

Atf İçin: Usta, S., Gençoğlan, S. ve Gençoğlan, C. (2023). Akdeniz – Güneydoğu Anadolu Geçit Kuşağı Koşullarına Uygun Hargreaves Modeli Solar Radyasyon Tahmin Eşitliğinin Geliştirilmesi ve Test Edilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 375-384.

To Cite: Usta, S., Gençoğlan, S. & Gençoğlan, C. (2023). Developing and Testing of Hargreaves Model Solar Radiation Estimation Equation Suitable for the Mediterranean – Southeastern Anatolian Transitional Zone Conditions. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 375-384.

Akdeniz – Güneydoğu Anadolu Geçit Kuşağı Koşullarına Uygun Hargreaves Modeli Solar Radyasyon Tahmin Eşitliğinin Geliştirilmesi ve Test Edilmesi

Selçuk USTA^{1*}, Serpil GENÇOĞLAN², Cafer GENÇOĞLAN²

Öne Çıkanlar:

- Hargreaves modeli
- Kalibrasyon eşitliği
- Günlük ortalama solar radyasyon

Anahtar Kelimeler:

- Kalibrasyon
- Solar radyasyon
- Tahmin modeli

ÖZET:

Bu çalışmada, Hargreaves solar radyasyon (R_s) tahmin modelinin Akdeniz – Güneydoğu Anadolu geçit kuşağı koşullarına uygun kalibrasyonunun yapılması ve test edilmesi amaçlanmıştır. Kalibrasyon eşitliğinin oluşturulmasında Kahramanmaraş iline ait maksimum, minimum, ortalama hava sıcaklığı (T_{max} , T_{min} , T), R_s ve extraterrestrial radyasyon (R_a) verilerinin uzun yıllar ortalaması (1938 – 2020) günlük değerleri kullanılmıştır. R_a değerleri coğrafi konum ve zamana bağlı olarak tahmin edilmiştir. Kalibrasyon katsayıları (a, b) Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak, sırasıyla 0.0984 ve 0.3695 olarak belirlenmiştir. Uzun yıllar ortalaması günlük R_s değerleri 4.99 – 32.56 MJ/m² gün, kalibrasyon eşitliği kullanılarak tahmin edilen R_s değerleri ise 7.33 – 33.25 MJ/m² gün aralığında değişmiştir. Ölçülen değerlerdeki değişimin tahmin değerleri ile açıklanabilme oranı %97.34 ($R^2=0.9734$) olarak elde edilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen R_s değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak dikkate alınan ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) ve karekök ortalama karesel hata (RMSE) sırasıyla %8.71 ve 1.54 MJ/m² olarak belirlenmiştir. Kalibrasyon eşitliği Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde (KSÜ) 2021 yılında ölçülen günlük ortalama T_{max} , T_{min} , T ve R_s verileri ile test edilmiştir. Bu verilerin ölçülmesinde Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) tarafından yönetilen sıcaklık ve radyasyon sensörleri kullanılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen günlük R_s değerleri sırasıyla 10.40 – 29.13 MJ/m² gün ve 13.80 – 31.16 MJ/m² aralıklarında değişmiştir. Ölçülen değerlerdeki değişimin tahmin değerleri ile açıklanabilme oranı %86.71 ($R^2=0.8671$) olarak belirlenmiştir. MAPE ve RMSE sırasıyla %10.57 ve 2.57 MJ/m² olarak elde edilmiştir. Yöre koşulları ile uyumlu Hargreaves modeli kalibrasyon eşitliği kullanılarak, doğruluk oranı yüksek solar radyasyon tahminleri yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Developing and Testing of Hargreaves Model Solar Radiation Estimation Equation Suitable for the Mediterranean-Southeastern Anatolian Transitional Zone Conditions

Highlights:

- Hargreaves model
- Calibration equation
- Daily average solar radiation

Keywords:

- Calibration
- Solar radiation
- Estimation model

ABSTRACT:

In this study, it is aimed to calibrate and test the Hargreaves model solar radiation (R_s) estimation equation in accordance with the Mediterranean – Southeastern Anatolian transitional zone conditions. The calibration equation was created by using the long-term average (1938 – 2020) daily values of the maximum, minimum, average air temperature (T_{max} , T_{min} , T), R_s and extraterrestrial radiation (R_a) data of Kahramanmaraş province. The R_a values were estimated depending on the geographical location and the time. Calibration coefficients (a, b) were determined as 0.0984 and 0.3695, respectively, using the Microsoft Excel program “solver” add-on. Long-term average daily R_s values varied between 4.99 – 32.56 MJ/m² day, and the R_s values estimated by the calibration equation varied between 7.33 – 33.25 MJ/m² day. The rate of explaining the change in the measured values with the estimated values was determined as 97.34% ($R^2=0.9734$). The mean absolute percentage error (MAPE) and root mean square error (RMSE), taken into account as an expression of the deviation between the measured and estimated R_s values, were determined as 8.71% and 1.54 MJ/m² day, respectively. The calibration equation was tested with the daily average T_{max} , T_{min} , T and R_s data measured at Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSU) in 2021. Temperature and radiation sensors operated by a Programmable Logic Controller (PLC) were used to measure these data. Measured and estimated R_s values varied between 10.40 – 29.13 MJ/m² day and 13.80 – 31.16 MJ/m² day, respectively. The rate of explaining the change in the measured values with the estimated values was determined as 86.71% ($R^2=0.8671$). MAPE and RMSE were obtained as 10.57% and 2.57 MJ/m² day, respectively. It has been concluded that using the Hargreaves model calibration equation suitable to the local conditions, solar radiation estimations with high accuracy can be made.

