

Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini

Ümit ŞENOL^{1*}, Zabit MUSAYEV²

¹ Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı 06520 Ankara, Türkiye

²Bozok Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 66200 Yozgat, Türkiye

* Corresponding author (İletişim yazarı): * umit.senol@teias.gov.tr

Özet: Bu çalışmada, çeşitli rüzgar türbinleri ile yapay sinir ağları (YSA) modeli oluşturularak rüzgar enerjisinden elektrik üretimi tahmini yapılmıştır. Oluşturulan modelde kullanılacak olan rüzgar hızı verileri test aşamasında, farklı tip rüzgar türbinlerine ait çıkış güçleri ise eğitim aşamasında kullanılmıştır. Uygulama sonrası ortaya çıkan regresyon eğrilerinde oluşturulan modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu anlaşılmıştır. Tahmin sonuçlarına göre seçilen bölgenin rüzgar potansiyelinin oldukça iyi olduğu ve kaliteli türbinlerle yüksek kapasiteli enerji üretiminin sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca enerji sektöründeki uygulamacılar ve karar konumunda olan kişilerin elektrik enerjisi ihtiyacının sürekli arttığı günümüzde, rüzgar enerjisine yönelik çalışmalarında alternatif olarak YSA'nın kolaylıkla kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, Rüzgar santrali, Rüzgar hızı, Yapay sinir ağı.

Estimating Wind Energy Potential by Artificial Neural Networks Method

Abstract: In this study, electricity generation from wind energy is estimated by creating various wind turbines and artificial neural networks (ANN) models. The wind speed data to be used in the model was used during the test phase, while the output powers from different types of wind turbines were used during the training phase. It has been understood that the predictions made by the model created in the regression curves that emerged after the application are reliable and consistent. According to the estimation results, it is seen that the selected zone has very good wind potential and high quality energy production can be achieved with high quality turbines. Moreover, it has been revealed that ANN can easily use alternatives in wind energy applications in the days when the electricity energy needs of the people in the energy sector and the decision makers are constantly increasing.

Keywords: Wind energy, Wind power plants, Wind speed, Artificial neural network.

1. Giriş

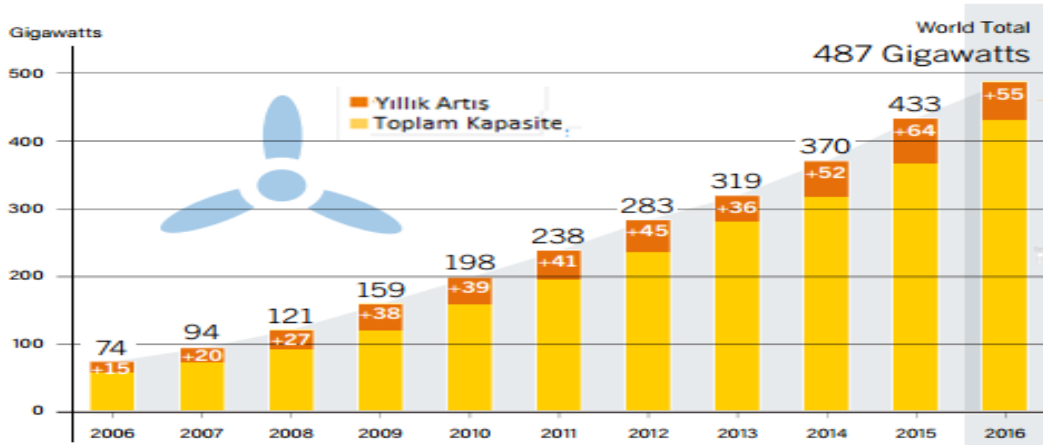
Ülkelerin kalkınma düzeyini belirleyen ekonomik ve sosyal gelişmelerin en önemli unsurlardan birisi enerjidir. İlerleyen teknolojiye bağlı olarak ülkelerin elektrik enerjisine olan ihtiyaçları sürekli artış göstermektedir. Son yıllarda enerjiyi en güvenilir kaynaklardan, en ucuz ve kaliteli yöntemlerle üretebilmek oldukça önem kazanmıştır (Yağcı, 2013). Günümüzde ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Küresel ısınmaya sebep olan fosil yakıtlar aynı zamanda havanın kirlenmesine, asit yağmurlarının oluşmasına, ozon tabakasını delinmesine ve ormanların tahribatına da sebep olmaktadır (Wai vd., 2008). Fosil yakıt kaynaklarının zamanla tükenmeye başlaması ve

verdiği zararlarından dolayı ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamışlardır. Ayrıca her geçen gün artmakta olan enerji talebi de ancak sürdürülebilir ve temiz enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilmesi mümkündür (Azad vd., 2015).

