



AKHISAR BÖLGESİ İÇİN ORTALAMA RÜZGAR HIZLARINA BAĞLI RÜZGAR ESME SÜRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

NEURAL PREDICTION OF WIND BLOWING DURATIONS BASED ON AVERAGE WIND SPEEDS FOR AKHISAR LOCATION

Raşit ATA¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Celal Bayar Üniversitesi, 45140, Manisa.
rasitata@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 24.12.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 01.06.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.85047

Özet

Günümüzde enerjinin temiz, yerli ve yenilenebilir olması sadece ülkemizde değil tüm dünya ülkelerinde çoğunlukla kabul görmektedir. Alternatif ve temiz olan bu enerji kaynaklarından biri ve en önemlisi de rüzgar enerjisidir. Atmosferi kirleten fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin hızlı bir şekilde geliştiği ve kullanıldığı görülmektedir. Rüzgar türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisi birkaç faktöre bağlı olarak değişir. Bu faktörlerden ikisi ortalama rüzgar hızı ve rüzgar esme süreleridir. Bu çalışmada, Akhisar bölgesi için yıllık ortalama rüzgar hızı, Hellmann katsayısı, kule yüksekliği gibi parametrelere bağlı rüzgar esme süreleri Yapay Sinir Ağları (YSA) ile analiz edilmektedir. Rüzgar esme süreleri analizinde Rayleigh dağılımı'nın kullanıldığı geleneksel yöntem (GY) ile YSA'nın karşılaştırılması yapılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Rüzgar enerjisi, Rüzgar esme süresi, Hellmann katsayısı, Yapay sinir ağları.

Abstract

Renewable energy resources are widely preferred over conventional resources as they are environmentally favorable. Wind energy is one of the important renewable energy resources and has been widely developed recently. The energy produced from wind is dependent upon several factors. One of them is average wind speed and the other is wind blowing period. In this study, the wind blowing period is estimated based on annual average wind speed, Hellman coefficient and tower height using artificial neural networks (ANN). The results of ANN are compared with a conventional method in which Rayleigh distribution is employed.

Keywords: Wind energy, Wind blowing time, Hellmann coefficient, Artificial neural networks.

1 Giriş

Rüzgar enerjisi, elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde şüphesiz en temiz ve en ekonomik formlardan biridir. Rüzgar enerjisi kullanarak elektrik üretmek, çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan avantajlar sağlamaktadır [1]. Bu avantajlarından dolayı özellikle son on yıl içerisinde kurulu güç açısından en hızlı gelişen enerji kaynağıdır.

Türkiye'nin son yıllardaki hızlı ekonomik büyümesi ve sanayileşmesine paralel olarak enerjiye olan gereksinimi artmakta olup, gelecek yirmi yılda üretimin tüketimi karşılayamayacağı düşünülmektedir. Buna karşılık var olan enerji üretimimizin büyük bir bölümü dışa bağımlı olup, fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu nedenle potansiyel olarak oldukça iyi durumda olduğumuz yeni ve özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı kaçınılmaz olmuştur [2, 3].

Bir rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminden enerji elde etme, enerji dönüşüm sisteminin performans özellikleri ve işletme koşullarına bağlıdır. Rüzgarın kararsız yapısından dolayı, rüzgar hızı ve güç çıkışı verilerinden rüzgar dönüşüm sisteminin geçici tepkisini belirlemek ve bir model geliştirmek mümkün değildir. Bu nedenle rüzgar enerji üretimi, rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin performans özellikleri mevcut olsa bile bölgenin rüzgar özellikleriyle yakından ilgili olacaktır [4].

