

RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Ümit ŞENOL¹, Zabit MUSAYEV²

¹Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Elektronik ve Kalibrasyon Laboratuvarı İşletme Müdürlüğü

06520Ankara,Türkiye, umit.senol@teias.gov.tr

²Bozok Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
66200 Yozgat, Türkiye,zabit.musayev@bozok.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, çeşitli rüzgar türbinleri ile yapay sinir ağları (YSA) modeli oluşturarak rüzgar enerjisi potansiyeli 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.

1- GİRİŞ

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 [1]. Günümüzde ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Küresel ısınmaya sebep

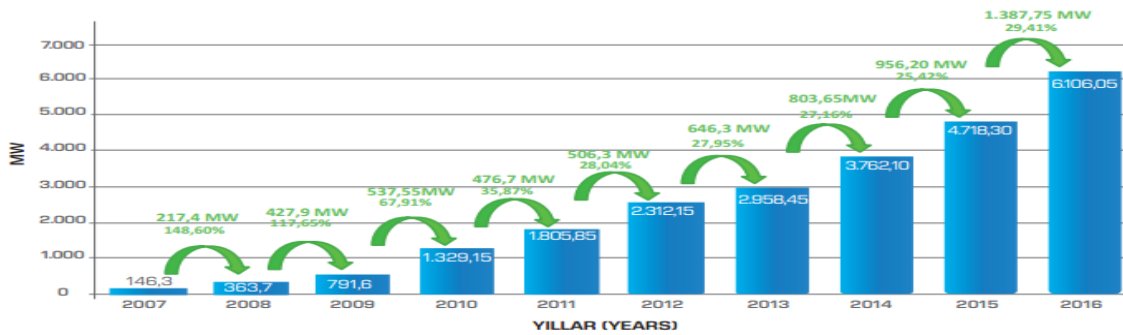
olan fosil yakıtlar aynı zamanda havanın kirlenmesine, asit yağmurlarının oluşmasına, ozon tabakasını delinmesine ve ormanların tahribatına da sebep olmaktadır [2]. Fosil yakıt kaynaklarının zamanla tükenmeye başlaması ve verdiği zararlarından dolayı ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamışlardır. Ayrıca her geçen gün artmakta olan enerji talebi de ancak sürdürülebilir ve temiz enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilmesi mümkündür[3].

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 birisirüzgar enerjisidir [4]. 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 [5]. Rüzgar enerjisinin temiz ve tükenmez bir enerji

kaynağı olması, enerde dışa bağımlılığı azaltması, santrallerin kısa sürede kurulması ve bölgesel olduğundan dünya pazarından büyük ölçüde bağımsız olması en büyük avantajlarıdır.

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 [6]. 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 1) ve bu da Türkiye’deki elektrik enerjisi kurulu gücünün yaklaşık % 6,3’sini Rüzgar santrallerinden oluşturmaktadır [7].



Şekil 1. Türkiye’deki rüzgar enerjisi santralleri için kümülatif kurulum [7].

Bu çalışmada, çeşitli rüzgar türbinleri ile YSA modeli oluşturarak rüzgar enerjisi potansiyeli 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, 90 m yükseklikte 2015 yılında 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 seçilmiştir. YSA modeli çıktı verileri olarak kullanılacak bu türbinler günümüzde en çok kullanılan ve verimlilik bakımından oldukça yüksek olan rüzgar türbinleridir.

2- YAPAY SİNİR AĞLARI (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 [8]. 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 özelliklerindendir [9].

Temel bir YSA hücresi biyolojik sınır 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 [10]. 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.

3- UYGULAMA

Bu çalışmada; YSA modeli ile rüzgar enerjisi potansiyeli tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA ile rüzgar enerjisi potansiyeli tahmini yapılırken Turguttepe mevkiine ait rüzgar hızı verileri girdi, 6 farklı türbine ait çıkış güçleri ise çıktı değeri olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan rüzgar hızı değerleriÇizelge 1'de ve rüzgar türbinlerinin 0-25 m/s arası rüzgar hızına göre ürettiği enerji miktarı Çizelge 2'de gösterilmiştir.

