

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 035201 (588-596)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 035201 (588-596)

DOI: 10.35414/akufemubid.1074290

Araştırma Makalesi / Research Article

Güneş Işınım Tahmini için Farklı Güneşlenme Durumlarından Faydalanan Hibrit Bir Yöntem Tasarımı

Fatimetou H'meinde MAHAM, Emre AKARSLAN*

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

Sorumlu yazar e-posta: e.akarslan@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5918-7266>
ftsabd@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2413-1649>

Geliş Tarihi: 18.02.2022 Kabul Tarihi: 23.06.2022

Öz

Güneş enerjisinin sürekli genişlemesi, radyasyonun doğru tahminini önemli bir konu haline getirmiştir. Güneş enerjisi üretiminin doğru bir tahmini, fotovoltaik (PV) ve rüzgar jeneratörlerinin akıllı şebekelere etkin entegrasyonu için çok önemlidir. Güneş enerjisinin kesintili doğası, yenilenebilir enerji sistemi operatörleri için operasyonel planlama ve zamanlama açısından birçok zorluk teşkil etmektedir. Bu nedenle güneş ışınımının hibrit yöntemlerle tahmin edilmesi yaygınlaşmaktadır. Bu yazıda, güneş radyasyonunu tahmin etmek için bir hibrit yöntem önerilmiş olup, burada tahmin modeli açıklık indeksine dayalı olarak belirlenir. Çalışmada, Mardin ilinin Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (TMGM) elde edilen iki yıllık güneş radyasyonu verileri kullanılmıştır. Tahmin edici olarak YSA, NARX ağları ve Ridge regresyon yöntemleri kullanılmış ve çalışmanın ilk aşamasında eğitim verileri her üç yaklaşımla da modellenmiştir. Bulutluluk indeksi için, az bulutlu, bulutlu ve çok bulutluya karşılık gelecek şekilde üç aralık belirlenmiştir. Tahmin edici olarak kullanılan üç yöntem ile eğitim verisi modellenmiş ve her bir yöntemin belirlenen her bir bulutluluk indeksi aralığındaki başarısı incelenmiştir. Sonuç olarak, hibrit tahmin algoritmasında, önce yapay sinir ağları kullanılarak açıklık indeksi tahmin edilir ve daha sonra tahmin edilen açıklık indeksi aralığında en başarılı model kullanılarak gelecekteki güneş radyasyonu değeri tahmin edilir. Deneysel sonuçlar, önerilen hibrit yöntem ile modellerin bireysel olarak kullanıldığı duruma göre daha başarılı tahminler yapıldığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Güneş Işınımı; Hibrit Yöntem; Yapay Sinir Ağları; Ridge Regresyon; Bulutluluk İndeksi; NARX

Design of a Hybrid Method Exploiting Different Insolation States for Solar Radiation Forecasting

Abstract

The constant expansion of solar energy has made the accurate forecasting of radiation an important issue. An accurate prediction of solar energy production is crucial for the effective integration of photovoltaic (PV) and wind generators in smart grids. The intermittent nature of solar energy poses many challenges to renewable energy system operators in terms of operational planning and scheduling. For this reason, forecasting solar radiation by means of the hybrid methods is becoming widespread. In this paper, a hybrid method for predicting solar radiation is proposed, wherein the prediction model is determined based on the clearness index. The study used two-year solar radiation data of the province of Mardin obtained from the Turkish State Meteorological Service (TSMS). As predictors, ANN, NARX networks, and Ridge regression methods were used, and the training data were modeled with all three approaches in the first stage of the study. The clearness index was determined into three ranges; slightly cloudy, cloudy, and mostly cloudy. The training data were modeled with three methods used as estimators, and the success of each method was examined in each defined clearness index range. As a result, in the hybrid prediction algorithm, the clearness index is first estimated using artificial neural networks, and then the future solar radiation value is predicted by using the most successful model within the predicted clearness index range. Experimental results show that more successful predictions are made with the proposed hybrid method than when models are used individually.

Keywords

Solar Radiation; Hybrid Method; Artificial Neural Networks; Ridge Regression; Clearness Index; NARX

