

Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücün Yapay Sinir Ağı ile Tahmini

Mehmet Feyzi Özsoy* ve Hakan Aydoğan

Elektrik ve Enerji Bölümü, Uşak Üniversitesi, Türkiye
*(mehmetfeyzi.ozsoy@usak.edu.tr)

Özet – Bu çalışmanın amacı Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi kurulu gücünün, geçmiş 10 yılın normalize edilmiş kurulu güç verileri kullanılarak yapay sinir ağı metodu ile 2017 yılı için tahminde bulunmaktır. Türkiye’de rüzgâr enerjisi kurulu gücünü tahmin etmek için yapay sinir ağı kullanılmıştır. Ağın eğitim ve simülasyon denemeleri arasından en iyi sonucu veren 3 girişli, tek çıkışlı ve bir gizli katmanı olan ileri beslemeli geriye yayımlı bir yapay sinir ağı Matlab yazılımı tasarlanmıştır. Ağın gizli katmanında 100 adet tansig fonksiyonlu nöron, çıkış katmanında ise pürelin fonksiyonlu tek nöron kullanılmıştır. 2005-2015 yılları arasında gerçekleşen rüzgâr enerjisi kurulu güç verileri, giriş-çıkış değeri olarak kullanılıp yapay sinir ağı eğitilmiştir. Eğitim metodu olarak traingdm seçilmiştir. Ağın üç giriş için normalize edilmiş ardışık yılların rüzgâr kurulu güç değerleri, çıkış için bu ardışık yıllardan sonraki yılın değerleri kullanılmıştır. 2016 yılında TEİAŞ verilerine göre Türkiye rüzgâr enerjisi kurulu gücü 5751.3 MW tır. Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyonu (2016-2020) belgesinde yer alan senaryo 1’de % 7.54 sapma ile 5317.3 MW olarak tahmin etmiştir. Bu çalışmada ise bu değer % 4.53 sapma ile 6011.88 MW olarak tahmin edilmiş olup, 2017 yılı için 6277.39 MW olarak tahminde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Yenilenebilir enerji, rüzgâr, yapay sinir ağı, tahmin

Forecasting the Installed Wind Power in Turkey by Artificial Neural Network

Abstract – The aim of this study is to forecast installed wind power which is a one of the renewable energy resources in Turkey for the year of 2017 based on artificial neural network method using the normalized last ten-year data. An artificial neural network has been carried out to forecast the installed wind power in Turkey. The artificial neural network created by Matlab software has been designed as the 3 inputs and one output, one hidden layer and feed forward back propagation properties at the end of the trial and error method of the training and simulation. The hidden layer has 100 neurons with tansig activation function and the output layer has single neuron with purelin activation function. The artificial neural network has been trained using the data consist of the installed wind power in Turkey between the years of 2005-2015. The training method has been chosen as the traingdm. The normalized sequential years of the installed wind power data have been applied to the inputs and the following year of the installed wind power data has been applied to the output. The installed wind power has been reached to 5751.3 MW by the end of 2016 in according to the TEIAS. In the scenario one appearing in the document of production capacity projection (2016-2020) published by the EMRA, the installed wind power has been forecasted by the absolute deviation of 7.54 % as 5317.3 MW by the year of 2016. This study has forecasted by the absolute deviation of 4.53 % as 6011.88 MW by the year of 2016 and the 6277.39 MW for the year of 2017.

Keywords – renewable energy, wind, artificial neural network, forecast

I. GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun varlığını sürdürmesi için gereken temel unsurlardan biri haline gelmiştir. Sanayi sektöründe ve günlük hayatımızda enerjiye duyulan ihtiyaç, geçmişe kıyasla çok fazla artmıştır. Enerji üretimi ve tüketimi ile hayat kalitesi, ekonomik gelişme ve sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki kurulmuştur. Hızla artan nüfus ve teknoloji enerjiye olan talebi hızlandırmıştır. Ülkelerde bu artan talebi karşılamak için enerji yol haritaları belirlemek zorunda kalmıştır [1,2]. Enerji üretiminde kullanılan kaynakların kısıtlı olması, fosil yakıtların ülkelerde eşit bulunmayışı ve çevreye verdiği zararlar dikkate alındığında; enerji ihtiyacını karşılayacak, yerli, çevre dostu ve ucuz bir enerji kaynağına sahip olmak ülkelerin ortak bir sorunu olmuştur. Bu sebeplerden, enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak ve alternatif olarak temiz ve milli yenilenebilir enerji