Bir rüzgar türbini tarafından üretilen enerji, rüzgar hızı, rüzgar türbini kule yüksekliği ve rüzgar esme süreleri gibi

parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada, Akhisar bölgesi için yıllık ortalama rüzgar hızı, Hellmann katsayısı, ölçüm bölgesinin istenen yüksekliği gibi parametrelere bağlı rüzgar esme süreleri Yapay Sinir Ağları (YSA) ile analiz edilmektedir. Analizler yaygın olarak 10-30 m yüksekliklerde ölçülmüş olan ortalama rüzgar hızları göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan YSA algoritmasıyla dört giriş parametresi kullanılarak rüzgar esme süreleri tahmin edilmektedir. YSA diğer bilim dallarında olduğu gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde de kullanılmaktadır. [5]'te genel olarak enerji sistemlerindeki YSA uygulamalarının ve [6]'da ise özellikle yenilenebilir enerji sistemlerindeki YSA uygulamalarının ayrıntılı bir değerlendirilmesi verilmektedir. Kalogirou [6], güneş su ısıtma sistemleri, fotovoltaik sistemler, rüzgar enerji sistemleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerini ele almaktadır. [7-9]'da kısa süreli rüzgar hızı tahmini ele alınmaktadır. YSA'yı da içeren hibrit bir modelleme yapılarak rüzgar hızı tahmini gerçekleştirilen çalışmalar da mevcuttur [10-13]. Farklı algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilen rüzgar hızı tahminiyle [14-20] ilgili olarak da birçok YSA uygulaması vardır.

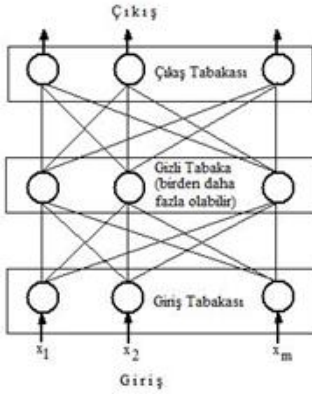
2 Yapay Sinir Ağları

YSA'nın pratik kullanımı genelde çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen bilgi verilerini hızlı bir şekilde tanımlama ve algılama üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif

oluşturmasıdır. YSA bugün fizik, matematik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiştir.

YSA'nın giriş-çıkış büyüklükleri arasındaki bağıntıyı bulma zorunluluğundan bağımsız olması ve etkinliği, çok kısa zaman diliminde sonuçlara yaklaşması diğer yaklaşım metodlarına göre onu bir tercih sebebi haline getirmiştir.

Günümüzde birçok alanda uygulamaları hızla gelişmekte olan YSA'nın en önemli modellerinden biri çok-katmanlı ileri besleme ağlarıdır. YSA konusunda yapılan her bir çalışma kendine özgü ağ yapısına ve eğitime algoritmasına sahiptir. Bu çalışmada Şekil 1'de görüldüğü gibi üç katmanlı ileri besleme YSA modeli kullanılırken, eğitime için ise hatanın geriye yayılım algoritması kullanılmıştır.



Şekil 1: Üç katmanlı bir YSA modeli.

Şekil 1'deki YSA modeli'nin n_i giriş düğümüne, n_h gizli düğümüne ve n_o çıkış düğümüne sahip olduğunu varsayalım. Eğer m 'inci katmandaki j 'inci düğümün çıkışı O_j^m ve $(m-1)$ 'inci katmandaki i 'inci düğümün m 'inci katmandaki j 'inci düğümüne bağlantı ağırlığı W_{ij}^m ise bu durumda,

$$O_j^m = f \left[\sum_i (W_{ij}^m x_i^{m-1}) \right], \quad m \geq 2 \quad (1)$$

yazılabilir. Burada $f(\cdot)$ fonksiyonu olarak denklem (2)'de tanımlandığı gibi sigmoid fonksiyon kullanılır.

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}) \quad (2)$$

Bu fonksiyon O_j^m çıkışlarını 0 ve 1 aralığında sınırlar. Bundan dolayı YSA çıkış değerleri 0 ve 1 aralığında normalizasyona tabi tutulur. Ayrıca $f(\cdot)$ fonksiyonu uygulanmadan önce denklem (1)'deki toplam terime bir eşik değeri ekleyerek $f(\cdot)$ fonksiyonunu x eksenini boyunca değiştirmek mümkündür [21].

Bir p 'inci değer için ortalama karesel hata (MSE) fonksiyonu E_p şu şekilde tanımlanır;

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_o} (t_{pj} - o_{pj}^m)^2 \quad (3)$$

Burada, t_{pj} , j 'inci çıkış düğümünün gerçek çıkış değeri ve O_{pj}^m ise bu düğümün belirli bir hata payı ile simülasyon sonucu elde edilen çıkış değeridir. Burada amaç uygun ağırlık ve eşik değerleri seçerek ortalama karesel hatayı yeterince minimum yapmaktır [22].

