


Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin İllerinde Yatay Yüzeydeki Aylık Ortalama Küresel Güneş Radyasyonunun Tahmini

Muhittin Şahan¹ 

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye

Geliş Tarihi / Received Date: 03.05.2025

Kabul Tarihi / Accepted Date: 22.05.2026

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin meteoroloji istasyonları için yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam güneş radyasyonunu tahmin etmek amacıyla dört farklı ampirik model geliştirilmiştir. Modeller, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MGM) elde edilen güneşlenme süresi, bağıl nem, sıcaklık ve yerel enlem verileri kullanılarak oluşturulmuş ve bu modellerin yıllık değişimleri analiz edilmiştir. Her modele ait ampirik katsayılar en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Geliştirilen modellerin performansı altı farklı istatistiksel yöntem (R^2 , r , MSE, RMSE, MABE ve MAPE) kullanılarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır ve daha sonra her bir istasyon için en uygun model belirlenmiştir. Buna göre, toplam güneş radyasyonu tahmininde Adıyaman ve Mardin istasyonları için sıcaklık ve bağıl neme dayalı regresyon modelinin (Model-2) ve Diyarbakır ve Şanlıurfa istasyonları için S/S_0 'a dayalı ikinci dereceden regresyon modelinin (Model-1) en yüksek korelasyon katsayısına (>%99) sahip olduğunu göstermiştir. Bu modellerden elde edilen sonuçlara göre yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin istasyonları için sırasıyla 12.70 MJ/m²/gün, 17.10 MJ/m²/gün, 16.10 MJ/m²/gün ve 18.03 MJ/m²/gün olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar modellerden elde edilen tahminler ile MGM'den ölçülen değerler arasında mükemmel bir uyum bulunduğunu göstermiştir. Böylece geliştirilen modeller, toplam güneş radyasyonu verisi bulunmayan benzer iklim koşullarına sahip alanlar, özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki alanlarda, toplam güneş enerjisini tahmin etmek için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: toplam güneş radyasyonu, güneş radyasyonu tahmin modelleri, güneşlenme süresi, istatistik

Estimation of Monthly Average Global Solar Radiation on Horizontal Surface Over Adıyaman, Diyarbakır, Sanliurfa and Mardin Provinces in Southeastern Anatolia Region

Abstract

In this study, four different empirical models were developed to estimate the monthly average daily global solar radiation on a horizontal surface for the meteorological stations located in Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa, and Mardin in the Southeastern Anatolia Region of Türkiye. The models were established using sunshine duration, relative humidity, temperature, and local latitude data obtained from the Turkish State Meteorological Service (TSMS), and annual variations were analyzed. The empirical coefficients of each model were determined using the least squares method. The performance of the developed models was evaluated and compared using six different statistical methods (namely, R^2 , r , MSE, RMSE, MABE and MAPE) and then the most suitable model was determined for each station. The results indicated that it was found that the Model-2 based on temperature and relative humidity for Adıyaman and Mardin stations and Model-1 based on S/S_0 for Diyarbakır and Sanliurfa stations had the highest correlation coefficient (>99%). According to the results obtained from these models, the annual average solar energy potential for the Adıyaman, Diyarbakır, Sanliurfa, and Mardin stations has been determined as 12.70 MJ/m²/day, 17.10 MJ/m²/day, 16.10 MJ/m²/day and 18.03 MJ/m²/day, respectively. These results showed that good agreement was found between the estimated from models and the measured values from TSMS. Thus, the four different models developed can be used to estimate total solar energy for selected areas with similar climatic conditions where global solar radiation data is unavailable, particularly areas in the Southeastern Anatolia Region.

Keywords: global solar radiation, solar radiation estimation models, sunshine duration, statistics

Giriş

Gelişen teknolojiye bağlı olarak bugün dünyada önemi giderek artan enerji, tarımda, sanayide, konutlarda vb. birçok alanda en önemli girdilerden biri olmuştur. Enerjiye olan talebin giderek artması sonucu yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaya başlanılmıştır. Buna bağlı olarak da kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklardan elde edilen fosil enerji kaynaklarının da giderek azalması sonucu, son yıllarda tüm dünyada yenilenebilir yeni enerji kaynaklarına yönelmeye başlanılmıştır. Küresel, ekonomik ve politik ikilemlerin yanı sıra hava, su ve topraktaki endişe verici aşırı kirlilik seviyeleri nedeniyle, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir ve sürdürülebilir yeni enerji kaynakları giderek daha fazla ilgi görmektedir. Çevre dostu, uygun maliyetli ve ucuz seçeneklerden biri olan Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak her zamankinden daha popüler hale gelmiştir (Zameer vd. 2020, 2023). Güneş enerjisi alışlagelmiş enerji kaynaklarına bir alternatif olarak ekonomik öneme sahiptir. Sınırsız, çevre dostu ve ekonomik öneme sahip olmasından dolayı, güneş enerjisine olan talep ve bundan yararlanma amaçlı yatırımlar günden güne artmaktadır. Güneş enerjisini en düşük maliyetle en yüksek verim elde etmek için bir bölgeye gelen güneş ışınımı şiddetinin ölçümünün doğru ve güvenilir bir şekilde yapılması ve yatırımların buna göre yapılması gerekmektedir (Bannani vd., 2006; Gopinathau vd., 1992; Shaltout vd., 1998; Şahan ve Emrahoğlu, 2021; Teyabeen vd., 2024; Wang vd. 2019).

Bir bölge için yüzeye gelen toplam güneş enerji miktarı ve dağılımı, güneş enerjisi kullanımı için birincil değişkendir. Bu nedenle, ölçüm yapılacak coğrafik bir bölge için yüzeye gelen toplam güneş enerji miktarının bilinmesi ve güneş enerjisinin verimli kullanılması için ilgilenilen bölgenin güneş enerjisi (veya radyasyonu, ışınımı) verilerinin düzenli olarak ölçülmesi ve takip edilmesi gerekmektedir. Bugün, dünyanın pek çok bölgesinde doğru ve güvenilir ölçüm yapan güneş enerjisi ölçüm cihazlarının çok pahalı olması nedeniyle bu bölgelerde mevcut güneş enerjisi verilerine ulaşmak oldukça zordur ve dolayısıyla uzun yıllara dayanan ölçülmüş güneş enerjisi verileri mevcut değildir. Bu nedenle, güneş enerjisi verilerinin olmadığı bölgelerde meteorolojik ve coğrafik veriler kullanılarak o bölgeye en uygun güneş enerjisi modelleri geliştirilerek güneş enerjisi tahmin etme çalışmaları yapılmaktadır (Akınoğlu ve Ecevit, 1990; Almorox ve Hontoria, 2004; Ångstrom, 1924; Ballı vd., 2007; Chegaar ve Chibani, 2000; De Jong ve Stewart, 1993; Duffie ve Beckman, 2013; Gana ve Akpootu, 2013; Jin vd., 2005; Mubiru vd., 2007; Namrata vd., 2013; Ogelman ve Ecevit, 1984; Rietveld, 1978; Toğrul ve Toğrul, 2002).

Güvenilir güneş radyasyonu verilerinin yokluğu veya yetersizliği göz önüne alındığında, küresel güneş radyasyonunu tahmin etmek için ampirik modellere duyulan ihtiyaç kaçınılmaz görünmektedir. Bu modellerin geliştirilmesinde, incelenen bölgenin güneşlenme süresi, bağıl nem, sıcaklık ve yerel enlem ve boylam, rakım gibi meteorolojik değerleri kullanan iklimsel parametreler kullanılmaktadır. arasında güneşlenme süresidir. Bu parametrelerden güneşlenme süresi en yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneşlenme süresini kullanan modellere güneş ışığına dayalı modeller denir. Güneş ışığına dayalı modeller yalnızca parlak güneş ışığı saatlerini girdi parametresi olarak kullanırken, diğerleri parlak güneş ışığı saatleriyle birlikte coğrafik ve meteorolojik verileri de kullanır. Bazı modellerde, hava kütlesinin enlemsel ve mevsimsel değişimini yansıtmak için coğrafi ve mevsimsel parametreler de dikkate alınır. (Ahmad ve Ulfat, 2004; Almorox ve Hontoria, 2004; Ballı vd., 2007; Chegaar ve Chibani, 2000; Gana ve Akpootu, 2013; Jin vd., 2005; Mirzabe vd. 2021; Mubiru vd., 2007; Namrata vd., 2013; Ogelman ve Ecevit, 1984; Toğrul ve Toğrul, 2002).

