

# OTONOM BİR RÜZGÂR TÜRBİNİNİN FARKLI YÜKSEKLİKLERDEKİ ENERJİ ELDESİNİN YSA İLE ANALİZİ

**Raşit ATA**

Elektrik Bölümü, Kırkağaç Meslek Yüksekokulu, Celal Bayar Üniversitesi, 45700, Manisa  
[rasit.ata@bayar.edu.tr](mailto:rasit.ata@bayar.edu.tr)

(Geliş/Received: 05.02.2007 ; Kabul/Accepted: 17.07.2008)

## ÖZET

Günümüzde enerji darboğazı ve gelişen çevre bilinci, enerjinin temiz ve yenilenebilir kaynaklardan eldesini zorunlu kılmaktadır. Rüzgar, değişik kullanımlar için ticari ölçekte üretilebilen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgar türbinlerinden elektrik enerjisi eldesi, birkaç faktöre bağlı olarak değişir. Bunlardan ikisi rüzgar hızı ve rüzgar türbininin kule yüksekliğidir. Bu çalışmada, farklı kule yüksekliklerinde yıllık enerji eldesi Yapay Sinir Ağları kullanılarak elde edilir ve Kırkağaç'ta kurulan bir otonom rüzgar türbininden ölçülen ve hesaplanan verilerle karşılaştırılır. Böylece sonuçların doğruluğu ve sonuca ulaşma hızlığı kanıtlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar enerjisi, rüzgar türbini, kule yüksekliği, yapay sinir ağları.

## ANALYSIS BY ANN OF ELECTRICITY GENERATION AT DIFFERENT HEIGHT FROM AUTONOMOUS WIND TURBINE

### ABSTRACT

Supplementing our energy based on clean and renewable sources of energy has become imperative due to the present energy crisis and growing environmental consciousness. Wind is one of the potential renewable energy sources, which can be harnessed in a commercial scale for various end-uses. The power generated by wind turbines depends on several factors. Two of these factors are the wind velocity and the tower height of wind turbine. In this study, the annual energy generation based on the tower height is predicted using Artificial Neural Networks(ANN). The predicted ANN data are compared with measured and calculated data from autonomous system which was established in Kırkağaç. The accuracy of the results and the speed in reaching the result were proved.

**Keywords:** Wind energy, wind turbine, tower height, artificial neural networks.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde kullanılan konvansiyonel enerji kaynaklarının rezervlerinin gittikçe azalması ve bu enerji kaynaklarının çevresel etkileri dünyayı oldukça etkilemektedir. Bu nedenle insanlık, alternatif ve daha kullanışlı enerji kaynaklarından faydalanma yollarına gitmektedir. Bu alternatif enerji kaynaklarından biri de rüzgar enerjisidir [1].

Rüzgar enerjisi, özellikle 1990'larda enerji sektöründe önem kazanmaya başlamıştır. Dünyadaki rüzgar gücü kapasitesi de bu yıllardan sonra hızlı bir şekilde

artmaya başlamıştır. Şekil 1'de 1980-2001 yılları arasındaki rüzgar gücü kapasitesinin değişimi görülmektedir [2]. 1996'dan 2001 yılına kadar geçen bu zaman aralığında yıllık değişim oranı % 26'dan % 37'ye ulaşmıştır.

Rüzgar enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde öncelik kazanmasının başlıca nedenleri, tükenmez, temiz ve ekonomik olmasıdır. Rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere rüzgar türbinleri denmektedir. Sistem temel olarak bir pervane, bir mekanik kısım ve elektrik üretimi söz

konusu olduğunda bir elektrik motorunun akuple edilmesinden oluşmaktadır[3-4].

Rüzgar enerjisini ortaya koyan en önemli faktör, yükseklikle orantılı olarak değişen hızıdır. Rüzgardan yararlanmayı sağlayan kinetik enerjisi ise; rüzgarın hızının, havanın özgül kütlelerinin, rüzgarın tutunacağı rotor alanının, rotorun bulunduğu yüksekliğin fonksiyonu olmakta ve hızının üçüncü dereceden kuvvetiyle doğru orantılı olarak değişmektedir.

