



## Global Güneş Işınımı Tahmin Modelleri için ATATEK-Solar Yazılımının Geliştirilmesi

Ahmet Süslü<sup>1,\*</sup>, Recep Külcü<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, PhD., Isparta, Türkiye.

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

\* Corresponding author (Sorumlu Yazar): A. Süslü, e-mail (e-posta): [mail@ahmetsuslu.com](mailto:mail@ahmetsuslu.com)

### ÖZET

Güneş enerjisi hesaplamaları, atmosfer dışına kadar çeşitli eşitlikler yardımıyla büyük bir doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, yeryüzüne düşen ışınım miktarının hesaplanması oldukça zordur. Bunun nedeni, atmosfer içerisindeki ışınımın; topografik özellikler, bulutluluk ve nem gibi koşullardan etkilenmesidir. Bu etmenlerin zamanla değişmesi, eşitlikler yoluyla hesaplamayı zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, global güneş radyasyonu hesabında rasat cihazlarıyla ölçüm ve tahmin modelleri kullanılmaktadır. Güneş rasat cihazlarının kurulması ve işletilmesi maliyetli bir süreç olduğundan, bu cihazlar meteoroloji istasyonları, havaalanları ve üniversiteler gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ancak geniş bir coğrafi alana gelen global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde tahmin modelleri daha etkin bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, tahmin modellerinin validasyonlarının meteoroloji istasyonlarından alınan verilerle yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda, tahmin yapılan her bölge için ayrı doğrulama yapılması zorunlu hale gelmektedir.

Global ışınım tahmin modellerinde kullanılan sabitler, meteorolojik ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler kullanılarak iterasyon yoluyla belirlenmektedir. Model sabitleri belirlendikten sonra tahminler gerçekleştirilmekte ve hesaplama yapılan il için en doğru tahminleri veren model belirlenmektedir. En başarılı modelin belirlenmesinde istatistiksel hata parametreleri kullanılmaktadır. Araştırmacılar modellerin iterasyonla çözümünde farklı yazılımlar kullanılmaktadır (MATLAB, Excel Solver, SigmaPlot, vb.). Ancak bu yazılımların global güneş radyasyonu hesabına özel tasarlanmamış olması birçok soruna neden olmaktadır. Bu bağlamda, ATATEK (Akıllı Tarım Teknolojileri) çalışma grubu tarafından ATATEK-Solar yazılımı geliştirilmiştir. Yazılım, Türkiye için geniş içeriğe sahip kütüphanesiyle modellerde kullanılan tüm değişkenlerin yıllık değerlerini sağlamakta, ayrıca kullanıcıya veri ekleme imkânı sunmaktadır. Yazılım, optimizasyon aşamasında iterasyonla modelleri 3 farklı yöntemle çözmekte ve her model için en uygun çözüm yoluna göre global güneş radyasyonu değerlerini hesaplamaktadır. Ardından, istatistiksel analiz sonuçlarını raporlamaktadır.

Bu çalışmada, makalenin yazarları tarafından geliştirilen ATATEK-Solar yazılımının çalışma ilkeleri, kullanım arayüzü ve kullanıcıya sunduğu sonuçlar incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ATATEK-Solar, global güneş radyasyonu, ışınım tahmini

# Development of ATATEK-Solar Software for Global Solar Radiation Prediction Models

## ABSTRACT

Solar energy calculations can be performed with high accuracy up to the outer atmosphere using various equations. However, calculating the amount of radiation reaching the earth's surface is quite challenging due to factors like topographical features, cloud cover, and humidity affecting radiation within the atmosphere. The variability of these factors over time complicates equation-based calculations. Thus, global solar radiation calculations often rely on measurements from observation instruments and prediction models. Since the installation and operation of solar observation instruments are costly processes, they are typically used in locations such as meteorological stations, airports, and universities. Prediction models, however, play a more effective role in estimating global solar radiation over extensive geographical areas. Nonetheless, validation of prediction models requires data from meteorological stations, making it essential to perform separate validations for each region.

In global radiation prediction models, constants are determined iteratively using data from meteorological measurement stations. After determining these model constants, predictions are made, and the model providing the most accurate estimates for a specific location is identified. Statistical error parameters are employed to select the most successful model. Researchers use various software, such as MATLAB, Excel Solver, and SigmaPlot, to solve models iteratively. However, since these tools are not specifically designed for global solar radiation calculations, they often present challenges. In this context, the ATATEK (Smart Agricultural Technologies) working group developed the ATATEK-Solar software. With a comprehensive library tailored to Turkey, the software provides annual values for all variables used in the models and allows users to add data. During the optimization phase, the software solves models using three different iterative methods and calculates global solar radiation values based on the optimal solution for each model. It then reports the statistical analysis results.

This study examines the operational principles, user interface, and outcomes offered by the ATATEK-Solar software developed by the authors.