kaynaklarının değerlendirilmesi enerji talebini karşılamada yararlı ve pratik bir yöntem olacaktır [3]. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olup her geçen gün daha cazip bir yatırım sektörü haline gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan rüzgâr enerjisi, teknoloji ve kullanımı ile hızlı bir gelişme göstermektedir. Rüzgâr santrallerinde, rüzgârın kinetik enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretilir. Son yıllarda rüzgâr türbinlerinden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti azalmış olup, diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilir düzeye yaklaşmış ve ayrıca ülkemizde rüzgâr santralleri için devlet teşviki ve desteği verilmektedir [4,5]. 2016 yılında Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü geçen yıla oranla %6.27 artarak 77737 MW olup 272.56 TWh elektrik üretimi ve 277.52 TWh elektrik tüketimi gerçekleşmiştir. Kurulu güç içerisinde doğal gaz santrallerinin payı %32.77, hidroelektrik santrallerin payı %34.32, linyit santrallerin payı

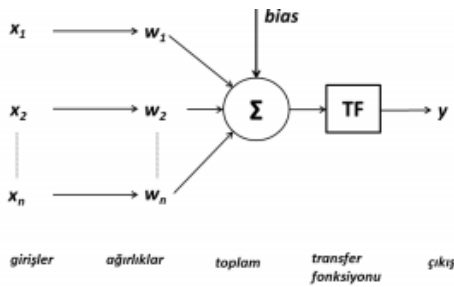
% 11.92, rüzgar santrallerinin payı %7.39 olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisindeki payı %43.41 olurken termik kurulu gücün oranı ise %56.59 olarak gerçekleşmiştir [6].

Şenol ve Musayev çeşitli rüzgar türbinleri ile yapay sinir ağları modeli oluşturarak rüzgar enerjisinden elektrik üretimi tahmini yapmıştır [7]. Azadeh ve diğerleri İran'da yenilenebilir enerji tüketim tahmini için yeni bir YSA modeli önermiş ve bu model ile geleneksel tahmin modellerini karşılaştırmıştır [8]. Kaya ve diğerleri Kastamonu ili için çeşitli rüzgar türbin verileri ile iki farklı model oluşturularak rüzgar gücü potansiyelinin tahmininde bulunmuşlardır [9]. Rüzgar hızı, kurulu gücü ve üretim tahmini ile ilgili birçok çalışma mevcuttur [10-14].

Bu çalışmada Türkiye'de 2017 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücü, ileri beslemeli geriye yayımlı YSA ile tahmin edildi ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) verileri ile karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Yapay sinir ağları (YSA), beyin fonksiyonlarından esinlenilerek deneme yolu ile biyolojik sinirlerin genelleştirilmiş matematiksel modelidir [15]. YSA'lar görüntü tanıma, tanımlama, sınıflandırma, konuşma, görme ve kontrol sistemleri gibi birçok farklı uygulamada karmaşık problemleri çözmek için başarıyla kullanılan zeki sistemlerdir [16]. YSA, olayların örneklerini inceleyerek bilgiler toplar. İnceleme sonucu olaylar hakkında genellemeler yaparak hiç karşılaşmadığı benzer vakaların çözümünde, kendine öğretilen bilgileri kullanıp o vakalara yönelik yakın tahminlerde bulunur. Mevcut problemin çözümünde danişmalı öğrenme metodundan ileri beslemeli geriye yayımlı YSA kullanılmıştır. YSA temel olarak üç katmandan oluşur, bunlar girdi katmanı, çıktı katmanı ve çoğu zaman bir veya iki gizli katmanlardır. Tasarımı yapılacak problemin türüne bağlı olarak katmanların her biri farklı sayıdaki nöronlarla oluşturulur. Şekil 1'de yapay bir nöronun matematik modeli görülmektedir [17,18].



Şekil 1. Yapay bir nöronun yapısı [19]

Bir yapay sinir ağının geriye yayılım algoritmasıyla, ağdan beklenen çıktı ile üretilen çıktı farkının yani hatanın en aza indirgenmesi amaçlanır. İleri beslemeli Yapay sinir ağı hesaplanmasında, giriş katmanına gelen girdi verileri ağırlık matrisleri aracılığı ile düzenlenip çıktı değerleri bulunur. Ardından eğitim algoritmasına göre, ağ çıkışı ile gerçek çıkış arasında kalan fark yani hata tekrar geriye doğru yayılarak ağ ağırlıkları yeniden düzenlenir. Bu işlem, ağdan istenilen çıktı elde edilene kadar devam eder [20].