1. Giriş

Sürekli artan enerji talebi ve fosil yakıt kullanımından kaynaklanan küresel ısınmanın önlenmesine yönelik uluslararası çalışmalar, daha “temiz” olduğu kabul edilen yenilenebilir enerji kaynak kullanımının zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. Bu enerji kaynağı ücretsiz, temiz ve yıl boyunca çoğu yerde yeteri miktarda mevcuttur (Owusu vd. 2016). Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu olmaları, sürdürülebilir olmaları, üretimin olduğu yerde tüketim imkânı sağlamaları gibi avantajları sebebiyle, elektrik üretimi için önemli kaynaklardır (E. Akarşlan ve Hocaoglu F.O. 2017). Son yıllarda elektrik üretiminde yenilenebilir kaynak kullanımının arttığı ve gelecek dönemlerde artmaya devam edeceği gözlenmektedir. Küresel olarak toplam enerji üretiminde yenilenebilir kaynak kullanımının payı 2020 yılında %45 iken, bu oranın 2021 ve 2022 yıllarında bu oranın yaklaşık %90'a yükseleceği görülmektedir. Güneş enerjisi, watt başına düşen maliyeti nedeniyle en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve enerji ihtiyacımızın karşılanmasında kritik öneme sahiptir (E. Akarşlan ve Hocaoglu F.O. 2018). Güneş FV gelişimi, 2022 yılına kadar 162 GW'a ulaşan yıllık ilavelerle rekorlar kırmaya devam etmektedir. 2019'daki pandemi öncesi seviyesinden neredeyse %50 daha yüksektir. Güneş radyasyonu, güneş enerjisi araştırmaları için önemli bir parametredir ancak meteoroloji istasyonlarında güneş radyasyonu ölçüm ekipmanlarının bulunmaması nedeniyle sahaların çoğu için mevcut değildir (Bounoua, Z., and Mechaqrane, A., 2018). Özelde güneş radyasyonunun ve genel olarak zaman serilerinin tahmini, son araştırmaların ana konusu olarak önemli ilgi görmüştür. Birkaç tahmin yöntemi vardır; mevcut girdilere, sınıflandırma yöntemlerine ve tahminin ufkuyla bağlıdır. Bu yöntemlerden bazıları Otomatik Gerilemeli (AR) ve Otomatik Gerilemeli Hareketli Ortalama (ARMA) gibi doğrusal modellere dayanmaktadır (W. Zhang vd. 2011). Bununla birlikte, güneş radyasyonunun doğrusal olmayan davranışı nedeniyle, araştırmacılar dalgacık tabanlı yöntemler, bulanık modeller, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemleri (ANFIS: Adaptive Neural Fuzzy Inference systems) ve Yapay Sinir

Ağları (YSA) gibi birkaç doğrusal olmayan model önerdiler (C. Voyant vd. 2011, O. Assas vd. 2014). Yapay sinir ağı teknikleri (YSA), geleneksel tekniklere iyi bir alternatif yöntemdir, güneş sistemlerinin tasarlanması ve güneş radyasyonlarının tahmin edilmesi gibi bir dizi güneş enerjisi uygulamasında kullanılır (Yadav vd. 2014). Literatürde güneş radyasyonu tahmini için, yapay sinir ağlarının kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır (Hepbasli ve Alsuhaibani, 2011). Assas vd. (2014), yaptıkları çalışmada, meteorolojik değişkenleri kullanarak yatay bir yüzeyde günlük küresel güneş radyasyonunu tahmin etmek için bir dizi yapay sinir ağı modeli (YSA) sunmaktadırlar. Literatürde güneş radyasyonunu tahmin etmek için, Doğrusal Olmayan Otoregresif Ekzojen (NARX) modeller de kullanılmıştır. Araştırma çalışmalarında, PV gücü tahmini, elektrik fiyatları tahmini ve hava kirliliği tahmini gibi uygulamalarda kullanılmıştır (E. Pisoni vd. 2009). Z. Boussaada vd. (2018), yatay bir yüzey üzerinde doğrudan güneş radyasyonu tahmini için bir NARX sinir ağı modeli önermektedir. NARX yaklaşımında, güneşlenme süresi, sıcaklık, nem gibi meteorolojik parametreler (Mohanty vd. 2015) Hindistan'ın Bhubaneswar kentindeki güneş radyasyonunu tahmin etmek için girdi olarak kullanılmıştır. Sansa ve Bellaaj (2018), NARX modelinin özellikle düşük güneş radyasyonu dalgalanmaları için güneş radyasyonunu tahmin etmedeki etkinliğini kanıtlamıştır. Literatürde güneş ışınım tahmini için Ridge regresyonun kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. A. Zameer vd. (2020), doğrusal olmayan regresyon modelleri, Lineer regresyon, Ridge regresyon, Lasso regresyon, YSA ve Random Forest Regressor (RFR) yöntemlerinin güneş enerjisi tahminindeki başarıları karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, ridge regresyon ile random forest'a kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıda sunulan literatür bilgileri farklı yöntemlerin farklı şartlar altında farklı performanslar sağlayabileceğini göstermektedir. Bu durum araştırmacılara farklı modelleri birleştirmeleri konusunda ilham kaynağı olmuştur. Bu füzyon, bireysel yöntemlerden daha iyi performans gösterebilen sağlam bir model sunar (Al-Enezi vd. 2010). Öte yandan, hibrit modeller iki veya daha fazla tahmin modelinin birleşimidir. Bu

