

Hava Sıcaklığı ve Extraterrestrial Radyasyona Dayalı Bazı Ampirik Solar Radyasyon Tahmin Modellerinin Kahramanmaraş Koşullarında Karşılaştırılması

Comparison of Some Empirical Solar Radiation Estimation Models Based on Air Temperature and Extraterrestrial Radiation in Kahramanmaraş Conditions

Selçuk Usta 

Öğr. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van, Türkiye

Cafer Gençoğlan 

Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Serpil Gençoğlan 

Doç. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

* Corresponding author: susta@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi /Received: 3.10.2022
Kabul Tarihi /Accepted: 21.11.2022

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.5281/zenodo.7364752

ÖZET

Bu çalışmada, hava sıcaklığı (T) ve extraterrestrial radyasyona (R_a) bağlı olarak günlük ortalama solar radyasyon (R_s) miktarının tahmin edilmesinde kullanılan Bristow – Campbell, Chen, Hargreaves – Samani ve Annandale ampirik modellerinin Kahramanmaraş koşullarına uygun kalibrasyonlarının yapılması ve test edilerek karşılaştırılmaları amaçlanmıştır. Öncelikle Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen T ve R_s verilerinin uzun yıllar ortalaması günlük değerleri kullanılarak (1938 – 2020), Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığıyla modellerin kalibrasyon eşitlikleri oluşturulmuştur. Daha sonra, bu eşitlikler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) kampüsünde 2021 yılı Temmuz – Ekim döneminde ölçülen günlük ortalama T ve R_s verileri ile test edilmiştir. Günlük ortalama R_a değerleri enlem ve zamana bağlı olarak tahmin edilmiştir. Uzun yıllar ortalaması günlük ölçülen R_s değerleri 4.992 – 32.557 MJ/m²/gün aralığında değişmiştir. Benzer şekilde uzun yıllar ortalaması günlük T, R_s ve R_a verileri kullanılarak Bristow – Campbell, Chen, Hargreaves – Samani ve Annandale modellerinin kalibrasyon eşitlikleri ile tahmin edilen günlük R_s değerleri sırasıyla 4.591 – 31.832 MJ/m²/gün, 5.680 – 32.692 MJ/m²/gün, 3.508 – 36.673 MJ/m²/gün ve 3.508 – 36.673 MJ/m²/gün arasında değişmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) değerleri sırasıyla %7.921, %8.016, %10.178 ve %10.178 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde 2021 yılı verileri ile yapılan tahminler için MAPE değerleri sırasıyla %10.192, %10.424, %14.192 ve %14.291 olarak elde edilmiştir. Bristow – Campbell ve Chen modelleri ile doğruluk oranı yaklaşık olarak %90 (MAPE \cong %10) düzeyine ulaşan günlük ortalama solar radyasyon değerleri tahmin edilirken, Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri için bu oran yaklaşık %85 (MAPE \cong %15) düzeyinde gerçekleşmiştir. Yöre koşulları ile uyumlu kalibrasyonları yapılan bu dört model kullanılarak doğruluk oranı yüksek solar radyasyon tahminleri yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava sıcaklığı, kalibrasyon, solar radyasyon, tahmin modeli

ABSTRACT

In this study, it is aimed to calibrating, testing and comparing the Bristow – Campbell, Chen, Annandale and Hargreaves – Samani empirical models, which are used in solar radiation (R_s) estimations based on the air temperature (T) and extraterrestrial radiation (R_a), in accordance with

Kahramanmaraş conditions. First of all, using the long-term average daily values of the T and R_s data measured by the Regional Directorate of Meteorology (1938 – 2020), the calibration equations of the models were created using the Microsoft Excel program solver add-on. Then, these equations were tested by using the daily average T and R_s data measured in Kahramanmaraş Sutcu Imam University (KSU) in the July - October period of 2021. The daily average R_a values were estimated depending on latitude and time. The long-term average measured daily R_s values varied between 4.992 – 32.557 MJ/m²/day. The daily average R_s values estimated by the calibration equations of the Bristow – Campbell, Chen, Hargreaves – Samani and Annandale models using the long-term average daily T, R_s and R_a data varied between 4.591 – 31.832 MJ/m²/day, 5.680 – 32.692 MJ/m²/day, 3.508 – 36.673 MJ/m²/day and 3.508 – 36.673 MJ/m²/day, respectively. The mean absolute percentage error (MAPE) values calculated as an indication of the deviation between the measured and estimated daily average R_s values using the models were determined as 7.921%, 8.016%, 10.178% and 10.178%, respectively. Similarly, the MAPE values for the estimations made with the year 2021 data were obtained as 10.192, 10.424%, 14.192% and 14.291%, respectively. While daily solar radiation values were estimated with an accuracy rate of approximately 90% (MAPE \cong 10%) with Bristow – Campbell and Chen models, this rate was approximately 85% (MAPE \cong 15%) for Hargreaves – Samani and Annandale models. It has been concluded that using these four models, which are calibrated in accordance with the local conditions, daily average solar radiation values can be estimated with high accuracy.

Keywords: Air temperature, calibration, solar radiation, estimation model

1. GİRİŞ

Birçok mühendislik uygulamasının en önemli verilerinden bir tanesi de solar radyasyondur. Bununla birlikte sulama ve drenaj sistemleri ile gölet ve barajların projelendirilmesi, kuraklığın izlenmesi ve yer altı suyu havzalarının emniyetli veriminin tahmin edilmesi gibi birçok hidrolojik uygulamanın en temel verisini oluşturan evapotranspirasyon solar radyasyonun yaklaşık olarak beşte üçünü kullanmaktadır (Wang ve Dickinson, 2012). Gün geçtikçe artan dünya nüfusuna paralel olarak fosil yakıt kullanımının artması ve dolayısıyla yakıt rezervlerin azalması, yenilenebilir temiz enerji kaynağı olarak solar radyasyonu daha da önemli hale getirmektedir. Bir yılda yeryüzüne ulaşan toplam solar radyasyonun sağladığı enerji miktarının yeryüzündeki tüm fosil yakıtların sağlayacağı toplam enerjiden çok daha fazla olduğu birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Özdemir, 2012). Böylesine büyük bir enerjiden en yüksek düzeyde verim sağlanabilmesi için doğru ölçülen veya doğru tahmin edilen solar radyasyon verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

