



Araştırma Makalesi

Yapay Sinir Ağları ve Angström-Prescott Denklemleri Kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş İçin Global Güneş Radyasyonu Tahmini

Muhittin ŞAHAN^{*1}

¹*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 80000, Osmaniye, Türkiye*

*yazılan yazar e-posta: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

(Alınış: 16.06.2021, Kabul: 05.07.2021, Yayınlanma: 25.11.2021)

Öz: Bu çalışmada, Akdeniz bölgesinin doğusundan seçilen Gaziantep (37°.06K, 37°.35D, 750m), Antakya (36°.15K, 36°.08D, 100m) ve Kahramanmaraş (37°.35K, 36°.55D, 572m) bölgeleri için yatay bir yüzeydeki aylık olarak ortalama global güneş ışımasını tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) modeli ve güneşlenme süresine bağlı Angström-Prescott tipi eşitlikler kullanılmıştır. Bu amaçla, ölçülen veriler kullanılarak YSA modeli ve güneşlenme saatlerine ilişkin Angström-Prescott tipi denklemler uygulanmıştır. İlk olarak, modelleme için en iyi YSA modeli için transfer fonksiyonu olarak Hyperbolic Tangent Sigmoidli (tansig) iki gizli katmanlı ve lineer transfer fonksiyonu kullanan bir çıkış katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı bir modeli kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt geri yayılım eğitim algoritması (trainlm) YSA modelinde eğitim algoritması olarak seçilmiştir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan on beş yıllık (1993-2007) ölçülmüş meteorolojik veriler ağı eğitilmesi (on bir yıl) ve test edilmesi (dört yıl) için kullanılmıştır. İkinci olarak, aylık ortalama güneşlenme süresi (saat), aylık ortalama sıcaklık (°C), bağıl nem ve güneş deklinasyon açısı (δ) gibi parametreler kullanılarak aylık olarak yıllık global güneş radyasyonunun tahmin edilmesi için beş farklı Angström-Prescott tipi regresyon modeli (M1-5) de 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 modeli için R^2 , RMSE, MAPE ve MSE istatistiksel göstergeleri sırasıyla Gaziantep için 0.990, 0.586, 4.105 ve 0.343, Antakya için 0.997, 0.287, 2.584, ve 0.083 ve Kahramanmaraş için 0.997, 0.414, 2.445 ve 0.171 olarak bulunmuştur. Beş farklı Angström-Prescott modeli (M1-M5) modeli için R^2 , RMSE ve MSE performans göstergelerine göre, Gaziantep ve Kahramanmaraş için M3 modeli, Antakya için ise M5 modeli en iyi performansı göstermiştir. İstatistiksel hata sonuçlarından görülebileceği gibi, ANN ve Angström-Prescott tipi modellerden tahmini global güneş radyasyon verileri, ölçülen meteorolojik değerlerle iyi bir uyum içindedir. Geliştirilen YSA ve Angström-Prescott tip modellerin diğer yerleşim yerleri için de tahmin etmede kullanılabileceğini önermekteyiz.

Anahtar kelimeler: Global güneş ışıması, Güneş ışıma tahmin modelleri, Yapay sinir ağları, Güneşlenme süresi, Açıklık indeksi, Angström-Prescott eşitliği, Korelasyon modelleri

Estimation of Solar Radiation for Gaziantep, Antakya and Kahramanmaraş Using Artificial Neural Network and Angström-Prescott Equations

Abstract: In this study, we estimated monthly average global solar radiation on a horizontal surface for selected regions of Gaziantep (37°.06N, 37°.35E, 750m), Antakya (36°.15N, 36°.08E, 100m), and Kahramanmaraş (37°.35N, 36°.55E, 572m) from the east of the Mediterranean region. For this purpose, an artificial neural network (ANN) model and Angström-Prescott type equations related to sunshine hours were applied using the data measured. Firstly, a multi-layer feed-forward back-propagation model containing two hidden layers with tangent sigmoid (tansig) as the transfer function and one output layer with utilized a linear transfer function for the best ANN model was used for the modelling. Levenberg-Marquardt back propagation training algorithm (trainlm) was chosen as the training algorithm in the ANN model. A period of fifteen years (1993-2007) meteorological data taken from the Turkish State Meteorological Service were used for training (eleven years) and testing (four years) the network. Secondly, five Angström-Prescott type regression models (M1-5) were also used for estimating the monthly annual global solar radiation using parameters such as monthly average sunshine duration (hour), monthly average temperature (°C), relative humidity and solar declination angle (δ). Estimated data from ANN and Angström-Prescott type equations were compared with measured data using four different statistical methods such as R^2 , RMSE, MAPE and MSE. For the ANN model, R^2 , RMSE, MAPE and MSE statically indicators were found to be 0.990, 0.586, 4.105 and 0.343 for Gaziantep, 0.997, 0.287, 2.584, and 0.083 for Antakya, and 0.997, 0.414, 2.445 and 0.171 for Kahramanmaraş, respectively. For five different Angström-Prescott models (M1-M5) models, M3 model is the best performance for Gaziantep and Kahramanmaraş, while M5 model is the best performing for Antakya, according R^2 , RMSE and MSE performance indicators. As can be seen from the statistical error results, the estimated global solar radiation data from both ANN and Angström-Prescott type models are in reasonable agreement with the actual meteorological values. We suggest that the developed both ANN and Angström-Prescott type models can also be used to predict solar radiation another location.

Key words: Global solar radiation, Solar radiation estimation models, Artificial neural network, Sunshine hours, Clearness index, Angström-Prescott equation, Correlation models,

1. Giriş

Temiz enerji ve temiz su yeryüzünde yaşayan tüm canlılar için en temel iki ana ihtiyaç kaynağıdır ve birbiriyle yakından ilişkilidir. Temiz enerji kaynağı olarak güneş enerjisi en eski bir enerji kaynağıdır ve neredeyse tüm fosil ve yenilenebilir enerji türleri için bir temel unsurdur. Güneş enerjisinin üretilmesi ve pek çok alanda kullanılması son zamanlarda çok yaygınlaşmıştır. Enerji üretimi için tasarlanan malzemeleri tasarlarlarken doğayı kirleten hidrokarbon bazlı enerjiye olan bağımlılığını azaltmak gerekmektedir. Bu nedenle, güneşten enerji elde etme ve bu enerjiyi depolayabilme tekniklerinin tasarlanması ve geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bugün güneş enerjisinden en iyi şekilde faydalanabilmek için pek çok ülke bu alanda büyük yatırımlar yapmaktadırlar [1,2]. Türkiye’de de uzun yıllardır ekonomik ve sosyal kalkınmanın yanı sıra ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesi için güneş enerjisinden yararlanma amacıyla özel ve kamu kurumlarında önemli çalışmalar yapılmaktadır [3-5].