nedenle, her modelin özelliği aktarıldığından doğruluğu da artmaktadır. Dong vd. (2014), güneş radyasyonu tahmini için uydu görüntü analizini üstel yumuşatma durum uzayı (ESSS: Exponential Smoothing State Space) modeli ve yapay sinir ağı (YSA) ile birleştirerek yeni bir hibrit yöntem önermiştir. Azimi vd. (2016), güneş radyasyonlarını tahmin etmek için bir zaman serisi analizi, yeni bir kümeleme tekniği, yeni bir küme seçim algoritması ve çok katmanlı algılayıcı sinir ağlarını (MLPNNs) birleştiren hibrit bir tahmin yöntemi geliştirmiştir. Tahmin doğruluğunu artırmak için TB K-ortalama (Transformation based K-means algorithm) olarak adlandırılan dönüşüm tabanlı K-ortalama bir algoritma kullanan hibrit bir güneş ışınım tahmin çerçevesi önermişlerdir. Nazaripouya vd. (2016), dalgacık, ARMA ve NARX modeline dayalı bir hibrit yöntem kullanarak bir dakika sonraki güneş radyasyonunu tahmin etmişlerdir. Tikyaa vd. (2018), 2016 yılı için günlük güneş radyasyonunu tahmin etmek için, hibrit SARIMA-NARX-Chaos modelini kullanmışlardır. Sonuçlar, hibrit yöntemle yapılan tahminin doğruluk performansının daha iyi olduğunu göstermektedir. Yukarıda sunulan literatür taraması incelendiğinde, güneş ışınım değerinin meteorolojik etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, bu sebeple güneş ışınım verisinin doğrusal ve doğrusal olmayan (stokastik) bileşenler içerdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca güneş ışınım modellemesinde kullanılan yöntemlerin farklı karaktere sahip olduğu ve farklı şartlar altında farklı performanslar sergileyebildikleri görülmektedir. Bu kapsamda tahmin başarısını artırmak için hibrit yöntemlerin oluşturulduğu, böyle yapılarda kullanılan yöntemlerin birbirlerinin zayıflıklarının üstesinden geldiği belirlenmiştir. Sunulan tez çalışmasında, bu hususlar dikkate alınarak güneş ışınım tahmini için hibrit bir yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada, saatlik güneş radyasyonu tahmin etmek için yeni bir hibrit metod önerilmiştir. Türkiye Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmış, Mardin ili 2013-2014 yıllarına ait güneş ışınım verileri kullanılmıştır. 2013 yılına ait veriler eğitim, 2014 yılına ait veriler ise test için değerlendirilmiştir. Her biri farklı özelliklere sahip olan 3 farklı yöntem, YSA, NARX ve Ridge regresyon üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Hibrit yöntem oluşturmak için, öncelikle, belirtilen bölgeye ait bulutluluk indeksi için, az bulutlu, bulutlu ve çok bulutluya karşılık gelecek şekilde üç aralık belirlenmiştir. Tahmin edici olarak kullanılan üç yöntem ile eğitim verisi modellenmiş ve her bir yöntemin belirlenen her bir bulutluluk indeksi aralığındaki başarısı incelenmiştir. Sonuçlar farklı değerlendirme kriterleri ile değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen hibrit yöntem ile modellerin bireysel olarak kullanıldığı duruma göre daha başarılı tahminler yapıldığını göstermektedir. Bu makalenin organizasyonu aşağıdaki şekilde tasarlanmıştır. 2. Bölümde çalışmada kullanılan materyal ve metod bahsedilmiş, 3. Bölümde ise bulgular temel prensipleri anlatılmıştır. 4. Bölümde deney sonuçları verilmiş ve son olarak 5. Bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu bölümde, makale çalışmasında kullanılan veri seti açıklanarak, kullanılan yöntemler detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak çalışmada kullanılan ışınım verisi sunularak, dünya dışı radyasyon (Extraterrestrial radiation) ve bulutluluk indeksi (Clearness index) hesaplarına ait detaylar açıklanmıştır. Sonrasında, çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin açıklamalar sunulmuş ve önerilen hibrit yöntem anlatılmıştır. Makale çalışmasında, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Mardin iline ait saatlik güneş ışınım verileri kullanılmıştır. Mardin, 37,31° kuzey enlemi, 40,74° doğu boylamında, 1083 rakıma sahip bir konumda yer almakta olup, Türkiye geneli dikkate alındığında, iyi bir güneşlenme karakteristiğine sahiptir. Eğitim süreci için tüm veri setinin 8760 saati (2013 yılından itibaren) kullanılırken, kullanılan modellerin ve hibrit yöntemin tahmin etme yeteneğini test etmek için 8760 saat (2014 yılı) kullanılmıştır.

2.1 Extraterrestrial Radyasyon

Belirli bir bölgedeki günlük dünya dışı (Extraterrestrial) yatay radyasyon, herhangi bir atmosferik etki olmaksızın sahadaki yatay bir yüzey üzerindeki güneşlenmedir (Liu YH, Jordan, RC. 1960). Bu, enlemin ve yalnızca yılın gününün bir

işlevidir (Jain, A. vd. 2011). Bu nedenle, herhangi bir gün için herhangi bir konum için hesaplanabilir (R. Kumar, L. Umanand 2005). $M Jm^{-2} gün^{-1}$ 'de ölçülen dünya dışı güneş radyasyonu (Q_0), yılın her günü için aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir:

$$Q_0 = \frac{24 * I_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360N}{365} \right) * \left[\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{2\pi \cdot \omega_s}{360} \right) \sin \varphi \sin \delta \right] \right] \quad (1)$$

I_{sc} güneş sabitidir ($=1367 Wm^{-2}$), δ ve ω_s aşağıdakiler kullanılarak hesaplanabilir:

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{n+284}{365} \right) \right] \quad (2)$$

n , 1 Ocak'tan başlayarak yılın gün sayısıdır.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\varphi) \tan(\delta)) \quad (3)$$