Türkiye’de toplam güneş radyasyonunu tahmin etmek için literatürde çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, bağıl nem ve güneş deklinasyon açısı (Güneş sapma/eğim açısı: δ) gibi parametreler kullanılarak geliştirilen modellerden bazıları aşağıda kısaca verilmiştir. Toğrul ve Onat (1999), Elazığ ilinde aylık ortalama toplam güneş radyasyonu üzerindeki etkisini araştırmak için coğrafi ve meteorolojik parametrelerini kullanmışlar ve 10 farklı model geliştirmişlerdir. Aylık ortalama toplam güneş radyasyonunu -%9 ortalama hata ile tahmin etmek için kullanılmasının geçerliliğini gösterdiğini belirtmişlerdir. Toğrul ve Toğrul (2002), Türkiye’deki yedi meteoroloji istasyon (Antalya, İzmir, Ankara, Aydın, Adana ve Elazığ) için aylık ortalama güneş

ışınımını tahmin etmek için S/S_0 ve S/S_{nh} oranlarını kullanarak modeller geliştirmişler ve geliştirilen denklemlerde yaz ve kış dönemlerini içeren denklemlerin diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Burada S ve S_0 sırasıyla saat biriminde gerçek güneşlenme süresi ve mümkün olan maksimum güneşlenme süresidir. S_{nh} ise bölgenin doğal ufku dikkate alınarak hesaplanan aylık ortalama güneşlenme süresidir. Bakırcı (2017) literatürde önerilen korelasyon modellerini kullanarak Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yayılı durumdaki toplam radyasyonu değerlerinin bulunmadığı on üç il (Ağrı, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Hakkari, Iğdır, Kars, Muş, Erzurum, Malatya, Tunceli, Van) için NASA-SSE değerlerine dayalı yeni uygun modeller geliştirmiştir. Sonuçlar, bazı modellerin yayılı durumdaki radyasyonu tahmin etmede oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Mengeş ve Sonmete (2005) Konya'da yatay düzleme gelen toplam günlük güneş ışınımının aylık ortalama değerlerinin tahmini için bazı modelleri karşılaştırmışlardır. Model tahminleri için 2000-2002 yılları arasında yatay yüzeye gelen güneş enerji değerlerini kullanmışlardır. Çalışılan bölge için Samuel modelinin en iyi sonuç verdiğini ($RMSE_{ort}=0.471$) belirtmişlerdir. Kallioğlu vd. (2017) tarafından Adıyaman ilinin global güneş ışınımını incelemek için beş farklı model geliştirilmiştir. Sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için Bağlı yüzde hata (e), Korelasyon katsayısı (R^2), Ortalama Yüzde Hata (MPE), Mutlak Hata Oranları Ortalaması (MAPE), Ortalama Hata Eğilimi (MBE), Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü (RMSE) Hata ve t-istatistiği (t) gibi istatistiksel yöntemler kullanmışlardır. Analizler sonucunda tahmin edilen ve ölçülen değerler arasında iyi uyum olduğunu görmüşlerdir. Şahan (2021) Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için güneşlenme süresi aylık, sıcaklık ($^{\circ}C$), bağıl nem (BN) ve deklinasyon açısı (δ) gibi parametreler kullanarak aylık olarak yıllık global güneş radyasyonunu tahmin etmek için beş farklı Angström-Prescott tipi regresyon model geliştirmiştir. Şahan ve Emrahoğlu (2021) Osmaniye ili için güneşlenme süresi, sıcaklık, enlem (φ) ve deklinasyon açısı, gibi parametreler kullanılarak aylık olarak yıllık toplam güneş radyasyonunu tahmin etmek için yedi farklı Angström tipi regresyon modeli geliştirmişlerdir. Bu modeller, 8-48 Model Black&White piranometre ölçüm cihazı kullanılarak 2014-2020 arasında ölçülen günlük toplam güneş radyasyonunun aylık ortalama değerleri kullanılarak kalibre edilmiştir.

Güneş enerjisi kullanılarak çalışan sistemlerin tasarım ve projelendirilme çalışmalarının yapılabilmesi için çalışılacak bölgeye ait güneş ışınım verilerinin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada, güneşlenme süresi, iklim koşulları ve coğrafik özellikleri yaklaşık benzer olan ve Türkiye'nin Güneydoğusunda yer alan Adıyaman ($37^{\circ}.76K$, $38^{\circ}.28 D$), Diyarbakır ($37^{\circ}.91K$, $40^{\circ}.21 D$), Şanlıurfa ($37^{\circ}.16K$, $38^{\circ}.79 D$) ve Mardin ($37^{\circ}.31K$, $40^{\circ}.73 D$) istasyonları için iklim özellikleri ve topografik yapıları göz önüne alınarak yatay yüzeylere düşen aylık ortalama günlük toplam güneş radyasyonunu tahmin etmek amacıyla güneşlenme süresi, bağıl nem ve sıcaklık gibi iklim verileri ve yerel enlem değerleri göz önüne alınarak oluşturulan dört farklı ampirik model geliştirilmiş ve bu modeller literatüre kazandırılmıştır. Modellerin geliştirilmesi için katsayılar, en küçük kareler regresyon analizi kullanılarak elde edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Belirli bir yüzeyin gün içinde veya yıl boyunca aldığı toplam güneş enerjisi miktarı, dünya ile güneş arasındaki göreceli uzaklık, atmosfer dışı radyasyon, atmosferik geçirgenlik, dünyanın geometrisi, ilgili yerin coğrafi konumu, güneş yükselme açısı, gerçek güneşlenme süresi, gün batımı saat açısı, bağıl nem, sıcaklık, bulutluluk ve yüzeyin eğimi gibi fiziksel, coğrafik ve meteorolojik faktörlere bağlıdır (Allen vd., 2006; Düzen ve Aydın, 2012; Ertekin ve Evrendilek, 2007).

Güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin ekonomik uygulanabilirliğinin tahmin edilmesi, incelenmesi ve tasarlanmasında toplam güneş radyasyonunun düzgün bir şekilde tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır (El-Metwally, 2005). Güneş enerjisini tahmin etmek için yapılan ilk ampirik model çalışma, sadece güneşlenme sürelerine bağlı olan ve aynı zamanda toplam güneş enerjisinin tahmini için en küçük yüzdelik hata veren Ångstrom (1924) korelasyon modelidir (Ångstrom, 1924; Prescott, 1940). Bir yüzey için tahmin edilen toplam güneş radyasyonu için, Ångstrom tipi regresyon denkleminin genel kabul görmüş biçimi;

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (1)$$

eşitliği ile verilmektedir (Ångstrom, 1924). Burada H ve H_0 sırasıyla yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam güneş radyasyonu ve aylık ortalama günlük atmosfer dışı güneş radyasyonu temsil etmektedir. Burada $K_T=H/H_0$ ilişkisi atmosferin güneş ışınımını ne kadar geçirdiğini gösteren ve boyutsuz bir parametre olan parlaklık/açıklık indeksidir. S ve S_0 ise yukarıda belirtildiği gibi sırasıyla saat biriminde gerçek güneşlenme süresini ve mümkün olan maksimum güneşlenme süresini temsil etmektedir. a ve b ise ampirik katsayılarıdır (Duffie ve Beckman, 2013; Ma ve Iqbal, 1983). Güneşlenme süresi ölçümlerinin yapıldığı bölgelerde toplam ışınımı tahmin etmek için pek çok araştırmacı tarafından Ångstrom eşitliği (Eşitlik 1) sık sık kullanılmıştır (Akınoglu ve Ecevit, 1990; Almorox ve Hontoria, 2004; Benson vd., 1984; Ballı vd., 2007; Bristow ve Campbell, 1984; Chegaar ve Chibani, 2000; De Jong ve Stewart, 1993; Ertekin ve Evrendilek, 2007; Gana ve Akpootu, 2013; Jin vd., 2005; Mubiru vd., 2007; Ogelman ve Ecevit, 1984; Şahin ve Şen, 1998). Daha sonra, yerel enlem ve boylam, yükseklik, bağıl nem, hava sıcaklığı (ortalama, maksimum ve minimum), güneşlenme süresi, güneşin denklinasyon açısı gibi bazı coğrafik ve meteorolojik faktörlere bağlı ve %95'in üzerinde yüksek korelasyona sahip yarı ampirik formüller geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Fan vd., 2019; Jin vd., 2005; Karakoti vd., 2012; Şahan ve Emrahoğlu, 2021).

Bu çalışmada, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden seçilen Adıyaman (37°.76 K, 38°.28 D), Diyarbakır (37°.91 K, 40°.21 D), Şanlıurfa (37°.16 K, 38°.79 D) ve Mardin (37°.31 K, 40°.73 D) istasyonları için yatay yüzeye gelen aylık ortalama toplam güneş ışınım şiddetlerini tahmin etmek için Tablo 1'de verilen yarı ampirik modeller (H_{M1} , H_{M2} , H_{M3} , H_{M4}) geliştirilmiştir. Geliştirilen model denklemlerinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan uzun yıllara ait (1985-2020) güneşlenme süresi, hava sıcaklığı (ortalama, maksimum ve minimum), bağıl nem ve enlem gibi meteorolojik ve coğrafik veriler kullanılmıştır. Tablo 1'de verilen modeller için ampirik sabitler (a_i , b_i , c_i) her istasyon ayrı ayrı verilmiştir. Bu sabitler belirlenirken en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 1'de verilen H_{Mi} ifadeleri yatay düzleme gelen aylık olarak tahmin edilen ortalama toplam güneş radyasyonunu ($MJ/m^2/gün$) temsil etmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi H_0 aylık ortalama günlük atmosfer dışı (extraterrestrial) ışınımı ($MJ/m^2/gün$), S ve S_0 ise sırasıyla aylık olarak gözlenen güneşlenme süresini ve tahmin edilen gün uzunluğunu (saat) temsil etmektedir (S/S_0 güneşlenme süresine) (Duffie ve Beckman, 2013). T_{min} ve T_{mak} sırasıyla minimum ve maksimum sıcaklık, BN bağıl nem ve φ coğrafik enlem değerleridir. Hesaplanan H_0 , S/S_0 değerleri ve MGM'den elde edilen T_{min} ve T_{mak} ve BN değerleri Tablo 2'de her istasyon için verilmiştir.

Atmosfer dışına gelen güneş ışınımı (H_0)

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{3600n}{365} \right) \right] \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \cos \delta \right) \quad (2)$$

eşitliğinde kullanılarak tahmin edilmiştir. Burada, I_{sc} Güneş sabitidir ($1367 W/m^2$), n yılın günleri (1,2,3,...,365), φ ölçüm yapılan yerin derece cinsinden enlemi, δ derece cinsinden deklinasyon açısı, ω_s ise derece cinsinden güneşin doğuş/batış saat açısıdır (Duffie ve Beckman, 2013; Klein, 1977; Ma ve Iqbal, 1983).

