



Yapay Sinir Ağı (YSA) Kullanılarak Meteorolojik Verilere Dayalı Solar Radyasyon Tahmini

Estimation of Solar Radiation Based on Meteorological Data Using Artificial Neural Network (ANN)

Mustafa Şeker ^{1*} 

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Hafik Kamer Örnek Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Raylı Sistemler İşletmeciliği Programı, Sivas, Türkiye.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: mustafaseker@cumhuriyet.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 18.10.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 10.02.2021

Atıf şekli/How to cite: ŞEKER M.(2021). Yapay Sinir Ağı (YSA) Kullanılarak Meteorolojik Verilere Dayalı Solar Radyasyon Tahmini. DEÜFMD 23(69), 923-935.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236920

Öz

Fotovoltaik(PV) sistemlerin üretim potansiyelini belirleyen en önemli faktör maruz kaldıkları solar radyasyon miktarıdır. Atmosferde meydana gelen meteorolojik olaylar PV sistemin maruz kalacağı solar radyasyon üzerinde önemli bir etki oluşturmaktadır. Bu çalışmada; meteorolojik ölçümlere bağlı olarak solar radyasyon miktarının belirlenmesi için Yapay Sinir Ağı (YSA) uygulamasına dayalı tahmin metodolojisi sunulmuştur. Analizde, IEEE PES tarafından açık erişim olarak sunulan ve Porto Yüksek Mühendislik Enstitüsü (ISEP)/Porto Politeknik Enstitüsü' ne ait hava istasyonundan 1 Ocak 2015-30 Mayıs 2015 tarihleri aralığında ölçülen meteorolojik veriler kullanılmıştır. YSA yapısı ileri beslemeli YSA topolojisi kullanılarak Matlab ortamında modellenmiştir. Sunulan yaklaşım ile elde edilen solar radyasyon tahmin değerleri, gerçek ölçüm sonuçları karşılaştırılmış ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca analiz değerleri, teorik olarak hesaplanan global solar radyasyon modeli ile kıyaslanarak yorumlanmıştır. Sonuçlar Solar radyasyon miktarının belirlenmesinde meteorolojik verilere dayalı olarak gerçekleştirilen YSA tahminin güneşli ve açık hava koşullarında %99, yağışlı ve bulutlu hava koşullarında ise %96 doğrulukla kullanılabileceğini göstermektedir. Sunulan yaklaşım, mevcut ve kurulması planlanan PV tesislerin üretim potansiyelinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Solar Radyasyon, Yapay Sinir Ağı (YSA), Meteorolojik Ölçüm, Günlük Solar Radyasyon

Abstract

The most important factor determining the production potential of photovoltaic (PV) systems is the amount of solar radiation they are exposed to. Meteorological events occurring in the atmosphere have a significant effect on the solar radiation that the PV system will be exposed to. In this study, Estimation methodology based on Artificial Neural Network (ANN) application for determining the amount of solar radiation depending on meteorological measurements has been presented. Meteorological dataset served as an open access by IEEE PES and measured between 1 January 2015 and 30 May 2015 from the weather station of the Porto Higher Engineering Institute (ISEP) / Porto Polytechnic Institute have been used for analysis. ANN structure is modeled as the feed forward ANN topology using Matlab. Actual measurement and solar irradiance estimation values obtained with the presented approach have been compared and evaluated as statistically. In addition,

analysis values have been reviewed and compared with the global solar radiation calculated as the theoretica. Results show that ANN estimation based on meteorological data can be used with 99% accuracy in sunny and clear weather conditions and 96% in rainy and cloudy weather conditions in determining the amount of solar radiation. The presented approach can be used to determine the generation potential of existing and planned PV plants.

Keywords: Solar Radiation, Artificial Neural Network (ANN), Meteorological Measurement, Daily Solar Radiation

1. Giriş

Solar radyasyon, güneşin birim alan başına yaydığı ve elektromanyetik radyasyon şeklinde iletilen güç olarak tanımlanır[1]. Enerji sektörü açısından bakıldığında ise solar radyasyon miktarı; meteorolojik araştırmalar, binalarda kullanılan doğal aydınlatma sistemleri ve güneşten elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik sistemler gibi güneş enerjisine bağımlı olan projelerin boyutlandırılması ve performanslarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir.

Uydular ile gerçekleştirilen ölçümlerden dünya dışından gelen solar radyasyon miktarının mutlak değerinin 1361 W/m^2 olduğu ve solar radyasyon değerinin klasik radyometrelerde gözlemlenen 1365 W/m^2 değerinden önemli ölçüde düşük olması gerektiği gözlemlenmiştir [2]. Fakat gezegen dışından gelen solar radyasyon atmosfer ile etkileşime girdiğinde zayıflar ve sabit olmaktan çıkar. Bu zayıflama atmosferdeki koruyucu madde ile etkileşime giren fotonların saçılması veya soğrulmasından kaynaklanmaktadır.

Dünyadaki enerji ihtiyacı her geçen gün artış göstermektedir [3]. Bu nedenle ülkeler fosil yakıtların tükenmesine karşı önlem almak ve daha sürdürülebilir bir dünya hedefi ile elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde Fotovoltaik (PV) sistemler güneş gibi sonsuz bir enerji kaynağına sahip olması nedeniyle önemli bir avantaja sahiptir [4-7]. Fakat PV hücrelerin üreteceği elektrik miktarını maruz kaldıkları solar radyasyon seviyesi belirlemektedir.

Teknolojideki ilerlemelere rağmen PV hücrelerin verimliliği %11-28 civarındadır [8]. Bu düşük verim dikkate alındığında, PV hücrelerden maksimum verim elde edilebilmek için yüksek solar radyasyon seviyesine sahip uygun lokasyonda çalıştırılması gereklidir.

Solar radyasyon miktarı piranometre, pyheliometre ve solar metre gibi ölçüm cihazları yardımı ile ölçülebilmektedir. Bu cihazların maliyetlerinin yüksek olması nedeni ile dünya üzerindeki tüm noktalarda solar radyasyonun deneysel olarak ölçülmesi olanaksızdır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için meteorolojik değişkenler ve solar radyasyon arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak tanımlayan modeller ileri sürülmüştür [9-20]. Sunulan bu yaklaşımlar, dünyanın güneş çevresindeki hareketine bağlı olarak astronomi ve geometri prensiplerini temel alarak tasarlanmıştır.

Günümüzde kurulması planlanan PV tesislerin ekonomik analizlerinin değerlendirilmesinde solar radyasyonu tanımlayan bu matematiksel yaklaşımlar ve çevresel faktörler dikkate alınarak güvenilir bir tahmin metodolojisine ihtiyaç duyulmaktadır [21]. Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniği yüksek işlem hızına sahip olması, uygulanabilirliğinin basit ve düşük maliyet içermesi nedeniyle tahmin uygulamalarında oldukça popülerdir[22] ve YSA uygulamaları PV sistemlerde farklı birçok parametrenin tahmininde kullanılmıştır.