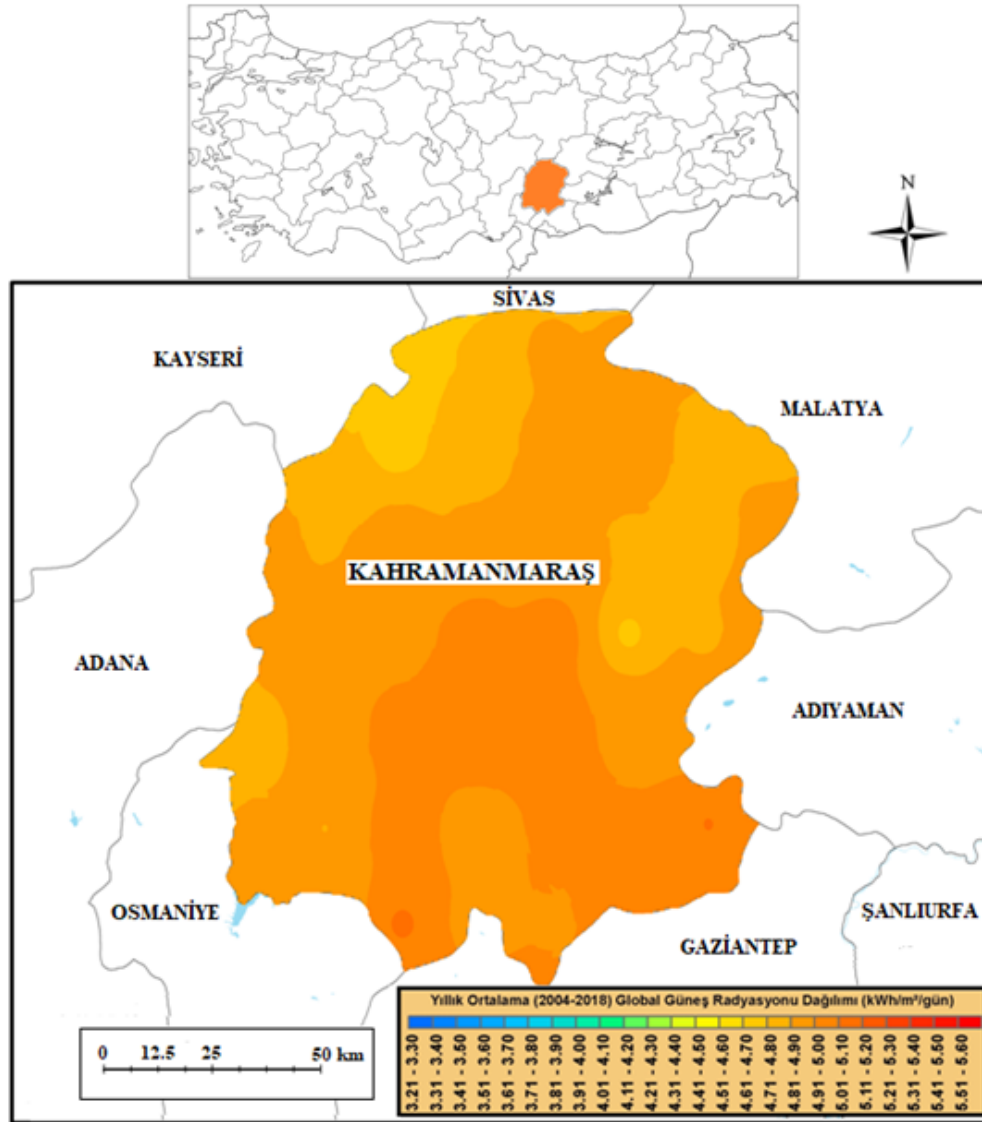
En güvenilir solar radyasyon verileri meteorolojik yer gözlem istasyonlarında yapılan ölçümlerden elde edilmektedir. Bu istasyonlar tüm dünya üzerinde yeterince yaygın olmamakla birlikte daha çok şehir merkezlerinde bulunmakta, kırsal bölgelerde ise yeterli sayıda istasyon bulunmamaktadır. Solar radyasyonun ölçülmesinde kullanılan cihazların maliyetlerinin yüksek, bakım, onarım ve kalibrasyonlarının zor olması ve ayrıca ölçme işleminin yüksek düzeyde işgücü ve zaman kullanımı gerektirmesi nedeniyle daha çok tahmin edilmesi yolu tercih edilmektedir (Ener Ruşen, 2017). Bu doğrultuda hava sıcaklığı (Hargreaves ve Samani, 1982; Bristow ve Campbell, 1984; Hargreaves ve ark., 1985; Annandale ve ark., 2002; Chen ve ark., 2004), güneşlenme süresi (Angström, 1924; Prescott, 1940; Glower ve McGulloch, 1958; Rietveld, 1978; Ogelman ve ark., 1984) ve atmosferdeki bulut yoğunluğuna (Paltridge ve Proctor, 1976; Daneshyar, 1978; Badescu, 1999) dayalı çok sayıda ampirik tahmin modeli geliştirilmiştir. Güneşlenme süresi ve bulut yoğunluğu ölçümlerinin zor ve zaman alıcı olması nedeniyle, daha kolay ölçülebilir bir parametre olan hava sıcaklığına dayalı tahmin modelleri uygulamada daha fazla tercih edilmektedir.

Sıcaklığa dayalı tahmin modellerinin güvenilirlik ve kullanılabilirlik düzeyleri iklim ve coğrafik özelliklere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla bu modellerin kullanılacakları yöre koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda

dünyanın farklı iklim ve coğrafik özelliklere sahip birçok bölgesinde çok sayıda kalibrasyon çalışması yapılmıştır (Ball ve ark., 2004; Álvarez ve ark., 2011; Almorox ve ark., 2013; Benghanem ve Mellit, 2014; Silva ve ark., 2016; Tabari ve ark., 2016; Alsamamra, 2019; Ndulue ve ark., 2019). Bu çalışmalar kapsamında geliştirilen kalibrasyon eşitlikleri yöre koşullarında ölçülen güncel iklim verileri ile test edilmiş ve bu eşitlikler ile doğruluk oranı yüksek solar radyasyon değerlerinin tahmin edilebildiği ortaya koyulmuştur. Benzer şekilde bu çalışmada Hargreaves – Samani (Hargreaves ve ark., 1985), Bristow – Campbell (Bristow ve Campbell, 1984), Chen (Chen ve ark., 2004) ve Annandale (Annandale ve ark., 2002) modellerinin Kahramanmaraş koşullarına uygun kalibrasyonlarının yapılması ve test edilerek karşılaştırılmaları amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Kahramanmaraş, 37° 36' kuzey enlemi ile 36° 55' doğu boylamı arasında yer almaktadır. İlin rakımı 568 m olup yıllık ortalama günlük hava sıcaklığı 16.90 °C, nem oranı %58.34, güneşlenme süresi 6.77 saat/gün ve solar radyasyon yoğunluğu 4.40 kWh/m²/gün düzeyindedir. Yıllık ortalama günlük solar radyasyon yoğunluğunun il genelindeki dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir (MGM, 2020).



Şekil 1. Kahramanmaraş İli Yıllık Ortalama Günlük Solar Radyasyon Dağılımı

Hargreaves – Samani (Eşitlik 1), Bristow – Campbell (Eşitlik 2), Chen (Eşitlik 3) ve Annandale (Eşitlik 4) modellerine ait kalibrasyon katsayılarının (a, b, c) Kahramanmaraş için en uygun değerleri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından 1938 – 2020 yılları arasında ölçülen hava sıcaklığı ve solar radyasyon verilerinin uzun yıllar ortalaması günlük değerleri kullanılarak, Microsoft Excel programı çözücü eklentisi yardımıyla belirlenmiştir. Bu doğrultuda kullanılan hava sıcaklığı ve solar radyasyon değerleri Şekil 2’de verilmiştir (MGM, 2020). Benzetim çözümleme araçları komut takımının bir parçası olan Excel “çözücü”, hedef hücredeki formülün en uygun değerini bulmak için kullanılmaktadır. Çözücü hedef hücredeki formülle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkisi bulunan bir hücre grubuyla birlikte çalışmaktadır. Çözücünün modelde kullanabileceği değerler için kısıtlamalar getirilebilmektedir. Bu kısıtlamalar hedef hücredeki formülü etkileyen başka hücelere de uygulanabilmektedir (Cobaner ve ark., 2015).

