

# Isparta İçin Aylık Ortalama Günlük Global Güneş Radyasyonu Tahmininde Mevcut Olan Bazı Modellerin Karşılaştırılması

## Comparison of Some Existing Models for Estimating Monthly Average Daily Global Solar Radiation for Isparta

Murat ÖZTÜRK\*, Nuri ÖZEK, Berna BERKAMA

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Çünür, Isparta

Geliş Tarihi/Received : 28.07.2011, Kabul Tarihi/Accepted : 11.10.2011

### ÖZET

Global güneş radyasyonunun miktarı ve zamansal dağılımı düzlemsel kolektörler, fotovoltaik sistemler ve diğer güneş enerjisi toplayıcıları gibi güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı için birincil etkidir. Enerji-verimli binaların tasarımları ve güneş enerjisi uygulamaları için mimarlar ve mühendisler tarafından bu parametrelerin bilinmesi gereklidir. Ancak birçok durumda, doğrudan ölçüm mevcut değildir. Bu nedenle global radyasyonu tahmin etmek için ölçülen bazı meteorolojik verileri kullanan nümeriksel hesaplamalar etkili bir alternatif yoldur. Bu çalışmada, Isparta’da yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun belirlenmesi için literatürde bulunan bazı modeller incelenmiştir. İncelemesi yapılan modeller bağıl hata yüzdesi ( $\epsilon$ ), belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), ortalama yüzde hata (MPE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), bağıl hata karesi (SSRE), bağıl standart toplam hata (RSE), ortalama sapma hatası (MBE), karekök hatası (RMSE) ve t-istatistik (t-stat) kullanan istatistiksel hata testlerine bağıl olarak karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hata testlerin sonucuna göre,  $\epsilon$  (%1.77),  $R^2$  (%95.86), MPE (%0.127), MAPE (%8.95), SSRE (%5.22), RSE (%0.007), MBE (%0.092), RMSE (%1.39) ve t-stat (%0.812), Isparta’nın yatay düzlemi gelen global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde en iyi yaklaşım Model 18c ile elde edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Güneş radyasyonu, Korelasyon modelleri, Günlük global radyasyon.

### ABSTRACT

The amount of global solar radiation and its temporal distribution are the primary variables for designing solar energy systems, such as flat-plate collectors, photovoltaic systems and other solar energy collecting devices. Knowledge of these parameters is essential to architects and engineers for energy-efficient building designs and solar energy applications. However, direct measuring is not available in many cases, so numerical technique becomes an effective alternative to estimate global radiation through observed meteorological data. In this study, some empirical models in the literature for determining the monthly average daily global solar radiation on a horizontal surface for Isparta were investigated. The models were compared on the basis of statistical error tests using the relative percentage error ( $\epsilon$ ), coefficient of determination ( $R^2$ ), mean percentage error (MPE), mean absolute percentage error (MAPE), the sum of the square of relative error (SSRE), the relative standard error (RSE), mean bias error (MBE), root mean square error (RMSE) and t-statistic (t-stat) method. According to the results, Model 18c showed the best estimation of the global solar radiation on a horizontal surface of Isparta by means of the  $\epsilon$  (1.77%),  $R^2$ (95.86%), MPE (0.127%), MAPE (8.95%), SSRE (5.22%), RSE (0.007%), MBE (0.092%), RMSE (1.39%) and t-stat (0.812%). The most suitable model for estimating global solar radiation coming on horizontal surface of Isparta is obtained with Model 18c.

**Keywords:** Solarradiation, Correlation models, Daily global radiation.

---

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : muratozturk@sdu.edu.tr (M. Öztürk)

## 1. GİRİŞ

Alternatif enerji kaynaklarına geçişteki en önemli neden fosil yakıtların sınırlı olmalarının yanında, ekolojik çevreye verdikleri telafisi güç zararlarıdır. Dünyanın sahip olduğu petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların özellikle 20. yüzyılda yoğun bir şekilde kullanılması ile ozon tabakasının delinmesi, asit yağmurları, küresel ısınma gibi etkiler, dünyayı belki de geriye dönüşü zor bir çevre kirliliği ile karşı karşıya bırakmıştır (Öztürk, 2009). Yani çevresel faktörler de farklı uyarılarla alternatif yakıtları gündeme taşımaktadır. Alternatif enerji kaynaklarını ortaya çıkaran temel etken olması nedeni ile bu kaynaklar içinde en önemli olanı güneş enerjisidir. Çünkü bütün enerji kaynakları güneşten türemiştir. Yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar çağlar öncesinde güneşten aldıkları enerji sayesinde karakteristiklerini değiştirmişler ve bugünkü kullanılır şekillerini almışlardır. Ancak çok yakın bir gelecekte bitmeleri kaçınılmaz bir gerçektir. Bu nedenle güneş enerjisinin uygulama alanlarının artırılmasına vakit kaybetmeden başlanmalıdır. Güneş enerjisi teknolojileri, yenilenebilir, temiz ve yerli enerji kaynağı sunmasının yanında, sürdürülebilir enerji teknolojileri açısından da geleceğin temel enerji üretim bileşenidir. Türkiye yılda yaklaşık 2640 saat güneşlenme süresine sahip olduğu için orta kuşak güneşlenme bölgesinde yer almaktadır. Günlük ortalama güneş enerjisi yoğunluğu 3,6 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Türkiye toplam brüt güneş enerjisi potansiyeli yaklaşık 8,8 MTEP olan yıllık toplam güneş radyasyonu, en yüksek yıllık güneşli 2993 saat ve 1460 kWh/m<sup>2</sup> yıl ile Güneydoğu Anadolu ve en düşük yıllık güneşli 1971 saat ve 1120 kWh/m<sup>2</sup> yıl ile Karadeniz Bölgesi arasında değişmektedir (Öztürk v.d., 2009). Düzlemsel kolektörler, fotovoltaik (PV) sistemler ve diğer güneş enerjisi toplayıcı sistemleri için herhangi bir yerdeki global güneş radyasyonunun miktarının bilgisi sistemin tasarımı ve optimizasyonu için son derece önemlidir (Kumar ve Umanand, 2005; Oliver ve Jackson, 2001; Roebeling v.d., 2004; Benghanem ve Melit, 2010; Bakirci, 2009; Berbery, 1999). Güneş radyasyon ölçümü pyranometreler gibi pahalı ekipman gerektirir. Aynı zamanda, cihazın maliyeti nedeniyle gerekli bakımı ve kalibrasyonu gereksinimlerinden dolayı kullanılabilirliği de kolay değildir. Güneş radyasyonu verileri meteoroloji istasyonu

sayısı göz önüne alındığında azdır. Böyle durumlarda, güneş radyasyonu modellerinin kullanımı güneş enerjisi uygulamaları için gerekli verilerin tahmin edilmesinde kullanılan yaygın bir uygulamadır. Global güneş ışınımı hesaplamalarında kullanılan çeşitli ampirik modelleri oluşturmak için bazı parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler dünya dışı radyasyon, güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık, toprak sıcaklığı, bağıl nem, yağmurlu gün sayısı, yükseklik, enlem, boylam, toplam yağış, bulutluluk ve buharlaşmadır (Togrul ve Onat, 2000; Jin v.d., 2005; Menges v.d., 2006; Ertekin ve Evrendirek, 2007).

Bu çalışmanın amacı, Isparta için seçilen bağımsız bir veri grubunu kullanarak yatay bir yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde literatürde mevcut olan bazı modelleri karşılaştırmak ve istatistiksel hata testlerini uygulayarak en iyi sonucu veren modeli ve diğer geçerli modelleri belirlemektir.

