

## Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi

Yusuf Alper KAPLAN\*

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Osmaniye

(Alınış / Received: 10.07.2015, Kabul / Accepted: 23.01.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2016)

### Anahtar Kelimeler

Rüzgar enerjisi  
Weibull dağılımı  
Grafik metodu  
Moment metodu  
Rayleigh dağılımı

**Özet:** Bu çalışmada, 2013 yılında saatlik olarak ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak, Osmaniye’deki rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Günümüzde hızla artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için başta Avrupa Birliğine üye ülkeler olmak üzere ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde, rüzgar türbini parametrelerinin yanında, türbin kurulum alanındaki rüzgar hız dağılımı da önemli rol oynamaktadır. Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmasında Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Yapılan bu ön araştırma sonucunda Osmaniye’nin rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak elektrik enerjisi üretimi bakımından uygun olduğu görülmüştür. Saatlik olarak ölçülen 2013 yılına ait rüzgar verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün Osmaniye Meteoroloji İstasyonu’ndan sağlanmıştır. Osmaniye bölgesinde 2013 yılında bir yıl süre ile ölçülen rüzgar hızları kullanılarak, rüzgar hızlarının esme saatlerinin Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonuna uyumu araştırılmıştır. Weibull ve Rayleigh dağılımının parametrelerini hesaplamak için Grafik ve Moment metotları kullanılmıştır. Grafik metodunda şekil ‘k’ ve ölçek parametresi ‘c’ sırasıyla 1.0046 - 1.7744 (m/s) olarak hesaplanmıştır. Moment metodunda şekil ‘k’ ve ölçek parametresi ‘c’ sırasıyla 1.6394- 2.5391 (m/s) olarak hesaplanmıştır. Sonuçta, Weibull modeli ile elde edilen değerler, Rayleigh modeli ile elde edilen değerlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

## The Evaluating of Wind Energy Potential of Osmaniye Region with Using Weibull and Rayleigh Distributions

### Keywords

Wind energy  
Weibull distribution  
Graphical method  
Moment method  
Rayleigh distribution

**Abstract:** In this study, wind energy potential of Osmaniye was statistically analyzed which based on an hourly measured wind speed data in 2013. Today, developing countries like our country especially member states of the European Union have turned to renewable energy sources in order to meet the rapidly growing need for energy. Wind power distribution plays a crucial role in producing electricity from wind power and building wind turbines. The Weibull and Rayleigh Distributions were used to investigate the region’s wind energy potential. The pre-research results show that the wind energy potential in Osmaniye is statistically suitable for electricity production. We have collected the data on the 2013 hourly-measured wind speed from Osmaniye Meteorology Station of the General Directorate of State Meteorology. We have used the 2013 wind speed values of Osmaniye for inquiring the accordance of blowing hours with the Weibull and Rayleigh Distribution function. The adaptation of blowing time of wind speed which was measured for one year in 2013 was investigated at the Weibull and Rayleigh distribution function at Osmaniye region. Graphical and Moment method were used to calculate the parameters of the Weibull and Rayleigh distribution. The shape 'k' and scale parameter 'c' of Graphical method were calculated 1.0046 - 1.7744 (m/s), respectively. The shape 'k' and scale parameter 'c' of Moment method were calculated 1.6394- 2.5391 (m / s), respectively. Consequently, the value obtained by Weibull model, according to the value obtained by Rayleigh model gave better results.

## 1. Giriş

Rüzgar enerjisi, yenilenebilir özelliğe sahip olan ve çevre bakımından da temiz bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Taşıma sorunu bulunmaz ve aynı zamanda kullanımı da yüksek bir teknoloji gerektirmez. Yenilenebilir özellikte olan rüzgar enerjisinin bazı avantajları bulunmaktadır. Atmosferde bol ve serbest olarak bulunan, elde edilmesi kolay olan ve çevre kirliliği olmayan temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş ve dünya var olduğu sürece var olan ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinden yararlanmak için başka bir enerji şekline dönüştürülmesi gerekir. Buna göre rüzgar gücü yoğunluğu iyi olan yerlerde rüzgar enerji sistemleri kurularak büyük ekonomik yararlar sağlanmaktadır. Bu çalışmada Osmaniye bölgesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden, Osmaniye için 2013 yılına ait 10 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı verileri elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, Osmaniye bölgesi için 2013 yılında saatlik olarak ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak, Osmaniye bölgesindeki rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerji potansiyeli araştırmasında gerçek değerler, Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, Weibull dağılım parametrelerinin çeşitli yöntemlerle belirlenmesi ile ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyelinin bulunarak yüksek bir rüzgar enerji potansiyeline sahip olan ülkemizde bu kaynağın verimli kullanımını artırmak için gerekli olan faktörler üzerinde durmak, düzenlenecek ulusal yenilenebilir enerji politikası ile rüzgar enerjisinden daha verimli bir şekilde nasıl faydalanabileceğimizi belirlemektir [1,2].

Gülersoy ve Çetin [3] yaptıkları çalışmada saatlik olarak ölçülen 2008 ve 2009 yıllarına ait rüzgar verilerini kullanarak Menemen'in rüzgar enerjisi potansiyelinin Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre istatistiksel olarak elektrik enerjisi üretimi bakımından uygun olduğunu göstermişlerdir. Arslan ve arkadaşları [4] Kırıkkale Üniversitesi kampüs alanında bulunan ve rüzgar hızı belirlenen bir bölgenin verileri kullanılarak, bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre analiz etmişlerdir. Yıldırım ve arkadaşları [5] Niğde meteoroloji istasyonunda 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgar şiddeti verileri kullanılarak, Niğde bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak irdelemişlerdir. 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 kullanılmışlardır.