Dünyada pek çok bölgede, coğrafi konuma bağlı olarak güneş radyasyonunun hassas bir şekilde ölçülmesi, meteorolojik tahminlerin, tarımsal çalışmaların, doğa bilimlerinin ve pek çok mühendislik alanlarındaki uygulamalarının tasarımı ve incelenmesi için oldukça önemlidir. Ne yazık ki, gelişmiş ülkeler dışındaki, global güneş radyasyonunu

günlük olarak ölçen çok az sayıda meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Global güneş radyasyonun ölçülemediği istasyonlar için genel olarak günlük güneşlenme süresi gibi ölçülen diğer meteorolojik parametrelerden global güneş radyasyonunu tahmin etmek için yapay sinir ağları ya da teorik ve ampirik formüller kullanılarak pek çok korelasyon modelleri geliştirilmiştir. Bunun için güneşlenme süresi, atmosfer dışı ışınım, sıcaklık, bağıl nem gibi daha kolay elde edilebilen meteorolojik parametreler kullanılarak aylık ortalama güneş radyasyonu miktarlarını tahmin edilmeye çalışılmıştır [1, 2, 5-15]. Bu çalışmada, aşağıda detaylı olarak açıklandığı gibi meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları ve ampirik formüller ile bir birine yakın üç farklı bölge için aylık olarak global güneş enerjisinin tahmini için modeller geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından oldukça iyi durumda olan Akdeniz iklim bölgesinin doğusunda yer alan Gaziantep (Boy=37°.06K, Enl=37°.35D, 750m), Antakya (Boy=36°.15K, Enl=36°.08D, 100m) ve Kahramanmaraş (Boy=37°.35K, Enl=36°.55D, 572m) yerleşim yerleri için aylık olarak ortalama güneş ışınım şiddetini tahmin edilmiştir. Güneş ışınım şiddetini tahmin edilmesinde Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan 1993-2007 (15 yıl) yılları arasında bulunan bazı meteorolojik ve coğrafik veriler kullanılmıştır. Bu veriler, günlük olarak güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık, bağıl nem, bulutluluk, buhar basıncı, ölçülmüş toplam global güneşlenme şiddeti gibi meteorolojik veriler ile enlem, boylam, yükseklik gibi coğrafik verileri içermektedir.

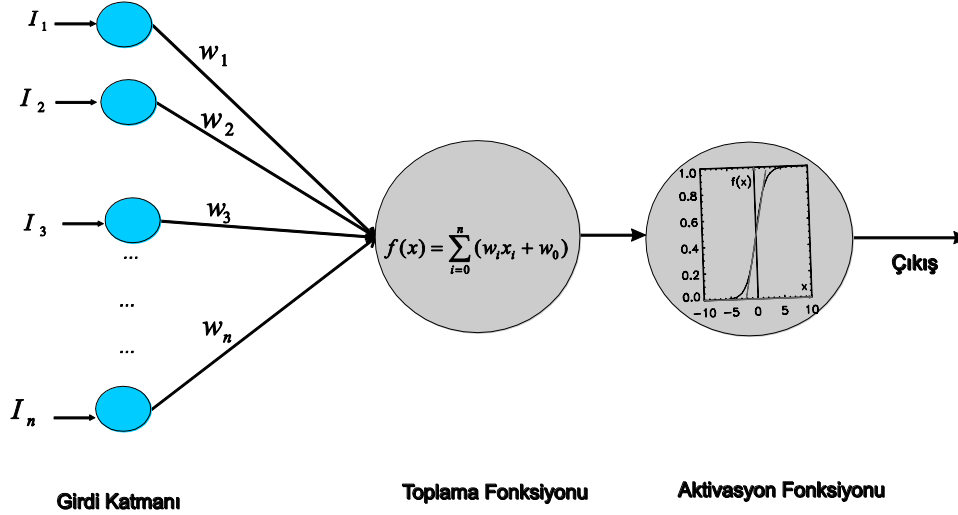
Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için aylık olarak yıllık güneş ışınım şiddeti tahmin edilmesinde, yapay sinir ağları metodu (YSA) [5,16] ile doğrusal regresyon ifadesi olarak ifade edilen Angström-PreScott ampirik formüller kullanan modeller [6,7] geliştirilmiştir. Her iki yöntem de, güneş ışınım şiddetinin tahmin edilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için güneş ışınım şiddetini tahmin etmek için en uygun modeller olan YSA ve Angström tipi modeller tespiti ve bu modellerden elde edilen sonuçlar kısaca verilecektir.

2.1 Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli

Yapay zeka yöntemlerinden biri olan Yapay Sinir Ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerinin özelliklerine dayanan bir hesaplama aracıdır ve çok karmaşık problemleri bilgisayar yardımıyla çözmek amacıyla geliştirilen, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan çok sayıda işlem elemanlarından oluşan (Şekil 1) ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan bir veri işleme tekniğidir [5,17]. İnsan beyni gibi, öğrenme hatırlama ve genelleme yeteneğine sahip olan YSA metotlarının en önemli avantajları, enlem, boylam, sıcaklık, nem, güneşlenme süresi, basınç gibi mevcut olan sayısal veriler (Şekil 2) arasındaki tam olarak tanımlanamayan ilişkileri belirlemek ve doğrusal olmayan problem çözümlerini sağlamak amacıyla, bunlara ait tahmin modelleri geliştirme yeteneğine sahiptirler [5,18].

YSA'daki mimari yapı nöronlar arasındaki bağlantıları tanımlar ve girdi katmanı (I_n), bir ya da daha fazla gizli (ara) katmanı ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi gizli katman, toplama ve aktivasyon (etkinlik) fonksiyonlarından oluşur ve aldığı bilgileri sinir hücresine iletirler [19].

Ağırlıklar (w_n), yapay sinir hücresine gelen bilgilerin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Toplama fonksiyonu, girdi katmanlarından hücreye gelen ve ağırlıkları belirlenen net girdiyi hesaplar. Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen net girdiyi işleyerek çıktığı belirler. Çıktı elemanı ise aktivasyon fonksiyonundan çıkan sonucun dış dünyaya gönderildiği yerdir. Çıkış katmanındaki nöron sayısı, ağa giren her verinin çıkış sayısı kadardır [3-5,17].



Şekil 1. Yapay sinir hücresinin genel giriş-çıkış yapısı [5,18].

Her bir tabakayı birbirlerine bağlayan ileri yayımlı (Feedforward Propagation) ya da geriye yayımlı (Feedback propagation) olmak üzere iki tane öğrenme (training) algoritma vardır. En iyi öğrenme algoritmaların başında Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanan geri yayımlı YSA olduğu görülmektedir. Denetimli öğrenmeyi kullanan geri yayımlı algoritma, katmanlı ileri yayımlı YSA'larda kullanılır. Bu, yapay nöronların katmanlar halinde organize edildiği ve sinyallerini ileri gönderildiği ve daha sonra hataların tekrar geriye doğru yayıldığı anlamına gelmesidir. Nöronlar ağıın girdi katmanındaki girdileri alır ve çıktı katmanına çıktı olarak gönderirler. Geri yayımlı algoritmasının amacı, YSA eğitim verilerini öğrenene kadar hataları azaltmaktır [3, 15, 19].

2.2 Angström tipi eşitlikler modelleri

Pek çok bölge için yatay bir yüzey üzerinde ölçülmüş güneş radyasyonu verilerinin eksikliğinden dolayı o bölgeye ait mevcut olan meteorolojik parametreleri (güneşlenme süresi, sıcaklık, bağıl nem, enlem, boylam gibi) kullanarak global güneş radyasyonunu tahmin etmek için literatürde çalışılmış pek çok lineer modeller geliştirilmiştir [6-12,20]. Literatürde, başlangıçta lineer regresyon ifadesi olarak ifade edilen Angström-PreScott-Page eşitlikleri kullanan modeller geliştirilmiştir [6, 7, 21]. Güneşlenme süresine bağlı eşitlikler için genel formülü,

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

ile verilmektedir. Burada H/H_0 her hangi bir yatay yüzeye gelen günlük global güneş ışınımının (H) atmosfer dışı (extraterrestrial) ışınımına (H_0) oranıdır. Denklem 1'de görüldüğü gibi H/H_0 değeri saat cinsinden ölçülen güneşlenme süresine (S) ve olası

maksimum gün uzunluğuna (S_0) bağlıdır. a ve b değerleri Angström katsayıları katsayılarıdır. Atmosfer dışı güneş ışınımı (H_0);

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360D}{365}\right) \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır [22-24]. Burada I_{sc} güneş sabiti ($1367W/m^2$), D, 1 Ocak 31 Aralık arasındaki yılın günleridir. ϕ ölçüm yapılan yerin enlemi ($^\circ$), δ deklinasyon açısı ($^\circ$), ω_s güneşin batış açısı ($^\circ$)'dır. δ ve ω_s açı değerleri sırasıyla,

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + D) \right] \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\phi)] \quad (4)$$

denklemleriyle hesaplanır. ω_s açısı kullanılarak aylık ortalama günlük maksimum gün uzunluğu (S_0) (saat/gün) ise

$$S_0 = \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\phi)] = \frac{2}{15} \omega_s \quad (5)$$

ile hesaplanabilir [22-25]. H/H_0 oranı açıklık indeksi ($KT=H/H_0$) olarak da bilinmektedir. Birçok araştırmacı açıklık indeksini) ampirik korelasyonlar geliştirmek için kullanmıştır [1, 6-12, 15].