**Keywords:** ATATEK-Solar, global solar radiation, radiation prediction

---

### Makale Bilgisi / Article Info

Alınış tarihi  
Received date : 07.11.2024

Düzeltilme tarihi  
Revised date : 19.11.2024

Kabul tarihi  
Accepted date : 19.11.2024

Atıf için  
How to Cite Süslü, A. ve Külcü, R. (2024). "Global Güneş Işınımı Tahmin Modelleri için ATATEK-Solar Yazılımının Geliştirilmesi", *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 10(1), 2024: 62-73.

---

## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, elektrik üretiminden ısı enerjisi üretimine kadar çok yaygın bir şekilde kullanılan yenilenebilir ve enerji dönüşümü sonucunda emisyon üretmeyen bir kaynaktır. Bu nedenle son yıllarda kullanımı yaygınlaşmakta ve özellikle büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinin sayısı hızla artmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinden üretilecek enerji miktarı doğrudan global radyasyon değerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle güneş enerjisi sistemleri veya santralleri kurulmadan önce ayrıntılı fizibilite çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu fizibilite çalışmalarında yıllık simülasyonlar gerçekleştirilerek, tesisten üretilecek enerji miktarları hesaplanmakta ve ekonomik bir projeksiyon ortaya konulmaktadır.

Fizibilite çalışmalarında ve bölgesel öngörü faaliyetlerinde başlangıç noktası tesis kurulacak coğrafi koordinatın yıllık global güneş radyasyonu miktarı ve bu miktarın aylara göre değişimidir. Bu işlem için güneş rasat cihazları kullanılabilirdiği gibi radyasyon tahmin modelleri de kullanılabilir. Güneş rasat cihazları bir alana kurulduğunda en az bir yıl boyunca ölçüm yapılması gerekmektedir. Bu işlem hem zaman hem de ekonomik açıdan bir maliyet ortaya çıkartmaktadır. Global güneş radyasyonu tahmin modelleri ise meteorolojik istasyon verilerinden elde edilen uzun süreli ölçüm verileri kullanılarak geliştirilmiş ampirik modellerdir. Bu modellerde öncelikle bölgesel validasyon işlemleri gerçekleştirilmeli ve bu işlem doğrultusunda en uygun model ve model katsayıları belirlenmelidir.

Bu çalışmada global güneş radyasyonunu tahminlemede kullanılan modellerin validasyonu ve sabitlerinin hesaplamasını iterasyon yoluyla hesaplayan ve istatistiksel analiz sonuçlarıyla raporlama yapan ATATEK-Solar yazılımı tanıtılmıştır. Makale yazarları tarafından geliştirilen yazılım, kullanıcıya veri ekleme imkânı sağlaması, güneş radyasyonu modellemesine uygun optimizasyon seçenekleri ve istatistiksel değerlendirme arayüzüyle farklı programlarda yapılarak birleştirilen analizleri tek çatı altında gerçekleştirmektedir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. ATATEK-Solar Programının Yazılımsal Arkaplanı

ATATEK-Solar yazılımı, optimizasyon motorunda literatürde yaygın olarak kullanılan Nelder-Mead Simplex (Nelder ve Mead, 1965), Pattern Search (Hooke ve Jeeves, 1961) ve Simulated Annealing (Kirkpatrick vd., 1983) algoritmalarını barındıran JavaScript tabanlı modüler bir yapı üzerine inşa edilmiştir. Bu algoritmalar şu avantajları sunmaktadır:

- **Nelder-Mead Simplex:** Türevsiz optimizasyon problemlerinde etkili performans göstermesi ve yerel minimumlara hızlı yakınsama özelliği.
- **Pattern Search:** Gürültülü verilerde kararlı sonuçlar üretmesi ve paralel hesaplama uygunluğu.
- **Simulated Annealing:** Global optimum noktayı bulma yeteneği ve yerel minimumlara takılmama özelliği.

Bu algoritmaların kombinasyonu, yazılımın farklı koşullar altında güvenilir sonuçlar üretmesini sağlamaktadır. Yazılımda tanımlanan her bir model için optimizasyon algoritmaları, eşzamanlı çalışan iş parçacıkları (worker thread) üzerinde çalıştırılmakta ve  $10^{-8}$  hassasiyetle iteratif çözümler üretmektedir. Meteorolojik veriler MySQL veritabanında şehir ve aylık ölçüm değerleri olarak saklanmaktadır. AJAX teknolojisi kullanılarak sunucu tarafına aktarılan optimizasyon sonuçları, PHP dili ile gerçekleştirilen kapsamlı istatistiksel analizler yardımıyla değerlendirilmekte ve en düşük hata

oranına sahip algoritma-model kombinasyonu tespit edilmektedir. ATATEK-Solar yazılımı atmosfer dışına gelen ışınım miktarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikleri kullanmaktadır.