Bora ve arkadaşları, PV modüllerin çıkış gücünü tahmin etmede YSA metodolojisinin kullanılabilirliğini göstermiştir[23]. Ceylan ise gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, Fotovoltaik panellerde modül sıcaklığının YSA ile tahmin edilebileceğini ileri sürmüştür [24]. Solar radyasyonun tahmininde YSA uygulamalarını temel alan çeşitli metotlar birçok araştırmacı tarafından inceleme konusu olmuştur [25-37]. [25-27]'de global solar radyasyonun (GSR) YSA kullanılarak tahmin edilebileceği incelenerek tartışılmıştır. [28]'de ise günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı ile yağış ölçümleri mevcut olduğunda YSA'nın günlük solar radyasyonu tahmin etmede kullanılabilirliği gösterilmiştir. [30]'de Suudi Arabistan'da lokasyonu bilinen 41 radyasyon toplama istasyonunun verileri kullanılarak bilinmeyen

konumların solar radyasyonun YSA ile belirlenebileceği belirlenmiştir. [29,36-37]' de ise YSA uygulamaları, farklı enlem ve iklimlere sahip bölgeler için güneş radyasyonu modelleme çalışmasında kullanılmıştır.

Bu çalışmada solar radyasyon miktarının belirlenmesi için meteorolojik verilere dayalı YSA tabanlı tahmin metodolojisi sunulmuştur. Analizde, IEEE PES tarafından açık erişim olarak sunulan ve Porto Yüksek Mühendislik Enstitüsü (ISEP)/Porto Politeknik Enstitüsü' ne ait hava istasyonundan 1 Ocak 2015-30 Mayıs 2015 tarih aralığında ölçülen meteorolojik veriler kullanılmıştır [36]. Analizde YSA modeli olarak İleri beslemeli YSA kullanılmıştır. Tahmin sonucunda elde edilen solar radyasyon değerleri, gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca tahmin sonuçları, ölçülen gerçek solar radyasyon değerleri ve dünyanın dönüş hareketine bağlı olarak hesaplanan global solar radyasyon modeli ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Solar radyasyonun belirlenmesinde kullanılan; Solar radyasyon modeli ve meteorolojik verilere bağlı olarak solar radyasyonun tahmininde kullanılan Yapay Sinir Ağı yapısı bu bölümde açıklanmıştır.

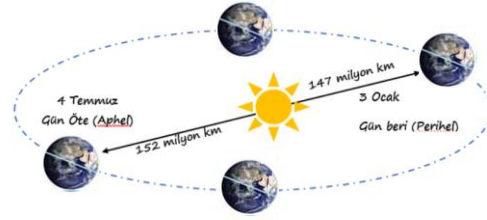
2.1. Solar Radyasyonun Teorik Olarak Modellenmesi

Dünya Şekil 1' de gösterildiği gibi eliptik bir yörüngede güneş etrafında döner. Bu dönüş süresinde, dünyanın güneşe olan uzaklığı artar ve azalır. Güneşin dünyaya olan ortalama uzaklığı ise 149.598.106 km olarak kabul edilir. Dünya, bir tam dönüşünü 8766 saatte tamamlar ve bu süre yaklaşık olarak 365,242 güne tekabül etmektedir. Bu dönüş hareketi; mevsimlerin oluşmasına, mevsimsel sıcaklık farklılıklarına, gece ve gündüz gün sürelerinin değişmesine ve güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açılarının değişmesine neden olur. Dünya üzerinde belirli bir noktada olduğumuz düşünüldüğünde güneşin pozisyonunu temel olarak iki açı ile tanımlanabilir. Bu açıların ilki yükseklik açısı (α) ve diğeri ise azimut açısı (δ_s)'dir. Yükseklik açısı yatay olarak ölçülebilen güneş pozisyonunun yüksekliğidir ve (1) denklemi ile ifade edilir.

$$\sin \alpha = \sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos \omega \quad (1)$$

(1) ifadesinde, L- lokasyonun enlemi, δ - sapma açısı ve ω ise saat açısını ifade etmektedir. Sapma açısı ise dünyayı güneş etrafındaki dönüş hareketli sırasında dünya ile güneş arasında oluşan açıdır.

Sapma açısı gün değimine göre (2) denklemi ile hesaplanır. Saat açısı (ω) ise güneşin yer değiştirme açısıdır ve (3) denklemi ile ifade edilir [39].



Şekil 1. Şekilde sunulan bilginin açıklaması

$$\delta_s = 23.45^\circ \cdot \sin \left[\frac{2\pi(N-1)}{365} \right] \quad (2)$$

$$\omega = 15^\circ (GGZ - 12h) \quad (3)$$

Bu ifadelerde; N- sapma açısının hesaplanması istenilen gün değeri, GGZ gün içerisindeki görünür güneş zamanıdır. Görünür güneş zamanı, lokal meridyen zamanı (LMZ), lokal standart meridyen zamanı (LSMZ), boylam (LOG) ve EoT zaman denklemine bağlı olarak (4) eşitliği ile hesaplanır.

$$AST = LMZ - EoT \mp \frac{4^\circ}{LSMZ - Boylam} \quad (4)$$

Bu ifadede, EoT (5) eşitliği ile tanımlanır.

$$EoT = 9.87 \sin \left(\frac{4\pi}{365} \right) (N - 81) - 7.53 \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{365} \right) (N - 81) - 1.5 \left(\frac{2\pi}{365} \right) (N - 81) \quad (5)$$

Azimut açısı ise (6) denklemi ile ifade edilir.

$$\sin \theta = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \quad (6)$$

Global solar radyasyon atmosferin alt tarafında tanımlanan radyasyon olarak ifade edilir. Global solar radyasyon, direk (beam) ve yayılma (diffuse) solar radyasyonu olmak üzere iki temel bileşen içermektedir. Direk solar radyasyon (G_B) güneşten direk olarak gelen

ışınlardır. Yayılma solar radyasyonu (G_D) ise bulutlanma ve gökyüzünde oluşan atmosferik olaylara bağlı olarak dağılık olarak gelen radyasyondur.

Direk solar radyasyonun matematiksel ifadesi (7) denklemi ile tanımlanır. Bu ifadede belirtilen A ve K katsayıları ise sırası ile (8) ve (9) denklemleri ile ifade edilir. Yayılma solar radyasyon miktarını hesaplamada farklı matematiksel ifadeler geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise yayılma solar radyasyonunun hesaplanmasında (10) ifadesi kullanılmıştır. [40].

$$G_{B,norm} = Ae^{\frac{-K}{\sin\alpha}} \quad (7)$$

$$A = 1160 + 75\sin\left[\frac{360}{365}(N - 275)\right] \quad (8)$$

$$K = 0.174 + 0.035\sin\left[\frac{360}{365}(-100)\right] \quad (9)$$

$$G_D = 0.095 + 0.04\sin\left[\frac{360}{365}(N - 100)\right] G_{B,norm} \quad (10)$$

Global solar radyasyon miktarı, direkt solar radyasyon (G_B) ve yayılma solar radyasyonu (G_D)'nin toplamı olarak (11) ifadesi ile tanımlanır.