## 2. GÜNEŞ RADYASYONUNUN BELİRLENMESİ İÇİN KULLANILAN MODELLER

Herhangi bir yüzey alanına ulaşan güneş radyasyonunu hesaplamak için çeşitli ampirik modeller kullanılmaktadır. Güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, enlem, boylam, yağış, bağıl nem ve bulutluluk gibi, klimatolojik, meteorolojik ve coğrafi parametreler de global güneş radyasyonunu tahmin etmek için sıkça kullanılmaktadır. Global güneş radyasyonunun tahmini için en çok kullanılan parametre güneşlenme süresi olup kolay ve güvenilir bir şekilde ölçülebilmektedir. Global güneş radyasyonu tahmin modellerinin çoğu güneş radyasyonu miktarlarının tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, literatürden alınan ve eğik yüzeye gelen günlük ortalama global güneş radyasyonunun belirlenmesi için kullanılan modeller aşağıda verildiği gibi başlıca dört başlık altında incelenmiştir.

### 2.1. Linear Model (Angström-Prescott-Page modeli)

Linear model veya Angstrom-Presscott-Page (Angstrom, 1924) modeli olarak adlandırılan model aşağıda verilen denklem ile ifade edilir.

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

Burada, H aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu,  $H_0$  aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu, S gün uzunluğunu,  $S_0$  maksimum mümkün güneşlenme süresini, a ve b katsayıları göstermektedir. Yatay bir yüzey üzerine gelen dünya dışı güneş ışınımı aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left[ \cos \lambda \cos \delta \sin w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \lambda \sin \delta \right] \quad (2)$$

Burada,  $I_{gs}$  güneş sabiti ( $1367 \text{ W/m}^2$ ), f dünya yörüngesinin düzeltme katsayısı,  $\lambda$  enlem,  $\delta$  güneş deklinasyon açısı ve  $w_s$  ay için ortalama gündeğümü saat açısını göstermektedir (Duffie ve Beckman, 1991). Düzeltme katsayısı, deklinasyon açısı ve gündeğümü saat açısı aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

$$f = 1 + 0,033 \left( \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (3)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[ \frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (4)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \lambda \tan \delta) \quad (5)$$

Burada, n, 1 Ocaktan başlayan gün sayıdır. Belirli bir ay için, mümkün olan en yüksek güneşlenme süresi ( $S_0$ ) aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 1991).

$$S_0 = \frac{2}{15} w_s \quad (6)$$

### 2. 1. 1. Model 1

Tırıs v.d., (1997), Angström-Preccott-Page modeline bağlı olarak a ve b katsayılarını Türkiye için genel olarak aşağıdaki gibi vermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.62 \frac{S}{S_0} \quad (7)$$

### 2. 1. 2. Model 2

Benson v.d., (1984), bir yıl için iki farklı formül önermişlerdir. Ekim-Mart ve Nisan-Eylül aralığı için önerilen formülleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.60 \frac{S}{S_0} \quad (8)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.53 \frac{S}{S_0} \quad (9)$$

### 2. 1. 3. Model 3

Page dünyanın her yerinde geçerli olduğunu iddia ettiği Angstrom-Preccott-Page (1961), modelinin katsayılarını aşağıdaki gibi vermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.48 \frac{S}{S_0} \quad (10)$$

### 2. 1. 4. Model 4

Soler (1990), Rietveld tarafından verilen modeli Avrupa'da bulunan 100 istasyon için uygulamış ve aşağıdaki aylık korelasyonu önermiştir.

$$\text{Ocak} \quad \frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.66 \frac{S}{S_0} \quad (11)$$

$$\text{Şubat} \quad \frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.60 \frac{S}{S_0} \quad (12)$$

$$\text{Mart} \quad \frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.58 \frac{S}{S_0} \quad (13)$$

$$\text{Nisan} \quad \frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.62 \frac{S}{S_0} \quad (14)$$

$$\text{Mayıs} \quad \frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.52 \frac{S}{S_0} \quad (15)$$

$$\text{Haziran} \quad \frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.53 \frac{S}{S_0} \quad (16)$$

$$\text{Temmuz} \quad \frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.53 \frac{S}{S_0} \quad (17)$$

$$\text{Ağustos} \quad \frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.55 \frac{S}{S_0} \quad (18)$$

$$\text{Eylül} \quad \frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.59 \frac{S}{S_0} \quad (19)$$

$$\text{Ekim} \quad \frac{H}{H_0} = 0.19 + 0.60 \frac{S}{S_0} \quad (20)$$

$$\text{Kasım} \quad \frac{H}{H_0} = 0.17 + 0.66 \frac{S}{S_0} \quad (21)$$

$$\text{Aralık} \quad \frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.65 \frac{S}{S_0} \quad (22)$$

### 2. 1. 5. Model 5

Zabara (1986), a ve b katsayıları için polinom regresyon tekniğini kullanılarak Angström-Preccott-Page modeli için a ve b katsayılarını günlük güneş ışığı ilişkisiyle ( $S/S_0$ ) hesaplamıştır.

$$a = 0.3951.24 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 2.68 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 1.67 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (23)$$

$$b = 0.39 + 1.38 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 3.24 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 2.05 \quad (24)$$

### 2. 1. 6. Model 6

Bahel v.d., (1986), aşağıdaki ilişkiyi önermişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.175 + 0.552 \frac{S}{S_0} \quad (25)$$

### 2. 1. 7. Model 7

Lounce v.d, (1991), global güneş radyasyonu tahmini için aşağıdaki modeli sunmuşlardır.

$$\frac{H}{H_0} = 0.206 + 0.546 \frac{S}{S_0} \quad (26)$$

### 2. 1. 8. Model 8

Gopinathan (1988), Angström-Prescott-Page katsayılarını aşağıdaki gibi önermiştir.

$$a = 0.265 + 0.07Z + 0.136 \frac{S}{S_0} \quad (27)$$

$$b = 0.401 + 0.108Z + 0.0325 \frac{S}{S_0} \quad (28)$$

Burada, Z rakımı (km) göstermektedir.

### 2. 1. 9. Model 9

Rietveld (1978), a ve b katsayılarını aşağıda verildiği gibi önermiştir.

$$a = 0.10 + 0.24 \frac{S}{S_0} \quad (29)$$

$$b = 0.38 + 0.08 \frac{S}{S_0} \quad (30)$$

### 2. 1. 10. Model 10

Gopinathan (1988), aşağıdaki ilişkiyi vermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = \left[ -0.3 + 0.53 \cos \lambda - 0.06Z + \left(\frac{S}{S_0}\right) + \left[ 1.52 - 1.02 \cos \lambda + 0.092Z + \left(\frac{S}{S_0}\right) \right] \left(\frac{S}{S_0}\right) \right] \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (31)$$

### 2. 1. 11. Model 11

Glover ve McCulloch (1958), bulunulan bölgenin enlem derecesine ( $\lambda$ ) bağlı olarak aşağıdaki önermişlerdir. Bu formül  $\lambda < 60^\circ$  için geçerlidir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.29 \cos \lambda + 0.52 \frac{S}{S_0} \quad (32)$$

### 2. 1. 12. Model 12

Raja ve Twidell (1990), Pakistan'da bulunan beş istasyondan elde edilen güneşlenme verilerine bağlı olarak aşağıdaki formülü önermişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.388 \cos \lambda + 0.407 \frac{S}{S_0} \quad (33)$$

