

## KOCAELİ İÇİN MEVCUT GLOBAL GÜNEŞ IŞINIMI TAHMİN MODELLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Nurullah ARSLANOĞLU\**

Alınma: 08.02.2016; düzeltme: 08.04.2016; kabul: 14.06.2016

**Öz:** Güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin tasarımını ve analizini yaparken, sistemin kurulacağı bölgenin güneş ışınım değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu çalışmada, izafi güneşlenme süresine bağlı olarak geliştirilmiş literatürde mevcut 30 regresyon modelinin Kocaeli ilinde yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global (toplam) güneş ışınımının tahmini için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Eşitliklerin performans değerlendirmesi için ortalama mutlak sapma hatası (MABE), ortalama sapma hatası (MBE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), ortalama hata yüzdesi (MPE) Karekök hatası (RMSE) kullanılmıştır. İstatistiki performans bakımından Kocaeli ili için güneş ışınımını tahmin eden en iyi modellerin Lewis modeli (Model 23) „Jin ve arkadaşları (Model-18) ve Bahel ve arkadaşları (Model 8) tarafından geliştirilen modellerin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş radyasyonu, Regresyon modelleri, Günlük global güneş ışınımı

### Evaluation of Applicability of Global Solar Radiation Prediction Models for Kocaeli

**Abstract:** Design and analyses of solar energy systems needs value of global solar radiation falling on the surface of the earth. In this study, thirty relative sunshine duration based regression models in the literature for determining the monthly average daily global solar radiation on a horizontal surface for Kocaeli were investigated. To indicate the performance of the models, the following statistical test methods are used: mean absolute bias error (MABE), mean bias error (MBE), mean absolute percent error (MAPE), mean percent error (MPE), root mean square error (RMSE). According to the statistical performance, Lewis model (Model 23), Model-18 (Jin et al.) and Model 8 (Bahel et al.) showed the best estimation of the global solar radiation on a horizontal surface for Kocaeli.

**Keywords:** Solar radiation, Regression models, Daily global solar radiation

## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisi sistemlerinde, sistemin kurulacağı bölgenin güneş ışınım değerlerinin bilinmesine ihtiyaç duyulur. Bütün bölgelerde ölçüm yapma imkanı olmadığı için bazı yerlerde meteorolojik veri olarak güneş ışınım değerlerini elde etmek mümkün olmayabilir. Bu durumlarda literatürde mevcut, ölçüm alınan yerlerden elde edilmiş deneysel verilerle oluşturulmuş regresyon modellerinden faydalanılır. Bu modellerden faydalanılarak güneş ışınım şiddeti başarı ile hesaplanabilmektedir.

\*Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059 Bursa  
İletişim Yazarı: Nurullah Arslanoğlu (narslanoglu@uludag.edu.tr)

Bu konuyla ilgili ilk çalışma Angstrom (1924) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Prescott (1940) tarafından yapılan değişiklik ile Angstrom eşitliği daha kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu çalışmada ise literatürde mevcut 30 regresyon modelinin Kocaeli (enlem=40.46, boylam=29.56) ili için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kocaeli ilinin seçilme sebebi, Marmara bölgesi sınırları içinde yüksek bir nüfusa sahip olması ve sanayi açısından en gelişmiş illerimizden birisi olmasıdır. Regresyon modellerinin performansı istatistiki olarak tespit edilmiştir. Kocaeli ili için 1973-2006 yıllarına ait deneysel veriler Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilmiştir. En uygun modeller akademik ve endüstriyel kullanıcılara önerilmiştir.

## 2. TEORİ

Güneş ışınımı tahmini için birçok modelleme çalışması literatürde mevcuttur. Bu çalışmada literatürde bulunan lineer, ikinci ve üçüncü dereceden polinom regresyon modelleri değerlendirilmiştir. Lineer denklem ilk defa Angstrom-PreScott (1924,1940) tarafından aşağıdaki gibi geliştirilmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b(n/N) \quad (1)$$

Burada H yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı,  $H_0$  aylık ortalama günlük atmosfer dışına düşen güneş ışınımı, n aylık ortalama günlük güneşlenme süresi, N aylık ortalama gün uzunluğu, a ve b regresyon katsayılarıdır.