Rüzgar enerjisi eldesinin doğru ve hızlı bir şekilde hesaplanabilmesi için uygun bir değerlendirme algoritması önemlidir. Bu çalışmada geri yayılım (back propagation) algoritması kullanılmaktadır. Kurulu otonom bir rüzgar türbini verileri kullanılarak, yüksekliğin enerji eldesine etkisinin YSA ile analizi gerçekleştirilmektedir. Yapay sinir ağları diğer bilim dallarında olduğu gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde de kullanılmaktadır. [5]'de 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. Rüzgar enerjisi kullanımıyla [7] ve rüzgar hızı tahminiyle [8-9] ilgili olarak ta birkaç YSA uygulaması vardır.

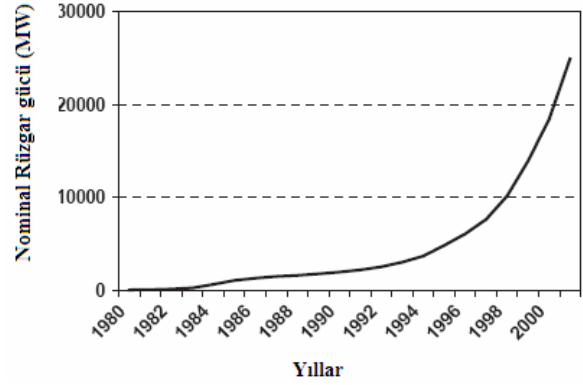
## 2. YAPAY SİNİR AĞLARI (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS(ANN))

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.

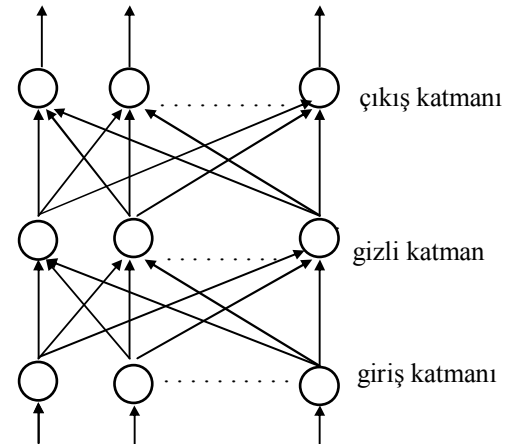
YSA'nın giriş-çıkış büyüklükleri arasındaki bağıntıyı bulma zorunluluğundan bağımsız olması ve etkinliği, çok kısa zaman diliminde sonuçlara yaklaşması diğer yaklaşım metodlarına göre onu bir tercih sebebi haline getirmiştir.

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 2'de ki YSA modeli'nin  $n_i$  giriş düğümüne,  $n_h$  gizli düğümüne ve  $n_o$  çıkış düğümüne sahip olduğunu



Şekil 1. Dünyadaki rüzgar gücü kapasitesinin yıllara göre değişimi (The growth of nominal capacity of wind power)



Şekil 2. Üç katmanlı bir YSA modeli  
(A three layer feed-forward ANN)

varsayalım. Eğer  $m$ 'inci katmandaki  $j$ 'inci düğümün çıkışı  $O_j^m$  ve  $(m-1)$ 'inci katmandaki  $i$ 'inci düğümünden  $m$ 'inci katmandaki  $j$ 'inci düğüme bağlantı ağırlığı  $W_{ij}^m$  ise bu durumda,

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

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 [10].

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

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_0} (t_{pj} - o_{pj}^m)^2 \quad (3)$$

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 [11].