Büyük bir potansiyele sahip olan yenilenebilir enerji kaynakları son yıllarda hızla yaygınlaşmakta, ülkelerin enerji politikalarının en önemli unsuru haline gelmekte ve her geçen gün daha cazip bir yatırım halini almaktadır. Teknolojisi ve kullanımı ile en hızlı gelişme gösteren ve ekonomisi de konvansiyonel enerji kaynakları ile rekabet edebilir hale gelen yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi rüzgar enerjisidir (Elibüyük vd., 2016). Rüzgar enerjisi eski çağlardan günümüze değirmenlerde tahıl öğütmede, su

pompalamada, deniz ile nehir taşımacılığında ve çeşitli mekanik güç çevrimlerinde kullanılmakta iken günümüzde ise rüzgar enerjisinden elektrik elde etmek için modern türbinler tasarlanmış ve dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Da Rosa, 2013). Rüzgar enerjisinin temiz ve tükenmez bir enerji kaynağı olması, enerjide dışa bağımlılığı azaltması, santrallerin kısa sürede kurulması ve bölgesel olduğundan dünya pazarından büyük ölçüde bağımsız olması en büyük avantajlarıdır.

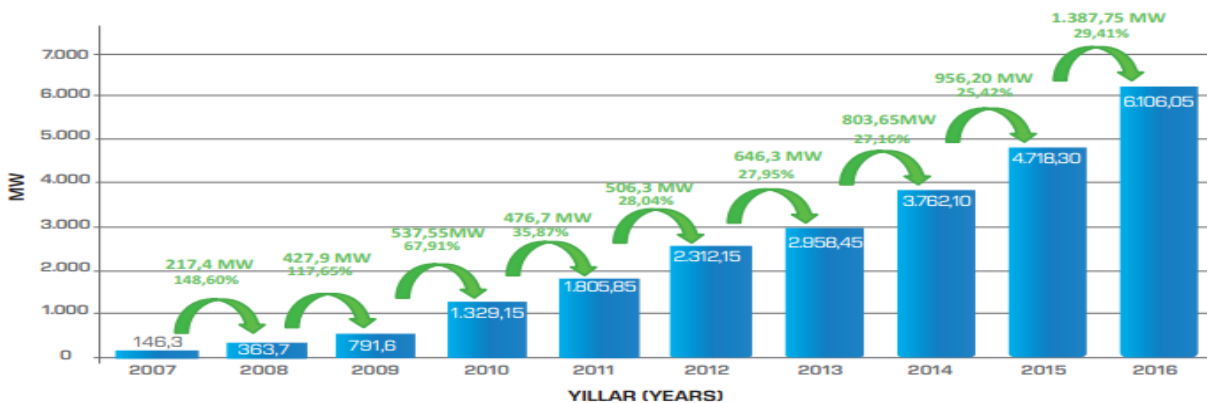
1990'lı yıllardan itibaren rüzgar enerjisi teknolojisi son büyük gelişme kaydetmiş ve yüksek kapasiteli rüzgar güç santralleri kurulmuştur. 1990'lı yılların başında dünya genelinde kurulu rüzgar gücü sadece 2,160 MW iken, 1999 yılının sonunda dünyanın kurulu rüzgar gücü yaklaşık 6 kat artarak 13,455 MW'a ulaşmıştır. 2000'li yıllarda bu artış devam etmiş, dünyanın kurulu rüzgar gücü 2003 yılı sonunda 33,400 MW, 2006 yılının sonunda 74,000 MW ve 2016 yılına kadar bu güç yaklaşık 487,000 MW'a ulaşmıştır (REN21, 2016).



Şekil 1. 2006-2016 döneminde dünyada rüzgar enerjisi kapasitesi

Ülkemizin Avrupa ve Asya arasında bir köprü konumunda bulunması ve üç tarafı denizlerle kaplı olması, özellikle Marmara Bölgesi, Ege Bölgesi ile Doğu ve Güneydoğu Anadolu kıyılarında ortalama 4.5-10 m/s rüzgar hızları ile önemli bir rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir (İlkiliç ve Türkbay, 2010). Türkiye'de şebekeye bağlı rüzgar enerjisiyle elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve özellikle 2005

yılından itibaren rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç ve enerji üretiminde büyük artış göstermiştir. Türkiye'de rüzgar enerjisi kurulu gücü Ocak 2017 tarihi itibarıyla 6,106 MW seviyesine ulaşmış (Şekil 2) ve bu da Türkiye'deki elektrik enerjisi kurulu gücünün yaklaşık %6.3'sini Rüzgar santrallerinden oluşturmaktadır (TUREB, 2017).



Şekil 2. Türkiye'deki rüzgar enerjisi santralleri için kümülatif kurulum (TUREB, 2017)

Bu çalışmada, çeşitli rüzgar türbinleri ile YSA modeli oluşturularak rüzgar enerjisinden elektrik üretimi tahmini yapılmıştır. Çalışmada uygulanacak model YSA'nın Matlab (R2014A Sürümü) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada belirtilen amaç çerçevesinde rüzgar hızı verileri kullanılacak bölge olarak Aydın ilinin Çine ilçesinin Turguttepe mevki seçilmiş olup, 2015 yılında rüzgar hızının yüksek olduğu 90 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı verilerinden yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmada YSA çıktı verileri olarak kullanılacak rüzgar türbinleri Gamesa G97, Suzlon S.88, Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Vestas V117 tipi rüzgar türbinleri olup rüzgar türbinlerinin kule yüksekliği 90 m olarak seçilmiştir. YSA modeli çıktı verileri olarak kullanılacak bu türbinler günümüzde en çok kullanılan ve verimlilik bakımından oldukça yüksek olan rüzgar türbinleridir.