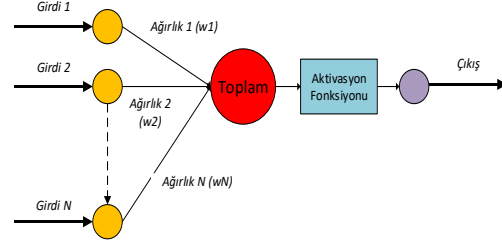
$$G_T = G_B + G_D \quad (11)$$

2.2. Meteorolojik Verilere Dayalı Solar Radyasyon Tahmini için YSA Modeli

Yapay Sinir Ağı (YSA) insan beyninin çalışma mantığından esinlenerek karmaşık problemleri çözmek amacıyla geliştirilmiştir. YSA'nın temel çalışma yapısı beyindeki sinir hücrelerinin çalışma yapısını taklit etme prensibine dayanır. Bu taklit edilen yapının bilgisayar sistemlerine uygulanabilirliği sonucunda veri işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. YSA kendisine verilen örnekleri kullanarak öğrenme işlemi gerçekleştirir [41-42]. Bir yapay sinir ağının temel blok yapısı Şekil 2' de gösterilmiştir.

YSA'yı oluşturan yapay sinir hücrelerinin (nöronların) genel yapısı; girdiler (x_i), ağırlıklar (w_i), toplam (birleştirme) fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıkış (tahmin parametresi) olmak üzere beş ana bileşenden oluşur. Her bir girdi kendi ağırlık

fonksiyonu ile çarpılarak toplanır. Elde edilen toplam sonucu oluşturmak için aktivasyon



Şekil 2. Yapay Sinir Ağı oluşturulan temel blok yapısı.

fonksiyonu ile işleme tabi tutulur ve çıkış değeri alınır. Bir YSA hücresinin öğrenme yeteneği, seçilen öğrenme algoritması içerisindeki ağırlıkların uygun olarak ayarlanmasına bağlıdır. Ayrıca YSA modelinde toplam ifadesinin elde edilmesinde kullanılan gizli katmanlar (hidden layers) uygun sayıda seçilmelidir [43]. Gizli katman sayısının az veya gereğinden fazla olması da çıkış parametresinin tahminini etkileyecektir.

Nöronlar için transfer fonksiyonu denklem 12'deki gibi lojistik sigmoid fonksiyon ($f(z_i)$) olarak ifade edilebilir. (13) ifadesinde; z_i girişlerin toplam ağırlığını ifade etmektedir. x_j ifadesi j. nöronun direkt olarak gelen sinyaldir. w_{ij} j. nöronun i. nörona direkt olarak bağlanan ağırlıkları tanımlamaktadır.

$$f(z_i) = \frac{1}{1+e^{-z_i}} \quad (12)$$

$$z_i = \sum_{j=1}^n w_{i,j}x_j + \beta_i \quad (13)$$

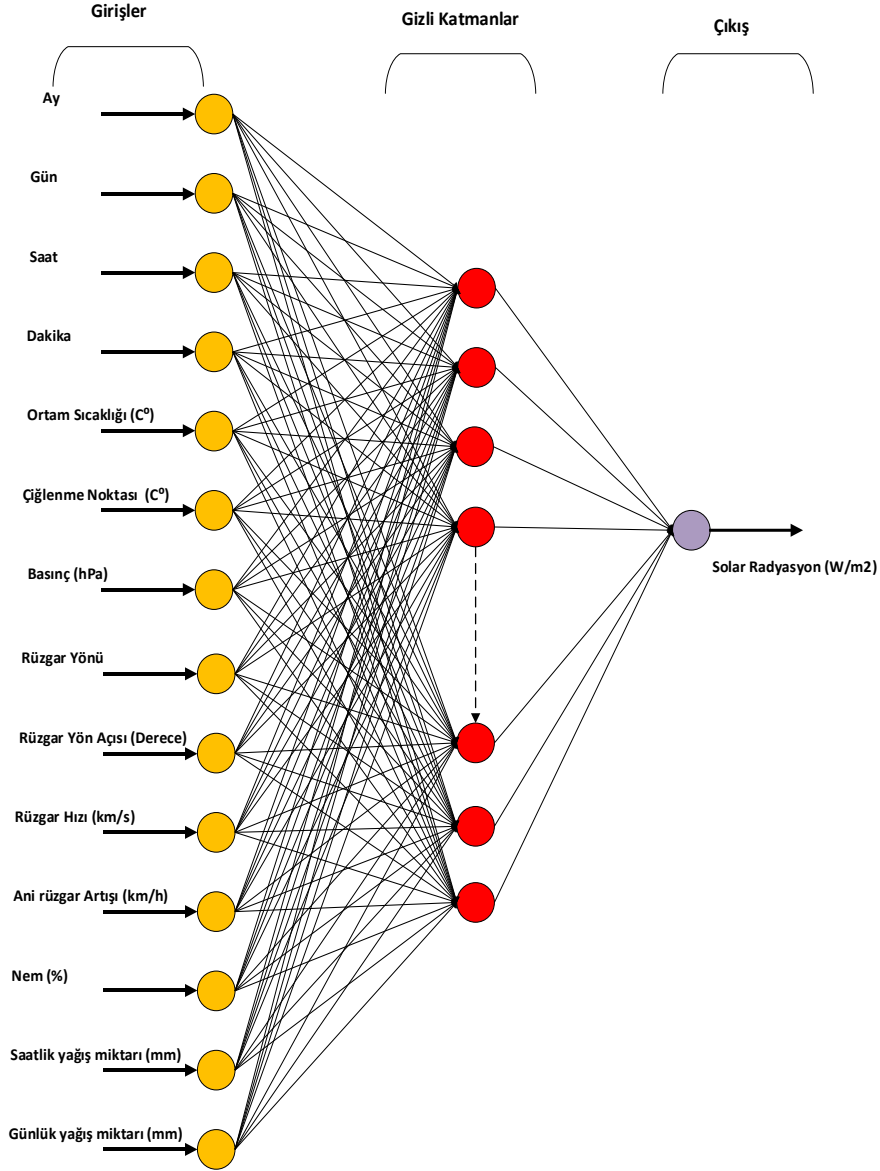
Bu çalışmada sunulan YSA analizleri Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Solar radyasyon miktarının modellenmesi için kullanılan YSA modeli, ileri Yönlü çok katmanlı algılayıcı (İYÇKA) "(feed forward multilayer perception - FFMLP)" ağ yapısı kullanılarak tasarlanmıştır.

Literatürde sunulan çalışmalar incelendiğinde tek gizli katmana sahip (ara katman) YSA modellerinin optimizasyon süresini kısalttığı ve analizde daha iyi sonuçlar sağladığı belirlenmiştir [44-49]. Bu nedenle, sunulan YSA modelinde tek gizli katman kullanılmıştır.

YSA eğitimi için giriş parametreleri; zaman bilgisini içeren ay, gün, saat ve dakika değişkenleri ve ortam sıcaklığı (C°), çiğlenme sıcaklığı (C°), Basınç (hPa), rüzgâr yönü, rüzgârın yön açısı, rüzgâr hızı (km/s), ani rüzgâr artışı

(km/s), nem (%), saatlik yağış miktarı ve günlük yağış miktarını içeren meteorolojik değişkenler olarak tanımlanmıştır. YSA modelinde gizli (ara) katman sayısı 10 olarak seçilmiştir ve solar radyasyon değişkeni tek çıkış parametresi olarak tanımlanmıştır. YSA analizinde kullanılan, 14 giriş parametresi, 10 gizli katman ve 1 çıkış

parametresi olarak modellenen ileri yönlü çok katmanlı algılayıcı (IYÇKA) ağ topolojisi Şekil 3' de sunulmuştur.



