



AFYONKARAHİSAR İLİ DİNAR BÖLGESİ İÇİN RÜZGAR ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNDE YAPAY SİNİR AĞLARI MODELİNİN UYGULANMASI

Ali Hakan ÇOLAKER¹, Serdar ÖZYÖN², Ayhan GÜN³

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

ali.colaker@ogr.dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4809-6422

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

serdar.ozyon@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4469-3908

³Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

ayhan.gun@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4223-2518

Geliş Tarihi: 26.12.2019

Kabul Tarihi: 12.08.2020

ÖZ

Yapay sinir ağları (YSA), tahminleme alanında oldukça fazla kullanımı olan bir matematiksel modeldir. Bu çalışmada YSA'yı elektrik enerjisi üretimi alanında kullanarak, tahminleme işleminin daha bilimsel ve analitik olarak yapılması amaçlanmıştır. Araştırmada, rüzgâr sahasından temin edilen reel rüzgâr hızı değerleri kullanılan Matlab programı ve programın arayüzü olan nntool ile test edilmiş, tasarlanan ağ seçilen rüzgâr türbini hız-güç eğrileri kapsamında eğitilerek, hedeflenen değerlere çok fazla yakınsadığı saptanmıştır. YSA'nın rüzgârdan elektrik enerjisi üretiminin tahmini yanında, aynı zaman da rüzgâr hızlarını da rahatlıkla tahmin edebileceği anlaşılmıştır. Çalışmada oluşturulan yapay sinir ağı modellemesinin başarılı sonuçlar vermesi, rüzgâr enerjisine yatırım yapmak isteyen yatırımcılar ve proje ekipleri için bir yardımcı kaynak ve yol gösterici olması bakımından önemlidir. YSA ile yenilenebilir enerji kaynakları içinde benzer çalışmalar yapılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: *Yapay Sinir Ağları, Rüzgâr Enerjisi, Rüzgâr Hızı, Enerji Üretimi, YSA Modellenmesi.*

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL IN ELECTRICITY GENERATION FROM WIND POWER FOR DİNAR REGION OF AFYONKARAHİSAR PROVINCE

ABSTRACT

Artificial Neural Network is a frequently used mathematical model in the field of estimation. In this study the aim is to do a more scientific and analytical estimation by using ANN in electrical power generation. In the study real wind speed values obtained from wind field have been tested with the used Matlab program and nntool which is the interface of the program. The designed network has been educated in the framework of the selected wind tribune speed-power curves and it has been determined that it converged too much to the targeted values. It has been understood that as well as the electrical power generation from wind with NNA, it will also be able to predict the wind speed

easily. The successful results of the Artificial Neural Network model formed in the study are important in that they are a helpful source and also guiding for the investors who want to invest in wind power and also for the project teams. It is thought that similar studies can also be done for renewable power sources with NNA.

Keywords: *Artificial Neural Network, Wind power, Wind speed, power generation, NNA Modelling.*

1. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerini yükselten en önemli parametrelerden biri de enerjide dışa bağımlılığın azaltılabilmesidir. Bu sebeple enerji üretiminde farklı kaynakların kullanılması önem teşkil etmektedir. Enerjide arz güvenliğinin önemi kadar, bu arzı karşılamak için gereken kaynak çeşitliliği de önemli yer tutmaktadır. Ülkemizde enerji üretiminde, yerli kaynakların yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, biokütle vb.) payları da giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi, geçmişten günümüze kadar pek çok farklı alanda kullanılmıştır. Günümüzde de elektrik enerji üretiminde temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak etkin kullanımı artarak devam etmektedir Türkiye’de rüzgâr üretiminde Marmara, Ege, Karadeniz ve İç Anadolu Bölgeleri ön plandadır. Bu bölgelerde rüzgâr hızları, enerji üretimi için daha uygun seviyelerdedir [1-3].

