

# Türkiye’de Farklı İklim Kuşakları İçin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Güneş Işınımının Tahmini

Sevde ERTÜRK<sup>1</sup> , Hakan KARA<sup>2</sup> , Ceyhun AKKUŞ<sup>2</sup> , ve Gamze GENÇ<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı 38039 Kayseri

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü 38039 Kayseri

## Article Info

Research article  
Received: 26/07/2023  
Revision: 18/08/2023  
Accepted: 22/08/2023

## Keywords

Solar Radiation  
Solar Radiation Prediction  
Artificial Neural Networks  
MATLAB

## Makale Bilgisi

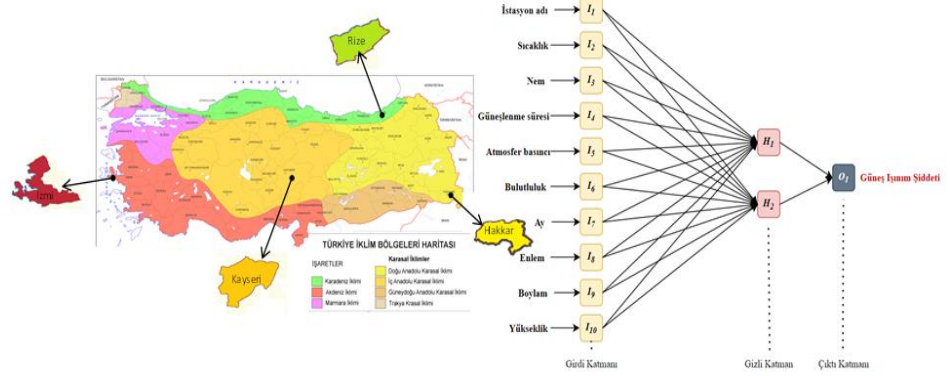
Araştırma makalesi  
Başvuru: 26/07/2023  
Düzeltilme: 18/08/2023  
Kabul: 22/08/2023

## Anahtar Kelimeler

Güneş Işınımı  
Güneş Işınım Tahmini  
Yapay Sinir Ağları  
MATLAB

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada Türkiye’nin farklı iklim kuşaklarında yer alan dört il (Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir) için MATLAB uygulamasıyla Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli oluşturulup güneş ışınımı tahmini yapılmıştır. / In this study, an Artificial Neural Network (ANN) model was developed for solar radiation estimation by using MATLAB application for four cities (Kayseri, Rize, Hakkari, and İzmir) located in different climatic zones of Turkey.



Şekil A. Türkiye’nin farklı iklim kuşakları için YSA ile güneş ışınımı tahmini / Figure A: Solar radiation estimation with ANN for different climate zones of Turkey

## Önemli noktalar (Highlights)

- Türkiye’nin farklı iklim kuşaklarında yer alan dört şehrin meteorolojik verileri ele alındı. / Meteorological data from four cities located in different climate regimes in Turkey were used.
- Solar ışınımın modellenmesi için yapay sinir ağları sunuldu. / Artificial neural networks for solar irradiation forecasting are presented.
- YSA ile tahmin edilen değerler ile ölçülen değerler uyumludur. / The values estimated with ANN were compatible with measured values.

**Amaç (Aim):** Bu çalışmanın amacı Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir illerinin meteorolojik ve coğrafi verilerinden yararlanılarak güneş ışınım değerlerinin YSA kullanılarak tahmin edilmesidir. / The aim of this study is to estimate solar radiation values using ANN by using meteorological and geographical data of Kayseri, Rize, Hakkari and İzmir provinces.

**Özgünlük (Originality):** Türkiye’nin farklı iklim kuşakları için YSA kullanılarak güneş ışınımının tahmin edilmesi. / Estimation of solar radiation using ANN for different climate zones of Turkey.

**Bulgular (Results):** Geliştirilen YSA modeli ile MGM’den alınan ölçülen ışınım değerleri kıyaslandığında hesaplanan korelasyon değerlerine göre R<sup>2</sup> değerinin ele alınan her bir il için 0.9’un üzerinde olduğu görülmüştür ki bu da modelin doğruluğunu kanıtlamaktadır. / When the developed ANN model and the measured radiation values obtained from the MGM are compared, it was seen that the R<sup>2</sup> value was above 0.9 for each province, according to the calculated correlation values, which proves the accuracy of the model.

**Sonuç (Conclusion):** Tahmin edilen değerlerle ölçülen değerler birbiri ile uyum göstermiştir. Dört farklı iklim kuşağında çalışılması YSA modelini her koşulda doğruya en yakın sonuç vermesi yönünde eğitilmiş olup sistemin her il için doğru şekilde çalışmasına zemin hazırlamıştır. / The predicted values and the measured values were compatible with each other. Working in four different climate zones has trained the ANN model to give the closest results to the truth under all conditions and has paved the way for the system to work correctly for each province.



