



Global Güneş Radyasyonunun Ampirik Modellenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Çankırı İlinde Uygulanması

Recep KÜLCÜ^{a*}

^a Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ziraat Mühendisliği Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazar e-posta adres: recepkulcu@isparta.edu.tr

ÖZET:

Günümüzde küresel ısınmanın temel nedeni, atmosferdeki sera gazı emisyonlarının artmasıdır. Atmosferdeki sera gazı emisyonları büyük oranda fosil enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle fosil enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en stratejik olanı güneş enerjisidir. Çünkü güneş enerjisi, biyokütle gibi yakıt kullanmayan ve çok geniş kullanım alanlarına sahip bir kaynaktır. Bir bölgeye gelen global güneş radyasyonu; atmosfer dışına gelen radyasyonun hesaplanması ve yeryüzüne ulaşan kısmının ampirik modellerle tahmin edilmesi yoluyla belirlenmektedir. Bu kapsamda araştırmacılar farklı bölgeler için tahminleme yapabilen modeller üzerine çalışmaktadır.

Bu çalışmada literatürdeki modellerden farklı bir global güneş radyasyonu tahmin modelinin geliştirilmesi ve Çankırı koşullarında test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, literatürde yer alan 8 model ve geliştirilen bir model kullanılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen model, logaritmik bir fonksiyon kullanırken, değişken olarak bulutluluk katsayısı ve saat açısını kullanmaktadır. Gerçekleştirilen modelleme çalışması sonucunda hesaplanan istatistik parametreleri, geliştirilen modelin Çankırı ili için global güneş radyasyonunu diğer modellerden daha başarılı tahmin edebildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Global Güneş Radyasyonu, Modelleme, Çankırı

Development of a New Model Using Empirical Modeling of Global Solar Radiation and Its Application in Çankırı City

ABSTRACT:

Today, the main reason of global warming is the increase of greenhouse gas emissions in the atmosphere. The main source of the increase in greenhouse gas emissions is the use of fossil energy sources. Therefore, the use of renewable energy sources instead of fossil energy sources is of great importance. Among renewable energy sources, solar energy is the most strategic. Because solar energy is a resource that does not use fuel like biomass and has a wide usage area. Global solar radiation to a region; It is determined by calculating the radiation coming out of the atmosphere (extraterrestrial radiation) and estimating the part reaching the earth with empirical models. In this context, researchers are working on models that can make predictions for different regions.

In this study, it is aimed to develop a global solar radiation prediction model and to test it for Çankırı conditions. In this study, 8 models and developed models were used. The model developed in the study uses a logarithmic (log) function and cloudiness coefficient and sunset hour angle as a variable. The statistical parameters calculated as a result of the modeling study showed that the developed model can predict global solar radiation more successfully than other models for Çankırı.

Keywords: Solar Energy, Global Solar Radiation, Modeling, Çankırı.

1. GİRİŞ

Dünyada fosil enerji kaynaklarının yoğun bir şekilde kullanımından kaynaklanan sera gazları, küresel ısınmanın temel nedenidir. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını azaltmak amacıyla imzalanan Kyoto protokolüne göre sera gazları; CO₂, CH₄ ve N₂O'lerden oluşmaktadır. CH₄ ve N₂O emisyonlarının temel kaynakları organik atıklar ve tarım sektörüdür. CO₂ emisyonlarının temel nedeni ise fosil enerji kaynaklarıdır. Günümüzde sera gazı emisyonları içerisinde en yüksek paya sahip olan CO₂ salınımlarını azaltmanın en önemli yolu, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en temiz ve potansiyeli en yüksek kaynaktır. Güneş enerjisi, güneşte meydana gelen nükleer reaksiyonlar sonucunda uzay boşluğuna yayılan radyasyonun yeryüzüne ulaşan kısmını ifade etmektedir. Global güneş radyasyonu dünya üzerindeki yaşamın kaynağıdır. Global güneş radyasyonu günümüzde sıcak hava, sıcak su ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bir bölgeye gelen güneş radyasyonu, atmosfer dışına gelen radyasyonun eşitlikler kullanılarak hesaplanması ve atmosfer dışına ulaşan radyasyonun yeryüzüne gelen kısmının ampirik modeller kullanılarak tahminlenmesi yoluyla belirlenmektedir. Bu kapsamda araştırmacılar farklı modeller geliştirmekte ve geliştirilen modellerin farklı bölgeler için validasyonlarını gerçekleştirmektedir. Tahminlemede kullanılan modellerin validasyonlarında meteoroloji

