

Burr Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Tahmini

¹İlker Mert and ^{*2}Cuma Karakuş

¹Denizcilik Meslek Yüksekokulu Mustafa Kemal University, Turkey

^{*2}Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering Mustafa Kemal University, Turkey

Özet :

Enerji, gelişen ve gelişmekte olan ülkelerdeki ekonomik ve sosyal kalkınmanın itici unsuru ve en temel girdisidir. Bu sebeple de ülkelerin gelişimini sürekli kılmak isteyen yönetimler, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, temiz ve uygun maliyetlerle temin etmek ve bu kaynakları da mutlaka çeşitlendirmek zorundadırlar. Bu çalışmada da kaynaklarının çeşitliliği ve jeopolitik gerçekler dikkate alındığında hem güneş enerjisi hemde rüzgar enerjisi açısından bir adım önem çıkan Hatay ilinin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesine yönelik istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın istatistiksel modeli olarak yaygın olarak kullanılan Burr dağılımı kullanılırken önerilen modelin kabul edilebilirliğini sınamak üzere Anderson-Darling testi kullanılmıştır. Sonuç olarak bölgenin potansiyelinin belirlenebilmesi için Burr dağılımının uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Rüzgar enerjisi, Burr dağılımı, Kolmogorov-Smirnov testi

Abstract :

Energy that is a driving element of economic and social development in developed and developing countries is the most basic input. For this reason, managements who want to perpetuate its the development of the country, to provide the energy uninterrupted, reliable, clean and cost-effective and these resources have to diversify. In this study, considering the diversity of resources and geopolitical realities, a statistical study was conducted to determine wind energy potential of province of Hatay that is one step ahead in the terms of both solar and wind energy. Widely used as a model for the study of the statistical distribution of Burr acceptability of the proposed model when using the Kolmogorov-Smirnov test was used to test. The Anderson-Darling test was used to test of acceptability of the proposed model when the Burr distribution that widely used is preferred as the statistical model of this study. As a result, Burr was found to be suitable to identify potential distribution for the region.

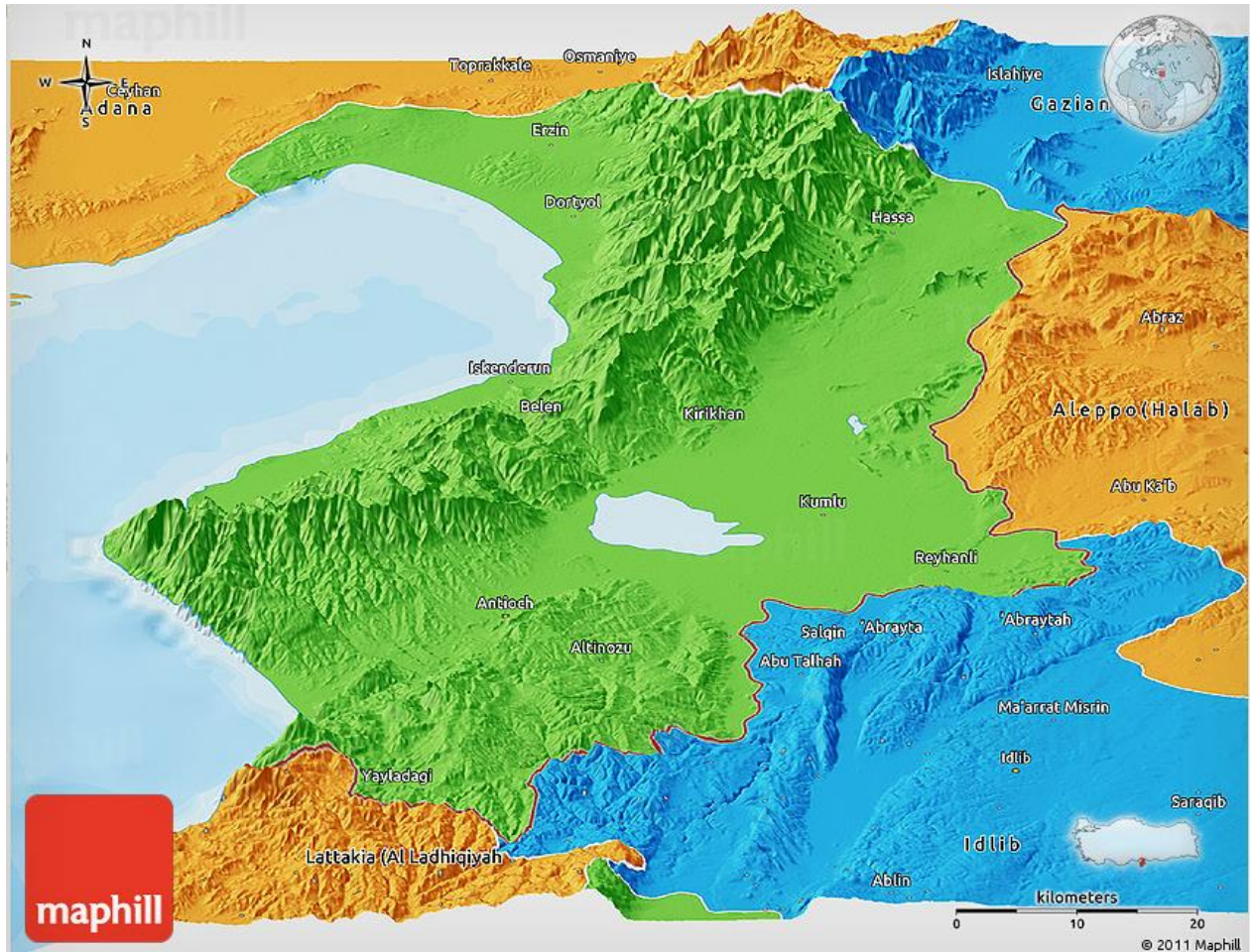
Key words: Wind energy, Burr distribution, Kolmogorov-Smirnov test