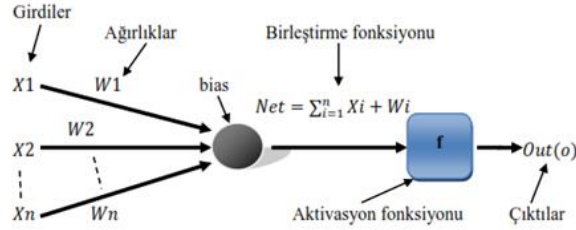
Bu çalışma için seçilen bölge Ege bölgesi, Afyonkarahisar ili Dinar ilçesi sınırlarında yer alan Burunkaya Köyü mevki’dir. Çalışmada lokasyon bilgisine göre elde edilen rüzgâr verileri ile YSA modeli oluşturularak MATLAB (2019b) sürümünde tahminleme yapılmıştır. Tahminleme çalışması için Siemens SWT2.3, Vestas V112, Nordex 100 firmalarına ait rüzgâr türbinleri ve bunlara ait üretim güçleri kullanılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve DEĞERLENDİRME

2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Tanımı

İnsan beyni, insanların başarılı olduğu bilişsel, algısal ve kontrol görevlerinde, başarılı olabilecek büyük sinir ağlarının varlığının kanıtıdır. Beyin, algısal eylemleri (yüzlerin tanınması, konuşma vb.) ve kontrol faaliyetlerini (vücut hareketleri ve vücut fonksiyonları) yönetir. Beynin avantajı; hızlı olması, son derece paralel hesaplama yapabilmesi ve kesin olmayan bilgi işlem yeteneğinin etkin kullanımınıdır. Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerinin matematiksel modellerinin geliştirilmesi olarak geliştirilmiştir. Sinir ağlarına ilk ilgilerin duyulması McCulloch ve Pitts (1943) tarafından basitleştirilmiş nöronların kullanılmasından sonra ortaya çıkmıştır [4].

Yapay sinir ağlarında temel mimari; giriş, gizli ve çıkış katmaları olarak üç tür nöron katmanından oluşur. İleri beslemeli ağlarda, sinyal akışı, kesinlikle ileri besleme yönünde, girdiden çıktı birimlerine doğrudur. Veri işleme de birden fazla birimin (katman) üzerine uzanabilir, ancak geri bildirim bağlantısı yoktur. Tekrarlayan ağlar geri bildirim bağlantıları içerir. İleri beslemeli ağların aksine, ağın dinamik özellikleri önemlidir. Bazı durumlarda, ünitelerin aktivasyon değerleri, ağın artık bu aktivasyonların değişmediği kararlı bir duruma geliştiği bir gevşeme işlemine tabi tutulur. Diğer uygulamalarda, çıkış nöronlarının aktivasyon değerlerinin değişmesi, dinamik davranış ağın çıktısını oluşturacak şekilde önemlidir [5].



Şekil 1. Basit bir yapay sinir hücresi (nöron) yapısı [4].

Rüzgâr santrali için üretim tahmininde kullanılacak veriler, MATLAB programı üzerinden ayarlanan ağırlıklar aracılığıyla model içerisinde yer alan nöronlara bağlanır ve fonksiyon içerisinde yer alan bu ağırlıkların sonucu olarak modele verilen rüzgâr verilerinin etkisini belirler. Σ sembolü ile ifade ettiğimiz toplam fonksiyonu, modelde elde edilen net girişi hesaplayarak bize çıkış verir. Hesaplanan bu sonuç, programa verilen rüzgâr hız değerlerinin yine programda her iterasyonda güncellenen ağırlıklar ile çarpılma işlemlerinin sonucudur. Yapay sinir ağlarında çeşitli aktivasyon fonksiyonları vardır. Logaritmik Sigmoid, Hiperbolik Tanjant bu aktivasyon fonksiyonlarından bazılarıdır. Seçilen aktivasyon fonksiyonu, modelin aldığı girişleri matematiksel modeline uygulayarak oluşan net çıkışı hesaplayarak çıkış verir. Yukarıda şekilde verilen b değeri bir sabittir, bias veya seçtiğimiz aktivasyon fonksiyonuna göre değeri değişen eşik olarak isimlendirilir [6].

$$\text{Çıkış, } Out(o) = f(W \cdot x + b) \quad (1)$$

Yukarıda verilen eşitlik nöron çıkışını hesaplar. Burada gösterilen W değeri ağırlıklar matrisi, X değerleri ise girişlerin matrisidir. N değeri modele sunulan giriş sayısı olarak alındığında; $W_1, W_2, W_3, \dots, W_N$ sırasıyla Matlab programı içerisinde otomatik ayarlanan ağırlık değerleridir. $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ değerleri 6 aylık rüzgâr hızı veri girişleri (m/s), b değeri ise yine program tarafından belirlenen bias değerleridir.

$$Net = \sum_{i=1}^n W_i X_i + b \quad \text{ve} \quad o = f(net) \quad (2)$$

f aktivasyon fonksiyonu, yukarıdaki formülde belirtildiği gibi yazılabilir.