### 2. 1. 13. Model 13

Raja ve Twidell (1990), aşağıda verilen iki modeli önermişlerdir.

$$a-) \quad \frac{H}{H_0} = 0.335 + 0.367 \frac{S}{S_0} \quad (34)$$

$$b-) \quad \frac{H}{H_0} = 0.388 \cos \lambda + 0.367 \frac{S}{S_0} \quad (35)$$

### 2. 1. 14. Model 14

Dogniaux ve Lemoine (1983), global güneş radyasyonunun hesaplanması için aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.37 + \left[ 0.005 \frac{S}{S_0} - 0.003 \right] \lambda + 0.32 \frac{S}{S_0} \quad (36)$$

### 2. 1. 15. Model 15

Dogniaux ve Lemoine (1983), aylık global güneş radyasyonunun hesaplanması için aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$\text{Ocak} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00301\lambda + 0.34507) + (0.00495\lambda + 0.34572) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (37)$$

$$\text{Şubat} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00301\lambda + 0.34507) + (0.00495\lambda + 0.34572) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (38)$$

$$\text{Mart} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00303\lambda + 0.38557) + (0.00456\lambda + 0.35802) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (39)$$

$$\text{Nisan} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00334\lambda + 0.38557) + (0.00456\lambda + 0.35802)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (40)$$

$$\text{Mayıs} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00245\lambda + 0.35057) + (0.00485\lambda + 0.33550)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (41)$$

$$\text{Haziran} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00327\lambda + 0.39890) + (0.00578\lambda + 0.27292)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (42)$$

$$\text{Temmuz} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00369\lambda + 0.41234) + (0.00568\lambda + 0.27004)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (43)$$

$$\text{Ağustos} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00269\lambda + 0.36243) + (0.00412\lambda + 0.33162)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (44)$$

$$\text{Eylül} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00338\lambda + 0.39467) + (0.00564\lambda + 0.27125)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (45)$$

$$\text{Ekim} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00317\lambda + 0.36213) + (0.00504\lambda + 0.31790)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (46)$$

$$\text{Kasım} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00350\lambda + 0.36680) + (0.00523\lambda + 0.31467)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (47)$$

$$\text{Aralık} \quad \frac{H}{H_0} = (-0.00350\lambda + 0.36262) + (0.00559\lambda + 0.30675)\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (48)$$

### 2.1.16. Model 16

Rehman ve Halwani (1997), aşağıda verilen modeli önermişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = -0.3345 + 0.3809\frac{S}{S_0} + 0.888\cos\lambda + 0.20\cos\Psi + 0.0006Z \quad (49)$$

### 2.1.17. Model 17

Kılıç ve Öztürk (1983), a ve b katsayılarını aşağıdaki gibi vermişlerdir.

$$\begin{aligned} a &= 0.103 + 0.00001Z + 0.19\cos(\lambda - \delta) \\ b &= 0.533 - 0.165\cos(\lambda - \delta) \end{aligned} \quad (50)$$

### 2.1.18. Model 18

Toğrul v.d., (2000), aşağıda verilen ifadeleri önermişlerdir.

$$a = 0.340269 + 0.16151\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (51)$$

$$b = 0.16151 - 0.04611\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

$$b) a = 1.322794\ln\left(\frac{S}{S_0}\right) + 3.827013 \quad (52)$$

$$b = 2.400207\ln\left(\frac{S}{S_0}\right) - 3.166297$$

$$c) a = 0.1697 + 0.6505\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.9075\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (53)$$

$$b = 0.6505 - 0.9075\left(\frac{S}{S_0}\right) + 1.0174\left(\frac{S}{S_0}\right)^2$$

$$d) \quad a = -1.416495 + 6.745476\left(\frac{S}{S_0}\right) - 17.710444\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 20.349687\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (54)$$

$$b = 6.7454 - 17.7104\left(\frac{S}{S_0}\right) + 20.3496\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 17.02672\left(\frac{S}{S_0}\right)^3$$

$$e) \quad a = -0.89 + 4.23\left(\frac{S}{S_0}\right) - 8.37\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 3.43\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 + 6.43\left(\frac{S}{S_0}\right)^4 \quad (55)$$

$$b = 4.23 - 8.37\left(\frac{S}{S_0}\right) + 3.43\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 6.43\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 - 10.33\left(\frac{S}{S_0}\right)^4$$

## 2. 2. Karekök Model

Global güneş radyasyonunun belirlenmesinde aşağıdaki gibi ikinci dereceden polinom denklem kullanılabilir.

$$H = H_0 \left[ a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \right]$$

Burada, a, b ve c korelasyon katsayılarıdır.

### 2. 2. 1. Model 19

Akinoğlu ve Ecevit (1990), aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.145 + 0.845\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.280 \quad (56)$$

## 2. 2. 2. Model 20

Ogelman v.d., (1984), aşağıda verilen denklemi elde etmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.195 + 0.676 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.142 \quad (57)$$

## 2. 2. 3. Model 21

Taşdemiroğlu ve Sever (1991), aşağıda verilen ifadeyi altı il (Ankara, Antalya, Diyarbakır, Gebze, İzmir ve Samsun) için geliştirmişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.014 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.001 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (58)$$

## 2. 2. 4. Model 22

Yıldız ve Öz (1994), beş farklı istasyondan elde edilen ölçüm değerlerini kullanarak aşağıda verilen denklemi türetmişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.203 + 0.92 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.391 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (59)$$

## 2. 2. 5. Model 23

Aksoy (1997), Ankara, Antalya, Samsun, Konya, Urfa ve İzmir için aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun belirlenmesi için 2 yıllık meteorolojik verileri kullanarak aşağıda verilen ikinci dereceden denklemi elde etmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.148 + 0.668 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.079 \quad (60)$$

## 2. 3. Küpkök Model

Global güneş radyasyonunun, atmosfer öncesi radyasyona oranı; aşağıda verildiği gibi güneşlenme süresi oranının üçüncü dereceden ifade edilen bir fonksiyonu ile tanımlanmıştır.

$$H = H_0 \left[ a + b \left(\frac{S}{S_0}\right) + c \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + d \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \right]$$

Burada, a, b, c ve d korelasyon katsayılarıdır.

### 2. 3. 1. Model 24

Bahel v.d., (1987), dünya genelinde bulunan 48 istasyon için aşağıda verilen ifadeyi geliştirmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.16 + 0.87 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.16 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.34 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (61)$$

### 2. 3. 2. Model 25

Samuel (1991), aşağıda verilen üçüncü dereceden denklemi önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.14 + 2.52 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 3.71 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 2.24 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (62)$$

### 2. 3. 3. Model 26

Ülgen ve Hepbaşlı (2002), İzmir için aşağıda verilen ampirik ifadeyi türetmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.2408 + 0.3625 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.4597 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.3708 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (63)$$

### 2. 3. 4. Model 27

Toğrul ve Toğrul (2002), Ankara, Antalya, İzmir, Yenihisar (Aydın), Yumurtalık (Adana) ve Elazığ için aşağıda verilen ifadeyi önermişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.1796 + 0.9813 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.2958 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.2657 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (64)$$

### 2. 3. 5. Model 28

Tahran ve Sarı (2005), Karadeniz Bölgesi'nin güneş radyasyonunun belirlenmesi için aşağıda verilen üçüncü dereceden polinomial modeli önermişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.1520 + 1.1334 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 1.1126 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.4516 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (65)$$

## 2. 4. Diğer Modeller

Yukarıda verilen lineer, karekök ve küpkök modelleri içinde yer almayan logaritmik ve üstel fonksiyonları kapsayan günlük ortalama güneş radyasyonunun belirlenmesinde kullanılan modeller bu bölümde incelenmiştir

### 2. 4. 1. Model 29

Black (1956), aşağıda verilen ikinci dereceden denklemi önermiştir ( $C \leq 0.8$ ).

$$\frac{H}{H_0} = 0.803 - 340C - 0.458C^2 \quad (66)$$

Burada, C aylık ortalama bulutlu gün sayısıdır.