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

Günler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	8	17,7	3,7	7,6	4,3	5,1	5,2	4,3	3,6	6,7	5,9	7,4
2	6,7	16,7	3,9	5,5	6	5,4	10	4,5	4,6	3,9	7,9	7,8
3	6,4	10,2	5,7	4,7	4,4	4,9	13,1	4,4	3,6	2,6	4,9	14,8
4	6,5	8,4	9,5	7,7	9,8	4,9	8,3	4,9	5,6	4,5	2,9	12,8
5	9,6	6,3	6,6	4,9	6,9	8,1	5,3	3,7	4,7	3	2,5	5
6	13,4	10,9	8,2	10,7	7,7	5,3	8,1	6,3	7,5	4,8	2,7	7,1
7	13,5	4,8	8,8	8,7	4,5	3,6	5,9	3,7	5,1	7	3,5	6,6
8	21,1	7,4	5,7	6,2	5,4	4	4,4	2,8	4,8	3,4	8	3,8
9	16,4	5,3	5,2	13,1	6,8	4	4,3	3	7,2	4,5	14,6	3,7
10	5,7	13,6	3,8	20,9	6,5	4,2	4,4	3,2	2,9	5,3	7,4	2,8
11	7,7	18,2	3	19,4	7	6,3	10,5	3,2	4,6	8,2	9,4	3
12	15,1	11,8	5,1	11,4	5,6	8,1	10,1	4,7	6,4	10,1	7,2	6,4
13	9	9,9	6,9	11,3	7	7,1	10	5,2	9,1	4,8	5,8	11,6
14	3,7	3	6,1	5,5	5,7	9,4	5,2	3,6	4,7	4,8	3,9	7,2
15	3,7	3,5	7,3	5,4	6,2	10,5	10,4	5,4	4,8	3,3	2,9	3,5
16	8,9	7,4	16,2	5,1	4,9	5,8	9,9	3	5,9	3,4	8,5	3,8
17	3,5	11,3	12,3	7,3	3,8	5,6	10,3	4	7,8	2,7	11,6	6,5
18	4,1	16,2	4,2	10,5	5	6,3	8,7	5,3	4,7	6,1	6,5	2,2
19	8	16,5	6,9	8,8	6,7	4,8	5,8	5	4,6	4,6	6,5	3,6
20	6,5	18	5,5	3	7,3	4,8	5,2	4,2	5	6,5	6,7	4,6
21	6,2	12,4	11,6	8,2	3,9	4,4	7,1	6,1	6,3	7	11,9	6,6
22	3,8	7,8	7	12,1	5,1	4,8	6,7	5,5	5,6	8,1	13	7
23	8,2	12,7	5,3	11,1	5,4	4,6	5,1	9	8,7	10	6,1	11,7
24	12,2	6,6	3,5	4,6	7,6	7,9	4,3	10	7	9,5	2,1	7,9
25	9,6	8,9	5,3	5,4	7,9	9,3	3,4	10,3	2,5	6,8	10	3,1
26	6,8	7,7	6,2	4	5,7	7,1	4,5	7,7	3,3	8,8	13,6	10,5
27	7,5	8,4	10,6	3,3	4,6	5,7	6,2	5,5	3,8	11,2	10,9	2,8
28	5,7	8	8,9	10,4	3,2	9,9	4,3	8,8	2,9	12,2	15,3	2,4
29	8,9		6,8	6,9	4,8	5,5	4,6	12	4,7	4,9	3,5	5
30	12,1		6,7	5	8,4	4,2	5,3	13	9,8	3,1	9,4	16,9
31	20,7		8,4		4,6		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	Suzlon S.88	Siemens SWT2.3	Nordex N100	Enercon E82	Vestas V117
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.