2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyninin özelliklerinden olan, öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme, çoğullama ve keşfedebilme gibi üstün yetenekleri, herhangi bir yardım almadan gerçekleştirebilen bir bilgisayar sistemidir (Öztemel, 2003). Bilgisayar teknolojisi ve yazılım sektöründeki gelişmelere bağlı olarak YSA modellemesinin basitleşmesi ve klasik yöntemlerle çözümü zor olan problemlere daha kolay çözüm getirmesi, YSA'nın mühendislik uygulamalarında ve özellikle karmaşık problemlerin modellemesinde yaygın kullanım alanı bulmasını sağlamıştır. YSA, biyolojik sinir hücresinden esinlenerek geliştirilen yapay sinir hücrelerinin birleşmesiyle meydana gelmektedir. YSA'nın; doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, paralel dağılmış yapısı, öğrenme ve genelleme yapabilme yeteneği, farklı problemler için uyarlanabilirliği ve hata toleransına sahip olması en önemli özelliklerindedir (Hamzaçebi, 2011).

Temel bir YSA hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. Bir YSA modeli girdi katmanı, çıktı katmanı ve gizli katmandan oluşmaktadır. Gizli katman birden fazla katmandan oluşabilir ve her katmanda nöronlar bulunmaktadır. Girdi katmanında kullanılan değişken sayısı kadar, çıktı katmanında ise kullanılan çıktı sayısı kadar nöron bulunmaktadır. Fakat gizli katmanda ne kadar nöronun yer alması gerektiğine ilişkin belirli bir kural yoktur. Her bir nöron kendisinden önceki katmandaki nöronların çıktı değerlerini girdi değeri olarak kullanmaktadır. Ara katmanda ve çıktı katmanda yer alan nöronlar belirli bir aktivasyon fonksiyonuna göre kendisine gelen sinyalleri işlemekte ve varsa bir sonraki katmana iletmektedir. Aktivasyon fonksiyonları YSA'nın çıktısını şekillendiren bir

fonksiyondur. Bir ara katmanı ve ara katmanında yeteri kadar nöron bulunan bir YSA modeli her çeşit doğrusal olmayan fonksiyonu modelleyebilmektedir (Fausett, 1994). YSA hangi tip problemin çözümünde kullanılacaksa buna uygun aktivasyon fonksiyonun seçilmesi gerekmektedir.

YSA'nın en önemli avantajları hızlı olması, basit olması ve öğrenme kapasitesinin yüksek olmasıdır. YSA'nın diğer modelleme tekniklerinden farkı, problemlerin çözümü için matematiksel modeller kullanmak yerine gözlem ve/veya deney verilerine dayanan benzetimler kullanmasıdır. Literatürde rüzgar enerjisi tahminlerinde YSA metodunun sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Doğancı vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, Orta ve Batı Karadeniz bölümlerinde bulunan il ve ilçelerden örneklemeler yapılarak rüzgar enerjisi tahmin çalışması yapılmıştır. YSA metodu kullanılarak, algoritma tipi, aktivasyon fonksiyonu, eğitim fonksiyonu, katman sayısı, nöron sayısı gibi parametrelerin farklı kombinasyonları ile Bafra, İnebolu, Zonguldak ve Karabük için hesaplanan tahmin değerleri ile gerçek değerlerin örtüştüğü görülmüştür.

Kılıç ve Arabacı (2015) tarafından yapılan çalışmada ise Burdur ilinin gelecekteki rüzgar hızı değerleri YSA metodu kullanılarak tahmin edilmiştir. Türkiye Meteoroloji Enstitüsünden alınan veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, YSA metodunun benzer çalışmalar için uygun bir metodoloji olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaya vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, çeşitli rüzgar türbin verileri ile iki farklı model oluşturularak Kastamonu ili rüzgar gücü potansiyeli tahmin edilmeye çalışılmıştır. Güç tahmini için kullanılan 2015 yılına ait Kastamonu ili günlük maksimum rüzgar hızı verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. İki modelleme için sırasıyla YSA ve çoklu adaptif bulanık sinir ağları (ANFIS) yöntemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak kullanılacak türbin tipine göre üretilebilecek maksimum güç değerleri tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçlarına göre Kastamonu'nun rüzgar potansiyelinin yüksek olduğu görülmüştür.

Sezgin vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, GTA yöntemi kullanılarak üretilen SiC (p) esaslı kaplanan çeliklerinin aşınma miktarlarının YSA ile tahmini yapılmış ve gerçeğe yakın değerler elde edilmiştir.

