

Yapay Sinir Ağları ile Rüzgâr Enerji Verimliliğine Yönelik Yeni Bir Tahmin Yaklaşımı: Çanakkale ili Bozcaada Örneği

A New Forecasting Approach for Wind Energy Efficiency with Artificial Neural Networks: The Case of Bozcaada in Çanakkale Province

Adem Demirtop^{1*} , Ali Hakan Işık^{2*} 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur, Turkey

ÖZ: Bu çalışmada, dünya üzerinde giderek artan yenilenebilir enerji kaynakları arasında ciddi bir yatırıma sahip olan rüzgâr enerjisinin daha verimli nasıl elde edilebilirliğini yapay sinir ağları (YSA) ve uygulanacak program olan matris laboratuvar (MATLAB) programı ile yeni bir verimlilik yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşım ile makine öğrenmesi algoritmalarının ve veri ön işleme gibi gereksinimleri bir arada sunan Java ile geliştirilen Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) da kullanılmıştır. Kullanılan veriler Çanakkale ili Bozcaada ilçesine aittir. 2014 yılında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgâr hızı, nem, basınç ve sıcaklık verilerini kapsamaktadır. Bu veri setleriyle rüzgâr hız tahmin yapılmıştır. Rüzgâr hız tahmin sonuçlarına bakıldığında; WEKA' da Lineer Regresyon algoritmasından faydalanarak korelasyon katsayısının yüksek hata oranını (Cross Correlation, CC) 0.6797 ve Kök Ortalama Hata Karesi (Root Mean Square Logarithmic Error, RMSE) 0.1558 değeri düşük çıkmıştır. Matlab'da ise Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılmıştır ve eğitim verisi için regresyon değeri $R=0.9998$, doğrulama verisi için regresyon değeri $R=0.99991$, test verisi regresyon değeri $R=0.62945$ ve tüm değerler verisi için regresyon olup değeri $R=0.8971$ olarak elde edilmiştir. RMSE değerimiz ise $8,0266 \cdot e^4$ olarak bir değer bulunmuştur. Buradan sonuçla girilen verilerimiz her iki program için uygulanan YSA göz önünde bulundurularak MATLAB, WEKA programına göre daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Rüzgâr enerjisi, Yapay sinir ağları, MATLAB, WEKA

ABSTRACT: In this study, a new efficiency approach is proposed with artificial neural networks (ANN) and matrix laboratory (MATLAB) program, which is the program to be applied, to determine how wind energy, which has a serious investment among the increasing renewable energy sources in the world, can be obtained more efficiently. With this proposed approach, Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) developed in Java, which offers a combination of machine learning algorithms and requirements such as data preprocessing, was also used. The data used belong to Bozcaada district of Çanakkale province. In 2014, it includes wind speed, humidity, pressure and temperature data obtained from the General Directorate of Meteorology. Wind speed prediction was made with these data sets. Looking at the wind speed estimation results; In WEKA, using the Linear Regression algorithm, the high error rate of the Cross Correlation (CC) was 0.6797 and the Root Mean Square Logarithmic Error (RMSE) was 0.1558. In Matlab, the Levenberg-Marquardt training algorithm was used and the regression value for the training data was $R=0.9998$, the regression value for the validation data was $R=0.99991$, the regression value for the test data was $R=0.62945$ and the regression value for all values data was $R=0.8971$. Our RMSE value was found to be $8.0266 \cdot e^4$. From this result, considering the ANN applied for both programs, MATLAB is more accurate than the WEKA program.

Keywords: Renewable energy sources, Wind energy, Artificial neural networks, MATLAB, WEKA



1. Giriş

Günümüzde artık fosil kaynaklar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının aldığı, sürekli gelişim içerisinde olduğu ve sürdürülebilir kalkınmanın önemli olduğu bir gerçektir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisinin, Türkiye ve diğer dünya ülkeleri arasında yatırıma değer verdiği görülmektedir. Mevcut coğrafi potansiyellerini kullanan diğer ülkeler gibi Türkiye de 3 tarafı denizlerle çevrili, yüksek yerleşim yerlerine sahip, yıl içerisinde ciddi oranlarla rüzgâr alan bir yerdir. Bu nedenle ithal edilen enerjiyi kendi imkânlarımız ölçüsünde yurt içerisinde üretip dağıtımına katkı sağlanabilmektedir.

Üretime katkı sağlayan kaynaklar arasında rüzgâr enerjisinde ciddi oranda artışlarda söz konusudur. Araştırma konusu olan Rüzgâr enerjisi verimliliği ciddi bir potansiyeli ve üretim odaklı bir anlayış ile enerjiyi hatırı sayılır bir seviyeye getirmektedir. Ülkemiz Haziran 2022 yılı itibarıyla kurulu rüzgâr enerji kapasitesi 1,1 GW toplam kurlu güç ise %10,81 olmuştur. Güneş enerjisine kıyasla %2,5 daha fazla kurulu güç olması yatırımın ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir. Biokütle enerjisinde %8,7 Jeotermal Enerji kaynakları arasında ise %9,2 daha fazla enerji üretim payına sahiptir (URL-1, 2022).