¹Selçuk USTA ([Orcid ID: 0000-0001-8970-7333](https://orcid.org/0000-0001-8970-7333)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van, Türkiye

²Serpil GENÇOĞLAN ([Orcid ID: 0000-0002-7390-8365](https://orcid.org/0000-0002-7390-8365)), Cafer GENÇOĞLAN ([Orcid ID: 0000-0002-4559-4354](https://orcid.org/0000-0002-4559-4354)), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Selçuk USTA, e-mail: susta@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Güneşten yayılarak atmosferin dış yüzeyine ulaşan dünya dışı (extraterrestrial) radyasyonun dünya yüzeyine ulaşan %55'lik bölümü solar radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Solar radyasyon birçok mühendislik ve mimarlık uygulamasının en temel verilerinden bir tanesidir. Bununla birlikte sulama ve drenaj sistemleri ile gölet ve barajların projelendirilmesi, kuraklığın izlenmesi, yer altı suyu havzalarının emniyetli veriminin tahmin edilmesi ve havza yönetimi gibi birçok hidrolojik ve meteorolojik 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 da 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 enerjinin yeryüzündeki tüm fosil yakıtların sağlayacağı toplam enerjiden çok daha fazla olduğu birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Özdemir, 2012). Böylesine büyük bir enerji kaynağından en yüksek düzeyde verim sağlanabilmesi için doğru ölçülen veya tahmin edilen solar radyasyon verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Solar radyasyonun ölçülmesinde kullanılan cihazların maliyetlerinin yüksek, bakım, onarım ve kalibrasyonlarının zor olması, ölçme işleminin yüksek düzeyde işgücü ve zaman kullanımı gerektirmesi nedeniyle daha çok tahmin edilmesi yolu tercih edilmektedir (El-Sebaai ve ark., 2010; Ener Ruşen, 2017). Bu doğrultuda hava sıcaklığı, güneşlenme süresi ve bulut yoğunluğuna dayalı çok sayıda ampirik tahmin modeli geliştirilmiştir. Güneşlenme süresi ve bulut yoğunluğu ölçümlerinin zor ve zaman alıcı olması nedeniyle meteoroloji yer gözlem istasyonlarının birçoğunda bu parametreler ölçülememektedir. Dolayısıyla daha kolay ölçülebilir bir parametre olan hava sıcaklığına dayalı modeller uygulamada daha fazla tercih edilmektedir (Hargreaves ve Samani, 1982; Bristow ve Campbell, 1984; Hargreaves ve ark., 1985; Donatelli ve Campbell, 1998; Hunt ve ark., 1998; Goodin ve ark., 1999; Chen ve ark., 2004). Ancak, bu ampirik tahmin modelleri geliştirilmiş oldukları yöre iklim ve çevre özellikleri ile uyumlu olduklarından dolayı, farklı bölgelerde kullanılmaları durumunda tutarlılık ve güvenilirlik düzeylerinin test edilmesi ve kullanılacakları yöre koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir.

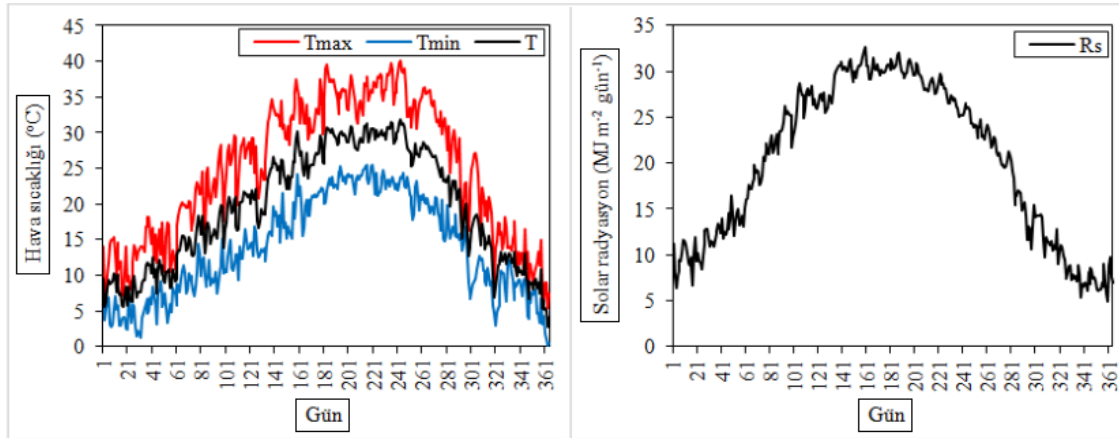
Hava sıcaklığına dayalı modellerden biri olan Hargreaves modelinde T_{max} , T_{min} ve R_a parametrelerine bağlı olarak R_s tahmin edilebilmektedir (Hargreaves ve ark., 1985). Bu model için dünyanın farklı iklim ve coğrafik özelliklere sahip birçok bölgesinde çok sayıda kalibrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Trnka ve ark. (2005) Çekya ve Avusturya, Castellví (2008) Amerika Birleşik Devletleri, Fransa ve İspanya, Mavromatis (2008) Yunanistan, Tripathy ve ark. (2008) Hindistan, Ghahreman ve Bakhtiari (2009) ile Mobtaker ve ark. (2016) İran, Yekimi ve Segun (2011) Nijerya, Wei Wua ve Liub (2012) ile Chen ve Li (2013) Çin, Ekici ve Teke (2017) İrlanda ve Hollanda, Roy ve ark. (2017) Bangladeş ve Alsamamra (2019) tarafından Filistin koşullarında yürütülen çalışmalarda %1.20 – 37.83 aralığında değişen MAPE ve 0.89 – 6.39 MJ/m² aralığında değişen RMSE değerlerine sahip Hargreaves modeli kalibrasyon eşitlikleri geliştirilmiştir. Yöre koşullarında ölçülen güncel hava sıcaklığı ve solar radyasyon verileri kullanılarak test edilen bu eşitlikler ile doğruluk oranı %62.17 – 98.80 aralığında değişen R_s değerlerinin tahmin edilebileceği ortaya koyulmuştur. Benzer şekilde bu çalışmada, hava sıcaklığına dayalı ampirik Hargreaves modeli solar radyasyon tahmin eşitliğinin Akdeniz – Güneydoğu Anadolu geçit kuşağı koşullarına uygun kalibrasyonunun yapılması ve yöre koşullarında ölçülen güncel iklim verileri kullanılarak test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma geçit kuşağı koşullarını temsilen Kahramanmaraş ilinde yürütülmüştür.

