

Adıyaman İlinde Yatay Düzleme Gelen Global Güneş Işınım Değerlerinin Ampirik Modeller ile Geliştirilmesi

M.Ali KALLIOĞLU, Umut ERCAN, Ali S.AVCI, Hakan KARAKAYA, Ayla DURMUŞ
Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi 72100 Batı-Raman, Batman
hakan.karakaya@batman.edu.tr,

(Geliş/Received:14.10.2016; Kabul/Accepted:30.01.2017)

Özet

Güneş enerjisi potansiyelini tahmin etmek ve etkili kullanımı için farklı iklim coğrafyalarında çeşitli modeller türetilmiştir. Ancak bu modellerin mutlak ve kararlı sonuçlar vermesi bakımından bölgesel formda oluşturulmalıdır. Bu çalışmanın amacında Türkiye'nin Güneydoğusunda yer alan Adıyaman ilinin global güneş ışınımı incelenmiştir. Mevcut literatürde kabul görmüş beş ayrı coğrafi konuma ait modeller bölge için denetlenmiş ve uygunluğu istatistiksel olarak araştırılmıştır. Bölgenin salt ışınım sonuçlarına sahip olması için Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin (EİE 1985-2015) sayfasından alınan değerlerle bölgeye özgün beş farklı (lineer, polinom, logaritmik, üssel ve üstel) model geliştirilmiştir. Geliştirilen model sonuçlarıyla Adıyaman şehrinin ortalama güneş ışınımını tahmin edilerek ampirik a, b ve c katsayıları hesaplanmıştır. Modellerden bulunan bu sonuçların, mevcut eldeki meteorolojik değerlerle korelasyonlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuçları istatistiksel mukayese yöntemleri bağıl hata yüzdesi (e), belirlilik katsayısı (R^2), ortalama yüzde hata (MPE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), bağıl hata karesi (SSRE), bağıl standart hata (RSE), ortalama sapma hatası (MBE), karekök hatası (RMSE) ve t-istatistik (t-sat) ile olmak üzere dokuz farklı istatistik yöntemi ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hata sonuçlarına göre $H/H_0 = -1,1463(S/S_0)^2 + 2,0327(S/S_0) - 0,3164$ polinom bağıntısı elde edilmiş ve bu bağıntıdan R^2 (% 99.31), MBE (21,48), RMSE (155,78), t-stat (0,4618) değerleri ile Adıyaman için yatay düzleme gelen global güneş ışınımının tahmininde kararlı ve makul yaklaşım elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel Modelleme, Toplam Güneş Işınımı, İstatistik, Adıyaman, Güneşlenme Süresi.

Estimating Global Solar Radiation on Horizontal Surface For Adıyaman City Using Empirical Models

Abstract

Various models have been reproduced in the world in order to estimate solar energy potential. However, these models ought to be prepared regionally so that they can yield certain and stable results. The aim of this study is to investigate global solar radiation in Adıyaman province located in South-Eastern part of Turkey. The models developed peculiar to five different locations accepted in present literature were inspected and were found to be convenient for the region. Five different models (linear, quadratic, logarithmic, exponential and power) peculiar to the location were developed with the help of values taken from web page of Electrical Power Resources Survey and Development Administration (EIE 1985-2015) in order that the region will have absolute radiation. After average solar radiation of Adıyaman province was estimated with the parameters of the developed model, empirical coefficients, a, b and c were found. It was observed that the results obtained from the models were in good coherence with present meteorological values. The results were compared to nine different statistical methods such as statistical comparison methods, relative percentage error (e), determination coefficients (R^2), mean percentage error (MPE), mean absolute percentage error (MAPE), relative squared error (SSRE), relative standard error (RSE), mean deviation error (MBE), square root error (RMSE) and t-statistic (t-sat). According to statistical error results, $H/H_0 = -1,1463(S/S_0)^2 + 2,0327(S/S_0) - 0,3164$ polynomial equation was obtained and out of this equation together with R^2 (% 99.31), MBE (21,48), RMSE (155,78), t-stat (0,4618) values and the most stable approach in estimating global solar radiation onto horizontal plane for Adıyaman was found.

Key words: Mathematical Modelling, Total Solar Radiation, Statistics, Adıyaman, Duration of Sunshine.

1.Giriş

Enerji kaynaklarını etkin ve verimli şekilde tüketen toplumlar büyümede, kalkınmada ve gelişmede etkindirler. Günümüzde kullanılan fosil kökenli enerji kaynaklarının hem sınırlı olması hem de çevre kirliliği oluşturması alternatif enerji kullanımının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları düşük karbon salınımıyla bütün canlıların geleceğini güvence altına almak üzere hayati bir öneme sahiptir. Gelişmekte olan ülkeler arasında olan ülkemizin artan enerji ihtiyacını karşılamak ve enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir [1].