2.3 İstatistiksel değerlendirme araçları

Literatürde, YSA ve teorik/ampirik gibi Angström tipi modellerden hesaplanan güneş radyasyon sonuçlarının belirli yöntemler kullanılarak ölçülen verilerle kıyaslanması ve doğruluğunun test edilmesi amacıyla değişik test yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, farklı modelleri değerlendirmek için Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficient: R^2), Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Error: RMSE), Mutlak Hata Oranları Ortalaması (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ve Hata Kareleri Ortalaması (Mean Square Error: MSE) gibi dört farklı istatistiksel hata yöntemi kullanılmıştır [26]. Bu nicel göstergeler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (H_{i,\delta} - H_{i,h})^2}{\sum_{i=1}^n (H_{i,\delta} - \bar{H}_{i,\delta})^2} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{i,\delta} - H_{i,h})^2} \quad (MJm^{-2}g^{-1}) \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(H_{i,\delta} - H_{i,h})}{H_{i,\delta}} \right| \times 100 \quad (\%) \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{i,\delta} - H_{i,h})^2 \quad (MJm^{-2}g^{-1}) \quad (9)$$

Burada, $H_{i,\delta}$ and $H_{i,h}$ sırasıyla i.inci ölçülen ve modellerden hesaplanan güneş radyasyon değerlerini göstermektedir ($MJm^{-2}g^{-1}$). Daha iyi veri modelleme sonuçları için, istatistiksel hata parametreleri sıfıra yakın olması gerekir. R^2 göstergesi genellikle modellerin performansını tahmin etmek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. R^2 0

ile 1 arasında değişmekte ve bu değer 1'e yaklaşması model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir. RMSE değeri ne kadar düşükse (yani sıfıra yaklaşması) mutlak sapması açısından bir modelin öngörü yeteneği o kadar iyidir. MAPE (%) göstergesi sıfıra ne kadar yakınsa performans göstergesi o kadar yüksek olur. MSE değeri sıfıra ne kadar yaklaşırsa modelin tahmin kabiliyetinin o kadar iyi artması anlamına gelmektedir [5, 26].

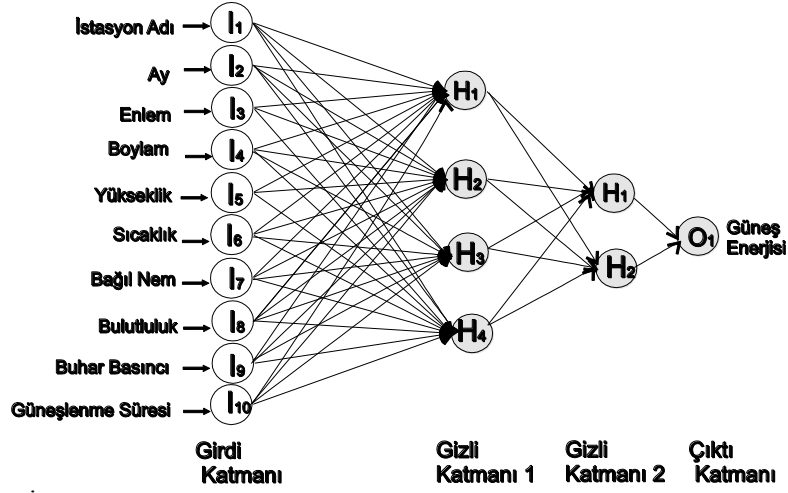
3. Bulgular

3.1 Yapay sinir ağı kullanılarak güneş enerjisinin tahmin edilmesi

Bu çalışmada, YSA modeli için MATLAB ortamında “nntool” komutu kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için aylık ortalama global güneş ışınım şiddet verilerini tahmin edilmeye çalışılmıştır. MGM'den alınan 15 yıllık (1993-2007) meteorolojik ve coğrafik verilerin %74'ü eğitim, %13'ü doğrulama (validation) ve %13'i ise test için kullanılmıştır. Bu verilerden doğrulama verisi olarak toplam dört yıllık (1993, 2003, 2004, 2005) ölçülen global güneş enerji verisi kullanılmıştır. Ağda, on farklı coğrafik ve meteorolojik parametre girdi olarak kullanılırken sadece bir çıktı (toplam global güneşlenme şiddeti) parametresi tahmin edilmiştir (Şekil 2). Ağın eğitilmesinde pek çok model denenmiş ve R^2 , RMSE, MSE, ve MAPE istatistiksel hata sonuçlarına bakılarak en uygun model bulmaya çalışılmıştır. İleri beslemeli geri yayımlı ağ (Feed Forward Backpropagation neural network) “trainlm” eğitim algoritması kullanılarak birinci gizli katmandaki (H_1) nöron sayılarını ($HN1$) ikişer ikişer artırarak 2-50 arasında ve ikinci gizli katmandaki nöron ($HN2$) sayılarını da birer birer artırılıp 1-5 arasında aşamalı olarak değiştirilerek farklı modeller oluşturulmuş ve farklı sayıda nöronlar için ağ eğitilmiş ve test edilmiştir. Her model için R^2 , RMSE, MSE, ve MAPE istatistiksel hata sonuçlarına bakılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan on tane farklı girdi (I_{1-10}) katmandan, iki tane gizli katmandan (H_{1-4} ve H_{1-2}) ve bir tane de çıktı (O_1) katmandan oluşan YSA'nın mimari yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Yerleşim yerlerine ait istasyon adları, yılın ayları, yerleşim yerlerinin enlem, boylam, yükseklik, ortalama sıcaklık, bağıl nem, bulutluluk, buhar basıncı ve güneşlenme süreleri girdi katmanı ile ağa sunulmakta ve gizli katmanlardaki fonksiyonlar ile ağ eğitildikten sonra toplam global güneşlenme şiddeti sonuçları çıktı katmanında elde edilmektedir.

YSA'nın mimari yapısı, eğitim “training” veya öğrenme “learning” algoritmaları ve aktivasyon fonksiyonları ile karakterize edilmektedir. Bu çalışmada, YSA'nın eğitilmesinde kullanılan eğitim “training” parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Eğitim rastgele ağırlıklarla başlar ve hatanın minimum düzeyde olacağı şekilde ayarlamaktır.

