



İzmir Menemen Bölgesinin Güneş Işınım Tahmini için Angström-Prescott Modeli Temelli Yaklaşımların Değerlendirilmesi

Evaluation of Angström-Prescott Model-Based Approaches for the Estimation of Solar Irradiance of Menemen, İzmir Region

H. Başak Yıldırım 1* 

¹ İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: basak.yildirim@bakircay.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 23.06.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 16.09.2021

Atıf şekli / How to cite: YILDIRIM, H.B.(2022). İzmir Menemen Bölgesinin Güneş Işınım Tahmini için Angström-Prescott Modeli Temelli Yaklaşımların Değerlendirilmesi. DEUFMD, 24(70), 179-192.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247017

Öz

Güneş enerjisi, sınırlı bir ömre sahip olan ve çevreye zarar veren fosil yakıtların yerini alacak önemli bir role ve potansiyele sahiptir. Güneş enerjili sistemleri uygun şekilde tasarlamak, projelendirmek, inşa etmek ve işletmek için güneş ışınımı bilgisi gereklidir. Güneş ışınımı tüm dünyada nadiren ölçülmekle birlikte, diğer meteorolojik parametreler hemen hemen tüm istasyonlarda ölçülmektedir. Güneş ışınımının ölçüldüğü istasyonların veri tabanlarında da boşluklar bulunmaktadır. Bu noktada güneş ışınımının tahmini önem kazanmaktadır. Literatürde güneş ışınımının güneşlenme süresine bağlı olarak hesaplandığı Angström-Prescott modeli ve bu modelin geliştirilmesi yaklaşımıyla oluşturulmuş farklı modeller bulunmaktadır. Bu çalışmada, Menemen ilçesinde küresel güneş radyasyonunu tahmin etmek için yıllık ve mevsimlik modeller oluşturulmuştur. Ayrıca Angström-Prescott yöntemi temelli modellerin güneş ışınım şiddeti tahmini amacıyla kullanımında hangi modelin daha etkin olduğu Menemen ilçesi için araştırılarak karşılaştırılmalar gösterilmiştir. Bu modelleri oluşturmak için MATLAB programı kullanılmıştır. Son olarak bu modeller ile hesaplanan global güneş ışınımı değerleri ve yer ölçümleri R², SSE, RMSE gibi istatistiksel testler ve hata analizleri ile karşılaştırılmış, hesaplanan ve ölçülen değerler grafiklerle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel güneş ışınımı, güneşlenme süresi, Anström-Prescott modeli

Abstract

Solar energy has an important role and potential to replace fossil fuels that have a limited lifespan and cause environmental damage. Solar radiation knowledge is needed to design, project, build and operate solar energy systems properly. Although solar radiation is rarely measured all over the world, other meteorological parameters are measured at almost all stations. There are also gaps in the data bases of the stations where solar radiation is measured. At this point, the estimation of solar radiation becomes important. In the literature, there are Angström-Prescott model, in which solar radiation is calculated depending on the sunshine duration, and other models created with the approach of developing this model. In this study, annual and seasonal models were created to

estimate global solar radiation in Menemen district. In addition, the comparisons are shown by investigating which model is more effective in the use of models based on Angström Prescott method for the estimation of solar radiation intensity in Menemen district. MATLAB program was used to create these models. Finally, global solar radiation values calculated with these models and the ground measurements were compared with statistical tests and error analyzes such as R^2 , SSE, RMSE, and the calculated and measured values were shown in graphics.

Keywords: *Global solar radiation, Sunshine duration, Anström-Prescott model*

1. Giriş

Enerji talebini karşılamak için güneş enerjisi kullanımı payındaki artış, karbon emisyonlarını azaltarak çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabilir. Buna göre, gelişen teknoloji ve hükümetlerin teşvik edici yasaları ile büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santrallerinin yaygın olarak kullanılması beklenmektedir. Küresel güneş ışınımı tahmini, güneş enerjili sistemlerin enerji çıktılarının etkin kontrolünü sağlamak için kullanılabilecek önemli bir parametredir [1]. Küresel güneş ışınımının güneş sistemlerinin verimliliği üzerindeki doğrudan etkileri; yatırımın doğru tanımlanması, sistem tasarımı, projeksiyonu, planlaması ve sistemin devamlılığını kapsamaktadır [2]. Ülkelerin küresel güneş ışınımı potansiyelini gösteren güneş enerjisi haritaları, güneş enerjisi sistemlerinin kurulması için en uygun bölgeleri bulmak ve bu tür projeler için fizibilite çalışmalarının maliyetlerini düşürmek için fayda sağlar [2]. Bir bölgenin güneşlenme kapasitesinin belirlenmesi, bölgenin ana iklim bölgelerini kapsayan çok sayıda istasyonda yüksek kaliteli ışınım ölçümlerini gerektirir [3]. Küresel güneş ışınımının yüksek kaliteli ölçümleri, bir düzlem yüzeyindeki toplam ışınımı ölçmek için tasarlanmış radyometreler olan piranometreler tarafından yapılır [4]. Piranometre, düzlemsel bir yüzeydeki geniş bantlı güneş ışınımını ölçmek için kullanılan bir aktinometre türüdür ve 180° görüş alanından güneş ışınımı akı yoğunluğunu (metrekare başına watt cinsinden) ölçmek için tasarlanmış bir sensördür [5].

Bununla birlikte, yüksek maliyeti ve teknolojik gereksinimleri nedeniyle yeryüzünün birçok alanına güneş ışınımı ölçüm istasyonu kurmak kolay değildir. Küresel güneş ışınımının yaygın bir şekilde ölçülmesi mümkün olmasa da, hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, bağıl nem ve yağış

düzeyi gibi diğer meteorolojik parametrelerin ölçülmesi, ölçümün kolay ve ekonomik olması nedeniyle çok yaygındır. Bu nedenle, ölçümü daha zor olan küresel güneş ışınımının ölçümü nispeten daha kolay ve ucuz olan meteorolojik parametrelere dayalı olarak modellenmesi literatürde yaygındır.

Güneş ışınımını tahmin etmek için kullanılan ampirik modeller genellikle: Güneş sabiti, dünya-güneş mesafesi, güneş eğimi ve saat açısı olan astronomik faktörler, bölgenin enlem, boylam ve yüksekliği olan coğrafi faktörler, geometrik yüzeyin azimut açısı, yüzeyin eğim açısı, güneş yükselme açısı, güneş azimut açısı, hava moleküllerinin saçılmasına neden olan fiziksel faktörler, su buharı içeriği, tozun saçılması ve O_2 , N_2 , CO_2 gibi diğer atmosferik bileşenler gibi faktörler ve atmosfer dışı güneş ışınımı, güneşlenme süresi, sıcaklık, yağış, bağıl nem, bulutluluk etkileri, toprak sıcaklığı, buharlaşma, çevresel yansıma vb. meteorolojik faktörlerin oluşturulan modellerin bağımsız parametreleri olarak kullanılmasıyla elde edilir [6].