İkinci dereceden polinom denklem Akınoğlu ve Ecevit (1990) tarafından aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b(n/N) + c(n/N)^2$$

Üçüncü dereceden polinom denklem Bahel (1987) tarafından aşağıdaki gibi sunulmuştur.

$$\frac{H}{H_0} = a + b(n/N) + c(n/N)^2 + d(n/N)^3 \quad (3)$$

Aylık ortalama günlük atmosfer dışına düşen güneş ışınımı olan  $H_0$  aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (2010).

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360D}{365} \right) \right] \times \left[ \cos \varphi \cos \delta \sin w_s + \frac{2\pi w_s}{360} \sin \varphi \sin \delta \right] \quad (4)$$

$G_{sc}$  güneş sabiti olup  $1367 \text{ W/m}^2$  (2010) alınmıştır. D 1 Ocak' dan itibaren başlayan gün sayısı,  $w_s$  güneş batış saat açısıdır,  $\varphi$  ve  $\delta$  sırasıyla enlem ve deklinasyon açısıdır.

Deklinasyon açısı (2010);

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(D + 284)}{365} \right] \quad (5)$$

$w_s$  güneş batış saat açısı (2010);

$$w_s = \cos^{-1}[-\tan(\delta) \tan(\varphi)] \quad (6)$$

aylık ortalama gün uzunluğu (2010):

$$N = \frac{2}{15} w_s \quad (7)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Literatürden elde edilen modeller Tablo 1' de sunulmaktadır.

**Tablo 1. Çalışmada kullanılan regresyon modelleri**

Denklem tipi	Model numarası	Denklem	Kaynak
Lineer	1	$\frac{H}{H_0} = 0.174 + 0.615 \frac{n}{N}$	Alsaad(1990)
Lineer	2	$\frac{H}{H_0} = 0.240 + 0.513 \frac{n}{N}$	Jain and Jain (1988)
Lineer	3	$\frac{H}{H_0} = 0.241 + 0.488 \frac{n}{N}$	Luhanga and Andringa(1990)
Lineer	4	$\frac{H}{H_0} = 0.2170 + 0.5453 \frac{n}{N}$	Almorox and Hontoria(2004)
Lineer	5	$\frac{H}{H_0} = 0.2787 + 0.3788 \frac{n}{N}$	Ozturk(2015)
Lineer	6	$\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.62 \frac{n}{N}$	Tırıs ve ark. (1997)
Lineer	7	$\frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.48 \frac{n}{N}$	Page (1961)
Lineer	8	$\frac{H}{H_0} = 0.175 + 0.552 \frac{n}{N}$	Bahel ve ark. (1986)
Lineer	9	$\frac{H}{H_0} = 0.206 + 0.546 \frac{n}{N}$	Louche ve ark. (1991)
İkinci dereceden polinom	10	$\frac{H}{H_0} = 0.145 + 0.845 \frac{n}{N} - 0.280 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Akınoğlu ve Ecevit(1990)
İkinci dereceden polinom	11	$\frac{H}{H_0} = 0.195 + 0.676 \frac{n}{N} - 0.142 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Ogelman ve ark. (1984)
İkinci dereceden polinom	12	$\frac{H}{H_0} = 0.225 + 0.014 \frac{n}{N} + 0.001 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Taşdemiroğlu ve Sever(1991b)
İkinci dereceden polinom	13	$\frac{H}{H_0} = 0.2038 + 0.9236 \frac{n}{N} - 0.391 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Yıldız ve Öz(1994)
İkinci dereceden polinom	14	$\frac{H}{H_0} = 0.148 + 0.668 \frac{n}{N} - 0.079 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Aksoy (1997)
İkinci dereceden polinom	15	$\frac{H}{H_0} = 0.1 + 0.874 \frac{n}{N} - 0.255 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Said ve ark. (1998)
İkinci dereceden polinom	16	$\frac{H}{H_0} = 0.1541 + 1.1741 \frac{n}{N} - 0.705 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Togrul ve Togrul (2002)
İkinci dereceden polinom	17	$\frac{H}{H_0} = 0.1874 + 0.8592 \frac{n}{N} - 0.4764 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Tahran ve Sarı (2005)
İkinci dereceden polinom	18	$\frac{H}{H_0} = 0.1404 + 0.6126 \frac{n}{N} + 0.0351 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Jin ve ark(2005)
İkinci dereceden polinom	19	$\frac{H}{H_0} = 0.3398 + 0.2868 \frac{n}{N} + 0.1187 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Aras ve ark. (2006)
İkinci dereceden polinom	20	$\frac{H}{H_0} = 0.1840 + 0.6792 \frac{n}{N} - 0.1228 \left(\frac{n}{N}\right)^2$	Almorox ve Hontoria (2004)