3 Problemin Tasarımı

Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli Rayleigh dağılımlarına göre incelenir. Rüzgar enerjisi analizi için Rayleigh dağılımının

geçerliliği uzun süreli rüzgar verileri kullanılarak araştırılmasına dayanır. Rayleigh dağılımının en büyük avantajı sadece ortalama rüzgar hızı ile dağılımın belirlenmesidir. Rayleigh dağılımının rüzgar çalışmalarında geçerliliği pek çok referansta gösterilmiştir [23-28]. Rayleigh dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi basitleştirilebilir [29];

$$f(V_r) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_r}{V_{ort}^2} \exp \left[- \left(\frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{V_r}{V_{ort}} \right)^2 \right] \quad (4)$$

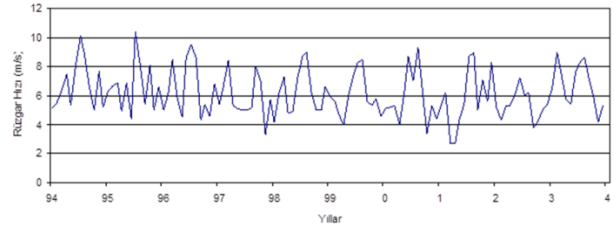
Burada; V_r rüzgar hızı (m/s) ve V_{ort} ölçüm bölgesindeki yıllık ortalama rüzgar hızıdır (m/s). Diğer yandan yıllık rüzgar esme süreleri saat olarak aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$h_r = 8760 f(V_r) \quad (5)$$

Akhisar için 10 m yüksekliğe ait aylık ortalama rüzgar hızı verileri Şekil 2'de verilmektedir. Ölçüm bölgesinde istenen yükseklik ve yıllık ortalama rüzgar hızı verileri göz önüne alınarak herhangi bir yükseklikteki rüzgar hızının saatlik esme süreleri YSA ile aşağıdaki gibi yeniden ifade edilebilir.

$$h_r = f(V_{ort}, H, V_r, \mu) \quad (6)$$

Burada; H ölçüm bölgesindeki istenen yükseklik ve μ Hellmann katsayısıdır. Ölçüm bölgesi karakteristiklerine göre Hellmann katsayısının değişimi Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 2: Akhisar için 10 m. yüksekliğe ait ortalama aylık rüzgar hızı verileri (1994-2004 yılları arasında) [30].

Tablo 1: Ölçüm bölgesi karakteristiklerine göre Hellmann katsayısının değişimi.

Ölçüm Bölgesinin Özellikleri	Hellmann Katsayısı(μ)
Açık denizlerde	0.14
Açık alanlar ve tarlalar	0.18
Ormanlar ve şehirler	0.28
Yüksek binalı şehirler	0.40

Denklem (6) da görüldüğü gibi herhangi bir yükseklikteki rüzgar hızının saatlik esme sürelerini belirlemek için etkili bir prosedüre ihtiyaç vardır. Ölçüm bölgesindeki yıllık ortalama rüzgar hızı ve farklı yüksekliklerde rüzgar hızının saatlik esme sürelerini tahmin etmek için bir YSA modeli tasarlanır. Dikkate alınan farklı yükseklikler 10 m, 15 m, 20 m, 25 m ve 30 m'dir. Bu yüksekliklere ait geleneksel yöntemle (GY) hesaplanan ve ölçülen bazı örnek veriler Tablo 2'de verilmektedir. YSA giriş değişkenleri denklem (6) da belirtildiği gibi alınmıştır. Buna göre, giriş parametreleri aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$x(t) = [V_{ort}, H, V_r, \mu] \quad (7)$$