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

X_n ve X_0 normalleştirilmiş ve orijinal veriyi, x_{min} ve x_{max} minimum ve maksimum veriyi fade etmektedir. Çizelge 3'te normalize yöntemi uygulanan rüzgar hızlarından bir kesit görülmektedir.

Çizelge 3. Rüzgar hızı normalizasyon değerleri

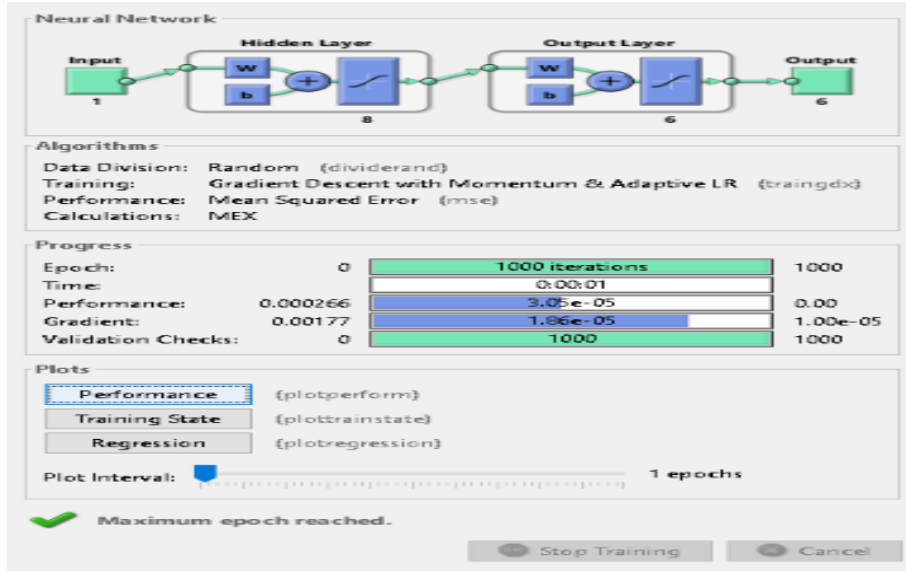
Günler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
0	0,310526	0,821053	0,084211	0,289474	0,115789	0,157895
1	0,242105	0,768421	0,094737	0,178947	0,205263	0,173684
2	0,226316	0,426316	0,189474	0,136842	0,121053	0,147368
3	0,231579	0,331579	0,389474	0,294737	0,405263	0,147368
4	0,394737	0,221053	0,236842	0,147368	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-forwardbackrop) algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan veri setlerinin eğitilmesi amacıyla traingdx (Variable Learning Rate Backpropagation) eğitim algoritması, learnqdm öğrenme fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) kullanarak

YSA modelidizayn edilmiştir. Performans fonksiyonu olarak da ortalama karesel hata (meansquareerror-MSE) kullanılmıştır.

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 2’de gösterilmiştir.

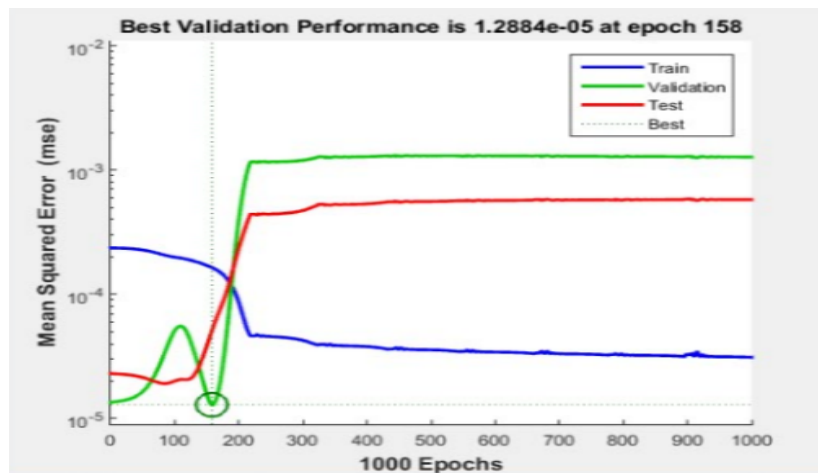


Şekil 2. Kullanılan Matlab YSA arayüzü ve eğitim parametreleri

3.2. Modelin Eğitimi ve Testi

Rüzgar enerjisi potansiyeli tahmini için 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

