	1.7425	4.2209	16.81
<b>Sonbahar</b>	2.1909	1.2580	4.1450	14.11	2.2997	1.5606	4.0316	14.25
<b>Yıllık</b>	2.5555	1.3253	5.0290	24.03	2.7901	1.5649	5.3286	29.64

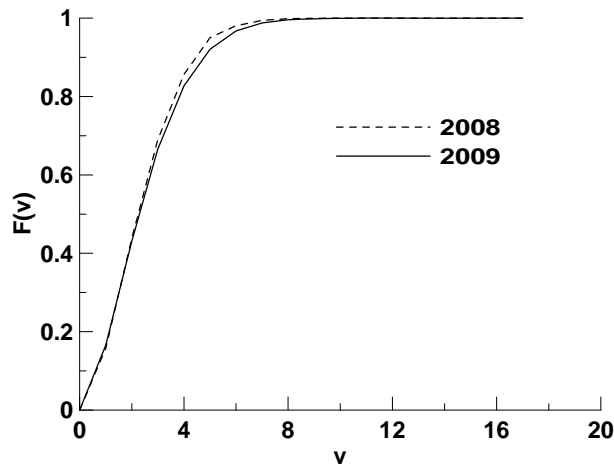
Şekil 1 ve Şekil 2 incelendiğinde 2008 ve 2009 yıllarında Niğde ve Ulukışla için genel olarak kış ve ilkbahar aylarının yüksek değerlerde olduğu, yaz ve sonbahar aylarında rüzgar güç yoğunluğunun düşük olduğu anlaşılmaktadır.



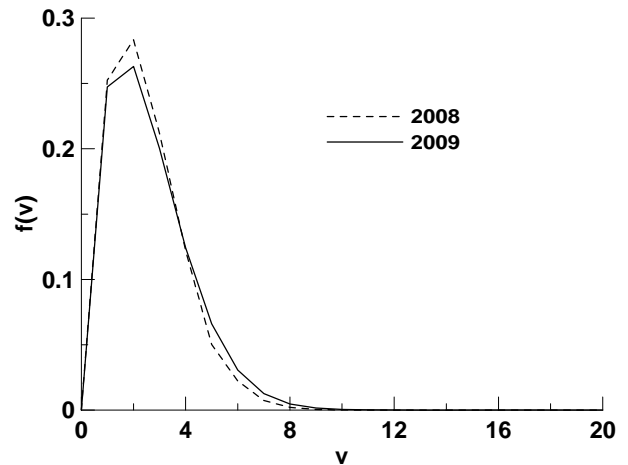
Şekil 1. Niğde ili için aylık rüzgar güç yoğunlukları