Ülkemizdeki var olan mevcut güneş enerjisi potansiyeli sahip olduğu coğrafi konumun etkisiyle birçok Avrupa ülkesine göre avantajlıdır. Meteoroloji işleri genel müdürlüğünün 1985-2015 yılları arasında 102 farklı istasyondan elde edilen verilerle Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2482 saat (günlük toplam 6,8 saat) ve yıllık 110 gün gibi açık gün sayısına sahiptir. Meteoroloji işleri genel müdürlüğünün 1985-2006 arasında 141 istasyonda yapılan ölçümlerde ise ortalama toplam ışınım şiddeti yıllık 4113 W/m²'dir. Ülkemizin güneş ışınımında en avantajlı bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir [2].

Araştırması yapılan Adıyaman ili, ülkemizin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Orta Fırat bölümü içinde yer almaktadır. Coğrafi konum itibarıyla Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri arasında geçiş vazifesi gören hatta kısmen Akdeniz bölgesinin iklimini de yansıtmaktadır. Bundan dolayı üç bölgenin özelliklerini kapsayan karma bitki örtüsüne sahiptir. Yüksek rakımda genelde meşe ağaçları olmakla birlikte, su ve toprak erozyonu nedeni ile çıplak hale gelmiş araziler de mevcuttur. Yaz mevsiminin uzun ve kurak geçmesiyle orman içi bitki örtüsü yok denecek kadar azdır. Adıyaman ilini doğudan batıya doğru bölen Anti Toroslarda güneyinde kalan bölgenin iklimi ile kuzeyinde kalan dağlık bölgenin iklimi birbirinden farklıdır. Kuzeyi yazları kurak ve serin, kışları yağışlı ve soğuk; güneyi, yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlıdır. Bölgeler arasında köprü olan ilin iklimi, bu özelliği dolayısıyla bölgedeki diğer

illerden farklıdır. Atatürk Baraj Gölü alanının oluşmasından sonra, ikliminde bir yumuşama ve nem oranında bir artış olmuştur [3]. İldeki hakim rüzgarlar kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı istikametinde ve genellikle orta kuvvette olması ile birlikte nadiren kuvvetli (yılda 10-15 günü fırtına şeklinde) olabilmektedir. İlin günlük ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde kış aylarında havanın nadiren sıfırın altına düştüğü görülmektedir. Yılın en düşük sıcaklığı ortalama 2,3°C olup kış ayı minimum sıcaklık ortalamaları 1,3°C ile 3,6°C arasındadır. Yaz aylarında ise sıcaklık ortalamaları 26,8°C ile 31,5°C arasında olup maksimum sıcaklıklar 33,1°C ile 37,7°C arasındadır. Bölgede günlük en düşük sıcaklık ile en yüksek sıcaklık arasındaki günlük fark 10°C civarındadır [4].



Şekil 1. Adıyaman İli Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası (EİE 1985-2015)

Adıyaman ili yıllık ortalama güneş ışınımı ve güneşlenme süresi incelendiğinde sırasıyla 4371,66 W/m² ve 8,11 saat gibi değerlere ulaşılmaktadır. Yani ilin güneş enerjisi potansiyeli Türkiye ortalaması üzerinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle ilde güneş enerjisine yapılacak yatırımlar açısından verimli olabilecektir.

2. Literatür özeti

Güneş ışınımı tahmini için geliştirilen ilk çalışma 1924 yılında Angström tarafından lineer modelin tanımlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Daha sonraki yapılan çalışmalar ya modellere farklı bir boyut kazandırmak ya da belli bir coğrafyaya özgü modeli geliştirmek şeklindedir [5].

Güneş ışınımı tahmininin hesaplanmasında; Glover ve McCulloch [6] enlem değerlerini kullanmış, Barbaro ve arkadaşları [7] yayılı ışınım ölçümüne farklı bir boyut getirmiş,

Ogelman ve arkadaşları [8] 2.dereceden polinom bağıntısı ile model oluşturmuş, Kılıç ve Öztürk [9] ampirik a ve b katsayılarının bulunmasında farklı bir yöntem izlemiş, Benson ve arkadaşları [10] iklim verilerine yer vermiş, Gopinathan [11] a ve b katsayılarının bulunmasında rakımı göz önüne almış, Newland [12] logaritmik model geliştirmiş, Samuel [13] yatay düzleme gelen güneş ışınımı için 3. Dereceden eşitlik geliştirmiş, Fakioğlu ve Ecevit [14] sadece gün sayısı değerini etken yapmış, Aksoy [15] farklı iklim coğrafyasında bulunan altı il (Ankara, Antalya, Samsun, Konya, Urfa ve İzmir) için genel aylık ortalama güneş ışınım modeli geliştirmiştir. Elagib ve Mansell [16] coğrafi parametrelerle üstel bağıntı oluşturmuş, Ülgen ve Hepbaşlı [17] sıcaklık parametrelerini eklemiş, Bakırcı [18] yeni düzen beşinci dereceden polinom denklemi kullanmış, Tarhan ve Sarı [19] Orta Karadeniz bölgesinde yaptıkları çalışmada beş ili (Amasya, Çorum, Ordu, Samsun ve Tokat) kapsayan ikinci ve üçüncü dereceden denklem geliştirmiş, Louche ve ark. [20] Akdeniz Bölgesi için saatlik, günlük ve yıllık ışınım değerleriyle güneş ışınımı tahmini için modeller oluşturmuş, Kallioğlu [21] Niğde ili için yatay düzleme gelen günlük tüm, yayılı ve direkt güneş ışınımını hesaplama modeli geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır [5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21].