Eğitim aşamasında; giriş ve hedef değerleri için çeşitli model algoritmalarından biri seçilip "q" katmanında bulunan j'ler için ileri yönde çıkış değerleri denklem 1'e göre

hesaplanır. Burada y_i^q , q. katmandaki i birim çıktı sonucudur.

$$y_i^q = f\left(\sum_i y_i^{q-1} w_{ij}^q\right) \quad (1)$$

Çıkış birimlerinin hata hesabı denklem 2'de verilmiştir.

$$\delta_i^Q = (y_i^Q - y_i^q) f'(H_i^Q) \quad (2)$$

Katmanlardaki i birimleri için geriye yayılma hata hesabı denklem 3'de verilmiştir.

$$\delta_i^{q-1} = f'(H_i^{q-1}) \sum_j \delta_j^q w_{ij}^q \quad (3)$$

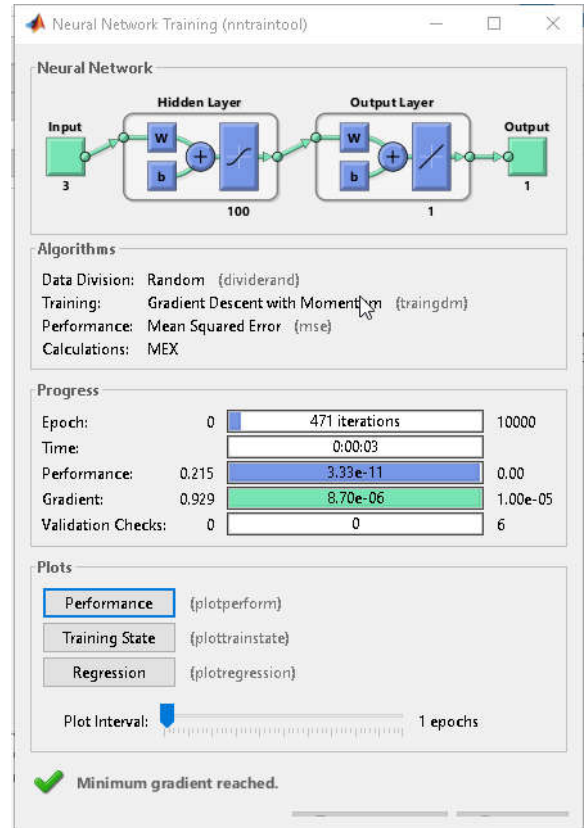
(q-1). katmanlardaki i birimini q. katmandaki j birimine bağlayan "w_{ij}" ağırlıkları denklem 4 ve denklem 5'de verilmiştir.

$$w_{ij}^{\text{yeni}} = w_{ij}^{\text{eski}} + \Delta w_{ij}^q \quad (4)$$

$$\Delta w_{ij}^q = \eta \delta_i^q y_i^{q-1} \quad (5)$$

Hata payı önceden belirlenmiş sifıra yakın bir sayıya indirgenene kadar her adımdaki hesaplamalar tekrarlanır. Hata istenilen değere kadar minimize edildiğinde ise ağın öğrenmesi tamamlanır [21].

Farklı boyutlardaki yapay sinir ağı eğitimi ve simülasyonu sonucunda en iyi sonuç veren ağ 3 girişli ve bir çıkışlı tek gizli katmanı olan ağ oluşturulmuştur. Şekil 2'de oluşturulan ağın topolojisi ve özellikleri görülmektedir.



Şekil 2. Yapay sinir ağın topolojisi

Ağın gizli katmanında 100 adet tansig fonksiyonlu nöron, çıkış katmanında ise purelin fonksiyonlu tek nöron kullanılmıştır. Eğitim metodu olarak traingdm seçilmiştir.