Atmosfer dışına bir günde gelen ışınım miktarı 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Duffie ve Beckman, 2006; Mengeç ve ark., 2006).

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \left[ \cos \varphi \cos \delta \sin w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \varphi \sin \delta \right] \quad (1)$$

1 numaralı eşitlikte kullanılan Deklinasyon açısı ( $\delta$ ) 2 numaralı eşitlikle, gün batımı saat açısı ( $w_s$ ) 3 numaralı eşitlikle hesaplanmıştır (Ertekin ve Yıldız, 2000; Bakırcı, 2009; Duffie ve Beckman, 2006; Ertekin ve ark., 2008).

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

$$w_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \quad (3)$$

Modellerde kullanılacak olan bulutluluk katsayısı  $S/S_0$  değeri için S meteorolojik veriler ölçümlere göre belirlenirken,  $S_0$  değeri 4 numaralı eşitlikle hesaplanmıştır (Duffie ve Beckman, 2006).

$$S_0 = \frac{2}{15} \text{Arc cos}(-\text{tg}\delta \text{ tg}\lambda) \quad (4)$$

ATATEK-Solar yazılımı güneş ışınımı modellemesinde 15 ayrı model kullanmaktadır. Bu modellerden 14 tanesi literatürde yer alan çalışmalardan derlenmiş, bir tanesi ise yazılımın oluşturulma aşamasında yapay zekâ aracı kullanılarak geliştirilmiştir. ATATEK-Solar yazılımı tarafından kullanılan tahmin modelleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Yazılımın kullandığı modeller

Model No	Model	Kaynak
1	$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left( \frac{S}{S_0} \right)$	Angstrom (1924); Prescott (1940)
2	$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left( \frac{S}{S_0} \right)^{c_3}$	Elagib ve Mansell (2000)
3	$\frac{H}{H_0} = c_1 \left( \frac{1}{S} \right)$	El-Metwally (2005)
4	$\frac{H}{H_0} = \left[ \frac{c_1 \left( \frac{S}{S_0} \right)}{c_2 w_s} \right] + c_3 w_s$	Külcü (2015)
5	$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left( \frac{S}{S_0} \right) + c_3 \left( \frac{S}{S_0} \right)^2 + c_4 \left( \frac{S}{S_0} \right)^3$	Bahel ve ark. (1987)
6	$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \left( \frac{S}{S_0} \right) + c_3 \log \left( \frac{S}{S_0} \right)$	Ampratwum ve Dorvlo (1999)
7	$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \exp \left( \frac{S}{S_0} \right)$	Almorox ve Hontoria (2004)
8	$\frac{H}{H_0} = c_1 + \left[ c_2 \left( \frac{S}{S_0} \right) + c_3 \right] \varphi + c_3 \left( \frac{S}{S_0} \right)$	Dogniaux ve Lemoine (1983)
9	$\frac{H}{H_0} = c_1 + c_2 \log \left( \frac{S}{w_s} \right) + c_3 \left( \frac{S}{S_0} \right)$	Külcü (2019)

Tablo 1. Yazılımın kullandığı modeller (Devamı)

Model No	Model	Kaynak
10	$\frac{H}{H_0} = c_1(\Delta T)^{0.5} + c_2$	Hargreaves ve ark. (1985)
11	$\frac{H}{H_0} = c_1 \ln(\Delta T) + c_2$	Coppolino (1994)
12	$\frac{H}{H_0} = c_1[1 - \exp - c_2(\Delta T)^{c_3}]$	Bristow ve Campbell (1984)
13	$\frac{H}{H_0} = c_1 \log \left[ \left( c_2 \frac{S}{S_0} \right) + (c_3 \Delta T) \right] + c_4$	Ersan ve Külcü (2024)
14	$\frac{H}{H_0} = c_1 \log[(c_2 w_s) + (c_3 \Delta T)] + c_4$	Ersan ve Külcü (2024)
15	$\frac{H}{H_0} = c_1 \left( \frac{S}{S_0} w_s \right)^{c_2} + c_3 \log_{10}(1 + \Delta T) + c_4 \sin(\varphi) \cos \left( \frac{2\pi n}{365} \right) + c_5$	Bu çalışma kapsamında oluşturulmuştur.

## 2.2. ATATEK-Solar Programının Kullanıcı Arayüzü

ATATEK-Solar programı, PHP dili kullanılarak web tabanlı olarak geliştirilmiş olup şu an için yerel Apache sunucusunda (localhost) çalışmaktadır. Program ilerleyen süreçte internet üzerinden erişime açılacak şekilde planlanmıştır. Geliştirme aşamasında olan programın kullanıcı arayüzü Şekil 1'de gösterilmiştir.