Şekil 3. Solar radyasyon tahmininde kullanılan IYKAÇ YSA topolojisi.

3. Bulgular

Bu çalışmada, 41°10'42.93"K enlem ve 8°36'24.49"B boylam koordinatında bulunan Porto Yüksek Mühendislik Enstitüsü

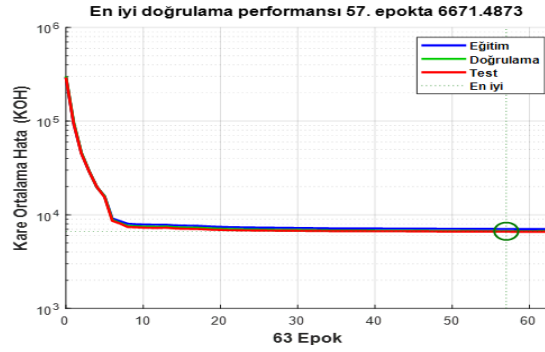
(ISEP)/Porto Politeknik Enstitüsü' ne ait hava istasyonundan 1 Ocak 2015-30 Mayıs 2015 tarih aralığında 5'er dakika örnekleme sıklığı ile ölçülen ve IEEE PES tarafından açık erişim olarak meteorolojik veriler kullanılmıştır.

Şekil 3'de sunulan YSA topoloji kullanılarak YSA eğitimi Matlab ortamında gerçekleştirilmiş ve zaman değişim parametreleri ile birlikte farklı meteorolojik verilere bağlı olarak solar radyasyon miktarı tahmin edilmiştir. Giriş verilerinin eğitiminde Levenberg-Marquardt

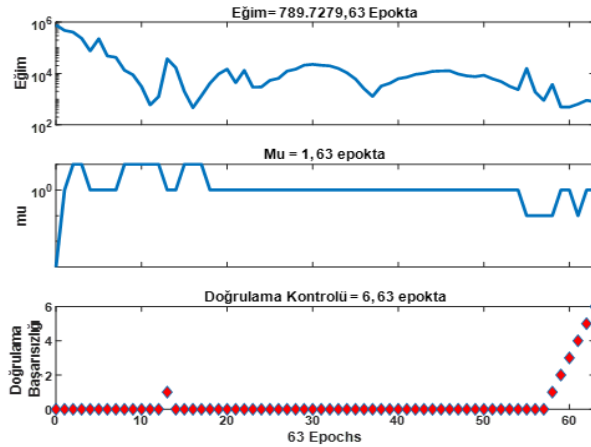
(LM) geri yayılımı kullanılmıştır. Veri seti içerisinde 41470 örnek eğitim için kullanılmıştır. 27-30 Mayıs tarihleri aralığındaki 1152 örnek açık ve yağışsız hava koşullarında global solar radyasyondaki yavaş değişimlerini, 2 Ocak ve

2 Mart tarihlerindeki 578 örnek ise yağışlı ve bulutlu hava durumunda global solar radyasyondaki hızlı değişimleri incelemede test verisi olarak kullanılmıştır.

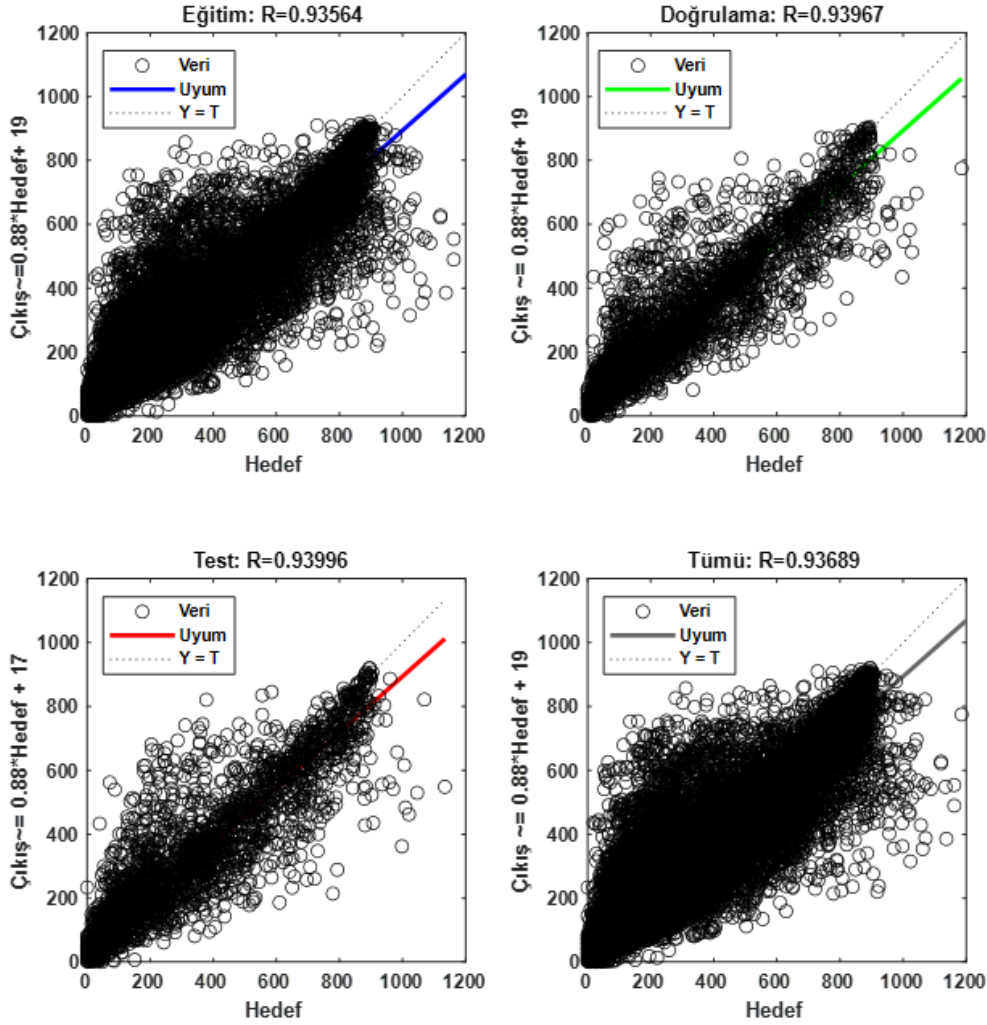
YSA analizi sonucunda, elde edilen doğrulama performansı ve en uygun duruma ulaşmak için YSA'nın eğitim durumu sırası ile Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir. En iyi durum için ölçülen ve tahmin edilen solar radyasyon arasındaki regresyon analizi ise Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 4. Tahmin edilen solar radyasyon için YSA'nın Kare ortalama Hata (KOH) performansı



Şekil 5. Tahmin edilen solar radyasyon için YSA'nın eğitim durumu



Şekil 6. En iyi uyum için ölçülen ve tahmin edilen solar radyasyon arasındaki regresyon analizinin karşılaştırılması.