Yapılan YSA modelleme sonucunda modellerinin iyi çalışıp çalışmadığı, ölçülen gerçek değerler ile YSA modelinin oluşturduğu çıktı değerleri arasındaki sapma miktarına bağlıdır [5]. Yukarıda belirtildiği gibi en uygun YSA'nın mimari yapısını belirlemek için R^2 , RMSE, MSE ve MAPE gibi dört farklı istatistiksel yöntemleri kullanılmış ve hataların karşılaştırılarak en uygun model bulunmaya çalışılmıştır. Bu istatistiksel değerlere göre en uygun R^2 (% 99.01), RMSE (0.6759 MJ/m²), MSE (0.4568 MJ/m²) ve MAPE (% 4.67) değerlerine sahip iki gizli katmanlı en iyi modelin birinci gizli katmanda dört nöron ve ikinci gizli katmanda iki nöron olan mimari yapının (10-4-2-1) olduğu görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 2. İki gizli katmanda on nöron için kullanılan Yapay Sinir Ağı Mimarisi [5, 19].

Tablo 1. YSA'da kullanılan eğitim "training" parametreleri

net.trainParam.showWindow	true	net.trainParam.mu_max	1.00E+08
net.trainParam.showCommandLine	false	net.trainParam.time	1000
net.trainParam.max_fail	6	net.trainparam.show	50
net.trainParam.min_grad	1.00E-07	net.trainparam.lr	1.00E-03
net.trainParam.mu	1.00E-03	net.trainparam.epochs	1.00E+03
net.trainParam.mu_dec	0.6	net.trainParam.time	1.00E+03
net.trainParam.mu_inc	10		

Şekil 3'te çok katmanlı ileri yayımlı Levenberg Marquardt algoritmasını (trainlm) kullanan yapay sinir ağ yapısının kurulan eğitim algoritması verilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi girdi katmanında 10 tane girdi parametresi ağa sunulmuş ve iki tane gizli katman kullanılarak ağ eğitilmiş ve bir tane çıktı elde edilmiştir. Gizli katmanların her ikisinde de hiperbolik tanjant sigmoid (tansig) aktivasyon fonksiyonu ve her gizli katmanda sırasıyla 4 ve 2 tane gizli nöronlar kullanılmıştır. Çıkış katmanında lineer (purelin) fonksiyonu kullanılmıştır. YSA'nın performansı mse (Mean Square Error) kullanılarak test edilmiştir. Bu modelin performans çıktısına göre eğitilen ve test edilen ağ 36 iterasyonda (epoch) gradyanti 7.8732, performansı 0.487, Mu değeri 0.0103 ve doğrulama kontrolü 6 ile en iyi doğrulama performansına ulaşmış ve iyi bir performans elde etmiştir. Verilerin doğruluğunun test edilmesinde kullanılan regrasyon değerleri eğitilen ($R=0.99342$), validation ($R=0.99439$) ve test edilen ($R=0.98787$) veriler için R değerleri ortalama >0.99 olduğu için makul derecede iyi olduğu görülmüştür [5].

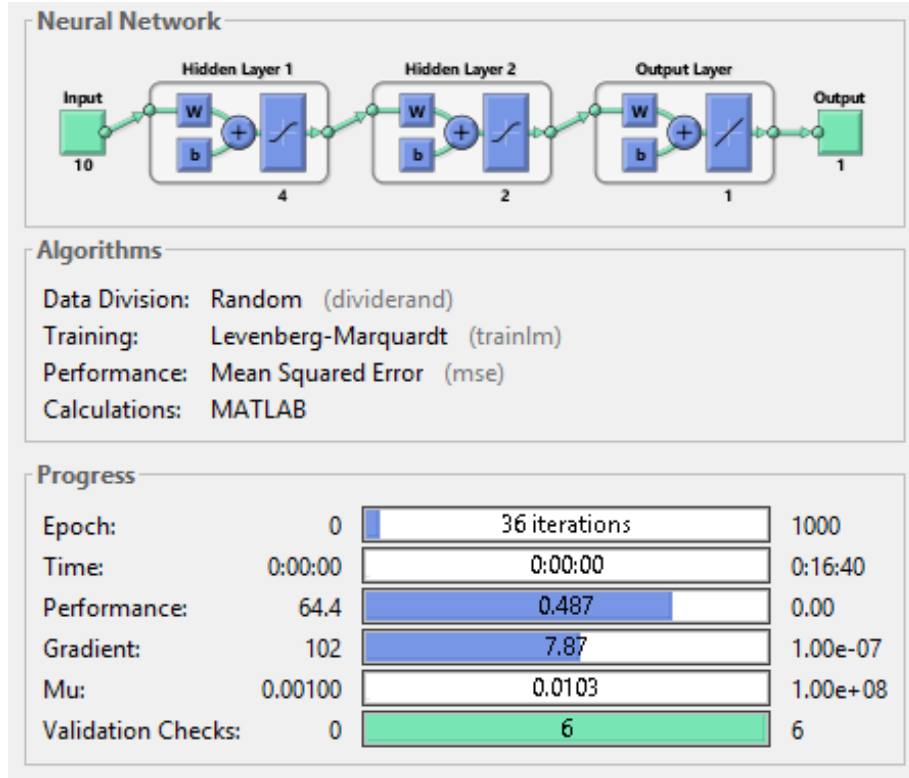
Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için karar verilen en uygun YSA mimari yapısı (**10-4-2-1**) kullanılarak aylık olarak yıllık güneş ışınım şiddeti tahmin edilmiştir. Verilerin eğitimi sonucu modelden hesaplanan ve MGM'den alınan ölçülmüş gerçek güneş enerjisi değerler ile karşılaştırılması yapılmış ve sonuçlar Şekil 4 ile Şekil 5'te verilmiştir. Modelden hesaplanan ve ölçülen toplam dört yıllık (1993, 2003, 2004, 2005) global güneş enerjisi değerleri arasındaki korelasyon (R^2) ilişkisine bakılmış ve grafiklerin sol üst köşelerinde verilmiştir (Şekil 4). Şekil 4 incelendiğinde, YSA modeli ile hesaplanan ve ölçülmüş değer arasındaki korelasyon (R^2) değerleri (ve regresyon eşitlikleri) sırasıyla Gaziantep için $R^2=0.984$ ($H_{YSA}=1.02H_{MGM}+0.01$), Antakya için $R^2=0.992$ ($H_{YSA}=0.99H_{MGM}+0.16$) ve Kahramanmaraş için $R^2=0.993$ ($H_{YSA}=1.01H_{MGM}+0.011$) olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre YSA modelinden hesaplanan değerlerin ölçülen gerçek değerler arasında oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 5'te Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için YSA modeli ile hesaplanan (H_{YSA}) ve test amacıyla ölçülen (H_{MGM}) dört yıllık (1993, 2003, 2004, 2005) verilerin aylara göre değişimleri $MJm^{-2}g^{-1}$ biriminde verilmiştir. H_{MGM} değerler içi dolu çemberle ve mavi renkle gösterilirken H_{YSA} değerler ise içi boş çemberle ve kırmızı renkle gösterilmiştir.