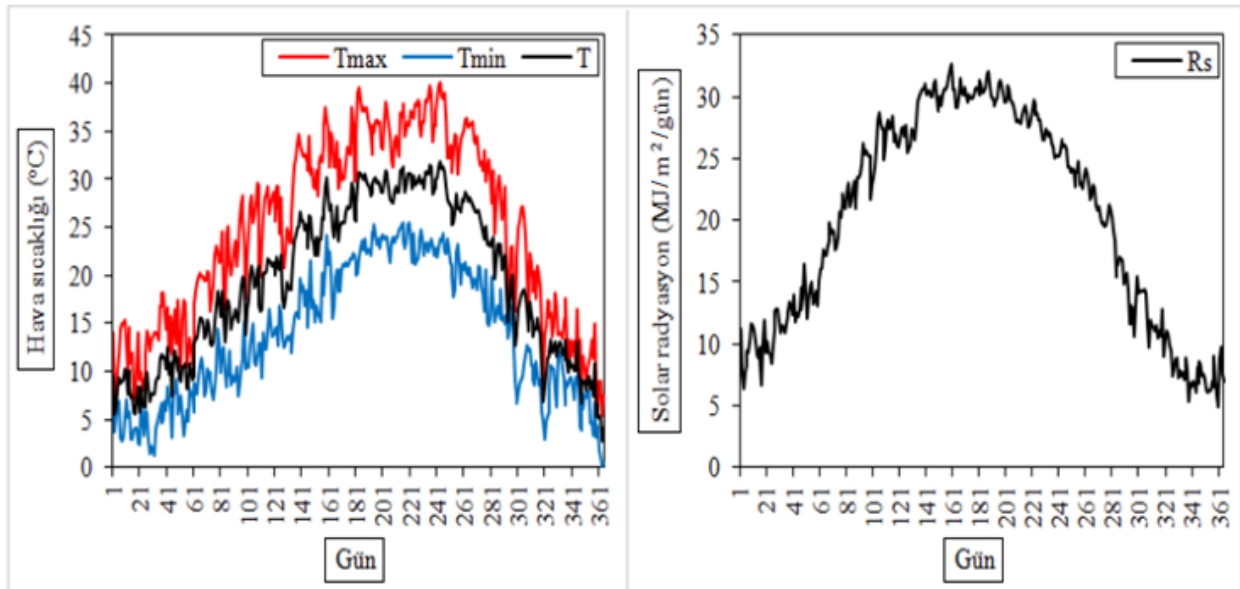
$$\frac{R_s}{R_a} = a(T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \quad (1)$$

$$\frac{R_s}{R_a} = a \left(1 - \exp(-b\Delta T^c) \right) \quad \Delta T = T_{\max} - T_{\min} \quad (2)$$

$$\frac{R_s}{R_a} = a \ln(T_{\max} - T_{\min}) + b \quad (3)$$

$$\frac{R_s}{R_a} = a \left(1 + 2.70 \times 10^{-5} Z \right) (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \quad (4)$$

Eşitliklerde; R_s , günlük solar radyasyon ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$); R_a , extraterrestrial radyasyon ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$); T_{\max} , günlük ölçülen en yüksek hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$); T_{\min} , günlük ölçülen en düşük hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$); Z , rakım (m); a,b,c, kalibrasyon katsayıları ve ΔT , sıcaklık farkını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir.



Şekil 2. Uzun Yıllar Ortalaması Günlük Hava Sıcaklığı ve Solar Radyasyon Değerleri

İncelenen solar radyasyon tahmin modellerindeki giriş değişkenlerinden biri olan R_a , coğrafi konum ve zamana bağlı olarak Eşitlik (5 – 10) ile tahmin edilmiştir. Bu eşitliklerde; j , Julian tarihi; Ay , Julian tarihine dönüştürülen ayın numarası (1-12); $G_{\text{gün}}$, Julian tarihine dönüştürülen günün numarası (1-31); d_r , dünya-güneş ters oransal uzaklığı; δ , solar diklik (Radyan); E , enlem (derece);

\emptyset , enlem (radyan); w_s , güneş batım saatindeki açı (Radyan) ve G_{sc} , solar sabite değerini ifade etmektedir. Solar sabite, $0.0820 \text{ MJ/m}^2/\text{dakika}$ olarak dikkate alınmıştır (Allen ve ark., 1998).

$$j = [(30.56 Ay) - 30 + \text{Gün}] - 2 \quad (5)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos(2\pi j \cdot 365^{-1}) \quad (6)$$

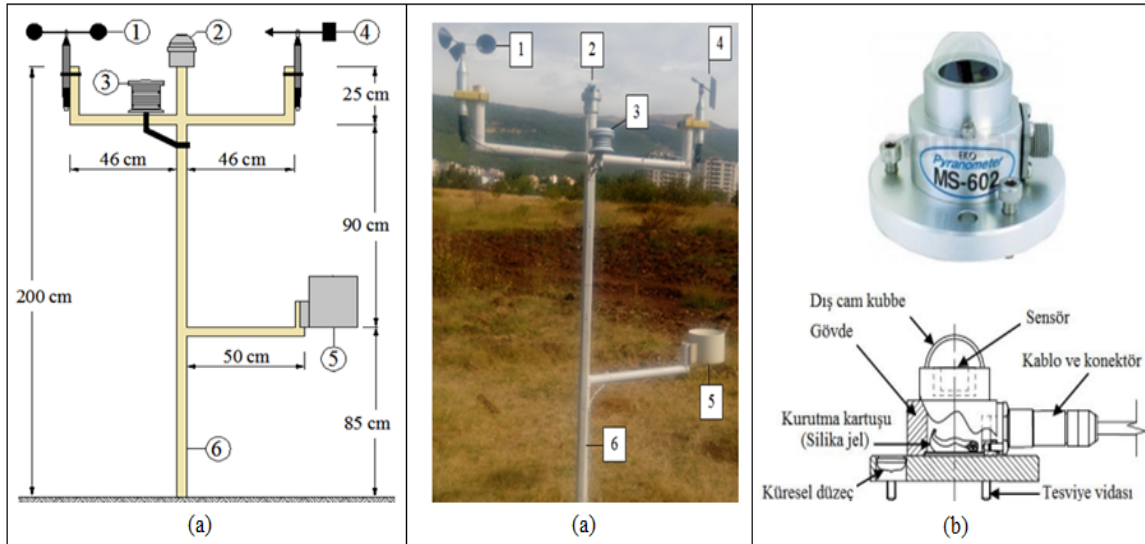
$$\delta = 0.409 \sin[(2\pi j \cdot 365^{-1}) - 1.39] \quad (7)$$

$$\emptyset = E \cdot \pi \cdot 180^{-1} \quad (8)$$

$$w_s = \arccos(-\tan \emptyset \cdot \tan \delta) \quad (9)$$

$$R_a = 24 \frac{60}{\pi} G_{sc} \cdot d_r [(w_s \cdot \sin \emptyset \cdot \sin \delta) + (\cos \emptyset \cdot \cos \delta \cdot \sin w_s)] \quad (10)$$

Uzun yıllar ortalaması günlük R_s , T_{\max} , T_{\min} ve R_a verileri kullanılarak Hargreaves – Samani, Bristow – Campbell, Chen ve Annandale modelleri için oluşturulan kalibrasyon eşitlikleri KSÜ kampüsündeki araştırma alanında 2021 yılı Temmuz – Ekim döneminde ölçülen günlük T_{\max} , T_{\min} ve R_s verileri ile araştırma alanının coğrafi konumuna ve zamana bağlı olarak tahmin edilen günlük R_a verileri kullanılarak test edilmiştir. Kahramanmaraş Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden 8500 m uzaklıkta bulunan araştırma alanı coğrafi konum olarak $37^\circ 35' 36''$ kuzey enlemi ile $36^\circ 49' 20''$ doğu boylamı arasında yer almaktadır. Bu alanda yapılan ölçümlerde genel görünümü Şekil 3'de verilen iklim istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyon; rüzgâr hızı (1), solar radyasyon (2), hava sıcaklığı – oransal nem (3), rüzgâr yönü (4) ve yağış (5) sensörleri ile bu sensörlerin üzerine monte edildiği çelik boru profilden imal edilen bir platformdan (6) oluşmaktadır.