### 3. PROBLEMİN TASARIMI (FORMULATION OF THE PROBLEM)

Rüzgar hızı, ölçüm yapılan noktanın coğrafi koşullarına ve yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bir rüzgar türbininde istenen kule yüksekliğindeki rüzgar hızı aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$V_r = V_{ref} \left( \frac{H}{H_{ref}} \right)^\mu \quad (4)$$

Burada;  $V_r$  hesaplanmak istenen yükseklikteki rüzgar hızı(m/s),  $V_{ref}$  ölçüm sonuçları bilinen yükseklikteki rüzgar hızı(m/s),  $H$  kule yüksekliği (m),  $H_{ref}$  ölçüm sonuçları bilinen noktanın yerden yüksekliği(m),  $\mu$  ise Hellmann katsayısı olarak tanımlanmıştır. Hellmann katsayısı da rüzgar hız ölçüm yerinin coğrafi özelliklerine göre değişir [12].

Rüzgar türbinlerinin enerji üretimi, rüzgar hızının küpüyle doğru orantılıdır. Bu nedenle, enerji üretilebilecek rüzgar hızlarının saatlik esme sürelerinin belirlenmesi de oldukça önem taşımaktadır. Otonom sistemin kurulacağı yerin yıllık ortalama rüzgar hızından, yüksekliğe bağlı türbinin enerji üretebileceği rüzgar hızlarının esme süreleri Rayleigh Dağılımı kullanılarak;

$$h_r = 8760 \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_r}{V_{ort}^2} \exp \left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{V_r}{V_{ort}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

şeklinde belirlenir [13]. Burada;  $h_r$  herhangi bir yükseklikteki rüzgar hızının saatlik esme süresi,  $V_r$  rüzgar hızı(m/s),  $V_{ort}$  yıllık ortalama rüzgar hızı (m/s)'dir.

Otonom bir rüzgar türbininde elde edilen enerji(kWh) yukarıda bahsedilen parametreleri de dikkate alarak;

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

şeklinde ifade edilebilir. Burada;  $P$  rüzgar türbin çıkış

gücü (W)'dür.

Kurulu sistemin ölçülmüş, hesaplanmış ve ifade edilmiş sistem durum değişkenlerini kullanarak sistemden elde edilen farklı kule yüksekliklerindeki enerjiyi hesaplamak için hızlı ve doğru bir algoritma geliştirmek, (6) denklemi vasıtasıyla mevcut durum değişkenleri ve sistem çıkışları arasında planlar kurmak gereklidir.

Sistemin enerji eldesini değerlendirmek için YSA kullanılırken, YSA'ya giriş büyüklükleri olarak, rüzgar hızı ( $V_r$ ), kule yüksekliği ( $H$ ), Hellmann katsayısı ( $\mu$ ), rüzgar hızının saatlik esme süresi ( $h_r$ ), yıllık ortalama rüzgar hızı ( $V_{ort}$ ) ve türbin çıkış gücü ( $P$ ) düşünülmüştür. YSA'nın çıkış büyüklüğü ise elde edilen enerji ( $E$ ) değeridir.

### 4. YSA'NIN TASARIMI (DESIGN OF THE ANN)

Tasarım işlemi aşağıdaki adımları içerir;

- (i) Uygun eğitme verilerinin hazırlanması
- (ii) Uygun YSA yapısının seçilmesi
- (iii) YSA'nın eğitilmesi
- (iv) Eğitilmiş ağın değerlendirilmesi

Eğitme esnasında iyi sonuç vermeyen bir YSA yapısı seçilebilir. Bu durumda yapısı değiştirilmesi gerekir ve YSA tekrar eğitilmelidir. Eğitilmiş bir YSA bazen test verilerinde tatmin edici olmayabilir. Bu durumda ise ağ yapısı ve eğitme verileri değiştirilir ve ağ tekrar eğitilerek test edilmelidir [14].

