

Fotovoltaik Panellerde Güç Tahminlenmesi için Yapay Zekâ Yöntemlerinin Kullanılması

Using Artificial Intelligence Methods for Power Estimation in Photovoltaic Panels

Dinçer AKAL¹, İlhan UMUT^{2*}

Öz

Fosil kaynakların sınırlı rezervleri, fiyatlarındaki dalgalanmalar ve çevreye verdikleri zarar, ülkeleri birincil enerji kaynaklarına alternatif arayışlarına yöneltmiştir. Sınırsız ve çevre dostu bir kaynak olan güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre güçlü bir alternatiftir. Avrupa Birliği ülkelerinin büyük çoğunluğu güneş enerjisinden elektrik üretiminde tüketicilere birçok teşvik mekanizması ile çeşitli fırsatlar sunmakta ve yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Dünyanın pek çok yerinde; güneş, rüzgâr, hidrojen ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi de artmaktadır. Tüm bunların yanında, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji eldesinin daha verimli hale getirilmesi için araştırmalar devam etmektedir. Güneş enerjisinden elektrik eldesi için gerekli olan ışınım değeri, gün içindeki hava durumuna ve mevsim özelliklerine göre değişmektedir. Güneş enerjisi santrallerinin kurulduğu bölgedeki iklim koşulları, fotovoltaik panellerden elde edilecek çıkış gücünü ve enerji maliyetini doğrudan etkiler. Çevresel şartlara göre fotovoltaik panellerden üretilen çıkış gücünün tahminlenmesi, güneş enerji sistemlerinin kurulumunda şirketlere rehberlik etmesi, maksimum enerji eldesi, enerjinin yönetimi ve sistemin verimli çalıştırılabilmesi için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, kurulumu yapılan fotovoltaik panellerden elde edilen veriler (Sıcaklık, Nem, Basınç, Işınım) kullanılarak güç değerlerinin tahminlenmesi için ileri beslemeli geriye yayımlı yapay sinir ağları ve KNN (K-Nearest Neighbors) yöntemleri kullanılmıştır. Böylece gerçek saha şartlarında elde edilen panel değerleri her iki yöntemle de eğitilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak panelin güç değerleri en yüksek %98.7945 doğrulukla geliştirilen yapay sinir ağı modeli kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen güneş enerjisi tahmini için kullanılan makine öğrenmesi modellerinin yüksek performansa sahip olduğu ve gerçek değerlere çok yakın sonuçlar üretebildiği görülmüştür. Ayrıca belirlenen yük talebine göre farklı özelliklere sahip lokasyonlarda geliştirilen her iki yapay zekâ modelinin de kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik panel, Yapay zeka, Verim, Enerji, Güç

^{2*}Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İlhan UMUT, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Edirne TÜRKİYE. E-mail: ilhanumut@trakya.edu.tr 
OrCID: 0000-0002-5269-1128.

¹Dinçer AKAL, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Edirne TÜRKİYE. E-mail: dincerakal@trakya.edu.tr 
OrCID: 0000-0003-0055-5471

Atıf/Citation: Dinçer AKAL, İlhan UMUT. Fotovoltaik Panellerde Güç Tahminlenmesi için Yapay Zekâ Yöntemlerinin Kullanılması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2), 435-445.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2022

Abstract

The limited reserves of fossil resources, the fluctuations in their prices and the damage they cause to the environment have led countries to seek alternatives to primary energy resources. Solar energy, which is an unlimited and environmentally friendly resource, is a powerful alternative to other energy sources. The majority of the European Union countries offer various opportunities to consumers in electricity generation from solar energy with many incentive mechanisms and ensure their widespread use. In many parts of the world, interest in renewable energy sources such as solar, wind, hydrogen and geothermal is also growing. In addition to all these, researches are continuing to use alternative energy sources and to make energy production more efficient. The radiation value required to obtain electricity from solar energy varies according to the weather conditions during the day and seasonal characteristics. The climatic conditions in the area where solar power plants are installed directly affect the output power and energy cost to be obtained from photovoltaic panels. Estimating the output power produced from photovoltaic panels according to environmental conditions, guiding companies in the installation of solar energy systems, obtaining maximum energy, energy management and efficient operation of the system are of great importance. In this study, feedforward back propagation artificial neural networks and KNN (K-Nearest Neighbors) methods were used to estimate power values using the data (Temperature, Humidity, Pressure, Radiation) obtained from the installed photovoltaic panels. Thus, the panel values obtained under real field conditions were trained with both methods and the results were compared. As a result, the power values of the panel were classified using the artificial neural network model developed with the highest accuracy of 98.7945%. It has been seen that the machine learning models used for solar energy estimation developed within the scope of this study have high performance and can produce results very close to the real values. In addition, it was concluded that both artificial intelligence models developed in locations with different characteristics according to the determined load demand can be used.

Keywords: Photovoltaic panel, Artificial intelligence , Efficiency, Energy, Power

1. Giriş

Fotovoltaik panellerden elde edilecek elektrik enerjisinde maksimum verimlilik; coğrafi konum, çevresel iklim verileri ve kurulum özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle panel kurulumlarında güvenli ve ekonomik olarak güç çıkış değerlerinin kestirilmesi ve etkili olan parametrelerin belirlenmesi gibi bir süreç ortaya çıkmaktadır. Kullanımı giderek yaygınlaşan fotovoltaik panellerin değişken çevre şartlarına göre ürettiği gücün tahmini ve panel çıkış gücüne etki eden faktörlerin etkisinin araştırılması her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu konudaki yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde;

Literatürde, fotovoltaik panel verimliliği ve çıkış gücünün pek çok faktöre göre değişim göstermesinden dolayı, güneş enerji sistemlerinde farklı modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Yapay sinir ağlarını (YSA) kullanan bir güneş enerji sisteminde fotovoltaik modülü modellemek için iki sinir ağı yapısı, yani genel regresyon sinir ağı (GRNN) ileri beslemeli geri yayılım (FFBP) kullanılmışlardır. Panel çıkış gücü ve üretilen gücün yaklaşık değerleri maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve ışınım; değerlerine göre modellenmiştir. Modellemede FFBP, GRNN ile karşılaştırıldığında daha iyi bir performans elde edilmiştir (Saberian ve ark., 2014).