Şekil 3. PLC Kontrollü İklim İstasyonu (a) ve Solar Radyasyon Sensörü (b)

Sensörler Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) cihazı tarafından yönetilmektedir (Anonim, 2020a). Sensörlerin PLC tarafından kontrol edilebilmesini sağlamak amacıyla CODESYS dili kullanılarak bir yazılım hazırlanmış ve PLC cihazına yüklenmiştir (Anonim, 2020b). Yazılım aracılığıyla ölçülen sıcaklık ve radyasyon verileri PLC üzerindeki SD karta kaydedilmiştir. Sıcaklık ve radyasyon (piranometre) sensörlerinin her ikisi de -40°C ile $+80^\circ \text{C}$ aralığında ölçüm yapabilmektedirler. Hava sıcaklığı sensörü 0°C ile $+50^\circ \text{C}$ aralığında $\pm 0.21^\circ \text{C}$, radyasyon sensörü ise $0 - 2000 \text{ Watt/m}^2$ aralığında $7.00 \mu\text{V/Watt/m}^2$ hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir (Anonim,

2020c; Anonim, 2020d). Yazılım bir günlük süreler boyunca her saat başı ölçerek kaydettiği 24 adet sıcaklık verisini büyükten küçüğe doğru sıralayarak, günlük T_{max} ve T_{min} değerlerini belirlemiştir. Bu değerlerin aritmetik ortalamasını alarak da günlük T değerini hesaplanmıştır. Bir günlük süreler boyunca her yarım saatte bir ölçerek kaydettiği 48 adet radyasyon verisini yığılımlı olarak toplamış ve elde ettiği toplam miktarı ölçüm sayısına bölerek günlük ortalama R_s miktarını belirlemiştir.

Modeller için oluşturulan kalibrasyon eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri ile ölçülen R_s değerlerinin karşılaştırılmasında ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) ve karekök ortalama karesel hata (RMSE) miktarları dikkate alınmıştır. Bu hata miktarlarının hesaplanmasında sırasıyla Eşitlik (11 – 13) kullanılmıştır. Ölçülen (Y_i) ve tahmin edilen (\hat{Y}_i) R_s değerleri arasındaki uyum düzeyi; MAPE %10'un altında ise "çok iyi", %10-20 arasında ise "iyi", %20-50 arasında ise "kabul edilebilir", %50'nin üzerinde ise "uyumsuz" olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982). Ölçülen ve tahmin edilen R_s değerleri arasındaki istatistikî ilişkiyi ortaya koymak amacıyla, Regresyon analizleri yapılmış ve elde edilen belirleme katsayılarına (R^2) göre sonuçlar yorumlanmıştır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|Y_i - \hat{Y}_i|) \quad (11)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} 100 \right) \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (13)$$

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Kahramanmaraş ilinin coğrafi konumu ve zamana bağlı olarak belirlenen günlük ortalama R_a değerleri ile birlikte uzun yıllar ortalaması günlük T_{max} , T_{min} ve R_s verileri kullanılarak, modellerin kalibrasyon katsayıları belirlenmiş ve Tablo 1'de verilen kalibrasyon eşitlikleri oluşturulmuştur.

Tablo 1. Solar Radyasyon Tahmin Modelleri İçin Oluşturulan Kalibrasyon Eşitlikleri

Model	a	b	c	Kalibrasyon eşitliği
Hargreaves – Samani	0.20	-	-	$\frac{R_s}{R_a} = 0.20 (T_{max} - T_{min})^{0.5}$
Bristow – Campbell	0.79	0.40	0.73	$\frac{R_s}{R_a} = 0.79 \left(1 - \exp(-0.40 \Delta T^{0.73}) \right)$
Chen	0.15	0.34	-	$\frac{R_s}{R_a} = 0.15 \ln (T_{max} - T_{min}) + 0.34$
Annandale	0.20	-	-	$\frac{R_s}{R_a} = 0.20 \left(1 + 2.70 \times 10^{-5} Z \right) (T_{max} - T_{min})^{0.5}$

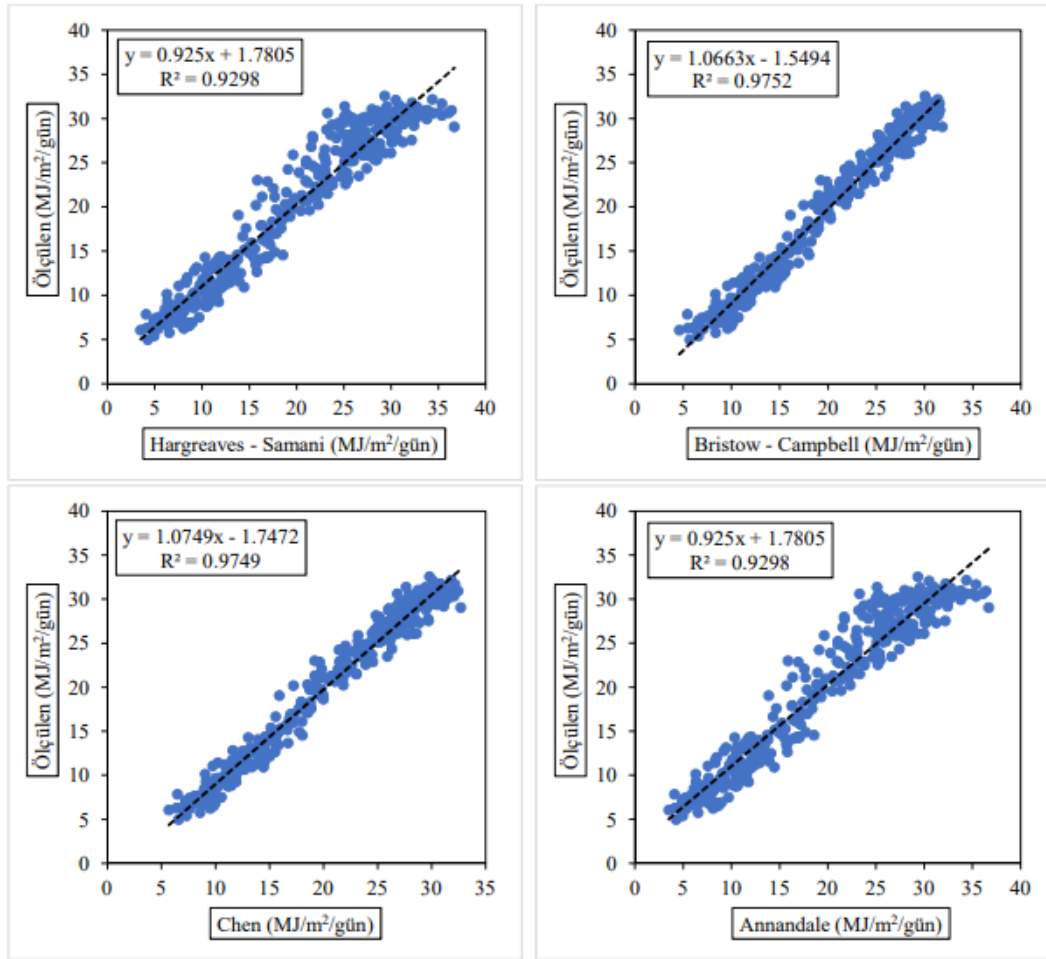
Kalibrasyon eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri ile Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen uzun yıllar ortalaması günlük R_s değerlerinin zamana bağlı olarak değişimleri Şekil 4'de verilen grafiklerde gösterilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerlerinin maksimum ve minimum noktaları arasında farklılıklar olsa da genel olarak senkronize hareket ettikleri bu grafiklerde açıkça görülmektedir. Uzun yıllar ortalaması günlük R_s değerleri 4.992 – 32.557 MJ/m²/gün aralığında değişmiş ve yıllık ortalama 20.176 MJ/m²/gün