1. Giriş

Günümüzde elektrik üretimi açısından çevreye zararlı uygulamaların kabul gördüğünü ve genellikle teşvik edildiğini dikkate aldığımızda elektrik üretiminin yan maliyetlerini (çevre, sağlık vb. konularda ortaya konulan etkiler...) tam olarak yansıtan çok sayıda veri bulunmaktadır. Bu noktada harici masrafları azaltmaya yönelik mekanizmalar olmadan elektrik üretiminde rol oynayacak seviyeye gelmek için en iyi ikincil çözüm, genel üretim içerisinde yenilenebilir enerji payını arttırmak için yeterince sosyal ve maddi teşvikler sağlamaktır. Belirli oranda destekler sağlayan devletler sayesinde yenilenebilir enerji pastasında büyük paya sahip olan rüzgar enerjisi piyasası, son on yıl boyunca diğer yenilenebilir enerji piyasalarından daha hızlı genişlemiştir. Küresel ölçekte 2000 yılından itibaren, toplam kurulu kapasitedeki yıllık ortalama artış oranı

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering Mustafa Kemal University, 31200, İskenderun TURKEY. E-mail address: ckarakus@mku.edu.tr, Phone: +903266135600 Fax: +903266137080

%28'dir [1]. Türkiye'de ise Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB) olarak Temmuz 2014 verileri baz alınarak hazırlanan Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporuna göre bu oran % 15,75 olarak gerçekleşmiş olup ulaşılan kurulu güç kapasitesi 3424,43 MW olarak tespit edilmiştir. Çalışmamıza konu olan Hatay bölgesi ise 277 MW ile bu kapasitenin % 8,09'luk kısmını sağlamaktadır [2]. Bununla beraber ulaşılan gücün yıllık bazda tahmin edilmesi için yapılan ilk çalışma istatistiksel çalışmaları barındıran bölgesel rüzgar hızının modellenmesidir. Hatay bölgesi ile ilgili olarak yapılan az sayıda rüzgar enerjisi potansiyeli belirleme çalışmalarında Weibull ve Rayleigh gibi popüler dağılımlar modelleme amacıyla kullanılsa da bu çalışmada esnek yapısı ve tek dönemli rüzgara sahip ortamları modellemede başarılı olan Burr dağılımı kullanılmıştır [3,4]. Çalışmanın istatistiksel modeli olarak kullanılan Burr dağılımı modelinin kabul edilebilirliğini sınamak üzere Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Sonuç olarak bölgenin potansiyelinin belirlenebilmesi için Burr dağılımının kullanılmasının uygun olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1. Bölge haritası