Fotovoltaik (PV) enerji santralleri için güç tahmini, fotovoltaik gücünün sabit olmayan özellikleri nedeniyle doğrusal veya zaman serisi modellerine dayalı geleneksel güç tahmin yöntemleri yerine dalgacık ayırıştırma (WD) ve yapay sinir sisteminin avantajlarını birleştiren bir yöntem sunulmuştur. YSA'nın doğrusal olmayan ilişkileri ele alma yeteneği ile teorik güneş ışınması ve meteorolojik değişkenler, WD ve YSA tabanlı hibrit modelin girdisi olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmada WD ve YSA temelinde PV enerji santrallerinin güç çıkışını tahmin etmek için bir yöntem ortaya koyulmuştur. Bir PV'nin güç çıkışı serisinin periyodik ve durağan olmayan özellikleri nedeniyle santralde, PV çıkışının çok ölçekli ayırıştırmasını gerçekleştirmek için dalgacık analizi yöntemi benimsenmiştir. YSA aracılığıyla farklı sinyal katmanlarındaki tahmin modelleri oluşturularak fotovoltaik santralinin tahmin sonuçları elde edilmiştir (Zhu ve ark., 2016).

Farklı bir ülkede yapılan çalışmada (Adrar çölünde) şebekeye bağlı bir fotovoltaik istasyonun performansı üzerinde meteorolojik değişkenlerin önemli bir etkisi olduğu ifade edilmiştir. Buradaki meteorolojik değişkenleri kullanarak güç üretimini tahmin etmek için bileşenlerin analizi geliştirilmiştir. Tahmin modelleri, hesaplama süresi, doğruluk ve çeşitli istatistiksel göstergeler değerlendirilmiştir. Performans değerlendirmesi ve üretim tahmini açısından özellikle ışınım ve hava sıcaklığının önemli etkisi olduğu ifade edilmiştir (Ziane ve ark., 2021).

Taiwanda yapılan bir çalışmada fotovoltaik panelin yüzey sıcaklığının tahminini için yeni bir YSA modeli önerilmiştir. Önerilen YSA modeli eğitiminde, dış sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı giriş değeri kullanılmıştır. Giriş katmanındaki değişkenlere bağlı olarak fotovoltaik panelin yüzey sıcaklığı çıktı olarak modellenmiştir. Bu çalışmada üç farklı tip algoritma kullanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. En iyi tahmini Leveberg-Marquardt (LM) algoritmasının verdiği tespit edilmiştir. YSA'nın yüzey sıcaklığı tahmininde, konvansiyonel bağıntı metotlarından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Coşkun ve ark., 2016).

Almanyadaki bir çalışmada, fotovoltaik bir sistemden elde edilen güç tahmini için radyasyonun etkisi araştırılmıştır. Avrupa Orta Vadeli Hava Durumu Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından öngörülen üç gün öncesine dayanan tahminlere dayalı olarak bölgesel fotovoltaik panellerin enerji güç tahminine yönelik Almanya da bölgesel olarak veya Almanya'nın tamamı için RMSE değeri hesaplanmıştır. Tahmin doğruluğunun artması, esas olarak fotovoltaik sistemlerin bulunduğu bölgenin büyüklüğüne bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir (Lorenz ve ark., 2009).

Gerçek bir santral üzerinde yapılan çalışmada, fotovoltaik santraldeki enerji tahmini için yapay bir sinir ağı önerilmiş ve giriş veri setlerine göre hassasiyet, yöntemin doğruluğu, eğitim veri setlerinin ve hata tanımlarının bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Santral üzerindeki deneysel faaliyetlere dayanan bu analizde 48 saat ileri hava tahminine dayalı olarak, ertesi günün tüm gün ışığı saatleri için saatlik enerji tahminini ele alınmıştır. Bu durum, akıllı şebeke uygulamasının talep ettiği öngörücü özellikler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının planlanması, özellikle depolama sistemi boyutlandırması ve 24 saat öncesinden fotovoltaik çıkış gücünün YSA tahminlerinin analizi için önemli olduğu ifade edilmektedir (Leva ve ark., 2017).

Farklı bir çalışmada, bir fotovoltaik paneldeki modüllerin ana karakteristikleri olarak, nem oranı, voltaj, akım, güç değerlerinin verimlilik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ortam sıcaklığı ve bağıl nem ile rüzgâr hızı ve ışınım da dahil olmak üzere etkili parametrelere dayalı olarak voltaj ve akımı tahmin etmek için modeller geliştirilmiştir.

Aynı kapasitede ve aynı boyutlarda mono ve polikristal güneş modülleri karşılaştırılmıştır. Genel olarak, polikristal, mono kristal tipe göre bağıl neme daha duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca güneş modülünün üzerindeki nem artışı, iklim şartlarına bağlı olarak; voltaj, akım, güç ve verimlilik değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir (Sohani ve ark., 2020).