Bütün bu çalışmaların temel gerekçesi güneş ışınımının sağlıklı ölçülebilmesinde mevcut çalışılan bölgenin verilerine en yakın değerleri bularak hata oranının düşürmektir. Bu düşünceyle birçok farklı yöntem geliştirilerek istatistiksel anlamda uyumluluğun yakalanması temel amaç olmuştur.

3. Materyal ve Metot

Güneşlenme süresi kolay ve güvenilir bir şekilde ölçülmekte ve verileri yaygın olarak bulunmaktadır. Ölçülen bu değerlere bağlı olarak elde edilen korelasyon ile aylık ortalama toplam günlük güneş ışınımı tahmini yapılabilmektedir. Literatür taraması incelendiğinde global güneş ışınımının tahmine yönelik farklı coğrafi konumlara ait modellerin var olduğu görülmektedir. Bu modellerden en çok kullanılanı 1'nolu eşitlikte gösterilen Angström-tip modeldir.

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

Burada; H, aylık ortalama günlük global güneş ışınımı H_0 , yatay yüzeye gelen günlük dünya dışı güneş ışınımı; S, aylık ortalama günlük güneşlenme süresi ve S_0 ise mümkün olan maksimum aylık ortalama günlük güneşlenme süresidir [5].

$$H_0 = \left(\frac{24}{\pi} \right) \cdot G_{sc} \cdot k \cdot \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180} \right) \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta \cdot \omega_s \right] \quad (2)$$

Yatay yüzeye gelen günlük dünya dışı güneş ışınımı; güneş sabiti (G_{sc}), dünyanın yörünge eksantriklik düzeltme faktörü (k), güneş sapması (δ), bölgenin enlemi (ϕ) ve güneşin ortalama doğuş açısı (ω_s) değerlerinin bir fonksiyonu olarak, eşitlik 2 ile aylık hesaplanmaktadır. Güneş sabiti genel olarak 1367 W/m^2 kabul edilir. Dünyanın yörünge eksantriklik düzeltme faktörü yeryüzüne gelen güneş ışınımı, atmosfer dışına gelen güneş ışınımına ilişkili olarak bulunur. Güneş sabitinin düzeltme faktörü (k) günlere göre değişim göstermektedir, n yıl içindeki gün sayısı (1-365) olmak üzere 3'nolu eşitlikten hesaplanmaktadır [22-23].

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

Güneş sapması (δ) eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır. Bu formüldeki n, 1 Ocaktan itibaren deklinasyon açısının hesaplanacak güneş kadar olan gün sayısını temsil etmektedir. Güneş ışınım değerleri bir ayda bulunan bütün günler yerine, aylık belirlenen ortalama gün sayısı üzerinden aylık ortalama deklinasyon açısından hesaplanmaktadır.

$$\delta = 23,45^\circ \sin(360 (n + 284)/365) \quad (4)$$

Güneşin ortalama doğuş açısı (ω_s), enleme ve güneş sapmasına bağlı olarak eşitlik 5 ile belirlenir [24].

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (5)$$

Saat cinsinden gün uzunluğu (S_o) eşitlik 6 yardımıyla hesaplanır ve saat açısına (ω_s) bağlı olarak yıl içinde farklı zaman dönemlerine göre değişmektedir [22-25].

$$S_o = \left(\frac{2}{15}\right) \cdot \omega_s \quad (6)$$

Aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı (H) değerini bulmak için Türkiye ve dünyanın birçok yerinde çeşitli güneş ışınım tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin birçoğu hesaplama yapılmak istenen coğrafi bölgenin parametrelerini barındırdığından belli bir konuma özgü olup o bölgenin güneş ışınım bilgileri hakkında en kararlı sonuçları yansıtmıştır.