## Türkiye’de Farklı İklim Kuşakları İçin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Güneş Işınımının Tahmini

Sevde ERTÜRK<sup>1</sup>, Hakan KARA<sup>2</sup>, Ceyhan AKKUŞ<sup>2</sup>, ve Gamze GENÇ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı 38039 Kayseri

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü 38039 Kayseri

### Öz

#### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 26/07/2023  
Düzeltilme: 18/08/2023  
Kabul: 22/08/2023

#### Anahtar Kelimeler

Güneş ışınımı  
Güneş ışınım tahmini  
Yapay sinir ağları  
MATLAB

Güneş enerjisinden gerek termal gerekse elektrik uygulamalarında elde edilen faydalı enerji yüzeye gelen ışınımına bağlıdır ve bu ışınım miktarı konum, zaman, iklimsel koşullar ve çevre koşullarına göre değişmektedir. Güneş enerji destekli enerji sistemlerinin etkin bir şekilde tasarlanması ve çalıştırılması için ışınım miktarının doğru bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada Türkiye’nin farklı iklim kuşaklarında yer alan dört il (Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir) için MATLAB uygulamasıyla Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli oluşturulup güneş ışınımı tahmini yapılmıştır. Güneş ışınımı tahmini yapılırken illerin enlem, boylam ve rakımdan oluşan coğrafik verilerinin etkisinin yanı sıra ortalama sıcaklık, bağıl nem, bulutluluk indeksi ve atmosfer basıncı gibi meteorolojik verilerin etkisi de ele alınmıştır. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında kurulan modelde en iyi tahminleme sonucu  $R^2=0.93$  değeriyle Hakkari ilinde olup sırasıyla İzmir, Kayseri ve Rize illeri takip etmektedir. Her bir il için YSA ile tahmin edilen değerler ile ölçülen değerler arasında uyum olduğu görülmüştür.

## Estimation of Solar Radiation Using Artificial Neural Network for Different Climate Zones in Turkey

#### Article Info

Research article  
Received: 26/07/2023  
Revision: 18/08/2023  
Accepted: 22/08/2023

#### Keywords

Solar radiation  
Solar radiation prediction  
Artificial neural networks  
MATLAB

#### Abstract

The useful energy obtained from solar energy in both thermal and electrical applications depends on the radiation coming to the surface and the amount of this radiation varies according to location, time, climatic conditions, and environmental conditions. Determination correctly way of the amount of radiation is important for the efficient design and operation of solar-powered energy systems. In this study, an Artificial Neural Network (ANN) model was developed for solar radiation estimation by using MATLAB application for four cities (Kayseri, Rize, Hakkari, and İzmir) located in different climatic zones of Turkey. While estimating solar radiation, the effect of the geographical data of the cities consisting of latitude, longitude, and altitude, as well as the effect of meteorological data such as average temperature, relative humidity, cloudiness, and vapor pressure are also discussed. Considering all these factors, the best estimation result in the model established is Hakkari with  $R^2=0.93$ , followed by İzmir, Kayseri, and Rize cities, respectively. For each city, it was seen that there was a correspondence between the values estimated by ANN and the measured values.

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların da tükenmeye yüz tutması sebebiyle oluşan iklim krizi bütün dünya ülkelerinde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu durum temiz, doğal, sonsuz ve sürekli enerji arayışını doğurmuş ve yenilenebilir enerjiye yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kullanımı aynı zamanda karbon emisyonuna olumlu katkı sağladığı için ülkelere tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise güneş enerjisi en çok tercih edildir.

Güneş enerjisinden kolektörler ile sıcak su ve paneller ile elektrik üretilebildiği için kullanım alanı geniş bir yelpazeye sahiptir. Güneş enerjisinin gerek ısı uygulamalarında gerekse elektriksel uygulamalarında elde edilen faydalı enerji ve elektrik miktarı yüzeye gelen güneş ışınımına bağlıdır. Bu ışınımı etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler güneş ışınları geliş açısı, tarih ve bulutluluk indeksi gibi parametrelerdir. Kapalı (bulutlu) havalarda dahi güneş ışınları yeryüzüne ulaştığı için Güneş’ten enerji elde edilebilir. Güneş enerji destekli enerji sistemlerinin etkin bir şekilde

tasarlanması ve çalıştırılması için yüzeye gelen ışınım miktarının doğru bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir.