#### 4.1. Eğitme Verilerinin Elde Edilmesi (Preparation of training data)

Eğitme örnekleri problemi genelleştirmek için gerekli bilgiyi içermesi gerekir. Bir eğitme setini hazırlama üç aşamayı içerir. Birinci olarak sistem parametreleri seçilir. İkinci olarak kurulu sistem kullanılarak ölçüm ve hesaplamalar gerçekleştirilir. Bu aşamada ihtiyaç duyulan ek bilgi kurulu sistem lokasyonuna ait Hellmann katsayısı'dır. Son olarak elde edilen sistem verileri normalizasyona tabi tutulur. Burada çıkış değerleri [0,1] aralığında normalize edilmiştir.

Diğer yandan YSA giriş değerleri de normalizasyona tabi tutulmuştur. Normalizasyondaki amaç, değerler arasındaki çok farklı durumları ortadan kaldırarak değerleri mümkün olduğu kadar sınırlı aralığa getirmektir. Böylece her işlem elemanı kendisine verilen yerel veriye göre, kendisini ayarlayacak bütün YSA'nın enformasyon bölgesini öğrenmesi sağlanmış olacaktır.

#### 4.2. Uygun YSA Yapısının Seçimi (Selection of a suitable ANN structure)

Önerilen ağ yapısının seçimi katman sayılarının seçimini, transfer fonksiyonunun seçimini, giriş ve

çıkış sayılarının seçimini ve her bir katmandaki düğüm sayısının seçimini içerir. Üç katmanlı ileri-beslemeli bir ağ, kompleks planlama fonksiyonları makul olarak modelleyebildiğinden bu uygulama için önerilir. Non-linear bir sigmoid planlama fonksiyonu transfer fonksiyonu olarak kullanılır. Giriş ve çıkış katmanlarındaki düğüm sayıları, giriş ve çıkış parametreleri kadardır. Gizli katmandaki düğüm (neuron) sayıları farklı ağ konfigürasyonlarını eğitime ve test etmeleri içeren deneyimlerle kararlaştırılır. YSA ile ilgili referanslar [11,15] başlama ağına düğüm sayılarını seçmek için bir kılavuzluk sağlar.

#### 4.3. Eğitime ve Değerlendirme (Training and Evaluation)

Seçilmiş ağın eğitimi, eğitime örnekleri ve geri-yayılım (back-propagation) algoritması kullanılarak yapılır. Gerçek çıkışlar ve istenen çıkışlar arasındaki ortalama karesel hatayı iyileştirme işlemi bittiği zaman eğitime işlemi tamamlanır. Bu işlemi yaparken öğrenme katsayısı ( $\epsilon$ ) ve momentum katsayısı ( $\alpha$ )'dan yararlanır. Ancak bu noktada, tasarımcı YSA'nın eğitime ve performansından memnun değilse YSA'nın yapısı ve/veya eğitime verileri değiştirilir ve tasarım işlemi tekrarlanır.

#### 5. KURULU SİSTEMİN TANITIMI (DEFINITION OF THE ESTABLISHED SYSTEM)

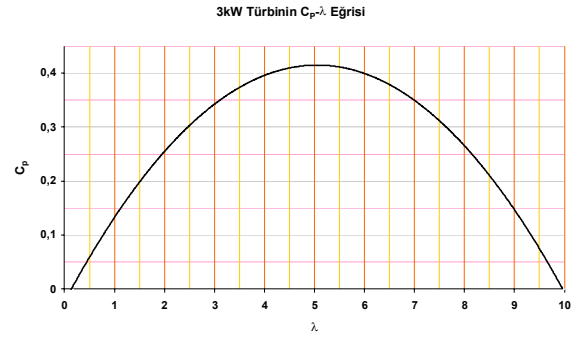
Araştırma projesi [16] kapsamında Celal Bayar Üniversitesi Kırkağaç MYO Yerleşkesi'ne kurulan sistem, 1 adet 3 kW gücünde türbin, 1 adet kontrol ünitesi, 24 adet 2 V 200 Ah sabit sistem aküsü, 1 adet 48 V/220 50 Hz, 3 kVA tam sinüs inverter'den oluşmaktadır. Şekil 3'de kurulu sistem görülmektedir.