Literatürde farklı yapay zekâ algoritma ve yöntemlerle rüzgâr hız tahmini ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Lewis (1982), Ortalama Mutlak Yüzdesele Hata (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) değeri %10 'dan az olan tahmin modelleri "çok iyi", %10 ile %20 arasında olan tahmin modeller "iyi", %20 ile %50 arasında olan tahmin modelleri "kabul edilebilir", %50 ve üzeri olan tahmin modelleri ise "yanlış ve hatalı" olarak sınıflandırılmaktadır. Garson Algoritması kullanılarak Türkiye'de CO2 emisyonları üzerindeki bağıl önemi MAPE %11,34 olarak elde edilmiş ve Lewis sınıflandırması dikkate alındığında "iyi" model olarak tahmin etmiştir (Söyler H., Kızılkaya O. 2023)

Kayseri, Rize, Hakkâri ve İzmir illerinin meteorolojik ve coğrafi verilerinden yararlanarak güneş ışınımı değerleri Yapay Sinir Ağlar (YSA) ile tahmin edilmiş ve girdi değerleri nem, atmosfer basıncı ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler girdi olarak kullanılmıştır. Kök Ortalama Hata Karesi (Root Mean Square Logarithmic Error, RMSE) değerleri sırasıyla 0.6759, 0.6540, 0.6965 ve 0.6765 olarak tahmin edilmiştir (Ertürk, S. Ve ark., 2023)

Rüzgâr türbinlerinin maksimum güç izleme yöntemleri ve Matlab / Simulink uygulaması sonucunda rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminin, sabit kanat ucu hız oranı yöntemiyle maksimum güç noktası takibi yapılarak daha verimli çalıştığı gösterilmiştir. Ayrıca ayırık zamanlı hız denetleyicinin oransal ve integral parametreleri değiştirilerek sistemin başarımı üzerine etkileri incelenmiştir (Bektaş Ö., 2019)

Türkiye'nin Bartın ili Amasra bölgesi rüzgâr hızları için uzun hafıza etkisi Kesirli Tümeleşik Kendiyle Bağlı Hareketli Ortalama Modeli (Autoregressive Fractionally

İntegrated Moving Average, ARFIMA) - Kesirli Tümeleşik Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (Fractionally Integrated Generalized Autoregressive ve Conditional Heteroskedasticity, FIGARCH) modelleri ile araştırılmış rüzgâr hızı serisi için ortalama ve koşullu varyansında uzun hafıza parametreleri istatistiksel anlamlı bulunmuş ve en uygun model ARFIMA(0, 1)- FIGARCH(1, d, 1) modeli olarak tahmin edilmiştir (Türkçayılmaz S., 2022)

Çanakkale Baba Burnu civarında rüzgâr enerjisi üretimine yönelik 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait rüzgâr ait rüzgâr enerji potansiyelinin hesaplanmasına yönelik, rüzgâr şiddeti tahmini ile ilgili bir çalışma yapılmış ve modelin başarısı kök ortalama kare yaklaşım hatası (RMSEA) 0.05 ile 0.08 arasında model sonuçlarını hesaplanmıştır (Bakırov R. Ve Aslan Z., 2023)

Rüzgâr hızının yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (Adaptive Neural Fuzzy Inference System, ANFIS) metotları kullanarak elde edilen tahmin değerlerinin başarılarının değerlendirilmesinde hataların karelerinin ortalaması (Mean Squared Error, MSE) ve tahminler ile beklenen değerler arasındaki benzerlik (Regression (R)) değerleri kullanılmıştır (İnan T. ve Baba A.F., 2021).

Rüzgâr Hızı Tahmini İçin Yapay Sinir Ağı ve Adaptif Sansürleme Tekniği Tabanlı Yeni Bir Hibrit Yaklaşım daha az veri ile hesap yükü azaltılmış ve rüzgâr sinyallerine ait tahmin başarımı büyük oranda korunmuş ve bu bahsedilen sonuçlar yapılan benzetimlerle doğrulanmıştır (Sarp A.O. ve Mengüç E.C., 2019).

Isparta iline ait rüzgâr hızları yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemiyle tahmin edilmiştir. Böylece farklı yıllar ve aylardaki rüzgâr hızlarının tahmini mümkün olmaktadır (Özcan İ. ve ark. 2013).

Bir yıllık rüzgâr verileri kullanarak WEKA yazılımı C4.5, k-en yakın komşu, yapay sinir ağları, C-means algoritmalarını kullanarak rüzgâr hız tahmin etmiştir. Bunun enerji üretimini nasıl etkilediğini gösterilmiştir (Ergün K. ve Aşnaz Karasu M. S., 2019).

Amerika'nın Nevada bölgesi için 2010-2012 yılları arasındaki iki yıllık rüzgâr hız verileri, ortalama buharlaşma ve hava sıcaklığını değerlerini girdi olarak alıp rüzgâr hız verilerini bulanık mantık mamdani (M-BM), Bulanık mantık Sugeno (S-BM) yöntemi ile tahmin etmiştir (Unes F. ve ark., 2019).

Uzun dönem rüzgâr hızı tahmininde yapay sinir ağlarının kullanımı ve performans incelemesinde 30 yıllık rüzgâr hızı, nem, basınç, sıcaklık ve yağış miktar verilerinden matlab' da YSA modelleri oluşturularak yapılan tahmin rüzgâr hız tahmini test verileri için ortalama mutlak yüzdesele hata (OMYH) değerleri tespit edilmiştir (Altınsoy M. ve Bal G., 2019).