Güneş enerjisi planlayıcıları, uzun vadeli doğru güneş ışınımı kayıtlarına ihtiyaç duyarlar. Elbette en doğru veri modern meteorolojik gözlem istasyonlarında gerçekleştirilen ölçüm verileridir. Gerek ülkemizde gerekse dünyadaki hemen hemen her ülkede güneş ışınımı ölçümü maliyeti ve teknik ihtiyaçları nedeniyle yaygın olarak yapılamamaktadır. Dolayısıyla güneş enerjisi uygulamasının tasarım, performans değerlendirme ve iyileştirme ihtiyacı nedeniyle güneş enerjisi tahmin yöntemleri daha da önem kazanmaktadır. Bu yöntemler arasında belirlenimci yöntemler ve yapay zeka yöntemleri literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Belirlenimci teknikler, güneş ışınımı ile ilgili yaygın olarak ölçülen diğer meteorolojik değişkenleri kullanarak atmosferik geçirgenliği modellemektedir [7].

Belirli bir süre pıranometre ile ölçüm yapılan bölgelerde bu sürenin ardından elde edilen verilerin kullanılmasıyla güneş ışıını gerçeğe çok yakın veya kabul edilebilir yakınlıkta tahmin edilebilir. Bunun için yapılması gereken bölgedeki güneşlenme süresi, sıcaklık, nem gibi ölçümü ve kaydı kolay ve ekonomik olan verilerin ölçümünün sürdürülmesi ve atmosfer dışına gelen ışıını, günlük maksimum güneşlenme süresi gibi verilerin hesaplanmasıdır [8]. Pıranometre verileri ile eğitilerek oluşturulan modeller belirli bir süre pıranometre ölçümüne yakın sonuçları hesaplama ile verebilir [8]. Bunun yanı sıra, küresel güneş ışıını tahmininde daha yüksek doğruluk elde etmek için literatürde birçok türde makine öğrenmesi tekniği ve hibrit model geliştirilmiştir.

Küresel güneş ışıını ve güneşlenme süresi, sıcaklık, nem gibi faktörler arasındaki korelasyonlar literatürde ampirik modeller olarak sunulmuştur. Literatürde yayınlanan ve test edilen birçok böyle model mevcuttur. Bu modellerin ilki 1924 yılında Angström tarafından güneşlenme süresinin günlük maksimum güneşlenme süresine oranı ile güneş ışıınıının açık gökyüzü güneş ışıınıına oranı arasında korelasyon oluşturulan modeldir [9]. Page ve Prescott, açık gökyüzü küresel güneş ışıını parametresini atmosfer dışına ulaşan güneş ışıınıı verisiyle değiştirerek Angström modelini revize ettiler [10, 11]. Literatürde Angström-Page ve Angström- Prescott modeli olarak anılan modeli takiben, dünya çapında

2. Materyal ve Metot

2.1. Güneşlenme Süresi Tabanlı Modeller

Literatürde, güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, maksimum hava sıcaklığı, minimum hava sıcaklığı, yağış düzeyi ve bağıl nem gibi meteorolojik parametrelere dayalı olarak küresel güneş ışıınıını tahmin etmek için birçok doğrusal ve doğrusal olmayan model mevcuttur. Doğrusal modellerde basit doğrusal fonksiyon kullanılırken doğrusal olmayan modellerde ikinci, üçüncü veya dördüncü derece polinom fonksiyonlar kullanılır [12]. Yaygın olarak kullanılan modellerden biri, güneşlenme süresine bağıl olarak küresel güneş ışıınıını tahmin eden Angström- Prescott tabanlı doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleridir [13]. Bu modeller birçok araştırmacı tarafından Dünya'nın yüzeyine

benimsenen ve literatüre sunulan Angström modeline dayalı birçok doğrusal, karesel, kübik, logaritmik, üstel ve trigonometrik fonksiyon kullanılarak küresel güneş ışıınıı modelleri oluşturuldu. Güneşlenme süresi verilerinin bazı istasyonlar için bulunamadığı durumlar içinse literatürde sıcaklık esaslı modeller, bağıl neme dayalı modeller, yağışa dayalı modeller gibi diğer meteorolojik parametrelere dayalı küresel güneş ışıınıı modelleri oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın amacı, güneş ışıınıının güneşlenme süresine dayalı olarak tahmininin yapıldığı belirlenimci modelleri incelemek ve incelenen modeller arasında literatürde sıkça kullanılan Angström- Prescott temelli güneşlenme süresine bağıl olarak güneş ışıınıı tahmininin yapıldığı doğrusal, karesel ve kübik polinom modelleri İzmir ili Menemen ilçesinde bulunan ve ışıını ölçümünün modern meteorolojik gözlem istasyonlarıncaya yapıldığı istasyondan alınan veriler ile Menemen ilçesi için hem yıllık hem de mevsimsel olarak ayrı ayrı oluşturmaktır. Bunun yanı sıra oluşturulan günlük güneş ışıınıı tahmini modellerinin istatistiksel testleri ve hata analizleri sonuçlarını hesaplanan R^2 , RMSE ve SSE değerleri ile sunmak ve modelleri birbirleriyle karşılaştırarak Menemen bölgesi için Angström- Prescott temelli en uygun güneş ışıınıı modelini parametreleriyle beraber belirlemektir.

ulaşan küresel güneş ışıınıı ile güneşlenme süresi arasında ampirik korelasyonlar geliştirmek için kullanıldı. Bu modellerde küresel güneş ışıınıının atmosfer dışı ışıınıına oranı bağımlı değişken ve güneşlenme süresinin günlük mümkün maksimum güneşlenme süresine oranı bağımsız değişken olarak kullanıldı. Angström yönteminin en önemli avantajı, küresel güneş ışıınıının, tek başına güneşlenme süresi ölçümü ile tahmin edilebilmesidir [10].

Angström modeli birçok araştırmacı tarafından doğrudan veya geliştirilerek kullanılmaktadır [14-19]. Angström modeli temel alınarak güneş ışıınıı hesaplaması hem doğrusal hem de doğrusal olmayan fonksiyonlar kullanılarak oluşturulmuştur.