Kurulu olan rüzgar türbini; değişken hızlı, üç kanatlı olup kule yüksekliği 15 metredir. Elektrik enerjisi eldesi, Daimi Mıknatıslı Senkron Makine aracılığı ile sağlanmaktadır. Türbin üzerinde gerekli ölçümler yapılarak  $C_p$ - $\lambda$  eğrisi Şekil 4'teki gibi çizilmiştir. Ayrıca, rüzgar türbininin rüzgar hızına bağlı elektriksel çıkış gücü eğrisi Şekil 5'de verilmiştir.

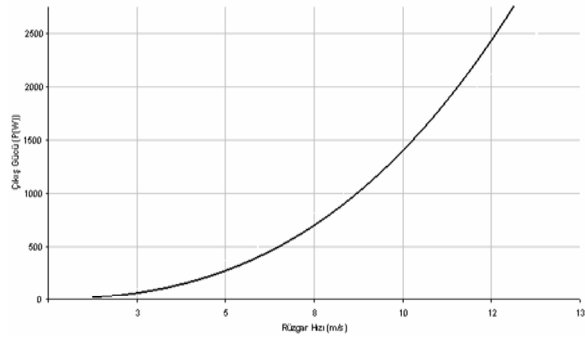
Türbin, rüzgar hızının yükselmesi durumunda pervane dönme eksenini düşey eksene doğru kaydırmakta ve kuyruk açısını değiştirmektedir. Bu sayede yüksek



Şekil 3. Kurulu rüzgar türbini ve kontrol ünitesi (Established wind turbine and control unit)



Şekil 4. 3kW'lık rüzgar türbinine ait  $C_p - \lambda$  eğrisi (Power factor – tip speed ratio curve)



Şekil 5. 3kW'lık rüzgar türbininin rüzgar hızına bağlı elektriksel çıkış gücü (Wind speed- electricity output power curve)

rüzgar hızlarında türbin hızının tehlikeli şekilde artmasına engel olmakta, hem de üretime devam etmektedir. Ayrıca direk tepe kuvvetinin de aşırı artmasını önlemektedir.

#### 6. ENERJİ ELDESİNİN YSA İLE ANALİZİ (ANALYSIS OF THE ELECTRICITY GENERATION USING ANN)

Sunulan yaklaşım yukarıda bahsedilen kurulu sisteme uygulanır. YSA için giriş düğümleri sayısı altı olarak seçilmiştir. Giriş değişkenleri denklem 6'da belirtildiği gibi alınmıştır. Buna göre, giriş parametreleri aşağıdaki gibi ifade edilir;

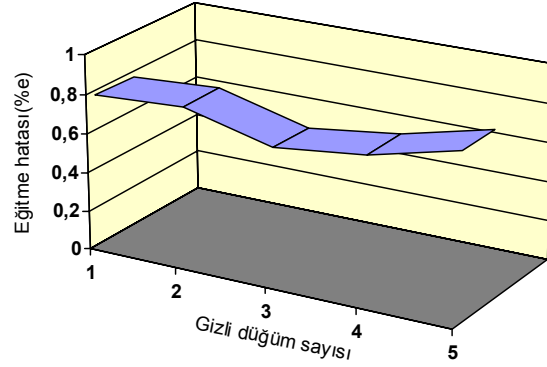
$$x(t) = [V_r, H, \mu, h_r, V_{ort}, P] \quad (7)$$

Burada;  $V_r$  rüzgar hızı,  $H$  kule yüksekliği,  $\mu$  Hellmann katsayısı,  $h_r$  rüzgar hızının saatlik esme süresi,  $V_{ort}$  yıllık ortalama rüzgar hızı ve  $P$  türbin çıkış gücünü göstermektedir. Diğer yandan çıkış değişkeni ise;