Güneş ışınımının modellenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu modellemelerin genelinde enlem, boylam ve rakım gibi coğrafik verilerin yanında sıcaklık, nem, atmosfer basıncı ve güneşlenme süresi gibi meteorolojik parametreler incelenmiştir. Buna bağlı olarak gerek günlük gerek de aylık güneş ışınım değerleri tahminlemesi yapılmıştır. Güneş ışınımın Yapay Sinir Ağları (YSA) ile tahmin edilmesinde gerek ülkemizde gerek dünyada farklı lokasyonlar için yapılan bir çok çalışma bulunmaktadır. Şahan [1] çalışmasında Akdeniz bölgesinin doğusundan seçilen Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için aylık ortalama güneşlenme süresi, sıcaklık, bağıl nem ve güneş deklinasyon açısı parametrelerine bağlı olarak yatay yüzeydeki aylık ortalama global güneş ışınımını tahmin etmek için YSA modelini kullanmıştır. YSA modelindeki ağı eğitilmesi Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MGM) veriler alınmıştır. Tahmin modelinde beş farklı Angström-Prescott tipi regresyon modeli geliştirilmiştir. YSA'dan ve Angström-Prescott tipi denklemlerden tahmin edilen veriler ile ölçülen veriler  $R^2$ , RMSE, MAPE ve MSE gibi dört farklı istatistiksel yöntem kullanılarak karşılaştırılmıştır. YSA metodu kullanılarak Burdur ili için güneşlenme değerlerini ise Kılıç ve Kumaş [2] tahmin etmişlerdir ve çalışmada korelasyon katsayısı 0.99746 olarak bulunmuştur. Güleç ve Demirel'in çalışmalarında [3] Kastamonu iline ait 2009-2016 yılları arasında MGM'nin ölçtüğü aylık bulutluluk indeksi, nispi nem, aylık ortalama hava basıncı, sıcaklık, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve aylık toplam güneş ışınım şiddeti değerleri kullanılarak YSA ile aylık toplam güneş ışınımı şiddeti tahmin edilmiştir. Çevik ve ark. [4] çalışmalarında fotovoltaiik sistemlerin yoğun olduğu bir elektrik şebekesinde güneş enerjisinin kesintili ve değişken olması nedeniyle yük planlaması yapılmasını vurgulamıştır. Bu çalışmada sebep sonuç ilişkisi temelli YSA tasarlanarak Trabzon ili için gün öncesi 24 saatlik güneş ışınım tahmini yapılmıştır. Daha doğru tahmin yapmak amacıyla benzer gün seçimi algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar tasarlanan ağı Trabzon gibi yoğun bulutlu ve yağışlı hava şartlarına sahip bir yer için kabul edilebilir hata ile tahmin yaptığını ortaya koymuştur. Türkiye'deki 53 farklı lokasyon için günlük güneş radyasyon tahmini için bir YSA modeli ise Kuncan ve Şahin [5] tarafından geliştirilmiştir. YSA modelinin girdi değerleri olarak yeryüzü sıcaklığı, yükseklik, enlem, boylam ve aylık ışınım değerleri ve çıktı

verisi güneş radyasyonudur. Geliştirilen en iyi modele ait RMSE, MBE ve korelasyon katsayısı sırasıyla  $1.550 \text{ MJ/m}^2$ ,  $-0.172 \text{ MJ/m}^2$  ve 0.972 olarak hesaplanmıştır. Sözen ve ark. [6] çalışmalarında YSA kullanarak Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelini belirlemiştir. Ağda ölçekli eşlenik gradyan (SCG), Pola-Ribiere eşlenik gradyan (CGP) ve Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritmaları ve bir lojistik sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Yapay sinir ağını eğitmek için eğitim (11 istasyon) ve test (6 istasyon) verileri olarak Türkiye geneline yayılmış 17 istasyondan (yani şehirlerden) son 3 yıla (2000–2002) ait meteorolojik veriler kullanılmıştır. Piranometre ile ölçülen güneş ışınım verilerini ve meteorolojik verileri kullanarak Nisan 2017- Mart 2018 tarihleri aralığında Mersin ili için YSA modeli Arslan ve ark. [7] tarafından oluşturulmuş ve günlük toplam global güneş ışınım değerlerini tahmin etme performansı incelenmiştir. En iyi tahmin performansını incelenen modeller içerisinde belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) 0.83 olan Model 37 göstermiştir. Yeşilbudak ve ark. [8] Ankara ili için polinom, Gauss ve Fourier olmak üzere üç farklı ampirik metot kullanarak uzun dönem global güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı verilerini modellemiştir. Belirlilik katsayısı ve karekök ortalama hata istatistiksel test ölçekleri hesaplanan ampirik metotların veri modelleme performansları kıyaslanmıştır.

Oyewola ve ark. [9] çalışmalarında, YSA kullanarak Fiji'deki tüm konumlardaki ortak meteorolojik ve coğrafik verilerden Fiji'nin yeryüzündeki radyasyonunu belirlemiştir. Bu çalışmada veri boyutu, hesaplama hızı ve bu algoritmaların güneş radyasyonu modellemesindeki başarısı nedeniyle öğrenme algoritmaları olarak Levenberg-Marquardt (LM) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) seçilmiştir. YSA, ağı eğitmek için girdi verilerine ihtiyaç duyduğundan, NASA veri tabanından coğrafi veriler ve 36 yılı (1984–2019) kapsayan meteorolojik veriler ağa gönderilmiştir. Ele alınan tüm konumlar, Fiji boyunca eşit olarak dağılmıştır. Böylece Fiji'deki dört bölgeyi ve 14 vilayeti de kapsamaktadır. Ağı eğitmek için kullanılan coğrafik ve meteorolojik veriler; ay, enlem, boylam, rakım, ortalama sıcaklık, bağıl nem, yağış ve güneş radyasyonudur. Farklı öğrenme algoritmaları kullanılarak Tamil Nadu için saatlik ortalama güneş ışınımın YSA ile tahminlemesi Geetha ve ark. [10] tarafından yapılmıştır. Çalışmada üç farklı geri yayılım algoritması kullanılarak iki farklı YSA eğitilmiş ve test edilmiştir. Eğitim için Vellore dışındaki tüm ilçelerin veri kümeleri dikkate alınırken, oluşturulan YSA'nın test edilmesi için Vellore'ye karşılık gelen