Güneşlenme saatinin mümkün olan maksimum ortalama günlük uzunluğu şu şekilde belirlenebilir:

$$S_0 = \frac{2}{15} \omega_s \quad (4)$$

2.2 Bulutluluk İndeksi (Clearness index)

Bulutluluk indeksi (K_T), güneşlenme üzerindeki bir yerdeki atmosferik etkilerin bir ölçüsüdür. Yılın zamanına, mevsime, iklim durumuna ve coğrafi konuma göre değişen rastgele bir parametredir (R. Kumar, L. Umanand 2005). K_T 'yi belirli bir konum için modellemek için, yılın zamanındaki değişiklikleri ve mevsimsel değişimi yakalamak için konumun yatay küresel güneş ışınımını belirli bir süre boyunca ölçmek gerekir. Bulutluluk indeksi, denklem (5)'te verildiği gibi, yatay küresel güneş ışınımının atmosfer dışında mevcut olan karşılık gelen güneş ışınımına (dünya dışı güneş ışınımı) oranı olarak verilir (H. Khorasanizadeh, vd. 2014).

$$K_T = \frac{Q}{Q_0} \quad (5)$$

K_T sürekliliği olan bir zaman serisi stokastik parametre olduğundan olası değerler, daha sonra (6)'da verilen sürekli dağılım kullanılarak modellenebilir.

$$F(K_T) = \int_{-\infty}^{\infty} f(K_T) \cdot dK_T \quad (6)$$

2.3 Yapay Sinir Ağ (YSA)

Yapay sinir ağı (YSA), biyolojik sinir sisteminden esinlenen matematiksel bir modelle temsil edilen bir sinir ağı sınıfıdır; zaman serisi modellerini ve doğrusal olmayan karakteristikleri tanıma yeteneğine sahip akıllı bir sistemdir. Bu nedenle, dinamik doğrusal olmayan zaman serilerini modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Haykin, S., 1998 ve Ljung, L., 1998). YSA, bilgiyi işlemek için yapay nöronları birleştirir; ağırlıklı bağlantılarla bir ağa bağlanan basit nöronlardan oluşur. Her girdi, nöronun aktivasyonunu tanımlayan matematiksel bir fonksiyon tarafından hesaplanan ağırlıklarla çarpılır. Başka bir aktivasyon işlevi, belirli bir eşeğe bağlı olan yapay nöronun çıktısını hesaplar. Matematiksel gösterim kullanılarak bir nöronun çıktısı aşağıdaki denklem olarak yazılabilir:

$$y = f(b + \sum_i w_i x_i) \quad (7)$$

Burada b , nöronun yanlılığıdır; nöron algoritmasına önyargı girişi, sinyalin aktivasyon fonksiyonunun eşeğini aşmasına yardımcı olan bir ofset değeridir. f aktivasyon fonksiyonu, w_i ağırlıklar, x_i girdiler ve y çıktıyı temsil ediyor.

2.4 Ekzojen Girdili Doğrusal Olmayan Otoregresif Modeller (NARX)

Bir yandan güneş radyasyonunun bir zaman serisi olduğu, diğer yandan, NARX sinir ağının zaman serilerinin iyi bir öngörücüsü olduğu düşünüldüğünde (S. Mohanty, and P.K. Patra 2015), bu yöntem güneş ışınım tahmin araştırma çalışmamızda kullanılmıştır. NARX sinir ağı, ayrık zamanlı doğrusal olmayan sistemlerin bir sınıfı, yani dışsal girdili (NARX) modelleriyle doğrusal olmayan otoregresif sistem tarafından türetilir. Önerilen çalışma için doğrusal olmayan dinamik sistemleri modellemek için çok uygun olduğu seçilmiştir. NARX modeli matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$y(t) = f(y(t-1), \dots, y(t-n_y); u(t), \dots, u(t-n_u)) + \varepsilon(t), \quad (8)$$

burada $y(t)$ ve $u(t)$, ayrı bir zaman adımında modelin

geçmiş ve şimdiki bağımsız (ekzojen) girişleridir t , $n_y \geq 1$, $n_u \geq 1$, $n_y \geq n_u$, giriş belleği ve çıkış bellek sıralarıdır (gecikme) ve f doğrusal olmayan bir eşleme işlevidir (Di Piazza ve diğer 2016).

2.5 Ridge Regresyon

Ridge regresyon, çok doğrusal yaşayan çoklu regresyon verilerini analiz etmek için kullanılan bir tekniktir. Çok doğrusal oluştuğunda, en küçük kareler tahminleri tarafsızdır, ancak varyansları büyüktür, bu nedenle gerçek değerden uzak olabilirler. Regresyon tahminlerine bir derece önyargı ekleyerek, ridge regresyon standart hataları azaltır. Net etkinin daha güvenilir tahminler vermesi umulmaktadır. Ridge regresyon, çoklu regresyon modellerinin katsayılarını tahmin etmenin bir yöntemi olduğu için, çoklu doğrusal regresyon standart modeli aşağıdaki gibidir:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (9)$$

Burada y bağımlı değişkeni, X bağımsız değişkenleri, β bilinmeyen parametreyi, ε ise artık matrisi ifade eder. Ridge regresyonu (RR), Hoerl ve Kennard (Hoerl, A. & Kennard, R, 1970,1975) tarafından tanıtılmıştır, çoklu regresyondan $X^T X$ matrisinin diyagonal elemanlarına eklenecek küçük bir pozitif sayı $k \leq 0$ önerirler ve tahmincisi şu şekilde elde edilir;

$$\widehat{\beta}_{RR} = (X^T X + kI)^{-1} X^T Y \quad (10)$$

Burada I bir matris birimidir ve k ceza parametresidir. $k=0$ olduğunda, ridge regresyon, basit doğrusal regresyona dönüşür. Ridge tahmincisi, en küçük kareler tahmincisi $\widehat{\beta}_{LS}$ 'nin doğrusal bir dönüşümüdür,

$$\widehat{\beta}_{RR} = (I_n + k(X^T X)^{-1})^{-1} \widehat{\beta}_{LS} \quad (11)$$