istasyonlarından ölçülen veriler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yeryüzüne düşen güneş ışınımının modellenmesinde kullanılabilecek yeni bir modelin geliştirilmesi ve Çankırı koşullarında test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada literatürde yer alan sekiz model ve çalışma kapsamında geliştirilen bir model kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve modellerden elde edilen veriler ölçülmüş değerlerle karşılaştırılarak hangi modelin daha başarılı tahmin yaptığı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan modeller değişken olarak; güneşlenme süresi, gün uzunluğu ve saat açısı değerlerini kullanmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Çankırı'da atmosfer dışına gelen güneş ışınımı miktarının hesaplanması

Atmosfer dışına bir günde gelen ışınım miktarı 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır [1, 2].

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} f \left[\cos \varphi \cos \delta \sin w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \varphi \sin \delta \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$f = 1 + 0,033 \left(\cos \frac{360 n}{365} \right) \dots \dots \dots (2)$$

H₀ değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle deklinasyon ve saat açılarının hesaplanması gerekmektedir. Deklinasyon açısı, dünyanın güneş etrafında döndüğü düzlem ile ekvatorial eksen arasındaki açıyı ifade etmektedir. Bu değer 21 Haziranda maksimum, 21 Aralıkta minimum değeri alırken 21 Mart ve 21 Eylül günlerinde sıfır olmaktadır. Hesaplama yapılan günün, yılbaşından itibaren, kaçınıcı gün olduğuna göre değişen deklinasyon açısı 3 numaralı eşitlik

kullanılarak hesaplanmıştır [1,3].

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

Gün batımı saat açısı, güneş ışınlarının (güneşin battığı saatte) bulunduğu enlem ile hesaplama yapılan enlem arasındaki açıyı ifade etmektedir. Gün batımı saat açısı 4 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [4].

$$w_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \dots \dots \dots (4)$$

2.2.Çankırı'da global aylık ortalama günlük güneş ışınımı miktarının hesaplanması

Çankırı'da yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının hesaplanmasında literatürde yer alan modeller ve çalışma kapsamında geliştirilen modeller kullanılmıştır. Literatürde yer alan modellerde değişken olarak S/S_0 (Bulutluluk katsayısı) ve saat açısı w_s katsayısı kullanılmaktadır. Burada S hesaplama yapılan tarih ve koordinatta o güne ait güneşlenme süresini, S_0 ise aynı gün ve aynı yerdeki toplam gün uzunluğunu ifade etmektedir. S değeri meteorolojik ölçümlere göre belirlenirken, S_0 değeri 5 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [1].

$$S_0 = \frac{2}{15} \cosh^{-1} - \tan \delta \tan \varphi \dots \dots \dots (5)$$

2.3.Çalışma kapsamında kullanılan modeller

Model 1 [5,6];

$$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left(\frac{S}{S_0}\right) \dots \dots \dots (6)$$

Model 2 [7];

$$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left(\frac{S}{S_0}\right)^{c_3} \dots \dots \dots (7)$$

Model 3 [8];

$$\frac{H}{H_0} = c_1^{(1/S)} \dots \dots \dots (8)$$

Model 4 [9];

$$\frac{H}{H_0} = \left[\frac{c_1 \left(\frac{S}{S_0}\right)}{c_2 w_s}\right] + c_3 w_s \dots \dots \dots (9)$$

Model 5 [10];

$$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left(\frac{S}{S_0}\right) + c_3 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + c_4 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \dots (10)$$

Model 6 [11];

$$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left(\frac{S}{S_0}\right) + c_3 \log\left(\frac{S}{S_0}\right) \dots \dots \dots (11)$$