Tablo 1 . Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin istasyonları için geliştirilen modeller (H_{M1} , H_{M2} , H_{M3} , H_{M4}) ve Modellerin Regresyon Katsayıları

| Model # | Denklemler | Denklemlerin Katsayıları | | | |
|---------|--|---|--|---|--|
| | | Adıyaman | Diyarbakır | Şanlıurfa | Mardin |
| 1 | $\frac{H_{M1}}{H_0} = a_1 + b_1 \left(\frac{S}{S_0}\right) + c_1 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$ | a ₁ =0.290 b ₁ =0.250 c ₁ =0.080 | a ₁ =0.485 b ₁ =0.186 c ₁ =0.142 | a ₁ =0.430 b ₁ =0.212 c ₁ =0.182 | a ₁ =0.460 b ₁ =0.250 c ₁ =0.200 |
| 2 | $\frac{H_{M2}}{H_0} = a_2 + b_2 (BN) + c_2(T_{mak} - T_{min})$ | a ₂ = 0.342 b ₂ =-0.116 c ₂ =0.012 | a ₂ =0.012 b ₂ =-0.113 c ₂ =0.035 | a ₂ = 0.473 b ₂ =-0.121 c ₂ =0.011 | a ₂ = 0.538 b ₂ = -0.103 c ₂ =0.010 |
| 3 | $\frac{H_{M3}}{H_0} = a_3 + b_3 \left(\frac{S}{S_0}\right) + c_3 \left(\frac{T_{min}}{T_{mak}}\right)$ | a ₃ =0.284 b ₃ =0.020 c ₃ =0.278 | a ₃ =0.380 b ₃ =0.240 c ₃ =0.120 | a ₃ =0.380 b ₃ =0.240 c ₃ =0.120 | a ₃ =0.448 b ₃ =0.044 c ₃ =0.232 |
| 4 | $\frac{H_{M4}}{H_0} = a_4 + b_4 \cos(\varphi) + c_4 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ | a ₄ = 0.510 b ₄ = 0.110 c ₄ =0.036 | a ₄ =0.590 b ₄ =0.150 c ₄ =0.131 | a ₄ = 0.540 b ₄ = 0.150 c ₄ =0.131 | a ₄ =0.680 b ₄ =0.130 c ₄ =0.071 |

Deklinasyon açısı (δ) ve gün uzunluğu ($S_0 = \frac{2}{15} w_s$) sırasıyla aşağıdaki denklemlerden yardımıyla belirlenebilir (Duffie ve Beckman, 2013; Ma ve Iqbal, 1983).

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (3)$$

$$S_0 = \frac{2}{15} w_s = \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\varphi)] \quad (4)$$

Eşitlik 4 ile verilen S_0 değeri bölgenin enlemine (φ) ve deklinasyon açısına (δ) ve dolayısıyla yılın günlerine (n) bağlıdır. Güneş radyasyonu korelasyonlarını karşılaştırmak için çok sayıda istatistiksel yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada Tablo 1’de verilen istasyonlar için geliştirilen modellerin (M_1 - M_4) MGM tarafından ölçülen verilere yeterince uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla, her modelin performans düzeyleri belirlenirken altı farklı istatistiksel hata test yöntemi aynı anda kullanılmıştır. Modellerin performansı aşağıda verilen istatistiksel hata testleri ile değerlendirilmiştir. Bu istatistiksel hata test yöntemleri sırasıyla belirleme katsayısı (R^2), korelasyon katsayısı (r), Hata Kareler Ortalaması (MSE), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE), Ortalama Mutlak Bias Hata (MABE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)’dir (Ahmad ve Tiwari, 2010; Ajayi vd., 2014; Despotovic vd., 2015; Jacovides ve Kontoyiannis, 1995; Mubiru vd., 2007). Kullanılan hata test yöntemleri için genel eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (H_{i\bar{0}} - H_{iM})^2}{\sum_{i=1}^N (H_{i\bar{0}} - \bar{H}_{\bar{0}})^2} \quad (5)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (H_{i\bar{0}} - \bar{H}_{\bar{0}})(H_{iM} - \bar{H}_M)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (H_{i\bar{0}} - \bar{H}_{\bar{0}})^2 \sum_{i=1}^N (H_{iM} - \bar{H}_M)^2}} \quad (6)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{i\bar{O}} - H_{iM})^2 \quad (7)$$

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (H_{iM} - H_{i\bar{O}})^2} \quad (8)$$

$$MABE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_{iM} - H_{i\bar{O}}| \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \left(\frac{H_{i\bar{O}} - H_{iM}}{H_{i\bar{O}}} \right) \times 100 \right| \quad (10)$$

Burada N, veri noktası sayısı, $H_{i\bar{O}}$ ve H_{iM} sırasıyla i. ölçülen ve modellerden tahmin edilen değerlerdir. $\bar{H}_{\bar{O}}$ ve \bar{H}_M ise sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen değerlerin ortalamasını temsil etmektedir (Ajayi vd., 2014; Bakirci, 2021; Hassan vd., 2016; Mirzabe vd., 2021; Ouarda, 2016; Teyabeen vd., 2018).

Bulgular ve Tartışma

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden seçilen Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin istasyonları için yatay yüzeye gelen aylık ortalama toplam güneş ışınım şiddetlerini tahmin etmek için tasarlanan modellerin (H_{M1} , H_{M2} , H_{M3} , H_{M4}) geliştirilmesinde Tablo 2'de verilen parametreler kullanılmıştır. Tablo 2'de aylara göre aylık olarak atmosfer dışı güneş ışınımı H_0 ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$), gerçek güneşlenme süresinin mümkün olan maksimum güneşlenme süresine oranı (S/S_0), sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), yüzde bağıl nem (%BN) ve bunların yıllık ortalamaları verilmiştir. Aylık ortalama gün uzunluğu (S_0) değerleri Eşitlik (4) kullanılarak her il için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ölçülen gerçek güneşlenme süresi (S), minimum sıcaklık (T_{\min}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), maksimum sıcaklık (T_{\max}) ($^{\circ}\text{C}$) ve bağıl nem BN (%) değerleri MGM'nin resmi web sitesinden elde edilmiştir. S/S_0 oranı, güneş ışınımı seviyesini ölçmek ve hava durumunu sınıflandırmak için bir gösterge olarak kabul edilebilir.

Aylık ortalama günlük toplam güneş radyasyonunu tahmin etmek için geliştirilen modellerin uygun bir şekilde sınıflandırılması ve ölçülen değerler ile arasındaki korelasyona bakmak için kullanılan istatistiksel hata değerleri (R^2 , r , RMSE, MABE, MSE ve MAPE) hesaplanmış ve istatistiksel göstergelerin performans sonuçları Tablo 3'te verilmiş ve karşılaştırılmalar yapılmıştır. R^2 ve r korelasyon katsayısı değerlerinin en yüksek RMSE, MABE, MSE ve MAPE değerlerinin ise en düşük olması bir modelin daha iyi bir model olduğunu göstermektedir. Tablo 3'ten en iyi performans sıralaması (rank=1,2,3,4) r korelasyonuna göre yapılmıştır. İstatistiksel analizden, aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımının tahmini değerlerinin tüm modeller için ölçülen değerlerle iyi bir uyum içinde olduğu görülebilir. Tablo 3'te gösterildiği gibi, dört modelden elde edilen R^2 ve r değerlerinin sırasıyla $\%98.15 < R^2 < \%99.46$, $\%99.07 < r < \%99.83$ arasında olduğu bulunmuştur. Buna göre tüm modeller için R^2 ve r değerlerinin sırasıyla $\%98$ ve $\%99$ 'dan büyük olduğunu ve dolayısıyla modellerin iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Adıyaman istasyonu için geliştirilen sıcaklık ve nem tabanlı Model-2 ölçülen ve tahmin edilen toplam güneş radyasyonu değerleri arasında güçlü bir pozitif doğrusal ilişki olduğunu gösteren 0.9983 ($\%99.83$) değeriyle en yüksek r değerini verir.

RMSE, MABE, MSE ve MAPE istatistiksel değerlerinin ise sırasıyla $0.4156 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{gün} < \text{RMSE} < 0.9216 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$, $0.3558 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{gün} < \text{MABE} < 0.8167 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$, $0.1727 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{gün} < \text{MSE} < 0.8493 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ve $\%3.2827 < \text{MAPE} < \%6.5222$ aralığında olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen RMSE, MABE, MSE ve MAPE tüm modeller için kabul edilebilir aralıktadırlar.