Diğer yandan YSA çıkış değişkeni ise;

$$y(t) = [h_r] \quad (8)$$

şekindedir. Burada; h_r herhangi bir yükseklikteki rüzgar hızının saatlik esme süresidir. Farklı giriş değerlerinden çıkış değerini elde etmek için bir YSA topolojisi oluşturulur. Bu işlemi gerçekleştirmek için normalize edilmiş eğitime verilerine ihtiyaç duyulur. YSA eğitime işleminde bütün giriş ve çıkış değişkenleri için 90 tane eğitime verisi kullanıldı. Bu eğitime

verilerine ilişkin bazı örnek veriler Tablo 2’de verilmektedir. Analiz yapılan bölge Akhisar-Kırkağaç hattını içine alacak şekilde kuş uçuşu yaklaşık 20 km’yi bulan bir alanı içermektedir. Verilerin bir kısmı bu alanda kurulu 1 adet 3 kW gücünde türbin, 1 adet kontrol ünitesi, 24 adet 2 V 200 Ah sabit sistem aküsü, 1 adet 48 V/220 V, 50 Hz, 3 kVA tam sinüs inverter’den oluşan kurulu sistemden elde edilmektedir. Kurulu olan rüzgar türbini; değişken hızlı, üç kanatlı olup kule yüksekliği 15 metredir. Elektrik enerjisi eldesi, Daimi mıknatıslı senkron makine aracılığı ile sağlanmaktadır. Şekil 3’te kurulu sistem görülmektedir. Diğer kısmı da Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)’nin ölçüm verilerinden elde edilmektedir. Kurulu sistemler açık alanda bulunduğu için Hellmann yükseltme katsayısı (μ) ise çalışılan lokasyon şartlarında 0.18 olarak alınmaktadır. Tasarlanan YSA’nın farklı lokasyonlarda kullanılması durumunda Hellmann katsayısı değişeceği için burada giriş parametresi olarak dikkate alınmıştır. Eğitim işleminin performansı, eğitime hatasının minimize olup olmamasına göre ölçülür. Eğitim işleminde geri-yayımlı (back-propagation) algoritması kullanılmıştır. Eğitim hata oranının gizli katmandaki düğüm sayısına göre değişimi Şekil 4’de ve iterasyon sayısına göre değişimi ise Şekil 5’de görülmektedir.

Tablo 2: Örnek eğitime verileri.

Rüzgar Hızı V_r (m/s)	Kule Yüksekliği H (m)	Esmeye Süreleri h_r (saat)	Yıllık Ort. Rüzgar Hızı V_{ort} (m/s)
3	10	826,81	6,497
4	10	967,85	6,497
5	10	1023,37	6,497
7	10	916,90	6,497
8	10	792,80	6,497
9	10	650,15	6,497
11	10	377,66	6,497
12	10	268,61	6,497
13	10	182,80	6,497
3	15	716	7,074
4	15	855	7,074
5	15	928	7,074
6	15	937	7,074
7	15	1479	7,074
9	15	694	7,074
10	15	572	7,074
11	15	453	7,074
12	15	344	7,074
3	20	644,66	7,515
4	20	779,86	7,515
5	20	860,20	7,515
6	20	885,88	7,515
8	20	800,36	7,515
9	20	710,91	7,515
10	20	606,56	7,515
12	20	394,86	7,515
13	20	302,20	7,515
3	30	554,59	8,182
4	30	681,18	8,182
6	30	808,17	8,182
7	30	809,55	8,182
8	30	775,98	8,182
10	30	635,96	8,182
11	30	546,86	8,182
13	30	368,11	8,182

Test işlemi 11 farklı eğitime örneği (eğitime işleminde kullanılmayan) kullanılarak gerçekleştirildi. Buradan elde edilen çıkışlar Tablo 3’te görülmektedir. Tablo 3’te görüldüğü gibi YSA’nın performansı oldukça uygundur. Çünkü GY ile elde edilen sonuçlardan küçük sapmalar söz konusudur.

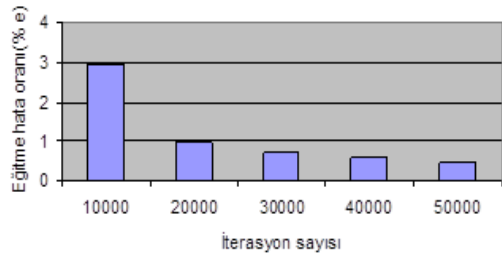
Model performansını değerlendirmek için ortalama yüzde hatayı veren denklem (9) kullanılır. Sunulan YSA modelinden elde edilen sonuçlardan performansı hesaplanır.



Şekil 3. Kurulu rüzgar türbini ve kontrol ünitesi.