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 38°11' - 37°25' kuzey enlemi ile 39°14' - 37°31' doğu boylamı üzerinde yer alan 167,921 km² yüzölçümüne sahip 669 m rakımlı Adıyaman ili için ölçülen meteorolojik veriler (1950-2015) kullanılmıştır. Literatürde yer alan, saygınlık kazanmış beş farklı model konum için denenmiş ve bölgenin konumuna özgü beş farklı Angstrom-tip matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modeller, bağıl hata yüzdesi (e), belirlilik katsayısı (R^2), ortalama yüzde hata (MPE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), bağıl hata karesi (SSRE), bağıl standart hata (RSE), ortalama sapma hatası (MBE), karekök hatası (RMSE) ve t-istatistik (t-sat) ile olmak üzere dokuz farklı istatistik yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Bağıl hata (e) değeri eşitlik 7 ile ifade edilmektedir.

$$e = \left(\frac{mi - ci}{mi}\right) \times 100 \quad (7)$$

Hesaplanan ve ölçülen veri arasındaki yüzdesel sapma miktarı "e" ile ifade edilmekte olup ideal değeri sıfıra eşittir. Denklemdaki, ci (calculated) hesaplanan değeri gösterirken mi (measured) de ölçülen değeri belirtmektedir [21].

Belirlilik katsayısı (R^2) bir değişkenin diğerine hangi oranda bağlı olduğunu göstermektedir. Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemede kullanılır. Bu katsayının değeri 0 ile 1 ($0 < R^2 < 1$) arasında değişmektedir ve ideal değeri 1'e yakın

olanıdır eşitlik 8 ile ifade edilmektedir. Burada, ca ve ma sırasıyla hesaplanan ve ölçülen değerlerin ortalamasıdır [26-27].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (ci - ca)x(mi - ma)}{[\sqrt{\sum_{i=1}^n (ci - ca)^2}]x[\sum_{i=1}^n (mi - ma)^2]} \quad (8)$$

Ortalama yüzde hata (MPE) önerilen modellerden tahmin edilen aylık ortalama günlük ışınım değeri ile ölçülen değerlerin sapması olarak eşitlik 9 ile hesaplanmaktadır. Buradaki n değeri hesaplanan ve ölçülen değerlerin miktarıdır [21]

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{mi - ci}{mi}\right)}{n} \times 100 \quad (9)$$

Ortalama yüzde hata (MAPE) değerinin, tahmin edilen ve ölçülen değer arasındaki farkın mutlak ortalama değeri olarak 10' nolu denkleme hesaplanmaktadır [22-24].

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left|\frac{mi - ci}{mi}\right|}{n} \times 100 \quad (10)$$

Bağıl hataların karelerinin toplamı (SSRE) 11' nolu bağıntı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntının sonucu pozitif değerli olmaktadır ve ayrıca ideal değeri sıfıra yakın olanı kabul edilmektedir.

$$SSRE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{mi - ci}{mi}\right)^2 \quad (11)$$

Bağıl standart hata (RSE) kolerasyon tahmininin doğruluk derecesini saptamak için kullanılır 12' nolu eşitlikle hesaplanır.

$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{mi - ci}{mi}\right)^2}{n}} \quad (12)$$

Ortalama sapma hatası (MBE) korelasyonun uzun vadeli değeri hakkında bilgi vermektedir. Düşük değeri arzu edilmektedir, ideal değeri sıfıra yakın olmasıdır 13' nolu denkleme hesaplanmaktadır [21-22-24].

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - c_i) \quad (13)$$

Ortalama hata kareleri kökü (RMSE) bu istatistiksel veri bize kısa dönem ölçülen ve tahmin edilen model performans kıyaslanmasında önem teşkil edip 14'nolu denklemle hesabı yapılmaktadır. Her zaman pozitif değer almakla birlikte ideal değeri sıfıra yakın olmalıdır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - m_i)^2} \quad (14)$$

t-testi metodu (t-stat) hipotez testlerinde en kapsamlı olarak kullanılan yöntemlerden biri olan t testi ile iki grubun ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın rastlantısal mı, yoksa istatistiksel olarak mantıklı mı olduğuna karar verilir. Ölçülen güneş ışınımı değerleri ile tahmin edilen güneş ışınımı değerleri arasındaki istatistiksel anlamının belirlenmesinde önemli faktör olmakta ve 15'nolu bağıntı ile hesaplanmaktadır [21-22].

$$t - stat = \sqrt{\frac{(n - 1) MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (15)$$

Güneş ışınımı verilerinin uygunluğunun değerlendirilmesi belirtilen istatistiksel bağıntılarla hesaplanmaktadır. Ölçüm sonuçlarının, tahmin edilen değerlerle arasındaki ilişkinin çözümlenmesi ve yorumlanması yapılarak çalışmanın uygunluğu test edilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

Yatay yüzeye gelen günlük dünya dışı güneş ışınımı (H_0) ve mümkün olan maksimum aylık ortalama günlük güneşlenme süresi (S_0) değerleri coğrafi konuma bağlı değerlerdir. Hesaplamaların yapılacağı bölge için (H_0) ve (S_0) değerleri enlem değerine bağlı olarak konum tabanlı hesaplanarak belirlenebilmektedir.