3. Uygulama

Bu çalışmada; YSA modeli ile rüzgar enerjisinden elektrik üretimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA ile rüzgar enerjisi potansiyeli tahmini yapılırken Turguttepe mevkiine ait rüzgar hızı verileri girdi, 6

farklı rüzgar türbine ait çıkış güçleri ise çıktı değeri olarak kullanılmıştır. Rüzgar hızı ölçümlerinde ideal yaklaşım, kullanılan rüzgar türbininin kule yüksekliğinde ölçüm yapılmasıdır. Bu yüzden çalışmada kullanılan rüzgar türbinlerinin kule yüksekliğinin 90 m olmasından dolayı bölgedeki 90 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı değerleri değerler

kullanılmıştır. YSA modelinde kullanılacak olan rüzgar hızı değerleri Çizelge 1'de, rüzgar türbinlerinin 0-25 m/s arası rüzgar hızına göre ürettiği enerji miktarı ise Çizelge 2'de gösterilmiştir. Çizelge 2'de yer alan 6 farklı rüzgar türbininin ürettiği enerji miktarı gibi teknik veriler üretici firma kataloglarından elde edilmiştir.

Çizelge 1. Aylara göre günlük ortalama rüzgar hızı değerleri (m/s)

Günler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1	8	17,7	3,7	7,6	4,3	5,1
2	6,7	16,7	3,9	5,5	6	5,4
3	6,4	10,2	5,7	4,7	4,4	4,9
4	6,5	8,4	9,5	7,7	9,8	4,9
5	9,6	6,3	6,6	4,9	6,9	8,1
6	13,4	10,9	8,2	10,7	7,7	5,3
7	13,5	4,8	8,8	8,7	4,5	3,6
8	21,1	7,4	5,7	6,2	5,4	4
9	16,4	5,3	5,2	13,1	6,8	4
10	5,7	13,6	3,8	20,9	6,5	4,2
11	7,7	18,2	3	19,4	7	6,3
12	15,1	11,8	5,1	11,4	5,6	8,1
13	9	9,9	6,9	11,3	7	7,1
14	3,7	3	6,1	5,5	5,7	9,4
15	3,7	3,5	7,3	5,4	6,2	10,5
16	8,9	7,4	16,2	5,1	4,9	5,8
17	3,5	11,3	12,3	7,3	3,8	5,6
18	4,1	16,2	4,2	10,5	5	6,3
19	8	16,5	6,9	8,8	6,7	4,8
20	6,5	18	5,5	3	7,3	4,8
21	6,2	12,4	11,6	8,2	3,9	4,4
22	3,8	7,8	7	12,1	5,1	4,8
23	8,2	12,7	5,3	11,1	5,4	4,6
24	12,2	6,6	3,5	4,6	7,6	7,9
25	9,6	8,9	5,3	5,4	7,9	9,3
26	6,8	7,7	6,2	4	5,7	7,1
27	7,5	8,4	10,6	3,3	4,6	5,7
28	5,7	8	8,9	10,4	3,2	9,9
29	8,9	-	6,8	6,9	4,8	5,5
30	12,1	-	6,7	5	8,4	4,2
31	20,7	-	8,4	-	4,6	-

Çizelge 1. Aylara göre günlük ortalama rüzgar hızı değerleri (m/s) (Devam)

Günler	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	5,2	4,3	3,6	6,7	5,9	7,4
2	10	4,5	4,6	3,9	7,9	7,8
3	13,1	4,4	3,6	2,6	4,9	14,8
4	8,3	4,9	5,6	4,5	2,9	12,8
5	5,3	3,7	4,7	3	2,5	5
6	8,1	6,3	7,5	4,8	2,7	7,1
7	5,9	3,7	5,1	7	3,5	6,6
8	4,4	2,8	4,8	3,4	8	3,8
9	4,3	3	7,2	4,5	14,6	3,7

10	4,4	3,2	2,9	5,3	7,4	2,8
11	10,5	3,2	4,6	8,2	9,4	3
12	10,1	4,7	6,4	10,1	7,2	6,4
13	10	5,2	9,1	4,8	5,8	11,6
14	5,2	3,6	4,7	4,8	3,9	7,2
15	10,4	5,4	4,8	3,3	2,9	3,5
16	9,9	3	5,9	3,4	8,5	3,8
17	10,3	4	7,8	2,7	11,6	6,5
18	8,7	5,3	4,7	6,1	6,5	2,2
19	5,8	5	4,6	4,6	6,5	3,6
20	5,2	4,2	5	6,5	6,7	4,6
21	7,1	6,1	6,3	7	11,9	6,6
22	6,7	5,5	5,6	8,1	13	7
23	5,1	9	8,7	10	6,1	11,7
24	4,3	10	7	9,5	2,1	7,9
25	3,4	10,3	2,5	6,8	10	3,1
26	4,5	7,7	3,3	8,8	13,6	10,5
27	6,2	5,5	3,8	11,2	10,9	2,8
28	4,3	8,8	2,9	12,2	15,3	2,4
29	4,6	12	4,7	4,9	3,5	5
30	5,3	13	9,8	3,1	9,4	16,9
31	5,2	7,5	-	5,5	-	20,8