YSA kullanılarak en küçük hata ile rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi tahmini yapılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre, modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu görülmüştür (Şenol, Ü. ve Musayev, Z., 2017)

Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 2014 yılına ait rüzgâr hızı, nem, basınç ve sıcaklık verilerini kapsayan meteoroloji veri seti kullanılmıştır. Bu veri setiyle Çanakkale ilinde bulunan Gökçeada ilçesi için rüzgâr hızı tahmini yapılmıştır. WEKA'da doğruluk analizleri yapabilmek için çeşitli algoritmalar kullanılmıştır.

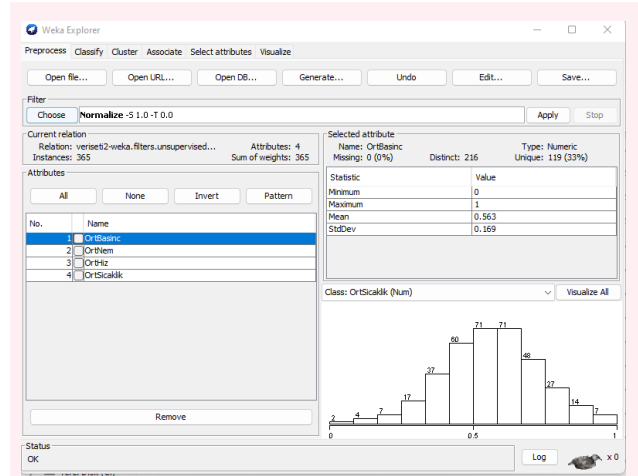
2. Materyal ve Yöntem

Yapay zekâ da kullanılan metot ve yöntemler çoğunluklu olarak matematiksel modellemelerle ilgilidir. Matematiksel modellemelerle hareketle çıkan sonuçları değerlendirebileceğimiz çeşitli veri analiz programları vardır. Veri analizleri için kullanılan bilgisayar programları ise ticari programların en önemlileri Sosyal Bilimler İstatistik Paketi (Statistical Package for the Social Sciences, IBM SPSS Modeler), Excel, İstatistiksel Analiz Sistemi (Statistical Analysis System, SAS), Angoss, KXEN, SQL Server, MATLAB ve açık kaynak programlardan başlıcaları ise Orange, RapidMiner, WEKA, Scriptella ETL, jHepWork, KNIME, ELKI'dir. Kullanılan Matlab programı yükseltmeler ve eklentiler ticari olan Matlab ve açık kaynak olan WEKA kullanılmıştır. WEKA programında yer alan Gaussian Processes, Linear Regression, Multilayer Perceptron, Simple Linear Regression, SMOreg, Kstar, Decision Table, M5P algoritmaları ile gruplandırma için rüzgâr hız tahminin de bulunulmuştur.

WEKA, Yeni Zelanda'nın Waikato Üniversitesi'nde 1999 yılında geliştirilmiş, Java programlama dili kullanılarak yazılmış, popüler bir makine öğrenme yazılım paketidir. Derin öğrenme, metin madenciliği, makine öğrenimi ve tahmine dayalı analiz için entegre bir ortam sağlar. Java programlama dili ile geliştirilmiş olan projelerle uyum kolaylığı ve ücretsiz olarak kullanıma sunulmuş olması sebebiyle yaygın hale gelmiştir. Windows, Mac, Unix/Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. WEKA, ham verilerin işlenmesi, öğrenme yöntemlerinin istatistiksel bir şekilde yorumlanması, ham veriden oluşturulan modelin görsel olarak izlenmesi gibi veri madenciliği-ne ilişkin tüm faaliyetleri yerine getirmektedir.

WEKA, birtakım veri madenciliği işlemlerini içerir. Daha spesifik olarak bunlar, veri ön işleme, kümeleme, sınıflandırma, regresyon, görüntüleme ve özellik seçimidir. WEKA sahip olduğu bütün teknikler, verilerin tek bir düz dosya ya da ilişkili olarak kullanılabilir olduğu varsayımına dayanmaktadır. Dolayısı ile WEKA, Java veri tabanı bağlantısını kullanarak SQL veri tabanına erişimi ve veri tabanı sorgusu tarafından döndürülen sonucun işlenmesini desteklemektedir. Bu çok ilişkili veri madenciliği için uygun değildir fakat birbiri ile ilişkili veri tabanı tablolarını tek bir tabloya dönüştüren ayrı bir yazılım bulunmaktadır. WEKA bu ayrı yazılımın yaptığı işlemi yapabilmektedir.

Araştırmada elde edilen veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2014 yılına ait sıcaklık, basınç, nem ve rüzgâr hızı değerleri 365 veri setinde oluşmuş olup bu değerleri WEKA üzerinde eklenip ana ekran aşağıdaki Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. WEKA gezgin görüntüsü

Şekil 1'de görüldüğü gibi bir grafik elde edilmiştir. Toplam verimizin 365 olduğu tipinin numerik olduğu belirgin verilerimizin 216, eşsiz verilerimizin 119 olduğu görülmektedir.