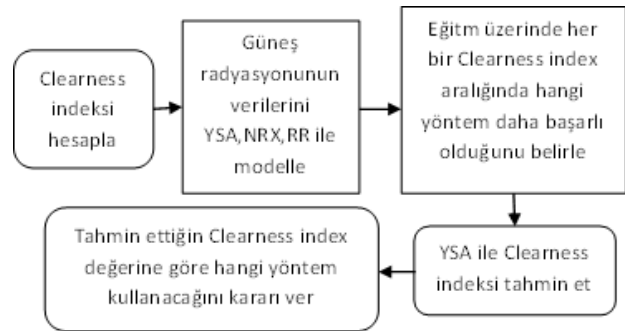
Denklem 9'ün kanonik formu kullanılarak ridge tahmincisi şu şekilde yazılabilir:

$$\widehat{\alpha}_{RR} = (I_n + k\Delta^{-1})^{-1} \widehat{\alpha}_{LS} \quad (12)$$

2.6 Hibrit Metot

Bu makale, saatlik güneş radyasyonunu tahmin etmek için YSA, NARX ve RR modellerini kullanan

yeni bir hibrit yöntem önerilmiştir. Önerilen hibrit yöntemde, tahmin için kullanılacak method clearness indeks değerine bağlı olarak belirlenir. Burada amaç, seçilen üç yöntemin daha başarılı oldukları şartlar altında kullanılması, böylece daha güçlü bir tahmin edici elde etmektir. Bu kapsamda, eğitim verisi, seçilen üç yöntem ile de modellenmiştir. Bulutluluk indeksi için açık gökyüzü, bulutlu ve çok bulutlu güne karşılık geleceği düşünülerek üç aralık belirlenmiştir. Bulutluluk indeksi için 0 ile 0,35 değer aralığı, 0,35 ile 0,7 aralığı ve 0,7 ile 1 aralığı, sırasıyla çok bulutlu, bulutlu ve açık gökyüzüne karşılık gelecek şekilde seçilmiştir. Sonrasında eğitim verisi üzerinde, seçilen bu üç bulutluluk indeksi aralığı için daha başarılı olan yöntemler belirlenmiştir. Sonrasında eğitim verisi kullanılarak bulutluluk indeksi zaman serisi YSA kullanılarak modellenir ve bu model kullanılarak bulutluluk indeksi değerleri tahmin edilebilir. Önerilen yöntemde, birinci aşamada YSA kullanılarak bulutluluk indeksi tahmin edilir, sonrasında ise tahmin edilen bulutluluk indeksi değer aralığında hangi model daha başarılı olarak belirlenmişse, o model kullanılarak güneş radyasyonu tahmin edilir. Önerilen yöntemde ait prensip şema Şekil 1'de gösterilmektedir.

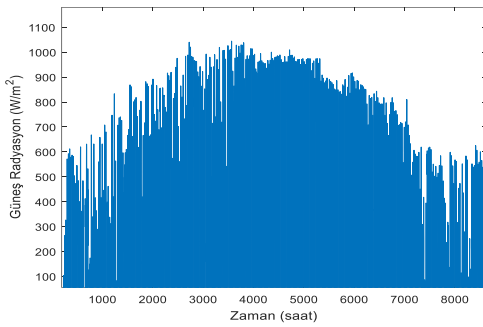


Şekil 1. Hibrit Yöntemin Prensip Şeması

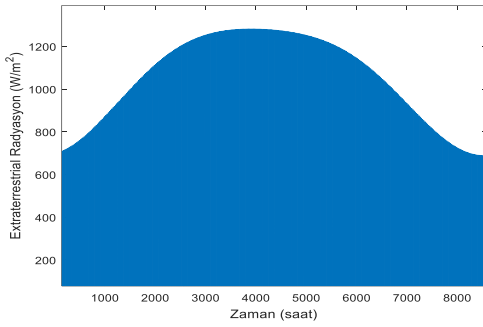
3. Deneysel Sonuçları

Bu çalışmada Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (TMGM) alınan Mardin bölgesi için 2013-2014 yıllarına ait saatlik güneş radyasyonu verileri kullanılmıştır. Bu verilerden 2013 yılına ait olan 8760 adedi (Şekil 2) modellerin eğitimi için, geri kalanı ise test için kullanılmıştır. Önerilen yöntemde kullanılacak yöntem karar vermek için bulutluluk