Rüzgar enerjisi sektöründe meydana gelen teknolojik gelişmeler, rüzgar türbini ve bileşenlerinin maliyetlerinin azalması ve ülkemizde rüzgar enerjisine verilen teşviklerin artmasına paralel olarak bu konuda yapılacak olan yatırımların ciddi manada artacağı ve bu konudaki çalışmaların önem kazanacağı düşünülmektedir [4]. Literatüre bakıldığında kolay hesaplanabildiğinden ve gerçek değere çok uygun sonuçlar verebildiğinden dolayı Weibull ve Rayleigh Dağılım fonksiyonlarının bir bölgenin rüzgar potansiyelini belirlemede yaygın bir şekilde kullanıldığını görmekteyiz [6].

Herhangi bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin analizi için o bölgede saatlik rüzgar hızı ve yön bilgilerinin en az bir yıl boyunca ölçülmesi gerekmektedir. 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 [5]. Bu çalışmada Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak Osmaniye bölgesinin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Günümüzde Rüzgar potansiyelinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem Weibull dağılımı yöntemidir. Bu yöntem ile şekil ve ölçek parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreler Grafik ve Moment metotları kullanılarak hesaplanmıştır bu iki metot günümüzde en çok kullanılan metotlardan ikisi olmasından dolayı tercih edilmiştir. Grafik metodunda elde edilen verileri kullanılır ve lineer bir denklem elde edilerek katsayılar bulunur, Moment metodunda ise ortalama rüzgar hızı ve standart sapmaya bağlı olarak gama fonksiyonu kullanılarak nümerik yöntemlerle katsayılar hesaplanır.

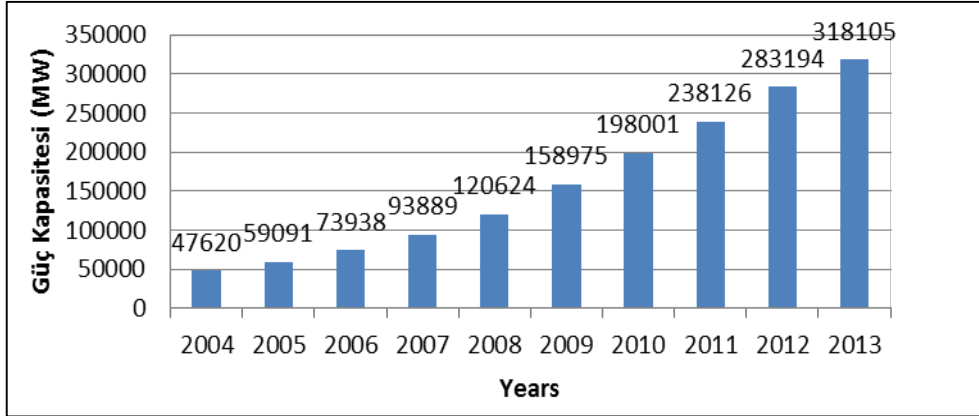
Bu çalışmanın giriş bölümünde kullanılan metotlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde Dünyada ve Türkiye'de kurulu rüzgar gücü verileri sayısal olarak verilmiştir. Üçüncü bölümde istatistiksel analiz yöntemlerinden genel olarak bahsedilmiş ve kullanılan yöntemlerin formülleri verilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar ve grafikler ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır.

## 2. Dünyada ve Türkiye'de Kurulu Rüzgar Gücü

Şekil 1 de görüldüğü üzere dünyanın kurulu rüzgar enerjisi gücü 2008 yılında yaklaşık %36'lık bir artışla 120.624GW'a ulaşmıştır [7,8]. 2009 yılında yaklaşık 38 GW'lık bir güç kurularak toplam kurulu güç 158.975 GW değerine ulaşmıştır. 2010 yılında 29 GW yeni rüzgar gücü kurularak toplamda kurulu

güç 198.000 GW değerine ulaşmıştır. 2011 yılında ise yaklaşık 40 GW rüzgar gücü kurularak toplam kurulu güç 238.126 GW seviyesine ulaşmıştır [9,10]. 2012 yılında yaklaşık 45 GW değerinde yeni rüzgar gücü kurulmuş ve dünyanın toplam kurulu gücü

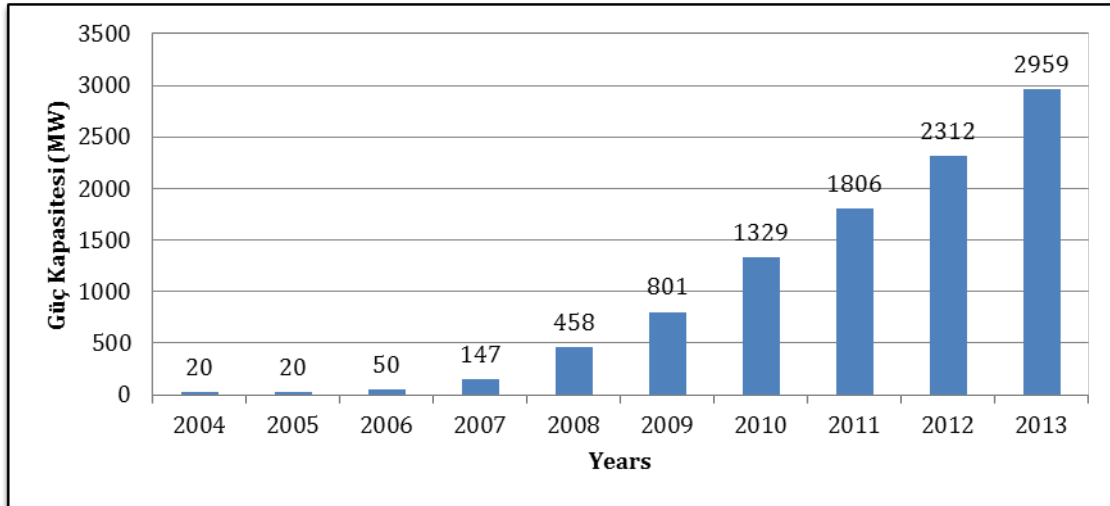
283.194 GW değerine çıkmıştır. 2013 yılı sonu itibarı ile dünyanın toplam kurulu rüzgar gücü yaklaşık 318.105 GW değerine ulaşmıştır [11].