#### 2. 4. 2. Model 30

Almorox ve Hontoria (2004), aşağıda verilen modeli önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = -0.0271 + 0.309 \exp\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (67)$$

#### 2. 4. 3. Model 31

Ampratwum ve Dorvlo (1999), aşağıdaki gibi verilen modeli önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.600627 + 0.154448 \log\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (68)$$

#### 2. 4. 4. Model 32

Hargreaves v.d., (1985), global güneş radyasyonunu tahmin etmek için basit bir model önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.153796(T_{\max} - T_{\min})^{0.5} - 0.033739 \quad (69)$$

#### 2. 4. 5. Model 33

Bristow-Champbell (1984), global güneş radyasyonu için aşağıdaki ilişkiyi önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 14.35[1 - \exp(-0.009\Delta T^{0.54})] \quad (70)$$

#### 2. 4. 6. Model 34

Chen v.d., (2004), aylık ortalama günlük güneşlenme radyasyonunu tahmin etmek için aşağıda verilen modelleri sunmuşlardır.

$$a-) \frac{H}{H_0} = 0.264341 \ln(T_{\max} - T_{\min}) - 0.15561 \quad (71)$$

$$b-) \frac{H}{H_0} = -0.125214 \ln(T_{\max} - T_{\min}) + 42.87 \left(\frac{S}{S_0}\right)^{0.005054} - 41.917 \quad (72)$$

#### 2. 4. 7. Model 35

Louche v.d., (1991), Angström- Prescott-Page modelini modifiye ederek  $(S/S_0)$  oranı yerine  $(S/S_{nh})$  oranını kullanmıştır.

$$\frac{H}{H_0} = 0.357005 + 0.304034 \left(\frac{S}{S_{nh}}\right) \quad (73)$$

Burada,  $S_{nh}$  aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\frac{1}{S_{nh}} = \frac{0.8706}{S_0} + 0.0003 \quad (74)$$

#### 2. 4. 8. Model 36

Elagib ve Mansell (2000), aşağıda verilen korelasyonları önermişlerdir.

$$a) \frac{H}{H_0} = 0.37958 \exp\left[0.50948 \left(\frac{S}{S_0}\right)\right] \quad (75)$$

$$b) \frac{H}{H_0} = 0.301 + 0.3158 \left(\frac{S}{S_0}\right)^{0.736718} \quad (76)$$

$$c) \frac{H}{H_0} = 0.0614 + 0.0077\lambda + 0.2665 \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (77)$$

$$d) \frac{H}{H_0} = 0.3851 - 0.0299\lambda + 0.2695 \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (78)$$

#### 2. 4. 9. Model 37

Jin v.d., (2005), Çin'de yapılan ölçüm verilerine bağlı olarak aşağıdaki denklemleri elde etmişlerdir.

$$a) \frac{H}{H_0} = 0.067455 + 0.348575 \cos\lambda + 0.013698Z + 0.266239 \frac{S}{S_0} \quad (79)$$

$$b) \frac{H}{H_0} = -0.223014 - 0.000157\lambda + 0.570335Z + 0.386045 - 0.013619\lambda + 0.3802Z \frac{S}{S_0} \quad (80)$$

$$c) \frac{H}{H_0} = 0.318 + 0.225 \cos\lambda - 0.132Z + 0.18 + 0.19 \cos\lambda - 0.0714Z \frac{S}{S_0} \quad (81)$$

$$(d) \frac{H}{H_0} = 37.89 - 2.16\lambda + 41.09Z + 18.18 - 0.98\lambda + 18.73Z \frac{S}{S_0} + 9.483900 - 0.517682\lambda + 9.766651Z \frac{S}{S_0}^2 \quad (82)$$

$$(e) \frac{H}{H_0} = 0.194 + 0.36\cos\lambda - 0.137Z + 0.102 + 0.486\cos\lambda - 0.14Z \frac{S}{S_0} + -0.03 + 0.142\cos\lambda - 0.13Z \frac{S}{S_0}^2 \quad (83)$$

#### 2. 4. 10. Model 38

Badescu (1999), aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunu tahmin etmek için aşağıda verilen denklemleri türetmiştir.

$$(a) \frac{H}{H_0} = 0.609649 - 0.187758C \quad (84)$$

$$(b) \frac{H}{H_0} = 0.5826 - 0.0316C - 0.1802C^2 \quad (85)$$

$$(c) \frac{H}{H_0} = 0.6308 - 0.4335C + 0.7742C^2 - 0.682C^3 \quad (86)$$

#### 2. 4. 11. Model 39

Newland (1988), logaritmik terimi içeren aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.34 + 0.40 \left( \frac{S}{S_0} \right) + 0.17 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (87)$$

### 3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ METOTLARI

Literatürde, güneş radyasyonu tahmin modellerinin performansını değerlendirmek için kullanılan birçok istatistiksel test yöntemi vardır. Bunlar arasında, bağıl hata yüzdesi (e), belirlilik katsayısı (R2), ortalama yüzde hata (MPE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), bağıl hata karesi (SSRE), bağıl standart toplam hata (RSE), ortalama sapma hatası (MBE), karekök hatası (RMSE) ve t-istatistik (t-stat) istatistiksel sonuçlarını karşılaştırmak en sık kullanılan yöntemlerdir (Ulgen ve Hepbasli, 2002; Ulgen ve Hepbasli, 2004; Haydar v.d., 2006).

#### 3. 1. Bağıl Hata Yüzdesi (e)

Bağıl hata yüzdesi aşağıdaki gibi verilir (Skeiker, 2006; Ertekin ve Yaldiz, 1999).

$$e = \left( \frac{m_i - c_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (88)$$

Burada, ci hesaplanan değerleri ve mi ölçülen değerleri göstermektedir. e hesaplanan ve ölçülen veri arasındaki yüzdesel sapma miktarını vermektedir. e'nin ideal değeri sıfıra eşittir.

#### 3. 2. Belirlilik Katsayısı (R2)

Kararlılık katsayısı hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemek için kullanılabilir (Ulgen ve Hepbasli, 2002).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_a) \times (m_i - m_a)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (c_i - c_a)^2] \times [\sum_{i=1}^n (m_i - m_a)^2]}} \quad (89)$$

Burada, ca ve ma sırasıyla hesaplanan ve ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

#### 3. 3. Ortalama Yüzde Hata (MPE)

Ortalama hata yüzdesi, ölçülen değerlerden önerilen denklemler ile tahmin edilen aylık ortalama günlük radyasyonun yüzdesel sapması olarak tanımlanabilir.

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i - c_i}{m_i} \right) \times 100}{n} \quad (90)$$

Burada, n hesaplanan ve ölçülen değerlerin sayısıdır.