$$o = f(\sum_{i=1}^n W_i X_i + b) \quad (3)$$

Öğrenme olayı, yeni bir bilginin elde edilmesi ya da var olan bir bilginin artırılması yoluyla gerçekleşir. Farklı bir işlemi ya da aynı işlemleri daha efektif, hızlı ve etkili biçimde yapabilmek için sistemde uyarlanabilir değişiklikleri sağlamak makine öğrenimi adı altında belirtilir. Yapay sinir ağlarında öğrenme durumları denetimli, denimsiz ve destekleyici öğrenme olarak 3 farklı şekilde sınıflandırılırlar.

Denetimli öğrenme, daha önce doğru bir şekilde hazırlanmış ve atanmış verilerden veri örneğinin eğitilmesi prensibi üzerinedir. Bir yapay sinir ağının denetimli olması aynı anda hatanın geriye yayılma algoritması olarak isimlendirilmesine neden olur. Hata geri yayılma algoritması veri kaynağındaki giriş ve çıkış değerlerine göre eğitilir. Ağın hesapladığı çıkış ile gerçek çıkış arasındaki

hata oranını bulur ve bu orana göre nörondaki ağırlıkları günceller. Denetimli öğrenmede, yapay sinir ağları ile eğitilen veriler verimli sonuçlar vermektedir. YSA lineer ve non-linear problemlere, robotik, tahmin, sınıflandırma gibi alanlara çözümler bulur.

Ağırlıkları kendisi güncelleyen yapay sinir ağları, giriş için kullanılan verilerdeki gizli katmanları tanımlayabilmek için denetimsiz öğrenme şeklinde ifade edilen algoritmayı kullanır. Bu şekilde öğrenme durumunda, YSA çıkışında bir hata sinyali bulmayı aramaksızın veriyi eğitime, öğrenme ve organizasyonunu yapmayı hedefler [7].

2.2. Uygulama Aşaması

Bu çalışmada; yapay sinir ağlarını kullanarak rüzgâr hızı verisinden, rüzgâr türbinlerinin hızları ve güçleri ile elektrik üretimi tahminlenmiştir. Sinir ağı ile rüzgâr enerjisi üretim tahmini yapılırken Afyonkarahisar ili, Dinar ilçesi, Burunkaya Köyü mevkiine ait rüzgâr hızı verileri test için, 3 farklı rüzgâr türbinine ait hıza göre güç çıktıları ise giriş ve hedef değeri olarak kullanılmıştır. Araştırmada seçilen türbinlerin kule yüksekliği 85 m'tir. Modellemedeki rüzgâr hızı verileri Çizelge 1'de gösterilirken, türbinlerin 0-25 m/s arası rüzgâr hızı verisine göre ürettiği enerji miktarları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Çizelge 2'de gösterilen 3 farklı rüzgâr türbini için güç-hız eğrilerinden çıkarılan enerji üretim miktarı gibi veriler türbin üretici firmalarının teknik kılavuzlarından elde edilmiştir [8-11].

Çizelge 1. Aylara göre ortalaması alınmış rüzgâr hızı verileri (m/s) (6 Aylık).

Günler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1	10,91	8,82	5,79	5,26	8,97	4,01
2	8,44	4,21	4,66	6,04	8,73	7,26
3	13,63	5,75	5	4,71	4,59	4,79
4	10,58	8,34	3,95	3,03	5,91	5,78
5	8,35	12,76	4,66	5,11	8,47	5,25
6	7,65	13,94	6,13	11,77	9,18	4,21
7	4,69	4,08	6,12	6,32	10,34	5,92
8	10,31	2,78	2,99	8,70	5,66	7,51
9	7,14	4,98	4,24	10,49	3,69	7,46
10	15,39	3,56	6,45	9,72	6,57	5,28
11	14,19	6,69	8,3	9,37	3,97	5,02
12	8,01	10,18	12,98	4,91	3,92	4,74
13	3,91	8,67	10,04	7,82	3,55	8,00
14	9,31	11,24	5,23	4,53	5,50	9,30
15	14,48	10,63	7,19	4,22	5,65	5,49
16	13,54	9,98	7,77	4,45	3,88	3,69
17	5,73	5,79	7,51	7,07	8,62	4,10
18	3,56	5,65	3,88	8,11	5,03	3,21
19	4,41	2,84	3,03	7,90	4,55	3,75
20	6,22	3,26	3,86	9,47	6,73	4,32
21	7,24	3,37	9,16	9,67	6,53	4,83
22	4,58	4,13	7,64	7,81	5,54	7,23
23	10,32	6,73	8,74	3,86	7,88	7,16