Üçüncü dereceden polinom	21	$\frac{H}{H_0} = 0.16 + 0.87 \frac{n}{N} - 0.16 \left(\frac{n}{N}\right)^2 + 0.34 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Bahel (1987)
Üçüncü dereceden polinom	22	$\frac{H}{H_0} = -0.14 + 2.52 \frac{n}{N} - 3.71 \left(\frac{n}{N}\right)^2 + 2.24 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Samuel (1991)
Üçüncü dereceden polinom	23	$\frac{H}{H_0} = 0.81 - 3.34 \frac{n}{N} + 7.38 \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 4.51 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Lewis(1992)
Üçüncü dereceden polinom	24	$\frac{H}{H_0} = 0.2408 + 0.3625 \frac{n}{N} + 0.4597 \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 0.3708 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Ülgen ve Hepbaşlı (2002)
Üçüncü dereceden polinom	25	$\frac{H}{H_0} = 0.1796 + 0.9813 \frac{n}{N} - 0.2958 \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 0.2657 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Togrul ve Togrul (2002)
Üçüncü dereceden polinom	26	$\frac{H}{H_0} = 0.2854 + 0.2591 \frac{n}{N} + 0.6171 \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 0.4834 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Ülgen ve Hepbaşlı (2004)
Üçüncü dereceden polinom	27	$\frac{H}{H_0} = 0.1520 + 1.1334 \frac{n}{N} - 1.1126 \left(\frac{n}{N}\right)^2 + 0.4516 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Tahrán ve Sarı (2005)
Üçüncü dereceden polinom	28	$\frac{H}{H_0} = 0.1275 + 0.7251 \frac{n}{N} - 0.2299 \left(\frac{n}{N}\right)^2 + 0.1837 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Jin ve ark(2005)
Üçüncü dereceden polinom	29	$\frac{H}{H_0} = 0.4832 - 0.6161 \frac{n}{N} + 1.8932 \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 1.0975 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Aras ve ark. (2006)
Üçüncü dereceden polinom	30	$\frac{H}{H_0} = 0.230 + 0.3809 \frac{n}{N} + 0.4694 \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 0.3657 \left(\frac{n}{N}\right)^3$	Almorox ve Hontoria (2004)

### 2.1. Örnek Bir Hesaplama

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için Kocaeli ili için yatay yüzeye gelen günlük global güneş ışınımının, Lewis modeli (Model 23) ile hesaplanması Tablo 2' de detaylı olarak verilmiştir.

$$\text{Lewis Modeli: } \frac{H}{H_0} = 0.81 - 3.34 \frac{n}{N} + 7.38 \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 4.51 \left(\frac{n}{N}\right)^3 \quad (8)$$

**Tablo 2. Kocaeli için yatay yüzeye gelen günlük global güneş ışınımının, Lewis modeli (Model 23) ile hesaplanması**

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
$H_0$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)	14.93	20.24	27.23	34.49	39.66	41.77
n	2.28	2.55	4.57	5.3	7.14	8.54
N	9.44	10.45	11.69	13.04	14.21	14.80
n/N	0.24	0.24	0.39	0.40	0.50	0.57
$H_c$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)	5.53	7.47	9.87	12.71	16.76	19.77
$H_m$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)	4.48	6.42	9.58	12.69	16.21	18.46

Aylar	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
$H_0$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)	40.66	36.47	29.80	22.28	16.17	13.47
n	9.23	8.51	7.07	4.46	3.34	2.27
N	14.53	13.54	12.21	10.86	9.71	9.14
n/N	0.63	0.62	0.57	0.41	0.34	0.24
$H_c$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)	20.73	18.46	14.14	8.25	5.67	4.94
$H_m$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)	18.2	15.89	13.07	8.35	5.33	3.89

Burada,  $H_c$  modelden hesaplanan,  $H_m$  ölçülen aylık ortalama günlük güneş ışınım değerleridir.