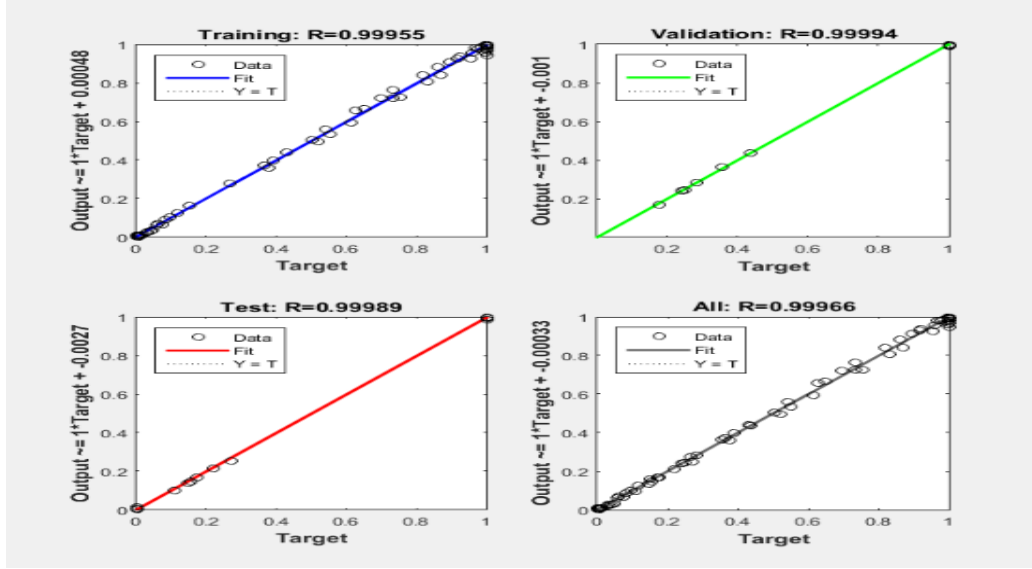
kullanılmıştır. Test aşamasında ise ilk önce eğitim aşamasında verilen değerlerin tamamı tekrar ağı sunulur, böylelikle sinaptik ağırlıklar matrisi ve girdi değerleri ağı sunularak programın en az hata payı ile tahmin yapılması sağlanır. Test aşamasında algoritmanın gerçek sonuçlara yaklaşıp yaklaşmadığı 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 3)



Şekil 3. 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 ve tüm datanın sonuçlarına ait regresyon eğrileri

ise Şekil 4'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre tüm veriler için regresyon değerleri 1'e yakın çıkmış yani YSA model çıkış değerlerinin gerçek verilere çok yakındır.



Şekil 4. Eğitim, doğrulama ve test verilerinin ve tüm datanın sonuçlarına ait regresyon eğrileri