24	15,09	5,59	15,37	4,31	7,63	4,51
25	13,34	7,15	12,51	4,44	5,42	4,80
26	11,56	7,24	5,98	4,71	3,35	7,48
27	4,34	12,15	5,66	4,12	4,35	8,01
28	4,15	10,34	4,37	3,58	4,30	4,46
29	10,98	-	14	5,85	7,92	11,02
30	11,03	-	17,33	8,30	4,62	13,24
31	11,97	-	10,90	-	6,97	-

Çizelge 2. Türbinlerde rüzgâr hızına göre üretilen enerji miktarları (kW).

Rüzgâr hızı (m/s)	Siemens SWT2.3	VestasV112	Nordex N100
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	66	24	24
4	171	139	84
5	352	312	212
6	623	570	391
7	1002	936	599
8	1497	1419	912
9	2005	2027	1299
10	2246	2705	1744
11	2296	3168	2149
12	2300	3292	2389
13	2300	3300	2492
14	2300	3300	2500
15	2300	3300	2500
16	2300	3300	2500
17	2300	3300	2500
18	2300	3300	2500
19	2300	3300	2500
20	2300	3300	2500
21	2300	3300	2500
22	2300	3300	2500
23	2300	3300	2500
24	2300	3300	2500
25	2300	3300	2500

Verilerin, yapay sinir ağları ile tasarımı ve eğitimi için MATLAB nntool kullanılarak analizi yapılmıştır. Giriş, çıkış ve test verileri Microsoft Excel programı ile oluşturulup normalizasyona tâbi tutulduktan sonra MATLAB (2019b) programında işlenmiştir. Normalizasyon, yapay sinir ağı modelinin giriş ve çıkış parametrelerine belirli ön işlemleri gerçekleştirerek yapay sinir ağları

modeline sunulmuş olan verilerin eğitiminin daha verimli hale dönüştürülmesidir. Bu araştırmada minimum–maksimum normalizasyon yöntemi uygulanmış ve modele uygulanacak tüm veriler [0,1] arasında Eş.4'e göre hesaplanmıştır.

$$X_n = \frac{(X_0 - X_{min})}{X_{max} - X_{min}} \quad (4)$$

Bu eşitlikte, X_n , normalleştirilme işlemine uygulanmış veriyi, X_{max} ve X_{min} değerleri ise veri kümesindeki maksimum ve minimum değerleri ifade eder.

Çizelge 3. Ay bazında 2019 rüzgâr hızlarının normalizasyon yapılmış değerleri (X_n).