MATERYAL ve METOT

Kahramanmaraş 37° 36' kuzey enlemi ile 36° 55' doğu boylamı arasında yer almaktadır. İlin rakımı 568 m olup yıllık ortalama günlük sıcaklığı 16.90 °C, nem oranı %58.34, güneşlenme süresi 6.77 saat gün⁻¹ ve solar radyasyon yoğunluğu 4.40 kWh m⁻² gün⁻¹ düzeyindedir (Anonim, 2020a). İlin, rakımı 1000 metreye kadar olan kısımları yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Rakımı 1000 metreyi aşan kısımlarında ise, kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları nispeten serin Akdeniz dağ ikliminin etkileri hissedilmektedir (Kıraç, 2007).

Eşitlik (1) ile verilen Hargreaves solar radyasyon tahmin modeline ait kalibrasyon katsayılarının (a, b) 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 T_{max}, T_{min}, T ve R_s verileri Şekil 1’de verilmiştir (Anonim, 2020b).

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



Şekil 1. Uzun yıllar ortalaması günlük hava sıcaklığı ve solar radyasyon değerleri (1938 – 2018)

Benzetim çözümlene 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 getirilebilmekte ve bu kısıtlamalar hedef hücredeki formülü etkileyen başka hücelere de uygulanabilmektedir (Cobaner ve ark., 2015). Hargreaves modeli giriş değişkenlerinden biri olan günlük ortalama R_a, coğrafi konum ve zamana bağlı olarak Eşitlik (2-7) ile tahmin edilmiştir (Pereira ve ark., 2015).

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

$$d_r = 1 + 0.033 \cos(2.\pi.j.365^{-1}) \quad (3)$$

$$\delta = 0.409 \sin[(2.\pi.j.365^{-1}) - 1.39] \quad (4)$$

$$\emptyset = E.\pi.180^{-1} \quad (5)$$

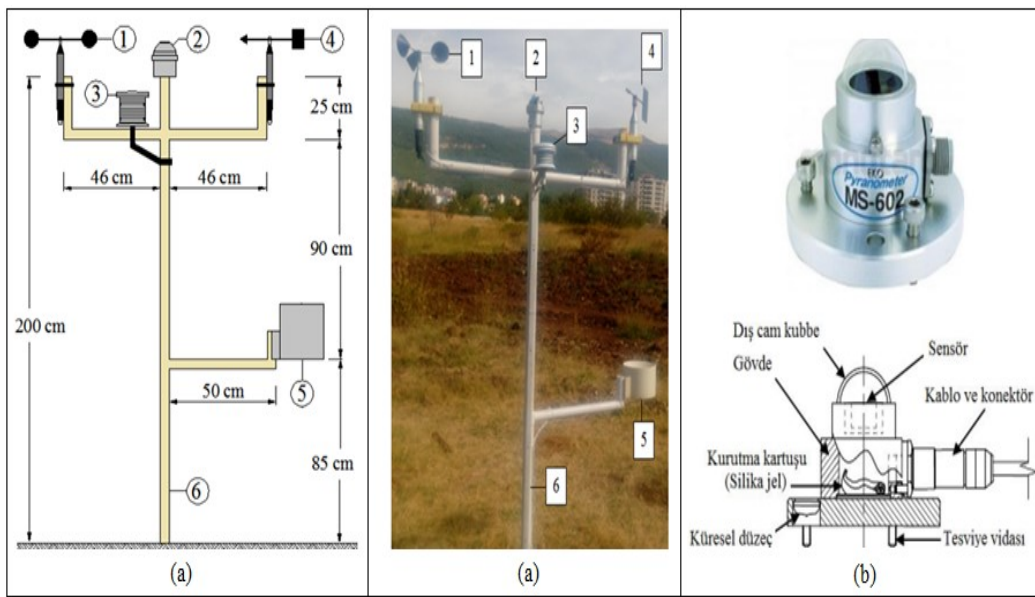
$$w_s = \arccos(-\tan\emptyset.\tan\delta) \quad (6)$$

$$R_a = 24 \frac{60}{\pi} G_{sc} .d_r [(w_s.\sin\emptyset.\sin\delta) + (\cos\emptyset.\cos\delta.\sin w_s)] \quad (7)$$

Eşitliklerde; j, Julian tarihi; Ay, Julian tarihine dönüştürülen ayın numarası (1-12); Gün, Julian tarihine dönüştürülen günün numarası (1-31); d_r, dünya-güneş ters oransal uzaklığı; δ, solar diklik (Radyan); E, enlem (derece); ∅, enlem (radyan); w_s, güneş batım saatindeki açı (Radyan); R_a,

extraterrestrial radyasyon (MJ/m^2 gün) ve G_{sc} , solar sabite değerini ifade etmektedir. Solar sabite, hesaplamalarda $0.0820 MJ/m^2$ dakika olarak dikkate alınmıştır.