Tablo 2. Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin İstasyonları için Aylık Ortalama Meteorolojik Girdi Parametreleri

| Aylar | Adıyaman | | | | | | Diyarbakır | | | | | |
|-------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| | H _o | S/S _o | T _{ort} | T _{mak} | T _{min} | BN | H _o | S/S _o | T _{ort} | T _{mak} | T _{min} | BN |
| Oca. | 15.82 | 0.39 | 4.60 | 8.70 | 1.40 | 66.12 | 15.74 | 0.40 | 1.80 | 6.70 | -2.20 | 74.52 |
| Şub. | 20.81 | 0.43 | 6.00 | 10.40 | 2.40 | 59.29 | 20.74 | 0.46 | 3.70 | 9.20 | -1.00 | 70.43 |
| Mar. | 28.32 | 0.49 | 10.00 | 15.00 | 5.60 | 58.62 | 28.26 | 0.48 | 8.30 | 14.50 | 2.50 | 65.09 |
| Nis. | 34.32 | 0.56 | 15.10 | 20.70 | 9.90 | 53.27 | 34.28 | 0.55 | 13.80 | 20.40 | 7.00 | 63.68 |
| May. | 41.25 | 0.66 | 20.60 | 26.80 | 14.40 | 47.29 | 41.24 | 0.68 | 19.30 | 26.70 | 11.30 | 55.87 |
| Haz. | 41.74 | 0.80 | 26.70 | 33.30 | 19.70 | 32.63 | 41.75 | 0.84 | 26.10 | 33.60 | 16.60 | 36.25 |
| Tem. | 43.25 | 0.84 | 31.00 | 37.90 | 23.70 | 28.43 | 43.25 | 0.87 | 31.00 | 38.40 | 21.70 | 27.04 |
| Ağu. | 38.13 | 0.84 | 30.70 | 37.70 | 23.50 | 30.82 | 38.11 | 0.87 | 30.50 | 38.20 | 21.10 | 27.00 |
| Eyl. | 30.09 | 0.79 | 26.00 | 33.10 | 19.10 | 33.38 | 30.04 | 0.82 | 25.10 | 33.30 | 16.00 | 32.45 |
| Eki. | 23.73 | 0.66 | 19.30 | 25.60 | 13.80 | 48.58 | 23.65 | 0.68 | 17.50 | 25.40 | 10.10 | 50.90 |
| Kas. | 17.89 | 0.54 | 11.80 | 17.10 | 7.60 | 59.03 | 17.81 | 0.55 | 9.70 | 16.30 | 4.20 | 66.00 |
| Aral. | 15.18 | 0.40 | 6.60 | 10.70 | 3.40 | 67.98 | 15.09 | 0.41 | 4.00 | 9.20 | -0.20 | 74.77 |
| Ort. | 29.21 | 0.62 | 17.37 | 23.08 | 12.04 | 48.79 | 29.16 | 0.63 | 15.90 | 22.66 | 8.93 | 53.67 |

| Aylar | Şanlıurfa | | | | | | Mardin | | | | | |
|-------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| | H _o | S/S _o | T _{ort} | T _{mak} | T _{min} | BN | H _o | S/S _o | T _{ort} | T _{mak} | T _{min} | BN |
| Oca. | 16.17 | 0.42 | 5.60 | 9.90 | 2.10 | 73.34 | 16.08 | 0.39 | 3.00 | 5.80 | 0.60 | 67.89 |
| Şub. | 21.13 | 0.48 | 7.10 | 12.00 | 2.90 | 64.21 | 21.05 | 0.43 | 4.20 | 7.30 | 1.40 | 61.30 |
| Mar. | 28.58 | 0.54 | 10.90 | 16.40 | 5.80 | 65.63 | 28.52 | 0.49 | 8.00 | 11.60 | 4.70 | 55.31 |
| Nis. | 34.46 | 0.60 | 16.20 | 22.30 | 10.30 | 62.05 | 34.42 | 0.56 | 13.40 | 17.30 | 9.70 | 47.88 |
| May. | 41.29 | 0.72 | 22.30 | 28.80 | 15.30 | 56.55 | 41.28 | 0.22 | 19.50 | 24.00 | 16.10 | 42.36 |
| Haz. | 41.72 | 0.83 | 28.10 | 34.70 | 20.50 | 40.29 | 41.72 | 0.80 | 25.60 | 30.60 | 20.30 | 25.91 |
| Tem. | 43.25 | 0.86 | 32.00 | 38.80 | 24.30 | 35.47 | 43.25 | 0.84 | 29.80 | 35.00 | 24.50 | 19.79 |
| Ağu. | 38.23 | 0.84 | 31.60 | 38.40 | 24.00 | 36.41 | 38.21 | 0.84 | 29.60 | 34.70 | 24.70 | 21.09 |
| Eyl. | 30.30 | 0.82 | 27.20 | 34.00 | 20.00 | 40.44 | 30.25 | 0.79 | 25.30 | 30.10 | 20.80 | 24.94 |
| Eki. | 24.04 | 0.72 | 20.60 | 27.10 | 14.60 | 57.20 | 23.96 | 0.66 | 18.60 | 22.90 | 14.70 | 38.86 |
| Kas. | 18.25 | 0.58 | 13.10 | 18.80 | 8.50 | 64.39 | 18.16 | 0.54 | 11.10 | 14.50 | 8.10 | 53.53 |
| Aral. | 15.55 | 0.42 | 7.60 | 12.00 | 4.00 | 73.55 | 15.45 | 0.40 | 5.40 | 8.10 | 2.90 | 61.83 |
| Ort. | 29.41 | 0.65 | 18.53 | 24.43 | 12.69 | 55.79 | 29.36 | 0.58 | 16.13 | 20.16 | 12.38 | 43.39 |

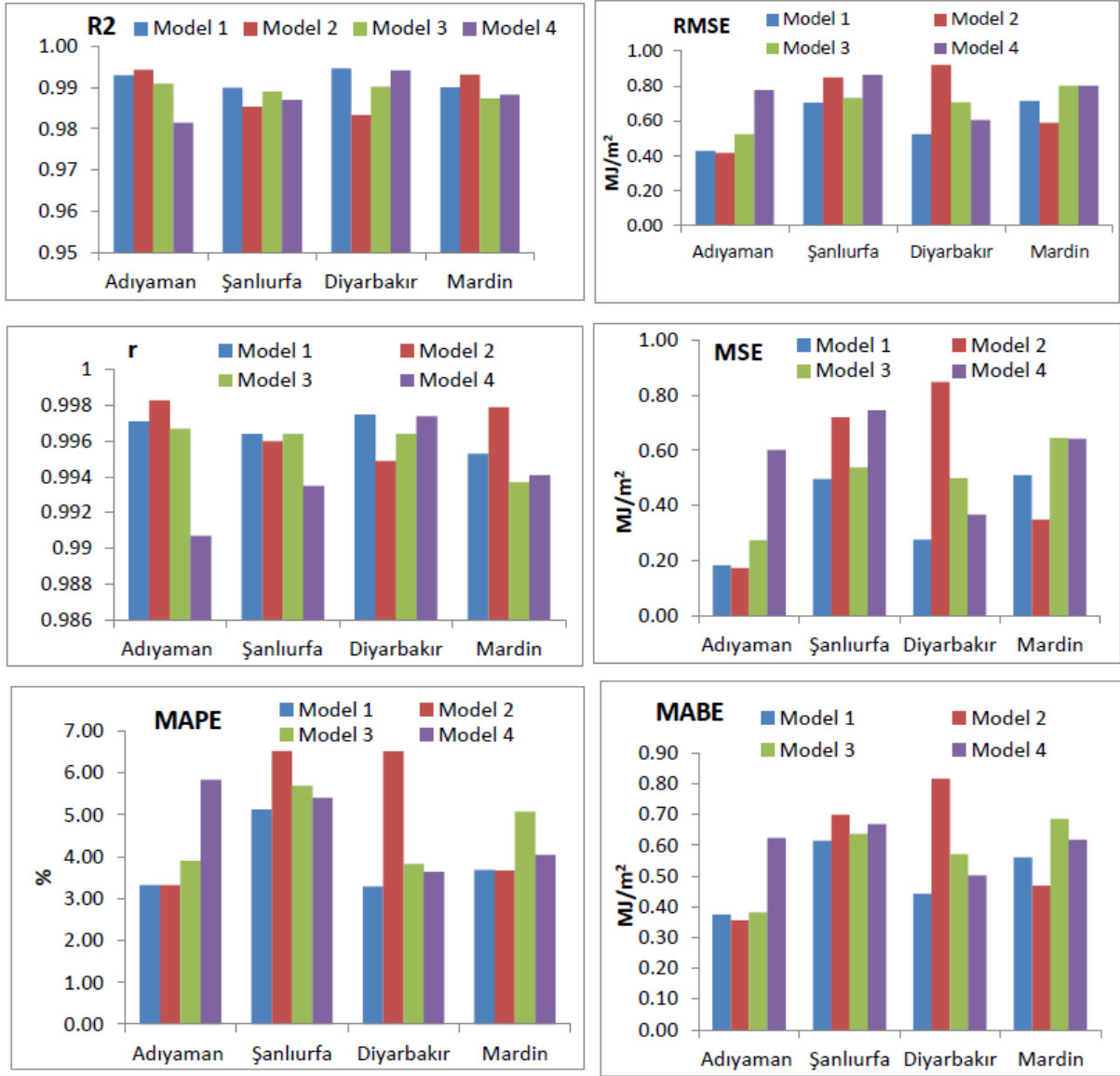
Tablo 3'te verilen dört istasyon için belirlenen tüm modellere (Model 1- Model 4) ait R^2 , r , RMSE, MSE, MAPE ve MAPE istatistiksel gösterge değerleri arasındaki karşılaştırmaları Şekil 1'de verilmiştir. Tablo 3 ve Şekil 1'de açıkça görüleceği gibi R^2 , r korelasyon göstergelerinin en yüksek ve RMSE, MSE, MAPE ve MAPE göstergelerinin en düşük olduğu model, Adıyaman ve Mardin istasyonları için "Model-2" ve Diyarbakır ve Şanlıurfa istasyonları için "Model-1" olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 1'de verilen dört istasyon için belirlenen modeller (Model 1- Model 4) yatay yüzeylere gelen günlük toplam güneş radyasyonunun yıllık ortalamasını hesaplamak için de kullanılmış ve Tablo 3'teki istatistiksel göstergelere göre tahmin edilen ve ölçülen aylık ortalama günlük toplam güneş enerjisi değerleri ($MJ/m^2/gün$) aylara göre Tablo 4'te ve Şekil 2'de verilmiştir. Tablo 4'ün son sütununda ölçülen ve modellerden hesaplanan aylık toplam güneş ışınımı değerlerinin ortalamaları verilmiştir.