düzeyinde gerçekleşmiştir. Kalibrasyon eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen R_s değerleri ise Bristow – Campbell için 4.591 – 31.832 MJ/m²/gün, Chen için 5.680 – 32.692 MJ/m²/gün, Hargreaves – Samani ve Annandale için 3.508 – 36.673 MJ/m²/gün aralığında değişmiştir. Ölçülen yıllık ortalama R_s değerine en yakın yıllık ortalama değerler sırasıyla 20.374 MJ/m²/gün ve 20.395 MJ/m²/gün ile Bristow – Campbell ve Chen, en uzak yıllık ortalama değer ise 19.886 MJ/m²/gün ile Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri ile elde edilmiştir.



Şekil 4. Ölçülen ve Tahmin Edilen Günlük Ortalama Solar Radyasyon Değerleri

Şekil 5’de görüleceği üzere ölçülen solar radyasyon değerleri ile en yüksek istatistikî ilişkiye sahip tahmin değerleri Bristow – Campbell ($R^2= 0.9752$) ve Chen ($R^2= 0.9749$), en düşük ilişkiye sahip değerler ise Annandale ve Hargreaves – Samani modelleri ile elde edilmiştir ($R^2= 0.9298$). Ölçülen ve modellerle tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 5. Ölçülen ve Tahmin Edilen Solar Radyasyon Değerleri Arasındaki İstatistikî İlişki

En kötü tahmin performansına sahip olan Hargreaves – Samani ve Annandale modellerin her ikisi için de MAE 1.101 – 2.833 MJ/m²/gün, MAPE %6.507 – 16.178 ve RMSE 1.306 – 3.424 MJ/m²/gün aralığında değişmiş, yıllık ortalama değerler ise sırasıyla 1.801 MJ/m²/gün, %10.178 ve 2.341 MJ/m²/gün olarak belirlenmiştir. Bu modeller kullanılarak tahmin edilen R_s değerlerinin ölçülen değerler ile “iyi” (MAPE=%10-20) düzeyde bir uyuma sahip olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Tahmin Edilen Günlük Ortalama Solar Radyasyon Değerleri İçin Hata Miktarları

Ay	Hargreaves – Samani			Bristow – Campbell		
	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün
Ocak	1.313	13.839	1.675	1.305	13.564	1.496
Şubat	1.850	14.347	2.160	1.887	14.976	2.184
Mart	1.563	7.936	2.281	1.155	6.030	1.372
Nisan	2.451	9.516	2.826	1.015	3.955	1.327
Mayıs	2.103	7.308	2.706	0.852	3.027	1.114
Haziran	2.833	9.340	3.424	0.997	3.285	1.320
Temmuz	2.343	7.901	3.031	1.093	3.654	1.318
Ağustos	1.883	6.829	2.261	0.850	3.030	1.118

Eylül	1.514	6.507	2.011	1.118	4.754	1.343
Ekim	1.480	9.610	2.007	0.990	6.184	1.237
Kasım	1.266	13.363	1.523	1.182	12.044	1.382
Aralık	1.101	16.178	1.306	1.460	21.012	1.752
Ortalama	1.801	10.178	2.341	1.153	7.921	1.435
Ay	Chen			Annandale		
	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün
Ocak	1.291	13.749	1.457	1.313	13.839	1.675
Şubat	1.761	13.967	2.071	1.850	14.347	2.160
Mart	1.032	5.281	1.294	1.563	7.936	2.281
Nisan	1.139	4.422	1.420	2.451	9.516	2.826
Mayıs	0.897	3.134	1.179	2.103	7.308	2.706
Haziran	1.232	4.063	1.585	2.833	9.340	3.424
Temmuz	1.287	4.308	1.541	2.343	7.901	3.031
Ağustos	0.915	3.264	1.236	1.883	6.829	2.261
Eylül	1.092	4.653	1.372	1.514	6.507	2.011
Ekim	0.963	5.993	1.242	1.480	9.610	2.007
Kasım	1.142	11.629	1.286	1.266	13.363	1.523
Aralık	1.516	22.134	1.781	1.101	16.178	1.306
Ortalama	1.183	8.016	1.471	1.801	10.178	2.341

Tablo 2’de görüleceği üzere en düşük MAE, MAPE ve RMSE hata miktarlarına sahip günlük ortalama R_s değerleri Bristow – Campbell modeli ile tahmin edilmiştir. En iyi tahmin performansına sahip olan bu model için günlük ortalama MAE 0.850 – 1.887 MJ/m²/gün, MAPE %3.027 – 21.012 ve RMSE 1.114 – 2.184 MJ/m²/gün aralığında değişmiş, yıllık ortalama değerler ise sırasıyla 1.153 MJ/m²/gün, %7.921 ve 1.435 MJ/m²/gün olarak belirlenmiştir. Bristow – Campbell modeline en yakın tahmin performansını gösteren Chen modeli için MAE 0.897 – 1.761 MJ/m²/gün, MAPE %3.134 – 22.134 ve RMSE 1.179 – 2.071 MJ/m²/gün aralığında değişmiş, yıllık ortalama değerler ise sırasıyla 1.183 MJ/m²/gün, %8.016 ve 1.471 MJ/m²/gün olarak gerçekleşmiştir. Bu modeller kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerlerinin ölçülen R_s değerleri ile “çok iyi” (MAPE<%10) düzeyde bir uyuma sahip olduğu görülmüştür.

İncelenen dört model ile %89.822 – 92.079 aralığında değişen doğruluk oranlarına sahip günlük ortalama R_s değerleri tahmin edilebildiği ortaya koyulmuştur. Aylık nem oranının %63.50 – 70.90 aralığında değiştiği Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında tüm modeller düşük performans göstermiştir. Bu aylarda MAPE %11.629 – 22.134 aralığında değerler almıştır. Aylık nem oranının daha düşük seviyelere gerilediği ve nispeten açık – bulutsuz gökyüzü koşullarının hakim olduğu Mart – Ekim ayları arasındaki süreçte ise tüm modeller iyi performans göstermiştir. Bu süreç boyunca %3.027 – 9.610 aralığında değişen MAPE, aylık ortalama nem oranının %49.20 – 52.30 aralığında değiştiği yaz aylarında en düşük seviyelere gerilemiştir.