2. Materyal ve Metod

24 ay boyunca ölçülen meteorolojik veriler mevsimsel olarak Burr dağılımı ile modellenmiş olup elde edilen veriler Anderson-Darling testi ve yüzdesel hata ile değerlendirilmiştir.

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2008-2009 yılları arasında Antakya'da bulunan merkez meteoroloji istasyonunda (36° 15' K - 36° 8' D) 10 metre yükseklikte ölçülen, saatlik olarak kaydedilen ve mevsimsel olarak değerlendirilen ortalama rüzgar hızı, yönü, basınç ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Bölgenin haritası Şekil 1' de verilmektedir.

2.2. Metod

Rüzgar enerjisinin kapasitesini belirlemek için birim alanda rüzgar gücü yoğunluğunun hesaplanması gerekir. Bu amaçla aşağıda verilen eşitlikten faydalanılır[5].

$$P = 0,5 * \rho.V^3 \quad (1)$$

Burada ρ hava yoğunluğu olup bölge şartlarında ortalama olarak $1,2 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır. V^3 ise ortalama rüzgar hızını temsil etmektedir.

Rüzgar hızı verisinin modellenmesi işlemine, belli bir yükseklikte ölçülen rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımlarının belirlenmesi ile başlanılır. Bu frekans dağılımları sayesinde bölgenin rüzgar hızı davranışının tahmin edilebilir olup olmadığı araştırılır. Bu çalışmada elde edilen rüzgar hızı frekans dağılımını tahmin edilebilir duruma getirmek için düşük potansiyele sahip bölgelerde, rüzgar hızının dağılımının belirlenmesinde de kullanılan dört parametrelili Burr dağılımı kullanılmıştır. Burr dağılımı için $f(V)$ - Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Probability Density Function - PDF) ve modelleme sırasında ortalama hızı hesaplamak için kullanılan eşitlikler aşağıda verilmektedir [6].

$$f(v) = \frac{cd}{bz^{c+1}(1+z^{-c})^{d-1}}; z = \left(\frac{V-a}{b}\right) \quad (2)$$

$$V_{Burr} = a + \frac{b\Gamma\left(1-\frac{1}{c}\right)\Gamma\left(d+\frac{1}{c}\right)}{\Gamma(d)} \quad (3)$$

Eşitlikte $\Gamma(\dots)$ ile gösterilen fonksiyon Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. Parametreler ise;

- V : ortalama hız
- a : sürekli yer parametresi
- b : sürekli ölçek parametresi
- c, d : sürekli şekil parametreleridir.

Çalışma boyunca sonuçların kabul edilebilirliğini sınamak üzere uyum iyiliği testi olarak kullanılan Anderson-Darling testi ise aşağıdaki eşitlikte verilmektedir [7-8].

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) [\ln F(V) + \ln(1 - F(V_{n-i+1}))] \quad (4)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Antakya meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte ölçülen mevsimlik rüzgar hızı değerleri ve rüzgar hızı ile ilgili istatistiksel değerler Çizelge 1’de verilmiştir. Mevsimsel olarak maksimum rüzgar hızı 20,4 m/s ile aralık ayında ölçülmüştür. Ancak, aylık bazda en yüksek saatlik ortalama hız 4,5 m/s ile temmuz ayında, en düşük ortalama rüzgar hızı 1,1 m/s ile kasım ayında gerçekleşmiştir. Mevsimsel olarak kaydedilen en yüksek ve en düşük ortalama rüzgar hızı sırasıyla yaz mevsiminde 2,53 m/s ve sonbahar mevsiminde 1,66 m/s’ dir.