veri kümesi dikkate alınmıştır. Tüm ilçelerden elde edilen veri setinin %80'i eğitim için, kalan %20'si ise test için kullanılmıştır. İstatistiksel hata analizine göre, YSA tahmini saatlik güneş radyasyonu seviyeleri çoğu istasyon için ölçülen değerlere yakın çıkmıştır. İzgi ve ark. [11] küçük ölçekli bir PV paneli için farklı zaman aralıklarında güneş enerjisi tahminini ele almıştır. Genel uygulamalarda veri gösterimi, planlama ve tahmin için 10 dakikalık veya 1 saatlik zaman aralıkları kullanılır, ancak bu çalışmada zaman aralığının saatlik, günlük ve aylık gibi zamana göre değiştiği kanıtlanmıştır. Fadare [12] çalışmasında Nijerya'daki güneş enerjisi potansiyelinin tahmini için farklı mimariye sahip standart çok katmanlı, ileri beslemeli, geri yayımlı sinir ağları tasarlamıştır. Al-Shamisi ve ark. [13] çalışmalarında küresel güneş radyasyonunun tahmini için bir sinir ağı tekniğini tanıtmıştır. 1971'den beri radyasyon verilerinin ve güneşlenme süresi bilgilerinin toplandığı Suudi Arabistan krallığının her yerine yayılmış 41 radyasyon veri toplama istasyonu bulunmaktadır. Test verileri, sistemin bilinmeyen konulardaki performansının bir göstergesini vermek için modellemede kullanılmıştır. Sonuçlar, güneş radyasyonunun mekânsal modellemesi için bu yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermiştir.

Tüm bu çalışmalar kapsamında dünyanın her yerinde güneş ışınımı değerinin ölçülebilmesi meteorolojik tahminler, tarımsal çalışmalar ve

mühendislik uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak birçok istasyon bu yönden eksik kalmaktadır. Bu sebeple güneşlenme süresi, sıcaklık, nem gibi daha kolay hesaplanabilir değerler kullanılarak güneş ışınım değerleri hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin farklı iklim kuşaklarında yer alan dört il (Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir) için güneş ışınımının tahmini için MATLAB programı yardımıyla bir YSA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model de hem bir çok coğrafi veri hem bir çok meteorolojik veri girdi olarak kullanılarak modelin doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

## 2.MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada Türkiye'deki farklı iklim kuşaklarında yer alan güneş enerjisi bakımından farklı etkilenen illerin (Kayseri, İzmir, Hakkari, Rize) meteorolojik ve coğrafi verilerinden faydalanılarak güneş ışınım şiddeti tahmin edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Ele alınan meteorolojik veriler günlük olarak güneşlenme süresi, sıcaklık, nem, bulutluluk indeksi, atmosfer basıncı, güneşlenme şiddeti gibi değerler iken coğrafi veriler ise enlem, boylam, rakım gibi değerlerdir. Çalışmada ele alınan şehirlerin iklim kuşağı haritasındaki yerler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Türkiye iklim haritasında seçilen illerin yeri (The location of selected cities in Turkey climate map)

### 2.1. Veriler (Data)

Güneş ışınım tahmin modelleri arasında en sık kullanılan yöntemlerden birisi YSA'dır ve bu yöntemde kullanılan veriler ise genellikle meteorolojik ve coğrafi veriler olmaktadır. Bu çalışmada Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir illerinin güneş ışınımının tahmin edilmesinde 2012 ve 2021 yılları arası ölçülen coğrafi ve meteorolojik veriler

kullanılmıştır. Kullanılan ortalama sıcaklık, bağıl nem, bulutluluk indeksi ve atmosfer basıncı parametreleri Weather Spark sitesinden ve güneşlenme süresi ise MGM'den alınmıştır. Bu çalışma kapsamında güneş ışınım tahmin modeli oluşturmak için her bir yılın her bir ayındaki değerler veri olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan verilerin çok fazla olması nedeniyle

Tablo 2’de her bir il için sadece 10 yıllık değerlerin ortalaması verilmiştir. Tablo 1’de Kayseri, Rize, İzmir ve Hakkari illeri için coğrafik veriler gösterilirken Tablo 2’de ise meteorolojik veriler verilmiştir.

**Tablo 1.** Ele alınan illerin coğrafik verileri (Geographical data of considered cities)

| Şehir   | Enlem     | Boylam    | Rakım(m) |
|---------|-----------|-----------|----------|
| Kayseri | 35.8720°D | 38.5515°K | 1054     |
| Hakkari | 44.0355°D | 37.4070°K | 1950     |
| Rize    | 40.8545°D | 40.9165°K | 6        |
| İzmir   | 27.3760°D | 38.6365°K | 2        |

**Tablo 2.** Ele alınan illerin meteorolojik verileri (<sup>a</sup>Kayseri, <sup>b</sup>Rize, <sup>c</sup>Hakkari, <sup>d</sup>İzmir) (Meteorological data of the considered cities (<sup>a</sup>Kayseri, <sup>b</sup>Rize, <sup>c</sup>Hakkari, <sup>d</sup>İzmir))