Tablo 3. Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin İstasyonları için Geliştirilen Modellere Ait İstatistiksel Göstergeler

| Site | Model | R ² (0≤R≤1) | r (0≤r≤1) | RMSE (MJ/m ² /gün) | MABE (MJ/m ² /gün) | MSE (MJ/m ² /gün) | MAPE (%) | Rank |
|------------|-------|---------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------|------|
| Adıyaman | 1 | 0.9930 | 0.9971 | 0.4284 | 0.3750 | 0.1835 | 3.3221 | 2 |
| | 2 | 0.9943 | 0.9983 | 0.4156 | 0.3558 | 0.1727 | 3.3215 | 1 |
| | 3 | 0.9909 | 0.9967 | 0.5221 | 0.3808 | 0.2726 | 3.8978 | 3 |
| | 4 | 0.9815 | 0.9907 | 0.7758 | 0.6242 | 0.6019 | 5.8358 | 4 |
| Diyarbakır | 1 | 0.9946 | 0.9975 | 0.5248 | 0.4425 | 0.2754 | 3.2827 | 1 |
| | 2 | 0.9833 | 0.9949 | 0.9216 | 0.8167 | 0.8493 | 6.5060 | 4 |
| | 3 | 0.9902 | 0.9964 | 0.7056 | 0.5708 | 0.4978 | 3.8241 | 3 |
| | 4 | 0.9941 | 0.9974 | 0.6051 | 0.5025 | 0.3661 | 3.6314 | 2 |
| Urfa | 1 | 0.9899 | 0.9964 | 0.7040 | 0.6150 | 0.4957 | 5.1286 | 1 |
| | 2 | 0.9853 | 0.9960 | 0.8488 | 0.6992 | 0.7205 | 6.5222 | 3 |
| | 3 | 0.9890 | 0.9964 | 0.7334 | 0.6375 | 0.5379 | 5.695 | 2 |
| | 4 | 0.9870 | 0.9935 | 0.8632 | 0.6700 | 0.7450 | 5.4026 | 4 |
| Mardin | 1 | 0.9900 | 0.9953 | 0.7141 | 0.5600 | 0.5100 | 3.6848 | 2 |
| | 2 | 0.9931 | 0.9979 | 0.5908 | 0.4683 | 0.3491 | 3.6717 | 1 |
| | 3 | 0.9873 | 0.9937 | 0.8025 | 0.6867 | 0.6439 | 5.0748 | 4 |
| | 4 | 0.9882 | 0.9941 | 0.8016 | 0.6183 | 0.6425 | 4.0359 | 3 |

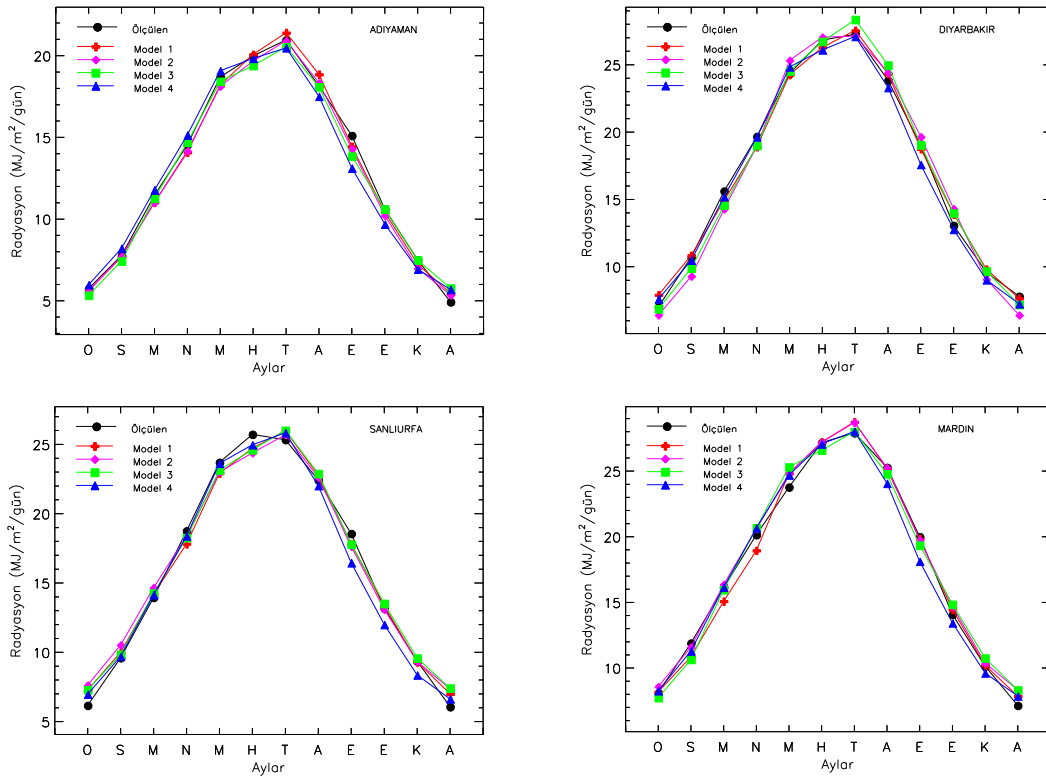
Tablo 4'te modellerden hesaplanan değerler ile ölçülen değerler arasındaki ilişkiye korelasyon katsayısı (r) kullanarak bakılmıştır. Dört istasyon için tahmin edilen ve ölçülen ortalama güneş ışınım şiddetleri arasındaki korelasyon ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir. Her model için korelasyon katsayısı (r) değerleri grafiklerin sol üst köşelerinde verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi her bir istasyon için yapılan değerlendirmeler, regresyon modellerinin sonuçlarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu (>%99) göstermektedir.

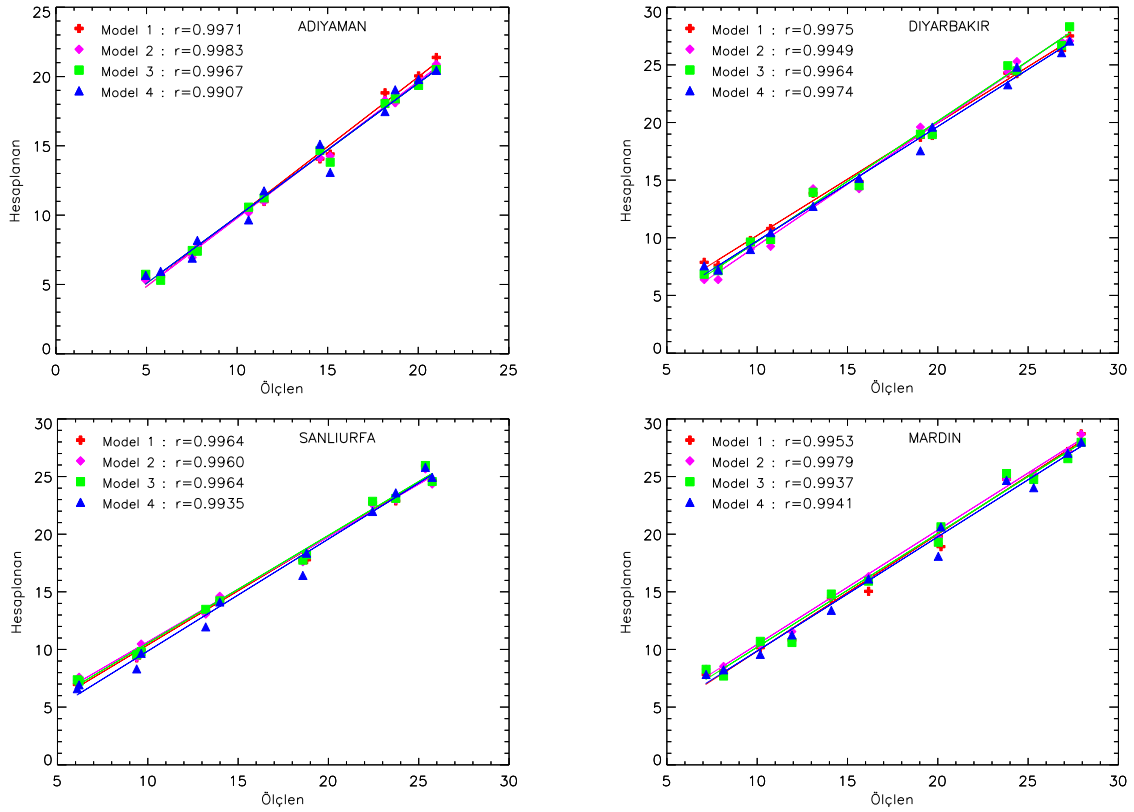


Şekil 1. Dört il için Belirlenen Modellerin (Model 1- Model 4) İstatistiksel Göstergeler Arasındaki Karşılaştırmalar