#### 3. 4. Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (MAPE)

Ortalama yüzde hata, tahmin edilen ve ölçülen güneş radyasyonu arasındaki yüzdesel sapmanın mutlak ortalama değeri olarak ifade edilmiştir.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \left( \frac{m_i - c_i}{m_i} \right) \right| \times 100}{n} \quad (91)$$

#### 3. 5. Bağıl Hata Karesi (SSRE)

Bağıl hatanın karelerinin toplamı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$SSRE = \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i - c_i}{m_i} \right)^2 \quad (92)$$

İdeal olan SSRE değerinin sıfıra eşit olmasıdır.

### 3. 6. Bağıl Standart Toplam Hata (RSE)

Bağıl standart hata aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$RSE = \sqrt{\frac{SSRE}{n}} \quad (93)$$

RSE korelasyon tahmininin doğruluk derecesi vermektedir.

### 3. 7. Ortalama Sapma Hatası (MBE)

Ortalama sapma hatası aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - c_i) \quad (94)$$

MBE hesaplanan ve ölçülen değerler terimi ile dönem arasındaki gerçek sapma için korelasyonun uzun vadeli performansı hakkında bilgi verir. MBE'nin ideal değeri sıfırdır.

### 3. 8. Karakök Hatası (RMSE)

Karakök ortalama hatası aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - c_i)^2} \quad (95)$$

Kısa vadeli performans hakkında bilgi verir. RMSE'nin ideal değeri sıfırdır ve her zaman

## 4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Isparta yatay düzlemi üzerine gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresinin 11 yıllık verileri kullanılmıştır. 2000 ile 2010 yıllarını kapsayan veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Günlük global güneş radyasyonu (H) ve gün uzunluğu (S) 11 yıllık verilerin ortalamasından belirlenmiştir. Aylık ortalama günlük dünya dışı radyasyon (Ho) ve maksimum mümkün güneşlenme süresi (So) sırasıyla Denklem (2) ve (6)'dan hesaplanmıştır. Kullanılan modellerin parametreleri yukarıda verildiği gibi hesaplanmıştır. Modellerin hesaplanmasında kullanılan regresyon sonuçları ve diğer istatistiksel parametre değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

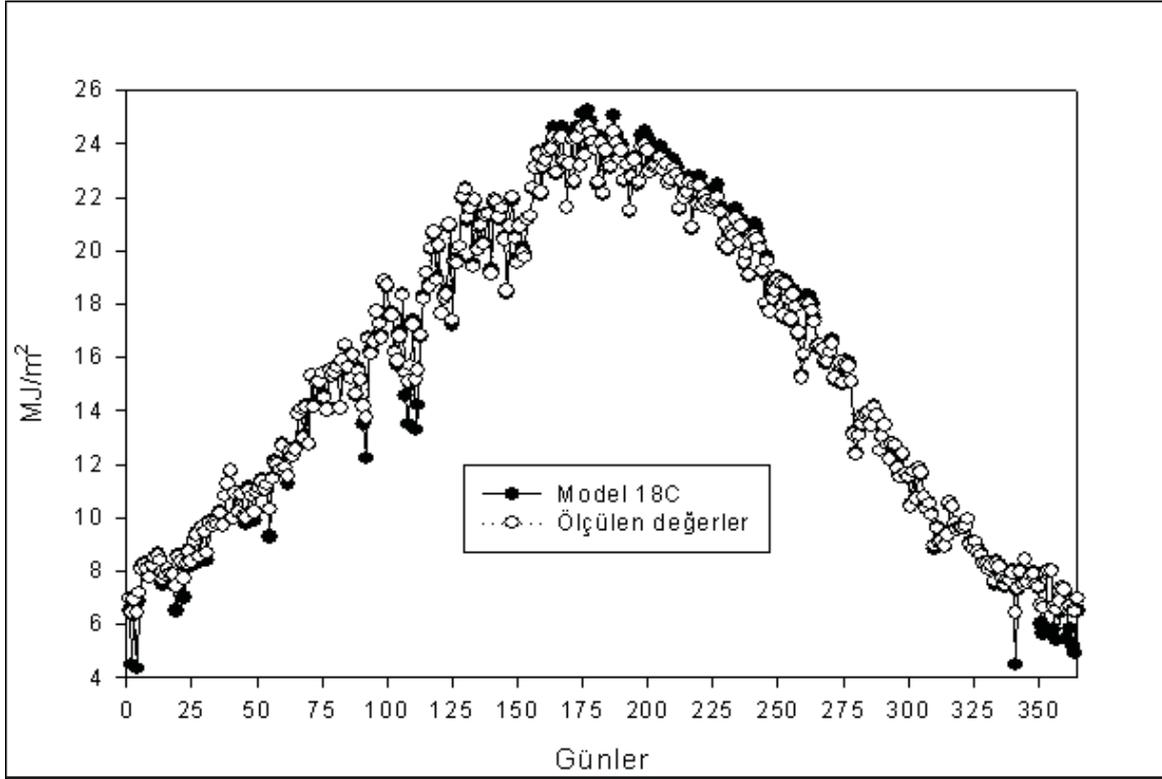
a) Lineer modeller kapsamında verilen Toğrul ve diğerleri (2000) tarafından önerilen Model 18c ile verilen Denklem (53), MBE, MPE ve R2 test modelleri için en iyi sonuçları verirken, Model 18a ile verilen Denklem (51) ise, RMSE test modeli için en iyi sonucu vermektedir.

b) Karekök modeli kapsamında verilen ikinci dereceden polinom modeller içinde, Aksoy (1997) tarafından önerilen Model 23 ile verilen Denklem (60), MBE, MPE ve R2 test modelleri için en iyi sonuçları verirken, Akınoğlu ve Ecevit (1990) tarafından önerilen Model 19 ile verilen Denklem (56) ise RMSE test modeli için en iyi sonucu vermektedir.

c) Küpkök modeli kapsamında verilen üçüncü dereceden polinom modeller içinde, Tahran ve Sarı (2005) tarafından önerilen Model 28 ile verilen Denklem (65), dört test metodu içinde en iyi sonucu vermektedir.

d) Diğer modeller kapsamında verilen çalışmalar içinde, Elagib ve Mansell (2000) tarafından önerilen Model 36a ile verilen Denklem (75), MBE, MPE ve R2 test modelleri için en iyi sonuçları verirken, Model 36b ile verilen Denklem (76) ise RMSE test modeli için en iyi sonucu vermektedir.

Dört modelinde gerçek değerlerle ilişkisinin iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan 39 adet modelin R2 test modellerine bakıldığında 95.86 ile 89.49 arasında değiştiği ve tüm modellerin Isparta yatay düzlemine gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun hesaplanmasında kullanılabileceği görülmektedir. Isparta için aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun belirlenmesinde kullanılan dört farklı grup içinde en iyi sonuçları veren Model 18c'nin hesaplanan değerleri ile ölçülen değerler arasındaki ilişki Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yatay düzlem üzerine ulaşan aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu.