### Güneş Işınımı Modelleme Sistemi

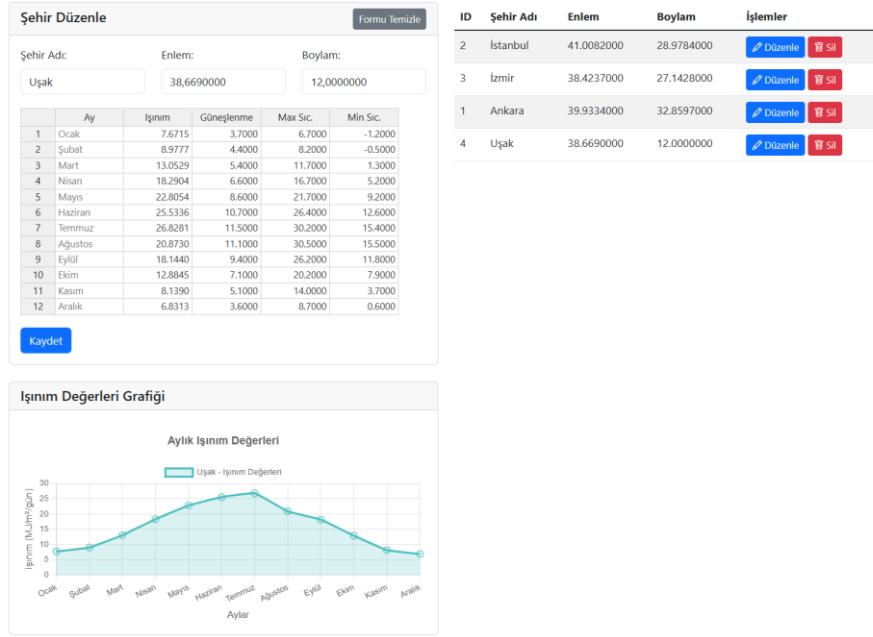


Şekil 1. ATATEK-Solar programının ana ekranı

Programın ana ekranında üç seçenek bulunmaktadır. Bunlar; şehir listesi, modeller ve optimizasyondur. Ayrıca ana ekranda aktif model sayısı, toplam şehir sayısı ve son güncelleme bilgilendirmeleri bulunmaktadır.

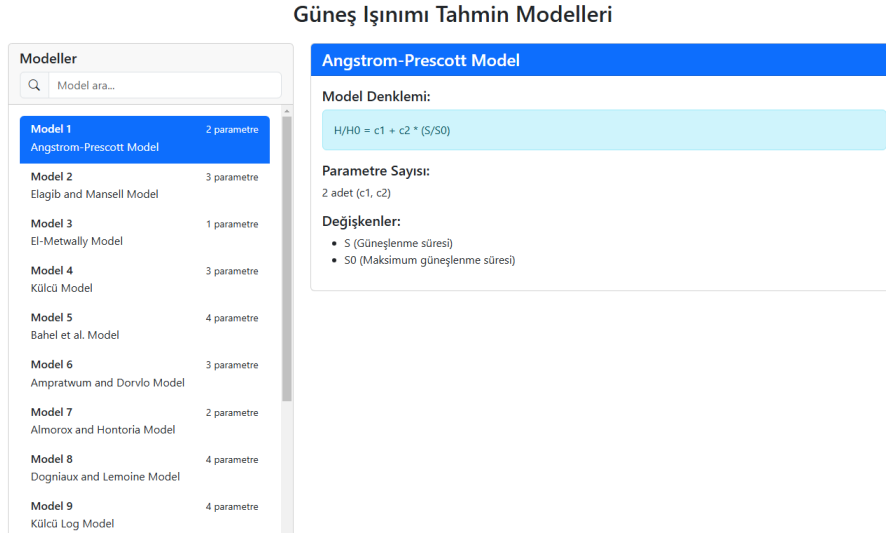
Şekil 2'de şehir listesi sekmesinden ulaşılan arayüz gösterilmiştir. Bu sayfadan yazılım kütüphanesindeki veriler çağrılabilirdiği gibi, kullanıcı tarafından veri eklemesi yapılarak kütüphanede olmayan verilerle de modelleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

## Şehir Listesi



Şekil 2. ATATEK-Solar programının şehir seçimi sayfası.

Şekil 3'de programın güneş ışınımı tahmininde kullandığı modeller gösterilmektedir. Program içerisinde toplam 15 model tanımlanmıştır. Sol menüden model seçildiğinde ekranın sağ tarafındaki pencerede modelin açılımı ve modelde kullanılan parametrelerin açıklamaları gösterilmektedir.