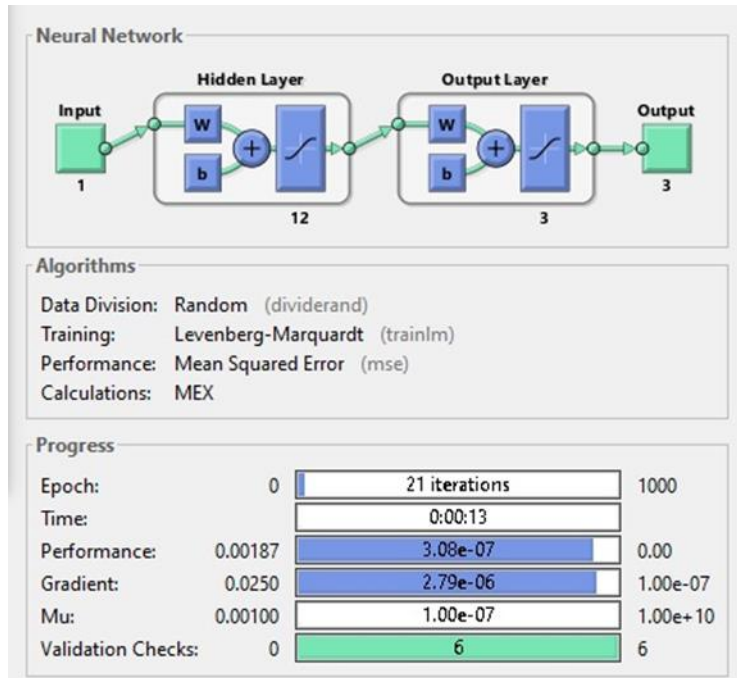
Günler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1	0,62130	0,54122	0,19526	0,25515	0,80401	0,07976
2	0,41251	0,12814	0,11646	0,34439	0,76967	0,40379
3	0,85123	0,26613	0,14017	0,19222	0,17740	0,15753
4	0,59341	0,49821	0,06695	0,00000	0,36624	0,25623
5	0,40490	0,89427	0,11646	0,23799	0,73247	0,20339
6	0,34573	1,00000	0,21897	1,00000	0,83405	0,09970
7	0,09552	0,11649	0,21827	0,37643	1,00000	0,27019
8	0,57058	0,00000	0,00000	0,64874	0,33047	0,42871
9	0,30262	0,19713	0,08717	0,85355	0,04864	0,42373
10	1,00000	0,06989	0,24128	0,76545	0,46066	0,20638
11	0,89856	0,35036	0,37029	0,72540	0,08870	0,18046
12	0,37616	0,66308	0,69665	0,21510	0,08155	0,15254
13	0,02959	0,52778	0,49163	0,54805	0,02861	0,47757
14	0,48605	0,75806	0,15621	0,17162	0,30758	0,60718
15	0,92308	0,70341	0,29289	0,13616	0,32904	0,22732
16	0,84362	0,64516	0,33333	0,16247	0,07582	0,04786
17	0,18343	0,26971	0,31520	0,46224	0,75393	0,08873
18	0,00000	0,25717	0,06206	0,58124	0,24034	0,00000
19	0,07185	0,00538	0,00279	0,55721	0,17167	0,05384
20	0,22485	0,04301	0,06067	0,73684	0,48355	0,11067
21	0,31107	0,05287	0,43026	0,75973	0,45494	0,16152
22	0,08622	0,12097	0,32427	0,54691	0,31330	0,40080
23	0,57143	0,35394	0,40098	0,09497	0,64807	0,39382
24	0,97464	0,25179	0,86332	0,14645	0,61230	0,12961
25	0,82671	0,39158	0,66388	0,16133	0,29614	0,15852
26	0,67625	0,39964	0,20851	0,19222	0,00000	0,42572
27	0,06593	0,83961	0,18619	0,12471	0,14306	0,47856
28	0,04987	0,67742	0,09623	0,06293	0,13591	0,12463
29	0,62722	-	0,76778	0,32265	0,65379	0,77866
30	0,63145	-	1,00000	0,60297	0,18169	1,00000

31	0,71090	-	0,55160	-	0,51788	
----	---------	---	---------	---	---------	--

2.3. Yapay Sinir Ağının Tasarlanması

Bu kısımda, en optimal yapay sinir ağı parametrelerinin belirlenebilmesi için ağı içindeki değerler birçok kez güncellenmiş ve en az hata değerini bulan ağı parametreleri ile tahmini gerçekleştirilmiştir. Gerek kullanımdaki kolaylığı gerekse yakınsama hızı ile hem lineer hem de lineer olmayan sistemlerdeki tahmindeki kabiliyeti neticesinde ileri beslemeli geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Excelde hazırlanmış olan veri setlerinin eğitilmesi için traininglm (Levenberg-Marquardt) algoritması seçilmiş olup, learnfnc (Adaptation Learning Function) öğrenme fonksiyonu olarak ve aktivasyon fonksiyonu için de tanjant sigmoid (tansig) fonksiyonu uygulanarak yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Performans değerlendirme için de ortalama karesel hatalar (MSE) kullanılmıştır. Tasarlanan ağı modelinde rüzgâr santrali bölgesinden elde edilen 6 aya ait günlük ortalama rüzgâr hız değerleri test verisi, rüzgâr türbinlerinin hızlara göre çıkış güçleri de hedef veri olarak ağı aktarılmıştır. Gizli katman 12 nörondan oluşacak şekilde belirlenmiştir. Modelde seçilen gizli katmanların sayısı ve gizli katmanda kaç tane nöron kullanılacağı çeşitli denemeler sonucunda bulunmuştur.