Tablo 4. Dört İstasyon için Modellerden Tahmin Hesaplanan ve Ölçülen Aylık Toplam Güneş Işınımı ($MJ/M^2/Gün$) ve Aylık Ortalama Değerleri

| İl | Ay | Oca. | Şub. | Mar. | Nis. | May. | Haz. | Tem. | Ağu. | Eyl. | Eki. | Kas. | Ara. | Ort. |
|------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Adıyaman | Ölçülen | 5.75 | 7.78 | 11.46 | 14.55 | 18.70 | 19.99 | 20.97 | 18.14 | 15.11 | 10.61 | 7.50 | 4.93 | 12.96 |
| | Model 1 | 5.62 | 7.68 | 11.02 | 14.09 | 18.21 | 20.08 | 21.41 | 18.86 | 14.45 | 10.42 | 7.24 | 5.45 | 12.88 |
| | Model 2 | 5.61 | 7.73 | 11.03 | 14.17 | 18.13 | 19.67 | 20.92 | 18.33 | 14.30 | 10.22 | 6.98 | 5.35 | 12.70 |
| | Model 3 | 5.33 | 7.43 | 11.27 | 14.70 | 18.43 | 19.39 | 20.54 | 18.09 | 13.85 | 10.61 | 7.49 | 5.77 | 12.74 |
| | Model 4 | 5.98 | 8.21 | 11.79 | 15.15 | 19.08 | 19.83 | 20.48 | 17.51 | 13.12 | 9.69 | 6.93 | 5.69 | 12.79 |
| Diyarbakır | Ölçülen | 7.04 | 10.72 | 15.62 | 19.67 | 24.35 | 26.83 | 27.27 | 23.85 | 19.01 | 13.07 | 9.60 | 7.81 | 17.07 |
| | Model 1 | 7.92 | 10.85 | 14.92 | 18.91 | 24.27 | 26.29 | 27.55 | 24.33 | 18.76 | 13.91 | 9.82 | 7.66 | 17.10 |
| | Model 2 | 6.42 | 9.30 | 14.29 | 18.96 | 25.33 | 27.05 | 27.12 | 24.43 | 19.65 | 14.31 | 9.08 | 6.42 | 16.86 |
| | Model 3 | 6.88 | 9.90 | 14.56 | 19.00 | 24.53 | 26.72 | 28.35 | 24.97 | 19.04 | 13.99 | 9.68 | 7.19 | 17.07 |
| | Model 4 | 7.61 | 10.49 | 15.20 | 19.64 | 24.84 | 26.10 | 27.10 | 23.31 | 17.59 | 12.77 | 9.03 | 7.25 | 16.74 |
| Şanlıurfa | Ölçülen | 6.17 | 9.61 | 13.96 | 18.76 | 23.70 | 25.72 | 25.34 | 22.42 | 18.56 | 13.18 | 9.36 | 6.07 | 16.07 |
| | Model 1 | 7.28 | 10.00 | 14.21 | 17.83 | 22.92 | 24.72 | 25.98 | 22.77 | 17.80 | 13.36 | 9.31 | 7.01 | 16.10 |
| | Model 2 | 7.64 | 10.53 | 14.67 | 18.38 | 23.00 | 24.39 | 25.69 | 22.62 | 17.64 | 13.10 | 9.34 | 7.38 | 16.20 |
| | Model 3 | 7.30 | 9.85 | 14.27 | 18.27 | 23.15 | 24.61 | 26.01 | 22.89 | 17.79 | 13.52 | 9.58 | 7.42 | 16.22 |
| | Model 4 | 6.98 | 9.71 | 14.16 | 18.40 | 23.63 | 24.97 | 25.84 | 22.02 | 16.46 | 12.00 | 8.36 | 6.64 | 15.76 |
| Mardin | Ölçülen | 8.11 | 11.9 | 16.14 | 20.15 | 23.78 | 27.17 | 27.91 | 25.28 | 20 | 14.08 | 10.15 | 7.15 | 17.65 |
| | Model 1 | 8.18 | 10.86 | 15.09 | 18.96 | 24.83 | 27.22 | 28.75 | 25.17 | 19.84 | 14.46 | 10.21 | 7.87 | 17.62 |
| | Model 2 | 8.59 | 11.6 | 16.37 | 20.59 | 24.81 | 27.19 | 28.71 | 25.26 | 19.75 | 14.7 | 10.39 | 8.34 | 18.03 |
| | Model 3 | 7.74 | 10.65 | 15.97 | 20.69 | 25.31 | 26.59 | 28.01 | 24.79 | 19.35 | 14.85 | 10.76 | 8.33 | 17.75 |
| | Model 4 | 8.27 | 11.3 | 16.16 | 20.67 | 24.7 | 27.07 | 28.03 | 24.07 | 18.13 | 13.43 | 9.62 | 7.87 | 17.44 |

**Şekil 2.** Dört İstasyon için Regresyon Modelleri Kullanılarak Gözlenen ve Tahmin Edilen Aylık Ortalama Günlük Toplam Güneş Radyasyonu Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 3. Dört İstasyon için Ölçülen ve Modellerden Tahmin Edilen Ortalama Toplam Güneş Işınım Şiddetlerinin Karşılaştırması

Dört istasyon için belirlenen modeller kullanılarak yatay yüzeylere gelen aylık olarak ortalama yıllık toplam güneş ışınımlarından elde edilen değerlerden her istasyon için hangi modelin en iyi model olduğu ve her istasyon için hava koşulları aşağıdaki alt bölümlerde, ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Adıyaman

Tablo 2’de görüldüğü gibi Adıyaman için yıllık ortalama sıcaklık değeri 17.37 °C olup, aylık ortalama günlük sıcaklık ocak ayında 4.60 °C ile temmuz ayında 31.0 °C ile arasında değişmektedir. Yıllık ortalama bağıl nem değeri %48.79’dir (%28.43<BN<%67.98). Güneşlenme süresi $0.39 < S/S_0 < 0.84$ (ort. 0.62) arasında değişmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü’nün (WMO) sınıflandırmasına göre (Jarraud, 2008), Adıyaman ilinde, hava koşulları Haziran-Eylül aylarında hava koşulları güzel (hava açık) ($0.7 \leq S/S_0 \leq 1.0$) iken diğer aylarda yaygın olarak hava koşulları parçalı bulutlu ($0.3 \leq S/S_0 \leq 0.7$) olduğu görülmektedir. Parlaklık/açıklık indeksi ($K_T = H/H_0$) ise Aralık ayında 0.32 ile Eylül ayında 0.50 arasında değişmektedir.

Tablo 3 ve Şekil 1’de verilen istatistiksel performans göstergelerinin sonuçlarının karşılaştırılmalarına incelendiğinde Adıyaman istasyonu için en yüksek korelasyon katsayısı sıcaklığa ve bağıl neme bağlı regresyon modeli (Model-2) ile %99.83 (rank 1) olarak elde edilirken (Şekil 3), yerel enlem açısına ve S/S_0 ’a balı olan Model-4 %99.07 ile en düşük (rank 4) korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Adıyaman istasyonu için hesaplanan RMSE, MABE, MSE ve MAPE istatistiksel testlerin en düşük (en iyi) değerleri Model-2 için 0.416 MJ/m²/gün, 0.356 MJ/m²/gün, 0.173 MJ/m²/gün, %3.322 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4 ve Şekil 2’de görüldüğü gibi, Adıyaman istasyonu için ölçülen yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu 12.96 MJ/m²/gün’dür. Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 modellerinden hesaplanan yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu ise sırasıyla 12.88 MJ/m²/gün, 12.70 MJ/m²/gün, 12.74 MJ/m²/gün ve 12.79 MJ/m²/gün’dür.

Önerilen dört korelasyondan, Adıyaman istasyonu için %99.83 ile Model-2'nin (Tablo 3 ve Şekil 3) yıllık ortalama güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde en iyi model olduğu ve daha sonra sırasıyla Model 1-3-4 izlediği görülmektedir.

Diyarbakır

Tablo 2'de görüldüğü gibi Diyarbakır için aylık ortalama sıcaklık Ocak ayında 1.80 °C ile Temmuz 31.00 °C arasında değişirken, yıllık ortalama ise 15.90 °C'dir. Aylık ortalama bağıl nem Ağustos ayında %27.00'den Aralık ayında %74.77'e kadar değişirken, yıllık ortalama değer %53.67'dir. Güneşlenme süresi $0.40 < S/S_0 < 0.87$ (ort. 0.63) aralığındadır. Hava koşulları Haziran-Eylül aylarında hava açık ($0.82 \leq S/S_0 \leq 0.87$) iken diğer aylarda yaygın olarak parçalı bulutlu ($0.40 \leq S/S_0 \leq 0.68$) olduğu görülmektedir (Jarraud, 2008). Diyarbakır ili için parlaklık indeksi ($K_T = H/H_0$) ile Aralık ayında 0.45 ile Eylül ayında 0.64 arasında değişmektedir.

Tablo 3 ve Şekil 3'ten Diyarbakır istasyonuna için sıcaklığa ve bağıl neme bağlı regresyon modeli (Model-2) için en düşük korelasyon katsayısına ($r = \%99.49$) (rank 2) sahipken, S/S_0 'e bağlı kuadratik regresyon modeli (Model-1) için en yüksektir ($r = \%99.75$, $R^2 = \%99.46$) (rank 1). Model-1 için en düşük (en iyi) RMSE (0.525 MJ/m²/gün), MABE (0.443 MJ/m²/gün), MSE (0.275 MJ/m²/gün) ve MAPE (%3.283) değerleri elde edilmiştir.

Diyarbakır istasyonu için ölçülen yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu 17.07 MJ/m²/gün'dür. Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 modellerinden hesaplanan yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu ise sırasıyla 17.10 MJ/m²/gün, 16.86 MJ/m²/gün, 17.07 MJ/m²/gün ve 16.74 MJ/m²/gün'dür. Model-1 için yatay bir yüzeydeki aylık ortalama günlük toplam güneş radyasyonun hesaplanan değerleri aralık ayında 7.66 MJ/m²/gün'den temmuz ayında 27.55 MJ/m²/gün'e kadar değişmektedir.