| Parametre               | Ocak             | Şubat | Mart  | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim  | Kasım | Aralık |
|-------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|
| Ortalama Sıcaklık [°C]  | 0.2 <sup>a</sup> | 2.7   | 6.6   | 10.9  | 15.5  | 20.7    | 22.7   | 21.9    | 17.4  | 12.0  | 5.0   | 1.6    |
|                         | 9.2 <sup>b</sup> | 8.9   | 10.0  | 13.0  | 17.4  | 21.9    | 24.2   | 24.2    | 21.6  | 17.3  | 13.9  | 11.0   |
|                         | 1.4 <sup>c</sup> | 2.3   | 7.0   | 12.6  | 17.7  | 22.3    | 24.6   | 23.3    | 18.8  | 13.0  | 6.3   | 1.8    |
|                         | 7.4 <sup>d</sup> | 8.6   | 11.5  | 15.3  | 20.6  | 25.1    | 28.2   | 27.8    | 23.6  | 17.6  | 12.7  | 9.2    |
| Nem [%]                 | 0                | 0     | 0     | 0     | 1.4   | 4.2     | 10.6   | 8.8     | 2.2   | 0     | 0     | 0      |
|                         | 0                | 0     | 0     | 0     | 2.4   | 8.0     | 43.2   | 46.9    | 11.9  | 1.4   | 0     | 0      |
|                         | 0                | 0     | 0     | 0     | 0     | 1       | 3      | 2.2     | 0     | 0     | 0     | 0      |
|                         | 0                | 0     | 0     | 0     | 0     | 1.1     | 3.8    | 5.9     | 2.2   | 0     | 0     | 0      |
| Güneşlenme Süresi [dk]  | 583              | 648.5 | 721.5 | 780   | 850.5 | 882     | 868.5  | 817.5   | 750   | 673.5 | 603   | 567    |
|                         | 592.5            | 652.5 | 720   | 792   | 855   | 885     | 870    | 747.5   | 745.5 | 667   | 600   | 580    |
|                         | 595              | 637.5 | 712.5 | 780   | 852   | 892.5   | 873    | 828     | 745.5 | 691   | 607.5 | 582    |
|                         | 592.5            | 652.5 | 720   | 792   | 855   | 885     | 885    | 747.5   | 745.5 | 667.5 | 600   | 580.5  |
| Atmosfer Basıncı [mbar] | 1016             | 1016  | 1015  | 1013  | 1011  | 1011    | 1013   | 1014    | 1017  | 1019  | 1019  | 1019   |
|                         | 1016             | 1019  | 1015  | 1016  | 1014  | 1015    | 1009   | 1011    | 1015  | 1019  | 1020  | 1018   |
|                         | 1018             | 1016  | 1014  | 1015  | 1014  | 1013    | 1010   | 1014    | 1016  | 1021  | 1022  | 1016   |
|                         | 1015             | 1017  | 1013  | 1011  | 1012  | 1011    | 1007   | 1008    | 1013  | 1014  | 1016  | 1013   |
| Bulutluluk indeksi      | 48               | 48.4  | 43.8  | 40.4  | 30.5  | 12.8    | 2.2    | 2.8     | 13.3  | 30.2  | 43.6  | 48     |
|                         | 58.7             | 59.6  | 56.7  | 52    | 40.4  | 23.4    | 9      | 6.2     | 27.9  | 44.1  | 55.4  | 56.8   |
|                         | 40.2             | 40.9  | 41.3  | 40    | 28.3  | 9.5     | 1.6    | 2.3     | 8.5   | 25.8  | 39.6  | 40.8   |
|                         | 44.5             | 41.5  | 40.1  | 35.4  | 27.7  | 10.5    | 1.8    | 2.6     | 14.5  | 27.1  | 39.6  | 44.5   |

## 2.2. Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Güneş Işınım Şiddetinin Tahmini (Estimation of Solar Radiation Using Artificial Neural Network)

Bu çalışmada MATLAB programı kullanılarak Kayseri, Hakkari, Rize ve İzmir illerinin aylık güneş ışınım şiddeti YSA ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Şekil 2’de YSA modeli gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi sıcaklık, atmosfer basıncı, nem, bulutluluk indeksi, güneşlenme süresi, enlem, boylam, rakım, istasyon adı ve aylar olmak üzere 10 tane girdi katmanı bulunmaktadır ve bu katmanlarda ise toplam 636 adet veri ele alınmıştır. Bu verilerin %50’si eğitim, %25’i test ve %25’i doğrulama (validation) olarak kullanılmıştır. Çıktı katmanında ise hedef veri olarak ise yalnızca bir yılın güneş ışınım şiddeti kullanılmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (H_{i,\bar{o}} - H_{i,h})^2}{\sum_{i=1}^n (H_{i,\bar{o}} - \bar{H}_{i,h})^2} \quad (1)$$

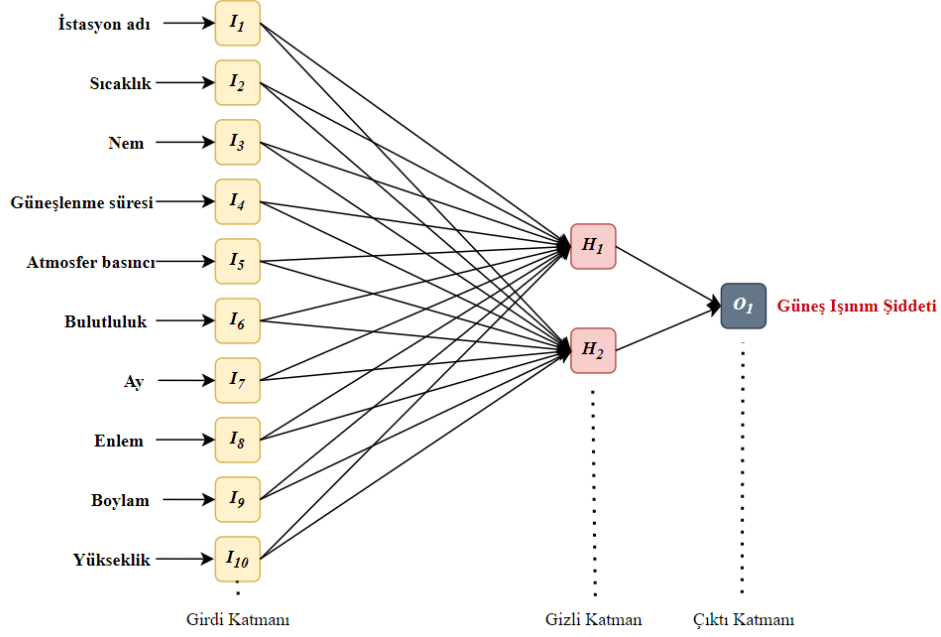
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{i,\bar{o}} - H_{i,h})^2} \quad (MJm^{-2}g^{-1}) \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(H_{i,\bar{o}} - H_{i,h})}{H_{i,\bar{o}}} \right| \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{i,\bar{o}} - H_{i,h})^2 \quad (MJm^{-2}g^{-1}) \quad (4)$$