Güneşlenme süresi birçok meteoroloji istasyonunda ekonomik ve kolay bir teknoloji

ile uzun süre ölçülebilir bir parametredir. Bu nedenle, güneşlenme süresi ve güneş ışınımı arasındaki ilişkiden yola çıkarak bu iki parametre arasında bir fonksiyon geliştirmek için birçok araştırma yapılmıştır. Küresel güneş ışınımını tahmin etmek için oluşturulan bu denklemlerin çok büyük çoğunluğu Angström-Preccott modelinin geliştirilmesi ile elde edilen denklemlerdir [20]. Küresel güneş ışınımını tahmin etmek için kullanılan ve güneşlenme süresi yerine, hava sıcaklığı, maksimum ve minimum sıcaklık arasındaki fark, bağıl nem, yağış miktarı gibi farklı meteorolojik parametrelerin kullanıldığı modeller özellikle güneşlenme süresi verileri bulunmayan bölgeler için tercih edilse de elde edilen sonuçlar neticesinde güneşlenme süresi verisi bulunan bölgeler için de kullanılmıştır. Fakat hali hazırda literatürde güneş ışınımının tahmin edilmesinde en iyi sonucu veren regresyon modelleri bağımsız değişken olarak güneşlenme süresini kullanmaktadır [21]. Güneşlenme süresini takiben en yaygın olarak kullanılan diğer parametreler hava sıcaklığı, yağış, bağıl nem ve bulutluluktur [22].

Literatürde güneş ışınımını tahmin etmek için Angström-Preccott tabanlı doğrusal ve doğrusal

Tablo 1. Angström-Preccott temelli küresel güneş ışınımı modelleri

Referans	Model
(Angstrom-Preccott) [10]	$H/H_0 = a + b(S/S_0)$
(Akınoğlu ve Ecevit) [34]	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2$
(Bahel ve diğerleri) [35]	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2 + d(S/S_0)^3$
(Toğrul ve Toğrul, 2002) [36]	$H/H_0 = a(\ln(S/S_0)) + b$
(Newland, 1989) [37]	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(\log(S/S_0))$
(Ampratwum ve Dorvlo, 1999) [38]	$H/H_0 = a + b(\log(S/S_0))$
(Almorox ve Hontario, 2004) [39]	$H/H_0 = a + b(\exp(S/S_0))$

2.2. Çalışma Bölgesinin İklimi ve Veriler

Türkiye yağışlarının büyük çoğunluğunu kış aylarında alır, buharlaşma oldukça düşüktür, ülkenin hava sıcaklığı ortalaması ise bu mevsimde 50 °C'nin altındadır. Yaz aylarında yağışlar sınırlı, buharlaşma yoğundur. Türkiye

olmayan regresyon modeli olan birçok model sunulmuştur. Bazı araştırmalarda modeldeki regresyon katsayılarının bölgeye bağlı olduğu ve regresyon katsayılarının enlem, yükseklik vb. coğrafi parametrelere bağlı olarak önerildiği görülmüştür [23-30]. Literatürde bulunan çalışmalara bakıldığında, çalışma alanına ait veriler kullanılarak geliştirilen bölgesel modellerin genel modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş, dolayısıyla regresyon katsayılarının bölgeye bağlı olduğu ve enlem, boylam, yükseklik gibi coğrafi parametrelerle ilişkili olduğu gözlenmiştir [23-30]. Kısaca, Angström-Preccott modeli, birçok araştırmacı tarafından farklı tipte regresyon fonksiyonları kullanılarak geliştirilmiştir. Bunlar esas olarak Angström-Preccott yöntemine dayanan birinci dereceden, ikinci dereceden, üçüncü dereceden polinom fonksiyonların kullanıldığı regresyon modelleridir [23-33]. Bunun yanı sıra model sonuçlarıyla ölçüm değerleri arasındaki hatayı azaltmak için daha yüksek dereceli polinom fonksiyonları, logaritmik ve üstel fonksiyonlar da literatüre sunulmuştur. Tablo 1'de literatüre sunulmuş ve yaygın olarak kullanılan Angström-Preccott temelli modeller verilmiştir.

genel olarak güneş kuşağı adı verilen, güneş enerjisi açısından yüksek potansiyele sahip bir bölgede yer almaktadır [40,41]. Türkiye'nin bölgelere göre güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 1'de gösterilmiştir. Türkiye, iklim kuşaklarından ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer alır. Ülkenin coğrafi yer

şekillerindeki homojen olmayan dağılım nedeniyle ülke içinde birbirinden farklı iklim özellikleri görülür [41]. Kıyı bölgeleri daha ılıman bir iklime sahipken iç kısımlar ve dağlık bölgeler daha çok karasal iklimin etkisindedir. Ülkede iklimleri yer yer birbirinden farklı yer yer ise benzerlik gösteren 7 bölgeden oluşmaktadır [41]. Ege Bölgesi bu 7 bölgeden biridir. Ege bölgesi kıyılarında serin, yağışlı

kışlar ve sıcak, orta derecede kurak yazlar yaşanır. Bu bölgede yıllık yağış miktarı 580 ila 1.300 milimetre arasında değişmektedir.

Bölgenin kıyı kesimlerinde Akdeniz iklimi etkiliyken iç kesimlerinde özellikle Kütahya, Afyonkarahisar, Uşak ve Denizli illerinde karasal iklim etkilerine de rastlanır.



Şekil 1. Türkiye'nin bölgelere göre güneş enerjisi potansiyel atlası (MGM)

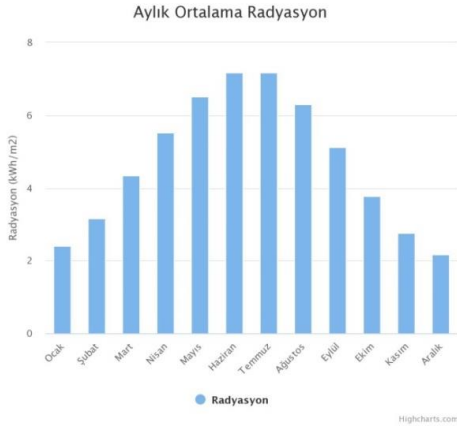
Türkiye'de ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, yıllık güneş enerjisi ışınım şiddeti 1311 kWh/m^2 olarak belirlenmiştir. Ege Bölgesi'nde güneş ışınım şiddeti yıllık ortalama 1406.6 kWh/m^2 'dir [41]. Bölgede irili ufaklı güneş enerjili santrallerin bulunmasının yanı sıra güneş kolektörleri ile konutlarda sıcak su elde edilir. Ege Bölgesi 8 ilden oluşmaktadır. Bunlar İzmir, Aydın, Muğla, Manisa, Kütahya, Afyonkarahisar, Denizli ve Uşak illeridir. Menemen İlçesi ise Güneyde kendisinin de dahil olduğu İzmir, doğuda Manisa kuzeyde ise Marmara bölgesine dahil olan Balıkesir illeriyle çevrilidir. Şekil 2'de Menemen ilçesinin dahil olduğu İzmir ilinin ve ilçeye en yakın diğer iller olan Balıkesir ve Manisa illerinin aylık ortalama

güneş enerjisi potansiyeli grafikleri gösterilmiştir. Menemen, İzmir'in kuzeyinde yer alır. İl merkezine uzaklığı 28 km'dir. Kuzeyinde Aliğa ilçesi; doğusunda Manisa ili, batısında Foça; güneyinde Çiğli ve Karşıyaka ile çevrelenir. ([Http://www.izmir.gov.tr/](http://www.izmir.gov.tr/)) İlçenin yüzölçümü 694 km^2 'dir. 20 köyü bulunmaktadır. Kıyı bölgesinde Gediz Deltası yer almaktadır. Menemen ilçesi $38,6237$ enleminde $27,0433$ boylamında bulunmaktadır, ilçenin rakımı 10 metredir [41].