Model 7 [12];

$$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \exp\left(\frac{S}{S_0}\right) \dots \dots \dots (12)$$

Model 8 [13];

$$\frac{H}{H_0} = c_1 + \left[c_2 \left(\frac{S}{S_0}\right) + c_3\right] \varphi + c_3 \left(\frac{S}{S_0}\right) \dots \dots (13)$$

Model 9 bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olup, logaritmik fonksiyon kullanarak tahmin yapmaktadır.

$$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \log\left(\frac{S}{S_0/w_s}\right) + c_3 \left(\frac{S}{S_0}\right) \dots \dots (14)$$

2.4.Modellerin tahmin başarısını test etmekte kullanılan istatistiksel parametreler

Çalışma kapsamında incelenen modellerin tahmin yeteneklerinin karşılaştırılmasında; MPE (ortalama yüzde hata), MBE (ortalama sapma hatası) ve RMSE (karekök hatası) ve r^2 (determinasyon katsayısı) parametreleri hesaplanmıştır. Hata parametrelerinin düşük olması modellerin tahmin ettiği verilerin ölçülen değerlere yakınlığını ifade etmektedir [14]. Ancak her hata parametresinin kendisine özgü değerlendirme yöntem ve yaklaşımları bulunmaktadır. Örneğin, deneysel veriler ve ölçülen veriler arasındaki farklar veya hatalar pozitif ve negatif yönlerde birbirine yakın dağılımlar gösteriyorsa MBE ve MPE değerleri azalmakta ancak bu modellerin RMSE değerleri yüksek çıkmaktadır. Bu durumun nedeni, RMSE değerinin farkların karesini alarak kullanmasıdır. Bu durumda RMSE değeri bize hatanın mutlak değeri hakkında bilgi verirken, MPE ve MBE değerleri hatanın boyutunu

dağılımına göre değerlendirerek bir sonuç vermektedir. Determinasyon katsayısı (r^2) değerinin yüksek olması, tahmin değerleri ile ölçüm değerleri arasındaki korelasyonun yüksek olduğuna işaret etmektedir.

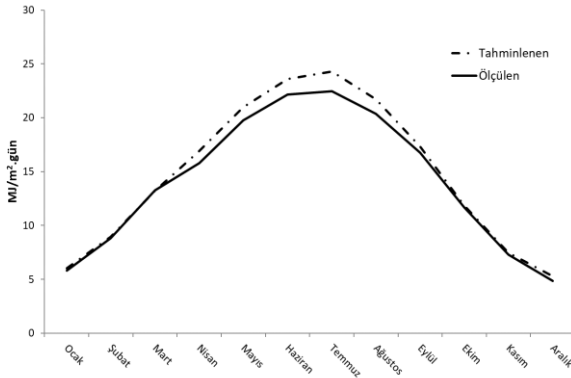
$$MPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{H_{ip} - H_{io}}{H_{io}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (15)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{ip} - H_{io}) \dots \dots \dots (16)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{ip} - H_{io})^2} \dots \dots \dots (17)$$

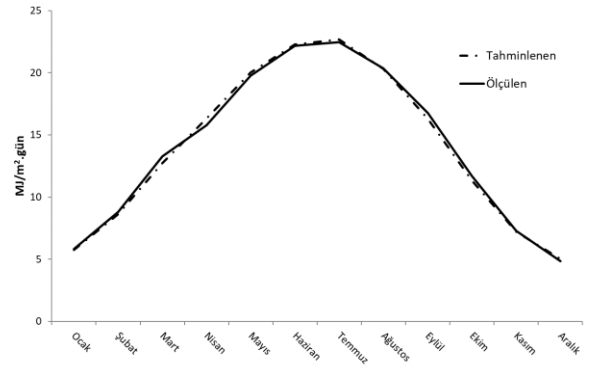
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında kullanılan modellerin tahmin ettiği global radyasyon değerleri ile Çankırı ilinde meteoroloji istasyonundan ölçülen değerlerin aylara göre değişimleri grafikler halinde gösterilmiştir (Şekil 1-9). Şekil 1’de Model 1 tarafından tahmin edilen değerler ile ölçülen veriler gösterilmiştir. Model 1’in yaz ayları için gerçekleştirdiği tahminlerin, ölçülen değerlerden biraz yüksek olduğu görülmüştür.