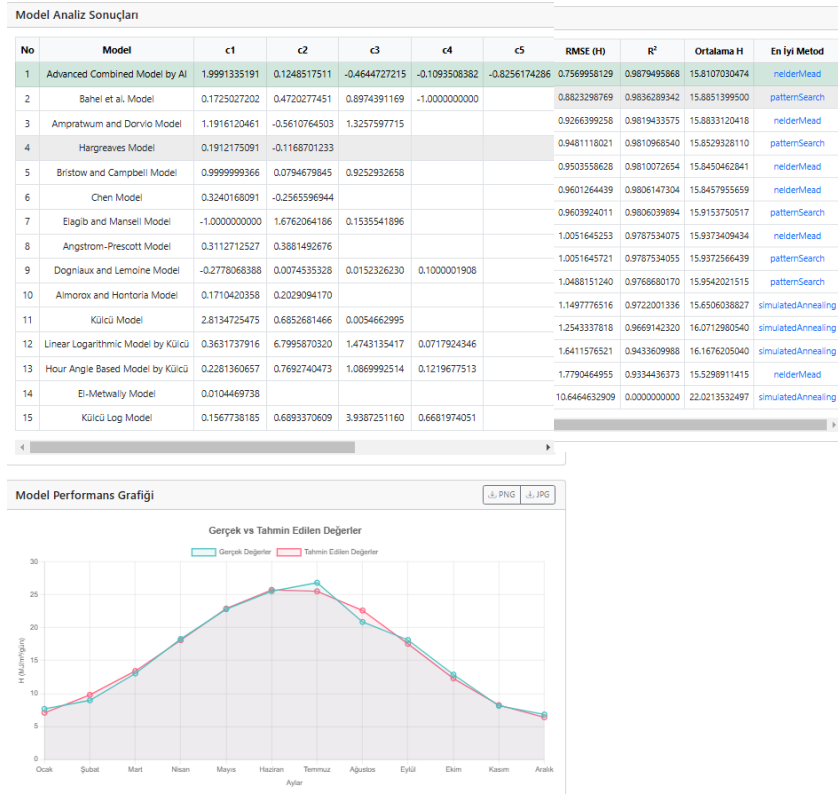
Şekil 3. Programın modeller sayfası

Şekil 4'te programın optimizasyon sayfasının arayüzü gösterilmiştir. Bu sayfa "Ön Hesaplama Sonuçları", "Analiz Sonuçları" ve "Model Grafikleri" olmak üzere üç ana sekmeden oluşmaktadır. Sol panelde şehir seçimi, optimizasyon metodu ve başlangıç noktası gibi analiz ayarları yer almaktadır. Birinci sekmede gösterilen ön hesaplama sonuçları tablosunda güneşlenme süresi, atmosfer dışı ışınım hesabı ve modellerde kullanılan temel parametreler (gün uzunluğu açısı, sıcaklık farkı, deklinasyon açısı, enlem) gösterilmektedir.

Analiz Ayarları		Ön Hesaplama Sonuçları									
Şehir:		Analiz Sonuçları									
Uşak		Model Grafikleri									
Optimizasyon Metodu:											
Tüm Metodlar											
Başlangıç Noktası:											
1											
Analiz Et											
Sistem hazır											
Ay	S (saat)	S0 (saat)	H (MJ/m <sup>2</sup> /gün)	H0 (MJ/m <sup>2</sup> /gün)	ws (°)	ΔT (°C)	Deklasyon (°)	Enlem (°)			
Ocak	3.7000	9.6253	7.6715	16.0293	72.1900	7.9000	-20.9170	38.6690			
Şubat	4.4000	10.5856	8.9777	21.2945	79.3921	8.7000	-12.9546	38.6690			
Mart	5.4000	11.7418	13.0529	28.0404	88.0637	10.4000	-2.4177	38.6690			
Nisan	6.6000	13.0167	18.2904	34.9762	97.6254	11.5000	9.4149	38.6690			
Mayıs	8.6000	14.1069	22.8054	39.7926	105.8015	12.5000	18.7919	38.6690			
Haziran	10.7000	14.6593	25.5336	41.7241	109.9444	13.8000	23.0859	38.6690			
Temmuz	11.5000	14.4090	26.8281	40.6925	108.0676	14.8000	21.1837	38.6690			
Ağustos	11.1000	13.4717	20.8730	36.7773	101.0381	15.0000	13.4550	38.6690			
Eylül	9.4000	12.2367	18.1440	30.5006	91.7753	14.4000	2.2169	38.6690			
Ekim	7.1000	10.9629	12.8845	23.2393	82.2214	12.3000	-9.5994	38.6690			
Kasım	5.1000	9.8783	8.1390	17.2437	74.0870	10.3000	-18.9120	38.6690			
Aralık	3.6000	9.3456	6.8313	14.5811	70.0921	8.1000	-23.0496	38.6690			