Tasarlanan yapay sinir ağının eğitimi için gerekli olan giriş ve çıkış değerleri, rüzgar kurulu gücünün son 10 yılı baz alınarak oluşturulmuştur. Ağın üç girişi için ardışık yılların rüzgar kurulu güç değerleri (MW), çıkışı için ise bu ardışık yıllardan sonraki yılın rüzgar kurulu güç değerleri uygulanmıştır. Bu değerler Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Giriş ve çıkış değerleri

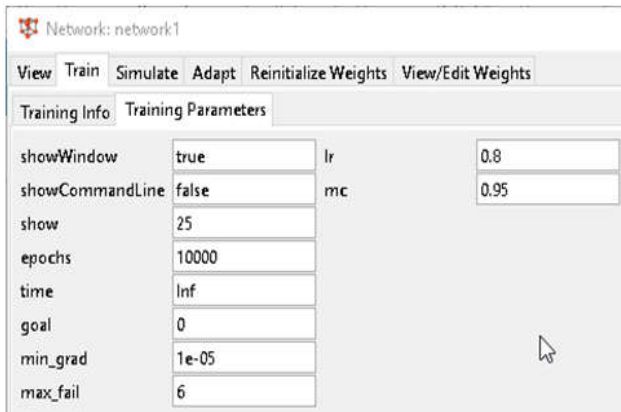
i1	i2	i3	o
59	146.3	363.7	791.6
146.3	363.7	791.6	1320.2
363.7	791.6	1320.2	1728.7
791.6	1320.2	1728.7	2260.5
1320.2	1728.7	2260.5	2759.6
1728.7	2260.5	2759.6	3629.7
2260.5	2759.6	3629.7	4503.2

Oluşturulan yapay sinir ağının bu sayısal değerleri anlamasını sağlamak için değerler Tablo 2’de görüldüğü gibi normalize edilmiştir.

Tablo 2. Normalize edilmiş değerleri

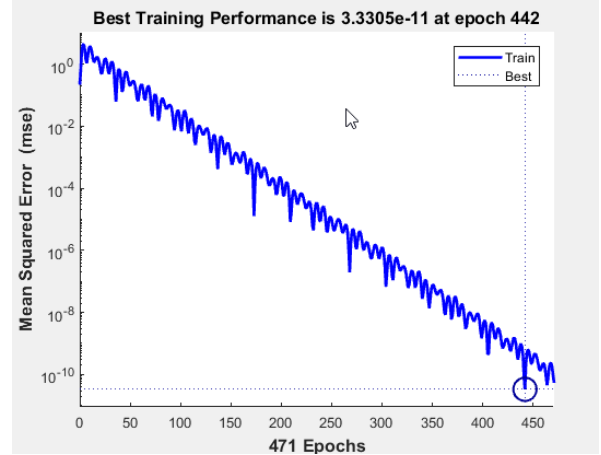
i1	i2	i3	o
0.008429	0.0209	0.051957	0.113086
0.0209	0.051957	0.113086	0.1886
0.051957	0.113086	0.1886	0.246957
0.113086	0.1886	0.246957	0.322929
0.1886	0.246957	0.322929	0.394229
0.246957	0.322929	0.394229	0.518529
0.322929	0.394229	0.518529	0.643314

Ağın eğitim parametreleri Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. Yapay sinir ağının parametreleri

Daha sonra ağın eğitimi işlemi başlatılmıştır. Şekil 4’de görüldüğü gibi eğitim, ortalama karesel hata (mse) performansına göre 471 iterasyonda tamamlanmıştır.



Şekil 4. Yapay sinir ağının parametreleri

Ağın eğitim işlemi tamamlandıktan sonra test için ağın daha önceden görmediği 2016 yılı verisinin tahmini yapılmak istenmiştir. Bu işlem için ağı 2013, 2014 ve 2015 yılı rüzgar kurulu gücün normalize değerleri verilmiş ve çıkışından normalize bir değer elde edilmiştir. Bu normalize değerler daha sonra gerçek değerlerine dönüştürülmüştür. Bu değerler Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. 2016 yılı tahmini için normalize edilmiş değerleri

	2013	2014	2015	2016 tahmin
Normalize	0.394229	0.518529	0.643314	0.85884
Gerçek (MW)	2759.6	3629.7	4503.2	6011.88

III. BULGULAR

Ağın 2016 tahmini, gerçekleşen 2016 rüzgar kurulu güç ve senaryo 1 e göre 2016 projeksiyonu ve hesaplanan mutlak hatalar Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4. 2016 yılı rüzgar kurulu gücü (MW) ve tahmin sonuçları

2016 Rüzgar kurulu gücü (MW)		
gerçekleşen	ağın tahmini	senaryo 1 projeksiyonu
5751.3	6011.88	5317.3 [6]
	Mutlak sapma % 4.530	Mutlak Sapma % 7.546

Ağın 2017 tahmini için 2014-2015 ve daha önceden ağın tahmin ettiği 2016 rüzgar kurulu güçlerinin normalize değerleri ağına verilmiş ve 2017 yılının rüzgar kurulu gücü tahmin edilmiştir. Bu değerler Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 5. 2016 yılı rüzgar kurulu gücü (MW) ve tahmin sonuçları