### 3. İSTATİSTİKSEL PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

Literatürde regresyon modellerinin performanslarını istatistiksel açıdan değerlendiren test metodları vardır. Bu çalışmada 5 tane metottan faydalanılmıştır. Ortalama hata yüzdesi (MPE) ölçülen değerler ile regresyon modellerinden hesaplanan değer arasındaki sapmanın yüzdesel değeri olarak tanımlanabilir. İdeal değeri sıfır olması istenir. Aşağıdaki gibi hesaplanır (2005):

$$MPE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{H_c - H_m}{H_m} \times 100 \right) \quad (9)$$

Ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), ölçülen değerler ile regresyon modellerinden hesaplanan değer arasındaki yüzdesel sapmanın mutlak ortalama değeridir. İdeal değeri sıfırdır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir (2005):

$$MAPE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \left| \frac{H_c - H_m}{H_m} \right| \times 100 \right) \quad (10)$$

Ortalama sapma hatası (MBE) modellerin uzun dönem performansı hakkında bilgi verir. İdeal değeri sıfırdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir (2005):

$$MBE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (H_c - H_m) \quad (11)$$

Ortalama mutlak sapma hatası (MABE) ideal değeri sıfırdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır (2005):

$$MABE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |H_c - H_m| \quad (12)$$

Karekök hatası (RMSE) regresyon modellerinin kısa dönem performansı hakkında bilgi verir. İdeal değeri sıfırdır. Aşağıdaki denklemle hesaplanır (2005):

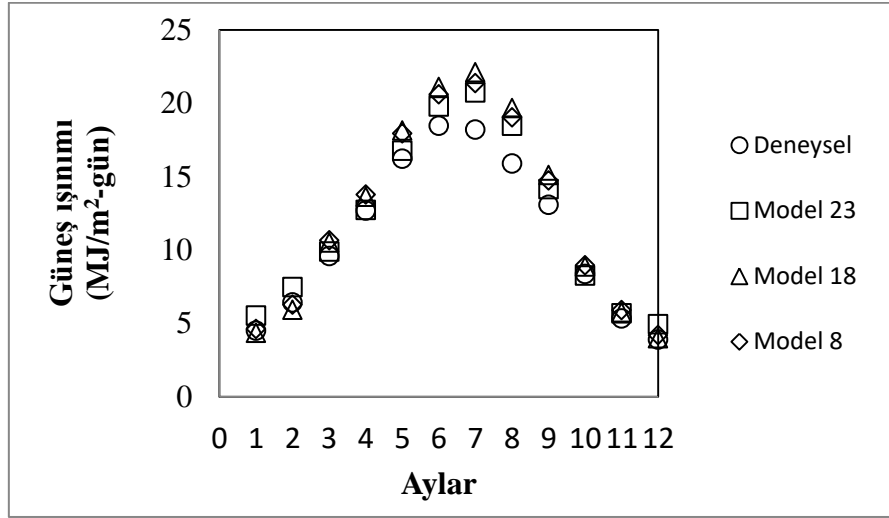
$$RMSE = \left[ \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (H_c - H_m)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

#### 4. REGRESYON MODELLERİNİN ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMA

Kocaeli için yatay yüzeye gelen günlük global güneş ışınımı, literatürde mevcut bazı modeller ile hesaplanmış sonuçlar çeşitli istatistiksel metotlar ile karşılaştırılmıştır. Tablo 3’de farklı modeller yardımıyla hesaplanan Kocaeli için regresyon modellerinin istatistiksel performansları gösterilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, en düşük MBE (0.9783), MABE (0.9941) ve RMSE (1.2817) değerini Lewis modelinin (Model 23) ve en düşük MPE (8.9892%) değerini ise Jin ve arkadaşları (Model-18) tarafından geliştirilen modelin, en düşük MAPE (10.2001%) değerini Bahel ve arkadaşları (Model 8) tarafından geliştirilen modelin verdiği görülmektedir. Şekil 1’de Kocaeli ili için en iyi tahmin yapan modellerden elde edilen aylık ortalama günlük ışınım değerleri ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Mevcut modellerden en iyi tahmin yapanlarının bile yaz aylarında (6,7 ve 8. Aylar), hata oranının yüksek olduğu görülmektedir.