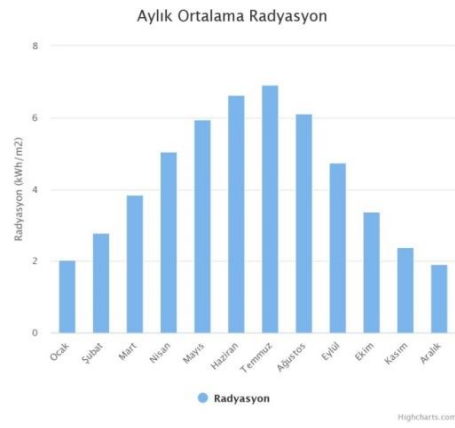
Çalışmada ölçüm verileri kullanılan ve güneş ışınımı tahmininin yapıldığı Menemen istasyonunun coğrafi konumları Tablo 2'de verilmiştir. Konumlar Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden alınmıştır.

Tablo 2. Menemen İlçesinin coğrafi konumları

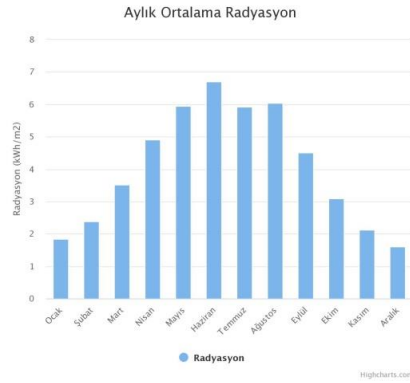
İstasyon	Boylam (E)	Enlem (N)	Rakım (m)
Menemen, İzmir	27,1489	38,4778	85



(a)



(b)



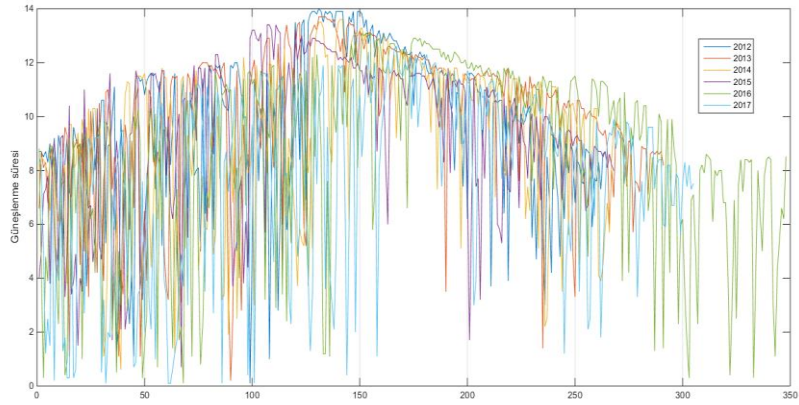
(c)

Şekil 2. (a) İzmir ili aylık ortalama ışınım verileri, (b) Manisa ili aylık ortalama ışınım verileri, (c) Balıkesir ili aylık ortalama ışınım verileri.

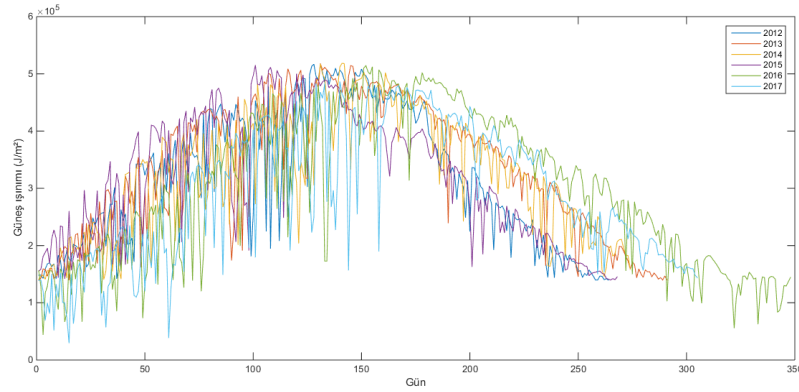
(Kaynak: T.C. TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sitesi: www.mgm.gov.tr)

Bu çalışmada kullanılan günlük güneşlenme süresi ve günlük güneş ışınımı verileri Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. 1964 yılından beri ülkedeki birçok meteorolojik gözlem istasyonunda güneş ışınımı ölçümü aktinograflar ile güneşlenme süresi ölçümü ise güneşlenme süresi kayıt cihazlarıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. 2012 yılından sonra ise ülke genelindeki meteorolojik istasyonlarda otomatik gözlem istasyonlarına geçiş başlamıştır, otomatik gözlem istasyonları ile tüm meteorolojik veriler daha hassas ve dünya

standartlarına uygun cihazlarla ölçülmeye başlanmıştır. Hali hazırda ülkemizde birçok istasyonda otomatik gözlem istasyonlarının kurulumu tamamlanmıştır. Bu çalışmada Menemen ilçesindeki Meteoroloji Gözlem İstasyonundan alınan 2012-2017 yıllarında ölçülmüş günlük küresel güneş ışınımı ve günlük güneşlenme süresi verileri kullanılmıştır. Şekil 3'te 2012-2017 yılları boyunca güneşlenme süresi ve güneş ışınımı grafikleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. (a) 2012-2017 yılları boyunca Menemen ilçesindeki güneşlenme süresi değerleri, (b) 2012-2017 yılları boyunca Menemen ilçesindeki güneş ışıması değerleri