Akdeniz bölgesindeki meteoroloji istasyonundan alınan 1993 ile 2010 yılları arasındaki iklim verileri kullanılarak yatay yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınım şiddetini MJ m² cinsinden tahmin etmek için yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Bölgedeki 7 farklı iklim verisi (ortalama hava sıcaklığı, minimum toprak üstü sıcaklığı, toprak sıcaklığı, bağıl nem, bulutluluk, hava basıncı, güneşlenme süresi) alınmış çıktı parametresi olarak aylık ortalama güneş ışınım tahminini elde edilmiştir. İstatistik yöntemler kullanılarak oluşturulan YSA modelinden elde edilen değerler ile çevre verileri karşılaştırıldığında oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen bu YSA modeli ile farklı yerleşim yerlerindeki tahminlemede kullanılabileceği ifade edilmektedir (Şahan ve Okur, 2021). Farklı bir çalışmada ise Horasan istasyonundaki meteorolojik eksik sıcaklık verilerini tamamlamak amacı ile YSA modellemesi yapılmıştır. Benzer iklim özelliklerine sahip komşu istasyonların aylık ortalama sıcaklık değerlerinden data seti oluşturularak Horasan istasyonundaki aylık ortalama sıcaklık değerleri çıkışı hesaplanmıştır. Çeşitli istatistiksel datalar karşılaştırılarak eksik sıcaklık verilerinin tahmin edilmesi için en iyi ağ mimarisi ve YSA modeli oluşturulmuştur (Katipoğlu ve Acar, 2021).

Güneş ışınım şiddeti tahmini için Karadeniz bölgesinde yapılan bir çalışmada; Zonguldak iline ait 1995 ile 2004 yılları arasındaki (10 yıllık ortalama değerler) güneş ışınımı, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı deklinasyon açısı, toprak sıcaklığı, , nem miktarı, gibi iklim verileri alınarak YSA modeli ve regresyon analiz yöntemi uygulanmıştır. Yapılan analizlerin sonunda ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki hatalar karşılaştırıldığında regresyon analiz yöntemindeki hata payının % 1.28, YSA modellemesinde ise % 3.25 olduğu tespit edilmiştir (Deniz ve Kemal, 2007).

Afyon Kocatepe Üniversitesi yerleşkesine kurulmuş olan güneş enerjisi sisteminden üretilecek gücün tahmin edilebilmesi için YSA modeli geliştirilmiştir. Güneş enerji sistemi üzerinden toplanan veriler kullanılarak çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri (MDLPF) modellemesi oluşturulmuştur. Üretilen değerler ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında MDLP filtrelerin güç sistemleri için başarılı bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Akarslan ve Hocaoglu, 2018).

Yapılan farklı bir çalışmada, güneş radyasyonu ve güneşlenme sürelerini tahmin etmek için güneydoğu anadolu bölgesine ait beş ilin meteoroloji genel müdürlüğünden alınan dataları kullanılarak Üstel Ağırlık Hareketli Ortalama (ÜAHO) modeli ve Üstel Ağırlık Hareketli Ortalama bazlı Gaussian Dağılım (ÜAHOG) modelleri ile tahminleme çalışması yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre ÜAHO yöntemi, ÜAHOG yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiş olsa da tahmin sonuçlarına göre her iki modelin kabul edilebilir olduğu ifade edilmektedir (Kılıç ve ark., 2016).

Farklı bir çalışmada ise altı farklı açıda kurulum yapılan fotovoltaik panellerden elde edilen güç değerlerinin tahmin edilmesi için parçacık sürü optimizasyonu (PSO), geri yayımlı (GY)yapay sinir ağı modeli ve klonal seçim algoritması (KSA) modelleri oluşturulmuştur. Geliştirilen üç farklı ağ modeli için doğrulama sonuçlarına göre tahminleme de neredeyse tüm aylar için parçacık sürü optimizasyonu (PSO)modelinin diğer algoritmalara göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür (Dandil ve Gürgeç, 2019). Harran Üniversitesi, GAPYENEV merkezindeki meteorolojik istasyonundan alınan verilerdeki kayıp güneş ışınım değerlerinin farklı veri madenciliği yöntemleriyle tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Önerilen Yapay Sinir Ağı modelleri ve diğer veri madenciliği teknikleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında eksik değerlerin tahmin edilmesinde en yüksek başarıyı 'En Yakın Komşu Yöntemi' nin sağladığı görülmüştür (Sağaltıcı ve ark., 2018).

Fotovoltaik panellerden elde edilen güç, meteorolojik değişkenlerle güçlü bir korelasyona sahiptir. Özellikle güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığı panel çıkış gücünü etkileyen önemli faktörlerdir. Birçok araştırma makalesi yayınlanmış olmasına rağmen bu değişkenleri tahmin etmek için zaman ve mekânsal parametreler çok fazla dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle daha yeni bir çalışma da, Makine öğreniminde kullanılan farklı modeller oluşturularak 10 dakika sonrasındaki güneş ışınım değerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen model ile elde edilen ışınım değerinin gerçek ve tahmin edilen arasındaki farkın %4'ten düşük olduğu tespit edilmiştir (Rodriguez ve ark., 2021).

Tüm bu çalışmaların neticesinde tarım ve hayvancılık sektöründe güneş enerjisi kullanımı arttırılarak hem girdi maliyetleri hem de CO₂ emisyonları azaltılabileceği ifade edilmektedir (Delice ve Yashoğlu 2021).