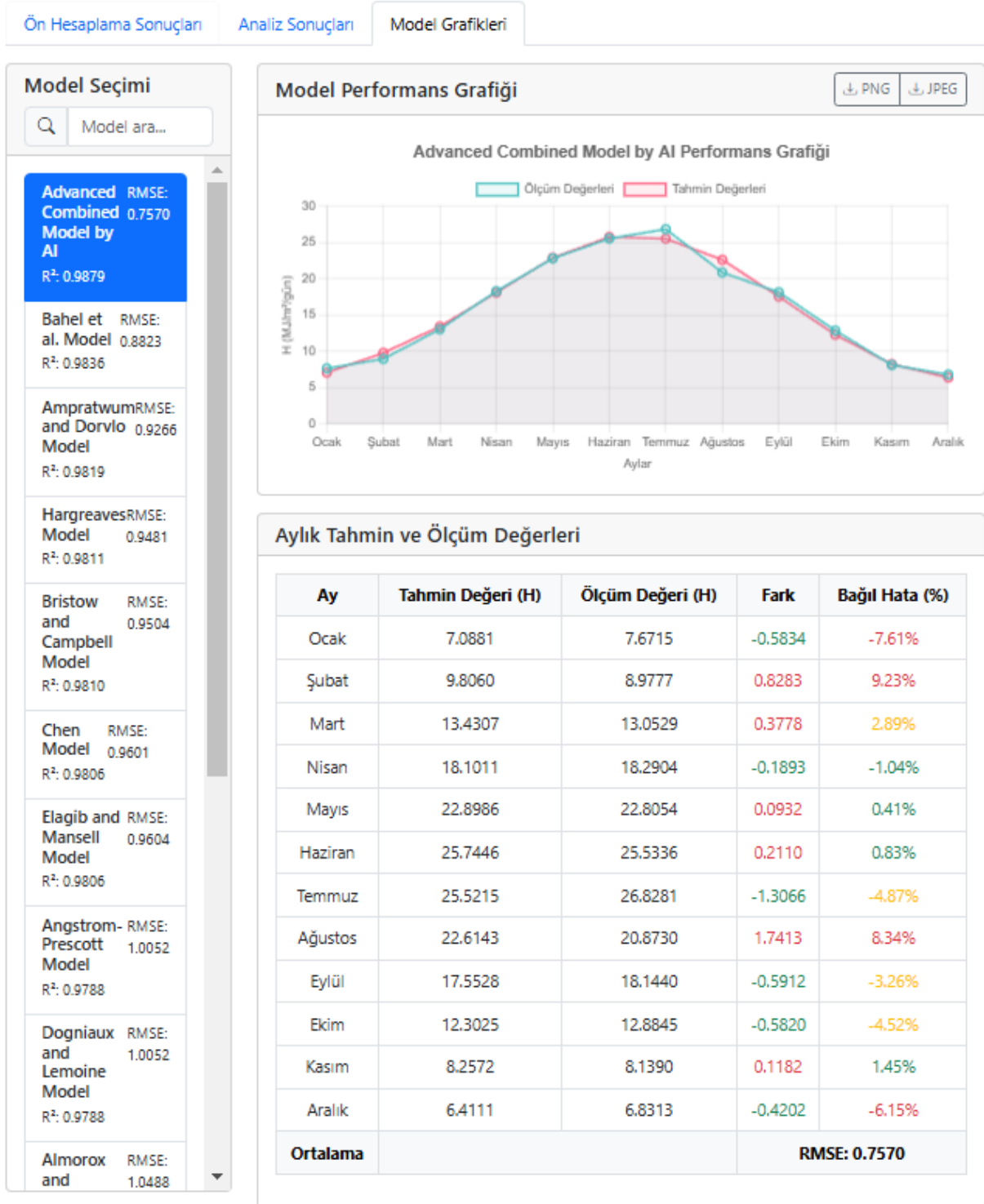
Şekil 4. Programın ön hesaplama sonuçları sekmesi

Şekil 5'de programın analiz sonuçları sekmesi gösterilmiştir. Bu sayfanın sol kısmında modellerin iterasyonu sonucunda hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel değerlendirme parametreleri gösterilmiştir. İstatistiksel analiz parametreleri kısmının sonunda her model için en başarılı çözümü sunan analiz yöntemi de gösterilmektedir. Yapılan analizler sonucunda Uşak ili için en başarılı tahminler, program geliştirme çalışmaları kapsamında geliştirilen 15 numaralı model tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu modelin yaptığı tahminler için hesaplanan RMSE (Root Mean Square Error - Kök Ortalama Kare Hata) değeri 0.7569958129 ve  $R^2$  (Belirlilik Katsayısı) değeri ise 0.987949586 olarak hesaplanmıştır. RMSE değerinin 1'in altında olması modelin tahmin hatalarının düşük olduğunu,  $R^2$  değerinin 1'e çok yakın olması ise modelin gerçek değerleri yüksek doğrulukla açıklayabildiğini göstermektedir. Bu değerler, geliştirilen modelin güneş radyasyonu tahminlerinde güvenilir sonuçlar ürettiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 5. Programın analiz sonuçları sekmesi

Şekil 6'da programın model grafikleri sekmesi gösterilmiştir. Bu sekmede sol kısımdan seçilen model için hesaplanan değerler, bağıl hata ve RMSE değerleri gösterilirken, üst kısımda seçilen modelin tahmin ettiği değerler ile ölçülen değerlerin olduğu grafik sunulmaktadır. Grafikte model küçük sapmalar oluşturmalarına rağmen büyük oranda ölçülen verilerle uyumlu tahminler yaptığı görsel olarak sunulmaktadır.