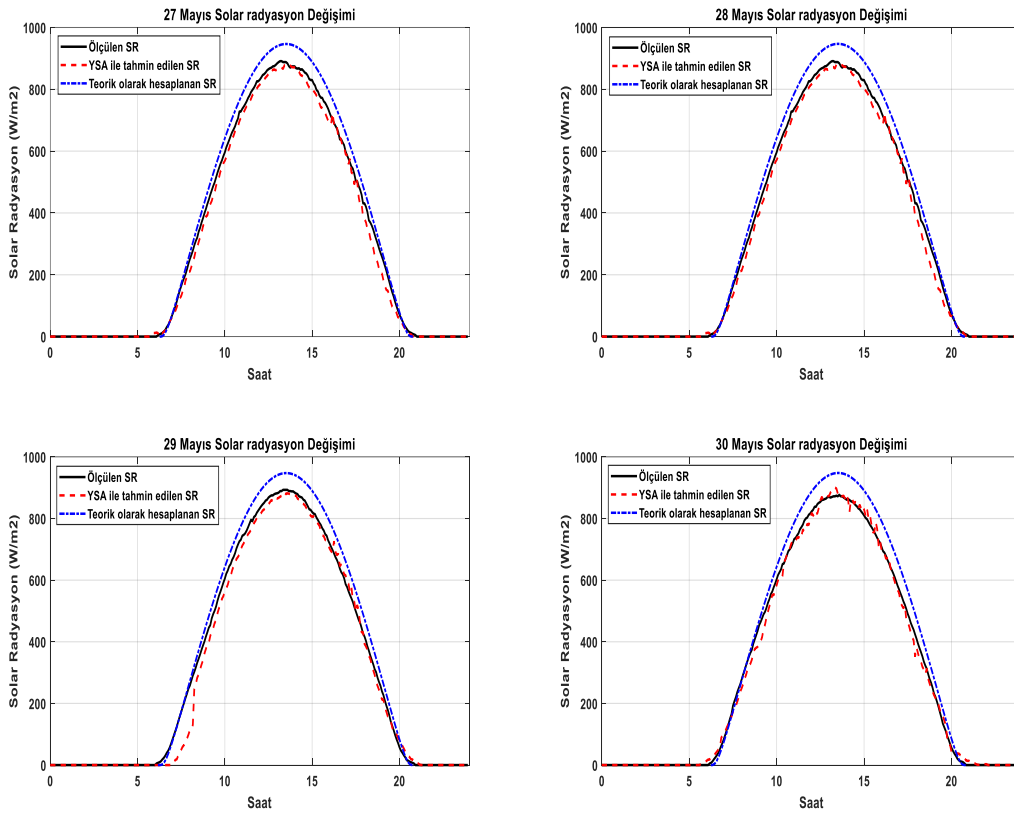
Açık ve güneşli günler için test verisi olarak kullanılan 27-30 Mayıs tarihleri aralığında dört günlük süre için tahmin edilen ve ölçülen solar radyasyon miktarı ile bölüm (2.1) de sunulan teorik olarak hesaplanan global solar radyasyon değerleri grafiksel olarak Şekil 7’de gösterilmiştir. Benzer şekilde, yağışlı hava koşullarında solar radyasyonun hızlı değişimini test etmek için kullanılan, 2 Ocak ve 2 Mart tarihleri için hesaplanan değerler ise Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde; teorik olarak hesaplanan solar radyasyon ve ölçülen solar radyasyon değerlerinin güneşlenme süreleri bakımından başlangıç (gün

doğumu) ve bitiş (gün batımı) güneşlenme sürelerini yüksek doğrulukta sağladığı görülmektedir. Fakat bulutlu ve yağışlı havalarda teorik olarak hesaplanan solar radyasyon değeri ile ölçülen radyasyon değerlerinin birbirinden çok farklı olduğu görülmektedir. Bu durum, teorik olarak yapılan hesaplamalarda atmosferik olaylarda meydana gelen değişimlerin dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 7’deki güneşli ve açık hava için sunulan test verisi incelendiğinde teorik olarak hesaplanan global solar radyasyon değeri ile

ölçülen solar radyasyon değerinin aynı olması beklenmektedir. Fakat teorik olarak hesaplanan solar radyasyon değeri ile ölçülen solar radyasyon değeri arasında maksimum tepe noktasında yaklaşık 50-70 W/m² lik bir fark olduğu görülmektedir. Bu durum iki şekilde açıklanabilir. İlk olarak dünya dışından gelen güneş ışınlarının atmosferdeki kalınlık ve yapıya bağlı olarak kırılma ve yansımaları bölgesel düzeyde farklılık gösteriyor olabileceği söylenebilir. İkinci durum olarak ise plank kanuna göre tahmin edilen dünya dışından gelen

solar radyasyon değerinin 1366 W/m² olarak teorik hesaplamalarda sabit kabul edilmesine rağmen, bu değer aslında dünyanın epliktik hareketine bağlı olarak sabit olmaması ve 1307-1393 W/m² aralığında değişmesinden kaynaklanmaktadır. Grafiksnel eğrilerden ölçülen solar radyasyon miktarının hem güneşli ve açık havada oluşan yavaş solar radyasyon değişiminde hem de bulutlu ve kapalı havalarda meydana gelen hızlı solar radyasyon değişimlerinde YSA ile elde edilen tahmin değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



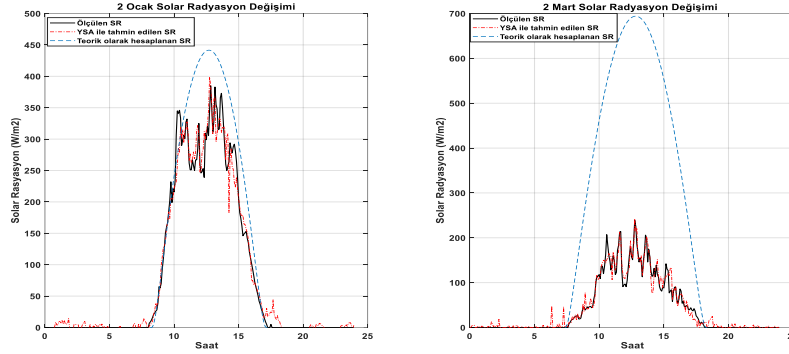
Şekil 7. Solar radyasyonun yavaş değişimi için 27-30 Mayıs aralığında ölçülen, YSA ile tahmin edilen ve teorik olarak hesaplanan Solar radyasyon miktarının günlük değişim eğrileri.

Çalışmada, YSA ile tahmin edilen solar radyasyon değerlerin, ölçülen solar radyasyon değerlerine istatistiksel olarak uygunluğunu incelemek için belirlilik katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Belirlilik katsayısı, örnek veriler kullanılarak tahmin yolu ile elde edilen örneklem eğrisinin gerçek

değerlere ne kadar uyduğunu ölçmek amacı ile kullanılır. Tahmin yolu ile elde edilen veriler gerçek değere ne kadar yakınsa (hata oranları ne kadar düşükse) daha iyi uyum sağlandığı kabul edilir. R^2 ifadesinde sonuç her zaman pozitifdir ve [0-1] aralığında bir değer alır. Sonucun 1'e yakın

olması tahmin edilen değerlerin gerçek değerleri açıklamada yüksek doğruluğa sahip olduğunu ifade eder. Örneğin $R^2=0,95$ ise tahmin verileri

gerçek değerlerin %95' ini kapsadığı açıklamaktadır.