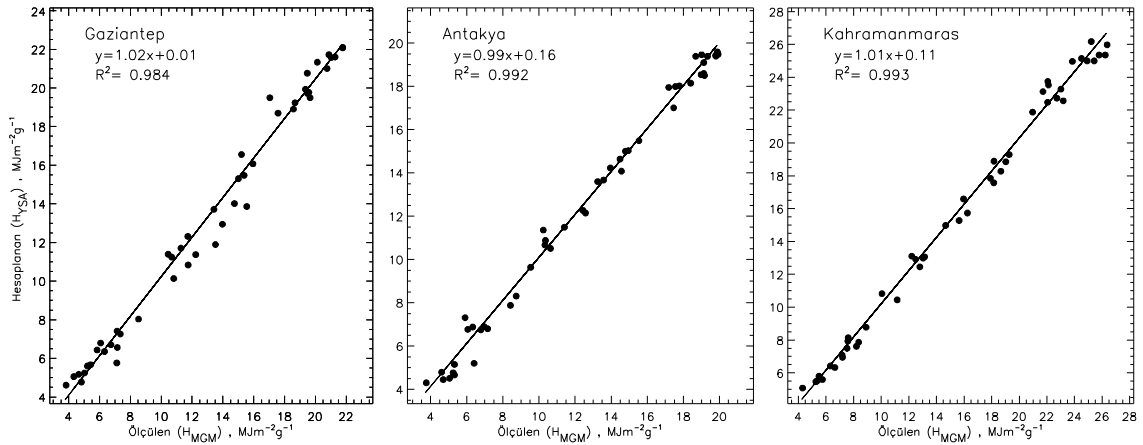
Şekil 5'te verilen H_{YSA} ve H_{MGM} verilerinin dört yıllık (1993, 2003, 2004, 2005) global güneş enerjisi verilerinin ortalamaları alınmış ve yıllık olarak aylara göre ortalamaları değişimleri elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde hesaplanan ve ölçülen değer arasında Gaziantep bölgesi için $R^2=0.994$, Antakya bölgesi için $R^2=0.997$ ve Kahramanmaraş bölgesi için $R^2=0.998$ olduğu görülmüş ve bu değerlere göre ölçülen ve hesaplanan değerlerin bir birleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Tablo 2'de verilen hesaplanmış ve ölçülmüş veriler kullanılarak aylara göre değişim grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi, Şekil 6'da her üç bölge için ölçülen (H_{MGM}) değerler içi dolu çemberle ve mavi renkle gösterilirken, YSA modelinden hesaplanan (H_{YSA}) değerler içi boş çemberle ve kırmızı renkle gösterilmiştir. Böylece, Tablo 2'den ve Şekil 6'dan görüldüğü gibi Levenberg Marquardt algoritmalı (trainlm) iki gizli katmanlı mimari yapıyla (10-4-2-1) hesaplanmış değerlerin ölçülen değerlere oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

3.2 Angström- Prescott tipi lineer eşitlikler kullanılarak güneş enerjisinin tahmin edilesi

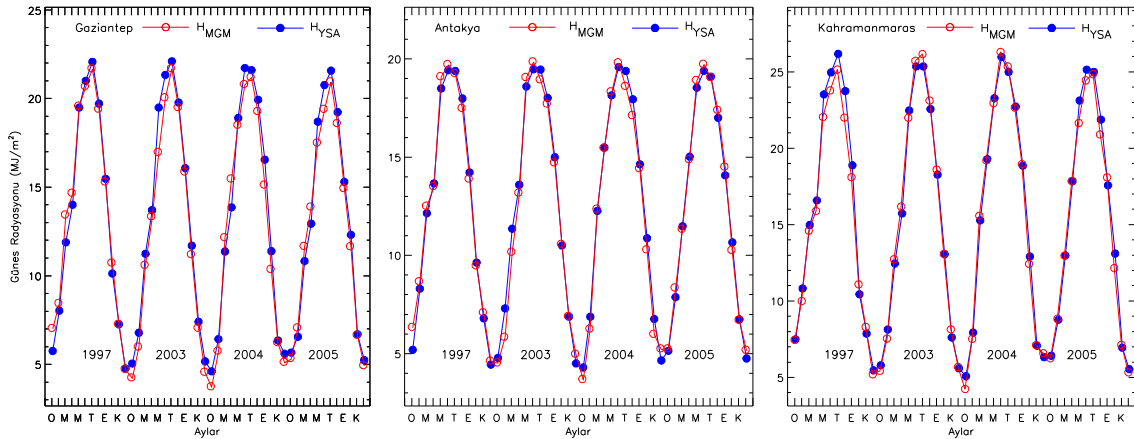
Angström-PreScott-Page eşitliği (Denklem 1) kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için aylık olarak yıllık güneş ışınım şiddetleri tahmin etmek için bir dizi model (M1-M5) geliştirilmiştir. Modellerin geliştirilmesinde MGM'den alınan 1993-2007 (15 yıl) yılları arasındaki meteorolojik ve coğrafik verilerin aylık ortalama değerleri kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla ortalama güneşlenme süresine (S) ve gün uzunluğuna (S_0), ortalama sıcaklık (T) ve bağıl nem (BN) gibi coğrafik ve meteorolojik parametreler ile Denklem 3'den hesaplanan deklinasyon açısı (δ) olarak sıralanabilir. Geliştirilen modeller Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de birinci sütunda M1-M5 arasında modellerin isimleri (H_{M1} - H_{M5}), ikinci sütunda belirli parametrelere bağlı olarak geliştirilen eşitlikler ve son üç sütunda ise sırasıyla Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için eşitliklerde kullanılan sabit değerler verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, M1, M2 ve M3 modelleri sırasıyla S/S_0 oranına bağlı lineer (doğrusal), ikinci dereceden (kuadratik) ve üçüncü dereceden (kübik) regresyonlardan oluşmaktadır. M4 modeli, lineer S/S_0 oranına ve deklinasyon açısına (δ) ve ortalama sıcaklığa (T) ve M5 modeli ise lineer S/S_0 oranına ve bağıl neme (BN) bağlıdır.



Şekil 3. Kurulan çok katmanlı YSA yapısı



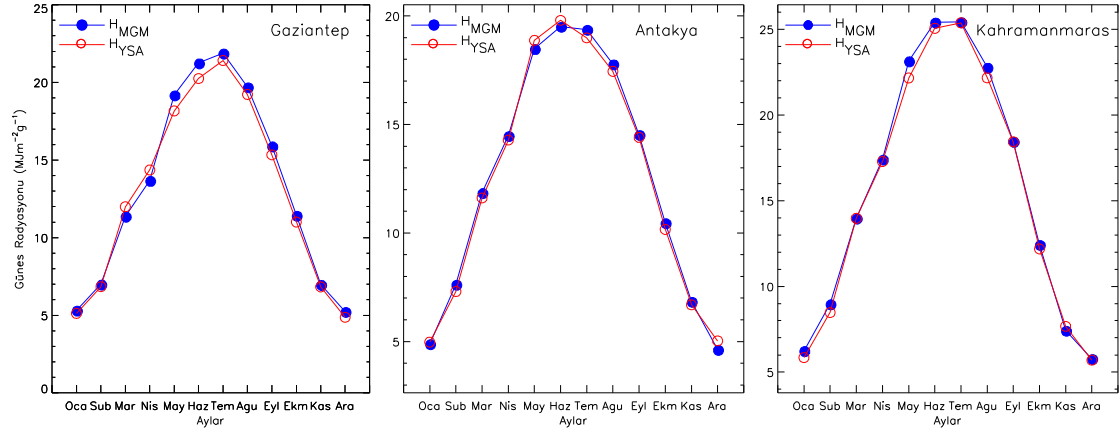
Şekil 4. Üç bölge YSA ile tahmine edilen ve gerçek meteorolojik değerleri arasındaki korelasyon ilişkisi



Şekil 5. YSA ile tahmine edilen ve gerçek meteorolojik değerlerin dört yıllık karşılaştırılması

Tablo 2. YSA ile tahmine edilen ve gerçek meteorolojik değerlerin yıllık değişimlerin aylara göre yıllık ortalamaları