Şekil 2. Ulukışla için aylık rüzgar güç yoğunlukları

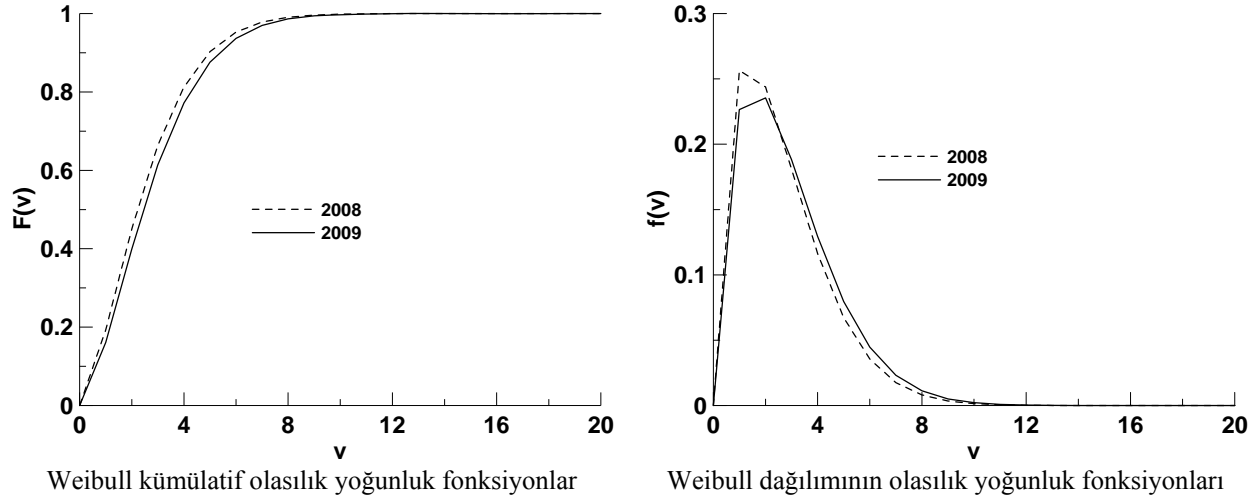


Weibull kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonları



Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonları

Şekil 3. Niğde ili için 2008-2009 yılları Weibull dağılımları



Şekil 4. Ulukışla için 2008-2009 yılları Weibull dağılımları

Şekil 1 ve Şekil 2 incelendiğinde, Niğde bölgesi için 2008 yılında kış aylarında güç yoğunluğu yüksek iken güç yoğunluğunun 2009 yılında kış ve ilkbahar aylarında yüksek olduğu görülmektedir. 2008 ve 2009 yılları için en düşük güç yoğunluğu yaz ve sonbahar aylarında gözlenmektedir. Genel olarak 2008 ve 2009 yılları için ortalama hız ve güç yoğunluğu değerleri ilkbahar aylarında yüksek çıkmıştır. Fakat enerji üretimine geçilecek olursa sadece ortalama hız ve enerji yoğunluğu değil bunun yanında verilerin nasıl dağıldığı da önem taşımaktadır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f(V)$ , herhangi bir anda  $V$  hızının gözlenme olasılığını, kümülatif dağılım fonksiyonu  $F(V)$  ise herhangi bir anda gözlenen hızın  $V$  hızına eşit veya daha küçük olma olasılığını belirtmektedir. Şekil 3. ve Şekil 4’de verilen Weibull dağılım fonksiyonlarına ait grafikler incelendiğinde, Niğde ve Ulukışla bölgesinde en yüksek rüzgar hızının 8 m/s civarında olacağı ve rüzgar hızının genellikle 2-4 m/s aralığında bir hızla eseceği anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Bir bölgenin enerji amaçlı rüzgar potansiyelinin belirlenebilmesi için, rüzgar hız dağılımının öncelikli olarak belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen rüzgar hızı dağılımına göre rüzgar güç yoğunluğu belirlenir ve gerekli ekonomik ve çevresel analizlerden sonra yararlı olup olmadığı anlaşılır. Bu çalışmada, hız dağılımının belirlenmesinde kullanılan Weibull parametreleri moment metodu ve enerji eğilim faktörü yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında Ulukışla için, rüzgar verilerinin dikkate alındığı 2008 yılı için moment metodu ve enerji eğilim faktörü yöntemi sonuçları birbirine yakın olup;  $R^2$  değerleri 0.95 civarında, RMSE değerleri ise 0.019 civarında iken ve 2009 yılı için moment metodu ve enerji eğilim faktörü yöntemi sonuçları  $R^2$  değerleri 0.95 civarında, RMSE değerleri ise moment metodu için 0.018 iken enerji eğilim faktörü yöntemi için 0.017 değerlerini almaktadır. Bu durum, rüzgar verilerinin dikkate alındığı 2008-2009 yılları için Ulukışla dikkate alındığında enerji eğilim faktörü yönteminin daha doğru sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bununla beraber Niğde il merkezinden elde edilen veriler dikkate alındığında moment metodunun belirgin bir şekilde daha doğru sonuçlar verdiği, yapılan çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu durum, bir kez daha rüzgarın coğrafi konuma bağlı olarak değişken bir yapı gösterdiğinin açık bir ispatı olmuştur. Genel olarak, rüzgar potansiyeli açısından değerlendirildiğinde 2008 yılında Niğde’de en fazla güç yoğunluğuna sahip olan mevsim ilkbahar olmasına karşın, 2009 yılında kış ayları daha fazla güç yoğunluğuna sahip olmuştur. Ayrıca, yapılan bu çalışma sonucunda 2008 ve 2009 yıllarında Niğde ve Ulukışla için genel olarak kış ve ilkbahar aylarının yüksek değerlerde olduğu, yaz ve sonbahar aylarında rüzgar güç yoğunluğunun düşük olduğu anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), "Türkiye'de Rüzgar Potansiyeli", <http://repa.eie.gov.tr/> (07.05.2012).