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

şekindedir. Burada;  $E$  elde edilen enerji değeridir. Farklı giriş değerlerinden çıkış değerini elde etmek için bir YSA topolojisi oluşturulur. Bu işlemi gerçekleştirmek için normalize edilmiş eğitime verilerine ihtiyaç duyulur. Bütün giriş ve çıkış değişkenleri için eğitime verileri Tablo 1'de

verilmektedir. Hellmann yükseltme katsayısı ( $\mu$ ) ise çalışılan lokasyon şartlarında ortalama olarak 0.21 alınmaktadır. Tasarlanan YSA'nın farklı lokasyonlarda kullanılması durumunda Hellmann katsayısı değişeceği için burada giriş parametresi olarak dikkate alınmıştır. Eğitim işleminin performansı, eğitim hatasının minimize olup olmamasına göre ölçülür. En iyi ağ topolojisini ve minimum hatayı elde etmek için eğitim katsayısı ve momentum katsayısından faydalanılır. Eğitim hatasının gizli katmandaki düğüm sayısına göre değişimi Şekil 6'da görülmektedir.



**Şekil 6.** Gizli katmandaki düğüm sayısının eğitim hatasına etkisi ( The effect of number of nodes in hidden layer)

Şekilde görüldüğü gibi düğüm sayısı 3 iken eğitim hata oranı en az olmaktadır. Bu nedenle gizli düğüm sayısı 3 seçilmiştir. Buna göre YSA topolojisi 6:3:1 ağ mimari yapısında olur. Yani giriş katmanı düğüm sayısı 6, gizli katman düğüm sayısı 3 ve çıkış katmanı düğüm sayısı 1 olarak seçilmiştir

Yukarıda bahsedilen eğitilmiş üç katmanlı ağ daha sonra test edilir. Çünkü eğitilmiş bir ağın performansı

**Tablo 1.** Eğitim verileri (Training samples (calculated and measured data))

| Rüzgar Hızı<br>V <sub>r</sub> (m/s) | Yükseklik<br>H(m) | Esme Süresi<br>h <sub>r</sub> (Saat) | Yıllık ort.<br>rüzgar hızı<br>V <sub>ort.</sub> (m/s) | Güç<br>P (Watt) | Enerji<br>E (kWh) |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|---|-----------------|-------------------|
| 3                                   | 10                | 826,81                               | 6,497   | 43              | 35,552            |
| 4                                   | 10                | 967,85                               | 6,497   | 128             | 123,884           |
| 5                                   | 10                | 1023,37                              | 6,497   | 263             | 269,146           |
| 7                                   | 10                | 916,90                               | 6,497   | 692             | 634,494           |
| 8                                   | 10                | 792,80                               | 6,497   | 1000            | 792,8             |
| 9                                   | 10                | 650,15                               | 6,497   | 1395            | 906,959           |
| 11                                  | 10                | 377,66                               | 6,497   | 2420            | 913,937           |
| 12                                  | 10                | 268,61                               | 6,497   | 2840            | 762,852           |
| 13                                  | 10                | 182,80                               | 6,497   | 3000            | 548,4             |
| 3                                   | 15                | 716                                  | 7,074   | 43              | 30,788            |
| 4                                   | 15                | 855                                  | 7,074   | 128             | 109,440           |
| 5                                   | 15                | 928                                  | 7,074   | 263             | 543,808           |
| 6                                   | 15                | 937                                  | 7,074   | 586             | 549,082           |
| 7                                   | 15                | 1479                                 | 7,074   | 692             | 1 023,468         |
| 9                                   | 15                | 694                                  | 7,074   | 1395            | 968,130           |
| 10                                  | 15                | 572                                  | 7,074   | 1867            | 1 067,924         |
| 11                                  | 15                | 453                                  | 7,074   | 2420            | 1 096,26          |
| 12                                  | 15                | 344                                  | 7,074   | 2840            | 976,96            |
| 3                                   | 20                | 644,66                               | 7,515   | 43              | 27,720            |
| 4                                   | 20                | 779,86                               | 7,515   | 128             | 99,822            |
| 5                                   | 20                | 860,20                               | 7,515   | 263             | 226,232           |
| 6                                   | 20                | 885,88                               | 7,515   | 586             | 519,125           |
| 8                                   | 20                | 800,36                               | 7,515   | 1000            | 800,36            |
| 9                                   | 20                | 710,91                               | 7,515   | 1395            | 991,719           |
| 10                                  | 20                | 606,56                               | 7,515   | 1867            | 1132,448          |
| 12                                  | 20                | 394,86                               | 7,515   | 2840            | 1121,402          |
| 13                                  | 20                | 302,20                               | 7,515   | 3000            | 906,6             |
| 3                                   | 30                | 554,59                               | 8,182   | 43              | 23,847            |
| 4                                   | 30                | 681,18                               | 8,182   | 128             | 87,191            |
| 6                                   | 30                | 808,17                               | 8,182   | 586             | 473,587           |
| 7                                   | 30                | 809,55                               | 8,182   | 692             | 560,208           |
| 8                                   | 30                | 775,98                               | 8,182   | 1000            | 775,98            |
| 10                                  | 30                | 635,96                               | 8,182   | 1867            | 1187,337          |
| 11                                  | 30                | 546,86                               | 8,182   | 2420            | 1323,401          |
| 13                                  | 30                | 368,11                               | 8,182   | 3000            | 1104,33           |