WEKA programına ait yöntemler arasında formül olanlar Linear Regression, Siple Linear Regression, SMOreg, M5Rules, M5P ve formül olmayanlar Kstar, Random Tree, REPTree, Gaussian Processes ve Multilayer Recreptron rügar hızı tahmini için kullanılacak metotlardır.

Rüzgâr hızı tahmininde elde edilen veriler sıcaklık, basınç ve nem değerlerine bağlı gruplar altında aşağıdaki Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. WEKA gezgin görüntüsü

GRUPLAR	
1.Grup	Sıcaklık-Basınç-Nem
2.Grup	Sıcaklık-Basınç
3.Grup	Sıcaklık-Nem
4.Grup	Nem-Basınç
5.Grup	Sıcaklık
6.Grup	Basınç
7.Grup	Nem

Makine öğrenmesi algoritmalarıyla birlikte geliştirilen modellerin performansını birbiri arasında ve tahmin verisinin kendisiyle mukayese etmek için çeşitli ölçüm ve analiz yöntemleri kullanılmıştır. Ortalama kare hata (MSE), kök ortalama kare hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) çalışmada kullanılan hata ölçüm algoritmalarıdır. İki farklı

türde istatistiksel analiz yöntemi uygulanmıştır. Korelasyon katsayısı (R) ve belirleme katsayıları (R²). Bu hata ölçüm algoritmalarının formülleri aşağıdaki denklem (1)-(4)'te verilmiştir (Rüşen ve Kılınçvur, 2023)

$$SE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ABS(Actual_t - Forecast_t)}{Actual_t} * 100\% \quad (4)$$

Rüzgâr hız tahmini hata oranını belirlemek için korelasyon katsayısını (CC), belirleme katsayısını (R²) göstermektedir. Korelasyon katsayısı gerçek veri ile tahmini veri arasındaki ilişkiyi gösterir. +1 değerine yaklaştıkça ikili arasındaki ilişki güçlenmektedir, -1 yaklaştıkça ise ilişki azalmaktadır sıfır değerinde ise ilişki yok olmaktadır. CC ve R² olan i farklı istatistiksel analiz yöntem formülleri (5) ve (6) numaralı denklemlerde yer almaktadır.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

Formüllerde yer alan O_i, P_i, \bar{O} ve \bar{P} değerlerinin sırasıyla ölçülen değer, tahmin değer, ölçülen değerlerin ortalaması ve tahmin değer ortalaması olarak sıralanmaktadır.

Meteorolojik veriler değişken birim ve değerler sahiptirler. Elde edilen verileri ortalama sıcaklık değeri -10 oC, ortalama aktüel basınç 1010 hPa, ortalama nispi nem %98, basınç değeri 1000 gibi değerler arasında anlamsızlığın önüne geçmek adına bu verilerin normalize edilmesi gerekmektedir. Logaritmik Sigmoid (LogSig) ve Tanjant Sigmoid (TanSig) fonksiyonu için normalizasyon formülleri (7) ve (8) numaralı denklemlerde yer almaktadır.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (7)$$

$$X_{norm} = 2 \times \left(\frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) - 1 \quad (8)$$

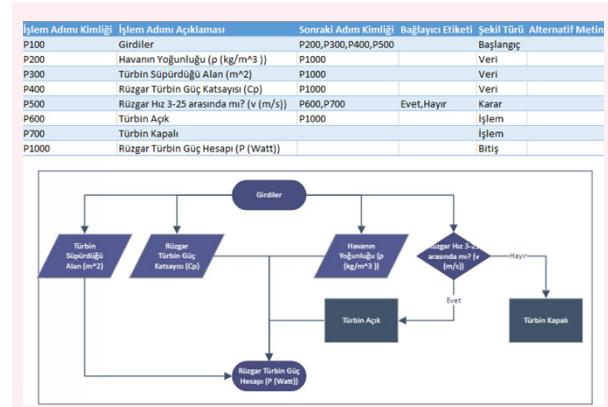
Denklem (7) ve (8) 'de yer alan değerler; X değer ilk değer olup Xmin değer ise grup içerisindeki minimum değerdir ve Xmax değeri ise grup içerisindeki maksimum değerdir.

Rüzgâr türbinin Güç hesabında kullanılacak parametreler sırasıyla hava yoğunluğu, rüzgâr hızının küpü, güç katsayısı ve rüzgâr türbini kanadının kapsadığı alanı ifade etmektedir. Kısaca güç hesaplaması için sabit terim

1/2, güç katsayısı, hava yoğunluğu, rüzgâr hızının küpü ve kanatların kapladığı alanın birbirleri ile çarpımıdır. Burada denklem (9) aşağıdaki gibidir.

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times C_p \times A \quad (9)$$

Denklem (9)' da yer alan değerler, P güç (Watt), ρ havanın yoğunluğu (kg/m³), v havanın hızı (m/s), C_p rüzgâr türbin güç katsayısı, A türbinin süpürdüğü alan (m²) ifade etmektedir (Che, Y. ve ark., 2016).