- [2] Akdağ S.A., Dinler A., "A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications", *Energy Convers Manage*, 50, 1761-1766.2009.
- [3] Chang T.P., "Performance comparison of six numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy application", *Appl Energy*, 88, 272-282.2011.
- [4] Güngör A., Eskin N., "Bir Sürdürülebilir Enerji Kaynağı Olarak Rüzgar Enerjisi ve Türkiye", *Termodinamik*, 165, 102-110, 2006.
- [5] Gungor, A., Eskin, N., "The Characteristics That Define Wind as an Energy Source", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30(9), 842-855, 2008.
- [6] Sahin, B., Bilgili, M., "Wind Characteristics and Energy Potential in Belen-Hatay, Turkey", *Int J Green Energy*, 6(2), 157-172, 2009.
- [7] Güngör A., "Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Çalışmalarının Weibull Dağılım Fonksiyonu Göz Önüne Alınarak İrdelenmesi", *I. Ulusal Temiz Enerji Kurultayı Bildiriler Kitabı*, Ankara, Türkiye, 27-34, 2008.
- [8] Keyhani A., Ghasemi-Varnamkhasti M., Khanali M., Abbaszadeh R., "An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran", *Energy*, 35, 188-201, 2010.
- [9] Uçar A., BALO F., "Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey", *Appl Energy*, 86, 1864-1872, 2009.
- [10] Gokcek, M., Bayulken, A., Bekdemir, S., "Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey", *Renew Energy*, 32(10), 1739-1752, 2007.
- [11] Kurban M, Hocaoglu F.O., Kantar Y.M., "Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tahmininde Kullanılan İki Farklı İstatistiksel Dağılımın Karşılaştırmalı Analizi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13, 103-109, 2007.
- [12] Almalı M.N., Ete T., "Ortalama Rüzgar Hızı Ve Güç Yoğunluğunun Hesaplanması", *YEKS'2009*, V. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Diyarbakir, Türkiye, 97-102, 2009.
- [13] Ozgur, M.A., Arslan, O., Kose, R., Peker, K.O., "Statistical Evaluation of Wind Characteristics in Kutahya, Turkey", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(16), 1450-1463, 2009.
- [14] Dursun, B., Alboyacı, B., "An Evaluation of Wind Energy Characteristics for Four Different Locations in Balıkesir", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(11), 1086-1103, 2011.
- [15] Köse, R., "An evaluation of wind energy potential as a power generation source in Kutahya, Turkey", *Energy Convers Manage*, 45, 1631-1641, 2004.
- [16] Ucar, A., Balo, F., "A Seasonal Analysis of Wind Turbine Characteristics and Wind Power Potential in Manisa, Turkey", *Int J Green Energy*, 5(6), 466-479.2008.
- [17] Akpınar, E.K., Akpınar S., "A statical analysis of wind speed data used in installation of wind energy conversion systems", *Energy Convers Manage*, 46, 515-517, 2005.
- [18] Akpınar E.K., Akpınar S., "Determination of the wind energy potential for Maden-Elazig, Turkey", *Energy Convers Manage*, 45, 2901-2913, 2004.
- [19] Patel, M.R., *Wind and Solar Power System Design Analysis and Operation*, Taylor & Francis, Raton, 2006.