Şekil 8. Solar radyasyonun hızlı değişimi için ; 2 Ocak ve 2 Mart tarihlerinde ölçülen, YSA ile tahmin edilen ve teorik olarak hesaplanan Solar radyasyon miktarının günlük değişim eğrileri.

R^2 ifadesi hesaplamada kullanılan Pearson ürün momenti korelasyon katsayısı olan r değeri ile elde edilir. Bu ifadenin karesi alınarak R^2 değeri hesaplanmış olur. R^2 ifadesinin matematiksel denklemi (14) eşitliği ile ifade edilir.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (14)$$

Bu ifadede, \hat{y}_i model tarafından x_i için tahmin edilen y değeridir. \bar{y} y değerleri tarafından gözlemlenen verilerin ortalamasıdır. 27-30 Mayıs ve 1-2 Ocak tarihleri aralığında ölçülen solar radyasyon miktarı ve YSA ile tahmin edilen solar radyasyon miktarlarına göre hesaplanan belirlilik katsayıları (R^2 değerleri) Tablo 1' de sunulmuştur.

Tablo 1' den görüldüğü üzere, sunulan YSA metodolojisi meteorolojik veriler bağlı olarak solar radyasyon tahmininde güneşli ve açık hava koşullarında %99 doğrulukla tahmin yeteneğine sahiptir. Kapalı ve yağışlı havalarda ise tahmin doğruluğu %96 olarak hesaplanmıştır. R^2 işleminin doğruluğunu desteklemek için ölçülen ve tahmin edilen solar radyasyon miktarlarını Q-

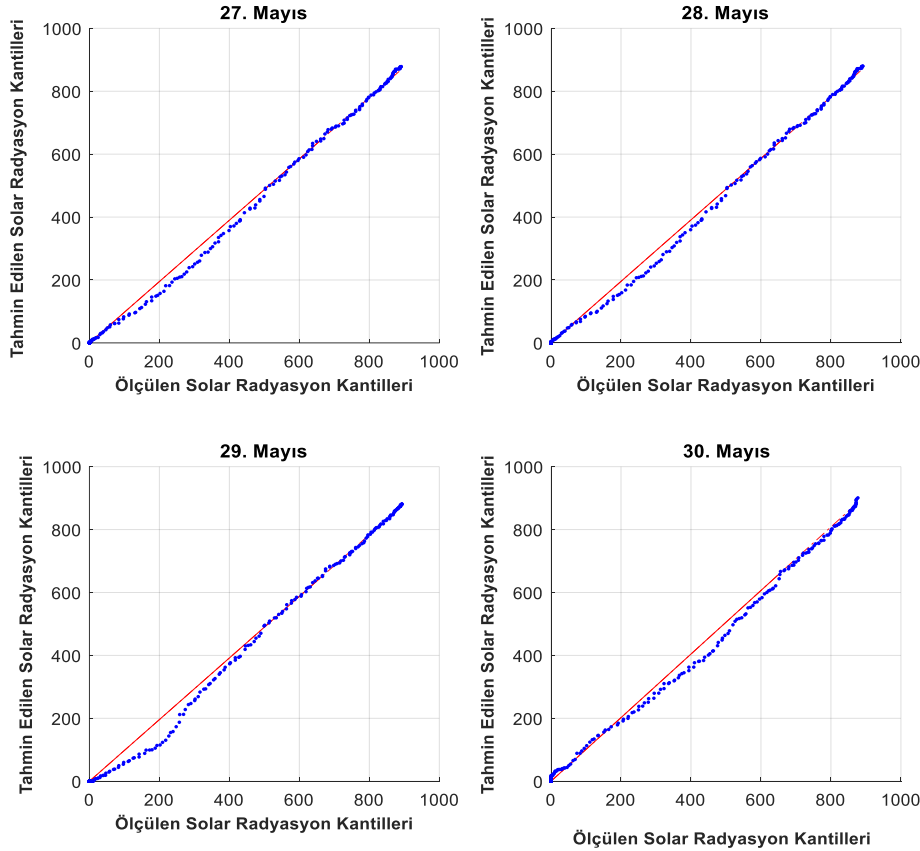
Q Plot kullanarak inceleyelim. Q-Q Plot iki değişkeni, kantillerini birbirlerine göre noktalarak karşılaştırır. Grafikselleştirilen veriler eğer düz bir çizgi oluşturuyorsa verilerin aynı normal dağılımdan geldiği kabul edilir.

Eğer düz bir çizgi yerine verilerde eğimler oluşuyorsa bu durumda karşılaştırılan verilerin farklı dağılıma sahip olduğu kabul edilir. 27-30 Mayıs, 1 Ocak ve 1 Mayıs tarihleri aralığında ölçülen solar radyasyon değeri ve YSA ile tahmin edilen solar radyasyon miktarının Matlab ile analiz edilen Q-Q Plot grafikleri görsel olarak sırası ile

Şekil 9 ve Şekil 10'da sunulmuştur. Şekiller incelendiğinde grafikselleştirilen verilerin düz bir çizgi oluşturduğu ve sapma miktarlarının az olduğu görülmektedir. Bu durumda YSA ile tahmin edilen solar radyasyon sonuçlarının gerçek ölçüm değerleri ile aynı normal dağılımdan geldiği kabul edilebilir. Bu sonuç belirlilik katsayısı ile tanımlanan doğruluk oranını desteklemektedir.

Tablo 1. Ölçülen solar radyasyon ile YSA analizi ile tahmin edilen solar radyasyon değerlerinin R² testi ile karşılaştırılması.

Belirlilik Katsayısı	2 Ocak	2 Mart	27 Mayıs	28 Mayıs	29 Mayıs	30 Mayıs
R ²	0.9819	0.9615	0.9977	0.9979	0.9913	0.9973

**Şekil 9.** Şekil 7'de sunulan solar radyasyonun yavaş değişimi için, Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen Solar Radyasyon değerlerinin Q-Q plot ile kantillere göre karşılaştırılması.

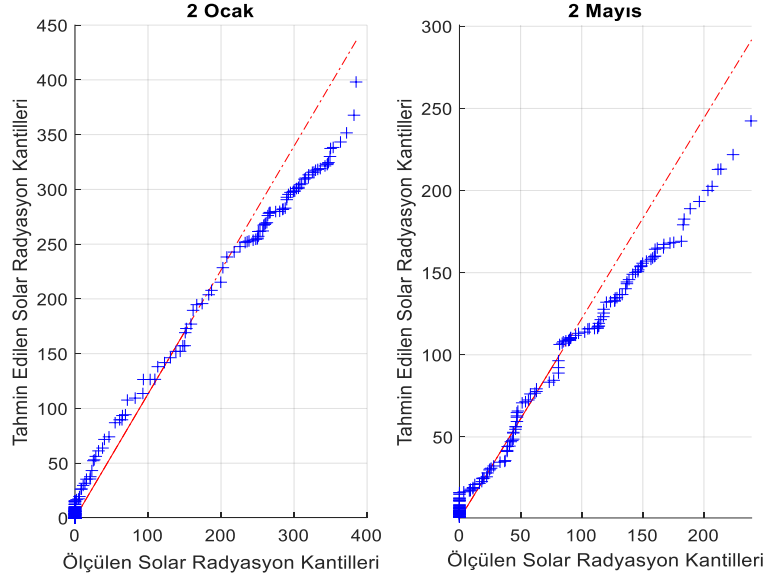
PV sistemin üreteceği enerji miktarı solar radyasyon ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Tanımlanan tahmin metodolojisi, meteorolojik veriler yardımı ile PV sistemlerin maruz kalacağı solar radyasyon miktarına bağlı olarak uygun yatırım bölgelerinin belirlenmesinde ve tesislerin amortisman sürelerinin tespitinde kullanılabilir. Global solar radyasyon değerinin teorik olarak hesaplanması

atmosferik olayları tam olarak tanımlamadığı için YSA tabanlı tahmin yaklaşımının kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, sunulan yaklaşım solar radyasyon değerine ihtiyaç duyulan tarım ve deneysel çalışmalarda da kullanılabilir.