Şanlıurfa

Tablo 2'den Şanlıurfa'da aylık ortalama sıcaklık Ocak ayında 5.60 °C ile Temmuz 32.00 °C arasında değişmektedir (yıllık ortalama 18.53 °C). Bağıl nem miktar %35.47 (Temmuz) ile %73.55 (Aralık) arasındadır. Yıllık ortalama bağıl nem değeri ise %55.79'dir. İncelenen istasyonlar ile karşılaştırıldığında bu istasyonda nem biraz yüksektir. Bu istasyonda güneşlenme süresi oranı (S/S_0) aralık ve ocak aylarında en düşük (0.42) ve temmuz ayında en yüksek (0.86) aralığında olup Mayıs-Ekim ayları arasında hava kalitesi iyi ($0.7 \leq S/S_0 \leq 1.0$), diğer aylarda ise parçalı bulutludur ($0.3 \leq S/S_0 \leq 0.7$) (Jarraud, 2008). Diğer yandan, Şanlıurfa'da istasyonu için K_T değerleri Ocak ayında 0.38 ile Haziran ayında 0.62 arasında değişmektedir.

Tablo 3 ve Şekil 3'ten görüldüğü gibi en yüksek korelasyon katsayısının değerleri kuadratik regresyon modelidir ($r = \%99.64$, $R^2 = \%98.99$) ve dolayısıyla en yüksek doğruluğa sahip (rank 1) model olarak değerlendirilebilir. Enlem ve S/S_0 'a bağlı olan Model-4'i en düşük korelasyon katsayısına (%99.49) ve dolayısıyla en düşük doğruluğa sahip (rank 4) model olarak elde edilmiştir. Şanlıurfa istasyonunda MAPE'nin en düşük ve en yüksek değerleri %5.129 ile %6.522 arasında değişmektedir. Kuadratik regresyon modelinden elde edilen RMSE, MABE, MSE için gerekli en ideal değerler (rank 1) sırasıyla 0.704 MJ/m²/gün, 0.615 MJ/m²/gün, 0.496 MJ/m²/gün iken en zayıf (rank 4) değerler ise sırasıyla 0.863 MJ/m²/gün, 0.670 MJ/m²/gün, 0.745 MJ/m²/gün değerleri sırasıyla üstel ve ikinci dereceden regresyon modellerinden elde edilmiştir.

Şanlıurfa istasyonu için yatay yüzeydeki ölçülen aylık ortalama toplam güneş radyasyonu Aralık ayında 6.07 MJ/m²/gün ile Haziran ayında 25.72 MJ/m²/gün (yıllık ortalama 16.07 MJ/m²/gün) arasındadır. Model-1 için yatay bir yüzeydeki aylık ortalama günlük toplam güneş radyasyonun hesaplanan değerleri aralık ayında 7.01 MJ/m²/gün'den aralık ayında 25.98 MJ/m²/gün'e kadar değişmektedir. Model-2, Model-3, Model-4 modellerinden hesaplanan yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu ise sırasıyla 16.20 MJ/m²/gün, 16.22 MJ/m²/gün ve 15.76 MJ/m²/gün'dür.

Mardin

Tablo 2'den Mardin'de bağıl nem miktar Temmuz'da %19.79 ile ocak'da %67.89 (yıllık ortalama %43.39) arasında değişmiştir. Aylık ortalama sıcaklık Ocak ayında 3.00°C ile Temmuz ayında 29.80°C (yıllık ortalama 16.13 °C). Güneşlenme süresi oranı ise 0.22 (Mayıs)-0.84 (Temmuz) (ortalama 0.58) aralığında olup Mayıs ayında hava kalitesi çok bulutlu ($0.0 \leq S/S_0 \leq 0.3$), Haziran-Eylül ayları arasında hava kalitesi iyi ($0.7 \leq S/S_0 \leq 1.0$) ve diğer kalan aylarda ise parçalı bulutludur ($0.3 \leq S/S_0 \leq 0.7$) (Jarraud, 2008). Mardin ili için parlaklık indeksi (K_T) ile Aralık ayında 0.47 ile Eylül ayında 0.66 arasında değişmektedir.

Tablo 3 ve Şekil 3'ten açıkça görüldüğü gibi, sıcaklığa ve bağıl neme bağlı olan Model-2 en yüksek korelasyon katsayısı ($r = \%99.79$, $R^2 = \%99.31$) değerine ve dolayısıyla en yüksek doğruluğa sahiptir (rank 2). T_{min}/T_{max} ve S/S_0 'a bağlı regresyon modeli (Model-3) en düşük korelasyon katsayısına (0.9937) (rank 4) ve dolayısıyla en düşük doğruluğa sahiptir. İstatistiksel testlerin (RMSE, MABE, MSE ve MAPE) hesaplanan en düşük değerleri Adıyaman istasyonunda için 0.5908 MJ/m²/gün, 0.4683 MJ/m²/gün, 0.3491 MJ/m²/gün, %3.6717 olarak elde edilmiştir.

Mardin istasyonu için ölçülen yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu 17.65 MJ/m²/gün'dür. Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 modellerinden hesaplanan yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu ise sırasıyla 17.62 MJ/m²/gün, 18.03 MJ/m²/gün, 17.75 MJ/m²/gün ve 17.44 MJ/m²/gün'dür. Buradan görüldüğü gibi, dört istasyon için ölçülen ve hesaplanan yıllık ortalama günlük toplam güneş radyasyonu arasında oldukça iyi uyum olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden seçilen Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin istasyonları için geliştirilen dört farklı genel olarak bir birleri ile uyumlu olduğu görülmesine rağmen çok az da olsa bazı farklılıklar olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin yukarıda detaylı olarak açıklandığı gibi her istasyon farklı enlemlere sahip olması, yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarında, bağıl nem oranlarında ve güneşlenme sürelerinde farklılıklar olduğu düşünülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Güneş radyasyonu verileri, bina tasarımcıları, enerji planlamacıları, mühendisler ve tarım bilimcileri için hayati önem taşımaktadır. Literatürde, yatay bir yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam güneş radyasyonunu tahmin eden çeşitli modeller ve korelasyonlar seçilmiş, geliştirilmiş ve hangi modelin önerileceğine karar vermek için test edilmiştir.

Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden seçilen Adıyaman (37°.76 K, 38°.28 D), Diyarbakır (37°.91 K, 40°.21 D), Şanlıurfa (37°.16 K, 38°.79 D) ve Mardin (37°.31 K, 40°.73 D) istasyonları için yatay yüzeyi düşen toplam güneş radyasyonunu tahmin etmek için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Regresyon modellerinin belirlenmesinde MGM'den alınmış uzun yıllara (1985-2020) dayalı güneşlenme sürelerine, T_{min} ve T_{max} sıcaklıklara, bağıl neme ve enleme bağlı parametreler kullanılmış ve dört farklı model geliştirilmiştir. Modellerde kullanılan ilgili ampirik katsayılar (a_i , b_i , c_i) her istasyon için en küçük kareler yöntemi kullanılarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Modellerden tahmin edilen aylık olarak yıllık toplam güneş enerjisi değişimleri ölçülen değerleriyle kıyaslanmıştır. Modellerden tahmin edilen ve ölçülen güneş enerjileri arasındaki uyumuna bakmak için bazı istatistiksel hata test yöntemleri (R^2 , r , RMSE, MABE, MSE ve MAPE gibi) performansları kullanılmış ve modellerin doğruluğu test edilmiştir. İstatistiksel hata test analizlerine göre her il için ölçülen aylık ortalama toplam güneş enerjisi değerlerine en uygun modellere karar verilmiştir. Tüm regresyon denklemleri çok iyi sonuçlar verdiği ve regresyon modellerinin sonuçlarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Diğer yandan RMSE, MABE, MSE ve MAPE gibi her bir hassaslık derecesi aynı istasyonda bir regresyon modelinden diğerine farklı değerler aldığı görülmüştür. Buna göre, Adıyaman ve Mardin istasyonları için sıcaklık ve bağıl neme bağlı olan regresyon modelinin (Model-2), Diyarbakır ve Şanlıurfa illeri için ise S/S_0 'a bağlı kuadratik regresyon modelinin (Model-1) en yüksek korelasyon katsayısı (>%99) değerine ve dolayısıyla en yüksek doğruluğa sahip olduğu bulunmuştur.

Bu modellerden elde edilen toplam güneş radyasyon değerleri belirtilen istasyonlar için ölçülen değerleri ile nispeten daha uyumlu olduğundan bu modeller seçilmiştir.

Adıyaman istasyonu için ölçülen ve Model-2'den hesaplanan yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu sırasıyla 12.96 MJ/m²/gün ve 12.70 MJ/m²/gün'dür. Mardin istasyonu için ölçülen ve Model-2'den hesaplanan yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu sırasıyla 17.65 MJ/m²/gün ve 18.03 MJ/m²/gün'dür. Diyarbakır istasyonu için ölçülen ve Model-1'den hesaplanan yıllık ortalama toplam güneş radyasyon değerleri sırasıyla 17.07 MJ/m²/gün ve 17.10 MJ/m²/gün iken Şanlıurfa istasyonu için bu değerler sırasıyla 16.07 MJ/m²/gün ve 16.10 MJ/m²/gün'dür.