Şekil 1. Dünyanın kurulu rüzgar enerjisi gücü

Rüzgar enerjisi yatırımları Avrupa ülkelerinde olduğu gibi, bizim ülkemizde de 2006 yılına kadar çok azdı. Fakat, 2006 yılından sonra mevcut fosil kaynakların azalması ve nüfus artışına paralel olarak artan enerji talebini karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır [12]. Şekil 2'den de anlaşılacağı gibi ülkemizde çok düşük olan rüzgar enerjisi kurulu güç miktarı son yıllarda artmaktadır. Bu kurulu gücün artmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin anlaşılmasının yanında; yapılan yatırımların artmasının da etkisi bulunmaktadır.

Şekil 2'de gösterildiği gibi 2010 yılında ülkemizde 528 MW yeni rüzgar gücü kurularak toplam rüzgar enerjisi gücü 1329 MW değerine ulaştırılmıştır. 2011 yılında ise 470 MW yeni rüzgar gücü kurularak toplam kurulu rüzgar enerjisi gücü 1806 MW değerine çıkarılmıştır. 2012 yılında ülkemizde kurulu rüzgar gücü 2312 MW değerine çıkmıştır. Son yıllarda kurulu rüzgar gücünün artış oranına bakılacak olursa; yaklaşık %30 seviyesinde olduğu görülmektedir. Ülkemizde 2013 yılı sonu itibarıyla kurulu rüzgar gücü seviyesi 2959 MW seviyesine ulaşmıştır [13].



Şekil 2. Türkiye'nin kurulu rüzgar enerjisi gücü

### 3. İstatiksel Analiz

#### 3.1. Rüzgar enerjisi potansiyeli

Rüzgar enerjisi, atmosferde bol ve serbest olarak bulunabilen, yoğunluğu az bir enerjidir. Rüzgar, kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin, bilimsel ve teknik açıdan enerjiye dönüştürülen kısmı "Rüzgar enerjisi teknik potansiyeli" dir. Ekonomik olarak değerlendirilebilen kısmı ise "Rüzgar enerjisi ekonomik potansiyeli" olarak adlandırılır. Türbülans ve perdelemenin az olduğu kıyı kesimleri ve tepeler, yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Rüzgar enerjisi, topografya, yüzey yapısı ve perdeleyici engeller gibi faktörlerden etkilendiği için güneş enerjisine nazaran konum itibarıyla daha fazla değişmekte ve daha zor tahmin edilebilmektedir. Yapılan rüzgar türbinleriyle, ancak belirli bir rüzgar hızı aralığında enerji üretilebilmektedir. Bu nedenle, enerji üretim sisteminin kurulacağı yörenin rüzgar rejiminin bilinmesi öncelikli ve önemli bir konudur. Rüzgar enerjisinin miktarı, rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpüyle orantılı olarak artmaktadır. Rüzgarın sağlayacağı enerji, gücüne ve esme süresine bağlıdır. Rüzgar türbini alanında esas gelişme, uçak pervane ve kanatlarının geliştirilmesi ile mümkün olmuştur [3].

Rüzgar hızının dağılımın belirlenmesinde kullanılan pek çok dağılım fonksiyonu vardır. İki parametrelili Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonları en yaygın olarak kullanılanlardır. Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull'a göre daha az esneklik; ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Bir bölgenin rüzgar veri analizinin hazırlanması, daha önce ölçülmüş ve elde edilmiş olan değerlerden faydalanarak o bölgenin performansını tahmin edebilme işlemidir. Herhangi bir noktada ilgili değerler yani saatlik rüzgar hızı ve yön bilgileri gözlemlenir ve elde edilen sonuçların frekans ve olasılığını modellemek için istatistiksel sonuçlar bulunur [14].

#### 3.2. Weibull dağılım fonksiyonu

Bu çalışmada Weibull dağılım fonksiyonunun ölçek ve şekil parametreleri bulunurken Grafik ve Moment metotları kullanılmıştır çünkü bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde iki metodunda gerçek verilerle uyum gösterdiği görülmüştür. Pratikte bir bölgenin rüzgar enerjisini belirlemek için değişik metotlar vardır. Belirli bir bölgenin potansiyelini belirlemek için, eğer mümkünse rüzgar hızı dağılımı ölçümü veya frekans dağılımı kullanılır. Değilse, rüzgar hızı dağılımı diğer analitik dağılım fonksiyonları ile gösterilebilir. Bu fonksiyonlardan birisi de, Weibull dağılım fonksiyonudur. Bu dağılım oldukça esnek ve basit olmasının yanında gerçek verilerle uyum sağlamaktadır. Başka bir deyişle, Weibull dağılımı rüzgar hızı verilerine uygun

olduğundan, rüzgar enerjisi analizlerinde genel olarak kabul görmektedir [15].

Olasılık yoğunluk fonksiyonu rüzgar hızlarının dağılımını tanımlayan matematiksel bir fonksiyondur. Bir olasılık dağılımının fonksiyonu  $p(v)$ , birikmiş olasılık dağılım fonksiyonunun  $P(v)$  türevi olarak tanımlanır:

$$p(v) = P'(v) \quad 0 < v < \infty \quad (1)$$

Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull dağılımının genel ifadesi,

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

şeklinde. Burada  $p(v)$  gözlemlenen rüzgar hızı  $v$ 'nin olasılık fonksiyonu,  $k$  ve  $c$  Weibull parametreleridir [13,10].

Ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle Weibull parametreleri  $k$  ve  $c$ 'nin bulunması gereklidir

#### 3.3. Grafik metodu

Grafik yönteminde, Weibull olasılık dağılımının parametreleri grafik çizilerek hesaplanır, yani burada herhangi bir hesaplama yoktur. Grafik yönteminde öncelikle veri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve her bir gözlem değeri için sıra meydanları hesaplanır. Verilerin sıra meydanları belirlendikten sonra, grafik üzerinde veri ve sıra meydanları çizilir. Grafiğin X ekseninde zaman verileri, Y ekseninde ise kümülatif yüzdeler yer almaktadır. Bu noktalar içinde en mümkün doğru elde edilir. Bu doğrudan elde edilen değer, şekil parametresinin tahmini değeridir. X eksenine paralel çizilen doğrunun üzerinde yer alan değer  $Q(t)$  değerinden dikey bir doğru çizildiğinde, doğrunun X eksenini kestiği nokta ise ölçek parametresinin değeridir [15,16].

Bu yöntemde, (3) nolu ifadeyi lineer bir formda yazmak için ifadenin her iki tarafının da iki defa logaritması alınır,

$$-\left(\frac{v}{c}\right)^k = \ln[1 - P(v)] \quad (3)$$

$$k \ln(v) - k \ln(c) = \ln[-\ln[1 - P(v)]] \quad (4)$$

eşitliği bulunur.

Burada  $x = \ln(v)$ ,  $y = \ln[-\ln[1 - P(v)]]$  değerleri bulunur elde edilen  $x$  ve  $y$  değerleri kullanılarak Şekil 3 te gösterilen lineer denklem elde edilir [10].

Bir bölgenin rüzgar veri analizinin hazırlanması, daha önce ölçülmüş ve elde edilmiş olan değerlerden faydalanarak o bölgenin performansını tahmin

edebilme işlemidir. Herhangi bir noktada ilgili değerler yani saatlik rüzgar hızı ve yön bilgileri gözlemlenir, rüzgar hızının dağılımı bulunarak, rüzgar gücü ne ilişkin tahminler yapılır. İlk önce, Tablo 1'de görüldüğü gibi rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekansı  $f_i$  (esme sayıları) ve olasılığı  $p(v_i)$  elde edilir. Tablo 1'in ikinci sütununda rüzgar hızları belirli aralıklarda gruplandırılmıştır. Üçüncü sütun, her bir hız oranı için ortalama rüzgar hızını vermektedir. Her bir hız oranının esme sayısı veya frekansı dördüncü sütunda gösterilmiştir. Olasılık yoğunluğu ise tablonun beşinci sütununda yer almaktadır. Her bir hız oranı için olasılık yoğunluğu,

$$p(v_i) = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (5)$$

denklemden bulunur. Kümülatif olasılık yoğunluğu tablonun altıncı sütununda gösterilmiş olup, belirtilen hız değerinden küçük hızların olasılıkları toplamıdır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu rüzgar hızlarının dağılımını tanımlayan matematiksel bir fonksiyondur. Bir olasılık dağılımının fonksiyonu  $p(v)$ , kümülatif olasılık dağılım fonksiyonunun  $P(v)$  türevi olarak tanımlanır:

$$P'(v) = [p(v)]'_{-\infty} \quad (6)$$

denklemi elde edilir. Bir başka ifadeyle,

$$P(v \in B) = \int_B p(v) dv \text{ olur.}$$

Normalizasyon şartı ile kısıtlama yapılırsa,

$$P(-\infty < v < \infty) = \int_{-\infty}^{\infty} p(v) dv = 1 \text{ olur.}$$

Özel durumlar için,

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(v) dv = \int_{-\infty}^v p(v) dv + \int_v^{\infty} p(v) dv = 1 \quad \text{ve}$$

$$P(v) = 1 - \int_v^{\infty} p(v) dv$$

elde edilir.  $p(v)$ 'nin  $v$ 'den sonsuza integrali alındıktan sonra,

$$P(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (7)$$

veya,

$$\exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] = 1 - P(v) \quad (8)$$

ifadesi elde edilir. Bu fonksiyon Weibull dağılımının birikmiş olasılık fonksiyonudur. Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull dağılımının genel ifadesi,

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (9)$$

şekindedir. Burada  $p(v)$  gözlemlenen rüzgar hızı  $v$ 'nin olasılık fonksiyonu,  $k$  ve  $c$  sırasıyla şekil ve ölçek parametreleridir.

**Tablo 1.** Saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve olasılık düzeni

$i$	$v_i$ (m/s)	$v_i$ (m/s)	$f_i$	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0.5	2485	0.272299	0.272299
2	1-2	1.5	3013	0.330156	0.602455
3	2-3	2.5	1197	0.131164	0.733618
4	3-4	3.5	722	0.079115	0.812733
5	4-5	4.5	648	0.071006	0.883739
6	5-6	5.5	544	0.05961	0.943349
7	6-7	6.5	262	0.028709	0.972058
8	7-8	7.5	113	0.012382	0.98444
9	8-9	8.5	51	0.005588	0.990028
10	9-10	9.5	47	0.00515	0.995179
11	10-11	10.5	25	0.002739	0.997918
12	11-12	11.5	12	0.001315	0.999233
13	12-13	12.5	6	0.000657	0.99989
14	13-14	13.5	1	0.00011	1

Tablo 1'in ikinci sütununda rüzgar hızları belirli aralıklarda gruplandırılmıştır. Üçüncü sütun, her bir hız oranı için ortalama rüzgar hızını vermektedir. Her bir hız oranının esme sayısı veya frekansı dördüncü sütunda gösterilmiştir. Olasılık yoğunluğu ise tablonun beşinci sütununda yer almaktadır.