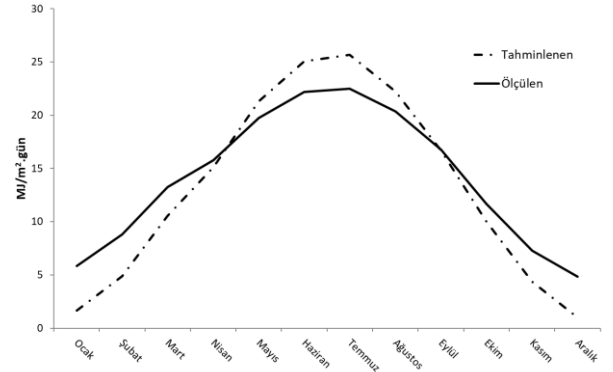
Şekil 1. Model 1 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Şekil 2’de, Model 2 tarafından gerçekleştirilen tahmin değerleri ile ölçüm değerleri gösterilmiştir. Model 2, oldukça başarılı tahminler gerçekleştirmiştir. Mart, Mayıs ve Ekim aylarında tahmin değerlerinde çok ufak sapmalar olmuştur.



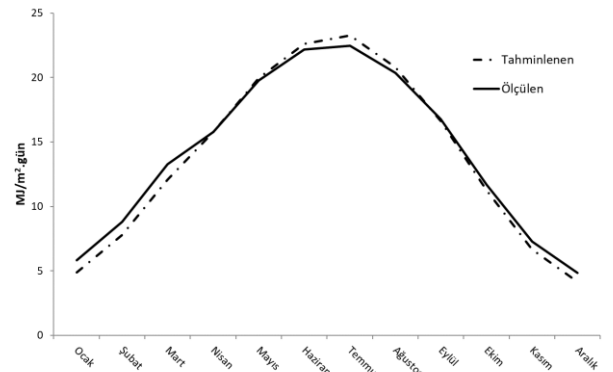
Şekil 2. Model 2 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Model 3 tarafından gerçekleştirilen tahmin değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Model 3 çalışma kapsamındaki modeller içerisinde en uzak tahminleri gerçekleştirmiştir. Model 3, Mayıs ve Ekim ayları haricinde, ölçülen değerlerden oldukça uzak tahminler gerçekleştirmiştir.



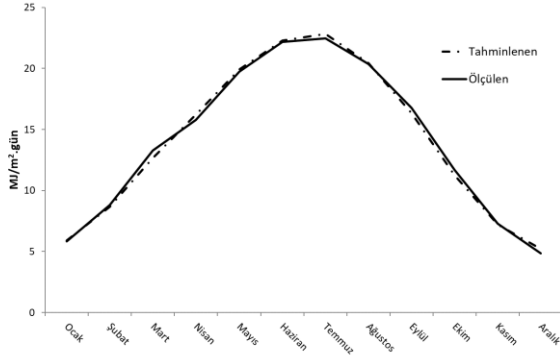
Şekil 3. Model 3 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Model 4 tarafından yapılan tahmin değerleri Şekil 4’de gösterilmiştir. Model 4 yaz aylarında ölçüm değerlerinden yüksek tahmin yaparken, bahar ve kış aylarında düşük tahminler yapmıştır.



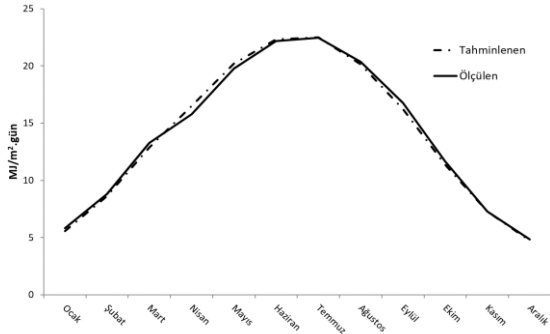
Şekil 4. Model 4 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Şekil 5’de, Model 5 tarafından tahmin edilen global güneş radyasyonu değerleri gösterilmiştir. Model 5 oldukça başarılı tahminler gerçekleştirmiştir. Model 5 sadece 4 ay için ölçüm değerlerinden biraz farklı değerler tahmin etmiştir.