Şekil 6. Programın model grafikleri sekmesi



### 3. SONUÇ

ATATEK-Solar programı global güneş ışıyını modellemesinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiş özel bir yazılımdır. Yazılım seçilen coğrafi koordinatların güneş ışıyın miktarlarının tahmininde kullanılan modellerin iterasyon yoluyla analizini gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda yayın içerisinde Uşak ili örneğinde yapılan testler ve elde edilen sonuçlar kullanıcı dostu bir tasarım olduğunu ve çözümlene başarısının yüksek olduğunu göstermiştir.

Yazılım, yaygın kullanılan genel amaçlı programlara (MATLAB, Excel Solver, SigmaPlot vb.) kıyasla şu avantajları sunmaktadır:

- Güneş radyasyonu hesaplamalarına özel tasarlanmış olması
- Çoklu optimizasyon algoritmalarının eşzamanlı kullanımı
- Kapsamlı veri tabanı ve kolay veri girişi imkanı
- Gerçek zamanlı analiz ve görselleştirme yetenekleri

Yazılımın gelecek versiyonunda web tabanlı bir platforma dönüştürülerek daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşması planlanmaktadır.

### SİMGELER

$G_{sc}$  : Güneş sabiti ( $1367 \text{ W/m}^2$ )

$H$  : Yeryüzüne ulaşan günlük global güneş radyasyonu ( $\text{MJ/m}^2.\text{gün}$ )

$H_0$  : Atmosfer dışı radyasyon ( $\text{MJ/m}^2.\text{gün}$ )

$w_s$  : Gün batımı saat açısı

$s$  : Gün uzunluğu (saat)

$s_0$  : Güneşlenme süresi (saat)

$\Delta T$  : Günlük maksimum ve minimum sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\varphi$  : Enlem açısı

$n$  : Yılın günü (1-365)

$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$  : Model katsayıları

### KAYNAKLAR

- Almorox, J., Hontoria, C. (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, 45: 1529–35.
- Ampratwum, D. B., & Dorvlo, A. S. S. (1999). Estimation of solar radiation from the number of sunshine hours. *Applied Energy*, 63, 161–167.
- 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.
- Bahel, V., Bakhsh, H., & Srinivasan, R. (1987). A correlation for estimation of global solar radiation. *Energy*, 12, 131–135.
- Bakırcı, K. (2009). Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey. *Energy*, 34, 485–501.
- Bristow, K. L., & Campbell, G. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31(2), 159–166.
- Coppolino, S. (1994). A new correlation between clearness index and relative sunshine. *Renewable Energy*, 4(4), 417–423.

- Dogniaux, R., & Lemoine, M. (1983). Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency. *Solar Energy Research and Development in the European Community*, Series F, Vol. 2. Dordrecht, Holland: Reidel.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar engineering of thermal processes* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Elagib, N., & Mansell, M. (2000). New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. *Energy Conversion and Management*, 41(5), 419–434.
- El-Metwally, M. (2005). Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67(14), 1331–1342.
- Ersan, R., & Külcü, R. (2024). Development of new models using empirical modeling of global solar radiation and its application in Uşak city, Turkey. *Unpublished manuscript*.
- Ertekin, C., & Yıldız, O. (2000). Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey). *Energy Conversion and Management*, 41, 311–330.
- Ertekin, C., Külcü, R., & Evrendilek, F. (2008). Techno-economic analysis of solar water heating systems in Turkey. *Sensors*, 8, 1252–1277.
- Hargreaves, G., & Riley, J. (1985). Irrigation water requirements for Senegal River basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(3), 265–275.
- Hooke, R., & Jeeves, T. A. (1961). "Direct Search" solution of numerical and statistical problems. *Journal of the ACM*, 8(2), 212–229. <https://doi.org/10.1145/321062.321069>
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671–680. <https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671>
- Külcü, R. (2015). Modelling of solar radiation reaching the earth to Isparta province. *Süleyman Demirel University, Journal of the Faculty of Agriculture*, 10(1), 19–26.
- Külcü, R. (2019). Development of a new model using empirical modeling of global solar radiation and its application in Çankırı city. *Süleyman Demirel University, Yekarum e-Dergi*, 4(2), 1–8.
- Mengeç, O., Ertekin, C., & Sonmete, M. H. (2006). Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 47, 3149–3173.
- Nelder, J. A., & Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. *The Computer Journal*, 7(4), 308–313. <https://doi.org/10.1093/comjnl/7.4.308>
- Prescott, J. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64(1), 114–118.