**Tablo 3. Modellerin istatistiksel performanslarının gösterimi**

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9
Kocaeli									
MBE	2.1020	2.5862	2.2784	2.3738	1.8705	2.3378	1.8618	1.2836	2.0741
MABE	2.1020	2.5862	2.2784	2.3738	1.8705	2.3378	1.8618	1.3102	2.0741
RMSE	2.6068	2.9159	2.5565	2.7493	1.9870	2.8530	2.1113	1.6665	2.4433
MPE	16.5986	23.1206	20.5818	20.4828	18.5790	18.7966	16.6833	9.7863	17.5627
MAPE	16.5986	23.1206	20.5818	20.4828	18.5790	18.7966	16.6833	<b>10.2001</b>	17.5627
	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18
MBE	2.4387	2.5285	-4.5332	4.3786	1.5365	1.7369	4.1737	2.4611	1.3686
MABE	2.4387	2.5285	4.5332	4.3786	1.5746	1.8136	4.1737	2.4611	1.4802
RMSE	2.8999	2.9128	5.3446	4.8838	2.0095	2.3080	4.6305	2.6770	1.9714
MPE	20.0352	21.8184	-37.0342	39.1472	11.3733	12.3254	37.4825	23.0043	<b>8.9892</b>
MAPE	20.0352	21.8184	37.0342	39.1472	11.9664	13.5911	37.4825	23.0043	10.8964
	M-19	M-20	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25	M-26	M-27
MBE	3.1733	2.3954	5.3051	1.6072	<b>0.9783</b>	2.3755	4.1342	2.9060	2.4433
MABE	3.1733	2.3954	5.3051	1.7541	<b>0.9941</b>	2.3755	4.1342	2.9060	2.4433
RMSE	3.3774	2.8116	6.5005	2.1165	<b>1.2817</b>	2.7398	4.5951	3.2383	2.6488
MPE	31.0465	20.1753	42.0330	11.2560	10.3005	20.5809	37.0428	26.3370	22.9765
MAPE	31.0465	20.1753	42.0330	13.8219	10.4894	20.5809	37.0428	26.3370	22.9765
	M-28	M-29	M-30						
MBE	1.3734	3.2321	2.4056						
MABE	1.4767	3.2321	2.4056						
RMSE	1.9530	3.4319	2.8247						
MPE	9.1730	32	20.3421						
MAPE	10.9270	32	20.3421						



Şekil 1:  
Güneş ışınım değerleri

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada literatürdeki mevcut regresyon modellerinin Kocaeli için uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve en iyi modeller akademik ve endüstriyel kullanıcılara sunulmuştur. İstatistikî performans bakımından Kocaeli için en iyi modelin Lewis modeli (Model 23) olduğu, bunun yanında Jin ve arkadaşları (Model-18) ve Bahel ve arkadaşları (Model 8) tarafından geliştirilen modellerin de diğer modellere göre iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ancak, en iyi sonuç veren modellerin dahi yaz aylarında önemli sapmalar gösterdiği dikkate alındığında daha doğru tahminler için bölgede yeni regresyonların geliştirilmesi uygun olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Güneş ışınım verilerini paylaşan T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

1. Akinoğlu, B. G., and Ecevit, A. (1990) A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation, *Solar Energy*, 15,865–872. doi:10.1016/0360-5442(90)90068-D
2. Aksoy, B. (1997) Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations, *Renewable Energy*, 10,625–633. doi:10.1016/S0960-1481(96)00035-3
3. Almorox, J. and Hontoria, C. (2004) Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain, *Energy Convers.Manage.*, 45,1529–1535. doi:10.1016/j.enconman.2003.08.022
4. Alsaad, M. A. (1990) Characteristic distribution of global radiation for Amman, Jordan, *Solar Wind Technol.*, 7,261–266. doi:10.1016/0741-983X(90)90095-J
5. Angstrom, A. (1924) Solar and terrestrial radiation, *Q. J. R. Meteorolog. Soc.*, 50,121–125. doi: 10.1002/qj.49705021008
6. Aras, H., Balli, O., and Hepbasli, A. (2006) Global solar radiation Potential. Part 1. Model development, *Energy Sources Part B*, 1,303–315. doi:10.1080/15567240500398040