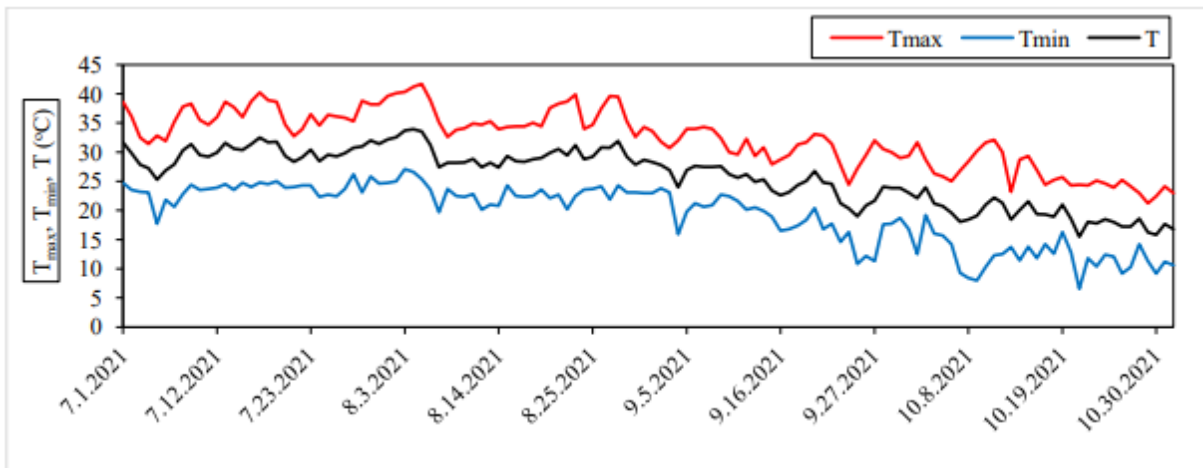
Ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerlerinin aylık ortalamaları belirlenerek Tablo 3’de verilmiştir. Ölçülen aylık ortalama R_s değerleri 7.158 – 30.416 MJ/m²/gün aralığında değişmiş ve yıllık ortalama 20.138 MJ/m²/gün düzeyinde gerçekleşmiştir. Tahmin edilen aylık ortalama R_s

değerlerinin yıllık ortalamaları ise Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri için 19.841 MJ/m²/gün, Bristow – Campbell için 20.343MJ/m²/gün ve Chen için 20.357 MJ/m²/gün olarak belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen yıllık ortalamalar arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAPE; Bristow – Campbell için %1.018, Chen için %1.088, Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri için %1.475 olarak elde edilmiştir.

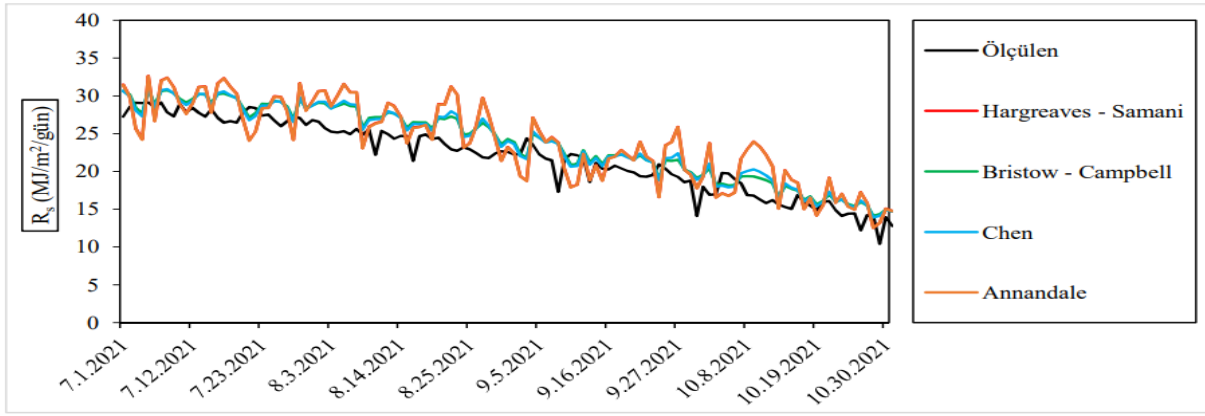
Tablo 3. Ölçülen ve Tahmin Edilen Aylık Ortalama Günlük Solar Radyasyon Değerleri

Ay	R _s (MJ/m ² /gün)				
	Ölçülen	Hargreaves Samani	Bristow Campbell	Chen	Annandale
Ocak	9.839	9.287	10.734	10.849	9.287
Şubat	13.046	13.235	14.814	14.789	13.235
Mart	19.538	18.783	20.117	19.978	18.783
Nisan	25.835	26.357	25.878	25.929	26.357
Mayıs	28.702	29.369	29.086	29.092	29.369
Haziran	30.416	30.002	30.056	30.002	30.002
Temmuz	29.995	28.827	29.077	28.986	28.827
Ağustos	27.383	26.853	26.553	26.537	26.853
Eylül	23.223	22.607	22.106	22.139	22.607
Ekim	16.230	15.813	16.132	16.162	15.813
Kasım	10.287	10.097	11.164	11.245	10.096
Aralık	7.158	6.866	8.407	8.580	6.866
Ortalama	20.138	19.841	20.343	20.357	19.841

Solar radyasyon tahmin modelleri için oluşturulan kalibrasyon eşitliklerini güncel iklim verileri ile test etmek amacıyla KSÜ kampüsündeki araştırma alanında 2021 yılı Temmuz – Ekim dönemi boyunca ölçülen günlük T_{max}, T_{min} ve T değerleri Şekil 6’da, R_s değerleri ise Şekil 7’de verilmiştir. T_{max} 24.50 – 39.20 °C, T_{min} 9.29 – 24.40 °C, T 17.66 – 30.10 °C ve R_s 10.40 – 29.13 MJ/m²/gün aralıklarında değişmiştir. Araştırma alanının coğrafi konumu ve zamana bağlı olarak belirlenen R_a değerleri ile T_{max} ve T_{min} verileri kalibrasyon eşitliklerinde yerine yazılarak Hargreaves – Samani için 13.315 – 34.901 MJ/m²/gün, Bristow – Campbell için 14.233 – 31.342 MJ/m²/gün, Chen için 14.054 – 31.911 MJ/m²/gün ve Annandale için 13.295 – 34.847 MJ/m²/gün aralıklarında değişen günlük ortalama R_s değerleri tahmin edilmiştir.