Bu yöntemde, (9) nolu ifadeyi lineer bir formda yazmak için ifadenin her iki tarafının da iki defa logaritması alınır,

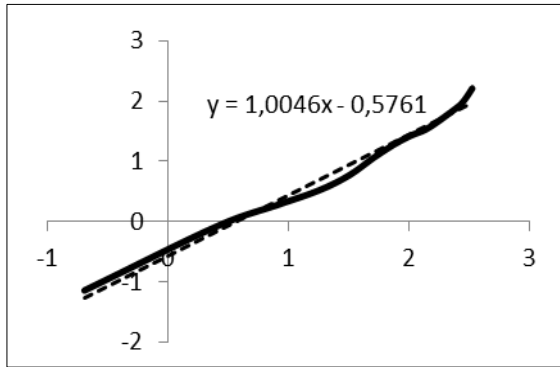
$$-\left(\frac{v}{c}\right)^k = \ln[1 - P(v)]$$

$$k \ln(v) - k \ln(c) = \ln[-\ln[1 - P(v)]] \quad (10)$$

eşitliği bulunur. Burada  $x = \ln(v)$ ,  $y = \ln[-\ln[1 - P(v)]]$ ,  $A=k$  ve  $B=-k \ln(c)$  kabul edilirse  $y=Ax+B$  şeklinde lineer bir denklem bulunur. Ayrıca,  $B=-k \ln(c)$ 'den  $c=\exp(-B/A)$  ifadesi elde edilir.

**Tablo 2.** Saatlik rüzgar hızlarının xi ve yi düzeni

$x_i = \ln(v_i)$	$y_i = \ln[-\ln[1-P(v_i)]]$
-0.69315	-1.14613
0.405465	-0.08073
0.916291	0.279769
1.252763	0.515944
1.504077	0.766358
1.704748	1.054605
1.871802	1.274698
2.014903	1.426249
2.140066	1.527799
2.251292	1.674231
2.351375	1.820419
2.442347	1.97032
2.525729	2.210347

**Şekil 3.** Saatlik rüzgar hızlarının xi ve yi düzeninin grafiği

$y=Ax+B$  A ve B ifadelerinin sayısal değerleri belirlendiğinden k ve c Weibull parametrelerini,

$$k = A, \quad c = \exp\left(\frac{-B}{A}\right) \quad (11)$$

şeklinde hesaplamak mümkündür. Buna göre,  $k=1,0046$  ve  $c=1,7744$  m/s olarak bulunur. Weibull parametrelerin bulunmasıyla birlikte ortalama rüzgar hızı ve rüzgar enerji potansiyeli,

$$v_{ort} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (12)$$

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

denklemleriyle hesaplanır. Burada  $\rho$  havanın yoğunluğu (1,209 kg/m<sup>3</sup>),  $\Gamma$  gama fonksiyonudur. (x)'in gamma fonksiyonu ise,

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{x-1} du \quad \text{ve} \quad \Gamma(1+x) = x\Gamma(x) \quad (14)$$

şeklinde ifade edilir. Buna göre, ortalama rüzgar hızı 1,77098m/s ve ortalama rüzgar enerji potansiyeli 19,9168 W/m<sup>2</sup> olarak bulunur.

### 3.4. Moment yöntemi

Moment yöntemi, Weibull dağılımı parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Moment yöntemi dağılımın ortalaması ve standart sapması arasındaki ilişkiyi şekil parametresi için çözen bir yöntemdir. Dağılımın standart sapması, ortalaması ve şekil parametresi hesaplandıktan sonra ölçek parametresi hesaplanabilir [5].

Ölçek parametresi denklem (15)' deki gibi ifade edilebilir.

$$c = \frac{v_{ort}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (15)$$

Burada  $\Gamma$  Gamma fonksiyonunu göstermektedir. Şekil parametresi (k) ise denklem (16) ile ifade edilebilir.

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{ort}}\right)^{-1,086} \quad (16)$$

Burada  $\sigma$ , Standart sapmayı ve  $V_{ort}$ , Ortalama hızı aşağıda verilen formüller ile bulunur.

$$v_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (17)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - v_{ort})^2} \quad (18)$$

Buna göre,  $k=1,639444$ ,  $c=2,53714$  m/s,  $v_{ort} = 2,2699$ m/s ve  $\sigma = 1,4398$  olarak bulunur.

Buna göre, ortalama rüzgar hızı 2,2699m/s ve ortalama rüzgar enerji potansiyeli 16,97556 W/m<sup>2</sup> olarak bulunur.

### 3.5. Rayleigh dağılımı

Rüzgarın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, enerji üretimi değerlendirmeleri için çok önemlidir. Türbin tasarımcıları; türbin iyileştirmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgar dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Bir yerde sadece ortalama rüzgar hızı ( $v_{vort}$ ) biliniyorsa; Rayleigh Dağılım Fonksiyonu yardımıyla herhangi bir rüzgar hızının ( $v_{ri}$ ), esme saati ( $h_r$ ) yüzdesi bulunabilir. Bunun sonucunda ortaya çıkan rüzgar hızları bir olasılık yoğunluğu dağılımıdır. Dağılım şematik olarak çizildiğinde bu dağılımın altında kalan alan bire eşittir. Çünkü, rüzgarın sıfır dahil herhangi bir hızda esme olasılığı %100'dür. Rayleigh yoğunluk fonksiyonu:

$$f_R(v) = \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{v}{v_m^2}\right) \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v}{v_m^2}\right)^k\right] \quad (19)$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F_R(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (20)$$

şekindedir. Rayleigh Dağılım fonksiyon'una göre esme hızı saati,

$$h_r = \frac{\pi}{2} \frac{v_{ri}}{v_{rort}^2} \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v_{ri}}{v_{rort}}\right)^2\right] \quad (21)$$

olarak bulunur. Rayleigh dağılımının en büyük avantajı sadece ortalama rüzgar hızı ile dağılımın belirlenmesidir [4].