2.3. Hesaplamalar

Literatürde küresel güneş ışımasının meteorolojik parametrelere bağlı olarak hesaplandığı birçok tahmin modeli bulunmaktadır. Angström-Prescott modelinden esinlenilerek oluşturulan modeller küresel güneş ışıması ile güneşlenme süresi arasında doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon ilişkisi kurularak oluşturulmuştur. Bu regresyon ilişkisinde küresel güneş ışımasının atmosfer dışına ulaşan güneş ışımasına oranı bağımlı değişkenken, güneşlenme süresinin, günlük olası en yüksek güneşlenme süresine oranı ise regresyon ilişkisinin bağımsız değişkenidir. Bu çalışmada Angström-Prescott [10], Akınoğlu ve Ecevit [34] ve Bahel ve diğerlerinin [35] modelleri temel alınarak Menemen ilçesi

verileri ile denklemler oluşturularak regresyon katsayıları belirlenmiştir. Bu modelleri oluşturabilmek için yeryüzüne ulaşan küresel güneş ışımasının ve güneşlenme süresinin istasyonda belirli bir süre ölçülmüş değerleri ile atmosfer dışına ulaşan güneş ışımasının ve günlük olası en yüksek güneşlenme süresinin hesaplanan değerlerine ihtiyaç duyulur. Atmosfer dışına ulaşan ışıma ve günlük olası en yüksek güneşlenme süresi değerleri literatürde ihmal edilebilir düzeyde hatayla hesaplanmaktadır. Atmosfer dışına ulaşan güneş ışımasının hesabı ve bu hesap için gerekli parametrelerin hesaplandığı formüller aşağıda verilmiştir [42];

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360D}{365}\right) \times \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \varphi \sin \delta\right) \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (H_m - H_c)^2}{\sum_{i=1}^n (H_c)^2} \quad (5)$$

Formülde H_0 atmosfer dışına gelen güneş ışınımı, I_{sc} güneş sabiti, D Ocak ayınının 1'ini 1 olarak kabul ederek sıra ile 365'e kadar alınan yılın günü, φ ölçüm verilerinin alındığı istasyonun enlemi, δ deklinasyon açısı olarak bilinen güneş sapma açısı, ω_s ise ortalama gündoğumu saat açısıdır. Deklinasyon açısı;

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360(D+284)}{365} \right) \quad (2)$$

Formülü ile hesaplanırken, ortalama gün doğumu saat açısı;

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\delta) \tan(\varphi)] \quad (3)$$

Formülü ile hesaplanır.

Regresyon ilişkisi kurarken ihtiyaç duyulan günlük olası en yüksek güneşlenme süresi S_0 ile gösterilerek;

$$S_0 = \frac{2}{15} \omega_s \quad (4)$$

Formülü ile hesaplanmıştır.

2.4. İstatistiksel Testler ve Hata Analizleri

Oluşturulan tahmin modellerinin doğrulukları istatistiksel test ve hata analizleri ile gösterilmiştir. İstatistiksel göstergeler olarak R^2 (Determinasyon katsayısı), SSE (Hataların karesinin toplamı) ve RMSE (Ortalama karekök hata) değerleri aşağıda verilen formüllere göre hesaplanmıştır.

$$SSE = \sum_{i=1}^k (H_m - H_c)^2 \quad (6)$$

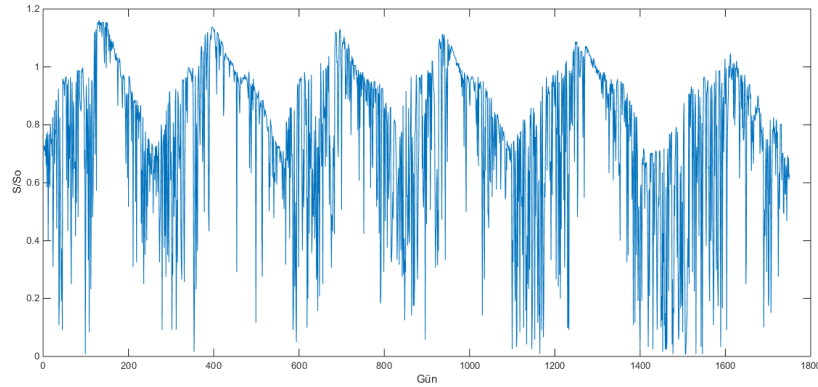
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (H_m - H_c)^2} \quad (7)$$

Formüllerde H_m ölçülmüş küresel ışınımı değerini, H_c ise oluşturulan modellerle hesaplanmış küresel güneş ışınımı değerini göstermektedir.

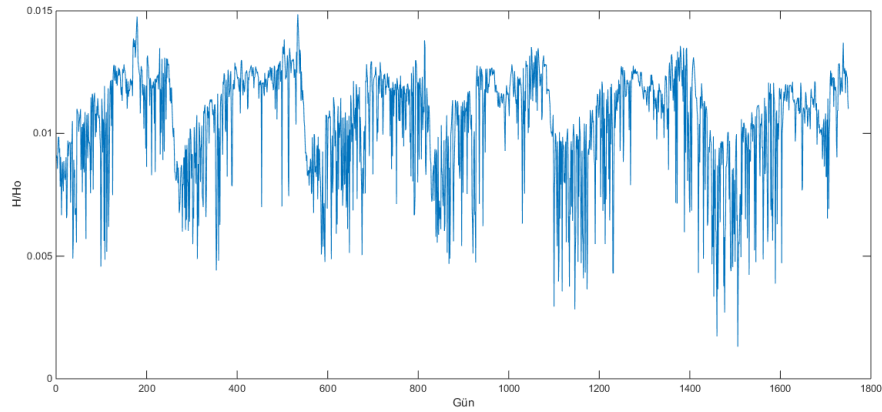
3. Bulgular

MATLAB, verilerin analizi ve model oluşturmak için çok yaygın olarak kullanılan bir programlama ve sayısal hesaplama platformudur [43]. Bu çalışmada oluşturulan her model için regresyon katsayıları MATLAB programı eğri tahmin teknikleri ile elde edilmiştir. Angström-PreScott, Akınoğlu ve Ecevit ve Bahel ve diğerlerinin denklemleri ve Menemen istasyon verilerine dayanarak, küresel güneş ışınımının günlük tahmini için oluşturulan regresyon modelleri hem yıllık hem de mevsimsel olarak oluşturulmuştur.

Şekil 4 de Menemen ilçesine ait olan ve regresyon model parametrelerini oluşturan S/S_0 ve H/H_0 değerlerinin tüm veri seti için dağılımı gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. (a) Menemen ilçesi için S/S_0 değerinin 2012-2017 yılları arasında dağılımı, (b) Menemen ilçesi için H/H_0 değerinin 2012-2017 yılları arasında dağılımı

Bu çalışmada 1. Sezon olarak adlandırılan periyot Mart-Eylül ayları ile 2. Sezon olarak adlandırılan periyot Ekim-Şubat ayları süresince ölçülen veriler kullanılarak yıllık verilerin ikiye ayrılması ile oluşturulmuştur. Hem yıllık model hem de sezon 1 ve sezon 2 modelleri birinci derece, ikinci derece ve üçüncü derece polinom modelleri kullanılarak

oluşturulmuştur. Sonuçlar regresyon katsayılarının her model için değiştirdiğini göstermektedir. Regresyon katsayıları Tablo 3 'de verilmiştir.