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **Introduction and Research Questions & Purpose**

Solar energy calculations can be performed with high accuracy up to the outer atmosphere using various equations. However, calculating the amount of radiation reaching the earth's surface presents significant challenges due to the complex interplay of factors such as topographical features, cloud cover, and humidity affecting radiation within the atmosphere. The variability of these factors over time makes equation-based calculations particularly challenging.

While solar observation instruments can be used for direct measurement, their installation and operation are costly, limiting their use to specific locations such as meteorological stations, airports, and universities. Prediction models have emerged as a more practical solution for estimating global solar radiation over extensive geographical areas. However, these models require validation using data from meteorological stations, necessitating separate validations for each region.

The purpose of this research was to develop specialized software (ATATEK-Solar) that addresses the limitations of existing tools used for global solar radiation calculations. The research aimed to create a comprehensive solution that could handle model validation, constant calculation, and statistical analysis within a single platform, specifically designed for solar radiation prediction models.

### **Methodology**

The ATATEK-Solar software was developed using a JavaScript-based modular architecture to create a comprehensive solution for solar radiation prediction. The software's core functionality is built around three powerful optimization algorithms: Nelder-Mead Simplex, Pattern Search, and Simulated Annealing, which work concurrently to achieve high-precision iterative solutions with  $10^{-8}$  accuracy.

The development framework integrates a robust MySQL database system for managing meteorological data, organizing measurements by city and monthly values. This data management system is seamlessly connected to the optimization engine through AJAX technology, enabling efficient server-side processing and real-time data analysis. The software architecture allows for dynamic data handling while maintaining high performance and reliability.

The system incorporates 15 different solar radiation prediction models, including both established models from the literature and a newly developed model created specifically for this software. Each model utilizes comprehensive equations for calculating extraterrestrial radiation, with the calculations validated through extensive testing. The statistical analysis tools, developed using PHP, provide detailed evaluation metrics for model performance assessment.

The user interface was designed with a focus on accessibility and functionality, featuring a web-based platform that allows for intuitive navigation through the software's key features. Users can easily manage city data, select and configure models, and perform optimization and analysis tasks. The interface provides real-time visualization of results and allows for custom data input, making it a versatile tool for both research and practical applications.

### **Results and Conclusions**

Testing of the ATATEK-Solar software using data from Uşak province demonstrated significant success in solar radiation prediction and analysis capabilities. The software's performance was particularly notable through the newly developed Model 15, which was created during the software

development process. This model achieved remarkable accuracy with an RMSE value of 0.7569958129 and an  $R^2$  value of 0.9879495868, indicating exceptional precision in solar radiation predictions.

The software's comprehensive approach to solar radiation modeling proved highly effective, successfully integrating multiple optimization methods while providing detailed statistical analysis capabilities. The user interface demonstrated excellent functionality in data visualization and analysis, allowing researchers and practitioners to easily interpret and utilize results. The system's ability to accommodate custom data input and expand its existing library provides valuable flexibility for various research and practical applications.

Through extensive testing and validation, ATATEK-Solar has established itself as a specialized solution that offers significant advantages over general-purpose software tools commonly used in solar radiation modeling. The high accuracy of its predictions, combined with its comprehensive analysis capabilities, positions it as a valuable tool for both research institutions and practical applications in the solar energy sector. The software's success in handling complex calculations while maintaining user accessibility suggests its potential for wide adoption in solar energy planning and research applications.

## Yazarların Biyografisi



### Ahmet SÜSLÜ

Tarımsal teknolojiler ve otomasyon sistemleri alanında uzmanlaşmış 1985 Konya doğumlu araştırmacı ve girişimci, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde başladığı akademik eğitimini 2024 yılında Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde doktora derecesiyle tamamlamıştır. Sera otomasyonu, biyogaz üretimi ve kompostlaştırma sistemleri alanlarında araştırma projelerinde görev almış, 2012 yılında kazandığı Teknogirişim Sermaye Desteği ile girişimcilik deneyimi edinmiştir. Öğretmenlik deneyimi olan ve ulusal ve uluslararası destekli projelerde görev alan uzman, sürdürülebilir tarım uygulamaları, yazılım geliştirme ve yenilenebilir enerji kaynakları alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.

#### İletişim

[mail@ahmetsuslu.com](mailto:mail@ahmetsuslu.com)

#### ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0003-4016-589X>



### Recep KÜLCÜ

Tarım Makinaları alanında Lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerine sahiptir. Tarım alanındaki çalışmalarını; çevre dostu teknolojiler, kompost ve biyogaz sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine gerçekleştirmektedir. Recep KÜLCÜ Felsefe alanında da lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerine sahiptir. Felsefe alanında; bilim tarihi, etik, tarım ve çevre etiği konularında akademik çalışmalar yapmaktadır. Halen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

#### İletişim

[recepkulcu@isparta.edu.tr](mailto:recepkulcu@isparta.edu.tr)

#### ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-7185-6514>