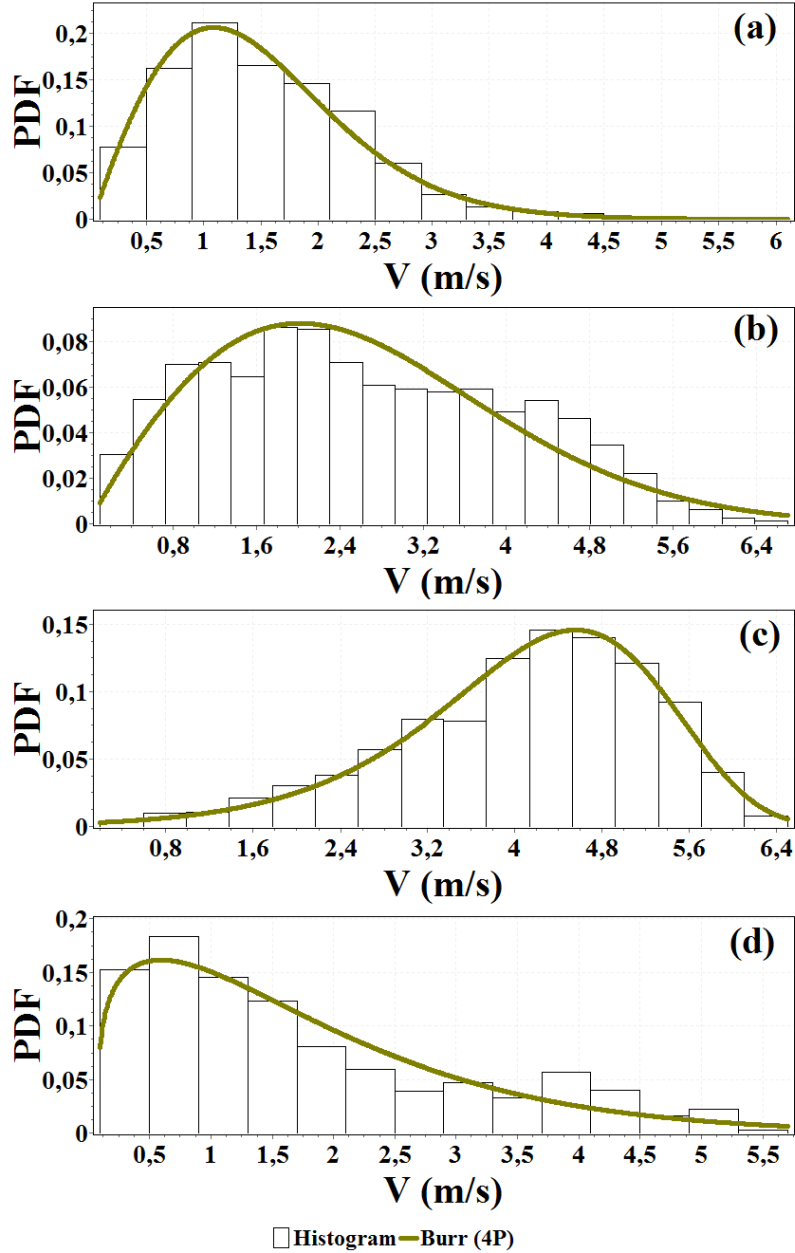
Çizelge 1. Rüzgar hızına ait mevsimsel istatistiksel değerler

Mevsim	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Parametre	Gözlem	Gözlem	Gözlem	Gözlem
Gözlem sayısı	2206	2207	2208	2174
Ortalama	1,49	2,63	4,10	1,80
Varyans	0,69	2,03	1,41	1,77
Std. Sapma	0,83	1,46	1,19	1,33
Std. Hata	0,018	0,03	0,026	0,03
Çarpıklık	0,97	0,29	-0,66	0,86
Basıklık	1,69	-0,83	0,08	-0,31

Mevsimsel olarak elde edilen istatistiksel veriler Çizelge 1’de verilmektedir. Çizelge 1’e göre en yüksek ve en düşük standart sapma değerleri 0,83 m/s ile kış ve 1,46 m/s ile ilkbahar mevsiminde elde edilmiştir.