test etme fazında ortaya çıkar. Test işlemi eğitime verilerinden farklı verilerle gerçekleştirilir. Tablo 2’de 9 farklı test değerlerine ilişkin sonuçlar verilmektedir. Burada görüldüğü gibi YSA ile elde edilen sonuçlar, ölçüm ve hesaplanan enerji değerleriyle karşılaştırıldığında küçük sapmalarla yaklaşık olarak elde edilmektedir. Yalnız çok büyük ve çok küçük rüzgar hızlarında hata oranı artmaktadır.

**Tablo2.** Ölçülen ve hesaplanan Enerji değerlerinin YSA sonuçlarıyla karşılaştırılması (Comparison of electricity generation obtained by ANN and calculated & measured method)

| Test No | $V_r$ (m/s) | H (m) | YSA sonuçları E (kWh) | Ölçülen & Hesap. E(kWh) | Error (%) |
|---------|-------------|-------|-----------------------|-------------------------|-----------|
| 1       | 6           | 10    | 567                   | 586                     | 3.2       |
| 2       | 10          | 10    | 924                   | 947                     | 2.4       |
| 3       | 8           | 15    | 794                   | 805                     | 1.3       |
| 4       | 13          | 15    | 866                   | 756                     | -14.5     |
| 5       | 7           | 20    | 597                   | 596                     | 0.1       |
| 6       | 11          | 20    | 1124                  | 1205                    | 6.7       |
| 7       | 5           | 30    | 214                   | 201                     | -6.4      |
| 8       | 9           | 30    | 1027                  | 997                     | -3.0      |
| 9       | 12          | 30    | 1242                  | 1293                    | 3.9       |

## 7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada otonom bir rüzgar türbininin farklı yüksekliklerdeki enerji eldesinin YSA ile analizi gerçekleştirilmiştir. YSA’nın genelleştirme ve paralel bilgi işleme yeteneğinden dolayı, sunulan algoritma hesaplama ve ölçüm yöntemlerine göre daha hızlı ve doğrudur. Sunulan algoritma rüzgar türbinlerindeki durum değişkenlerinin kullanımıyla enerji eldesinin analizi için kullanılabilir.