Sonuç olarak, toplam güneş radyasyonunu tahmin etmek için geliştirilen regresyon modelleri üzerinde daha fazla çalışma yapılabilir. Bu çalışmada önerilen modeller, toplam güneş radyasyonunu ölçümlerinin mümkün olmadığı farklı iklim koşullarına sahip olan bölgelerde güneş enerjisi kullanımının geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Muhittin Şahan  <https://orcid.org/0000-0001-6716-8463>

Kaynaklar

- Ahmad, M. J. ve Tiwari, G. N. (2010). Solar radiation models – review. *International Journal of Energy and Environment*, 1(3), 513-532. <https://doi.org/10.1002/er.1690>
- Ahmed, F., & Ulfat, I. (2004). Empirical models for the correlation of monthly average daily global solar radiation with hours of sunshine on a horizontal surface at Karachi, Pakistan. *Turkish Journal of Physics*, 28(5), 301-307. <https://journals.tubitak.gov.tr/physics/vol28/iss5/4>
- Ajayi O. O., Ohijeagbon O. D., Nwadialo C. E. ve Olasope O. (2014). New model to estimate daily global solar radiation over Nigeria. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 5, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2013.11.001>
- Akinoğlu, B. G. ve Ecevit, A. (1990). Construction of a quadratic model using modified Ångström coefficients to estimate global solar radiation, *Solar Energy*, 45(2), 85-92. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(90\)90032-8](https://doi.org/10.1016/0038-092X(90)90032-8)
- Allen, R.G., Trezza, R. ve Tasumi, M. (2006). Analytical integrated functions for daily solar radiation slopes. *Agric. Forest Meteorol*, 139, 55–73. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.05.012>
- Almorox, J. ve Hontoria, C. (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, 45, 1529–1535. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.08.022>
- Ångström, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 50, 121–125. <https://doi.org/10.1002/qj.49705021008>
- Ballı, O., Aras, H., Aras, N. ve Hepbaslı, A. (2007). Estimating and statistically analyzing the global solar radiation potential over big cities in Turkey. *Energy Exploration and Exploitation*, 25 (4), 301-311. <https://doi.org/10.1260/014459807783129895>

- Bakirci, K. (2017) Prediction of global solar radiation and comparison with satellite data. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 152, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.12.002>
- Bakirci, K. (2021). Prediction of diffuse radiation in solar energy applications: turkey case study and compare with satellite data, *Energy*, 237, 121527. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121527>
- Bannani, F. K., Sharif, T. A. ve Ben-Khalifa, A. O. R. (2006). Estimation of monthly average solar radiation in Libya, *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 211–215. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0157-9>
- Benson, R. B., Paris, M.V., Sherry, J. E. ve Justus, C. G. (1984). Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements, *Solar Energy*, 32(4), 523-535. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(84\)90267-6](https://doi.org/10.1016/0038-092X(84)90267-6)
- Bristow, K. L. ve Campbell, G. S. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31, 159–166. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90017-0)
- Chegaar, M. ve Chibani, A. (2000). A Simple method for computing global solar radiation, *Renewable Energy Ren.Chemss*, 111-115. <http://www.docin.com/p-180112482.html>
- De Jong, R. ve Stewart, D. W. (1993). Estimating global solar radiation from common meteorological observations in western Canada. *Can. J. Plant. Sci.*, 73, 509–518. <https://doi.org/10.4141/cjps93-068>
- Despotovic, M. ve Nedic, V., Despotovic, D., Cvetanovic S. (2015). Review and statistical analysis of different global solar radiation sunshine models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1869-1880. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.035>
- Duffie, J. A. ve Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*, (4th ed.), John Wiley and Sons, Inc., New York. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- Duzen, H. ve Aydin, H. (2012). Sunshine-based estimation of global solar radiation on horizontal surface at Lake Van region (Turkey). *Energy Conversion and Management*, 58, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.028>
- El-Metwally, M. (2005). Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67, 1331–1342. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2005.04.004>
- Ertekin, C. ve Evrendilek, F. (2007). Spatiotemporal modelling of global solar radiation dynamics as a function of sunshine duration for Turkey. *Agric Forest Meteorol*, 145, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.04.004>
- Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Cai, H., Ma, X. ve Bai, H. (2019). Evaluation and development of empirical models for estimating daily and monthly mean daily diffuse horizontal solar radiation for different climatic regions of China. *Renew Sustain Energy Rev.*, 105, 168–186. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.040>
- Gana, N. N. ve Akpootu, D. O. (2013). Ångstrom type empirical correlation for estimating global solar radiation in North-Eastern Nigeria. *The International Journal of Engineering And Science (IJES)*, 2(11), 58-78. <https://www.theijes.com/Vol,2,Issue,11.html>
- Gopinathau, K. K. (1992). Solar sky radiation estimation techniques. *Solar Energy*, 49(1), 9-11. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(92\)90120-Y](https://doi.org/10.1016/0038-092X(92)90120-Y)

- Hassan G.E., Youssef M.E, Ali M.A., Mohamed Z.E. ve Shehata A.I. (2016). Performance assessment of different day-of-the-year-based models for estimating global solar radiation- Case study: Egypt. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 149, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.09.011>
- Jacovides, C. P. ve Kontoyiannis, H. (1995). Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. *Agricultural Water Management*, 27(3-4), 365-371. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(95\)01152-9](https://doi.org/10.1016/0378-3774(95)01152-9)
- Jarraud M. (2008). *Guide to meteorological instruments and methods of observation* (WMO-No. 8), World Meteorological Organisation, Geneva, Switzerland, p. 359.
- Jin, Z., Yezheng, W. ve Gang, Y. (2005). General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China. *Energy Conversion and Management*, 46(2), 257-268. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.02.020>
- Kallioğlu, M. A., Ercan, U., Avcı, A. S., Karakaya, H. ve Durmuş, A., (2017). Adıyaman ilinde yatay düzleme gelen global güneş ışınım değerlerinin ampirik modeller ile geliştirilmesi. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 29(1), 151-159. <https://izlik.org/JA48FJ27RX>
- Karakoti I, Das P.K. ve Singh S. K. (2012). Predicting monthly mean daily diffuse radiation for India. *Applied Energy*, 91(1), 412–425. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.012>
- Klein, S. (1977). Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy*, 19(4), 325-329. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(77\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0038-092X(77)90001-9)
- Ma, C.C.Y. ve Iqbal, M. (1983). Statistical comparison of models for estimating solar radiation on inclined surfaces. *Solar Energy*, 31(3), 313–317. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(83\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(83)90019-1)
- Mengeş, H. O. ve Sonmete, M. H. (2005). Konya’da aylık ortalama toplam güneş ışınımının tahmini için mevcut bazı modellerin karşılaştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1(3), 237-244. <https://izlik.org/JA69DS95SC>
- Mirzabe A. H., Hajiahmad A. ve Keyhani A. (2021). Assessment and categorization of empirical models for estimating monthly, daily, and hourly diffuse solar radiation: A case study of Iran, Sustain. *Energy Technol. Assess*, 47, 101330. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101330>
- Shaltout M. A. M., Hassan, A. H. ve Fathy, A. M. (1998). Studying ultraviolet and visible solar radiation over Cairo and Aswan and their correlations with environmental and climatological parameters. *Indian Acad. Sci. (Chem. Sci.)*, 110 (3), 361-371. <https://doi.org/10.1007/BF02870014>
- Mubiru, J., Banda, E. J. K. B., D’Ujanga, F. ve Senyonga, T. (2007). Assessing the performance of global solar radiation empirical formulations in Kampala, Uganda. *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 179-184. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0196-2>
- Namrata, K., Sharma, S. P. ve Saksena, S. B. L. (2013). Comparison of different models for estimation of global solar radiation in Jharkhand (India) region. *Smart Grid and Renewable Energy*, 4, 348-352. <http://dx.doi.org/10.4236/sgre.2013.44041>
- Ogelman, H., Ecevit, A. ve Tasdemiroglu, E. (1984). A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data. *Solar Energy*, 33(6), 19-625. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(84\)90018-5](https://doi.org/10.1016/0038-092X(84)90018-5)
- Ouarda, T. B. M. J., Charron, C. ve Chebana, F. (2016). Review of criteria for the selection of probability distributions for wind speed data and introduction of the moment and L -moment ratio diagram methods, with a case study, *Energy Convers. Manage.* 124, 247–265. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.012>
- Prescott, J.A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans Roy Soc Austr*, 64, 114-118. <https://doi.org/10.2480/agrmet.64.9>

- Rietveld, M. R. (1978). A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating, solar radiation to sunshine. *Agricultural and Forest Meteorology*, 19, 243-252. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(78\)90014-6](https://doi.org/10.1016/0002-1571(78)90014-6)
- Şahan, M., (2021). Yapay sinir ağları ve Angstrom-Prescott denklemleri kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş için global güneş radyasyonu tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 16(2), 368-384. <https://doi.org/10.29233/sdufeffd.953182>
- Şahan, M. ve Emrahoğlu, N. (2021). Osmaniye’de yedi yıllık dönemde yatay yüzeydeki global güneş radyasyonu ölçümleri ve yeni ampirik modeller kullanılarak global güneş radyasyonunun tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 16(2), 349-367. <https://doi.org/10.29233/sdufeffd.938528>
- Şahin, A.D. ve Şen, Z. (1998). Statistical analysis of the Angström formula coefficients and application for Turkey. *Solar Energy*, 62, 1, 29-38. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(97\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(97)00072-8)
- Teyabeen, A. A., Akkari F.R. ve Jwaid, A. E. (2018). Mathematical modelling of wind turbine power curve, *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology* 19 (5), 1–13 . <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.19.05.15>
- Teyabeen, A. A., Elhatmi N. B., Essnid A. A. ve Mohamed F. (2024). Estimation of monthly global solar radiation over twelve major cities of Libya. *Energy and Built Environment* 5, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.07.006>
- Toğrul, I. T. ve Toğrul, H. (2002). Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data. *Renewable Energy*, 25, 55–67. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00197-X](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00197-X)
- Wang, L, Lu Y, Zou L, Feng, L., Wei, J, Qin, W. ve Niu, Z. (2019). Prediction of diffuse solar radiation based on multiple variables in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 151–216. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.029>
- Zameer, A., Shahid, F., Afzal, M. ve Hassan, M., (2020). Intelligent forecast models for daily solar energy prediction. <https://www.researchgate.net/profile/Aneela-Zameer/publication/346555161>
- Zameer, A., Jaffar, F., Shahid, F., Muneeb, M., Khan, R. ve Nasir, R. (2023) Short-term solar energy forecasting: integrated computational intelligence of LSTMs and GRU. *PLoS One* 18(10), e0285410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285410>