#### 4. Bulgular

Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden, Osmaniye için 2013 yılına ait saatlik rüzgar hızları ve saatlik esme yönleri verileri elde edilmiştir. Bir yörenin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenebilmesi için, o yöreye ait uzun yıllara dayalı rüzgar ölçümleri yapılmalıdır. Bu çalışmada, bir yıllık ölçüm değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 3'de incelenen zaman aralıkları için ortalama rüzgar hızı, şekil parametresi ve ölçek parametreleri verilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3' de gerçek rüzgar hızı esme süreleri ile Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarından elde edilen esme süreleri arasındaki hata değerleri verilmiştir.

Weibull ve Rayleigh fonksiyonları ile elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki hatalar:

$$\%WeibullHatası = \frac{\%gerçek\_veri - \%weibull\_veri}{\%gerçek\_veri} \quad (22)$$

$$\%Rayleighhatası = \frac{\%gerçek\_veri - \%rayleigh\_veri}{\%gerçek\_veri} \quad (23)$$

denklemleri ile bulunabilir.

Her iki metot kullanılarak bulunan ortalama hızlar, güç yoğunlukları, şekil ve ölçek parametreleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Kullanılan metotlara göre Weibull Dağılım fonksiyonu parametreleri

Parametreler	Grafik metodu	Moment metodu
k	1.0046	1.6394
c m/s	1.7744	2.5371
$v_{ort}$ m/s	1.7709	2.2699
$P_W W/m^2$	19.9168	16.97556

Tablo 4'te Grafik yöntemi ile elde edilen Weibull ve Rayleigh dağılımlarının sonuçları gerçek rüzgar hızları ile karşılaştırılmıştır ve hata analizleri yapılmıştır. İki yöntemde de bulunan sonuçlarda hata değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.** 2013 yılı için gerçek rüzgar hızları ile Weibull ve Rayleigh dağılımlarının karşılaştırılması (Grafik Yöntemi)

Rüzgar Hızı (m/s)	Gerçek esme saati%	Weibull esme saati%	% Weibull hatası	Rayleigh esme saati%	% Rayleigh hatası
0.5	27.23	42.53	-0.56	29.34	0.38
1.5	33.02	24.31	0.26	46.63	0.39
2.5	13.12	13.83	-0.05	21.82	0.37
3.5	7.91	7.85	0.01	4.54	0.43
4.5	7.10	4.45	0.37	0.46	0.43
5.5	5.96	2.52	0.58	0.02	0.37
6.5	2.87	1.43	0.50	0.00	0.36
7.5	1.24	0.81	0.35	0.00	0.36
8.5	0.56	0.46	0.18	0.00	0.36
9.5	0.52	0.26	0.50	0.00	0.36
10.5	0.27	0.15	0.47	0.00	0.36
11.5	0.13	0.08	0.37	0.00	0.36
12.5	0.07	0.05	0.29	0.00	0.36
13.5	0.01	0.03	-1.41	0.00	0.36

Tablo 5'te Moment yöntemi ile elde edilen Weibull ve Rayleigh dağılımlarının sonuçları gerçek rüzgar hızları ile karşılaştırılmıştır ve hata analizleri yapılmıştır. Her iki yöntemde elde edilen sonuçlarda hata oranının genelde % 1 den daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 5.** 2013 yılı için gerçek rüzgar hızları ile Weibull ve Rayleigh dağılımlarının karşılaştırılması (Moment Yöntemi)

Rüzgar Hızı (m/s)	Gerçek esme saati%	Weibull esme saati%	% Weibull hatası	Rayleigh esme saati%	% Rayleigh hatası
0.5	27.23	21.33	0.22	14.94	0.45
1.5	33.02	30.26	0.08	32.86	0.00
2.5	13.12	24.12	-0.84	29.42	-1.24
3.5	7.91	14.58	-0.84	16.22	-1.05
4.5	7.10	7.22	-0.02	6.02	0.15
5.5	5.96	3.03	0.49	1.56	0.74
6.5	2.87	1.10	0.62	0.28	0.90
7.5	1.24	0.35	0.72	0.04	0.97
8.5	0.56	0.10	0.82	0.00	0.99
9.5	0.52	0.02	0.95	0.00	1.00
10.5	0.27	0.01	0.98	0.00	1.00
11.5	0.13	0.00	0.99	0.00	1.00
12.5	0.07	0.00	1.00	0.00	1.00
13.5	0.01	0.00	1.00	0.00	1.00

Tablo 6'da ise her ay için hesaplanan ortalama rüzgar hızları ile güç yoğunlukları sırasıyla verilmiştir. En iyi rüzgar potansiyelinin Aralık ayında olduğu ve en kötü rüzgar potansiyelinin Ekim ayında olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 6.** 2013 yılı için aylık ortalama rüzgar hızları ve aylık ortalama enerji potansiyeli

Aylar	$v_{ort}(m/s)$	$P/A(W/m^2)$
Ocak	2.075	5.404
Şubat	2.345	7.802
Mart	2.764	12.773
Nisan	2.098	5.586
Mayıs	2.024	5.017
Haziran	2.547	9.989
Temmuz	2.743	12.483
Ağustos	2.473	9.149
Eylül	2.060	5.291
Ekim	1.554	2.265
Kasım	1.730	3.143
Aralık	2.958	15.661

Tablo 7 ve Tablo 8'de her iki metot için bulunan değerler aylık olarak sırasıyla verilmiştir. Grafik metoduna göre rüzgar potansiyelinin en iyi olduğu ay Mart, rüzgar potansiyelinin en kötü olduğu ay ise Ekim olmuştur. Moment metoduna göre ise rüzgar potansiyelinin en iyi olduğu ay Aralık, rüzgar potansiyelinin en kötü olduğu ay ise Ekim olmuştur.