Şekil 2. Rüzgâr türbin güç hesaplama akış diyagramı

Akış diyagramını Şekil 2' de gösterildiği gibidir. Burada girdi parametrelerimiz türbin süpürdüğü alan, rüzgâr türbin güç katsayısı, havanın yoğunluğu ve rüzgâr hızı parametreleridir. Rüzgâr hızı 3-25 m/sn arasında olduğunda türbin çalışmaya başlar ve enerji üretimine geçilir. Bu hızlar dışında rüzgâr türbini sürekli dış enerjiden beslenir. Denklem (9) görüldüğü üzere rüzgâr türbin güç hesabında yoğunluk, hız ve alan önemli faktörler arasındadır. Buradan yoğunluğu ele alacak olursak havanın yoğunluğu Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) şartlarında (deniz seviyesinde, +15 C sıcaklıkta ve 1013,25 milibar atmosfer basıncında) havanın yoğunluğu 1,225 kg/m³ 'tür. Bu verilerden elde edilecek olan çıktı rüzgâr türbin gücüdür.

3. Bulgular ve Tartışma

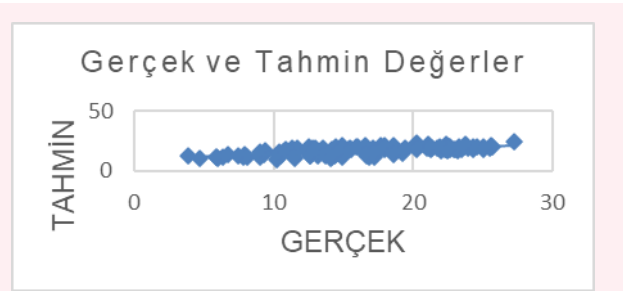
Çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonundan alınan 2014 yılı Çanakkale ili Bozcaada ilçesine ait nem, sıcaklık, basınç ve rüzgâr hız verileri kullanılmıştır. Veriler Excel formatından csv formatına dönüştürülmüştür. Csv formatındaki veriler WEKA programına tanıtılmıştır. Tahminleme modeli için yüzdelik dilim metodu kullanılmıştır.

Linear Regression algoritması tüm zamanlar için diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç vermiştir. Bu algoritma ile yapılan analizlerde CC yüksek hata oranını 0.6797 iken RMSE 0.1558 değeri düşük çıkmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 2' de verilen yedi farklı gruptan sıcaklık-basınç-nem Linear Regression algoritması ile tahmini, sıcaklık-nem grubunda M5P, Sıcaklık-Basınç ve Basınç-Nem grubunun Linear Regression algoritması ile tahmini ba-

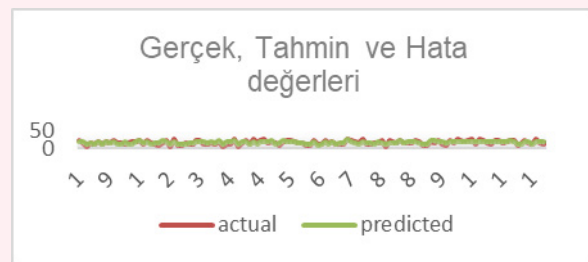
şarı oranı yüksektir. Rüzgâr hızı üç unsurdaki etkili olduğu için basınç,-sıcaklık-nem özellikleri için en iyi tahminde bulunan Linear Regression algoritması kullanılmıştır.

2014 yılına ait rüzgâr hızı, basınç, nem verileri kullanılarak Linear Regression algoritması ile yapılan en iyi tahmin değerleri ve gerçek değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen hata grafiği Şekil 2 ve Şekil 3'te yer almaktadır.

Gerçek değer ile tahmin değerler arasında fazla sapmalar olduğu görülmektedir. Şekil 3'te yer alan hata değerlerinde bu ölçütü göstermektedir. Linear Regresyon algoritmasının



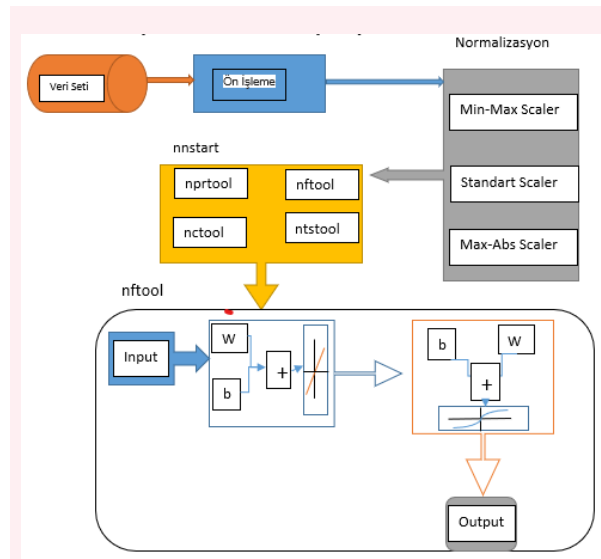
Şekil 3. Gerçek ve tahmin rüzgâr hız değerleri



Şekil 4. Tahmin ve gerçek rüzgâr hız değerleri arasındaki hata grafiği

CC değeri 0,6797 ve bu değer bize yaklaşık 3'te 1 oranında sapma olacağını belirtmektedir. RMSE değeri 0,1558.