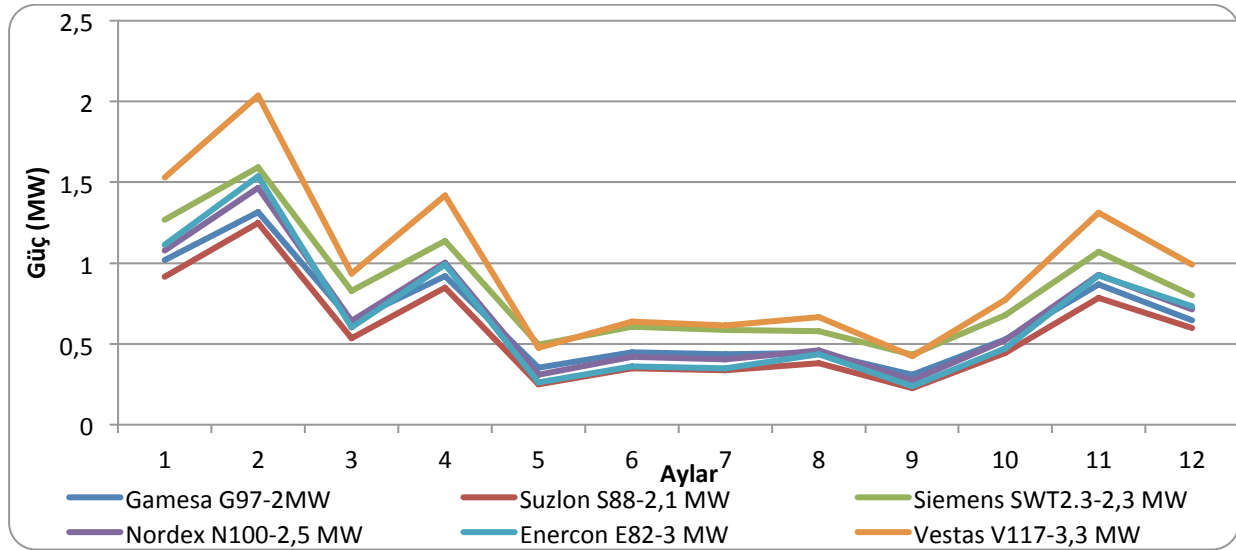
3.3. Tasarlanan YSA Modeli ile Rüzgar Enerjisi Üretim Tahmini Sonuçları

Uygulamanın bu kısmında tasarlanan YSA modelinin eğitim ve test aşamasından sonra Aydın ilinin Çine ilçesine bağlı Turgutepe 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 miktarları tahmin edilmiştir. Çizelge 4'te oluşturduğumuz YSA modelinde tahmin edilen rüzgar enerjisi güç miktarının aylara göre

ortalama tahmini değerleri, Şekil 5'te 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 modeli tahmin edilen ve gerçekleşen üretim değerlerinin birbirine çok yakın değer 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 5. Rüzgar türbinlerinin aylara göre ortalama elektrik üretim tahmin değerleri

4- SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, YSA kullanılarak en küçük hata ile rüzgar enerjisi potansiyeli 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 ve tüm datanın sonuçlarına ait regresyon değerleri 1'e yakın çıkmış yani bu değerlerin 1'e yaklaşması ağırlık 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 ilerüzgar 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

1. Yağcı E., 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, 2013.
2. Wai, R., J., Wang, W., H., Lin, C., Y., High- Performance Stand-Alone Photovoltaic Generation System, IEEE Transactions On Industrial Electronics, 55(1),240-250, 2008.
3. A. K. Azad, M. G. Rasul, R. Islam, and I. R. Shishir, Analysis of Wind Energy Prospect for Power Generation by Three Weibull Distribution Methods, Energy Procedia, 75, 722-727, 2015.
4. Elibüyük, U., Üçgöl, İ., Yakut, A.K., Süleyman Demirel Üniversitesi Rüzgâr Enerjisi Santrali Projesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi, 3(2), 22 – 32, 2016.
5. Da Rosa, A., V., Fundamentals of Renewable Energy Processes, 3rd ed. Amsterdam, Netherlands, Elsevier, 2013.
6. İlkiliç, C., Türkbay, İ., Determination and Utilization of Wind Energy Potential for Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(8), 2202-2207, 2010.
7. Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, <http://www.tureb.com.tr>, (25.02.2017).
8. Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul. 2003.
9. Hamzaçebi, C., Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolution Uygulamalı, Ekin Yayınevi, Bursa, 2011.
10. Fausett, L., Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications, Prentice Hall, New York, 1994.