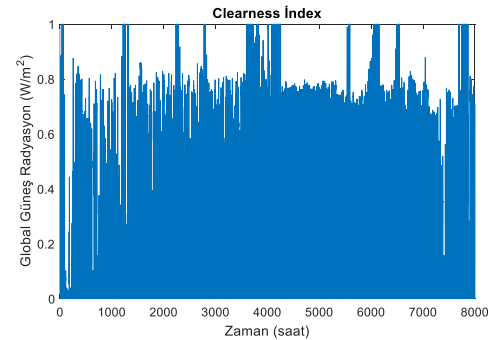
indeksi değerleri kullanılır ve bu sebeple öncelikli olarak bu parametrenin hesaplanması gerekir. Bulutluluk indeksini hesaplamak için ise dünya dışı radyasyon değerlerine ihtiyaç duyulur. Dünya dışı radyasyon, Dünya'nın eliptik yörüngesi nedeniyle yıl boyunca değişir, bu da Dünya-Güneş mesafesinin yıl boyunca tahmin edilebilir bir şekilde değişmesine neden olur (E. Akarşlan *et al.* 2014). Bu çalışmada, NREL'in (National Renewable Energy Laboratory) geliştirmiş olduğu MDIC SOLPOS hesaplayıcısı kullanılarak saatlik dünya dışı küresel güneş radyasyon (Şekil 3) değerleri elde edilmiştir. Sonrasında bu değerler kullanılarak bulutluluk indeksi (Şekil 4) hesaplanmıştır.



Şekil 2. Mardin ili 2013 yılı saatlik güneş radyasyonu grafiği

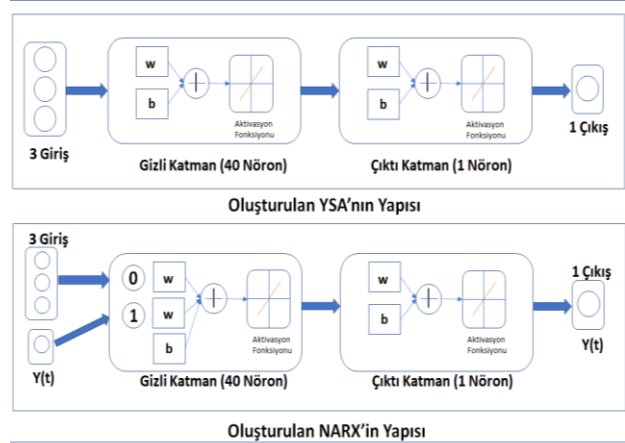


Şekil 3. Mardin ili için hesaplanan saatlik extraterrestrial (dünya dışı) radyasyon grafiği



Şekil 4. Mardin ili 1 yıllık bulutluluk indeksi verileri grafiği

Bu çalışmada, güneş radyasyonu verileri YSA, NARX ve RR ile eğitilmiş ve modellenmiştir. Burada girdi olarak, 1 saat önceki güneş radyasyonu, 2 saat önceki güneş radyasyonu ve tahmin saati için extraterrestrial değeri kullanılmış, çıktı olarak güneş radyasyonunun mevcut değeri kullanılmıştır. Son olarak, test verileri kullanılarak eğitilen modeller test edilmiştir. 2013 yılına ait veriler eğitim, 2014 yılına ait veriler ise test için kullanılmıştır. Tüm modeller MATLAB paket programında oluşturulmuştur. Bu kapsamda, Ridge regresyon için regresyon parametreleri belirlenmiş, YSA ve NARX için ise farklı modeller oluşturularak, bu modeller arasından doğruluk oranı en yüksek olan ağa ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda YSA ve NARX için en başarılı sonuçlar bir gizli katmanın olduğu ve bu gizli katmanda 40 nöronun bulunduğu yapı ile elde edilmiştir. Oluşturulan YSA ve NARX modellerine ait temel şema Şekil 5'te sunulmuştur. Eğitim aşamasında, NARX ve YSA eğitimi için ayrılan verilerin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i test için kullanılmıştır. Sonrasında 2014 yılına ait verilerin tamamı test için kullanılmıştır.



Şekil 5. Oluşturulan YSA'nın ve NARX'in Yapısı.

Hibrit yöntem, clearness index değerine bağlı olarak bir karar verme mekanizmasına dayalı olarak oluşturulmuştur. Bu sebeple öncelikle bulutluluk indeksi değerinin modellenmesi gerekir ki, bu çalışmada bu değerler YSA ile modellenmiştir. Oluşturulan modele ait performans sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur. Bulutluluk indeksi zaman serisi modellendikten sonra, eğitim verisinde üç farklı yöntemin (YSA, NARX, RR) her bir bulutluluk

indeksi aralığındaki performansları incelenmiştir. Bu kapsamda, elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur. Çizelge 2’den görüleceği gibi 0 ile 0,35 aralığında en başarılı model YSA ile elde edilirken, onu NARX ve RR takip etmektedir. 0,35 ile 0,7 aralığında en başarılı model YSA ile elde edilirken onu NARX ve RR takip etmektedir. 0,7 ile 1 aralığında ise en başarılı yöntem NARX olurken, onu RR ve YSA takip eder.

Çizelge 1. Bulutluluk indeksin modellenmesine ait performans sonuçları

Bulutluluk İndeksi	MBE	RMSE
Eğitim	0,0066	0,0816
Test	0,0084	0,0918

Bu sonuçlara göre iki aralıkta YSA daha başarılı bir tahmin modeli sağlarken, bir aralıkta NARX en başarılı sonucu vermiştir. Bu Ridge regresyonun, oluşturulan hibrit modelde yer almayacağı anlamına gelmektedir.