Sunulan yaklaşımın doğruluğu eğitim seti artırılarak artırılabilir gibi dünya üzerinde herhangi bir noktaya ait meteorolojik veriler

kullanılarak solar radyasyon tahmini için kolaylıkla uygulanabilir. Bu yaklaşım eğitim kümesi artırılarak, mevcut Fotovoltaik sistemlerin üreteceği enerji miktarının

tahmininde ve gün içi enerji piyasasındaki enerji miktarlarının, fiyat indekslerinin belirlenmesinde de faydalı olacaktır.



Şekil 10. Şekil 8'de sunulan solar radyasyonun hızlı değişimi için Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen Solar Radyasyon değerlerinin Q-Q plot ile kantillere göre karşılaştırılması.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma meteorolojik verilere dayalı olarak solar belli bir bölgedeki solar radyasyon miktarının belirlenmesi için YSA tabanlı tahmin metodolojisi sunmaktadır. Analizde, IEEE PES tarafından açık erişim olarak sunulan ve Porto Yüksek Mühendislik Enstitüsü (ISEP)/Porto Politeknik Enstitüsü' ne ait hava istasyonundan ölçülen 1 Ocak 2015-30 Mayıs 2015 tarihleri aralığındaki meteorolojik veriler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar meteoroloji verileri ve zaman serisi verilerinin birlikte değerlendirilerek ileri yönlü çok katmanlı algılayıcı (IYKAÇ) YSA modelinin solar radyasyon tahmininde yüksek doğrulukla kullanılabileceğini göstermektedir. Solar radyasyon miktarı da PV çıkış gücünün belirleyen en önemli faktör olduğu için radyasyon miktarına bağlı olarak PV hücrenin üreteceği güç miktarı da sunulan yöntem ile tespit edilebilir. Sunulan yaklaşımın doğruluğunu test etmek amacıyla, R^2 belirlilik katsayısı kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde

YSA kullanılarak Meteorolojik verilere bağlı olarak solar radyasyon miktarının bulutlu ve yağışlı havalarda %96, güneşli ve açık havalarda ise %99' un üzerinde bir doğruluk ile tahmin edilebileceği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar lokasyona bağlı olarak teorik olarak hesaplanan global solar radyasyon miktarının, meteorolojik etkiler nedeniyle oluşan gerçek radyasyon değerini tam olarak tanımlamadığını göstermektedir. Bu nedenle solar radyasyon miktarının belirlenmesinde meteorolojik verilere dayalı YSA tahmin yaklaşımının kullanılması önerilmektedir.

Sunulan yaklaşım solar radyasyon bilgisine ihtiyaç duyulan her alanda kullanılabileceği gibi, PV sistemlerin lokasyon bilgisi ve meteorolojik verileri kullanılarak ülke çapında PV sistemlerin üreteceği enerji tahmini içinde kullanılabilir. Ayrıca, sunulan yaklaşım PV tesislerin amortisman sürelerinin belirlenmesinin yanında, gün içi enerji piyasalarının belirlenmesinde PV etkisini değerlendirmede faydalı olacaktır.

Ülkemizdeki mevcut durum gözönüne alındığında, meteoroloji verilerinden tam ve kesintisiz veriler elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Ülkemizde kurulan PV tesislerin birçoğunda meteoroloji istasyonu bulunmamaktadır. PV sistemlerin sayısı her geçen gün artmakta ve enerji tahminleride ülke açısından bir o kadar önem kazanmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde kurulacak PV

tesislerde meteoroloji istasyonu bulundurma zorunluluğu getirilmesi enerji tahminlerinin değerlendirilmesi açısından büyük fayda sağlayacaktır.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan meteoroloji verilerini açık erişim olarak sağlayan IEEE/PES (Power & Energy Society) Güç ve Enerji topluluğuna teşekkür eder.