Çizelge 2. Rüzgar türbinlerinin rüzgar hızına göre ürettiği enerji miktarı (kW)

Rüzgar hızı (m/s)	Gamesa G97	SuzlonS.88	SiemensSWT2.3	Nordex N100	EnerconE82	VestasV117
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	14	15	66	24	25	24
4	94	35	171	84	82	139
5	236	130	352	212	174	312
6	438	310	623	391	321	570
7	714	525	1002	599	525	936
8	1084	820	1497	912	800	1419
9	1508	1160	2005	1299	1135	2027
10	1836	1540	2246	1744	1510	2705
11	1973	1880	2296	2149	1880	3168
12	1992	2100	2300	2389	2200	3292
13	1998	2100	2300	2492	2500	3300
14	2000	2100	2300	2500	2770	3300
15	2000	2100	2300	2500	2910	3300
16	2000	2100	2300	2500	3000	3300
17	2000	2100	2300	2500	3000	3300
18	2000	2100	2300	2500	3000	3300
19	2000	2100	2300	2500	3000	3300
20	2000	2100	2300	2500	3000	3300
21	2000	2100	2300	2500	3000	3300
22	2000	2100	2300	2500	3000	3300
23	2000	2100	2300	2500	3000	3300
24	2000	2100	2300	2500	3000	3300
25	2000	2100	2300	2500	3000	3300

YSA modeli tasarımı ve eğitimi için Matlab nntool arayüzü kullanılarak analizler yapılmaya çalışıldı. Giriş ve çıkış verileri Microsoft Excel paket programına kaydedilip normalizasyon işlemine tâbi tutulduktan sonra Matlab paket programına aktarılarak burada işlenmiştir. Normalizasyon, YSA modelinin ağ giriş ve

çıkışlarına belirli ön işlem adımları uygulayarak YSA'ya sunulan verilerin eğitimi daha verimli hale getirilmesidir. Bu çalışmada Min – Max normalizasyon yöntemi kullanılmış ve tüm veriler [0,1] arasında Eşitlik 1 yardımıyla ölçeklendirilmiştir.

$$X_n = \frac{(X_0 - X_{min})}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

Çizelge 3'te normalize yöntemi uygulanan rüzgar hızlarından bir kesit görülmektedir.

X_n ve X_0 normalleştirilmiş ve orijinal veriyi, x_{min} ve x_{max} minimum ve maksimum veriyi fade etmektedir.

Çizelge 3. Rüzgar hızı normalizasyon değerleri

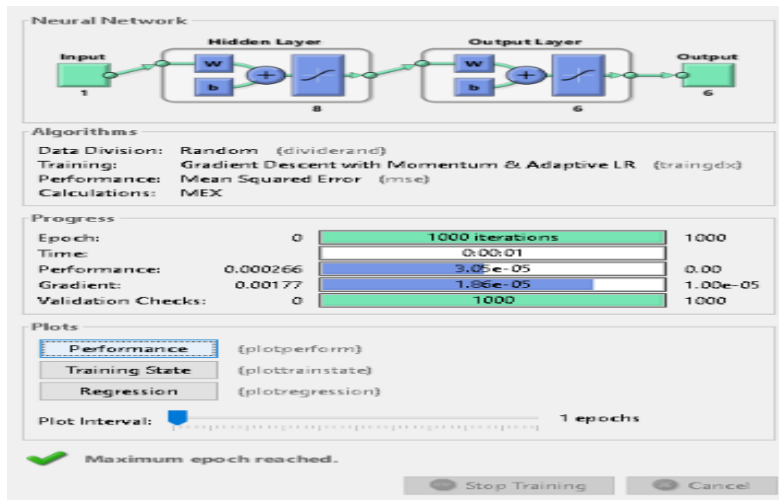
Günler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
0	0,310526	0,821053	0,084211	0,289474	0,115789	0,157895
1	0,242105	0,768421	0,094737	0,178947	0,205263	0,173684
2	0,226316	0,426316	0,189474	0,136842	0,121053	0,147368
3	0,231579	0,331579	0,389474	0,294737	0,405263	0,147368
4	0,394737	0,221053	0,236842	0,147368	0,252632	0,315789
5	0,594737	0,463158	0,321053	0,452632	0,294737	0,168421
6	0,6	0,142105	0,352632	0,347368	0,126316	0,078947
7	1	0,278947	0,189474	0,215789	0,173684	0,1
8	0,752632	0,168421	0,163158	0,578947	0,247368	0,1
9	0,189474	0,605263	0,089474	0,989474	0,231579	0,110526
10	0,310526	0,821053	0,084211	0,289474	0,115789	0,157895