Çizelge 2. Herbir bulutluluk indeksi aralığında yöntemlerin RMSE performas sonuçları

MODELLER	YSA	NARX	RR
0 – 0,35 aralığı	37.5178	39.6467	47.4301
0,35 – 0,7 aralığı	77.9898	78.0229	85.9685
0,7 – 1 aralığı	55.6163	51.4604	53.5455

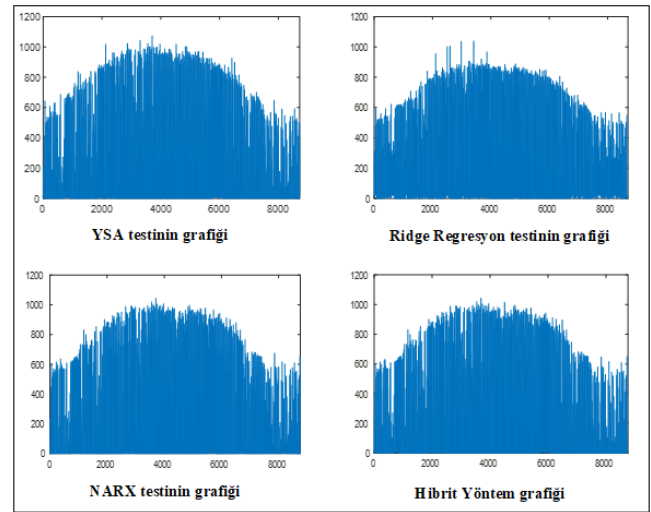
Hibrit yöneme ait tüm parametreler belirlendikten sonra test verisi kullanılarak güneş radyasyonu hem hibrit yöntem hem de seçilen 3 yöntem ile tahmin edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3’te sunulmuştur. Çizelge 3 incelendiğinde, önerilen hibrit yöntemin, herbir yöntemin bireysel olarak kullanıldığı duruma göre daha başarılı sonuçlar sağladığı görülmektedir. Önerilen hibrit yöntemi sırasıyla NARX, YSA ve RR takip etmektedir. Herbir yöneme ait tahmin sonuçlarını gösteren grafik ise Şekil 6’da sunulmaktadır.

Eğitim ve test aşamasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, önerilen yöntemin başarısı daha iyi

anlaşılmaktadır. Eğitim verisinde genel itibari ile YSA’nın RR ve NARX’e göre daha başarılı bir performans sergilediği gözlenirken, test verisinde NARX’in YSA’dan daha başarılı sonuçlar sağladığı görülmektedir. RR’nun performansında ise ciddi bir düşüş görülmektedir. Bu farklılığın temel sebebinin eğitim ve test verisi arasındaki farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Ancak hibrit yöntemin, bireysel yöntemlerin güçlü taraflarından faydalanması kabiliyeti sayesinde, hibrit yöntem en başarılı performansı sağlamıştır. Bu sonuçlar oluşturulan hibrit yöntem ile amaca ulaşıldığını göstermektedir.

Çizelge 3. Modellerin performanslarının karşılaştırılması

Kullanılan Yöntem	Değerlendirme Parametreleri	
	MSE	RMSE
RR	14356.3531	119.8180
NARX	3476.6353	58.9630
YSA	4577.9161	67.6603
Önerilen Yöntem	3355.8733	57.9299



Şekil 6. Kullanılan yöntemlere ait tahmin sonuçları grafiği

4. Tartışma Ve Sonuç

Bu çalışmada, saatlik güneş radyasyonu tahmini için yeni bir hibrit sinir ağı modeli önerilmiştir. Önerilen hibrit yöntemde, öncelikli olarak bulutluluk indeksi tahmin edilir ve tahmin edilen bulutluluk indeksin yer aldığı aralığa göre kullanılacak yöneme karar verilir. Hibrit modelin başarısındaki kritik aşamalardan bir tanesi, bulutluluk indeksinin başarılı bir şekilde tahmin edilmesidir. Bulutluluk

indeksinin tahmininde 0,0918 RMSE değeri elde edilmiştir. Önerilen hibrit yöntemde önce bulutluluk indeksi tahmin edilir, sonra tahmin edilen bulutluluk indeksine karşılık gelen model ile güneş ışınımı tahmin edilir. Bu kapsamda YSA, NARX ve RR yöntemleri baz alınarak geliştirilen hibrit yöntemin performansı, bu üç yöntemin bireysel olarak kullanıldığı durumdaki performans ile karşılaştırılmış ve en başarılı sonuçlar önerilen hibrit yöntem ile elde edilmiştir. Önerilen hibrit yöntem ile elde edilen RMSE değeri (57,92 W/m²) ona en yakın sonucu veren NARX'e göre yaklaşık %1,76 daha başarılı performansı ifade etmektedir. Bu sonuçlar, seçilen üç yöntemin bireysel kullanımına göre daha başarılı bir hibrit yöntem geliştirildiğini göstermektedir. Burada bir hibrit yöntem oluşturma yaklaşımı sunulmaktadır. Dolayısıyla daha farklı modeller kullanmak yada kullanılan modellerin başarısını artırmak, hibrit yöntemin başarısını artıracaktır. Bu konunun ise gelecek çalışmalar için iyi bir araştırma konusu olduğu düşünülmektedir.