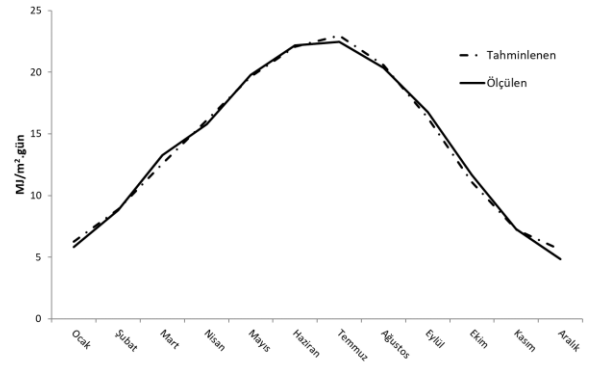
Şekil 5. Model 5 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Şekil 6’da, Model 6 tarafından gerçekleştirilen tahmin değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Model 6 tarafından gerçekleştirilen tahminler de oldukça başarılıdır. Model 6 nisan ayında biraz yüksek ve eylül ayında biraz düşük tahminler yapmıştır. Diğer aylarda yaptığı tahminler oldukça başarılıdır.



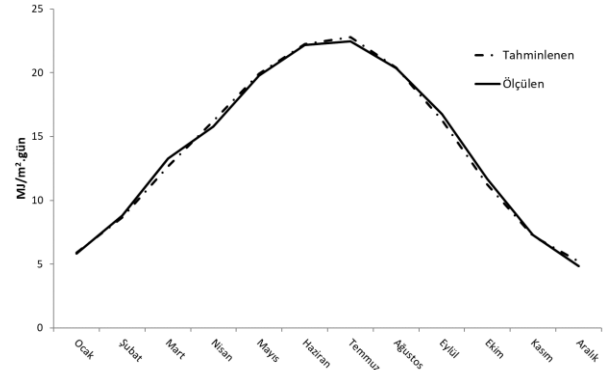
Şekil 6. Model 6 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Model 7 tarafından tahmin edilen global güneş radyasyonu değerleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Model 7 tarafından gerçekleştirilen tahminlerde ağustos ve aralık ayı değerleri biraz yüksek, mart ve ekim ayı tahminleri ölçüm değerlerinden biraz düşük gerçekleşmiştir.



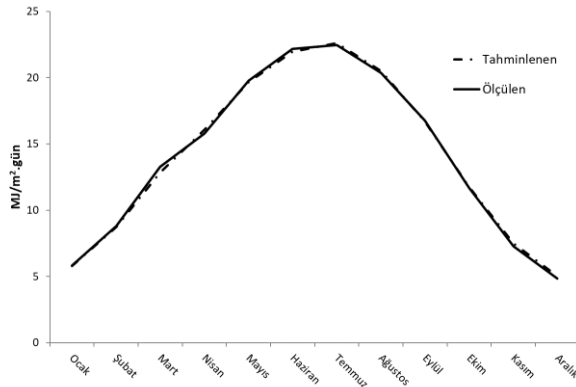
Şekil 7. Model 7 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Şekil 8’de, Model 8 tarafından gerçekleştirilen tahmin değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Oldukça başarılı değerler tahmin eden Model 8, sadece 4 ayda ölçüm değerlerinden biraz farklı radyasyon değerleri hesaplamıştır.



Şekil 8. Model 8 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Şekil 9’da, Model 9 tarafından tahmin edilen global güneş radyasyonu değerleri ile Çankırı ilinde ölçülen değerlerin değişimleri gösterilmiştir. Model 9, ölçüm değerlerini büyük oranda doğru tahmin etmiştir sadece 3 ay için tahminlenen değerler ölçüm değerlerinden çok küçük farklar içermektedir. Model 9’un tahmin değerlerinin diğer modellerin tahmin ettiği değerlere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.