Aylık ortalama günlük güneşlenme süresi (S) değeri ise kolay ve güvenilir ölçülmekte ve

datalar meteoroloji istasyonlarından yaygın olarak elde edilebilmektedir. Tablo 1'de verilen modellerin sabit sayıları, hesaplanan ' H_0 ' ve ' S_0 ' değerleri ile meteorolojik ölçümle elde edilen ' H ' ve ' S ' değerleri yardımıyla belirlenmiştir.

Tablo 1. Adıyaman iline ait meteorolojik değerler.

Aylar	H	H_0	S	S_0	Ws
Ocak	1950	5224	4,51	9,70	72,77
Şubat	2510	6558	5,49	10,63	79,73
Mart	4160	8236	6,74	11,75	88,13
Nisan	5120	9941	8,08	12,98	97,38
Mayıs	6230	11120	9,7	14,04	105,29
Haziran	6820	11590	11,78	14,57	109,29
Temmuz	6640	11332	12,25	14,33	107,47
Ağustos	5970	10369	11,52	13,42	100,68
Eylül	5060	8827	10,17	12,23	91,72
Ekim	3800	7031	7,56	11,00	82,47
Kasım	2400	5527	5,56	9,95	74,61
Aralık	1800	4849	4,01	9,43	70,75

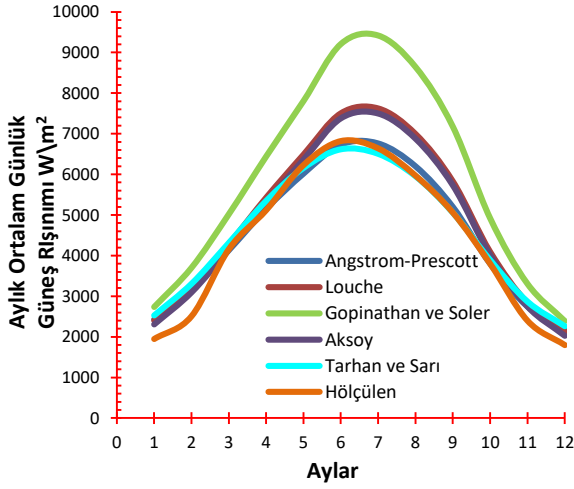
Aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı (H) değerini hesaplamak için Türkiye ve dünyanın birçok yerinde çeşitli tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerin birçoğu hesaplama yapılmak istenen bölgenin parametrelerini barındırdığından belli bir konuma özgü olmuştur.

Tablo 2. Karşılaştırılması yapılan modeller.

Modeller	a	b	c
Angstrom Prescott (1940)	0,307992	0,33741	-
Louche (1991)	0,206000	0,54600	-
Gopinathan ve Soler (1992)	0,158000	0,78740	-
Aksoy (1997)	0,148000	0,66800	-0,079
Tahran ve Sarı (2005)	0,187400	0,85920	-0,476

Türkiye'de ve dünya genelinde farklı coğrafyalara yönelik literatürde kabul görmüş beş adet özgün güneş ışınımı hesaplama modeli Tablo 2'de gösterilmektedir. Tabloda bu modellerin ampirik a, b ve c katsayıları verilmiştir. Seçilen modeller lineer ve ikinci dereceden polinom bağıntıdır. Bu modeller Adıyaman bölgesi güneş ışınımını tahminine yönelik denenmiş ve ölçülmüş olan gerçek ışınım verileriyle istatistiksel ölçüm metodlarıyla karşılaştırılması yapılarak bölge için en elverişli modelin tespiti yapılmıştır [5-11-15-19-20]. Test

edilen modellerin aylık ortalama güneş ışınım değişimleri Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Karşılaştırılan modellerin aylık ölçümleri.

Şekil 2 incelendiğinde ‘H’ ölçülen değeriyle modellerin aylık değerlerinin uyumsuz olduğu görülmüştür. Karşılaştırılması yapılan modeller kendi arasında incelenirse Tarhan ve Sarı tarafından Türkiye coğrafyası temelli Orta Karadeniz bölgesine göre oluşturulan modelinin Adıyaman iliyle uyumunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumunun yegâne nedeni diğer modellerden farklı olarak çalışılan bölgeye coğrafi yakınlıktır.