Rüzgar hızı frekans dağılımını modellerken dikkate alınması gereken Çarpıklık ve Basıklık değerleri rüzgar hızlarının görülme sıklığının hangi dağılıma uyduğunu gösteren parametrelerdir. Bu çalışmada gerek negatif gerekse pozitif Çarpıklık ve Basıklık değerleri alabilen Burr dağılımı tercih edilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi en yüksek Çarpıklık ve Basıklık değerleri 0,97 ve 1,69 ile kış mevsiminde meydana gelmiştir. Burada, en düşük Çarpıklık değerinin yaz mevsiminde gerçekleşmiş olması önem taşımaktadır. Mevsimsel rüzgar hızı histogramı ve Burr dağılımına ait olasılık dağılım değerleri Şekil 2’ de verilmektedir. Burada, a: Kış, b: İlkbahar, c: Yaz, d: Sonbahar mevsimini temsil etmektedir. Şekilde gösterilen ilkbahar ve yaz mevsimlerine

ait rüzgar hızı sıklık-dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi yüksek rüzgar hızlarının sıklığının daha geniş bir alana yayıldığını dolayısıyla daha fazla enerji üretilebileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Mevsimsel rüzgar hızı histogramı ve Burr dağılımına ait olasılık dağılım değerleri (a: Kış, b: İlkbahar, c: Yaz, d: Sonbahar mevsimini göstermektedir)

Çizelge 2. Rüzgar hızına ait mevsimsel istatistiksel değerler ve Burr dağılımı tarafından yapılan tahminler

Mevsim	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	Gözlem	Tahmin	Gözlem	Tahmin	Gözlem	Tahmin	Gözlem	Tahmin
Ortalama	1,4876	1,4870	2,6322	2,6335	4,0964	4,1031	1,8018	1,7987
Varyans	0,6891	0,6888	2,0326	2,0582	1,4126	1,4115	1,7678	1,9023
Std. Sapma	0,8301	0,8299	1,4257	1,4347	1,1885	1,1881	1,3296	1,3792
Çarpıklık	0,9700	0,9267	0,2921	0,6930	-0,6560	-0,8157	0,8612	1,4321
Basıklık	1,6891	1,2309	-0,8350	0,3706	0,0801	1,0908	-0,3070	2,8172

Gözlemlenen rüzgar hızı değerleri ile tahmin edilen rüzgar hızı değerleri ve aralarındaki yüzde hata değerleri Çizelge 2 ve 3'te verilmektedir. Burr dağılımı tarafından tahmin edilen rüzgar hızı değerleri ile gözlemlenen rüzgar hızı değerleri arasında en yüksek fark % 0,17 ile sonbaharda, en düşük fark ise % 0,04 ile kış mevsiminde oluşmuştur. Bununla beraber ölçülen rüzgar hızı değerleri ile tahmin edilen rüzgar hızı değerleri arasında yüksek doğrusal bir korelasyon olduğu aynı çizelgelerde görülmektedir. Çizelge 2' de verilen standart sapma değerleri incelendiğinde ilkbahar ve sonbahar aylarında yüksek diğer aylarda ise daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum her iki mevsim için yaz mevsimine veya mevsiminden geçişlerle ya da diğer bir deyişle yüksek rüzgar hızı esme sıklığının artması ile izah edilebilir. Çizelge 3' de görülebileceği gibi Burr dağılımına ait a parametresi Mevsimsel olarak -11,85 ile 0,0865 arasında değişmektedir. b parametresi ise 5,38m/s ile 590,47m/s arasında değişmektedir. Öte yandan Mevsimsel olarak elde edilen en yüksek c parametresi yaz mevsiminde iken en düşük değer sonbahar mevsiminde 1,25'tir. d parametresi 10,70 ile 1362 arasında değişmektedir.