Matlab için kullanılacak veriler nntool (Başlangıç Sinir Ağı- Neural Network Start) değerlendirilmiştir. Başlangıç sinir ağı ekranında nftool (veri uydurma sorunlarını çözmek için iki katmanlı bir ileri beslemeli ağ oluşturmaya, görselleştirmeye ve eğitmeye olanak tanır.), nprtool (sigmoid çıkış nöronlarına sahip iki katmanlı bir ileri beslemeli ağ kullanan model, sınıflandırma problemini çözmeye yardımcı olur.), nctool (kümeleme sorunlarını çözmek için kendi kendini organize eden harita ağları oluşturmaya, görselleştirmeye ve eğitmeye imkan tanır.), ntstool (üç farklı türde doğrusal olmayan zaman serisi



Şekil 5. Sigmoid gizli sinirlerle ve doğrusal çıkışa sahip iki katmanlı ileri beslemeli ağ

Tablo 2. WEKA gezgin görüntüsü

Algoritma	Hata Oranı Korelasyon Katsayısı	Sıcaklık-Nem-Basınç	Sıcaklık-Nem	Sıcaklık-Basınç	Nem-Basınç	Sıcaklık	Nem	Basınç
Gaussian Processes	RMSE	0.1875	0.1879	0.1875	0.2086	0.1896	0.2088	0.2088
	CC	0.4666	0.4937	0.4667	0.3902	0.5406	0.2282	0.4136
Linear Regression	RMSE	0.1558	0.1751	0.1599	0.1858	0.178	0.2053	0.1925
	CC	0.6797	0.5591	0.6609	0.4845	0.5406	0.2282	0.4136
Multilayer Perceptron	RMSE	0.1587	0.1748	0.1623	0.1969	0.1775	0.2293	0.1959
	CC	0.6767	0.5604	0.6578	0.3853	0.5406	0.1541	0.3952
Simple Linear Regression	RMSE	0.178	0.178	0.178	0.1925	0.178	0.2053	0.1925
	CC	0.5406	0.5406	0.5406	0.4136	0.5406	0.2282	0.4136
SMOreg	RMSE	0.1562	0.1824	0.1617	0.1866	0.1838	0.2071	0.1936
	CC	0.6795	0.5584	0.6613	0.4766	0.5406	0.2282	0.4136
Kstar	RMSE	0.1772	0.1824	0.1675	0.2008	0.1798	0.2075	0.1977
	CC	0.5695	0.5584	0.6232	0.3364	0.5406	0.1846	0.3589
Decision Table	RMSE	0.1707	0.1761	0.1707	0.2016	0.178	0.2132	0.2016
	CC	0.5978	0.5568	0.5978	0.3256	0.5406	0.1474	0.3256
M5P	RMSE	0.159	0.1768	0.161	0.1958	0.1802	0.2053	0.2028
	CC	0.67	0.5621	0.6592	0.3731	0.5406	0.2282	0.2938

problemini çözmek için dinamik sinir ağları oluşturmayı, görselleştirmeye ve eğitmeye olanak tanır.) seçenekleri sunar. Veriler için elde edilen en iyi sonuç olan nftool modelinde işlenmiştir.

Şekil 4’de görüldüğü gibi model belirlenmiştir. Burada veriler, eğitim verileri %70, doğrulama verileri %15, test verileri %15 ve katman boyutu 10 olarak alınmıştır. Burada 3 tane girdi ve 1 tane de çıktı bulunmaktadır. Bu modelde regresyon görevleri için uygun sigmoid gizli nöronlar ve doğrusal çıkış nöronları içeren iki katmanlı ileri beslemeli sinir ağı kullanılmıştır. Eğitim sonuç verileri aşağıdaki Tablo 3’deki gibidir.

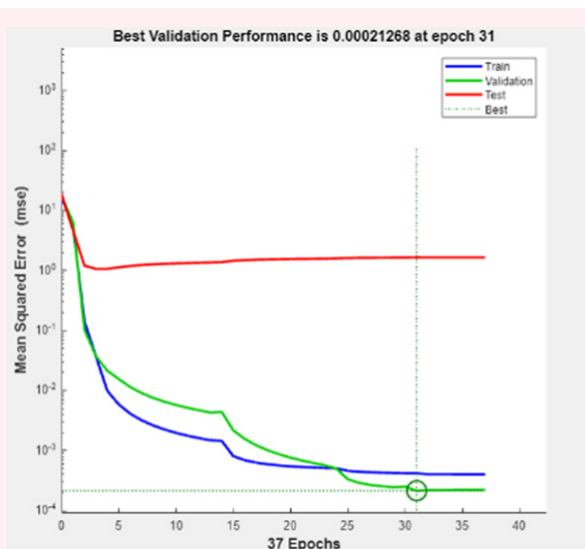
Tablo 3. MATLAB yazılımında kullanılan eğitim sonuç verileri

	Başlangıç Değer	Durdurulan Değer	Hedef Değer
Epok	0	37	1000
Geçen Zaman	-	00:00:00	-
Performans	16,7	0,000401	0
Gradyan	53,60	0,000404	1,00E-07
Doğrulama Kontrolü	0	6	6

	Gözlenen	MSE	R
Eğitim Verileri	255	0,0004	0,9998
Doğrulama Verileri	55	0,0002	0,9999
Test Verileri	55	1,6528	0,6294