7. Bahel, V., Srinivasan, R., and Bakhsh, H. (1986) Solar radiation for Dhahran, Saudi Arabia, *Energy*, 11,985–989. doi:10.1016/0360-5442(86)90029-0
8. Bahel, V., Bakhsh, H., and Srinivasan, R. (1987) A correlation for estimation of global solar radiation, *Energy*, 12,131–135. doi:10.1016/0360-5442(87)90117-4
9. Jain, S., and Jain, P. C. (1988) A comparison of the Angstrom-type correlations and the estimation of monthly average daily global irradiation, *Solar Energy*, 40,93–98. doi:10.1016/0038-092X(88)90076-X
10. Jin, Z., Yezheng, W., and Gang, Y. (2005) General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China, *Energy Convers. Manage.*, 46, 257–268. doi:10.1016/j.enconman.2004.02.020
11. Lewis, G. (1992) An empirical relation for estimating global irradiation for Tennessee, USA, *Energy Convers. Manage.*, 33,1097–1099. doi:10.1016/0196-8904(92)90007-J
12. Louche, A., Notton, G., Poggi, P., and Simonnot, G. (1991) Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a French Mediterranean site, *Solar Energy*, 46,261–266. doi:10.1016/0038-092X(91)90072-5
13. Luhanga, P. V. C., and Andringa, J. (1990) Characteristic of solar radiation at Sebele, Gaborone, Botswana, *Solar Energy*, 44,71–81. doi:10.1016/0038-092X(90)90069-O
14. Ogelman, H., Ecevit, A., and Tasdemiroglu, E. (1984) A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data, *Solar Energy*, 33,619–625. doi:10.1016/0038-092X(84)90018-5
15. Ozturk, M. (2015) An Evaluation of Global Solar Radiation Empirical Formulations in Isparta, Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37,2474–2486. doi:10.1080/15567036.2012.745037
16. Prescott, J.A. (1940) Evaporation from water surface in relation to solar radiation, *Trans Roy Soc Austr*, 46,114–8.
17. 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 40<sup>0</sup>N–40<sup>0</sup>S, *In: Proceedings of UN conference on new sources of energy* 378–90.
18. Said, R., Mansor, M., and Abuain, T. (1998) Estimation of global and diffuse radiation at Tripoli, *Renewable Energy*, 14,221–227. doi:10.1016/S0960-1481(98)00071-8
19. Samuel, T. D. M. A. (1991) Estimation of global radiation for Sri Lanka, *Solar Energy*, 47,333–337. doi:10.1016/0038-092X(91)90026-S
20. Tahrán, S., and Sarı, A. (2005) Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey, *Energy Convers. Manage.*, 46,605–613. doi:10.1016/j.enconman.2004.04.004
21. Tasdemiroglu, E., and Sever, R. (1991b) An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey, *Energy Convers. Manage.* 31,599–600. doi:10.1016/0196-8904(91)90095-Z
22. Tırıs, M., Tırıs, C., and Erdalli, Y. (1997) Water heating systems by solar energy. Marmara Research Centre, Institute of Energy Systems and Environmental Research, NATO TU-COATING, Gebze, Kocaeli, Turkey.[in Turkish].
23. Togrul, I. T., and Togrul, H. (2002) Global solar radiation over Turkey: Comparison of predicted and measured data, *Renewable Energy*, 25,55–67. doi:10.1016/S0960-1481(00)00197-X
24. Ulgen, K., and Hepbasli, A. (2002) Comparison of solar radiation correlations for Izmir, Turkey, *Int. J. Energy Res.*, 26,413–430. doi: 10.1002/er.794



25. Ulgen, K., and Hepbasli, A. ( 2004) Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models, *Energy Sources*, 26,521–530. doi:10.1080/00908310490429704
26. Yigit, A., and Atmaca, I. (2010) Güneş enerjisi, Alfa aktüel yayınları, Bursa, Türkiye.
27. Yildiz, M., and Oz, S. (1994) Evaluation of the solar energy potential of Turkey, *Proceedings of the 6th National Energy Congress*, İzmir, Turkey, 250–260.