3.1. YSA ile modelleme

Bu bölümde, en uygun YSA modelinin belirlenebilmesi için model parametreleri birçok kez değiştirilmiş ve en düşük hata değeri ile tahmini gerçekleştiren model belirlenmiştir. Kullanım kolaylığı, yakınsama hızı ve hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modellerdeki tahmin başarısı sebebiyle ileri beslemeli geri yayılım (feed-forward backprop) algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan veri setlerinin eğitilmesi amacıyla traingdx (Variable Learning Rate Backpropagation) eğitim algoritması, learnngdm öğrenme fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) kullanılarak YSA modeli tasarlanmıştır. Performans fonksiyonu olarak da ortalama karesel hata (mean square error-MSE) kullanılmıştır. Oluşturulan modelde

günlük rüzgar hızları giriş verisi, 6 farklı rüzgar türbine ait çıkış güçleri ise çıktı verisi olarak seçilmiş olup gizli katmandaki nöron sayısı da 8 olarak belirlenmiştir. Çalışmada uygulanan gizli katman sayısı, bu katmanlardaki nöron sayısı ve kullanılan aktivasyon fonksiyonu deneme yanılma ile bulunmuştur.

Oluşturulan YSA modeli eğitiminde durma kriteri olarak "1000" iterasyon, "0" hata $1e-5$ gradient değeri ve "1000" doğrulama (validation) hata sayısı kullanılmıştır. Eğitimi 1 s sürede 1000 iterasyona ulaşarak durmuştur. Dividerand fonksiyonu ise eğitim verilerini randomize şekilde %70, %15 ve %15 olarak kendi içinde eğitim, doğrulama ve test olarak ayırmıştır. Kullanılan Matlab YSA arayüzü ve eğitim verileri toplu olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.

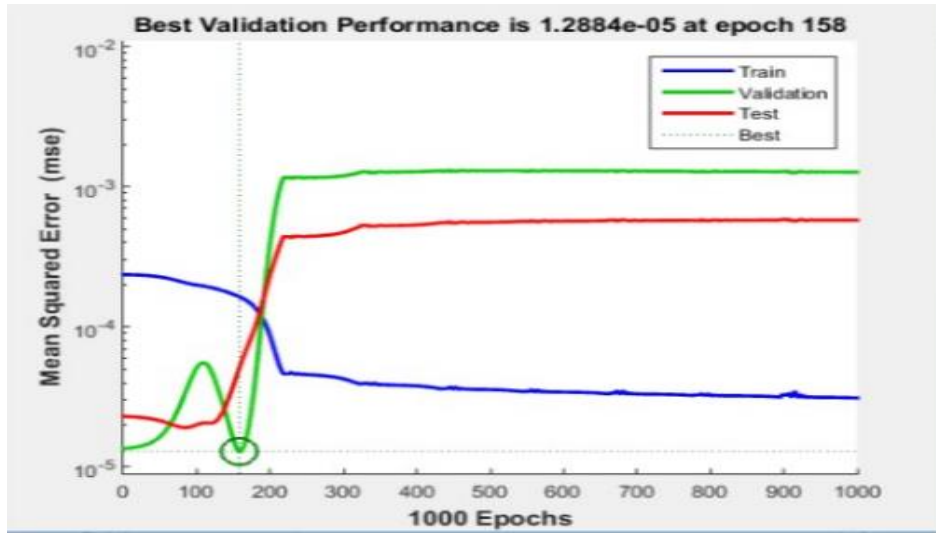


Şekil 3. Kullanılan Matlab YSA arayüzü ve eğitim parametreleri

3.2. Modelin eğitimi ve testi

Rüzgar enerjisinden üretilebilecek elektrik üretim tahmini yapmak için YSA modelini oluşturduktan sonra eğitim ve test sürecine geçilmiştir. Buradaki amaç oluşturduğumuz YSA modelinde en küçük hata düzeyine ulaşmaya çalışılmaktadır. Bu aşamada eğitim seti ağı sunulmakta ve YSA modelinin eğitimi için öğrenim oranı 0.01, momentum değeri 0.9 olarak alınmıştır. En iyi performansı veren ağırlık değerlerinin seçiminde, eğitim sonunda elde edilen doğrulama