Tablo 1. Isparta için yatay düzleme gelen global güneş radyasyonunun belirlenmesinde kullanılan farklı modellerin regresyon sonuçları ve istatistiksel parametreleri.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
Ocak	9,64	11,27	10,06	6,37	4,06	16,3	9,95	-28,9	24,52	-12,36
Şubat	7,11	8,96	10,18	5,01	5,33	14,39	8,82	-28,48	19,29	-27
Mart	-4,91	-2,71	0,29	-8,67	-5,26	3,58	-2,07	-42,58	6,45	-52,48
Nisan	-5,15	-8,85	-1,36	-9,55	-6,9	3,13	-3,05	-45,12	7,87	-46,84
Mayıs	-13,89	-14,74	-6,47	-13,49	-12,02	-4,38	-9,88	-52,3	-4,18	-75,66
Haziran	-17,01	-15,18	-6,53	-15,18	-10,45	-6,77	-11,4	-52,64	-11,73	-98,83
Temmuz	-19,22	-16,64	-7,8	-14,93	-11,21	-8,66	-13,11	-54,54	-15,1	-107,5
Ağustos	-19,96	-17,33	-8,43	-16,77	-11,82	-9,34	-13,79	-55,45	-15,89	-109,1
Eylül	-16	-13,3	-5,69	-15,42	-9,73	-5,86	-10,48	-51,4	-10,54	-96,2
Ekim	-6,01	-3,6	2,17	-5,34	-2,41	3,05	-1,61	-39,99	1,03	-71,24
Kasım	-5,83	-3,6	-0,31	-8,28	-5,82	2,78	-2,83	-43,46	5,22	-55,4
Aralık	10,22	11,79	9,78	7,87	3,28	16,7	10,09	-29,41	25,92	-8,33
R2	94,55	95,04	95,18	94,88	95,28	94,66	94,88	95,16	93,41	91,85
MPE	-6,82	-5,39	-0,39	-7,41	-5,3	2,01	-3,34	-43,77	2,65	-63,6
MAPE	15,92	14,97	11,32	14,93	12,08	13,01	13,21	43,86	17,39	68,09
SSRE	13,45	12,07	7,33	12,19	8,6	9,46	9,57	84,93	16,41	226,91
RSE	0,018	0,016	0,01	0,016	0,01	0,01	0,013	0,11	0,02	0,31
MBE	-1,47	-1,25	-0,27	-1,45	-0,97	-0,04	-0,82	-7,1	-0,22	-11,49
RMSE	5,19	4,34	2,27	4,31	2,86	2,76	3,32	34,97	4,84	112,86
t-stat	16,02	16,44	2,68	23,31	24,1	0,039	12,05	7,82	0,39	1,908
	M11	M12	M13a	M13b	M14	M15	M16	M17	M18a	M18b
	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e

Tablo 1'in devamı.

Ocak	6,75	-1,15	-3,84	2,11	2,56	5,35	-50,95	14,01	0,17	13,45
Şubat	6,45	1,53	-0,11	5,22	2,89	4,08	-42,6	11,68	5,001	4,8
Mart	-4,14	-7,56	-8,68	-3,16	-7,66	-13,66	-52,72	-0,303	-2,06	-2,33
Nisan	-5,62	-10,81	-12,54	-6,58	-9,56	-13,24	-59,91	-5,99	-6,41	-3,15
Mayıs	-11,51	-13,07	-13,53	-8,07	-14,84	-16,93	-57,36	-9,37	-5,38	-5,32
Haziran	-12,07	-10,19	-9,44	-4,68	-14,68	-15,98	-48,03	-6,36	0,74	-0,06
Temmuz	-13,53	-10,71	-9,63	-5,013	-15,98	-15,73	-47,28	-6,6	1,24	0,067
Ağustos	-14,2	-11,32	-10,21	-5,572	-16,66	-14,71	-47,99	-6,68	0,76	-0,42
Eylül	-11,17	-9,41	-8,7	-3,96	-13,78	-12,7	-47,14	-3,74	1,29	0,934
Ekim	-2,67	-2,56	-2,44	2,25	-5,4	-3,36	-40,34	4,94	5,89	5,96
Kasım	-4,82	-7,95	-8,96	-3,47	-8,3	-4,89	-52,78	3,913	-2,13	-2,4
Aralık	6,61	-2,28	-5,32	0,85	2,21	6,58	-54,05	14,67	-1,59	15,38
R2	95,08	95,63	95,74	95,09	95,22	95,27	95,8	95,71	95,82	95,19
MPE	-5,05	-7,17	-7,82	-2,54	-8,32	-7,99	-50,14	0,8	-0,23	2,25
MAPE	12,9	11,49	11,43	9,6	13,72	14,23	50,14	11,47	9,01	10,97
SSRE	9,4	8,37	8,47	5,98	10,86	11,66	104,06	7,66	5,33	13,87
RSE	0,01	0,01	0,01	0,008	0,014	0,01	0,14	0,01	0,007	0,019
MBE	-1,03	-1,15	-0,001	-0,39	-1,5	-1,52	-7,51	-0,16	0,117	0,22
RMSE	3,35	2,67	2,506	1,71	4,04	4,23	33,67	2,09	1,37	1,73
t-stat	19,3	41,8	8,74	10,28	29,42	27,25	9,53	1,11	1,34	3,02
	M18c	M18d	M18e	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25
	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
Ocak	2,93	21,68	16,84	8,62	6,65	49,21	-6,93	15,49	-6,17	17,85
Şubat	4,81	4,48	4,402	5,94	5,42	54,2	-7,89	12,59	-12,72	10,81
Mart	-2,18	-2,82	-2,716	-5,25	-5,37	52,52	-19,04	1,19	-30,65	0,043
Nisan	-5,11	0,51	-0,474	-5,18	-6,24	48,92	-20,08	1,34	-29,42	1,73
Mayıs	-5,28	-5,65	-5,61	-12,46	-12,51	52,75	-25,23	-7,09	-46,38	-7,98
Haziran	-0,12	3,18	3,74	-11,1	-11,77	58,38	-20,06	-9,32	-60,56	-14,02
Temmuz	-0,013	4,66	5,41	-11,86	-12,8	59,4	-19,86	-11,15	-66,52	-17,34
Ağustos	-0,5	4,19	4,84	-12,49	-13,44	59,25	-20,47	-11,83	-67,73	-18,11
Eylül	0,89	2,55	2,83	-10,55	-11,06	58,55	-19,68	-8,48	-58,28	-11,79
Ekim	5,94	6,07	6,12	-3,08	-3,21	59,13	-13,26	0,52	-40,07	-0,76
Kasım	-2,26	-2,8	-2,74	-5,87	-5,99	52,75	-19,43	0,37	-32,55	-0,88
Aralık	2,67	30,18	23,67	9,58	6,98	47,46	-6,43	16,31	-4,65	20,92
R2	95,85	92,78	93,54	95,14	95,2	93,88	95,55	95,63	92,96	93,99
MPE	0,12	5,57	4,74	-4,52	-5,33	54,38	-16,57	-0,06	-38,19	-1,67
MAPE	8,95	13,78	12,86	13,11	12,93	54,38	18,53	13,64	41,28	16,05
SSRE	5,22	32,61	21,11	9,87	9,53	110,05	18,73	10,35	87,97	15,42
RSE	0,007	0,044	0,028	0,013	0,01	0,15	0,02	0,01	0,12	0,02
MBE	0,092	0,617	0,601	-0,96	-1,06	8,7	-2,67	-0,39	-6,89	-0,81
RMSE	1,39	2,75	2,36	3,14	3,24	45,18	13,04	6,31	43,39	4,75
t-stat	0,81	9,66	12,62	19,02	22,06	7,01	8,01	0,71	4,71	5,46
	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34a	M34b
	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
Ocak	7,22	-5,44	5,17	-34,41	6,16	-16,22	-50,5	-51,13	-45,02	26,1
Şubat	6,7	-6,56	5,15	-20,06	7,14	-8,26	-34,88	-35,45	-29,97	20,59
Mart	-4,07	-16,81	-3,2	-28,68	-3,37	-13,73	-39,18	-39,77	-34,11	11,56
Nisan	-5,19	-17,38	-4,69	-35,29	-5,82	-20,27	-50,3	-50,94	-44,83	12,71
Mayıs	-11,16	-21,06	-7,05	-30,4	-11,49	-14,48	-37,8	-38,38	-32,78	6,41
Haziran	-9,78	-10,59	-0,74	-25,12	-15,01	-2,62	-20,07	-20,58	-15,7	9,2
Temmuz	-10,54	-8,62	-0,11	-28,75	-17,47	-0,608	-16,75	-17,24	-12,5	9,04
Ağustos	-11,16	-9,07	-0,57	-32,12	-18,22	-1,008	-17,14	-17,64	-12,88	8,57
Eylül	-9,31	-10,94	-0,29	-32,19	-13,67	-2,24	-19,65	-20,16	-15,3	9,6
Ekim	-1,89	-7,68	4,21	-23,58	-3,55	0,064	-18,6	-19,1	-14,28	14,91
Kasım	-4,67	-16,86	-3,32	-37,40	-4,21	-13,36	-38,39	-38,97	-33,35	11,18
Aralık	7,16	-4,6	5,56	-37,23	5,32	-18,97	-55,96	-56,61	-50,28	28,11
R2	95,23	95,22	95,73	95,45	94,65	95,05	93,18	93,18	93,18	95,17
MPE	-3,94	-11,31	-0,007	-30,5	-6,25	-9,31	-33,27	-33,83	-28,42	13,98