Aylar	Gaziantep		Antakya		Kahramanmaraş	
	H _{YSA}	H _{MGM}	H _{YSA}	H _{MGM}	H _{YSA}	H _{MGM}
Oca	5.32	5.12	4.9	4.98	6.25	5.84
Şub	7	6.84	7.63	7.3	8.97	8.47
Mar	11.38	11.99	11.86	11.61	13.98	13.97
Nis	13.68	14.36	14.48	14.28	17.42	17.29
May	19.19	18.16	18.49	18.87	23.16	22.16
Haz	21.25	20.25	19.51	19.8	25.41	25.06
Tem	21.88	21.41	19.38	18.99	25.43	25.38
Ağu	19.71	19.22	17.78	17.45	22.78	22.17
Eyl	15.9	15.33	14.53	14.4	18.45	18.44
Eki	11.43	11.01	10.46	10.17	12.44	12.19
Kas	6.98	6.83	6.84	6.69	7.43	7.67
Ara	5.24	4.87	4.63	5.03	5.78	5.69



Şekil 6. YSA ile tahmine edilen ve gerçek meteorolojik değerlerin yıllık değişimlerin aylara göre yıllık ortalamaları

MGM'nün web sayfasından alınan 1940-2020 yılları arasındaki periyotlarının ortalaması olan aylık güneşlenme süresi (S) kullanılarak Denklem 2'den hesaplanan atmosfer dışı ışınım (H_0), Denklem 4'den hesaplanan güneşin batış açısı (ω_s) ve Denklem 5'den hesaplanan aylık ortalama günlük maksimum gün uzunluğu (S_0) değerleri Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'de son iki sütunda ise MGM'den alınan ve YSA modelinde de kullanılan 1993-2007 (15 yıl) yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık (T) ve bağıl nem (BN) değerleri de verilmiştir. Tablo 4'deki değerler kullanılarak Tablo 3'de verilen modellerin (H_{M1} - H_{M5}) katsayıları belirlenmiş ve her üç bölge için yatay yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınımının değerlerin hesaplanması sağlanmıştır.

Modellerin geliştirilmesinde MGM'den alınan ve Tablo 2'de verilen YSA modelinde test amacıyla kullanılan dört yıllık (1993, 2003, 2004, 2005) ölçülmüş verilerin ortalama değerleri (H_{MGM}) kullanılmıştır. Geliştirilen modellerden (H_{M1} - H_{M5}) hesaplanan aylık ortalama güneş ışınımının değerlerin doğruluk performansını görmek amacıyla R^2 , RMSE, MAPE ve MSE istatistiksel hata yöntemleri (Denklemler

6-9) kullanılmıştır. Daha iyi veri modellemesi için R^2 mümkün olduğunca 1'e ve RMSE, MAPE ve MSE istatistiksel göstergelerin mutlak değerleri ise sıfıra yaklaşmalıdır. Böylece, Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için en ideal modeller (H_{M1} - H_{M5}) oluştururken Tablo 3'deki verilen en uygun katsayıları belirlenirken bu istatistiksel hata değerlerini (özellikle R^2) bakılmıştır. Ölçülen güneş ışınım şiddetine en yakın olacak şekilde katsayılar değiştirilerek modellerden hesaplanan değerler belirlenmiştir. Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için H_{M1} - H_{M5} modellerinden elde edilen aylık ortalama güneş ışınımın değerleri için R^2 , RMSE, MSE ve MAPE istatistiksel hata sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Buna göre, R^2 'ye göre performanslar değerleri Gaziantep bölgesi için en düşük M1 için 0.990 ve en yüksek M3 için 0.993 (ort. 0.991), Antakya bölgesi için en düşük M4 için 0.980 ve en yüksek M5 için 0.992 (ort. 0.983) ve Kahramanmaraş bölgesi için en düşük M1 için 0.990 ve en yüksek M3 için 0.994 (ort. 0.992) arasında değişmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi tüm değerler ortalama olarak yaklaşık 0.990 olduğundan bölgeler için geliştirilen modeller başarılı ile gerçekleştiği görülmüştür.

Tablo 3. Angström-Prescott eşitliği kullanılarak geliştirilen beş farklı model için H/H_0 formülleri

Model	Eşitlikler	Katsayılar		
		Gaziantep	Antakya	Kahramanmaraş
H_{M1}	$a+b(S/So)$	$a=0.23172$	$a=0.176$	$a=0.258$
		$b=0.3483$	$b=0.382$	$b=0.470$
H_{M2}	$a+b(S/So)+c(S/So)^2$	$a=0.15$	$a=0.229$	$a=0.192$
		$b=0.62$	$b=0.454$	$b=0.686$
		$c=-0.23$	$c=-0.212$	$c=-0.18$
H_{M3}	$a+b(S/So)+c(S/So)^2+d(S/So)^3$	$a=0.05$	$a=0.12$	$a=0.13$
		$b=0.753$	$b=0.58$	$b=0.77$
		$c=0.0045$	$c=-0.0024$	$c=-0.0038$
		$d=-0.29$	$d=-0.21$	$d=-0.25$
H_{M4}	$a+b(S/So)+dSin\delta+eT$	$a=0.33$	$a=0.299$	$a=0.43$
		$b=0.56$	$b=0.522$	$b=0.57$
		$d=0.55$	$d=0.453$	$d=0.54$
		$e=-1.5x10^{-3}$	$e=-1.75x10^{-3}$	$e=1.4x10^{-3}$
H_{M5}	$a+b(S/So)+fBN$	$a=0.472$	$a=0.740$	$a=0.376$
		$b=0.256$	$b=0.156$	$b=0.4214$
		$f=0.0032$	$f=0.0072$	$f=-0.0015$

Tablo 4. Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgelerine ait meteorolojik değerler.

AY	Gaziantep						Antakya						Kahramanmaraş					
	S	H ₀	w _s	S ₀	T	BN	S	H ₀	w _s	S ₀	T	BN	S	H ₀	w _s	S ₀	T	BN
1	3.60	16.23	73.22	9.76	4.07	74.01	3.60	16.23	73.22	9.76	4.07	74.01	3.40	16.06	73.04	9.74	4.07	74.01
2	4.40	21.19	80.00	10.67	4.39	64.76	4.40	21.19	80.00	10.67	4.39	64.76	4.20	21.03	79.89	10.65	4.39	64.76
3	5.60	28.62	88.17	11.76	8.81	66.86	5.60	28.62	88.17	11.76	8.81	66.86	5.50	28.50	88.15	11.75	8.81	66.86
4	7.00	34.48	97.19	12.96	13.04	63.17	7.00	34.48	97.19	12.96	13.04	63.17	6.70	34.41	97.27	12.97	13.04	63.17
5	8.60	41.29	104.89	13.99	19.31	60.96	8.60	41.29	104.89	13.99	19.31	60.96	8.10	41.28	105.05	14.01	19.31	60.96
6	10.50	41.71	108.78	14.50	23.96	50.25	10.50	41.71	108.78	14.50	23.96	50.25	10.00	41.73	108.98	14.53	23.96	50.25
7	10.80	43.25	107.02	14.27	28.69	49.78	10.80	43.25	107.02	14.27	28.69	49.78	10.50	43.25	107.20	14.29	28.69	49.78
8	10.20	38.25	100.41	13.39	28.37	54.18	10.20	38.25	100.41	13.39	28.37	54.18	9.80	38.20	100.52	13.40	28.37	54.18
9	8.90	30.33	91.68	12.22	22.93	55.52	8.90	30.33	91.68	12.22	22.93	55.52	8.70	30.23	91.69	12.23	22.93	55.52
10	7.10	24.09	82.66	11.02	17.52	63.34	7.10	24.09	82.66	11.02	17.52	63.34	6.60	23.94	82.58	11.01	17.52	63.34
11	5.40	18.31	75.01	10.00	9.64	68.77	5.40	18.31	75.01	10.00	9.64	68.77	4.50	18.14	74.84	9.98	9.64	68.77
12	3.60	15.61	71.26	9.50	5.42	75.39	3.60	15.61	71.26	9.50	5.42	75.39	3.30	15.43	71.05	9.47	5.42	75.39