Her bir model için günlük regresyon modelleri ve R^2 , SSE ve RMSE istatistiksel test ve hata analizleri yapılmış, sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Menemen ilçesi günlük güneş ışınımı tahmini için elde edilen regresyon katsayıları

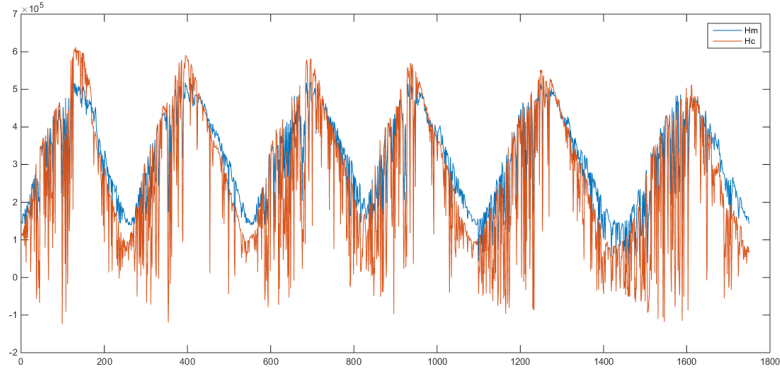
	Sabitler	Metot		
		Doğrusal	Karesel	Kübik
Yıllık Model sabitleri	a	0,006983	-0,003218	-0,0009826
	b	0,005133	0,01105	-0,001415
	c	-	0,004117	0,01013
	d	-	-	0,004224
Sezon 1 model sabitleri	a	0,008197	-0,00416	-0,0003362
	b	0,004681	0,01247	-0,003647
	c	-	0,003868	0,01226
	d	-	-	0,003888
Sezon 2 Model sabitleri	a	0.006961	-0.000984	-0.004774
	b	0.004977	0.0083	0.00828
	c	-	0.004604	0.003145
	d	-	-	0.005295

Tablo 4. Oluşturulan regresyon modelleri için istatistiksel test ve hata analizleri

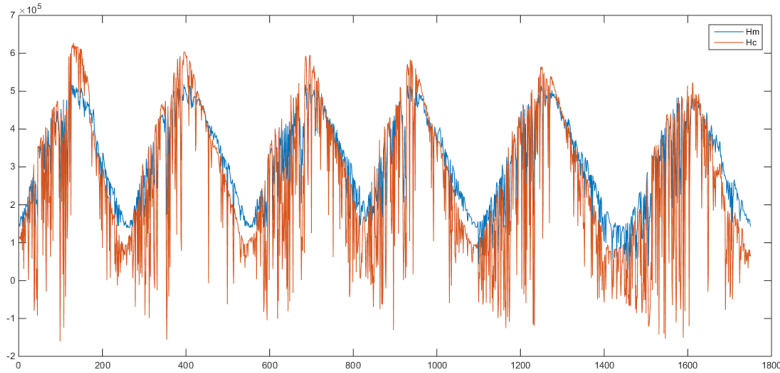
Modeller	İstatistiksel test ve hatalar	Metot		
		Doğrusal	Karesel	Kübik
Yıllık Model	R ²	0.7188	0.733	0.7331
	SSE	0,0023	0,0022	0,0022
	RMSE	0.001149	0.00112	0.00112
Sezon 1 model	R ²	0.6205	0.6307	0.6307
	SSE	0,0022	0,0004	0,0004
	RMSE	0.001543	0.001523	0.001524
Sezon 2 Model	R ²	0.8464	0.8479	0.8512
	SSE	0,0017	0,0017	0,0017
	RMSE	0.0006933	0.0006903	0.000683

Tablo 4'te görüldüğü gibi regresyon modelleri yıllık olarak kabul edilebilir doğrulukta bir sonuç vermektedir. Sezonlara göre değerlendirme yapıldığında ise, sezon 1 için yani ekseriyetle güneşlenme süresinin daha uzun küresel güneş ışınımı değerinin daha yüksek olduğu dönem için değerlendirilmesi yapılan modeller yıllık modelden daha iyi sonuçlar vermektedir. Öte yandan Sezon 2 yani ekseriyetle güneşlenme süresinin daha kısa ve küresel güneş ışınımı verilerinin daha düşük olduğu dönem boyunca ölçülen veriler 0 değerleri kullanılmamasına yani güneşlenme süresi değerinin 0 olduğu tamamen bulutlu günler ihmal edilmesine rağmen sezon 1 modeli ile kıyaslandığında hata çok büyüktür. Yıllık model ile kıyaslandığında hatanın yine sezon 2 modelinde daha büyük olduğu Tablo 4'te görülmektedir. Buradan yıllık model performansının sezon 1 modelinden daha düşük doğrulukta olmasının kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra sezon 2 modelinin hata analizlerine yakın sonuçlar alınan modeller literatürde bulunmaktadır.

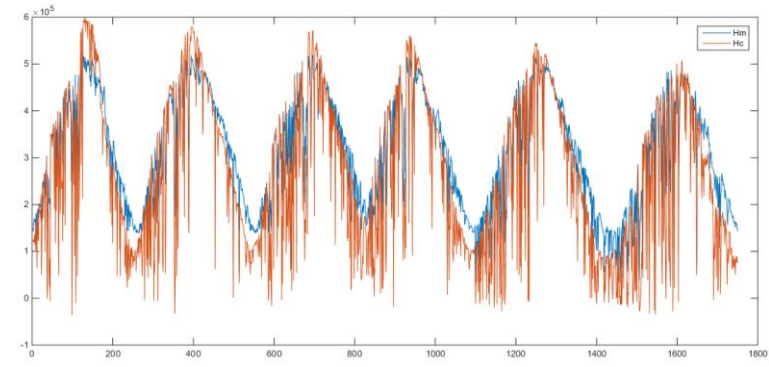
Yıllık modeller kendi içlerinde karşılaştırıldığında gerçeğe en yakın verilerin elde edildiği modelin 2. dereceden polinom modeli olduğu, polinomun 2. dereceden daha büyük olması durumunda hatanın az da olsa büyüdüğü görülmüştür. Aynı şekilde sezon 1 modelleri kendi içlerinde karşılaştırıldığında en iyi tahminin üçüncü dereceden polinom modeli ile elde edildiği görülmesine rağmen 2. dereceden polinom modeli ve hatta 1. Dereceden polinom modeli ile de küresel güneş ışınımının tahmini mümkündür. Sezon 2 verileri ile oluşturulan modellerde ise yıllık modelde olduğu gibi 2. dereceden polinom modeli en iyi sonucu vermektedir ve polinom derecesi büyüdükçe modelde bir iyileşme görülmemektedir. Şekil 5'te yıllık model ve sezonluk modeller için ölçülmüş ve en iyi sonuçları veren modellerle hesaplanmış güneş ışınımı değerleri grafiklerle karşılaştırılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Menemen ilçesi için yıllık 2. derece polinom modeli ile hesaplanmış ve ölçülmüş güneş ışınımının (a); yıllık model için (b); sezon 1 modeli için (c); sezon 2 modeli için grafiksel karşılaştırması