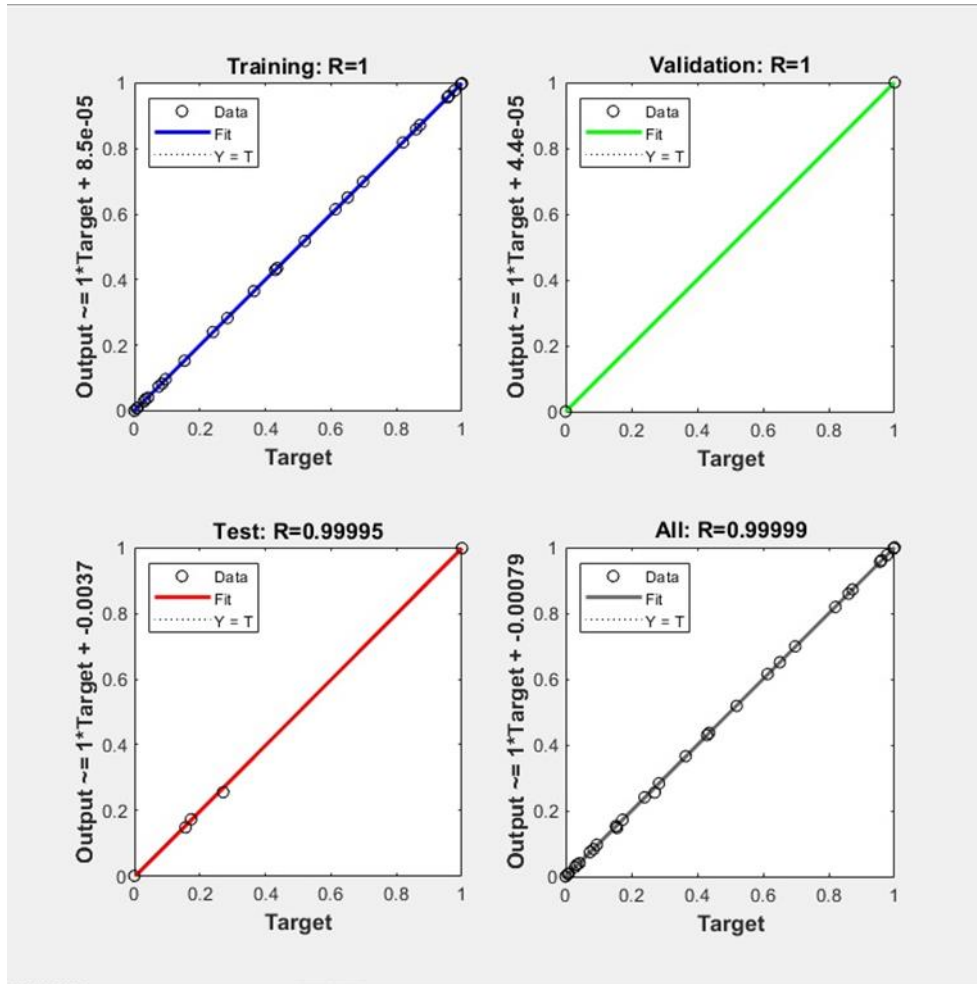
Oluşturulan yapay sinir ağı modelinde, ağı verileri rastgele bir şekilde eğitim için %70, doğrulama için %15 ve test için %15 olarak oranlara ayırmıştır. Kullanılan nntool arayüzü ve eğitim sonucunda elde edilen veriler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kullanılan Matlab NNTOOL program ve eğitim sonucu elde edilen veriler.

2.4. Modelin Eğitimi ve Testi

Burunkaya mevki rüzgâr verileri ve türbinlerden elde edilen değerler doğrultusunda oluşturulan YSA modeli, programa aktarıldıktan sonra bu ağın eğitimine ve test kısmına geçilmiştir. Ağ eğitme, doğrulama ve test aşamasındaki ulaşmak istediğimiz nokta gerçek değerlere yakınsayabilmektir. En az hatayı veren ağırlık seçimlerinde, eğitim sonunda elde edilen doğrulama setinin hata değerleri kullanılmıştır. Test aşamasında ise ilk önce eğitim aşamasında verilen değerlerin tamamı tekrar ağa sunulur, böylelikle ağırlıklar ve giriş değerleri MATLAB programında uygulanarak en düşük hata oranı ile tahmin yapılmaya çalışılmıştır. Ağa verilen çıkışlar ile ağın eğitilmesinden sonra tahminlediği çıkış sonuçları arasındaki eğitim doğrulama ve test değerlerine ait regresyon eğrileri ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Elde edilmiş bu grafiklere göre tüm koşullar için regresyon değerleri 1 ve 1'e yakın çıkmış yani modellenen ağın çıkış değerleri ile gerçek değerlere çok iyi bir şekilde yakınsadığı görülmüştür.