6. Kaynaklar

- Akarslan, E. and Hocaoglu, F.O., 2018. Bir Fotovoltaik Güç Sisteminin Üretimine Çok Boyutlu Tahmin Filtreleri ile Modellenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **18(2)**, 516-522.
- Akarslan, E. and Hocaoglu, F.O., 2017. A novel method based on similarity for hourly solar irradiance forecasting. *Renewable Energy*, **112**, 337-346.
- Assas, O., Bouzgou, H., Fetah, S., Salmi, M. and Boursas, A., 2014, January. Use of the artificial neural network and meteorological data for predicting daily global solar radiation in Djelfa, Algeria. In 2014 International Conference on Composite Materials & Renewable Energy Applications (ICCMREA) (1-5). IEEE.
- Al-Enezi, J.R., Abbod, M.F. and Alsharhan, S., 2010. Artificial immune systems-models, algorithms and applications. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences (IJRRAS)*, **3(2)**, 118-131.
- Azimi, R., Ghayekhloo, M. and Ghofrani, M., 2016. A hybrid method based on a new clustering technique and multilayer perceptron neural networks for hourly solar radiation forecasting. *Energy Conversion and Management*, **118**, 331-344.
- Boussaada, Z., Remaci, A., Curea, O., Camblong, H. and Bellaaj, N., 2017, June. Prediction of the daily direct solar radiation using nonlinear autoregressive exogenous (narx) network model. In SEEP 2017-10th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection.
- Bounoua, Z. and Mechaqrane, A., 2018, December. Prediction of daily global horizontal solar irradiation using artificial neural networks and commonly measured meteorological parameters. In *AIP Conference Proceedings*, **2056(1)**, 020024. AIP Publishing LLC.
- Dong, Z., Yang, D., Reindl, T. and Walsh, W.M., 2014. Satellite image analysis and a hybrid ESSS/ANN model to forecast solar irradiance in the tropics. *Energy Conversion and Management*, **79**, 66-73.
- Di Piazza, A., Di Piazza, M.C. and Vitale, G., 2016. Solar and wind forecasting by NARX neural networks. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, **1**, 39.
- Hepbasli, A. and Alsuhaibani, Z., 2011. A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia. *Renewable and sustainable energy reviews*, **15(9)**, 5021-5050.
- Hoerl, A.E. and Kennard, R.W., 1970. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, **12(1)**, 55-67.
- Haykin, S. and Network, N., 2004. A comprehensive foundation. *Neural networks*, **2(2004)**, 41.
- Jain, A., Mehta, R. and Mittal, S.K., 2011. Modeling impact of solar radiation on site selection for solar PV power plants in India. *International Journal of Green Energy*, **8(4)**, 486-498.
- Khorasanizadeh, H., Mohammadi, K. and Aghaei, A., 2014. The potential and characteristics of solar energy in Yazd Province, Iran. *Iranica Journal of Energy & Environment*, **5(2)**, 173-183.
- Kumar, R. and Umanand, L., 2005. Estimation of global radiation using clearness index model for sizing photovoltaic system. *Renewable Energy*, **30(15)**, 2221-2233.
- Liu, B.Y. and Jordan, R.C., 1960. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar energy*, **4(3)**, 1-19.
- Mohanty, S., Patra, P.K. and Sahoo, S.S., 2015, December. Prediction of global solar radiation using nonlinear auto regressive network with exogenous inputs (narx). In 2015 39th National Systems Conference (NSC) (1-6). IEEE.

- Nazaripouya, H., Wang, B., Wang, Y., Chu, P., Pota, H.R. and Gadh, R., 2016, May. Univariate time series prediction of solar power using a hybrid wavelet-ARMA-NARX prediction method. In 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D) (1-5). IEEE.
- Owusu, P.A. and Asumadu-Sarkodie, S., 2016. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, **3(1)**, 1167990.
- Pisoni, E., Farina, M., Carnevale, C. and Piroddi, L., 2009. Forecasting peak air pollution levels using NARX models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **22(4-5)**, 593-602.
- Sansa, I. and Bellaaj, N.M., 2018. Solar Radiation Prediction Using NARX Model. *In Advanced Applications for Artificial Neural Networks. IntechOpen*.
- Tikyaa, E.V., Echi, M.I., Isikwue, B.C. and Amah, A.N., 2018. A hybrid SARIMA-NARX nonlinear dynamics model for predicting solar radiation in Makurdi. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, **4(2)**, 35-47.
- Voyant, C., Muselli, M., Paoli, C. and Nivet, M.L., 2011. Optimization of an artificial neural network dedicated to the multivariate forecasting of daily global radiation. *Energy*, **36(1)**, 348-359.
- Yadav, A.K. and Chandel, S.S., 2014. Solar radiation prediction using Artificial Neural Network techniques: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, **33**, 772-781.
- Zameer, A., Shahid, F., Afzal, M., & Hassan, M., 2020. Intelligent forecast models for daily solar energy prediction. <https://www.researchgate.net/profile/Aneela-Zameer/publication/346555161>. Accessed: 10.01.2022
- Zhang, W.Y., Zhao, Z.B., Han, T.T. and Kong, L.B., 2011, September. Short term wind speed forecasting for wind farms using an improved autoregression method. In 2011 *International Conference of Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences* , **1**, 195-198.