Uzun yıllar ortalaması günlük R_s , T_{max} , T_{min} ve R_a verileri kullanılarak elde edilen Hargreaves modeli kalibrasyon eşitliği, 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 hesaplanan günlük R_a verileri kullanılarak test edilmiştir. Kahramanmaraş Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden 8500 m uzaklıkta bulunan araştırma alanı $37^\circ 35' 36''$ kuzey enlemi ile $36^\circ 49' 20''$ doğu boylamı arasında yer almaktadır. Bu alanda yapılan ölçümlerde genel görünümü Şekil 2'de verilen iklim istasyonu kullanılmıştır. Rüzgâr hızı (1), solar radyasyon (2), hava sıcaklığı – oransal nem (3), rüzgâr yönü (4) ve yağış (5) sensörlerinin 40 mm çapındaki boru profilden imal edilen bir platforma (6) monte edilmesi ile oluşturulan iklim istasyonu PLC cihazı tarafından yönetilmektedir.



Şekil 2. PLC kontrollü iklim istasyonu (a) ve solar radyasyon sensörü (b)

Sensörlerin PLC tarafından kontrol edilebilmesini sağlamak amacıyla CODESYS programlama dili kullanılarak bir yazılım hazırlanmış ve PLC cihazına yüklenmiştir. Bu yazılım aracılığıyla ölçülen sıcaklık ve radyasyon verileri PLC üzerindeki SD karta kaydedilmiştir. Hava sıcaklığı ve solar radyasyon (piranometre) sensörlerinin her ikisi de $-40^\circ C$ ile $+80^\circ C$ aralığında ölçüm yapabilmektedirler. Hava sıcaklığı sensörü $0^\circ C$ ile $+50^\circ C$ aralığında $\pm 0.21^\circ C$ hassasiyetle, solar radyasyon sensörü ise $0 - 2000 \text{ Watt m}^{-2}$ aralığında $7.00 \mu V \text{ Watt}^{-1} \text{ m}^{-2}$ hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir (Anonim, 2019a; Anonim, 2019b). Yazılım bir günlük süreler boyunca her saat başı ölçerek kaydettiği 24 adet hava sıcaklığı verisini gün sonunda büyükten küçüğe doğru sıralayarak, günlük T_{max} ve T_{min} değerlerini belirlemiştir. Bu değerlerin aritmetik ortalamasını alarak da günlük T değerini hesaplanmıştır. Benzer şekilde bir günlük süreler boyunca her yarım saatte bir ölçerek kaydettiği 48 adet solar radyasyon verisini yığışımli olarak toplamış ve gün sonunda elde ettiği toplam radyasyon miktarını ölçüm sayısına bölerek günlük ortalama R_s miktarını belirlemiştir.

Hargreaves modeli kalibrasyon eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri ile ölçülen R_s değerlerinin karşılaştırılmasında MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları dikkate alınmıştır. Bu hata miktarlarının hesaplanmasında sırasıyla Eşitlik (8-10) kullanılmıştır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|Y_i - \hat{Y}_i|) \quad (8)$$

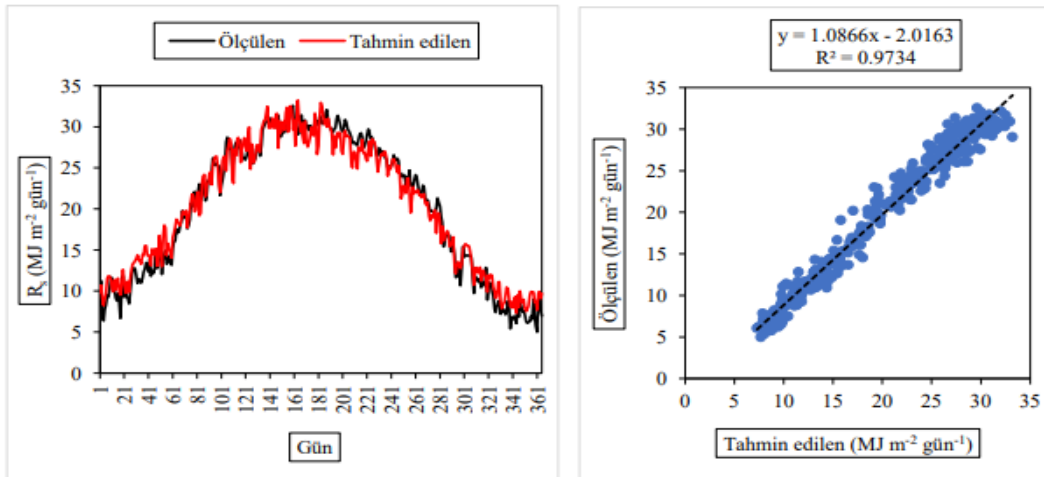
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \right) 100 \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (10)$$

Eşitliklerde; MAE, ortalama mutlak hata (MJ/m^2 gün); MAPE, ortalama mutlak göreceli hata oranı (%); RMSE, karekök ortalama karesel hata (MJ/m^2 gün); Y_i , \hat{Y}_i , sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen solar radyasyon miktarları (MJ/m^2 gün) ve n, gözlem sayısını ifade etmektedir. Ölçülen ve tahmin edilen 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 analizi ve T testi (Bağımsız örneklem) yapılmıştır. Elde edilen belirlilik katsayıları (R^2) ve anlamlılık değerlerine (P) göre sonuçlar yorumlanmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Öncelikle Kahramanmaraş ilinin coğrafi konumuna ve zamana bağlı olarak bir yıllık günlük ortalama R_a değerleri tahmin edilmiştir. Daha sonra bu R_a değerleri ile birlikte uzun yıllar ortalaması günlük T_{max} , T_{min} ve R_s verileri kullanılarak, Hargreaves solar radyasyon tahmin modeline ait "a" ve "b" kalibrasyon katsayıları sırasıyla 0.0984 ve 0.3695 olarak belirlenmiş ve yöre koşulları ile uyumlu " $R_s = [0.0984 (T_{max} - T_{min})^{0.5} + 0.3695] R_a$ " kalibrasyon eşitliği elde edilmiştir. Bu eşitlik kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen uzun yıllar ortalaması günlük R_s değerlerinin zamana bağlı olarak değişimleri Şekil 3'de verilen grafiklerde gösterilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen R_s değerlerinin maksimum ve minimum noktaları arasında farklılıklar olsa da genel olarak senkronize hareket ettikleri bu grafiklerde açıkça görülmektedir.