	2014	2015	2016 tahmin	2017 tahmin
normalize	0.518529	0.643314	0.85884	0.89677
Gerçek (MW)	3629.7	4503.2	6011.88	6277.39

IV. SONUÇ

2016 yılında TEİAŞ verilerine göre Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü 5751.3 MW tır. Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyonu (2016-2020) [6] belgesinde yer alan senaryo 1’de % 7.54 sapma ile 5317.3 MW olarak tahmin etmiştir. Bu çalışmada ise bu değer % 4.53 sapma ile

6011.88 MW olarak tahmin edilmiş olup, 2017 yılı için 6277.39 MW olarak tahminde bulunulmuştur.

REFERANSLAR

1. E. E. Korkamaz ve A. Şahinarslan , “PV-Wind Hybrid Energy Generate System Design for Malatya by Using HOMER Software,” *ICNASE’16*, 2016, pp. 1508-1516.
2. E. Koç ve M. C. Şenel, “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu Genel Değerlendirme” *Mühendis ve Makina*, cilt 54, sayı 639, 2013, s. 32-44
3. F. Chen, N. Duic and L. M. Alves, “Renewislands-renewable energy solutions for islands,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, vol. 11, s. 1888-1902.
4. U. Elibüyük, A. K. Yakut, İ. Üçgül, “Süleyman Demirel Üniversitesi rüzgâr enerjisi santrali projesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi*, 2016, 3(2), 22-32.
5. M. C. Şenel ve E. Koç, “Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme,” *Mühendis ve Makina*, 2015, cilt 56, sayı 663, s. 46-56.
6. (2017) wepsite. [online]. <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/7732>
7. Ü. Şenol ve Z. Musayev, “Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini,” *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2017, 1(1), s. 23-31
8. A. Azadeh, R. Babazadeh and S. M. Asadzadeh, “Optimum estimation and forecasting of renewable energy consumption by artificial neural networks,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol: 27, s. 605-612, 2013
9. Ü. Kaya, M. Caner ve Y. Oğuz, “Rüzgar Türbin Modelleri Kullanarak Kastamonu İli Rüzgar İle Elektrik Üretim Potansiyeli Tahmini,” *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 2016, 11(3): s. 65-74.
10. E. Cadenas, W. Rivera, R. Campos-Amezcuca and R. Cadenas, “Wind speed forecasting using the NARX model, case: La Mata, Oaxaca, México,” *Neural Computing and Applications*, 2016, 27(8), 2417-2428.
11. J. Jung and R. P. Broadwater, “Current status and future advances for wind speed and power forecasting,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 31, 762-777.
12. W. C. Yeh, Y. M. Yeh, P. C. Chang, Y. C. Ke and V. Chung, “Forecasting wind power in the Mai Liao Wind Farm based on the multi-layer perceptron artificial neural network model with improved simplified swarm optimization,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2014, 55, 741-748.
13. P. Ramasamy, S. S. Chandel and A. K. Yadav, “Wind speed prediction in the mountainous region of India using an artificial neural network model,” *Renewable Energy*, 2015, 80, 338-347.
14. R. Ata, “Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 49, 534-562.
15. L. Fausett, *Fundamentals of Neural Networks*, 3, Prentice-Hall, New Jersey, 1994.
16. A. Hasni, A. Sehli, B. Draoui, A. Bassou and B. Amieur, “Estimating global solar radiation using artificial neural network and climate data in the south-western region of Algeria,” *Energy Procedia*, 2012, 18, 531-537.
17. G. Zhang, B. E. Patuwo and M. Y. Hu, “Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art,” *Inter. Journal of Forecasting*, 1998, vol. 14, 35- 62.
18. I. Kaastra and M. Boyd, “Designing a Neural Network for Forecasting Financial and Economic Time Series,” *Neurocomputing*, 1996, vol. 10, 215- 236.
19. S. A. Kalogirou, "Applications of artificial neural networks in energy systems," *Energy Conversion and Management* 40.10, 1999, p. 1073-1087.
20. H. A. Es, F. Y. Kalender ve C. Hamzaçebi, “Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Talep Tahmini,” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 29 (3), 495-504, 2014.
21. Ö. Keleşoğlu ve A. Fırat, “Tuğla Duvardaki ve Tesisattaki Isı Kaybının Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi,” *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Dergisi*. 2006, 18(2), 133-141.