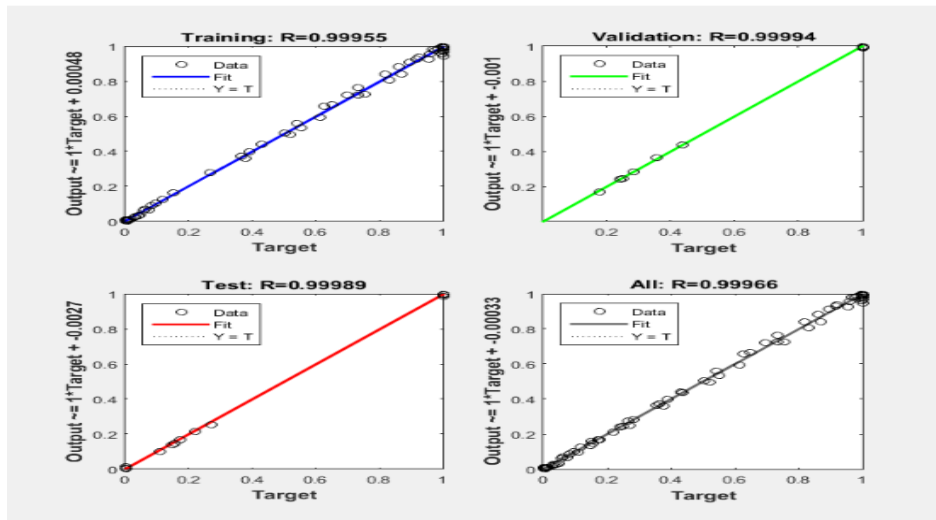
setinin hata değerleri kullanılmıştır. Test aşamasında ise ilk önce eğitim aşamasında verilen değerlerin tamamı tekrar ağı sunular, böylelikle sinaptik ağırlıklar matrisi ve girdi değerleri ağı sunularak programın en az hata payı ile tahmin yapılması sağlanır. Test aşamasında algoritmanın gerçek sonuçlara yaklaşım yaklaşmadığı denetlenir. Oluşturulan YSA modeli 1000 iterasyon yapılarak program tarafından eğitilmiş ve YSA modelinin iterasyona bağlı hata değişim grafiği incelendiğinde en düşük hata değerinin 158'inci iterasyonda olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Eğitim, doğrulama ve test verilerine ait eğitim aşamasındaki performans fonksiyonunun değişimleri

Modelleme performansının gösterilmesi için gerçekte olması gereken çıkış ile YSA'nın çıkışının karşılaştırması ise eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ise Şekil 5'te

verilmiştir. Bu sonuçlara göre tüm veriler için regresyon değerleri 1'e yakın çıkmış yani YSA model çıkış değerlerinin gerçek verilere çok yakın değerler aldığı görülmüştür.



Şekil 5. Eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri

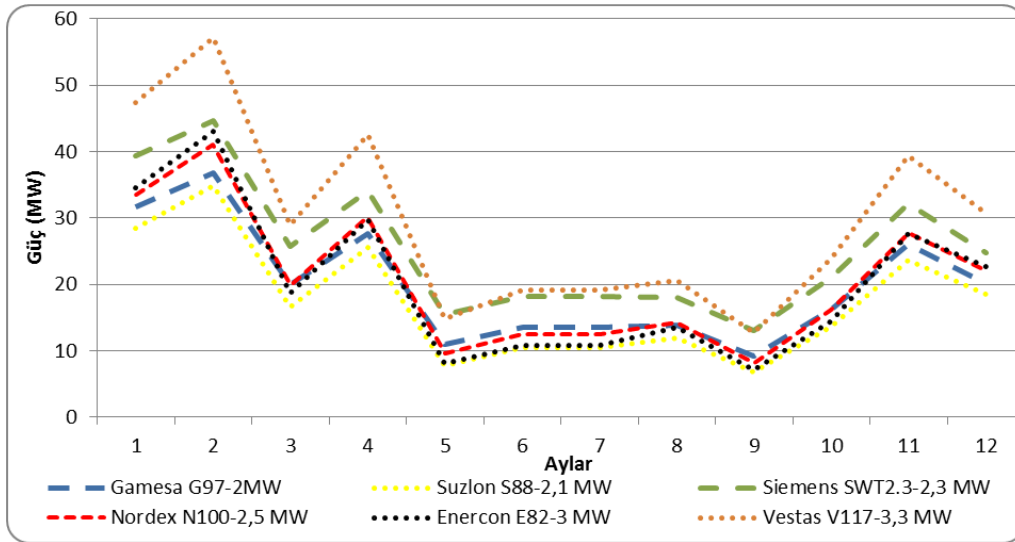
3.3. Tasarlanan YSA modeli ile rüzgar enerjisi elektrik üretim tahmini sonuçları

Uygulamanın bu kısmında tasarlanan YSA modelinin eğitim ve test aşamasından sonra Aydın ilinin Çine ilçesine bağlı Turguttepe mevkiine ait 2015 yılı günlük rüzgar hızı verileri baz alınarak Gamesa G97, Suzlon S.88, Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82 ve Vestas V117 tipi rüzgar türbinleri kullanıldığında üretilebilecek enerji üretim miktarları tahmin edilmiştir. Çizelge 4'te oluşturduğumuz YSA modelinde tahmin edilen rüzgar enerjisi güç miktarının

aylara göre ortalama tahmini değerleri, Şekil 6'da ise elde edilen değerler grafik halinde gösterilmiştir. Tahmin sonuçlarına göre bölgenin rüzgar potansiyelinin oldukça iyi olduğu ve kaliteli türbinlerle yüksek kapasiteli enerji üretiminin sağlanabileceği görülmüştür. YSA ile tahmin edilen ve gerçekleşen üretim değerlerinin birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Buna tahmini güç değerleri incelendiğinde türbin tipi en verimi en iyi olan Vestas V117 olduğu bu türbini sırasıyla Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Gamesa G97, Suzlon S88 türbinlerinin takip ettiği görülmektedir.