Tablo 3. Karşılaştırılması Yapılan Modellerin İstatiksel Analizi

	Model 1 Angstrom- Prescott	Model 2 Louche	Model 3 Gopinathan- Soler	Model 4 Aksoy	Model 5 Tahran- Sarı
Aylar	% e	% e	% e	% e	% e
Ocak	-24,53	-23,18	-40,38	-18,26	-29,62
Şubat	-25,99	-27,49	-47,52	-23,29	-31,69
Mart	0,71	-2,78	-20,69	-0,01	-3,64
Nisan	-0,57	-5,97	-25,82	-3,51	-4,38
Mayıs	3,41	-4,11	-25,31	-2,07	1,18
Haziran	1,31	-10,02	-35,02	-8,15	3,03
Temmuz	-1,79	-14,81	-41,84	-12,86	2,08
Ağustos	-3,79	-17,16	-44,81	-15,17	0,32
Eylül	-2,67	-15,14	-41,79	-13,19	0,14
Ekim	0,09	-7,57	-29,40	-5,45	-2,31
Kasım	-14,36	-17,72	-37,74	-14,38	-19,47
Aralık	-21,60	-18,02	-32,73	-12,52	-25,68
R ²	0,9898	0,9819	0,9755	0,9815	0,9928
MPE %	-7,48	-13,66	-35,25	-10,73	-9,17
MAPE	8,40	13,66	35,25	10,73	10,29

SSRE	0,1989	0,2893	1,5715	0,1922	0,2973
RSE	0,1287	0,1553	0,3619	0,1265	0,1574
MBE	-169,89	-526,19	-1525,68	-417,50	-193,46
RMSE	297,59	598,09	1695,18	502,81	359,05
t-stat	2,30	6,13	6,84	4,94	2,12

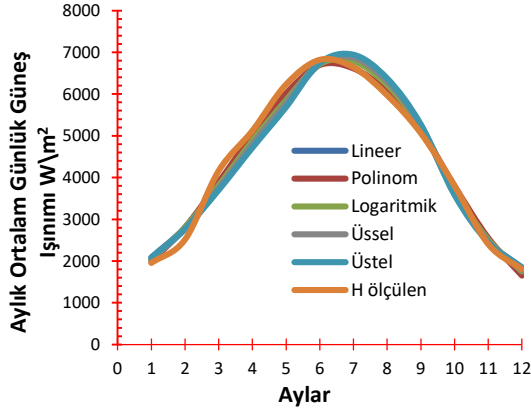
Tablo 3’de denenmiş olan beş farklı modelin yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımı değeri ile ölçüm değerinin aylık değişimi gösterilmiştir. Bu modeller incelendiğinde ölçüm sonuçlarıyla uyumu sırasıyla Tarhan ve Sarı, Angstrom-Prescott, Louche, Aksoy ve Gopinathan-Soler eşitliği takip etmektedir. Aylık ışınım sonuçları analiz edildiğinde ise nisan, haziran, temmuz, ekim ve kasım aylarını Angstrom-Prescott modelinde, aralık ayı Louche modelinde, ocak, şubat ve mart ayları Aksoy modelinde, Mayıs, Ağustos ve Eylül ayları da Tarhan ve Sarı modelinde ölçüm sonuçlarını en makul şekilde yansıtmaktadır.

Tablo 4. Adıyaman iline özgü geliştirilen modeller

Modeller	a	b	c	R ²
Linear	0,5236	0,1561	-	0,8748
	$\frac{H}{H_0} = 0,5236 \frac{S}{S_0} + 0,1561$			
Polinom	-0,3164	2,0327	-1,1463	0,9327
	$\frac{H}{H_0} = -0,1463 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 2,0327 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0,3164$			
Logaritmik	0,3392	0,6516	-	0,9071
	$\frac{H}{H_0} = 0,3392 \ln \frac{S}{S_0} + 0,6516$			
Üssel	0,678	0,7151	-	0,8914
	$\frac{H}{H_0} = 0,678 \left(\frac{S}{S_0}\right)^{0,7151}$			
Üstel	0,2393	1,0989	-	0,8519
	$\frac{H}{H_0} = 0,2393 \exp^{1,0989 \left(\frac{S}{S_0}\right)}$			

Yapılan çalışma neticesinde farklı iklim bölgelerine özgü oluşturulan modellerin Adıyaman ili için yeterli olmadığı gözlenmiştir. Bu yetersizliğin sonucunda bölgeye özgü güneş ışınımı tahmininde kullanılmak üzere matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu geliştirilen bağıntılar (lineer, polinom, logaritmik, üssel ve üstel) meteorolojik ölçüm sonuçları kullanılarak aylık ortalama yatay

düzleme gelen güneş ışınımının hesaplaması sağlanmıştır.