Literatürdeki yapılan araştırmalardan farklı olarak; bu çalışmada Edirne ili çevre şartlarında kurulan güneş enerji sisteminden elde edilen veriler YSA ve KNN algoritmaları ile eğitilerek, sonuçların karşılaştırılması hedeflenmiştir. Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde kurmuş olduğumuz fotovoltaik panel sisteminden elde edilen enerji miktarının belirlenmesinde daha yakın sonuçlar veren tahmin modeli geliştirilmiş olacaktır. Böylece geliştirilen bu yapay zekâ modeli kullanılarak farklı bölgelerde proje öncesinde panel güç çıkışı değerleri tahmin edilebilecektir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada fotovoltaik hücre verimliliğiyle ilgili ileri beslemeli, çok katmanlı bir yapay sinir ağı uygulaması yapılmıştır. Uygulama yapay zekâ algoritmaları için tasarlanmış olan WEKA yazılım aracı ile yapılmıştır.

2.1. Veri Seti

Güneş enerjisinden elektrik dönüşümünde kullanılan fotovoltaik panelin güç çıkışını ölçmek ve YSA ile tahminleme yapmak için Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin içerisinde çalışmaya özel bir deney düzeneği kurulmuştur. Paneller güney yönünde 30°'lik açı ile Şekil 1'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Tablo 1'de panellerin teknik özellikleri verilmiştir.



Figure 1. Photovoltaic System Installation

Şekil 1. Fotovoltaik Sistem Kurulumu

Tablo 1. Fotovoltaik Panel Özellikleri

Table 1. Photovoltaic Panel Features

Parametre	Standart Sapma
Maximum Güç (Pmax)	260W
Güç Toleransı	0 ~ +3%
Maximum Gerilim (Vmp)	31.1V
Maksimum Akım (Imp)	8.37A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	38.1V
Kısa Devre Akımı (Isc)	8.98A
Nominal Çalışma Panel Sıcaklığı (NOCT)	45± 2°C
Maximum Sistem Voltajı	1000VDC
Maximum Sigorta Değeri	15A
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ~ +85°C
Uygulama Sınıfı	A
Ağırlık	18.5(kg)
Boyut	1650x992x40(mm)
Panel Tipi	Jinko JKM260P-60

Deney düzeneğinde kullanılan panelden elde edilen elektrik enerjisi değerleri düzenli olarak veri kaydedici ile hafıza kartına aktarılmaktadır. Güneş paneli güç çıkışındaki akım ve gerilim değerleri sabah saat 07:00 den başlayarak

akşam saat 19:00 kadar her 10 dakikada bir eş zamanlı olarak dört meteorolojik değer; ışınım, ortam hava sıcaklığı, bağıl nem, hava basıncı, 30 gün boyunca kaydedilmiştir. Aynı deney şartlarında veri alma ve hafıza kartına kaydetme işlemi sonraki 30 gün de devam edilmiştir. Veri setindeki veri miktarı 5060 adettir. Giriş verilerinin çıkış sınıfına göre dengeli dağılımı ve grafikleri Şekil 2’de görülmektedir. Tahminlenmek istenen panelin enerji değerleri dağılımı 1418, 915, 1313 ve 1394 olarak bulunmuştur. Şekil 2’de ki grafikler incelendiğinde panel çıkış gücünü etkileyen en önemli faktörün güneş ışınımı olduğu tespit edilmiştir. Ortam hava sıcaklığı, nem ve basınç değerlerinin panel çıkış gücüne etkisinin güneş ışınımı kadar etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

Veri setine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 2’de gösterilmektedir.

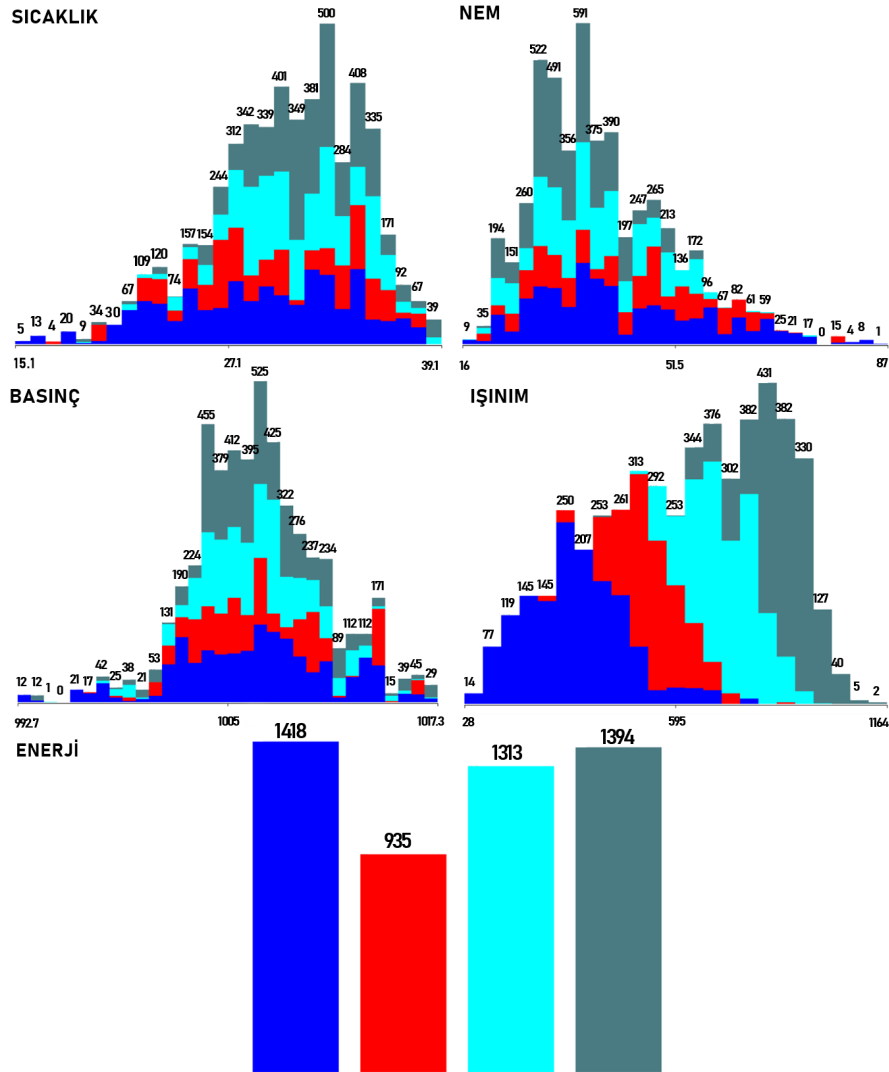


Figure 2. Distribution of the entire data set by output energy
Şekil 2. Tüm veri setinin çıkış enerjisine göre dağılımları