Şekil 4: Gizli katmandaki düğüm sayısının eğitime hatasına etkisi.



Şekil 5: Eğitime hatasının iterasyon sayısına göre değişimi.

Test verileri için ortalama yüzde hata değeri şöyle bulunur;

$$\%e = \frac{1}{p} \sum_j \left(\frac{t_j - o_j}{t_j} \times 100 \right) \quad (9)$$

Burada; t hedef değeri, o çıkış değerini ve p veri sayısını göstermektedir. Tablo 3’e göre, elde edilen test verileri için ortalama yüzde hata değerleri %-4.1 ve %3.4 aralığında değişmektedir.

Tablo 3: YSA ve KM ile elde edilen rüzgar esme sürelerinin karşılaştırılması.

Test No	V_r (m/s)	H (m)	YSA ile h_r (saat)	KM ile h_r (saat)	Hata (%)
1	1	5	425.80	408.30	-4.1
2	7	5	897.20	908.92	1.3
3	10	10	520.10	524.20	0.5
4	8	15	819.70	805.33	-1.7
5	1	20	249.40	257.21	3.1
6	5	20	891.20	883.59	-0.8
7	10	20	599.60	596.08	-0.5
8	5	25	807.30	815.10	0.9
9	7	25	831.20	842.50	1.3
10	10	35	613.50	634.80	3.4
11	15	35	218.20	216.58	-0.7

4 SONUÇLAR

Rüzgar türbini kurulumunda kullanılan bazı parametreler arasında kompleks bir ilişki vardır. Ölçüm bölgesi rüzgar hızı, kule yüksekliği, rüzgar hızının saatlik esme süreleri ve Hellman katsayısı gibi parametreler rüzgar türbini kurulumunda değerlendirilmeye ihtiyaç duyarlar. Bütün parametreleri ayrı olarak değerlendirmek imkansız olduğundan bunları birlikte değerlendirebilecek anlaşılabilir bir algoritmaya gerek duyulur. Bu çalışma, aralarındaki bu karmaşık ilişkiyi kavramak için bir YSA algoritması sunmaktadır.

GY ile elde edilen sonuçlar YSA metoduyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Tablo 3'te görüldüğü gibi elde edilen test verileri için ortalama yüzde hata değerleri %4.1 ve %3.4 aralığında değişmektedir. İterasyon sayısı 50.000 iken test örneklerinin hedef değerlere ulaşmadaki başarısı yaklaşık olarak %100'dür. Diğer bir ifadeyle, YSA çıkış parametresi bu iterasyonda %0.45 hata ile elde edilmiştir. YSA'nın genelleştirme ve paralel bilgi işleme yeteneğinden dolayı çok katmanlı ağ çıkış düğüm sayısını oldukça iyi bir oranda tanımayla gerçekleştirmiştir. Bu model enerji planlama ve gelecekteki rüzgar türbini planlamaları için faydalı olacaktır.

5 SEMBOLLER

V_r	=	Rüzgar hızı,
$V_{ort.}$	=	Yıllık ortalama rüzgar hızı,
μ	=	Hellmann yükseltme katsayısı,
h_r	=	Rüzgar esme süresi,
H	=	Yükseklik.