Tablo 1'in devamı.

MAPE	12,06	13,84	9,25	30,64	14,02	12,008	33,28	33,84	28,48	15,99
SSRE	8,51	12,47	5,706	46,29	10,89	11,57	60,67	62,21	48,3	14,84
RSE	0,01	0,017	0,0078	0,06	0,015	0,015	0,083	0,08	0,06	0,02
MBE	-0,82	-1,68	0,021	-4,37	-1,28	-0,99	-4,33	-4,41	-3,61	1,94
RMSE	2,77	3,4	1,458	12,3	4,36	2,102	11,83	12,22	8,83	3,47
t-stat	17,52	59,23	0,0403	26,33	17,19	53,07	28,12	27,3	36,47	83,08
	M35	M36a	M36b	M36c	M36d	M37a	M37b	M37c	M37d	M37e
	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
Ocak	-0,41	-1,31	0,66	0,44	-0,002	29,77	-4,11	-0,36	-31,06	0,63
Şubat	4,9	4,69	5,03	5,66	5,20	38,29	1,38	5,03	-44,64	5,35
Mart	-2,02	-2,01	-2,09	-1,24	-1,76	37,31	-5,79	-1,82	-71,41	-1,7
Nisan	-6,69	-7,11	-6,21	-5,83	-6,35	31,45	-10,62	-6,52	-66,7	-5,97
Mayıs	-5,33	-5,24	-5,4	-4,54	-5,11	39,03	-9,2	-5,03	-95,28	-4,99
Haziran	0,58	0,39	0,76	1,259	0,68	48,87	-3,06	0,97	-117,5	1,19
Temmuz	1,04	0,69	1,28	1,65	1,06	50,91	-2,63	1,42	-126,2	1,72
Ağustos	0,53	0,19	0,81	1,172	0,57	50,78	-3,13	0,94	-127,9	1,25
Eylül	1,22	1,083	1,31	1,86	1,29	48,98	-2,44	1,57	-114,7	1,72
Ekim	5,95	5,96	5,88	6,58	6,058	48,41	2,45	6,22	-88,83	6,26
Kasım	-2,08	-2,08	-2,15	-1,32	-1,85	37,83	-5,86	-1,88	-74,35	-1,77
Aralık	-2,39	-3,59	-0,91	-1,49	-1,95	26,84	-6,17	-2,37	-27,45	-1,09
R2	95,81	95,79	95,84	95,81	95,82	89,48	95,81	95,81	92,35	95,82
MPE	-0,42	-0,72	-0,11	0,32	-0,21	40,71	-4,13	-0,18	-82,38	0,19
MAPE	9,08	9,19	8,95	9,11	9,071	41,05	9,43	9,1	84,07	9,035
SSRE	5,44	5,63	5,25	5,34	5,39	66,42	6,46	5,42	329,79	5,27
RSE	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0073	0,09	0,008	0,007	0,45	0,007
MBE	0,096	0,06	0,12	0,206	0,12	6,81	-0,47	0,14	-14,38	0,18
RMSE	1,37	1,38	1,371	1,387	1,37	30,03	1,53	1,37	160,1	1,38
t-stat	0,89	0,37	1,58	4,14	1,44	9,86	19,21	1,93	1,48	3,26
	M38a	M38b	M38c	M39						
	e	e	e	e						
Ocak	-23,34	-23,74	-22,85	10,17						
Şubat	-10,54	-10,9	-10,10	7,29						
Mart	-14,07	-14,44	-13,61	-3,73						
Nisan	-23,18	-23,58	-22,69	-3,95						
Mayıs	-12,93	-13,3	-12,48	-11,23						
Haziran	1,58	1,27	1,98	-11,54						
Temmuz	4,31	4,01	4,69	-12,88						
Ağustos	3,98	3,67	4,37	-13,54						
Eylül	1,93	1,61	2,32	-10,74						
Ekim	2,79	2,48	3,18	-2,43						
Kasım	-13,42	-13,79	-12,97	-4,42						
Aralık	-27,82	-28,23	-27,31	11,01						
R2	93,18	93,18	93,18	95,02						
MPE	-9,22	-9,58	-8,79	-3,88						
MAPE	14,2	14,31	14,07	13,42						
SSRE	16,72	17,05	16,32	10,14						
RSE	0,023	0,023	0,02	0,013						
MBE	-0,004	-0,801	-0,68	-0,91						
RMSE	2,53	2,57	2,49	3,31						
t-stat	0,0005	19,54	14,72	15,02						

## 5. SONUÇ

Güneş radyasyon verileri güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin tasarlanması ve imalatında oldukça önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisi teknolojileri, yenilenebilir, temiz ve yerli enerji kaynağını kullanma fırsatı sunmakta ve sürdürülebilir bir enerji geleceğinin temel bileşenidir. Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesinde, incelemesi yapılan bölgeye gelen güneş radyasyonu bilgisine gereksinim vardır. Bu bağlamda güneş modelleri büyük önem taşımaktadır. Bu düşünceye bağlı olarak, ampirik korelasyonlar kullanılarak yatay yüzey üzerine gelen aylık ortalama günlük güneş radyasyonunun belirlenmesi için kullanılan modeller geliştirilmiş ve literatüre sunulmuştur.

Aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu tahminlerinin çoğu yeniden düzenlenmiş Angstrom-tipi model denklemlerini içermektedir. Güneşlenme süresine bağlı olarak önerilen modeller herhangi bir yerdeki global güneş radyasyonunun belirlenmesine uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmada ise Isparta meteorolojik şartlarına bağlı olarak bu modellerin geçerlilikleri test edilmiş ve bu çalışmada kullanılan istatistiksel analiz yaklaşımları olan  $e$ ,  $R_2$ ,  $MPE$ ,  $MAPE$ ,  $SSRE$ ,  $RSE$ ,  $MBE$ ,  $RMSE$  ve  $t$ -stat sonuçları verilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmada verilen modeller aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde kullanılabilir. Ancak, Isparta yatay düzlemi üzerine gelen global güneş radyasyonunun büyük bir oranda hesaplanması isteniyorsa mutlaka literatüre yeni bir denklem önerilmelidir.

## 7. KAYNAKLAR

Akinoglu, B.G., Ecevit, A. 1990. A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. *Solar Energy* (15), 865–872.