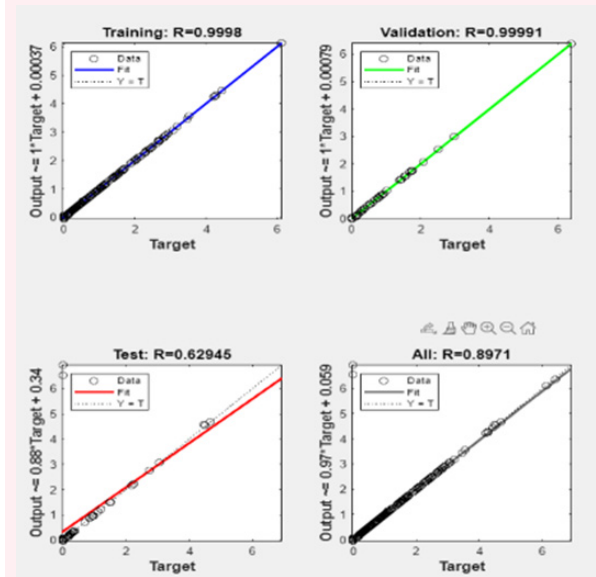
Burada elde edilen değerler arasında performans değeri olup sifıra yakın bir değer erişmek gerekmektedir. Performans değeri ilk çalıştırmalarda daha yüksek değerler gösteriyor, sonrasında daha iyi sonuçlar bulunmaktadır. Şekil 5’te görüldüğü üzere MSE değeri 0.0004 çok küçük bir değere ulaştığı görülmüştür.

Şekil 5’te en iyi performans değeri 0,00021268 epoksi değeri 31 olarak görülmektedir. Epok değeri ne kadar çoksa (eğitilen veriler oluyor.) o zaman gerçek değerden



Şekil 6. En iyi Performans-MSE grafiği

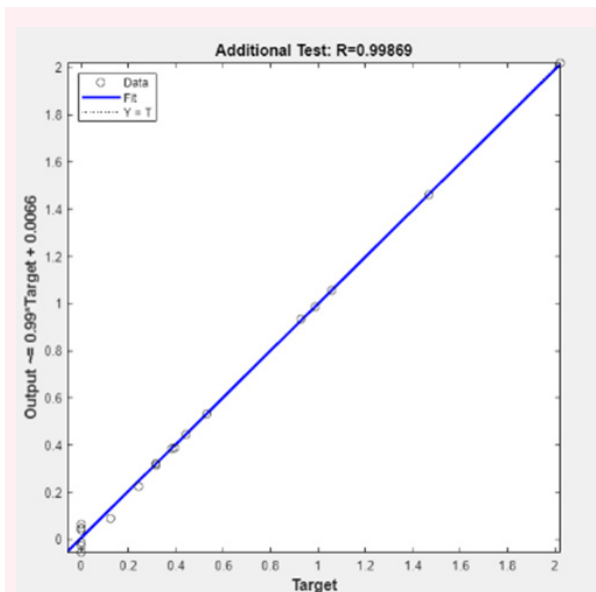
ya uzaklaşmaya başlayacak ya da ezberle daha yaklaşıklık değerler döndürmeye başlayacaktır. Ezberle değerler döndürmesi ise verileri olağandan sapıtacağı için uygun epok sayısında döndürmek gerekmektedir.



Şekil 7. Regresyon grafiği ekranı

Şekil 6’da ki grafiklerden ilk grafik eğitim verisi için regresyon değeri R=0,9998, ikinci grafik doğrulama verisi için regresyon değeri R=0,99991, üçüncü grafik test verisi regresyon değeri R=0,62945 ve son dördüncü grafik ise tüm değerler verisi için regresyon olup değeri R=0,8971 olarak bulunmuştur. Değerlerimiz Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasına çok iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Test verileri Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasına girilmiş ve sonuç aşağıdaki Tablo 9’da yer almaktadır.

Burada görüldüğü üzere R=0,9987 gibi 1 e yakın bir de-



Şekil 8. Levenberg-Marquardt veri sonuç grafiği

Tablo 4. Elde edilen sonuçlar

Eklenen Test Sonuçları			
Tahmin Edilen Veriler	testgirdi - [3x20 double]		
Cevap Verilen	testsonuc - [1x20 double]		
	Gözlenen	MSE	R
Eklenen Veriler	20	8,03E-04	0,9987

ğer olup mükemmel sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 7’ de R veri sonuç grafiği bize uygulanan Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının çok başarılı olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada literatürde yapay sinir ağları kullanılarak yapılan tahmin çalışmalarına bir örnek sunulmuştur. Literatürde yapılan rüzgâr hızı tahmin çalışmalarında örneklem olarak Çanakkale ilinin Bozcaada ilçesi seçilmiştir. 2014 yılına ait sıcaklık, basınç, nem ve rüzgâr hızı verileri kullanılarak bir sonraki yılın rüzgâr hızı tahmin edilmiştir. Kullanılan program ve ilişkisi olduğu algoritmalar ise WEKA da Linear Regression algoritması, MATLAB da ise Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasıdır. Günümüzde ekonomik verilerde, sosyolojik çalışmalarda veya topografya analizlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. WEKA ile uygulanan veriler Linear Regression algoritması tüm zamanlar için diğer WEKA algoritmalara göre daha iyi

sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Linear Regression algoritması ile yapılan analizlerde korelasyon katsayısının yüksek hata oranını (CC) 0.6797 iken RMSE 0.1558 değeri düşük çıkmıştır. MATLAB da uyguladığımız verilerde ise eğitim verisi için regresyon değeri R=0.9998, doğrulama verisi için regresyon değeri R=0,99991, test verisi için regresyon değeri R=0,62945 ve tüm değerler verisi için regresyon değeri R=0,8971 olarak elde edilmiştir. RMSE değeri ise 8,0266*e4 olarak elde edilmiştir. Veriler Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile çok iyi sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Sonuç olarak elde edilen MATLAB yapay sinir ağlarıyla tahmin değeri %89,71 ile WEKA yapay sinir ağları tahmin değeri %62,95 olup kıyaslandığında yaklaşık %27 daha iyi bir sonuç elde edildiği gözlemlenmektedir.

Araştırma sonuçlarına literatür çerçevesinde bakıldığında gelecek dönem için tahmini rüzgâr hızı yapılabileceği görülmektedir. Yine gelecek çalışmalarda girdi olarak farklı veriler kullanılarak ya da değişik yapay sinir ağı kombinasyonları oluşturularak çok daha iyi sonuçlar elde edilmesi planlanmaktadır. Benzer şekilde üretilen farklı yenilenebilir enerji kaynakları arasında doğal korelasyon olduğu düşünülen verilerle de tahminler yapılabilmektedir. Fakat hata oranının öngörülen bölgenin karakteristikleriyle doğrudan ilişkili olduğu ve en doğru model tercihinin tahmin edilen bölgedeki özelliklere göre değişiklik gösterebileceği her zaman akılda tutulmalıdır.

Orcid

Adem Demirtop <https://orcid.org/0000-0003-1251-9574>

Ali Hakan Işık <https://orcid.org/0000-0003-3561-9375>

Kaynaklar

- Altınsoy, M., ve Güngör, B. A. L. (2019). Uzun dönem rüzgâr hızı tahmininde yapay sinir ağlarının kullanımı ve performans incelemesi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 8(1), 21-28.
- Bakırov, R., & Aslan, Z. (2023). Rüzgâr şiddetinin yapay sinir ağları yöntemleri ile modellenmesi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 17(66), 117-137.
- Bektaş, Ö. (2019). Rüzgâr türbinlerinde maksimum güç izleme yöntemleri ve MATLAB/Simulink uygulaması (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Che, Y., Peng, X., Delle Monache, L., Kawaguchi, T., Xiao, F. (2016). A wind power forecasting system based on the weather research and forecasting model and Kalman filtering over a wind-farm in Japan. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(1), 013302.
- Ergün, K., ve Aşnaz, M. S. K. Evaluation and Estimation of Wind Speed With Data Mining Methods.
- Ertürk, S., Hakan, K., Akkuş, C., & Genç, G. Türkiye’de Farklı İklim Kuşakları İçin Yapay sinir ağları Kullanılarak Güneş Işınımının Tahmini. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 1-1.
- İnan, T., Baba, A. Prediction of Wind Speed Using Artificial Neural Networks and ANFIS Methods (Observation Buoy Example) Rüzgâr Hızının Yapay sinir ağları ve ANFIS Metotları Kullanılarak Tahmin Edilmesi (Ölçüm Şamandırası Örneği).
- Kırbaş, İ. (2018). İstatistiksel metotlar ve yapay sinir ağları kullanarak kısa dönem çok adımlı rüzgâr hızı tahmini. *Sakarya University Journal of Science*, 22(1), 24-38. Redwan, M., Moneim,
- Özcan, İ., Şahin, A. Ş., Dikmen, E., ve Bayram, G. (2013). Isparta İlinde Rüzgâr Hızı Değerlerinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 109-112.
- Rüşen, S. E., & Kılınççur, A. (2023). Küresel Güneş Radyasyonu Tahmin Modelleri için Yapay Sinir Ağı Tabanlı WEKA Kullanımı. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches (IJANSER)*, 7(11), 238-243.
- Sarp, A. O., Mengüç, E. C. (2019). Rüzgâr Hızı Tahmini İçin Yapay Sinir Ağı ve Adaptif Sansürleme Tekniği Tabanlı Yeni Bir Hibrit Yaklaşım.
- Söyler, H., & Kızılkaya, O. (2023). Türkiye’de CO2 Emisyonlarının Belirleyicileri: Çok Katmanlı Yapay sinir ağları ile Bir Uygulama. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12(Özel Sayı), 105-116.
- Şenol, Ü., ve Musayev, Z. (2017). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimini Yapay sinir ağları İle Tahmini. *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 23-31.
- Taşar, B., Fatih, Ü., Demirci, M., ve Kaya, Y. Z. (2018). Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 543-551.
- Türkyılmaz, S. (2022). Rüzgâr Hızlarında Uzun Hafıza: Amasra Bölge-



si için Bir Zaman Serisi Analizi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 990-1005.
Unes, F., Kasalı, D., Taşar, B. (2019). Meteorolojik Ölçüm Verilerini Kullanarak Mamdani-Bulanık Mantık Yöntemi ile Rüzgâr Hızının Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü Dergisi, 2(1), 97-104.
URL-1 (2023). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
URL-2 (2023). <https://www.mathworks.com/help/deeplearning> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)