Verilerin sınıflandırmaya olan etkisini değerlendirmek için kazanç oranları hesaplanmıştır. Bu değerlendirme sonucunda verilerin aldığı puan değerleri Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3’e göre başarılı sınıflandırmada en etkili değişken ışınım ardından hava basıncı, ortalama hava sıcaklığı ve sonuncu olarak nem olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. Veri kümesi ile ilgili istatistiksel bilgiler
Table 2. Statistical information about the dataset

Parametre	Ortalama	Standart Sapma
Sıcaklık (°C)	30.345	4.168
Nem (%)	39.34	11.599
Basınç (mBar)	1006.837	3.814
Işınım (W/m ²)	618.167	240.18

Tablo 3. Değişkenlerin sınıflandırmaya etkisi
Table 3. Effect of variables on classification

Parametre	Derecesi
Sıcaklık (°C)	0.0816
Nem (%)	0.0635
Basınç (mBar)	0.1058
Işınım (W/m ²)	0.2915

2.2. Yapay Sinir Ağı Algoritması

Panelden üretilen enerjiyi tahmin etmek için ilk olarak yapay sinir ağı (YSA) yöntemi kullanılmıştır (Elmas, 2011). Gizli katman için farklı sayıda katman ve nörondan oluşan modeller denenmiş en başarılı tahminlemeyi yapan model seçilerek kullanılmıştır. Seçilen YSA'nın mimari yapısı lineer (purelin) transfer fonksiyonu kullanan 4 giriş katmanı, Eşitlik (1)'de belirtilen sigmoid transfer fonksiyonunu kullanan 10 nöronlu birinci gizli katman, sigmoid transfer fonksiyonunu kullanan 5 nöronlu ikinci gizli katman ve sigmoid transfer fonksiyonunu kullanan 4 nöronlu bir çıktı katmandan oluşan ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı (FFBPANN) modelidir.

$$y_i = \frac{1}{1+e^{-a_i}} \quad (\text{Eş.1})$$

YSA'da nöronunda üretilen dahili aktivitenin matematiksel ifadesi Eşitlik (2)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$a_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{ij} - W_{i0} \quad (\text{Eş.2})$$

Her nöronun ayarlanabilir bir ağırlık faktörü vardır. a_i , üretilen dahili aktivite seviyesini temsil eder, W_{ij} , iki nöron arası bağlantı girişinin ağırlığını temsil eder, X_{ij} , nörona gelen veri sinyali değerini temsil eder, W_{i0} , birim i ile ilişkili eşiği temsil eder. İç aktivite, Eşitlik (1)'deki nöron y_i 'nin çıktısını elde etmek için doğrusal olmayan bir fonksiyondan (çalışmada sigmoid kullanılmıştır) geçirilir. Ağın performans ve başarımını arttırmak için çıkış nöron sayısı ayrıştırma (discretization) tekniği kullanılarak normalleştirilmiştir. Buna göre 1. çıkış 0 Wh ile 10 Wh arası güç değerini, 2 çıkış 10 Wh ile 20Wh, 3. çıkış 20 Wh ile 30Wh ve son çıkış ise 30 Wh ile 40Wh değerlerini ifade etmektedir. Modelin grafiksel hali Şekil 3'de gösterilmektedir. YSA modelinde kullanılan eğitim algoritması deltadır. Eğitim aşamasında farklı parametreler kullanılmış fakat en iyi sonucu veren iterasyon değeri 1000, öğrenme katsayısı değeri 0.5 ve momentum değeri 0.3 olarak tespit edilmiştir. Doğruluğu en başarılı olan modelin eğitimi 29.52 s sürmüştür. Modelin testi aşamasında onlu çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.

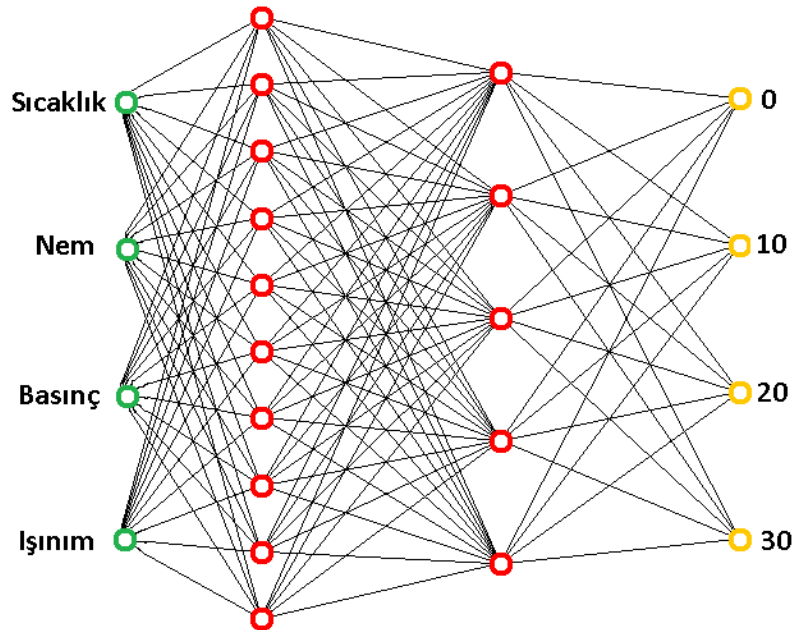


Figure 3. Graphical representation of the artificial neural network model
Şekil 3. Yapay sinir ağı modelinin grafiksel gösterimi