Şekil 9. Model 9 tarafından tahmin edilen ve ölçülen veriler

Çizelge 1’de, modellerin tahmin ettiği veriler ve ölçülmüş veriler kullanılarak gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçları gösterilmiştir. İstatistiksel hata parametreleri olan MPE ve MBE değerlerinin mutlak değerleri değerlendirilmelidir, çünkü bu değerlerin negatif

veya pozitif olması hatanın yönünü ifade etmektedir. RMSE ve r^2 değerleri için negatiflik söz konusu değildir. Çizelge 1’de yer alan c değerleri, modellerde kullanılan sabitlerin, Çankırı ilinde ölçülmüş global güneş radyasyonu değerlerine göre hesaplanmış seviyeleridir.

Çizelge 1’deki istatistiksel değerlendirme parametreleri incelendiğinde; en yüksek r^2 değeri 0,99901 seviyesiyle Model 9 için hesaplanırken, Model 9’un MBE ve RMSE değerleri diğer modellerden daha düşük hesaplanmıştır. Ancak modellerin MPE değerleri ile diğer parametreler arasında net bir uyum görülmemektedir. En düşük MPE değeri 0,03160 seviyesiyle Model 8 için hesaplanırken, bu modeli 0,09780 seviyesiyle Model 5 ve 0,34471 Model 9 izlemiştir.

Tablo 1. Modellerin istatistiksel analiz sonuçları

	c_1	c_2	c_3	c_4	MPE	MBE	RMSE	r^2
Model 1	0,31797	0,38603	-	-	4,73199	0,72519	0,94474	0,99750
Model 2	0,20747	0,42335	0,58302	-	-0,40805	-0,03845	0,30847	0,99771
Model 3	0,00783	-	-	-	-19,29233	-0,87750	2,76501	0,99420
Model 4	1,45534	0,03530	0,00274	-	-4,63395	-0,26579	0,67255	0,99790
Model 5	0,32215	0,32931	0,00125	0,00037	0,09780	-0,01230	0,32346	0,99732
Model 6	0,60482	0,00002	0,36350	-	-0,93971	-0,05494	0,34297	0,99735
Model 7	0,35533	0,03964	-	-	1,18660	0,01976	0,43215	0,99510
Model 8	0,32213	0,00524	0,00000	0,11673	0,03160	-0,02360	0,32292	0,99732
Model 9	0,93436	0,23625	0,18865	-	0,34471	0,01114	0,19541	0,99901

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde kullanılabilecek yeni bir modelin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda logaritmik fonksiyon içeren bir model oluşturulmuş ve tahmin başarıları, literatürde yer alan sekiz modelle karşılaştırılmıştır. Tahmin verisi olarak, Çankırı ilinde yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu değerleri kullanılmıştır. Modellerin karşılaştırılmasında; tahmin-ölçüm verisi

grafikleri görsel olarak değerlendirilirken, sayısal incelemelerde MPE, MBE, RMSE ve r^2 istatistiksel değerlendirme parametreleri kullanılmıştır. Sayısal ve görsel sonuçlar yorumlandığında; Model 9’un daha doğru tahminler yaptığı grafiklerde görsel olarak ortaya konulmuş ve bu tespit RMSE, MBE ve r^2 parametreleriyle de istatistiksel açıdan onaylanmıştır. Ancak MPE parametresi bu uyumun dışında bir sonuç vermiştir. Ancak tüm sonuçlar bütünlük içerisinde değerlendirildiğinde, çalışma kapsamında geliştirilen modelin Çankırı ilinin

global güneş radyasyonu değerlerini diğer modellerden daha başarılı tahmin edebildiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda geliştirilen modelin, global güneş radyasyonu tahminlenmesinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak modelin farklı bölgeler için de validasyonunun gerçekleştirilmesi, kullanım alanı ve tahmin başarısının araştırılması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen modelin Çankırı ili için, model sabitleriyle birlikte yazılmış hali aşağıdaki gibidir.

$$\frac{H}{H_0} = 0,93436 + 0,23625 \log \left(\frac{S}{S_0/w_s} \right) + 0,18865 \left(\frac{S}{S_0} \right) \dots \dots \dots (18)$$