Bu makalenin temel amacı, güneşlenme süresi ışınımını hesaplamaktır. Küresel güneş ışınımı verilerini kullanarak yataya gelen küresel güneş verileri ve güneşlenme süresi verilerine

dayanarak birinci derece, ikinci derece ve üçüncü derece polinom denklemleri, yıllık ve sezonlara dayalı olarak ayrı ayrı oluşturulmuştur. İstatistiksel test ve hata analizi sonuçlarına ve grafiklere bakıldığında en iyi sonuçların sezon 1 modeli ile elde edildiği görülmektedir. Menemen ilçesi için en uygun model yıllık modeller ve sezon 2 modelleri arasında 2. Dereceden polinom modeli iken sezon 1 için en uygun model üçüncü derece polinom modelidir. Hata 2. dereceden ve 3. Dereceden polinom modelleri için çok küçük bir değişiklik gösterdiğinden sezon 1 için de 2. dereceden polinom modeli uygun görülmüştür. Tahmin edilen değerler ile ölçülen değerler arasındaki karşılaştırma hem grafiksel olarak hem de istatistiksel test ve hata analizleri ile gösterilmiştir. İstatistiksel test ve hata analizlerine göre en iyi sonuçlar sezon 1 modeli için elde edilmiştir. Sezon 1 modelleri kullanılarak Menemen ilçesinde küresel güneş ışınımı için doğruya oldukça yakın sonuçlarda tahmin yapılabilir. Sezon 1 modelleri içerisinde en iyi sonuç 3. derece polinom modeli ile elde

4. Tartışma ve Sonuç

Bu makalenin temel amacı Menemen ilçesinde güneşlenme süresi parametresine göre güneş ışınımı değerini hesaplamaktır. Gerek mevcut veri tabanındaki boşlukları doldurmak gerekse ülkemizde ölçümü diğer meteorolojik parametrelere nazaran seyrek olan güneş ışınımı tahmini için genel bir formül üretilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada güneş ışınımının güneşlenme süresine bağlı olarak hesaplandığı 9 tane model üretilerek incelenmiştir. Literatürde küresel güneş ışınımının tahmini için sıklıkla kullanılan Angström-Preseott, Akınoğlu-Ecevit ve Bahel ve diğerlerinin modelleri temel alınarak Menemen ilçesi için

edilmektedir fakat 2. derece polinom modelinde hata çok küçük bir değişiklik gösterdiği için daha az değişkenle hesap yapabilmek için 2. dereceden polinom modeli uygun görülmüştür. Yıllık modellere bakıldığında ise küresel güneş ışınımının yine kabul edilebilir doğrulukta tahmin edilebileceği ve yıllık modeller içinde en iyi sonucu veren en basit modelin 2. derece polinom modeli olduğu görülmektedir. Her ne kadar yıllık modeller içerisinde üçüncü derece polinom modeli ile hata bir miktar daha düşse de bu anlamlı bir düşüş değildir. Dolayısıyla yıllık modeller için 2. derece polinom modeli önerilmektedir. Sezon 2 modellerine bakıldığında ise doğruluğun düştüğü açıkça görülmesine rağmen bu modeller içerisinde de hatanın en az olduğu 2. derece polinom modeli önerilmektedir. Yıllık modellerde de 3. derece polinom modeli ile hata çok az miktarda azalmaktadır fakat bu miktar da anlamlı bir miktar değildir. Elde edilen sonuçlara göre, Menemen ilçesinde yataya gelen küresel güneş ışınımı tahmini için önerilen modeller kullanılabilir.

model sabitleri belirlenmiştir. Model verilerini zemin ölçümleri ile karşılaştırmak için RMSE, SSE ve R² değerleri her bir model için ayrı ayrı hesaplanmış bunun yanı sıra ölçülmüş değerler ve hesaplanmış değerler grafiksel olarak da karşılaştırılmıştır. Modeller yıllık ve sezonluk olarak oluşturulmuş ve hem yıllık hem de sezonluk modeller için 2. Dereceden polinom modelleri önerilmiş grafiksel karşılaştırmalar buna göre gösterilmiştir. Belirlenen katsayılara sahip bu denklemler, Menemen ilçesinde küresel güneş ışınımı ölçümünün olmadığı durumlarda veya mevcut veri tabanındaki eksik verilerin tamamlanması amacıyla kullanılabilir.

Energy Sources Part A, Cilt. 31 (3), s. 208–216. DOI: 10.1080/15567030701522534

Kaynakça

- [1] Yoshida S, Ueno S, Kataoka N, Takakura H, Minemoto T.2013, Estimation of global tilted irradiance and output energy using meteorological data and performance of photovoltaic modules, Solar Energy Cilt.93, s.90-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.04.001>
- [2] Chelbi M, Gagnon Y, Waewsak J. 2015. Solar radiation mapping using sunshine durationbased models and interpolation techniques: application to Tunisia, Energy Convers Manag. Cilt. 101, s. 203–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.052>
- [3] Bakirci K., 2009. Estimation of solar radiation by using ASHRAE clear sky model in Erzurum, Turkey. Energy Sources Part A, Cilt. 31 (3), s. 208–216. DOI: 10.1080/15567030701522534
- [4] Paulescu, M, Paulescu, E, Gravila, P, Badescu V. 2013. Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation, Springer, London, 358s.
- [5] Tiwari, GN, Dubey, S, 2009 Fundamentals of Photovoltaic Modules and their Applications, RSC Publishing, UK, 422s
- [6] Teke A, Yıldırım HB. 2014. Estimating the monthly global solar radiation for Eastern Mediterranean Region, Energy Convers Manag. Cilt.87, s.628–635. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.052>
- [7] Urraca, R., Antonanzas, J., Martinez-de-Pison, FJ., Antonanzas-Torres, F., 2015. Estimation of solar global irradiation in remote areas. Journal of