2.3. K- En Yakın Komşuluk Algoritması

Panelden üretilen enerjiyi tahmin etmek için kullanılan diğer bir yöntem ise KNN yöntemidir. KNN algoritması makine öğrenim yöntemleri içerisinde sıklıkla kullanılan popüler bir algoritmadır. Sınıflandırılmak istenen bir özelliğin kendisine en yakın diğer özelliklerle arasındaki Öklid mesafesi kullanarak hangi kategoride olduğu tespit edilir. Parametre olarak K değeri kullanılmaktadır. Bu değer pozitif tamsayı olarak ifade edilmektedir. Veriler arasındaki mesafelerin belirlenmesinde Eşitlik (3)'teki matematiksel ifade kullanılmaktadır (Kılınç ve ark., 2016).

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (\text{Eş.3})$$

Çalışmada farklı K değerleri kullanılarak (1,2,4,9) eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunlar arasında K=2 değeri en yüksek sınıflandırma başarısını sağlamıştır. Doğruluğu en başarılı olan modelin eğitimi 5.34 s sürmüştür. Modelin testi aşamasında bu algoritma için de onlu çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çevresel değişkenler (Sıcaklık, Nem, Basınç, Işınım) panelden üretilen enerjiyi tahmin etmek için yapay zekâ yöntemlerinde girdi parametresi olarak kullanılmıştır. İstatistik yöntemler kullanılarak YSA modelinden elde edilen sonuçlar çevresel verilerle karşılaştırılmıştır. Doğruluk, Kappa değeri, Ortalama mutlak hata, Kök ortalama kare hatası, Bağıl mutlak hata, Kök göreceli kare hatası istatistiksel değerleri sırasıyla %98,7945, 0,9838, 0,0061, 0,0776, %1,6418 ve %17,9977 olarak bulunmuştur. Tüm sınıflar için ROC (Reciever Operator Characteristics curve) değeri 0,99dur. Sınıflandırmanın karışıklık matrisi (confusion matrix) değerleri *Tablo 4*'te verilmiştir. Karışıklık matrisinde de görüldüğü gibi öğrenme işlemi başarılıdır. Ölçülen 0-10W arasındaki 1418 eğitim verisinden 1412 sini doğru, 5 tanesini 10-20W arasında yanlış ve 1 tanesini 20-30W arasında yanlış olarak tahmin etmiştir. Diğer güç değerlerinin tahminleme sonuçları da *Tablo 4*'te görüldüğü gibi yüksek doğruluktadır.

Tablo 4. Test sonucunun karışıklık matrisi (YSA)
Table 4. Confusion matrix of test result (ANN)

Sınıflandırılan	0-10W	10-20W	20-30W	30-40W
0-10W	1412	5	1	0
10-20W	13	915	7	0
20-30W	4	7	1292	10
30-40W	0	2	12	1380

Modelin testi aşamasında onlu çapraz doğrulama yöntemi kullanıldığı için toplam 5060 adet veri 10 eşit parçaya bölünerek tüm veriler hem test hem de eğitim için kullanılmıştır. *Şekil 4*'te YSA için gerçekleştirilen eğitimin sadece birinci kısmında yapılan test tahminleri görülmektedir. Kullanılan 506 adet verinin 12 adeti hatalı iken büyük çoğunluğu olan 494 adeti doğru olarak tahminlenmiştir. Veri setinin diğer kısımlarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tüm veri setinin sonuçları karışıklık matrisinde verilmiştir.

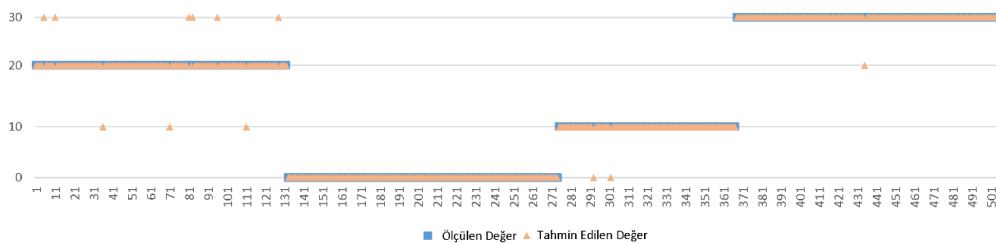


Figure 4. ANN Model Forecast

Şekil 4. YSA Model Tahmini

KNN yönteminde de benzer istatistik yöntemleri kullanılarak eğitim sonucu değerlendirilmiştir. Doğruluk, Kappa değeri, Ortalama mutlak hata, Kök ortalama kare hatası, Bağıl mutlak hata, Kök göreceli kare hatası istatistiksel değerleri sırasıyla %97.3123, 0.9639, 0.0121, 0.1027, %3.2561 ve %23.8201 olarak bulunmuştur. Tüm sınıflar için ortalama ROC (Reciever Operator Characteristics curve) değeri 0.986 dır. Sınıflandırmanın karışıklık

matrisi (confusion matrix) değerleri *Tablo 5*'te verilmiştir. Ölçülen 0-10W arasındaki 1418 eğitim verisinden 1400 adeti doğru tahminlenmiştir. Geriye kalan 16 adeti 10-20W arasında ve 2 tanesini 20-30W arasında yanlış olarak tahmin edilmiştir. Diğer güç değerlerinin tahminleme sonuçları da *Tablo 5*'te görüldüğü gibidir.