Burada,  $H_{i,\bar{o}}$  and  $H_{i,h}$  sırasıyla  $i$ . ölçülen ve modellerden hesaplanan güneş ışınım değerlerini göstermektedir [ $MJm^{-2}g^{-1}$ ]. Daha iyi veri modelleme sonuçları için, istatistiksel hata parametrelerinin sıfıra yakın olması gerekir. Modellerin performansını tahmin etmek için genellikle  $R^2$  ifadesi kullanılmaktadır. 0 ile 1 arasında değeri olan  $R^2$  değeri’nin 1’e yakın olması model tahminleri ile gerçek değerleri arasındaki ilişkinin kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir. RMSE ve MSE değerleri sıfıra ne kadar yakınsa mutlak sapma açısından bir modelin

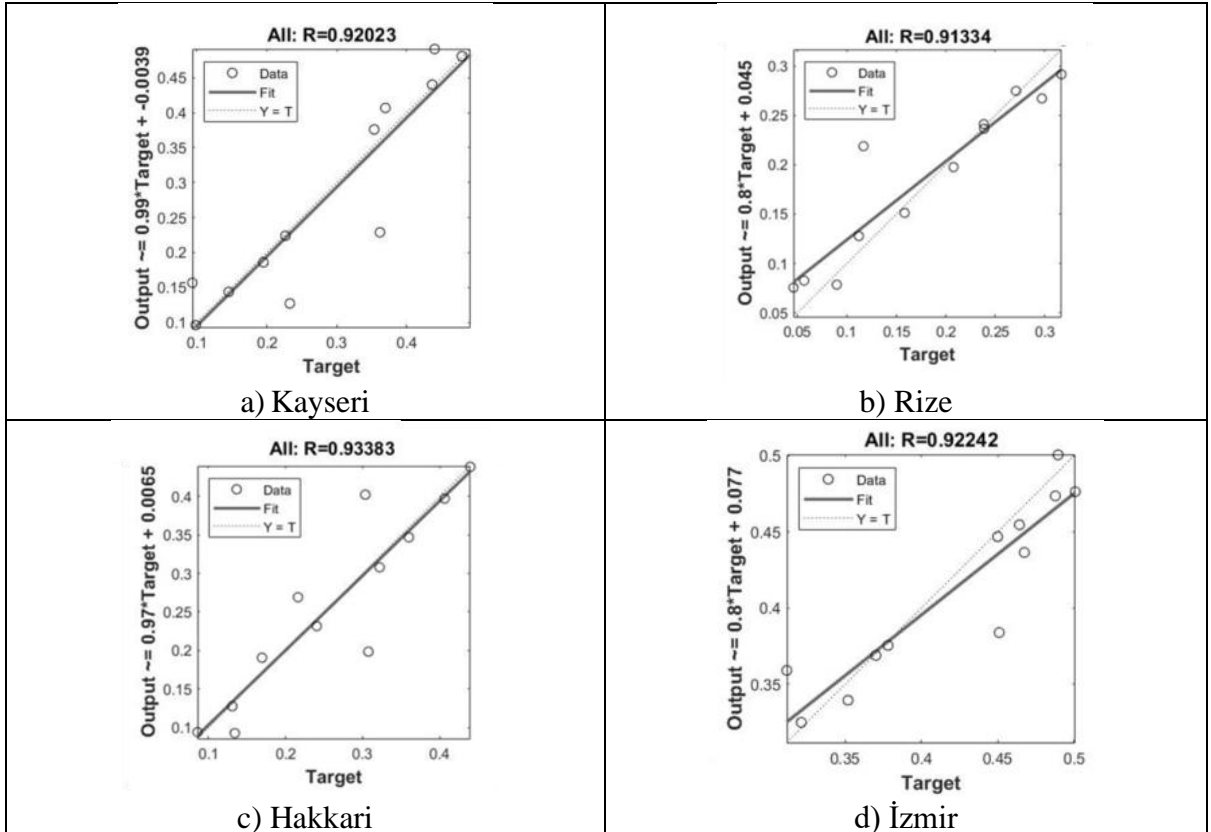
tahminleme yeteneği o kadar iyidir. Modelin performansını etkileyen değer MAPE'nin de sıfıra yakınlığı önemlidir.