Önerilen yaklaşım örnek otonom bir rüzgar türbini göz önüne alınarak açıklanmıştır. Eğitilmiş YSA’daki test sonuçları göstermiştir ki rüzgar türbininin farklı yüksekliklerdeki enerjiyi elde etme hesaplama ve ölçme sonuçlarına göre daha hızlı bir şekilde olmaktadır. YSA ile yapılan böyle bir yaklaşım çok fazla iterasyon sayısı içermesine rağmen cevap süresinin çok kısa olması ve doğruluğunun yüksek olmasından dolayı diğer yaklaşım metotlarına (klasik hesaplama ve ölçme metotları) göre onu tercih sebebi haline getirecektir. YSA bir kez tasarlandığında farklı rüzgar türbinleri ve farklı lokasyonlarda kullanılması mümkün olacaktır.

## SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

$V_r$  : Rüzgar hızı

$V_{ort}$  : Yıllık ortalama rüzgar hızı

$\mu$  : Hellmann yükseltme katsayısı

$h_r$  : Rüzgar esme süresi

H : Yükseklik

E : Elde edilen enerji değeri

P: Türbin çıkış gücü

$C_p$  : Güç faktörü

$\lambda$  : Devirlilik katsayısı

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri fonu tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Köse R, Özgür MA, Erbaş O, Tuğcu A. “The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya, Turkey” **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 8 (2004) 277–288.
2. Varhoa, V., Tapio, P. “Wind power in Finland up to the year 2025—‘soft’ scenarios based on expert views”, **Energy Policy** 33 (2005) 1930–1947.
3. Özdamar, A. “An overview of wind energy and wind turbines” **In Proceedings of a National Symposium on Renewable Energy Resources**, Izmir, Turkey, 2001.
4. Ozdamar A., Gursel K. T., Ozer G., Pekbey Y., “Investigation of the potential of wind-waves as a renewable energy resource: by the example of Cesme-Turkey”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 8 (2004) 581-592.
5. Kalogirou, S., A. “Applications of neural networks for energy systems”, **Renewable Energy**, 2005, 30(7):1075-1090.
6. Kalogirou, S., A. “Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2001, 5(4):373–401.
7. Cam, E., Arcaklıoğlu, E., Çavusoğlu, A. ve Akbıyık, B. “A classification mechanism for determining average wind speed and power in several regions of Turkey using artificial neural networks”, **Renewable Energy**, 2005, 30(2):227-239.
8. Öztopal A, Kahya C, Şahin A.D. “Wind speed modelling with artificial neural network. **III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu**. İstanbul, Turkey, 2000. p. 415–22.
9. Öztopal A. “Artificial neural network approach to spatial estimation of wind velocity data”, **Energy Conversion and Management**, Vol. 47(4), March 2006, p.395-406.
10. Yurdusev, M.A., Ata, R., Çetin, N.S., “Assessment of Optimum Tip Speed Ratio in Wind Turbines Using Artificial Neural Network” **Energy** 31 (2006), 1817-1825,2006.
11. Lippman, R.P., "An Introduction to Computing with Neural Nets", **IEEE ASSP Magazine**, April, 4-22, 1987.
12. Özdamar, A., Çolak M. “İzmir’de Yapılan Dört Yıllık Rüzgar Ölçümlerine Dayanan Bir Enerji Değerlendirmesi”, **III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu**, İstanbul, 2000.

13. Çetin, N.S. “**Şebeke Bağlantısız PM Generatörlü Rüzgar Türbinlerinin YSA ile Sistem Optimizasyonu**” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enst., Ege Üniv., İzmir -2006.
14. Sidhu, T.S., Ao, Z. “On-line Evaluation of Capacity and Energy Losses in Power Transmission Systems by Using Artificial Neural Networks”, **IEEE Trans. on Power Delivery**, Vol. 10, No. 4, October, 1913-1919, 1995.
15. Hammerstrom, D. "Working with Neural Networks", **IEEE Spectrum**, July, 46-53, 1993.
16. Ata, R., Çetin, N.S, Köksal, S., “3 kW gücünde bir rüzgar rüzgar santrali kurulumu”, **Bilimsel Araştırma projesi kesin raporu**, Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, Aralık 2006.