Şekil 3. Adıyaman için geliştirilen modellerin ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması

Yeryüzüne gelen güneş ışınımını modellemek için uzun yıllara dayalı meteoroloji verileri kullanılmaktadır. Şekil 3 incelendiğinde ölçüm değerleri ve aylık sonuçlardaki geliştirilen modellerle uyum içerisinde. Bu matematiksel modeller aylık toplam global güneş ışınım miktarını tahmin etme başarısı Tablo 3'de istatistiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. Geliştirilen Modellerin İstatistiksel Analizi

Aylar	Lineer Model % e	Polinom Model % e	Log. Model % e	Üssel Model % e	Üstel Model % e
Ocak	-7,02	-2,01	-4,94	-5,02	-6,84
Şubat	-11,43	-11,72	-11,67	-10,43	-10,28
Mart	9,64	6,48	8,33	9,80	11,02
Nisan	6,42	2,02	4,72	6,22	7,93
Mayıs	7,56	3,46	6,08	7,09	8,73
Haziran	1,54	1,82	1,53	1,04	1,13
Temmuz	-3,03	0,41	-2,13	-3,43	-4,49
Ağustos	-5,16	-1,40	-4,16	-5,56	-6,72
Eylül	-3,19	-1,40	-2,76	-3,66	-4,11
Ekim	4,51	0,22	2,95	4,03	5,74
Kasım	-3,34	-6,31	-4,62	-3,00	-1,85
Aralık	-2,01	8,26	2,64	0,93	-2,84
R ²	0,9794	0,9931	0,9858	0,9800	0,9714
MPE %	-0,45	-0,01	-0,33	-0,16	-0,21
MAPE	5,40	3,79	4,70	5,01	5,97
SSRE	0,0455	0,0315	0,0358	0,0402	0,0541
RSE	0,0616	0,0512	0,0546	0,0579	0,0671
MBE	22,23	21,48	16,749	19,36	25,80
RMSE	258,40	155,78	215,20	253,565	303,67
t-stat	0,28	0,46	0,259	0,25	0,28

İstatistiksel analizlerle geliştirilen beş farklı model incelendiğinde. Belirleme katsayısı (R²)

değeri bire ne kadar yakınsa uydurulan modelin ölçüm verileri ile uyumlu olduğu sonucuna varılır. Oluşturulan beş farklı model arasından polinom model 0,9931 regresyon değeriyle Adıyaman ili ölçüm sonuçları için en uygundur. Bu modeli sırasıyla logaritmik, üssel, lineer ve üstel model takip etmektedir.

Aylık değerlendirmede sonucunda, hata analizi incelendiğinde geliştirilen modellerden Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarını polinom model en iyi karşılarken, Şubat, Haziran ve Aralık aylarını üstel model, Kasım ayında en iyi sonucu üstel model verdiği belirlenmiştir.

5. Sonuçlar

Güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin dizaynı ve projelendirilmesinde o bölgeye ait güneş ışınım verilerine bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma neticesinde Adıyaman ili için yatay düzleme gelen güneş ışınımı için basit hesaplama metodları belirlenmiş ve ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda değerler arasında anlamlı bir uyumun olduğu görülmüştür. Mevcut konum için literatürde bulunan ve beş farklı bölgenin modelleri denenmiş ve aralarında ikinci dereceden polinomik Tarhan ve Sarı modeli gerçeğe en yakın sonuçlar vermiştir. Toplam güneş ışınım tahmin edilmesine yönelik beş farklı matematiksel bağıntı geliştirilmiştir. Model sonuçları gerçek meteorolojik veri ile karşılaştırılarak hata analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Adıyaman ili için geliştirilen modellerin hesaplanan sonuçlarının ölçüm değerleriyle farkı yok denecek kadar azdır. Fakat polinom model diğer modellere göre daha başarılıdır. Bu çalışma sonucuna göre Adıyaman ili toplam güneş ışınım tahmini için polinom model kullanılması önerilmiştir. Polinom model sonuçlarına göre Adıyaman ili yıllık güneş enerjisi potansiyeli yıllık 4350 W/m² olarak belirlenmiştir. Yapılan bu inceleme sonucunda, güneş ışınımı tahmininde kullanılacak sayısal modellemenin gerçeğe yakın kararlı sonuçlar verdiğini ve bölgenin güneş ışınımı değerinin rahatlıkla tahmin edilebileceği anlaşılmıştır. Ölçüm verileri ile modellerden tahmin edilen güneş ışınımı verileri arasındaki uyum geliştirilen modellerden daha düşüktür.

Mevcut konuma özgü daha farklı modellerde uygulanarak farklı sonuçlar çıkarılabilir. Güneş ışınım değerlerinin ölçümü yapılmayan yerlerde bu gibi modellerin kullanılması ışınım tahmininde yol göstermektedir. Böylelikle güneş ışınımından faydalanılacak yatırım ve projeler için model kullanımı yol gösterici niteliktedir.