**Şekil 2.** Güneş ışınım şiddetinin Yapay Sinir Ağı modeli (Artificial Neural Network model of solar radiation)

Şekil 3'te ele alınan dört il için gerçekleştirilen YSA modelinde elde edilen korelasyon grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerden kullanılan verilerin

tahminleme üzerindeki etkisi rahat bir şekilde gözlemlenip durum değerlendirmesi yapılabilir.



**Şekil 3.** YSA korelasyon grafikleri (ANN correlation graphs)

### 3.BULGULAR (RESULTS)

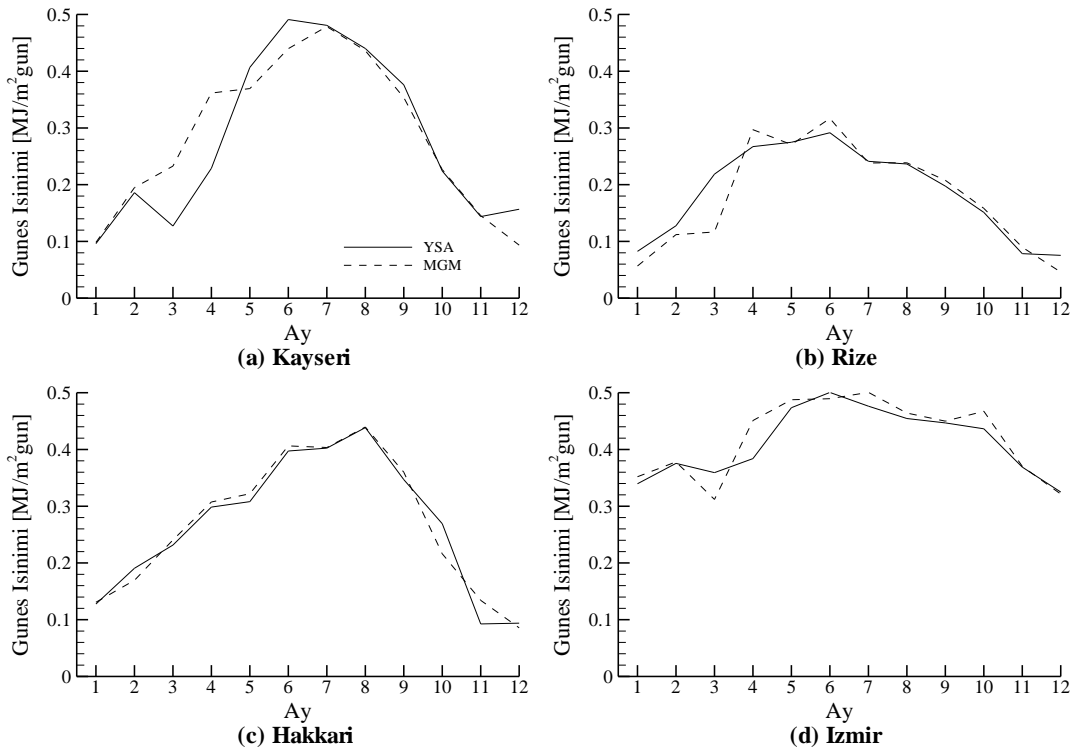
Çalışma kapsamında iklimin tahminleme üzerinde etkisini de dahil etmek için farklı iklim kuşaklarında yer alan Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir illerinin meteorolojik ve coğrafik verilerinden yararlanılarak güneş ışınım değerleri YSA kullanılarak tahmin edilmiştir. Ele alınan dört il için geliştirilen YSA modeli ile MGM'den alınan ölçülen ışınım değerleri kıyaslandığında hesaplanan korelasyon değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Korelasyon sonuçlarına bakıldığında  $R^2$  değerinin ele alınan her il için 0.9'un üzerinde olduğu görülmüştür ki bu da geliştirilen YSA modelinin uygun olduğunu göstermektedir. Ele alınan her il içinde değerin 1'e yakın olması YSA modelinin her koşulda doğruya en yakın sonuç vermesi yönünde eğitilmiş olduğunu göstermektedir. Dört il içerisinde ise  $R^2$  değerinin 1'e en yakın olduğu il Hakkari olarak

görülmektedir. Bulutluluk indeksi ve nem oranının düşük olmasından dolayı tahminlemenin diğer illere göre daha iyi sonuç verdiği düşünülmektedir. Bu bilgi ışığında MSE, RMSE ve MAPE değerleri de tahminlemenin daha iyi olduğunu belirtmektedir. En düşük tahminleme yeteneği ise Rize ili için söz konusudur.

Çalışmada yapılan modelleme ve korelasyon hesaplamaları ışığında Şekil 4'te, kullanılan girdilerden gerçeğe çok yakın tahminleme yapılabildiğini grafiksel olarak göstermektedir. Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir illeri için YSA'nın tahmin ettiği ortalama aylık güneş ışınım değeri ile MGM'nin ölçtüğü ışınım değerleri kıyaslandığında her ikisinin yakınlığı açıkça gözlemlenmektedir. Özellikle Hakkari ilinde çok az bir hata payı ile beklenen değerler tahmin edilmiştir.