Tablo 5. Test sonucunun karışıklık matrisi (KNN)
Table 5. Confusion matrix of test result (KNN)

Sınıflandırılan	0-10W	10-20W	20-30W	30-40W
0-10W	1400	16	2	0
10-20W	20	897	18	0
20-30W	8	12	1262	31
30-40W	0	2	27	1365

Şekil 5' te KNN için gerçekleştirilen eğitimin sadece birinci kısmında yapılan test tahminleri görülmektedir. Kullanılan 506 adet verinin 18 adet i hatalı iken büyük çoğunlu olan 488 adeti doğru olarak tahminlenmiştir. Veri setinin diğer kısımlarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tüm veri setinin ölçülen ve tahminlenen sonuçları karışıklık matrisinde verilmiştir.

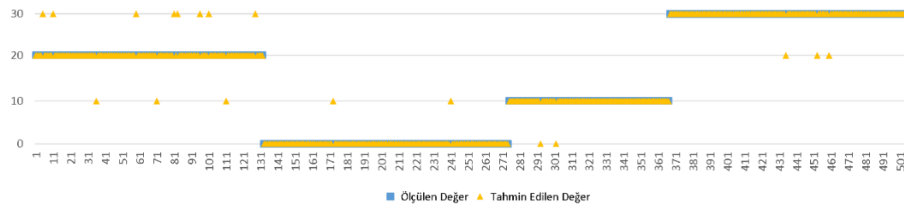


Figure 5. KNN Model Forecast.

Şekil 5. KNN Model Tahmini

Ülkemizde yapılan bir çalışmada, çevresel faktörler açısından birbirinden farklı üç bölgede (Adıyaman-Malatya-Urfa) kurulum yapılarak ölçüm istasyonları ile çevresel faktörlere bağlı olarak (güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgâr, nem, PV panel sıcaklığı) YSA modeli oluşturulmuştur. Fotovoltaik panel çıkış güçleri kaydedilen veri seti üzerine farklı YSA algoritmaları kullanılarak güç tahmini için modellenmesi yapılmıştır. Yapılan bu modellemede eğitilen %99.93 oranında tahmin kabiliyeti sağlanmıştır (İçel, 2019).

Diğer bir çalışmada, PV modüllerinin çıkış gücünü etkileyen güneş ışınımı ve sıcaklık değişimine göre performans tahmini için bir ağ modeli önerilmiştir. Elde edilen veriler analiz edildiğinde, farklı çalışma koşulları altında, PV güç çıktısı tahmin modeli olarak, geleneksel tek YSA yöntemine göre (SANN) yöntemi ile daha doğru sonuçlar elde edilmiştir (Wang ve ark., 2020).

Farklı bir çalışmada, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi yerleşkesinde kurulan bir deney düzeneğindeki güneş paneli eğim açıları (0°, 30°, 60°) konumlandırılarak alınan verileri tahmin etmede korelasyon analizi ve aşamalı regresyon analizi yöntemleri uygulanmıştır. Güneş enerji sisteminden elde edilen güç üretimini tahmin etmek için Zaman Serisi Analizi (TSA) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Elde edilen veriler ve tahmin sonuçları analiz edildiğinde; zaman serisi analizi (TSA) modelinin daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Altan ve ark., 2021).

Fotovoltaik çıkış gücünü tahmin etmek için tasarlanan ANN ve ANFIS tabanlı tahmin modeli ile uygulanan çalışma da istasyon verileri ile eğitilen modeller karşılaştırıldığında YSA tabanlı tahminin, ANFIS yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Kumara ve Kalavathi, 2016).

Yaptığımız bu çalışmada ve literatürdeki pek çok araştırmada, fotovoltaik sistemlerin güç çıkışı tahmini için farklı yapay zekâ modelleri kullanılabilir. Önerilen yapay zekâ tahmin modelleri ile gerçek saha şartlarından elde edilen veriler arasında çok yakın bir benzerlik görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerleşkesinde kurulumu yapılan fotovoltaik panellerin ürettiği enerjiyi tahmin etmek için çevresel faktörlere (Sıcaklık, nem, basınç, ışınım) bağlı olarak farklı

iki yapay zeka modelleri (YSA ve KNN) geliştirilmiştir. Aynı veri seti kullanılarak geliştirilen bu modeller eğitilerek tahminleme başarıları karşılaştırılmıştır. Yapılan modellemelerde her iki yöntemde yüksek bir sınıflandırma başarısı sağlanmıştır. Ancak YSA yönteminin tahminleme başarısı (%98.7945) KNN'e (%97.3123) göre daha yüksektir. YSA modeli için tek gizli katman kullanıldığında başarı iki katmana göre daha düşük seviyededir. İki gizli katmandaki nöron sayıları sırasıyla başlangıçta 5-5 ikinci eğitimde 10-5 üçüncüde 10-10 ve son olarak 15-5 şeklinde eğitilmiş ve en başarılı eğitim 10-5 olan modelde elde edilmiştir.

Fotovoltaik panellerin güç üretimine etki eden en büyük faktör güneş ışınımıdır. Yapılan modelleme sonuçları incelendiğinde de ışınımın panel güç çıkışını önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir.

Çalışmanın önemli bir katkısı ise çevresel veriler kullanılarak fotovoltaik panellerin güç tahmininde YSA ve KNN modellerinin birbirine çok yakın sonuçlar vermesidir. Böylece farklı uygulamalarda veya fizibilite çalışmalarında her iki tahminleme modelinin de kullanılabilceği yapılan testlerle doğrulanmıştır.