Tablo 5. Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için istatistiksel parametreler

	Gaziantep				Antakya				Kahramanmaraş			
	R ²	RMSE	MAPE	MSE	R ²	RMSE	MAPE	MSE	R ²	RMSE	MAPE	MSE
H _{YSA}	0.990	0.586	4.105	0.343	0.997	0.287	2.584	0.083	0.997	0.414	2.445	0.171
H _{M1}	0.990	0.581	6.072	0.337	0.982	0.715	3.618	0.511	0.990	0.696	6.161	0.484
H _{M2}	0.990	0.569	5.648	0.323	0.981	0.742	7.528	0.55	0.992	0.626	5.376	0.391
H_{M3}	0.993	0.48	3.229	0.231	0.981	0.75	6.636	0.563	0.994	0.564	4.037	0.318
H_{M4}	0.991	0.538	0.034	0.29	0.980	0.76	0.037	0.577	0.992	0.64	0.055	0.409
H_{M5}	0.99	0.581	4.827	0.338	0.992	0.468	2.939	0.219	0.991	0.665	5.594	0.442

Tablo 5’de verilen R², RMSE ve MSE istatistiksel hata sonuçlarına göre Gaziantep (R²=0.993, RMSE=0.480 MJm⁻²g⁻¹ ve MSE=0.231 MJm⁻²g⁻¹) ve Kahramanmaraş (R²=0.994, RMSE=0.564 MJm⁻²g⁻¹ ve MSE=0.318 MJm⁻²g⁻¹) bölgeleri için en iyi sonucu veren modelin H_{M3} olduğu görülürken, Antakya (R²=0.992, RMSE=0.486 MJm⁻²g⁻¹ ve MSE=0.219 MJm⁻²g⁻¹) bölgesi için en iyi sonucu veren modelin H_{M5} olduğu görülmektedir. MAPE istatistiksel hata sonuçlarına bakıldığında ise her üç bölge için de H_{M4} olduğu görülmektedir. Tüm değerlerin R²’nin 1’e ve RMSE, MAPE ve MSE değerlerinin de 0’a yakın olmaları hem YSA modelinden hem de geliştirilen modellerden (H_{M1}-H_{M5}) hesaplanan güneş ışınım şiddet değerleri ile gerçek değerleri arasında bir uyum olduğunu göstermektedir.

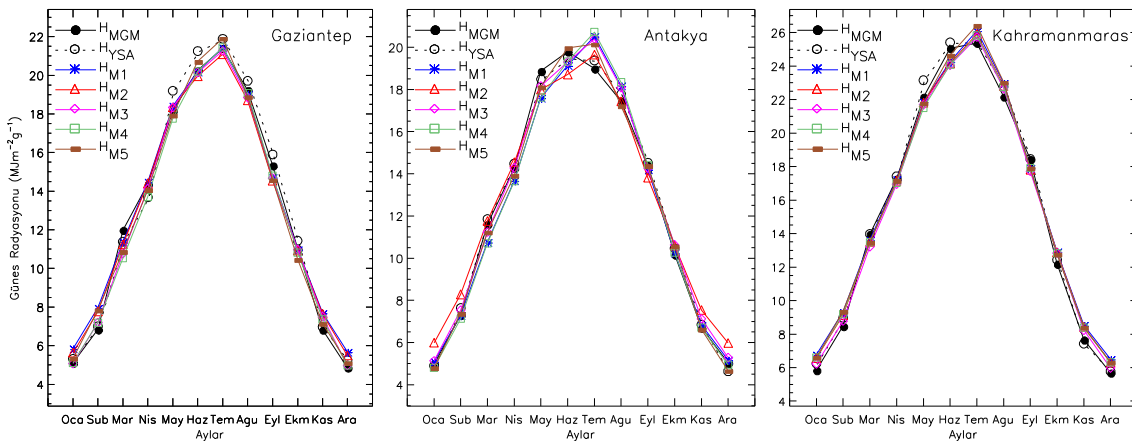
Tablo 5’de, H_{M1}-H_{M5} modelleri için belirlenen istatistiksel hata değerlerine ek olarak YSA modelinden hesaplan H_{YSA} değerleri için de istatistiksel hata sonuçları verilmiştir. Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için YSA modelinden tahmin edilen aylık ortalama güneş ışınımın değerleri incelendiğinde R² performanslar değerlerinin 0.990 ve üzeri olduğu görülmektedir. RMSE ve MSE değerleri Gaziantep için sırasıyla 0.586 MJm⁻²g⁻¹ ve 0.343 MJm⁻²g⁻¹ olduğu, Antakya bölgesi için 0.28 MJm⁻²g⁻¹ ve 0.083 MJm⁻²g⁻¹ ve Kahramanmaraş bölgesi için 0.414 MJm⁻²g⁻¹ ve 0.171 MJm⁻²g⁻¹ olduğu görülmektedir. Bu bölgeler için geliştirilen YSA’dan geliştirilen modelin başarılı ile gerçekleştiği görülmüştür. İstatistiksel hata sonuçlarından incelenen bölgeler için YSA modelinin başarılı ile gerçekleştiği görülmüştür.

Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için MGM’den alınan ölçülmüş ortalama güneş ışınımın değerleri (H_{MGM}) kullanılarak YSA modelinden (H_{YSA}) ve Angström-PreScott-Page eşitliklerinden (H_{M1}-H_{M5}) hesaplanan aylık ortalama güneş ışınım değerlerinin aylara göre değişimi (MJm⁻²g⁻¹) Tablo 6’de verilmiştir. Tablo 6’da verilen ölçülmüş ve YSA modelinden (H_{YSA}) ve Tablo 3’de verilen Angström-PreScott ampirik formülleri kullanılarak geliştirilen beş farklı modelden (H_{M1}-H_{M5}) tahmin edilen aylık ortalama global güneş radyasyon değişimlerinin grafiksel olarak değişimleri Şekil 7’de verilmiştir. Tablo 5’de verilen istatistiksel parametreler incelendiğinde Gaziantep ve Kahramanmaraş için R² değerleri 0.99’dan büyük ve Antakya için de 0.98’den büyük olduğu için modellerden hesaplanan (H_{YSA}, H_{M1}-H_{M5}) güneş ışınımın aylık değişimlerinin ve MGM’den elde edilen alınan ölçülmüş (H_{MGM}) güneş ışınımı ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

Tablo 6’da verilen Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için ölçülen (H_{MGM}) ve YSA modelinden (H_{YSA}) ile Angström-PreScott-Page eşitliklerinden (H_{M1}-H_{M5}) hesaplanan aylık ortalama güneş ışınımın değerleri Denklem 2 kullanılarak hesaplanan atmosfer dışı güneş ışınımına (H₀) oranı kullanılarak ölçülen ve hesaplanan açıklık indeksleri (K_T=H/H₀) hesaplanmıştır [23,24]. Elde edilen açıklık indeks (K_T) sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 6. Ölçülen ve YSA ve ampirik eşitliklerden geliştirilen modellerden hesaplanan güneş radyasyonu verilerinin aylara göre değişimi ($\text{MJm}^{-2}\text{g}^{-1}$)