- Renewable and Sustainable Energy, Cilt.7, s. 231-236. DOI:10.1063/1.4919084
- [8] Wong, L.T., Chow, W.K., 2001. Solar radiation model, Applied Energy, 69, 191-224. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(01\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(01)00012-5)
- [9] Angström A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quart J Roy Meteor Soc. Cilt.50, s.121-6. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49705021008>
- [10] Prescott, J.A., 1940. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. Trans R Soc Aust, 64, 114-48.
- [11] Page, J.K. 1986. Prediction of Solar Radiation on inclined Surface. Springer Netherlands, 459s.
- [12] Khatib Tamer, MohamedAzah, Sopian K.2012. A review of solar energy modelling techniques. Renewable Sustainable Energy Rev, Cilt.16(5), s.2864-2869. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.064>
- [13] Mousavi, R., Sabziparvar, AA, Niaz, AM., Ebrahimi A., Heydari, PM., 2015. Calibration of the Angström-Prescott solar radiation model for accurate estimation of reference evapotranspiration in the absence of observed solar radiation, Theoretical and Applied Climatology, Cilt.119 (1), s.43-54. DOI:10.1007/s00704-013-1086-7
- [14] Li, H., Ma, W., Lian, Y., Wang , X., Zhao, L., 2011. Global solar radiation estimation with sunshine duration inTibet,China. Renewable Energy, Cilt.36 (11), s.3141-3145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.019>
- [15] Poudyal, KN., Bhattarai BK., Balkrishnal S., Berit, K., 2012. Estimation of global solar radiation using sunshine duration in Himalaya Region. Research Journal of Chemical Sciences, Cilt.2 (11), s. 20-25
- [16] Hassana, GE., Youssefa, ME., Alia, MA., Mohamed, ZE., Shehatab, AI. 2016. Performance assessment of different day-of-the-year-based models for estimating global solar radiation - Case study, Egypt, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Cilt.149, s.69-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.09.011>
- [17] Adaramola, MS., 2012. Estimating global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria. Renewable Energy, Cilt.47, s.38-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.005>
- [18] Suehrcke H., Bowden RS., Hollands, KGT., 2013. Relationship between sunshine duration and solar radiation. Solar Energy, 92, 160-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.02.026>
- [19] Rahimi, I., Bakhtiari, B., Qaderi K., Aghababaie, M., 2012. Calibration of Angstrom Equation for Estimating Solar Radiation using Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm (Case study, Mashhad-East of Iran), Energy Procedia, Cilt.18, s. 644-651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.078>
- [20] Bakirci, K., 2000. Models of solar radiation with hours of bright sunshine, A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt.13, s.2580-2588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.011>
- [21] Zhao, N., Zeng, X., Han, S., 2013. Solar radiation estimation using sunshine hour and air pollution index in China. Energy Conversion and Management, Cilt.76, s.846-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.037>
- [22] Besharat, F., Dehghan, AA., Faghih, AR. 2013. Empirical models for estimating global solar radiation, A review and case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt.21, s. 798-821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.043>
- [23] Gopinathan, KK. 1988. A general formula for computing the coefficients of the correlations connecting global solar radiation to sunshine duration, Solar Energy, Cilt.41, s.499-502. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(88\)90052-7](https://doi.org/10.1016/0038-092X(88)90052-7)
- [24] Gopinathan, KK., 1988 b. A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface. Sol Wind Technol, Cilt.3 (5), s. 581-583. DOI: [https://doi.org/10.1016/0741-983X\(88\)90050-1](https://doi.org/10.1016/0741-983X(88)90050-1)
- [25] Glover, J., McCulloch, JSG., 1983. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. Q J R Meteorol Soc, Cilt.84 (360), s. 172-175. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49708436011>
- [26] Kiliç, A., Öztürk, A. 1984. Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar, SEGEM, Ankara, 135s
- [27] Bennett, I., 1965. Monthly maps of mean daily insolation for United States. Sol. Energy Cilt.9(3), s.145-159. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(65\)90088-5](https://doi.org/10.1016/0038-092X(65)90088-5)
- [28] Raja, IA., 1994. Insolation-sunshine relation with site elevation and latitude. Sol. Energy, Cilt.53 (1), s.53-56. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(94\)90605-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(94)90605-X)
- [29] Elagib, NA., Mansell, MG., 2000. New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. Energy Conversion and Management, Cilt. 41, s.419-34. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00123-5](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00123-5)
- [30] Gana, NN., Rai, JK., Momoh, M., 2014. Estimation of global and diffuse solar radiation for Kebbi, North-Western, Nigeria. International Journal of Scientific & Engineering Research, Cilt.5, s.1654-1661.
- [31] Almorox J., Arnaldo JA., Bailek N., c Marti P., 2020. Adjustment of the Angstrom-Prescott equation from Campbell-Stokes and Kipp-Zonen sunshine measures at different timescales in Spain. Renewable Energy, Cilt.154, s.337-50. DOI: 10.1016/j.renene.2020.03.023
- [32] Naserpour S., Zolfaghari H., Firouzabadi PZ., 2020. Calibration and evaluation of sunshine-based empirical models for estimating daily solar radiation in Iran. Sustainable Energy Technologies and Assessments, Cilt.42, 100855. DOI: 10.1016/j.seta.2020.100855.
- [33] Almorox J., Voyant C., Bailek N., Kuriq A., Arnaldo JA., 2021. 1. Total solar irradiance's effect on the performance of empirical models for estimating global solar radiation: An empirical-based review. Energy, Cilt.236, 121486
- [34] Akinoglu, B., Ecevit, A., 1990. A further comparison and discussion of sunshine-based models to estimate global solar radiation. Energy, Cilt.15 (10), s. 865-872. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(90\)90068-D](https://doi.org/10.1016/0360-5442(90)90068-D)
- [35] Bahel, V., Bakhsh, H., Srinivasan, R., 1987. A correlation for estimation of global solar radiation. Energy, Cilt.12 (2), s. 131-135. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(87\)90117-4](https://doi.org/10.1016/0360-5442(87)90117-4)

- [36] Toğrul, İT., Toğrul, H., 2002. Global solar radiation over Turkey, comparison of predicted and measured data. *Renewable Energy*, Cilt.25, s. 55-67. DOI:10.1016/S0960-1481(00)00197-X
- [37] Newland, FJ., 1989. A study of solar radiation models for the coastal region of South China. *Solar Energy*, Cilt.43 (4), s.227-235. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(89\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(89)90022-4)
- [38] Ampratwum, DB., Dorvlo, ASS., 1999. Estimation of solar radiation from the number of sunshine hours. *Applied Energy*, Cilt. 63, s. 161-167. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00025-2](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00025-2)
- [39] Almorox, J., Hontoria, C., 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy* <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.08.022>
- [40] Sensoy S, Demircan M, Balta I. Türkiye'nin İklimi, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13_turkiye_iklimi.pdf (Erişim Tarihi: 22.06.2021)
- [41] T.C. TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sitesi, <http://www.mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 15.04.2021)
- [42] Duffie, JA, Beckman WA, 2013, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, New York, 936s
- [43] MathWorks web sitesi, <https://uk.mathworks.com/products/matlab.html> (Erişim Tarihi: 10.04.2021)