Bir güneş enerji sistemin güç üretimi, öncelikle panel özellikleri, doğru projelendirme, kurulum, işletme ve iklim şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Güneş enerjisi dönüşüm santrallerinin doğru sahalarda yapılması, kurulum ve enerji maliyetlerini direkt etkilemektedir. Bu sebeple güç tahmininde kullandığımız YSA ve KNN modelleri gerçek değerlere yakın sonuçlar vermiştir. Gelecekte fotovoltaik panel kurulumları öncesinde saha iklim verileri kullanılarak önerilen modeller ile fizibilite çalışmaları ve sistem verimlilik analizlerinin yapılabileceği anlaşılmıştır.

Kaynakça

- Akarşlan, E., Hocaoğlu, F. O. (2018). Bir Fotovoltaik Güç Sisteminin Üretim Çıkışlarının Çok Boyutlu Tahmin Filtreleri ile Modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 516-522.
- Altan, A., D., Diken, B., Kayışoğlu, B. (2021). Zaman Serileri ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıkışlarının Tahmini. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 18(3), 457-469.
- Coşkun, C., Koçyiğit, N., Oktay, Z. (2016). Estimation of PV Module Surface Temperature Using Artificial Neural Networks. Mugla Journal of Science and Technology, 2(2), 15-18. doi:10.22531/muglajsci.283611
- Dandil, E., Gürgen, E. (2019). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıkışlarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar ile Karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16, 146-158.
- Delice, H., Yashoğlu, E. (2021). The Effect of Building Orientation on Utilization of Solar Energy in Dairy Cattle Barns. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 18(3), 419-427.
- Deniz, E., Kemal, A. (2007). Güneş Işınım Şiddeti Tahminlerinde Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Analiz Yöntemleri Kullanımının İncelenmesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 27(2), 15-20.
- Elmas, Ç. (2011). Yapay Zeka Uygulamaları. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- İçel, Y. (2019). *Güneş Enerji Sistemlerinin Performans Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi ve Verimliliğin İncelenmesi*. (Doktora Tezi), İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Katipoğlu, O. M., Acar, R. (2021). Estimation of missing temperature data by Artificial Neural Network (ANN) Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 12(2), 431-438. doi:10.24012/dumf.852821
- Kılıç, H., Gümüş, B., Yılmaz, M. (2016). Güneydoğu Anadolu bölgesi için global güneş ışınımının ve güneşlenme süresinin istatistiksel metodlar ile tahmin edilmesi ve karşılaştırılması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(1), 73-83.
- Kılınç, D., Borandağ, E., Yücel, F., Tunali, V., Şimşek, M., Özçift, A. (2016). KNN Algoritması ve R Dili ile Metin Madenciliği Kullanılarak Bilimsel Makale Tasnifi Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 28(3), 89-94. doi:10.7240/mufbed.69674
- Kumara, R. K., Kalavathi, S.M., (2016). Artificial intelligence based forecast models for predicting solar power generation. Materials Today: Proceedings 5 .796–802
- Leva, S., Dolara, A., Grimaccia, F., Mussetta, M., Ogliari, E. (2017). Analysis and validation of 24 hours ahead neural network forecasting of photovoltaic output power. Mathematics and Computers in Simulation, 131, 88-100. doi:10.1016/j.matcom.2015.05.010
- Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D., Beyer, H. G. (2009). Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems. Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2(1), 2-10. doi:10.1109/Jstars.2009.2020300
- Rodriguez, F., Martin, F., Fontan, L., Galarza, A. (2021). Ensemble of machine learning and spatiotemporal parameters to forecast very short-term solar irradiation to compute photovoltaic generators' output power. Energy, 229. doi:10.1016/j.energy.2021.120647
- Saberian, A., Hizam, H., Radzi, M. A. M., Ab Kadir, M. Z. A., Mirzaei, M. (2014). Modelling and Prediction of Photovoltaic Power Output Using Artificial Neural Networks. International Journal of Photoenergy, 2014. doi:10.1155/2014/469701
- Sağaltıcı, D., Alay, F., D., Efil, C., İlhan, N. (2018). Veri Madenciliği Yöntemleri İle Meteorolojik Verilerden Kayıp Güneş Işınım Değerlerinin Tahmini. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2, 49-53.
- Sohani, A., Shahverdian, M. H., Sayyaadi, H., Garcia, D. A. (2020). Impact of absolute and relative humidity on the performance of mono and poly crystalline silicon photovoltaics; applying artificial neural network. Journal of Cleaner Production, 276. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123016
- Şahan, M., Okur, Y. (2021). Akdeniz Bölgesine Ait Meteorolojik Veriler Kullanılarak Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Güneş Enerjisinin Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 11(1), 61-71.
- Wang, S., Zhang, Y., Zhang, C., Yang, M. (2020). Improved artificial neural network method for predicting photovoltaic output performance. Global Energy Interconnection, 3(6), 553-561. doi:10.14171/j.2096-5117.gei.2020.06.005
- Zhu, H. L., Li, X., Sun, Q., Nie, L., Yao, J. X., Zhao, G. (2016). A Power Prediction Method for Photovoltaic Power Plant Based on Wavelet Decomposition and Artificial Neural Networks. Energies, 9(1). doi:10.3390/en9010011
- Ziane, A., Necaibia, A., Sahouane, N., Dabou, R., Mostefaoui, M., Bouraiou, A., Khelifi, S., Rouabhia, A., Blal, M. (2021). Photovoltaic output power performance assessment and forecasting: Impact of meteorological variables. Solar Energy, 220, 745-757. doi:10.1016/j.solener.2021.04.004