Şekil 3. Ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerleri

Ölçülen ve kalibrasyon eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri sırasıyla $4.99 - 32.56 MJ/m^2$ ve $7.33 - 33.21 MJ/m^2$ aralıklarında değişmiştir. Yıllık ortalama günlük R_s değerleri ise ölçülen değerler için $20.18 MJ/m^2$ gün tahmin edilen değerler için $20.42 MJ/m^2$ olarak belirlenmiştir. Ölçülen değerlerdeki değişimin tahmin değerleri ile açıklanabilme oranı %97.34 ($R^2 = 0.9734$) olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerlerin oluşturduğu veri gruplarının ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P > 0.05$, $n = 365$). Bu sonuç Hargreaves modeli ile tahmin edilen günlük ortalama R_s değerlerinin ölçülen günlük ortalama R_s değerlerinin yerine kullanılabilceğini ortaya koymuştur.

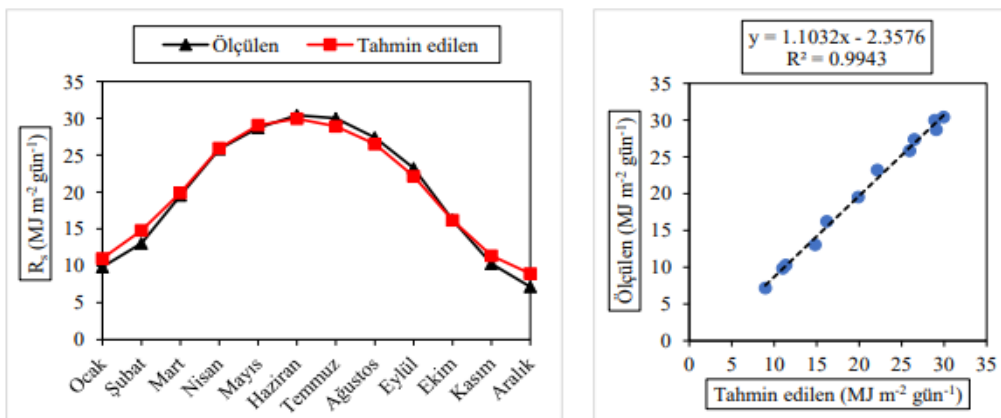
Ölçülen ve tahmin edilen R_s değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları Çizelge 1’de verilmiştir. Yıllık ortalama günlük MAE, MAPE ve RMSE değerleri ise sırasıyla $1.26 \text{ MJ/m}^2 \text{ gün}$, %8.71 ve 1.54 MJ/m^2 olarak belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen R_s değerlerinin Mart – Ekim ayları arasındaki süreç boyunca “çok iyi” ($\text{MAPE} < \%10$); Kasım, Ocak ve Şubat aylarında “iyi” ($\text{MAPE} = \%10-20$), Aralık ayında ise “kabul edilebilir” ($\text{MAPE} = \%20-50$) düzeyde bir uyuma sahip olduğu görülmüştür. Ölçülen ve tahmin edilen R_s değerleri arasındaki en büyük ve en düşük sapma miktarları sırasıyla Aralık ($\text{MAPE} = \%26.62$) ve Mayıs ($\text{MAPE} = \%3.26$) aylarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 1. Tahmin Edilen Günlük Ortalama Solar Radyasyon Değerleri İçin Hata Miktarları

Aylar	MAE ($\text{MJ/m}^2 \text{ gün}$)	MAPE (%)	RMSE ($\text{MJ/m}^2 \text{ gün}$)	Uyum düzeyi
Ocak	1.38	15.16	1.53	İyi
Şubat	1.76	13.94	2.02	İyi
Mart	1.00	5.11	1.26	Çok iyi
Nisan	1.22	4.72	1.49	Çok iyi
Mayıs	0.94	3.26	1.25	Çok iyi
Haziran	1.39	4.58	1.76	Çok iyi
Temmuz	1.44	4.81	1.70	Çok iyi
Ağustos	0.99	3.56	1.34	Çok iyi
Eylül	1.10	4.71	1.42	Çok iyi
Ekim	0.98	6.15	1.27	Çok iyi
Kasım	1.18	12.21	1.30	İyi
Aralık	1.79	26.62	1.97	Kabul edilebilir
Yıllık ortalama	1.26	8.71	1.54	Çok iyi

Ölçülen ve Hargreaves modeli kalibrasyon eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerlerinin aylık ortalamaları belirlenerek, Şekil 4 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Ölçülen aylık ortalama R_s değerleri $7.16 - 30.42 \text{ MJ/m}^2$ aralığında değişmiş ve yıllık ortalama 20.14 MJ/m^2 düzeyinde gerçekleşmiştir. Tahmin edilen R_s değerleri ise $8.95 - 29.95 \text{ MJ/m}^2$ aralığında değişmiş ve yıllık ortalama 20.39 MJ/m^2 düzeyinde gerçekleşmiştir. Ölçülen değerlerdeki değişimin tahmin değerleri ile açıklanabilme oranı %99.43 ($R^2 = 0.9943$) olarak belirlenmiştir.

Ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerlerinin aylık ortalamaları arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE $0.05 - 1.79 \text{ MJ/m}^2$ aralığında, MAPE ise %0.30 – 25.00 aralığında değişmiştir. Yıllık ortalama günlük MAE ve MAPE değerleri ise sırasıyla 0.85 MJ/m^2 ve %6.46 olarak belirlenmiştir. Günlük ortalama R_s değerlerinde olduğu gibi aylık ortalama günlük R_s değerlerinde de ölçülen ve tahmin edilen R_s değerleri arasındaki uyum düzeyi Mart – Ekim ayları arasındaki süreç boyunca “çok iyi” ($\text{MAPE} < \%10$); Kasım, Ocak ve Şubat aylarında “iyi” ($\text{MAPE} = \%10-20$), Aralık ayında ise “kabul edilebilir” ($\text{MAPE} = \%20-50$) olarak belirlenmiştir.



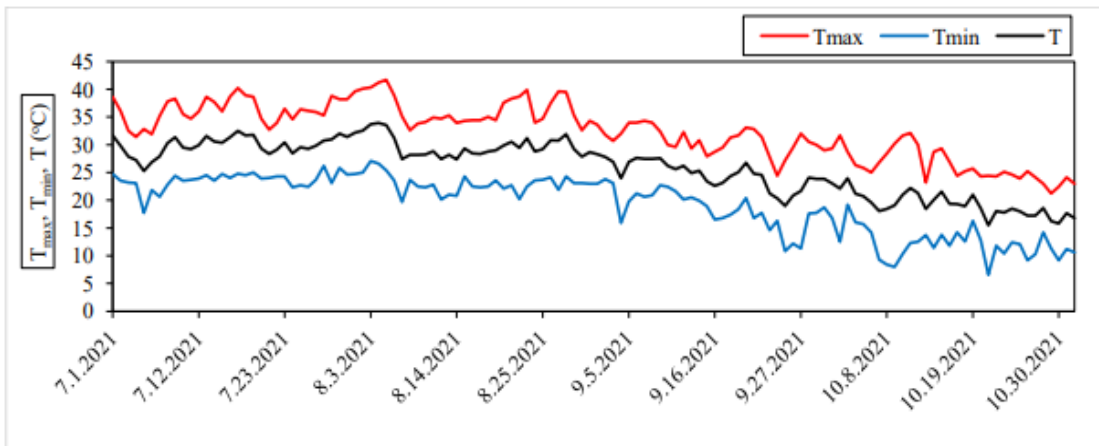
Şekil 4. Ölçülen ve tahmin edilen aylık ortalama günlük solar radyasyon değerleri

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

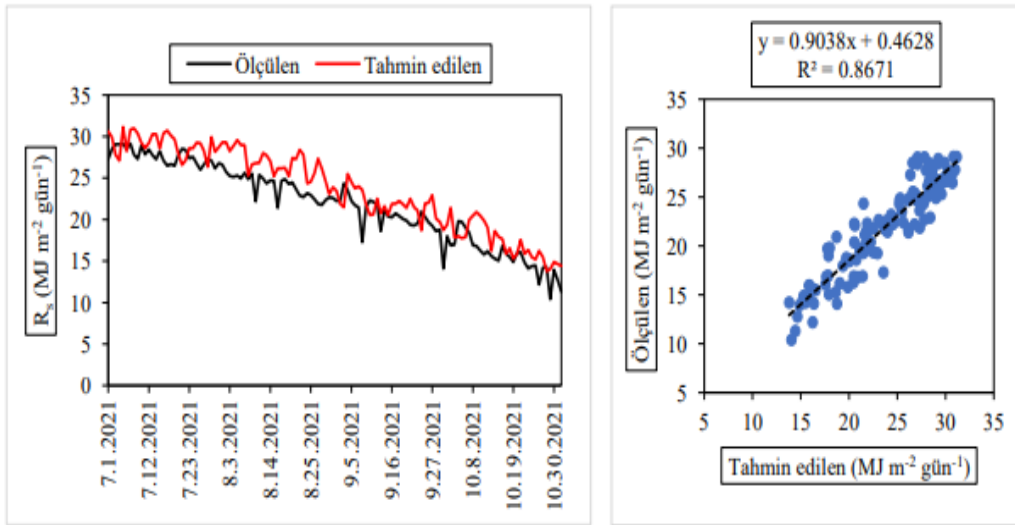
Aylar	R_s (MJ/m ² gün)		MAE (MJ/m ² gün)	MAPE (%)	Uyum düzeyi
	Ölçülen	Tahmin edilen			
Ocak	9.84	10.99	1.16	11.76	İyi
Şubat	13.05	14.80	1.76	13.47	İyi
Mart	19.54	19.89	0.36	1.82	Çok iyi
Nisan	25.84	25.94	0.10	0.40	Çok iyi
Mayıs	28.70	29.07	0.37	1.28	Çok iyi
Haziran	30.42	29.95	0.47	1.55	Çok iyi
Temmuz	29.99	28.90	1.09	3.64	Çok iyi
Ağustos	27.38	26.50	0.88	3.22	Çok iyi
Eylül	23.22	22.14	1.09	4.67	Çok iyi
Ekim	16.23	16.18	0.05	0.30	Çok iyi
Kasım	10.29	11.36	1.08	10.45	İyi
Aralık	7.16	8.95	1.79	25.00	Kabul edilebilir
Yıllık ortalama	20.14	20.39	0.85	6.46	Çok iyi

Hargreaves modeli kalibrasyon eşitliğini güncel solar radyasyon verileri ile test etmek amacıyla KSÜ kampüsündeki araştırma alanında 2021 yılı Temmuz – Ekim dönemi boyunca ölçülen günlük ortalama T_{max} , T_{min} ve T değerleri Şekil 5’de, R_s değerleri ise Şekil 6’da verilmiştir. Günlük ortalama 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 aralıklarında değişmiştir. Dönemlik ortalama R_s 21.89 MJ/m² düzeyinde gerçekleşmiştir.