Kaynakça

- [1] Reis, R.J.D., Tiba, C., 2012, Atlas solarimetrico de minas gerais-vol. ii, Companhia Energetica de Minas Gerais. [Online]. Available: http://www.cemig.org.br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/atlas_solarimetrico.pdf.
- [2] Fröhlich, C. 2012. Total Solar Irradiance Observations, Surveys in Geophysics, Vol. 33, 453-473.
- [3] BP Statistical Review of World Energy June 2019; <http://www.bp.com/statisticalreview>
- [4] Gosumbongot, J., Nguyen, D., Fujita, G. 2018. Partial Shading and Global Maximum Power Point Detections Enhancing MPPT for Photovoltaic System Operated in Shading Condition. 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow-UK, 4-7 September.
- [5] Ishaque, H., Salam, Z., Amjad, M., and Mekhilef, S. 2012. An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)-Based MPPT for PV with Reduced Steady-State Oscillation. IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 27, No. 8.
- [6] Rezk, H., 2016, A comprehensive sizing methodology for stand-alone battery-less photovoltaic water pumping system under the Egyptian climate, J. Cogent Eng. 3.
- [7] Rezk, H., Dousoky, G.M., 2016. Technical and economical analysis of different configurations of stand-alone hybrid renewable power system-A case study. Renewable Sustainable Energy Rev. Vol. 62, pp. 941-953.
- [8] Akgül, K., Cikan, M., Demirdelen, T., Tumay, M., 2019. Butterfly optimization algorithm based maximum power point tracking of photovoltaic systems under partial shading condition, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, DOI:10.1080/15567036.2019.1677818.
- [9] Angstrom, A., 1924. Solar and terrestrial radiation. Roy. Met. Soc., vol. 50, pp. 121-127.
- [10] Prescott, J. A., 1940. Evaporation from a Water Surface in Relation to Solar Radiation. Trans. R. Soc. S. Austr., Vol. 64, pp. 114-118.
- [11] Hourmizt, B., 1945. Insolation in relation to cloudiness and cloud density. J. Met., Vol. 2, pp. 154-156.
- [12] Daneshyar, M., 1978. Solar radiation statistics for iran. Solar Energy, Vol. 21, pp. 345-349.
- [13] Davies, J., Abdel-Wahab, A., and McKay, D., 1984. Estimating solar irradiance on horizontal surface. Int. J. Sol. Energy, Vol. 2, pp. 405.
- [14] Abdel-Wahab M., 1985. Simple model for estimation of global solar radiation. Solar and Wind Technology, Vol. 2, no. 1, pp. 69-71.
- [15] Srivastava, S. K., Sinoh, O. P., and Pandey, G. N. 1993. Estimation of global solar radiation in uttar pradesh (india) and comparison of some existing correlations. Solar Energy, Vol. 51, No. 1, pp. 27-29.
- [16] Abdel-Wahab, M., 1993. New approach to estimate angstrom coefficient. Solar Energy, Vol. 51, pp. 241-245.
- [17] El-Shazly, S. M., 1994. Solar radiation component at Qena-Egypt. DOJARAS Quart J. Hungarian Meteorol. Service, Vol. 101, pp. 215-231.
- [18] Bodescu, V. 1997. Verification of some very simple clear and cloudy sky models to evaluate global solar irradiance. Solar Energy, Vol. 61, No 4, pp. 251-264.
- [19] Khalil S. A. and Fathy. A. M. 2008. An empirical method for estimating global solar radiation over Egypt. Acta Polytechnica, Vol. 48, no. 5, pp. 48-53.
- [20] El-Nouby Adam, M. 2010. Effect of stratospheric ozone in uvb solar radiation reaching the earth's surface at qena, egypt. Atmospheric Pollution Research, vol. 1, pp. 155-160.
- [21] Mekhtoup, F.B.S. 2014. PV cell temperature/PV output Relationships Homer Methodology Calculation, Ipco, Vol. 2, No. 1, pp. 1-12.
- [22] Moh. Zaenal Efendi, Farid Dwi Murdianto, Rengga Eka Setiawan. 2017. Modelling and Simulation of MPPT Sepic Converter Using Modified PSO to Overcome Partial Shading Impact on DC Microgrid System. International Electronics Symposium on Engineering Technology and Application (IES-ETA).
- [23] Bora. B., Gupta. K., Kumar, A., Renu, O.S., Dahiya, R. 2013. Artificial Neural Network based Modelling of PV Module to Predict the output. 4th International Conference on Advances in Energy Research, held at IIT Bombay.
- [24] Ceylan, I., ErKaymaz, E., Gedik, E., Gurel, A.E. 2014. The prediction of photovoltaic module temperature with artificial neural network. Case Study Therm. Eng., Vol. 3, pp. 11-20.
- [25] Priya, S.S., Iqbal, M.H. 2015. Solar irradiance prediction using Artificial Neural Network. International Journal of Computer Application, Vol. 116, No.16, pp. 28-31.
- [26] Benganem, A.M., Mellit, A., Alamri, S.N. 2009. ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data: A case study. Energy Convers. Management System, Vol. 50, No. 7, pp.1644-1655.
- [27] Behrang, M.A., Assareh, E., Ghanbarzadeh, A., Noghrehabadi, A.R. 2018. The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modelling, IOP Conf. Series:

- Journal of Physics: Conf. Series 1049-012088, 2018, doi:10.1088/17426596/1049/1/012088.
- [28] Elizondo, D., Hoogenboom, G., Mcclendon, R.W. 1994. Development of Neural network model to predict daily solar radiation, *Agric Forest Meteorol*, Vol. 71, pp. 115-132.
- [29] Williams, B.D., Zazueta, F.S. 1994. Solar radiation estimation via neural network, In: ASAE, editor, *Sixth International Conference on computer in agriculture*, Cancun, Mexico.
- [30] Mohandes, M., Rehman, S., Halawani, T.O. 1998. Estimation of global solar radiation using artificial neural networks, *Renew Energy*, Vol. 14. pp. 179-184.
- [31] Hontoria, L., Riesco, J., Zufuia, P., Aguilera, J. 2000. Application of neural networks in solar radiation fields, *Obteimnent of solar radiation maps*. In 16th European photovoltaic for cemical engineers, Vol. 3, pp. 385-408.
- [32] Tymvios, F.S., Jacovides, CP., Michaelides, S.C., Scouteli, C. 2005. Comporative study of Angstroms and artificial neural netwoks methodologies in estimating global solar radiaion, *Solar Energy*, Vol. 78, pp. 752-762.
- [33] Alam, S., Kaushik, S.C., Garg, S.N. 2006. Computation of beam solar radiation at normal incidence using artificial neural network, *Renew Energy*, Vol. 31, Issue. 10, Pages 1483-1491.
- [34] Elminir, H.K., Azzam, Y.A., Younes, F.I. 2007. Prediction of hourly and daily diffuse fraction using neural network, as compared to linear regression models. *Energy*, Vol. 32(8), pp. 1532-1523.
- [35] Mubiru, E.J., Banka, K.B. 2008. Estimation of monthly average daily global solar irradiation using arificial neural networks, *Solar Energy*, Vol. 82(2), pp. 181-187.
- [36] Basheer I.A., Hajmeer M. 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and Application, *Journal of Microbiological Methods*, 43: 3-31.
- [37] Graupe D. 2007. Principles of artificial neural networks, (2nd Edition), advanced series on circuits and systems, 6, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [38] <https://site.ieee.org/pes-iss/data-sets/#weat>, Weather data/Porto, Portugal, Weather Station ISEP/IPP.
- [39] Khatip, T., Mohammed, A., Mohmoud, M., Sopain, K. 2012. Estimating Global Solar Energy Using Multilayer Perception Artificial Neural Network, *International Journal of Energy*, Issue 1, Vol. 6, pp. 25-33.
- [40] Khatip, T., Elmenreich, W. 2016. Modelling of Photovoltaic Systems Using Matlab, John Wiley & Sons, Inc, p. 3.
- [41] Basheer I.A., Hajmeer M. 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and Application, *Journal of Microbiological Methods*, 43: 3-31.
- [42] Graupe D. 2007. Principles of artificial neural networks, (2nd Edition), advanced series on circuits and systems, 6, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [43] Cho V.A. 2003. Comparison of three different approaches to tourist arrival forecasting, *Tourism Management*, 24: 323-330.
- [44] Wang, X., Xu, D.L., Sun, Z.Z. 2018. Estimates of energy consumption in China using a self-adaptive multi-verse optimizer-based support vector machine with rolling cross-validation, *Energy* Vol. 152 539-548.
- [45] Kankal, M., Akpınar, A., Komurcu, M.I., Ozsahin. T.S. 2011. Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables, *Applied Energy* Vol 88. pp. 1927-1939.
- [46] Uzlu, E., Akpınar, A., Öztürk, H.T., Nacar, S., Kankal, M. 2014. Estimates of hydroelectric generation using neural networks with artificial bee colony algorithm for Turkey, *Energy* 69 (2014) 638-647.
- [47] Kankal, M., Uzlu, E. 2017. Neural network approach with teaching-learning-based optimization for modeling and forecasting long-term electric energy demand in Turkey, *Neural Computing and Applications* 28 (2017) 737-747.
- [48] Sinecen, M., Kaya, B., Yıldız, Ö. 2017. Aydın ilinde insan sağlığını birincil dereceden etkileyen hava değişkenlerine yönelik yapay sinir ağı tabanlı erken uyarı modeli, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 5(4) ss. 121-131.
- [49] Kandiran, E., Hacınlıyan, A., 2019, Comparison of Feedforward and Recurrent Neural Network in Forecasting Chaotic Dynamical System, *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology* 2019 Bahar/Spring – Cilt/Vol:10-Sayı/Num:37D01: 10.5824/1309-1581.2019.2.002.x