Çizelge 4. Aylara tahmini güç değerleri

Aylar	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
0	1019,54	916,61	1268,87	1078,30	1112,43	1529,20
1	1316,48	1247,78	1594,76	1465,87	1538,45	2038,38
2	641,50	536,68	829,96	640,43	602,76	934,06
3	921,22	849,84	1136,72	1004,10	989,28	1417,39
4	353,05	249,66	497,22	310,51	263,50	476,11
5	448,92	348,51	606,15	418,39	361,75	636,83
6	434,44	337,27	586,60	404,89	350,08	616,29
7	445,58	382,51	579,48	458,43	434,47	665,03
8	308,00	225,11	433,01	274,58	236,33	422,95
9	525,79	442,31	678,31	522,48	469,74	771,31
10	865,95	785,78	1069,72	925,60	924,17	1313,41
11	646,32	596,50	799,54	711,82	733,36	990,03
12	1019,54	916,61	1268,87	1078,30	1112,43	1529,20



Şekil 6. Rüzgar türbinlerinin aylara göre ortalama elektrik üretim tahmin değerleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, YSA kullanılarak en küçük hata ile rüzgar enerjisinden elektrik üretimi tahmini yapılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre, modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Gerçekte olması gereken çıkış güçleri ile YSA modelinin tahmin ettiği çıkış güçlerinin karşılaştırılmasına ait eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon değerleri 1'e yakın çıkmış yani bu değerlerin 1'e yaklaşması ağına başarılı olduğunu göstermektedir. Bu modelin cevabına göre

Turguttepe mevkiinin rüzgar potansiyelinin rüzgar enerjisi üretimine elverişli olduğu görülmektedir. REPA' dan alınan bilgiye göre de bu verimliliğin uygun değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışma ile rüzgar enerjisi sektöründeki uygulamacılar ve karar verme konumunda olan yöneticilerin, geleceğe yönelik planlama çalışmalarında geleneksel tahmin yöntemlerine alternatif olarak YSA'yı kolaylıkla kullanabilecekleri görülmüştür. Ayrıca çalışmada kullanılan altı adet türbinin her birinin avantaj ve dezavantajları vardır. Bu çalışmadan yola çıkarak kullanılan altı adet rüzgar türbininin maliyet analizleri ve fizibilite çalışmaları da yapılabilir.

Kaynaklar

- Bragança, H., Diogo, E., Moniz, F., Amaro, P. (2009). First report of pitch canker on pines caused by *Fusarium circinatum* in Portugal. *Plant Disease*, 93(10), 1079-1079.
- Azad, K., Rasul, M. G., Islam, R., Shishir, I. R. (2015). Analysis of wind energy prospect for power generation by three weibull distribution methods, *energy procedia*, 75, 722-727.
- Da Rosa, A.V. (2013). *Fundamentals of renewable energy processes*, 3rd ed. Amsterdam, Netherlands, Elsevier.
- Doğancı, Ö., Ertürk, M., Özsunar, A., Arcaklıoğlu, A. (2016). Orta ve Batı Karadeniz Bölgesi rüzgar enerjisi tahmin çalışması, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(1), 153-163.
- Elibüyük, U., Üçgül, İ., Yakut, A.K. (2016). Süleyman Demirel Üniversitesi rüzgâr enerjisi santrali projesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi*, 3(2), 22 – 32.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of neural networks: Architectures, Algorithms and Applications*, Prentice Hall, New York.
- Hamzaçebi, C. (2011). Yapay sinir ağları: tahmin amaçlı kullanımı matlab ve neurosolution uygulamalı, Ekin Yayınevi, Bursa.
- İlkiliç, C., Türkbay, İ. (2010). Determination and utilization of wind energy potential for Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2202-2207.
- Kaya, Ü., Caner, M. ve Oğuz, Y., (2016). Rüzgar Türbin Modelleri Kullanarak Kastamonu İli Rüzgar İle Elektrik Üretim Potansiyeli Tahmini. *Technological Applied Sciences*, 11(3), 65-74.
- Kılıç, B., Arabacı, E. (2015). Burdur ili gelecekteki rüzgar hızı değerlerinin yapay sinir ağları metodu ile tahmini, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı, ISSN 1302-3055, 45-50.
- Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- REN21, (2016). *Renewables 2017 Global Status Report*, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/GSR2017_Full-Report.pdf, ISBN 978-3-9818107-6-9.
- TUREB, (2017). Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, <http://www.tureb.com.tr>, (25.02.2017).
- Sezgin, C.T., Kaya, Ü. ve Akkaş, M., (2016). GTA Yöntemi Kullanılarak Üretilen Sic (P) Esaslı Kaplanan Çeliklerinin Aşınma Miktarlarının Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi İle Tahmin Edilmesi, *Technological Applied Sciences*, 11(4), 146-152.
- Wai, R., J., Wang, W., H., Lin, C. Y. (2008). High-Performance Stand-Alone Photovoltaic Generation System, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 55(1),240-250.
- Yağcı, E. (2013). Rüzgar hızı yükseltmelerinde kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve hata analizleri, yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, İstanbul.