Öncelikle araştırma alanının coğrafi konumuna ve zamana bağlı olarak günlük ortalama R_a değerleri belirlenmiştir. Daha sonra bu değerler ile birlikte günlük ortalama T_{max} ve T_{min} verileri kalibrasyon eşitliğinde yerine yazılarak Şekil 6’da verilen günlük ortalama R_s değerleri tahmin edilmiştir. Ölçülen ve kalibrasyon eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri sırasıyla 10.40 – 29.13 MJ/m² ve 13.80 – 31.16 MJ/m² aralıklarında değişmiştir. 2021 Yılı Temmuz – Ekim dönemi ortalama günlük R_s değerleri ölçülen değerler için 21.89 MJ/m² gün, tahmin edilen değerler için 23.71 MJ/m² olarak belirlenmiştir. Ölçülen değerlerdeki değişimin tahmin değerleri ile açıklanabilme oranı %86.71 ($R^2=0.8671$) olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. Araştırma alanında ölçülen günlük maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklığı değerleri



Şekil 6. Araştırma alanında ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerleri

Araştırma alanında ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan hata miktarları Çizelge 3’de verilmiştir. Temmuz – Ekim dönemi ortalama günlük MAE, MAPE ve RMSE değerleri sırasıyla $2.17 \text{ MJ/m}^2 \text{ gün}$, %10.57 ve $2.57 \text{ MJ/m}^2 \text{ gün}$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 3’de verilen ortalama değerler dikkate alındığında ölçülen ve tahmin edilen R_s değerlerinin genel olarak “iyi” (MAPE=%10-20) düzeyde bir uyuma sahip olduğu görülmektedir. 2021 Yılı Temmuz – Ekim dönemi R_s verileri için elde edilen dönemlik ortalama günlük hata miktarları ile uzun yıllar ortalaması R_s verileri için belirlenen yıllık ortalama günlük MAE ($1.26 \text{ MJ/m}^2 \text{ gün}$), MAPE (%8.71) ve RMSE ($1.54 \text{ MJ/m}^2 \text{ gün}$) hata miktarları arasındaki benzerlik, Hargreaves modeli kalibrasyon eşitliği kullanılarak doğruluk düzeyi yüksek günlük ortalama R_s değerlerinin tahmin edilebileceğini ortaya koymuştur.

Çizelge 3. Araştırma Alanında Tahmin Edilen Günlük Solar Radyasyon Değerleri İçin Hata Miktarları

Aylar	MAE ($\text{MJ/m}^2 \text{ gün}$)	MAPE (%)	RMSE ($\text{MJ/m}^2 \text{ gün}$)	Uyum düzeyi
Temmuz	1.97	7.20	2.25	Çok iyi
Ağustos	2.81	11.85	3.19	İyi
Eylül	1.95	9.97	2.31	Çok iyi
Ekim	1.93	12.69	2.36	İyi
Dönemlik ortalama	2.17	10.57	2.57	İyi

Yunanistan ve İran’ın Kahramanmaraş iline yakın enlemler üzerinde bulunan bazı şehirlerinde Mavromatis (2008), Ghahreman ve Bakhtiari (2009), Mobtaker ve ark. (2016) tarafından geliştirilen Hargreaves modeli kalibrasyon eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama R_s değerleri için belirlenen hata miktarları ile Kahramanmaraş için belirlenen hata miktarları benzerlik göstermektedir. Mavromatis (2008) $35^\circ - 38^\circ$ kuzey enlemleri arasında yer alan Yunanistan’ın Samos ($37^\circ 45'$), Tripoli ($37^\circ 52'$) ve Kalamata ($37^\circ 07'$) şehirleri için sırasıyla $0.36 - 1.13 \text{ MJ/m}^2$ ve $3.42 - 3.93 \text{ MJ/m}^2$ arasında değişen MAE ve RMSE değerleri elde etmiştir. Ghahreman ve Bakhtiari (2009) İran’ın $38^\circ 10'$ kuzey enlemi üzerindeki Tebriz şehri için $3.12 - 5.01 \text{ MJ/m}^2$ arasında değişen RMSE değerleri elde etmişlerdir. Benzer şekilde Mobtaker ve ark. (2016) yine Tebriz şehri için MAE, MAPE ve RMSE değerlerini $1.68 \text{ MJ/m}^2 \text{ gün}$, %8.51 ve 2.17 MJ/m^2 olarak belirlemişlerdir.