Çizelge 3. Burr dağılımına ait parametreler, uyum iyiliği testi ve ortalama hız yüzde hata değerleri

Mevsim	Parametre				Uyum iyiliği testi	V (Ort. Hız)
	a	b	c	d	Anderson-Darling Test	% Hata
Kış	0,04	5,38	1,93	10,70	2,53	0,04
İlkbahar	-0,05	88,76	1,92	670,54	9,353	-0,05
Yaz	-11,85	25,01	16,54	999,17	2,33	-0,16
Sonbahar	0,0865	590,47	1,25	1362	8,63	0,17

Mevsimsel rüzgar güç yoğunluğu P değerleri ise Çizelge 4’te verilmektedir. En yüksek rüzgar güç yoğunluğu, 10 m yükseklikte saatliklik en yüksek $41,24 \text{ W/m}^2$ ile yaz mevsiminde, en düşük güç yoğunluğu ise $1,98 \text{ W/m}^2$ ile kış mevsiminde elde edilmektedir. Genel olarak tüm değerler 100 W/m^2 seviyesinin altında kaldığı için bölgenin güç yoğunluğu rüzgar gücü sınıflanmasında en düşük güç yoğunluğunu temsil eden **Sınıf 1** olarak değerlendirilmektedir. Burr dağılımı ise ortalama % 0,32 hata ile tahmin edebilmektedir.

Çizelge 4. Burr dağılımına ait ortalama güç yoğunluğu ve ortalama hız yüzde hata değerleri

Mevsim	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	Gözlem	Tahmin	Gözlem	Tahmin	Gözlem	Tahmin	Gözlem	Tahmin
P	1,98	1,97	10,94	10,96	41,24	41,45	3,51	3,49
% Hata	0,12		-0,15		-0,49		0,52	

Sonuçlar

Bu çalışmada, Burr dağılımı kullanılarak Hatay bölgesinde 2008-2009 yıllarını kapsayan rüzgar hızı ve yönü bilgilerine bağlı olarak rüzgar karakteristiklerinin değişimi incelenmiş, enerji yoğunluğu hesaplamaları yapılmıştır. Burr dağılımının parametrelerini tespit etmek için maksimum olabilirlik yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Burr olasılık yoğunluk fonksiyonun bölgenin rüzgar hızı verilerini modelleyebildiği görülmüştür.
- Hatay ili Türkiye’de rüzgar enerji potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerden birisi olmakla beraber, rüzgar hızı verilerinin toplandığı ve Meteoroloji İşleri Müdürlüğüne ait olan sinoptik istasyonun bulunduğu yerdeki rüzgar enerjisi potansiyeli düşüktür.
- Aylık ortalama güç yoğunluğu 100 W/m^2 den küçük olduğu için rüzgar gücü sınıflanmasında en düşük potansiyeli gösteren Sınıf 1 grubuna girmektedir.
- Bölgesel güç yoğunluğu değerlerinin küçük çaplı tarımsal sulama, aydınlatma gibi uygulamalara destek verebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

- [1] Gerçeği Doğru Anlamak: Rüzgar enerjisiyle ilgili bilinmesi gereken on şey. <http://www.res-anatolia.com/resources/about-wind-power?lang=Tr>
- [2] Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Temmuz 2014. <http://www.tureb.com.tr/attachments/article/353/T%C3%BCrkiye%20R%C3%BCzgar%20Enerjisi%20%C4%B0statistik%20Raporu%20-%20Temmuz%202014.pdf>
- [3] Celik AN, A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. *Renew energ* 2004;29.4: 593-604.
- [4] Sahin B, Bilgili M, Akilli H, The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey. *J Wind Eng Ind Aerod* 2005;93.2: 171-183.
- [5] Oner Y, Ozcira S, Bekiroglu N, Senol I, A comparative analysis of wind power density prediction methods for Çanakkale, Intepe region, Turkey. *Renew Sust Energ Rev* 2013; 23: 491-502.
- [6] Vosesoftware. http://www.vosesoftware.com/ModelRiskHelp/index.htm#Distributions/Continuous_distributions/Burr_distribution.htm
- [7] Mathwave. http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/goodness_of_fit/anderson-darling.html
- [8] Anderson TW, Darling DA, Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes. *Annals of Mathematical Statistics* 1952; 23:193-212.