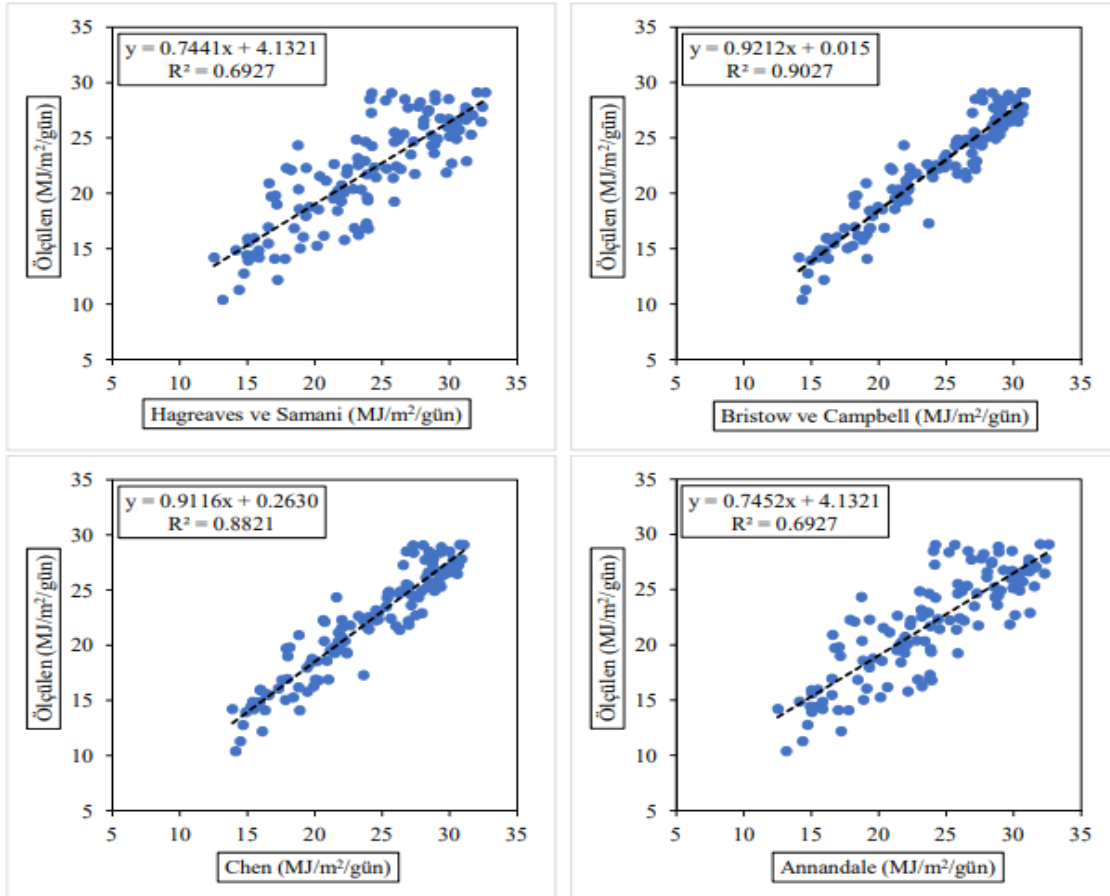


Şekil 6. Araştırma Alanında Ölçülen Günlük Hava Sıcaklığı Değerleri



Şekil 7. Araştırma Alanında Ölçülen ve Tahmin Edilen Günlük Solar Radyasyon Değerleri

Araştırma alanında ölçülen günlük ortalama R_s değerlerindeki değişimin modellerle tahmin edilen R_s değerleri ile açıklanabilme oranı %69.27 – 90.27 ($R^2= 0.6927 - 0.9027$) aralığında değişmiştir (Şekil 8). Uzun yıllar ortalaması günlük R_s verilerinde olduğu gibi araştırma alanında da ölçülen R_s verileri ile en yüksek istatistikî ilişki düzeyine sahip tahmin değerleri Bristow – Campbell modeli ile ($R^2= 0.9027$), en düşük istatistikî ilişki düzeyine sahip tahmin değerleri ise Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri ile elde edilmiştir ($R^2= 0.6927$). Chen modeli için istatistikî ilişki düzeyi %88.21 ($R^2= 0.8821$) olarak belirlenmiştir. Araştırma alanında ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları Tablo 4’de verilmiştir. Uzun yıllar ortalaması günlük R_s verilerinde olduğu gibi araştırma alanında da bu hata miktarlarının en yüksek seviyelerde gerçekleştiği modeller Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri olmuştur.



Şekil 8. Araştırma Alanında Ölçülen ve Tahmin Edilen R_s Değerleri Arasındaki İstatistikî İlişki

Tek yıllık güncel iklim verileri ile en kötü tahmin performansına sahip olan Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri için dönemlik ortalama MAE, MAPE ve RMSE sırasıyla 2.979 MJ/m²/gün, %14.291, 3.581 MJ/m²/gün ve 2.958 MJ/m²/gün, %14.192 ve 3.557 MJ/m²/gün olarak belirlenmiştir. Uzun yıllar ortalaması veriler ile yapılan tahminlerde en yüksek tahmin performansına sahip olan Bristow – Campbell modeli tek yıllık iklim verileri ile yapılan tahminlerde de en iyi performansı göstermiştir. Bu modele en yakın performansı gösteren model ise Chen olmuştur. Bristow – Campbell ve Chen modelleri için dönemlik ortalama MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları sırasıyla 2.102 MJ/m²/gün, %10.192, 2.415 MJ/m²/gün ve 2.146 MJ/m²/gün, %10.424, 2.502 MJ/m²/gün olarak elde edilmiştir. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen uzun yıllar ortalaması günlük veriler kullanılarak yapılan tahminlerde %7.921 – 10.178 aralığında değişen MAPE, 2021 yılı Temmuz – Ekim dönemi boyunca PLC kontrollü sensörler ile ölçülen güncel günlük iklim verileri ile yapılan tahminlerde %10.192 – 14.291 aralığında değişen oranlara yükselmiştir. Buna rağmen ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri arasında “iyi” (MAPE=%10-20) düzeyde bir uyum olduğu görülmüştür. Tahmin modelleri araştırma alanında ölçülen güncel iklim verileri ile birlikte kullanılarak, %85.709 – 89.808 aralığında değişen doğruluk oranlarına sahip günlük ortalama R_s değerleri tahmin edilebildiği ortaya koyulmuştur.

Tablo 4. Araştırma Alanında Tahmin Edilen Solar Radyasyon Değerleri İçin Hata Miktarları

Ay	Hargreaves – Samani			Bristow – Campbell		
	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün
Temmuz	2.873	10.453	3.287	1.945	7.126	2.192
Ağustos	3.485	14.669	4.197	2.814	11.882	3.047
Eylül	2.729	13.558	3.234	1.922	9.904	2.270
Ekim	2.815	18.038	3.528	1.682	11.236	1.975
Ortalama	2.979	14.291	3.581	2.102	10.192	2.415
Ay	Chen			Annandale		
	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün	MAE MJ/m ² /gün	MAPE (%)	RMSE MJ/m ² /gün
Temmuz	1.959	7.171	2.231	2.853	10.377	3.264
Ağustos	2.812	11.874	3.131	3.454	14.538	4.162
Eylül	1.941	9.967	2.292	2.711	13.464	3.219
Ekim	1.831	12.093	2.200	2.802	17.944	3.509
Ortalama	2.146	10.424	2.502	2.958	14.192	3.557

Ball ve ark. (2004) Kuzey Amerika, Álvarez ve ark. (2011) Şili, Almorox ve ark. (2013) Arjantin, Benghanem ve Mellit (2014) Suudi Arabistan, Silva ve ark. (2016) Brezilya, Tabari ve ark. (2016) İran, Alsamamra (2019) Filistin, Ndulue ve ark. (2019) Nijerya koşullarında gerçekleştirdikleri çalışmalarda Hargreaves – Samani, Bristow – Campbell, Chen ve Annandale modelleri için geliştirdikleri kalibrasyon eşitlikleri ile tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerleri için sırasıyla 1.545 – 4.982 MJ/m²/gün, 1.403 – 3.970 MJ/m²/gün, 1.580 – 3.970 MJ/m²/gün ve 1.545 – 4.982 MJ/m²/gün aralıklarında değişen RMSE değerleri elde etmişlerdir. Benzer şekilde Kahramanmaraş koşullarında aynı modeller için oluşturulan kalibrasyon eşitlikleri ile yapılan günlük ortalama solar radyasyon tahminlerinde sırasıyla Hargreaves – Samani için 1.306 – 3.424 MJ/m²/gün, Bristow – Campbell için 1.114 – 2.184 MJ/m²/gün, Chen için 1.179 – 2.071 MJ/m²/gün