**Tablo 7.** 2013 yılı için Weibull Dağılımı (Grafik Metodu) parametreleri ve sonuçları

Aylar	k	c	Vort	$P/A(W/m^2)$
Ocak	1,600	1,562	1,400	4,189
Şubat	1,244	1,856	1,730	11,654
Mart	1,551	2,211	1,989	12,321
Nisan	1,596	1,670	1,498	5,058
Mayıs	1,620	1,444	1,293	3,191
Haziran	1,698	1,794	1,601	5,697
Temmuz	1,785	1,819	1,618	5,534
Ağustos	1,667	1,632	1,458	4,402
Eylül	1,633	1,481	1,325	3,397
Ekim	1,512	1,196	1,078	2,037
Kasım	1,522	1,286	1,159	2,505
Aralık	1,472	2,142	1,938	12,307

**Tablo 8.** 2013 yılı için Weibull Dağılımı (Moment Metodu) parametreleri ve sonuçları

Aylar	k	c	$P/A$
Ocak	1.277	2.239	19.159
Şubat	1.136	2.456	34.834
Mart	1.219	2.950	49.446
Nisan	1.392	2.300	17.055
Mayıs	1.347	2.207	16.183
Haziran	1.337	2.772	32.646
Temmuz	1.447	3.024	35.831
Ağustos	1.227	2.644	34.940
Eylül	1.328	2.241	17.483
Ekim	1.577	1.731	5.738
Kasım	1.168	1.827	13.205
Aralık	1.078	3.046	78.464

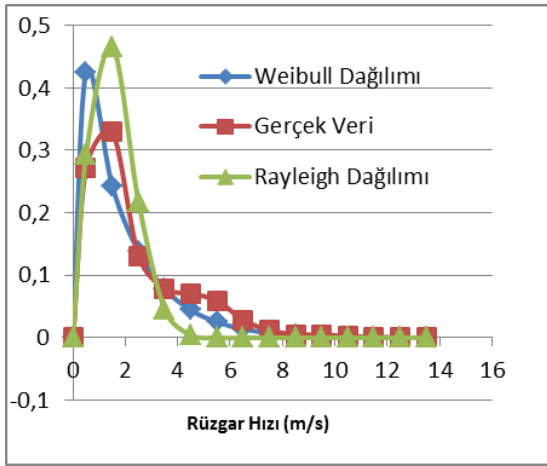
Tablo 9'da Rayleigh dağılım fonksiyonuna göre elde edilen ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları her iki metota göre aylık olarak verilmiştir. Grafik metoduna göre rüzgar potansiyelinin en iyi olduğu ay Mart, rüzgar potansiyelinin en kötü olduğu ay ise Ekim olmuştur. Moment metoduna göre ise rüzgar potansiyelinin en iyi olduğu ay Aralık, rüzgar potansiyelinin en kötü olduğu ay ise Temmuz olmuştur.

**Tablo 9.** 2013 yılı için Rayleigh Dağılımı (Grafik ve Moment metodları) parametreleri ve sonuçları

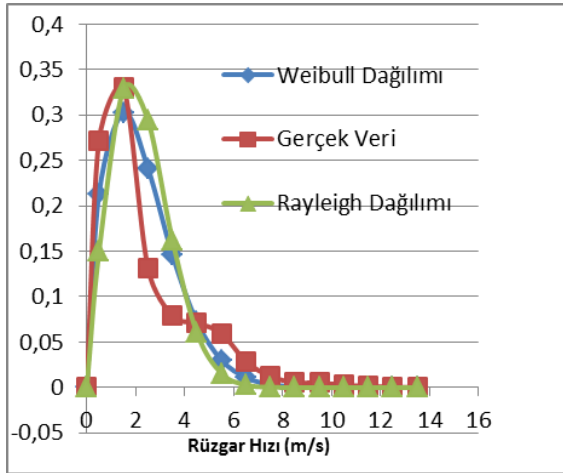
Aylar	$P/A$ (Grafik Metodu)	Vort (Grafik Metodu)	$P/A$ (Moment Metodu)	Vort (Moment Metodu)
Ocak	3.064	1.384	9.020	1.984
Şubat	5.141	1.645	11.907	2.176
Mart	8.695	1.960	20.645	2.165
Nisan	3.747	1.480	9.782	2.038
Mayıs	2.422	1.280	8.640	1.956
Haziran	4.647	1.590	17.131	2.457
Temmuz	4.838	1.612	2.242	2.680
Ağustos	3.494	1.446	14.864	2.343
Eylül	2.611	1.312	9.044	1.986
Ekim	1.375	1.060	4.170	1.534
Kasım	1.712	1.140	4.901	1.619
Aralık	7.901	1.898	22.714	2.699

Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarına bağlı olarak bulunan ortalama rüzgar hızı esme sürelerinin yoğunluğu Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Grafik metodu ile elde edilen sonuçların gerçek verilere daha yakın olduğu görülmüştür.