Şekil 3. Modellenen YSA'nın Eğitim, Doğrulama, Test Değerlerine Ait Regresyon Eğrileri.

2.5. Modellenen YSA ile Tahmini Enerji Üretim Sonuçları

Çalışmanın bu aşamasında oluşturulan YSA algoritması eğitim ve test kısımlarından sonra Afyonkarahisar ilinin Dinar ilçesine bağlı Burunkaya mevkiine ait 2019 yılı 6 Aylık periyot için günlük ortalama rüzgâr hızı değerleri baz alınarak, Siemens SWT2.3, Vestas V112, Nordex N100 model rüzgâr türbinleri kullanılması sonucunda üretilecek elektrik enerjisinin tahminlemesi amaçlanmıştır. Çizelge 4'te oluşturduğumuz yapay sinir ağında tahminlemesi yapılan rüzgâr enerjisi elektrik üretimlerinin aylara göre ağı tahmin ettiği toplam değerler verilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre bölgenin rüzgâr konusunda verimli olduğu ve uygun seçilen türbinlerle kapasite faktörü yüksek elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirilebileceği saptanmıştır.

Çizelge 4. Aylara Göre Tahmini Elektrik Enerjisi Üretim Değerleri (MW).

Ay	Siemens SWT2.3	Vestas V112	Nordex N100
1	1171,26	1579,50	1196,59
2	890,87	1165,46	848,90
3	757,06	942,86	671,11
4	925,86	1229,06	905,17
5	977,66	1274,41	926,81
6	697,96	892,21	619,50

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmada, türbin üretici firmalardan sağlanan hız değerleri giriş katmanı ve türbin güç verileri de çıkış katmanı olarak yapay sinir ağına girilmiştir. Modellenen ağ eğitilerek elektrik enerjisi üretim tahminlemesi yapılmıştır. Oluşturulan ağdaki giriş ve çıkış değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği nihai çıkış değerleri arasında çok yakın bir ilişki ve korelasyon olduğu Şekil 3'de verilen regresyon eğrilerinde gözlemlenmiştir. Bu durum YSA'nın iyi bir tahminleme yapabildiğini göstermektedir. Tahminleme sonucu alınan çıkış değerleri, sahadan gelen reel rüzgâr hız verileri ile MATLAB programında simüle edilmiştir. Simülasyon sonucu, YSA'nın seçilen bölgedeki veriler doğrultusunda farklı türbinlere göre yaptığı üretimler ise Çizelge.4'de verilmiştir. Eğitilen YSA ile aynı bölgede veya farklı rüzgâr verisi ile üretim tahminlemesi yapılabileceği ve rüzgâr yatırımcıları için finansman ve proje kararı verilmesi hususunda yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma, farklı model ve güçteki rüzgâr türbinleri ve açık deniz üzeri (offshore) rüzgâr enerjisi santralleri içinde uygulanabilir. YSA ile rüzgâr enerjisi yanında güneş enerjisi, biokütle, biyogaz ve hidroelektrik enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile de benzer çalışmalar yapılabileceği öngörülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1] Çalışkan, Ş. (2009). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (25), 297-310.

- [2] Özgener, Ö. (2002). Türkiye’de ve Dünya’da Rüzgar Enerjisi Kullanımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4 (3), 159-173.
- [3] Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği, Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu 2019, Ankara, 37 syf, https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_temmuz_2019.pdf
- [4] Chand, S. & Lan, M. (1990). Neural Network Augmented Control for Nonlinear Systems, Proc. of the 29th Conf. CDC, Honolulu, HI, 1732-1734.
- [5] Elmas, Ç. (2007). Yapay zeka uygulamaları:(yapay sinir ağı, bulanık mantık, genetik algoritma). Seçkin Yayıncılık.
- [6] Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağıları. PapatyaYayıncılık, İstanbul.
- [7] Sathya, R., & Abraham, A. (2013). Comparison of supervised and unsupervised learning algorithms for pattern classification. International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, 2 (2), 34-38.
- [8] <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/693-vestas-v112-3.3>
- [9] <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/647-siemens-swt-2.3-108>
- [10] <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/44-nordex-n100-gamma>
- [11] <http://www.nordex-online.com/en/produkte-service/wind-turbines/n100-25-mw.html>