Aksoy, B. 1997. Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations. *Renewable Energy*. (10), 625–633.

Almorox, J., Hontoria, C. 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversation and Management*. (45), 1529-1535.

Ampratwum, D.B., Dorvlo, A.S. 1999. Estimation of solar radiation from the number of sunshine hours. *Applied Energy*. (63), 161–167.

Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation”. *Quart J Roy Met Soc.* (50), 121–125.

Badescu, V. 1999. Correlations to estimate monthly mean daily solar global irradiation: application to Romania. *Energy*. (24), 883–893.

Bahel, V., Bakhsh, H., Srinivasan, R. 1987. A correlation for estimation of global solar radiation. *Energy*. (12), 131–135.

Bahel, V., Srinivasan, R., Bakhsh, H. 1986. Solar radiation for Dhahran, Saudi Arabia. *Energy*, 11, 985–989.

Bakirci, K. 2009. Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey. *Energy*, 34 (4), 485-4501.

Benghanem, M. and Mellit, A., 2010. Radial basis function network-based prediction of global solar radiation data: application for sizing of a stand-alone photovoltaic system at Al-Madinah, Saudi Arabia. *Energy*, 35 (9), 3751-3762.

Benson, R.B., Paris, M.V., Sherry, J.E., Justus, C.G. 1984. Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements. *Solar Energy*. (32), 523-535.

Berbery, E.H., Mitchell, K., Benjamin, S., Smirnova, T., Ritchie, H., Hogue, R., Radeva, E. 1999. Assessment of land-surface energy budgets from regional and global models. *Journal of Geophysical Research*. (104), 19329-19348.

Black, J.N. 1956. The distribution of solar radiation over the earth's surface. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*. (7), 165–189.

Bristow, K.L. and Campbell, G.S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric Forest Meteorol.* (31), 159–166.

- Chen, R., Ersi, K., Yang, J., Lu, S., Zhao, W. 2004. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. *Energy Convers Manage.* (45), 1759–1769.
- Dogniaux, R., Lemoine, M. 1983. Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency. *Solar energy research and development in the European community.* Dordrecht, Holland.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. 1991. *Solar engineering of thermal process.* New York: Wiley.
- Elagib, N., Mansell, M.G. 2000. New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. *Energy Convers Manage.* (41), 419–434.
- Ertekin, C. and Evrendilek, F. 2007. Spatio-temporal modeling of global solar radiation dynamics as a function of sunshine duration for Turkey. *Agricultural and Forest Meteorology.* (145), 36–47.
- Ertekin, C. and Yaldiz, O. 1999. Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya, Turkey. *Renewable Energy.* (17), 95–102.
- Glover, J., McGulloch, J.D.G. 1958. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* (84), 172–175.
- Gopinathan, K.K. 1988. A general formula for computing the coefficients of the correlations connecting global solar radiation to sunshine duration. *Solar Energy.* (41), 499–502.
- Gopinathan, K.K. 1988. A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface. *Solar and Wind Technology.* (5), 581–583.
- Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H., Riley, P. 1985. Irrigation water requirement for the Senegal River Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE.* (111), 265–275.
- Haydar, A., Balli, O., Hepbasli, A. 2006. Global solar radiation potential, Part 2: Statistical analysis. *Energy Sources.* (1), 317–326.
- Hocaoglu, F.O., Gerek, O.N., Kurban, M. 2008. Hourly solar radiation forecasting using optimal coefficient 2-D linear filters and feed-forward neural networks. *Solar Energy.* (82), 714–726.
- Jin, Z., Yezheng, W., Gang, Y. 2005. General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China” *Energy Convers Manage.* (46), 257–268.
- Kılıc, A., Ozturk, A. 1983. *Güneş Enerjisi, Kipaş, Dağıtım, İstanbul.*
- Kumar, R. and Umanand, L. 2005. Estimation of global radiation using clearness index model for sizing photovoltaic system. *Renewable Energy.* 30 (15), 2221–2233.
- Louche, A., Notton, G., Poggi, P., Simonnot, G. 1991. Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a French Mediterranean site. *Solar Energy.* (46), 261–266.
- Menges, H.O., Ertekin, C., Sonmete, H. 2006. Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey. *Energy Conversation and Management.* (47), 3149–3173.
- Newland, F.J. 1988. A study of solar radiation models for the coastal region of South China. *Solar Energy.* (31), 227–235.
- Ogelman, H., Ecevit, A., Tasdemiroglu, E. 1984. A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data. *Solar Energy.* (33), 619–625.
- Oliver, M. and Jackson, T., 2001. Energy and economic evaluation of building-integrated photovoltaics. *Energy.* 26 (4), 431–439.
- Özturk, M., Bezir, N.C., Özek, N. 2009. Hydropower-Water and Renewable Energy in Turkey: Sources and Policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* (13), 605–615.

- Öztürk, M. 2009. Hidrojen Üretim Metotlarının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Page, J.K. 1961. The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40o N-40o S. Conference on New Sources of Energy. 378-390.
- Raja, I.A., Twidell, J.W. 1990. Distribution of global insolation over Pakistan. *Solar Energy*. (44), 63–71.
- Raja, I.A., Twidell, J.W. 1990. Diurnal variation of global insolation over five locations in Pakistan". *Solar Energy*. (44), 73–76.
- Rehman, S., Halwani, T. 1997. Global solar radiation estimation". *Renewable Energy*. (12), 369–385.
- Rietveld, M.R. 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology*. (19), 243–252.
- Roebeling, R., van Putten, E., Genovese, G., Rosema, A. 2004. Application of meteosat derived meteorological information for crop yield predictions in Europe. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (23), 5389-5401.
- Samuel, T. 1991. Estimation of global radiation for Sri Lanka. *Solar Energy*. (47), 333–337.
- Skeiker, K. 2006. Correlation of global solar radiation with common geographical and metrological parameters for Damascus province, Syria. *Energy Conversation and Management*. (47), 331–345.
- Soler, A. 1990. Monthly specific Rietveld's correlations. *Solar and Wind Technology*. (7), 305-308.
- Stone, R.J. 1993. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. *Solar Energy*. 51 (4), 288–291.
- Tahran, S., Sarı, A. 2005. Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey. *Energy Conversion and Management*. (46), 605–613.
- Tasdemiroglu, E., Sever, R. 1991. An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey. *Energy Conversion and Management*. (31), 775–778.
- Tiris, M., Tiris, C., Erdalli, Y. 1997. Water heating systems by solar energy. Marmara Research Centre.
- Togrul, I.T. and Onat, E. 2000. A comparison of estimated and measured values of solar radiation in Elazig, Turkey". *Renew Energ.* (20), 243–252.
- Togrul, I.T., Togrul, H., Evin, D. 2000. Estimation of monthly global solar radiation from sunshine duration measurements in Elazig. *Renewable Energy*. (19), 587–595.
- Togrul, I.T., Togrul, H. 2002. Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data. *Renewable Energy*. (25), 55–67.
- Ulgen, K. and Hepbasli, A. 2002. Comparison of solar radiation correlation for Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Resource*. (26), 413–430.
- Ulgen, K., Hepbasli, A. 2002. Comparison of solar radiation correlations for Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*. (26), 413–430.
- Ulgen, K., Hepbasli, A. 2004. Solar radiation models Part 2: Comparison and developing new models. *Energy Sources*. (26), 521–530.
- Yildiz, M., Oz, S. 1994. Evaluation of the solar energy potential of Turkey. In: *Proceedings of the 6th National Energy Congress*, p. 250–260.