ve Annandale için 1.306 – 3.424 MJ/m²/gün aralığında değişen RMSE değerleri elde edilmiştir. Dünyanın farklı iklim ve coğrafik özelliklere sahip bölgelerinde gerçekleştirilen bu çalışmalarda olduğu gibi kurak – yarı kurak iklim kuşağında yer alan Kahramanmaraş koşullarında da doğruluk düzeyi en yüksek günlük ortalama solar radyasyon değerleri birbirlerine çok yakın performanslar gösteren Bristow – Campbell ve Chen modelleri ile tahmin edilmiştir. Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri Bristow – Campbell ve Chen modellerine göre daha düşük performans göstermiştir. Rakımı 1000 m ve üzerinde olan bölgelerde Annandale modeli kullanılarak Hargreaves – Samani modeline göre daha doğru sonuçlar tahmin edilebileceği düşünülmektedir. Ortalama 568 m rakımlı Kahramanmaraş ilinde her iki model kullanılarak, birbirine çok yakın günlük ortalama solar radyasyon değerleri tahmin edilmiştir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada solar radyasyon tahminlerinde kullanılan Hargreaves – Samani, Bristow – Campbell, Chen ve Annandale ampirik modellerinin Kahramanmaraş ili iklim ve çevre özellikleri ile uyumlu kalibrasyon eşitlikleri geliştirilmiştir. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından 1938 – 2020 yılları arasında ölçülerek arşivlenen günlük ortalama iklim verilerinin uzun yıllar ortalaması değerleri kullanılarak, Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığıyla oluşturulan kalibrasyon eşitlikleri, KSÜ kampüsünde PLC kontrollü sensörler ile 2021 yılı Temmuz – Ekim dönemi boyunca ölçülen güncel iklim verileri kullanılarak test edilmiştir. Bristow – Campbell ve Chen modellerinin Hargreaves – Samani ve Annandale modellerine göre daha yüksek tahmin performansına sahip olduğu görülmüştür. Bristow – Campbell ve Chen modelleri ile doğruluk oranı yaklaşık olarak %90 (MAPE \cong %10) düzeyine ulaşan günlük ortalama solar radyasyon değerleri tahmin edilirken, Hargreaves – Samani ve Annandale modelleri için doğruluk oranı yaklaşık olarak %85 (MAPE \cong %15) düzeyinde gerçekleşmiştir. Yöre koşulları ile uyumlu kalibrasyonları yapılan bu dört model ile doğruluk oranı yüksek solar radyasyon tahminleri yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Solar radyasyon tahminlerinde kullanılan ampirik modellerin güvenilirlik ve kullanılabilirlik düzeyleri iklim ve çevre özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle kullanılacakları yöre koşulları dikkate alınarak kalibrasyonlarının yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Allen, R.G., Pereire, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56.
- Almorox, J., Bocco, M. ve Willington, E. (2013) Estimation of daily global solar radiation from measured temperatures at Cañada de Luque, Córdoba, *Renewable Energy*, 60, 382-387.
- Alsamamra, H. (2019) Estimation of global solar radiation from temperature extremes: a case study of Hebron City, Palestine, *Journal of Energy and Natural Resources*, 8(1), 1-5.
- Álvarez, J., Mitasova, H. ve Allen, H.L. (2011) Estimating monthly solar radiation in South-Central Chile, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(4), 601-609.
- Angstrom, A. (1924) Solar and terrestrial radiation, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 50, 121-126.
- Annandale, J.G., Jovanic, N.Z., Benade, N. ve Allen, R.G. (2002) Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration, *Irrigation science*, 21, 57-67.
- Anonim, (2020a). Automation Builder V1.2.2 basic software installation. <https://new.abb.com/plc/automationbuilder/platform/software>. (Erişim tarihi: 10.07.2019).
- Anonim, (2020b). Detailed information for: PM590 ETH. <https://new.abb.com/products/tr/1SAP150000R0271/pm590-eth> (Erişim tarihi: 10.07.2019).

- Anonim, (2020c). Pyranometers MS-802/402/410/602 Instruction Manual, https://media.eko-eu.com/assets/media/MS-602_Manual.pdf (Erişim tarihi: 10.07.2019).
- Anonim, (2020d). Temperature/RH smart sensor, https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/previous/11427-N%20MAN-S-THB.pdf (Erişim tarihi: 10.07.2019).
- Badescu, V. (1999) Correlations to estimate monthly mean daily solar global irradiation: application to Romania, *Energy*, 24, 883-893.
- Ball, R.A., Purcell, L. C. ve Carey, S.K. (2004) Evaluation of solar radiation prediction models in North America, *Agronomy Journal*, 96, 391-397.
- Benghanem, M. ve Mellit, A. (2014) A simplified calibrated model for estimating daily global solar radiation in Madinah, Saudi Arabia, *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 197-205.
- Besharat, F., Dehghan, A.A. ve Faghih, A.R. (2013) Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 798-821.
- 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, 59-166.
- Chen, R.S., Ersi, K., Yang, J.P., Lu, S.H. ve Zhao, W.Z. (2004) Validation of five global radiation models with measured daily data in China, *Energy Conversion Management*, 45, 1759-1769.
- Cobaner, M., Çıtakoğlu, H., Haktanır, T. ve Yelkara, F. (2015) Akdeniz bölgesi için en uygun Hargreaves-samani eşitliğinin belirlenmesi, *Dicle üniversitesi Müh. Fak. dergisi*, 7(2), 181-189.
- Daneshyar, M. (1978) Solar radiation statistics for Iran, *Solar Energy*, 21, 345-349.
- Ener Ruşen, S. (2017) Karaman ili küresel güneş radyasyonunun heliosat metot kullanılarak belirlenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 467-474.
- Glower, J. ve McGulloch, J.S.G. (1958) The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84, 172-175.
- Hargreaves, G.H. ve Samani, Z.A. (1982) Estimating potential evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108, 223-230.
- Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H. ve Riley, P. (1985) Irrigation water requirement for the Senegal River Basin, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(3), 265-275.
- Lewis, C.D. (1982) *Industrial and Business Forecasting Methods: A Practical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*. Butterworths Scientific, London, England.
- MGM, (2020). Kahramanmaraş Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtları, Kahramanmaraş.
- Ndulue, E., Onyekwelu, I., Ogbu, K.N. ve Ogwo, V. (2019) Performance evaluation of solar radiation equations for estimating reference evapotranspiration (ET_o) in a humid tropical environment, *Journal of Water and Land Development*, 42, 124-135.
- Ogelman, H., Ecevit, A. ve Tasdemiroglu, E. (1984) A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data, *Solar Energy*, 33(6), 619-625.
- Özdemir, Y. (2012). Uydu tabanlı kuadratik model ile Türkiye’de güneş radyasyonu dağılımının belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Paltridge, G.W. ve Proctor, D. (1976) Monthly mean solar radiation statistics for Australia, *Solar Energy*, 18(3), 235-243.
- Prescott, J.A. (1940) Evaporation from water surface in relation to solar radiation, *Transactions of the Royal Society of Australia*, 46, 114-118.
- Rietveld, M. (1978) A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine, *Agricultural Meteorology*, 19, 243-252.

Silva, V.J., Silva, C.R., Almorox, J. ve Júnior, J.A. (2016) Temperature-based solar radiation models for use in simulated soybean potential yield, *Australian Journal of Crop Science*, 10(7), 926-932.

Tabari, H., Hosseinzadehtalaei, P., Willems, P. ve Martinez, C. (2016) Validation and calibration of solar radiation equations for estimating daily reference evapotranspiration at cool semi-arid and arid locations, *Hydrological Sciences Journal*, 61(3), 610-619.

Wang, K. ve Dickinson, R.E. (2012) A review of global terrestrial evapotranspiration: observation, modeling, climatology and climatic variability, *Reviews of Geophysics*, 50(2), 1-54.