Simgeler

G_{sc} - Güneş sabiti 1367 W/m²

H -Global aylık ortalama günlük ışınlam (J/m².gün)

H_0 - Atmosfer dışına yatay düzleme bir gün boyunca gelen ışınlam (J/m².gün)

H_{io} -Ölçülmüş H değeri

H_{ip} - Tahmin edilen H değeri

MBE - Ortalama sapma hatası

MPE - Ortalama yüzde hata

n -Gün sayısı

$RMSE$ - Karekök hatası

r^2 - Determinasyon katsayısı

w_s - Güneş batış saat açısı

δ - Deklinasyon açısı

φ - Hesaplama yapılan yerin enlem derecesi

S - Güneşlenme süresi (sa)

S_0 - Gün uzunluğu (sa)

KAYNAKLAR

[1] Duffie, J.A., Backman, W.A., Solar engineering of thermal processes. 3rd ed. New

York: John Wiley& Son, 2006.

[2] Mengec, O., Ertekin, C., Sonmete, M.H., "Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey" Energy Conversion and Management 47, 3149–3173, 2006.

[3] Cooper, P. I., "The absorption of radiation in solarstills," Solar Energy, 12(3),333–346, 1983.

[4] Ertekin, C., Külcü, R., Evrendilek, F., "Techno-Economic Analysis of Solar Water Heating Systems in Turkey" Sensors 8, 1252-1277, 2008.

[5] Tiris, M.,Tiris, C., Erdalli, Y. Water heating systems by solar energy. Marmara Research Centre, Institute of Energy Systems and Environmental Research, NATO TU-COATING, Gebze, Kocaeli, Turkey, 1997.

[6] Louche, A., Notton, G., Poggi, P., Simonnot, G., "Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a French Mediterranean site" Solar Energy 46, 261–266, 1991.

[7] Elagib, N.,Mansell, M.G., "New approaches for estimating global solar radiation across Sudan" EnergyConvers. Manage.41, 419–434, 2000.

[8] El-Metwally, M., "Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt" J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 67 (14), 1331–1342, 2005.

[9] Külcü, R., "Isparta İli İçin Yeryüzüne Ulaşan Güneş Işınlamının Modellenmesi" SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, (1):19-26, 2015.

[10] Bahel, V., Bakhsh, H., Srinivasan, R., "A correlation for estimation of global solar radiation", Energy 12:131–5, 1987.

[11] Ampratwum, D.B., Dorvlo, A.S.S., "Estimation of solar radiation from the number of sunshine hours" Applied Energy 63:161–7, 1999.

[12] Almorox, J., Hontoria, C., "Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain" Energy Conversion and Management,45:1529–35, 2004.

[13] Dogniaux, R., Lemoine, M., "Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency" Solar energy research and development in the European Community, series F, vol. 2. Dordrecht, Holland: Reidel, 1983.

[14] Khahro, S.F., Kavita Tabbassum, K., Talpur, S., Alvi, M.B., X., Dong, L., “Evaluation of solar energy resources by establishing empirical models for diffuse solar radiation on tilted surface and analysis for optimum tilt angle for a prospective location in southern region of Sindh, Pakistan” *Electrical Power and Energy Systems* 64, 1073–1080, 2015.

[13] Telli, Z.K., “Termodinamik (Problemleri ile Birlikte)”, Palme Yayıncılık, 3. Baskı, s.275, 1998.

[14] You, Y., Hu, E.J., “A medium-temperature solar thermal power system and its efficiency optimization”, *Applied Thermal Engineering*, pp.357-364, Australia, 2002.

[15] Üçgül, İ., Koyun, T., “Silindirik yansıtıcı iki yüzeyle kolektörler ile düz yüzeyle kolektörlerin I. ve II. yasa verimliliklerinin irdelenmesi”, *Mühendis ve Makine*, Sayı:530, Mart 2004.

[16] Kotas, T.J., “The exergy method of thermal plant analysis”, 1985.

[17] Szargut, J., Moris, D.R., Steward, F.R., “Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes”, hemisphere publishing corporation, 1988.