**Tablo 4.** Korelasyon değerleri (Correlation values)

|          | Kayseri | Rize    | Hakkari | İzmir   |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| $R^2$    | 0.92023 | 0.91334 | 0.93383 | 0.92242 |
| RMSE     | 0.6759  | 0.654   | 0.6965  | 0.6765  |
| MAPE [%] | 4.93    | 5.86    | 4.67    | 4.95    |
| MSE      | 0.476   | 0.543   | 0.4568  | 0.467   |



**Şekil 4.** Ele alınan her bir il için YSA ile elde edilen güneş ışınım değerlerinin ölçülen gerçek değerlerle karşılaştırılması (Comparison of solar radiation values obtained from ANN with actual measured values for each considered city)

#### 4.SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Kayseri, Rize, Hakkari ve İzmir illerinin meteorolojik ve coğrafik verilerinden yararlanılarak güneş ışınım değerleri YSA kullanılarak tahmin edilmiştir. Farklı iklim kuşaklarından iller ele alınarak iklimin etkisi de çalışmada açıkça gözler önüne serilmiştir. Özellikle iklimin tahminleme üzerinde etkisini de dahil etmek için nem, atmosfer basıncı ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler girdi olarak kullanılmıştır. Tahmin edilen değerlerle ölçülen değerler birbiri ile uyum göstermiştir. Dört farklı iklim kuşağında çalışılması YSA modelini her koşulda doğruya en yakın sonuç vermesi yönünde eğitmiş olup sistemin her il için doğru şekilde çalışmasına zemin hazırlamıştır. Tüm bu veriler ışığında yüksek bir hassasiyet ile çalışılıp doğruluğu test edilmiş ve YSA metodunun güneş ışınım değerlerinin tahmin edilmesinde veya benzer çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılabilceği gözlemlenmiştir. Çalışmadaki tahmin edilen rakamların doğruluğu gelecek yıllarda yapılacak çalışmalar için kılavuz niteliği taşımaktadır.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Sevde ERTÜRK:** Verilerin analiz edilmesi, YSA ile modelleme ve makalenin yazımına katkı sağlama.

Analysis of the data, modelling by using ANN, and She conducted the experiments, analyzed the results and contributing to the writing of the article.

**Hakan KARA:** Verileri toplama ve analiz etme.

Collecting and analysis of the data.

**Ceyhan AKKUŞ:** Verileri toplama ve analiz etme.

Collecting and analysis of the data.

**Gamze GENÇ:** Verilerin analiz edilmesi, yapay sinir ağları ile modellenmesi ve makalenin yazımına katkı sağlama.

Analysis of the data, modelling by using ANN, and She conducted the experiments, analyzed the results and contributing to the writing of the article.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Şahan M., Yapay Sinir Ağları ve Angström-Prescott Denklemleri Kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş İçin Global Güneş Radyasyonu Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 16 (2021) 368-384.
- [2] Kılıç B., Kumaş K., Burdur İli Güneşlenme Değerlerinin Yapay Sinir Ağları Metodu İle Tahmini. Teknik Bilimler Dergisi, 6 (2016).
- [3] Güleç H.G., Demirel H., Meteorolojik Veriler Kullanılarak Kastamonu İli Güneşlenme Şiddetinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. Technological Applied Sciences, 12 (2017) 114-121.
- [4] Çevik S., Cakmak R., Altas İ., A Day Ahead Hourly Solar Radiation Forecasting by Artificial Neural Networks: A Case Study for Trabzon Province. In 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), (2017) 1-6.
- [5] Kuncan F., and Şahin M., Yapay Sinir Ağı ve Uydu Dataları Kullanılarak Güneş Radyasyonunun Tahmini, International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), (2017) 1-10.
- [6] Sözen A., Arcaklıoğlu E., Özalp M., Kanit E.G., Use of Artificial Neural Networks for Mapping of Solar Potential in Turkey. Applied Energy, 77 (2004) 273-286.
- [7] Arslan G., Bayhan B., Yaman K., Mersin / Türkiye için Ölçülen Global Güneş Işınımının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi ve Yaygın Işınım Modelleri ile Karşılaştırılması. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 7 (2019) 80-96.
- [8] Yeşilbudak M., Çolak M., Bayındır R., Ankara İlinin Uzun Dönem Global Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi ve Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi ve Eğri Uydurma Metotlarıyla Modellenmesi. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 6 (2018) 189-203.
- [9] Oyewola O.M., Ismail O.S., Olasinde M.O., ve Ajide O.O., Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı Kullanılarak Fiji'deki Güneş Enerjisi Potansiyelinin Haritalanması. Heliyon, 8 (2022).
- [10] Geetha A., Santhakumar J., Sundaram, K.M., Usha S., Theentral T.T., Boopathi, C.S., Sathyamurthy R., Prediction of hourly solar



radiation in Tamil Nadu using ANN model with different learning algorithms. *Energy Reports*, 8, (2022) 664-671.

[11] Izgi E., Öztopal A., Yerli B., Kaymak M.K., Şahin, A.D., Short–Midterm Solar Power Prediction by Using Artificial Neural Networks. *Solar Energy*, 86 (2012) 725-733.

[12] Fadare D.A., Modelling of Solar Energy Potential in Nigeria Using an Artificial Neural

Network Model. *Applied Energy*, 86 (2009) 1410-1422.

[13] Al-Shamisi M., Assi A., Hejase H., Estimation of Global Solar Radiation Using Artificial Neural Networks in Abu Dhabi City, United Arab Emirates. *Journal of Solar Energy Engineering*, 136 (2014).