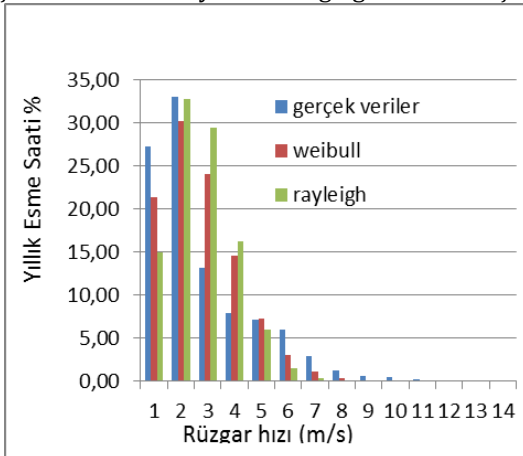


Şekil 4. 2013 yılı için gerçek, Rayleigh ve Weibull dağılım (Grafik Yöntemi) fonksiyonuna göre bulunan rüzgar hızı esme süreleri



Şekil 5. 2013 yılı için gerçek, Rayleigh ve Weibull dağılım (Moment Yöntemi) fonksiyonuna göre bulunan rüzgar hızı esme süreleri

Gerçek rüzgar hızlarının olasılık dağılımı ile Weibull ve Rayleigh dağılımlarının bulunan rüzgar hızı olasılık dağılımları Şekil 6' da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında Weibull dağılımının Rayleigh dağılımından gerçek verilere daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6. 2013 yılı için rüzgar hızlarının gerçek olasılık dağılımı ile Weibull ve Rayleigh

## 5. Sonuç

Ülkemiz yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olmasına rağmen toplam enerji tüketiminin yaklaşık dörtte birini kendi öz kaynaklarından, kalan kısmını ise ithalat yoluyla karşılamaktadır. Rüzgar ölçüm istasyonunda ölçülen rüzgar hız ve yön değerleri; RES projesinin daha sonraki aşamaları olan verilerin değerlendirilmesi, üretilebilecek enerji miktarının tahmin edilmesi açısından önem arz etmektedir. Osmaniye Bölgesi'nde 2013 yılına ait bir yıl süre ile ölçülen rüzgar hızları kullanılarak, bölgeye kurulacak rüzgar türbinleri için rüzgar hızlarının Weibull veya Rayleigh dağılım fonksiyonuna uyumları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur: 2013 dönemine ait bir yıllık veriler kullanılarak rüzgar hızı frekans dağılımını tanımlamak için iki parametrelili Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonları kullanılmıştır. Rayleigh dağılım fonksiyonu, Weibull dağılım fonksiyonunun özel bir halidir. Weibull dağılım fonksiyonunun 2 m/s -3m/s aralığındaki rüzgar hızları haricindeki rüzgar hızları için, gerçek değerler göz önüne alındığında, Rayleigh dağılım fonksiyonundan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu çalışmada yapılan ölçümler ve analizler sonucunda Weibull dağılımı Grafik yöntemi gerçek değerlere moment yönteminden daha çok uyum sağlamaktadır. Rayleigh dağılımında ise Moment metodu kullanılırsa gerçek verilere daha yakın sonuçlar elde edildiği analiz edilmiştir. Bu çalışma Osmaniye bölgesi için rüzgar enerjisi analizini tahmin etmek amacıyla yapılan 1 yıllık bir ön çalışmadır.

## Kaynakça

- [1] Kaplan, Y. A., Ağalar, Ş. 2013. Ülkemizde ve Dünyada Mevcut Rüzgar Enerjisi Durumu ve Politikaları. UTES 2013, Konya, 762-765.
- [2] Güner S., Albostan A. 2007. Türkiye'nin Enerji Politikası.
- [3] Gülersoy, T., Çetin, N. 1990. Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması Politeknik Dergisi, 13(3), 209-213.
- [4] Arslan, Ö.P., Arıkan, Y., Erten, M., Çam, E. 2014. Kırıkkale Üniversitesinde Kurulacak Olan Rüzgar Türbini İçin Enerji ve Maliyet Analizinin Yapılması, International Journal of Engineering Research and Development, 6 (2).
- [5] Yıldırım, U., Gazibey, Y., Güngör, A. 2012. Niğde İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(2), 37-47.

- [6] Usta I., Kantar Y. M. 2012 Analysis of Some Flexible Families of Distributions for Estimation of Wind Speed Distributions. *Applied Energy*, 89 (1), 355-367.
- [7] Yang X, Qian, Z., Wang, Z. 2010. The Research of Investment and Financing of Wind Power, The 2<sup>nd</sup> World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference 2010, WNWEC2010, Nanjing, China.
- [8] Ewea, Wind in Power, 2010. European statistics, February, 2011.
- [9] Altuntaşoğlu Z. 2009. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisindeki Gelişmeler, Rügen 2 Enerji Sempozyum, Haziran-2009 Samsun, Türkiye.
- [10] Xintao X., Junzi , X. 2010. Evaluation of Potential for Developing Renewable Sources of Energy to Facilitate Development in Developing Countries, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC2010, Chengdu, China.
- [11] Gwec, 2012. Global Wind 2012 Report, March 2012.
- [12] Gwec 2013, Global Wind 2013 Report, March 2013.
- [13] Kaplan, Y. A. 2015. Overview Of Wind Energy In The World And Assesment of Current Wind Energy Policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 562-568.
- [14] Bilgili, M. Şahin B. 2005. Rüzgar Gücü Potansiyelinin Belirlenmesinde Weibull Parametrelerinin Bulunması. *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Enerji Yönetimi Sempozyumu, Kayseri*, 229-234.
- [15] Kim, J., Yum, B., 2008. Selection Between Weibull and Lognormal Distributions: A Comparative Simulation Study. *Computational Statistics & Data Analysis*, 53(2), 477-485.
- [16] Basu, B., Tiwari, D., Kundu, D., Prasad, R. 2007. Is Weibull Distribution the Most Appropriate Statistical Strength Distribution for Brittle Materials? *Ceramics International*, 35(1), 237-246.