6 KAYNAKLAR

- [1] Monfared, M., Rastegar H., Kojabadi H. M., "A new strategy for wind speed forecasting using artificial intelligent methods", *Renewable Energy*, 34: 845-848, 2009.
- [2] Yerebakan, M., *Rüzgar Enerjisi*, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 2001-33, 2001.
- [3] Karadeli, S., *Rüzgar Enerjisi*, Temiz Enerji Vakfı, Kasım 2001.
- [4] Wortman, A.J., *Introduction to Wind Turbine Engineering*, Butterworths, Boston, 1983.
- [5] Kalogirou, S. A., "Applications of neural networks for energy systems", *Renewable Energy*, 30 (7): 1075-1090, 2005.
- [6] Kalogirou, S.A., "Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5 (4): 373-401, 2001.
- [7] Sreelakshmi, K., Ramakanthkumar, P., "Neural Networks for Short Term Wind Speed Prediction", *World Academy of Science, Engineering and Technology* 18, 721-725, 2008.
- [8] Kani, SAP, Ardehali, M.M., "Very short-term wind speed prediction: a new artificial neural network-Markov chain model" *Energy Convers Manage*, 52 (1): 738-45, 2011.
- [9] Amjady, N., Keynia, F., Zareipour, H., "Short-term wind power forecasting using Ridgelet neural network" *Electr Power Syst Res*, 81 (12): 2099-107, 2011.
- [10] Hui Liu, Chao Chen, Hong-qi Tian, Yan-fei Li., "A hybrid model for wind speed prediction using empirical mode decomposition and artificial neural networks", *Renewable Energy*, Vol. 48, pp. 545-556, 2012.
- [11] Guo, Z.H, Wu, J, Lu, H.Y, Wang, J.Z., "A case study on a hybrid wind speed forecasting method using BP neural network." *Knowl Based Syst*, 24 (7): 1048-56, 2011.
- [12] Liu, H, Tian, H.Q, Chen, C, Li, Y.F., "A hybrid statistical method to predict wind speed and wind power". *Renew Energy* 35 (8): 1857-6, 2010.
- [13] Liu, H, Tian, H.Q, Li, Y.F., "Comparison of two new ARIMA-ANN and ARIMA-Kalman hybrid methods for wind speed prediction." *Appl Energy*, 98: 415-24, 2012.
- [14] Li, G. and Shi, J., "On comparing three artificial neural networks for wind speed forecasting," *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 2313-2320, 2010.
- [15] Cadenas, E, Rivera, W., "Wind speed forecasting in three different regions of Mexico, using a hybrid ARIMA-ANN model." *Renew Energy*, 35 (12): 2732-38, 2010.
- [16] Guo, Z.H., Zhao, W.G., Lu, H.Y., Wang, J.Z., "Multi-step forecasting for wind speed using a modified EMD-based artificial neural network model." *Renew Energy*, 37 (1): 241-9, 2012.
- [17] Bhaskar, K., Singh, S.N., "AWNN-assisted wind power forecasting using feedforward neural network." *IEEE Trans Sustain Energy*, 3 (2): 306-15, 2012.
- [18] Hui Liu, Hong-qi Tian, Di-fu Pan, Yan-fei Li., "Forecasting models for wind speed using wavelet, wavelet packet, time series and Artificial Neural Networks", *Applied Energy* 107, 191-208, 2013.
- [19] Öztopal, A., Kahya, C., Şahin, A.D., "Wind speed modelling with artificial neural network", *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Turkey, p. 415-422, 2000.
- [20] Öztopal, A., "Artificial neural network approach to spatial estimation of wind velocity data", *Energy Conversion and Management*, 47 (4) : 395-406, 2006.
- [21] Yurdusev, M.A., Ata, R., Çetin, N.S., "Assessment of Optimum Tip Speed Ratio in Wind Turbines Using Artificial Neural Network" *Energy* 31: 1817-1825, 2006.
- [22] Lippman, R.P., "An Introduction to Computing with Neural Nets", *IEEE ASSP Magazine*, April, 4-22, 1987.
- [23] Akpınar, E.K ve Akpınar, S., "Determination of the Wind Energy Potential for Maden, Turkey", *Energy Convers Manage*, 45 (18-19), 2901-14, 2004.
- [24] Weisser, D. A., "Wind Energy Analysis of Grenada: an Estimation Using the 'Weibull' Density Function", *Renewable Energy*, 28, 1803-1812, 2003.
- [25] Deaves, D.M. and Lines, I.G., "On the Fitting of Low Mean Wind Speed Data to the Weibull Distribution", *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 66, 169-78, 1997.
- [26] Haralambopoulos, D.A., "Analysis of Wind Characteristics and Potential in the East Mediterranean-the Lesvos Case", *Renewable Energy*, 6, 445-54, 1995.
- [27] Çelik, A.N., "A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh Models at Southern Region of Turkey", *Renewable Energy*, 29, 593-604, 2004.
- [28] Ülgen, K. ve Hepbaşlı, A., "Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of İzmir, Turkey", *Int J Energy Res.*, 26, 495-506, 2002.
- [29] Mathew, S., Pandey, K.P., Anil Kumar, V., "Analysis of wind regimes for energy estimation", *Renewable Energy*, 25: 381-399, 2002.
- [30] http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_index.html.