SONUÇ

Bu çalışmada Akdeniz – Güneydoğu Anadolu geçit kuşağı koşullarını temsilen Kahramanmaraş ili uzun yıllar ortalaması günlük iklim verileri kullanılarak, “ $R_s = [0.0984 (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} + 0.3695] R_a$ ”

Hargreaves modeli kalibrasyon eşitliği geliştirilmiştir. KSÜ kampüsünde 2021 yılı Temmuz – Ekim dönemi boyunca ölçülen güncel iklim verileri kullanılarak test edilen bu eşitlik ile doğruluk oranı %89.43 (MAPE= %10.57) düzeyine ulaşan günlük ortalama solar radyasyon değerleri tahmin edilmiştir. Yöre koşulları ile uyumlu kalibrasyon eşitliği kullanılarak iyi (MAPE=%10-20) düzeyde doğruluk oranına sahip solar radyasyon değerleri tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Solar radyasyon tahmin modellerinin tutarlılığı iklim ve çevre özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle kullanılacakları yöre koşullarına uygun kalibrasyonlarının yapılması önerilmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- 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.
- Anonim, 2019a. Temperature/RH Smart Sensor. https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/previous/11427-N%20MAN-S-THB.pdf (Erişim tarihi: 10.07.2019).
- Anonim, 2019b. 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, 2020a. T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KAHRAMANMARAS> (Erişim tarihi: 10.01.2020).
- Anonim, 2020b. Kahramanmaraş Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtları, Kahramanmaraş.
- Bristow KL, Campbell GS, 1984. On the Relationship Between Incoming Solar Radiation and Daily Maximum and Minimum Temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31: 59-166.
- Castellví F, 2008. Evaluation of Three Practical Methods for Estimating Daily Solar Radiation in Dry Climates. *The Open Atmospheric Science Journal*, 2: 185-191.
- Chen JL, Li GS, 2013. Estimation of Monthly Average Daily Solar Radiation from Measured Meteorological Data in Yangtze River Basin in China. *International Journal of Climatology*, 33: 487-498.
- Chen RS, Ersi K, Yang JP, Lu SH, Zhao WZ, 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, Yelkara F, 2015. Akdeniz Bölgesi için En Uygun Hargreaves-Samani Eşitliğinin Belirlenmesi. *Dicle üniversitesi Mühendislik Fakültesi dergisi*, 7(2): 181-189.
- Donatelli M, Campbell GS, 1998. A Simple Model to Estimate Global Solar Radiation. V. European Society of Agronomy Congress, June 28-July 2 1998, Nitra.
- Ekici C, Teke İ, 2017. Total Global Solar Radiation Estimation with Relative Humidity and Air Temperature Extremes in Ireland and Holland. *Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems*, 12: 78-90.
- El-Sebaï AA, Al-Hazmi FS, Al-Ghamdi AA, Yaghmour SJ, 2010. Global, Direct and Diffuse Solar Radiation on Horizontal and Tilted Surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, 87(2): 568-576.
- Ener Ruşen S, 2017. Karaman İli Küresel Güneş Radyasyonunun Heliosat Metot Kullanılarak Belirlenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2): (467-474).

- Ghahreman N, Bakhtiari B, 2009. Solar Radiation Estimation from Rainfall and Temperature Data in Arid and Semi-Arid Climates of Iran. *DESERT*, 14: 141-150.
- Goodin DG, Hutchinson JMS, Vanderlip RL, Knapp MC, 1999. Estimating Solar Irradiance for Crop Modeling Using Daily Air Temperature Data. *Agronomy Journal*, 91: 845-51.
- Hargreaves GH, Samani ZA, 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108: 223-230.
- Hargreaves GL, Hargreaves GH, Riley P, 1985. Irrigation Water Requirement for the Senegal River Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(3): 265-275.
- Hunt LA, Kucharb L, Swanton CJ, 1998. Estimation of Solar Radiation for Use in Crop Modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91: 293-300.
- Kıraç AM, 2007. Kısıntılı ve Kısmi Kök Kuruluşu Sulama Tekniğinin Bodur Elmanın Bazı Gelişim Parametrelerine Etkisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Kökey İ, 2013. Güneş Enerji Santrallerinin Kurulumunda Güneş Ölçümünün Önemi ve Türkiye’de Yasal Mevzuat. VIII. Ulusal Ölçübilim Kongresi, 26-28 Eylül 2013, Kocaeli.
- Lewis CD, 1982. *Industrial and Business Forecasting Methods: A Practical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*. Butterworths Scientific, London, England, 143p.
- Mavromatis T, 2008. Estimation of Solar Radiation and Its Application to Crop Simulation Models. *Climate Research*, 36: 219-230.
- Mobtaker HG, Ajabshirchi Y, Ranjbar SF, Matloobi M, Taki M, 2016. Estimation of Monthly Mean Daily Global Solar Radiation in Tabriz Using Empirical Models and Artificial Neural Networks. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 3(3): 21-30.
- Özdemir Y, 2012. Uydu Tabanlı Kuadratik Model ile Türkiye’de Güneş Radyasyonu Dağılımının Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Pereira LS, Allen RG, Smith M, Raes DR, 2015. Crop Evapotranspiration Estimation with FAO56: Past and Future. *Agricultural Water Management*, 147: 4-20.
- Roy S, Pal S, Chakravarty N, 2017. Estimation of Solar Radiation Using Two Step Method in West Bengal. *MAUSAM*, 68(3): 529-536.
- Tripathy R, Chaudhari KN, Patel NK, 2008. Evaluation of Different Methods to Estimate Incoming Solar Radiation. *Journal of Agrometeorology*, Special issue – Part I: 174-182.
- Trnka M, Žalud Z, Eitzinger J, Dubrovský M, 2005. Global Solar Radiation in Central European Lowlands Estimated by Various Empirical Formulae. *Agricultural and Forest Meteorology*, 131: 54-76.
- Wang K, Dickinson RE, 2012. A Review of Global Terrestrial Evapotranspiration: Observation, Modeling, Climatology and Climatic Variability, *Reviews of Geophysics*, 50(2): 1-54.
- Wei Wua W, Liub HB, 2012. Assessment of Monthly Solar Radiation Estimates Using Support Vector Machines and Air Temperatures. *International Journal of Climatology*, 32: 274-285.
- Yekinni KS, Segun GA, 2011. Estimation of Solar Radiation at Ibadan, Nigeria. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 2(4): 701-705.