Global ekonomide artan enerji ihtiyacı ve nitelsiz fosil kökenli enerji kaynaklarına yönelim atmosferimizin iklim yapısında son yıllarda ciddi değişimler meydana getirmiştir. Mevcut düzenin daha kötüye gitmesine engel olmak amacıyla temiz çevre dostu alternatif enerji kaynaklarına yönelmek tüm insanlığın borcudur. Bu neticede gelişme potansiyeli en olası ve kullanım kaynağı bakımında güneş enerjisi diğer enerji türleri arasında ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi konusunda yapılan çalışmalar, bu enerji türünün gelecek için çok güçlü bir alternatif olduğunu göstermektedir. ne var ki pek çok uygulama ve araştırmaya rağmen, çalışmalar yine de emekleme dönemini yaşıyor; güçlü bir seçenek olarak diğer enerji türleri arasında hak ettiği konumu alamıyor. Güneş enerjisi sistemleri, işletme masrafının az olması ve enerji maliyetinin çok düşük ya da hiç olmamasından dolayı ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen uzun vadede klasik sistemlere göre daha ekonomik olmaktadır.

6.Semboller

a,b	Angström katsayıları
k	Düzeltilme faktörü
H	Aylık ortalama günlük toplam ışınım [Wm ² -gün]
Ho	Aylık ortalama atmosfer dışı ışınım [Wm ² -gün]
Gsc	Güneş sabiti [Wm ²]
S	Aylık ortalama güneşlenme süresi [saat/gün]
So	Aylık ortalama gün uzunluğu [saat/gün]
Ws	Güneş batış açısı [derece]
δ	Deklasyon açısı [derece]

7.Kaynaklar

1. Varınca, K. B., & Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 21-23.

- Meteroloji İşleri Genel Müdürlüğü Erişim tarihi: 22 Haziran 2016, <http://www.mgm.gov.tr/>
- Meteroloji İşleri Genel Müdürlüğü Erişim tarihi: 05 Mart 2016 <http://www.adiyamanozelidare.gov.tr>
- Meteroloji İşleri Genel Müdürlüğü Erişim tarihi: 08 Kasım 2016 <http://www.mgm.gov.tr/>
- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **50**(210), 121-126.
- Glover, J., & McCulloch, J. S. G. (1958). The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **84**(360), 172-175.
- Barbaro, S., Cannata, G., Coppolino, S., Leone, C., & Sinagra, E. (1981). Diffuse solar radiation statistics for Italy. *Solar Energy*, **26**(5), 429-435.
- Ögelman, H., Ecevit, A., & Tasdemiroğlu, E. (1984). A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data. *Solar Energy*, **33**(6), 619-625.
- Kılıç, A., & Öztürk, A. (1983). Güneş enerjisi. Kipaş Dağıtımçılık.
- 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**(4), 523-535.
- Gopinathan, K. K. (1988). A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface. *Solar & wind technology*, **5**(5), 581-583.
- Newland, F. J. (1989). A study of solar radiation models for the coastal region of South China. *Solar Energy*, **43**(4), 227-235.
- Samuel, T. D. M. A. (1991). Estimation of global radiation for Sri Lanka. *Solar Energy*, **47**(5), 333-337.
- Fakioglu, T., & Ecevit, A. (1995). A procedure to obtain the average daily total and the hourly values of solar radiation for Turkey. *TR Journal of Physics*, **19**, 681-8.
- Aksoy, Bülent. (1997):"Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations." *Renewable Energy* **10.4** 625-633.
- Elagib, N. A., & Mansell, M. G. (2000). New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. *Energy Conversion and Management*, **41**(5), 419-434.
- Ulgen, K. and Hepbasli, A., (2004.) Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models, *Energy Sources*, **26**, 521-530, 1506
- Bakirci, K., (2009.) Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey, *Energy* **34**, 485-501

19. Tarhan S, and Sarı A. (2005): "Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey." *Energy Conversion and Management* **46.4** 605-613.
20. 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(4)**, 261-266
21. Kallioğlu, M. A. (2014). Niğde İli İçin Yatay Düzenleme Gelen Günlük Tüm, Yayılı Ve Direkt Güneş Işınımını Hesaplama Modeli Geliştirilmesi (Doctoral dissertation, Niğde Üniversitesi).
22. Duffie, J. A. and Beckman W. A., (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, Inc., New York,.
23. Page, J. K., (1961) The estimate of monthly mean values of daily total short-wave radiation on vertical and inclined surface from sunshine records for latitude 40°N to 40°S. *Proc. UN Conference on New Sources of Energy* **4**:378–390.
24. Besharat, F., Dehghan, A. A., & Faghieh, A. R. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **21**, 798-821.
25. 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,
26. Kallioğlu M.A., Avcı S., Ercan U. Karakaya H. Durmuş A., (2-5 Eylül 2015), "Angstrom-tip güneş ışınım tahmin modellerinin Balıkesir için geliştirilmesi", Ulibtk'1520. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi, Balıkesir.
27. Kallioğlu M.A., Ercan U., Avcı A.S, Karakaya H. (March 19-20, 2016), "Estimating Kilis Regions Solar Radiation by Location Based Statistical Models" ICNASE'16, International Conference on Natural Science and Engineering, Kilis.