Gaziantep												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
H_{MGM}	5.12	6.84	11.99	14.36	18.16	20.25	21.41	19.22	15.33	11.01	6.83	4.87
H_{YSA}	5.32	7.00	11.38	13.68	19.19	21.25	21.89	19.71	15.90	11.43	6.98	5.24
H_{M1}	5.85	7.96	11.38	14.48	18.41	20.18	21.43	19.01	14.72	10.99	7.69	5.68
H_{M2}	5.64	7.77	11.25	14.40	18.35	19.95	21.09	18.70	14.54	10.93	7.65	5.49
H_{M3}	5.07	7.20	10.77	14.13	18.33	20.14	21.27	18.85	14.68	10.98	7.50	4.98
H_{M4}	5.12	7.19	10.53	13.71	17.76	20.20	21.43	19.08	14.80	10.82	7.37	4.98
H_{M5}	5.35	7.85	10.87	14.07	17.94	20.71	21.91	18.88	14.58	10.46	7.15	5.12
Antakya												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
H_{MGM}	4.98	7.30	11.61	14.28	18.87	19.80	18.99	17.45	14.40	10.17	6.69	5.03
H_{YSA}	4.90	7.63	11.86	14.49	18.49	19.51	19.38	17.78	14.53	10.47	6.84	4.63
H_{M1}	5.09	7.29	10.76	13.69	17.60	19.15	20.53	18.18	14.21	10.26	6.83	5.17
H_{M2}	5.99	8.28	11.76	14.55	17.99	18.72	19.65	17.43	13.81	10.60	7.54	5.98
H_{M3}	5.13	7.53	11.24	14.28	18.17	19.30	20.40	18.09	14.27	10.63	7.12	5.28
H_{M4}	4.81	7.13	10.71	13.65	17.62	19.33	20.73	18.35	14.42	10.26	6.71	4.95
H_{M5}	4.80	7.38	11.23	13.93	18.12	19.98	20.15	17.22	14.39	10.59	6.63	4.66
Kahramanmaraş												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
H_{MGM}	5.85	8.47	13.97	17.29	22.16	25.06	25.38	22.17	18.44	12.19	7.67	5.69
H_{YSA}	6.25	8.98	13.98	17.42	23.16	25.41	25.43	22.78	18.45	12.44	7.43	5.78
H_{M1}	6.78	9.32	13.62	17.24	21.86	24.26	26.10	22.98	17.92	12.92	8.53	6.50
H_{M2}	6.58	9.14	13.50	17.16	21.81	24.15	25.91	22.82	17.81	12.89	8.43	6.31
H_{M3}	6.23	8.78	13.22	16.95	21.69	24.06	25.72	22.66	17.72	12.84	8.23	5.97
H_{M4}	6.61	9.19	13.48	17.04	21.51	24.08	25.84	22.75	17.91	12.82	8.38	6.32
H_{M5}	6.62	9.36	13.48	17.18	21.80	24.64	26.43	23.03	17.92	12.77	8.40	6.32



Şekil 7. YSA modelinden (H_{YSA}) ve ampirik eşitliklerden geliştirilen beş farklı modelden (H_{M1} - H_{M5}) tahmin edilen değerlerin ölçüm sonuçlarıyla aylara göre karşılaştırılması

Tablo 7'de verilen açıklık indeksinin ölçülen ve modellerden tahmin edilen aylık ortalama değişimlerinin grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Gaziantep bölgesi için açıklık

indeks değerlerinin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla ölçülen veriler (KT_{MGM}) için 0.312 ve 0.505 (ort. 0.420), YSA modeli (KT_{YSA}) için 0.328 ve 0.524 (ort. 0.430), M1 modeli (KT_{M1}) için 0.360 ve 0.497 (ort. 0.433), M2 modeli (KT_{M2}) için 0.347 ve 0.489 (ort. 0.427), M3 modeli (KT_{M3}) için 0.313 ve 0.493 (ort. 0.418), M4 modeli (KT_{M4}) için 0.328 ve 0.507 (ort. 0.423) ve M5 modeli (KT_{M5}) için 0.328 ve 0.506 (ort. 0.421) olduğu görülmektedir. Antakya bölgesi için açıklık indeks değerlerinin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla ölçülen veriler (KT_{MGM}) için 0.297 ve 0.475 (ort. 0.402), YSA modeli için (KT_{YSA}) için 0.287 ve 0.474 (ort. 0.404), M1 modeli (KT_{M1}) için 0.304 ve 0.475 (ort. 0.400), M2 modeli (KT_{M2}) için 0.357 ve 0.454 (ort. 0.417), M3 modeli (KT_{M3}) için 0.306 ve 0.472 (ort. 0.408), M4 modeli (KT_{M4}) için 0.351 ve 0.454 (ort. 0.409) ve M5 modeli (KT_{M5}) için 0.386 ve 0.479 (ort. 0.399) olduğu görülmektedir. Kahramanmaraş bölgesi için de açıklık indeks değerlerinin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla ölçülen (KT_{MGM}) için 0.364 ve 0.610 (ort. 0.498), YSA modeli (KT_{YSA}) için 0.375 ve 0.610 (ort. 0.507), M1 modeli (KT_{M1}) için 0.424 ve 0.605 (ort. 0.517), M2 modeli (KT_{M2}) için 0.440 ve 0.589 (ort. 0.520), M3 modeli (KT_{M3}) için 0.387 ve 0.595 (ort. 0.501), M4 modeli (KT_{M4}) için 0.371 ve 0.615 (ort. 0.497) ve M5 modeli (KT_{M5}) için 0.442 ve 0.597 (ort. 0.516) olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Yorum

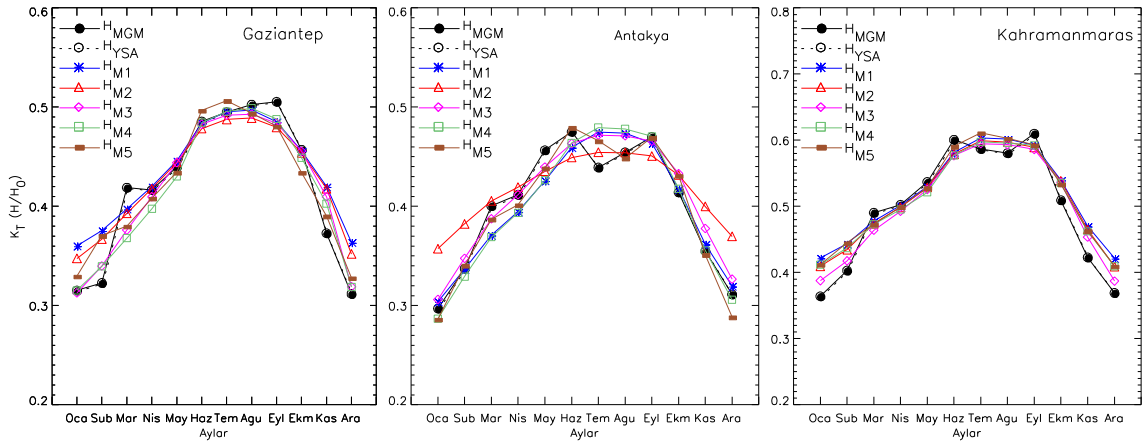
Bu çalışmada, Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş bölgeleri için aylık olarak yıllık güneş ışınım şiddeti tahmin etmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan on beş yıllık (1993-2007) ölçülmüş veriler kullanılarak bir tane YSA modeli ve beş tane de empirik model geliştirilmiştir. Geliştirilen YSA mimari yapısı, on tane meteorolojik ve coğrafik veri girdi parametrelili bir girdi katmanı, 4 ve 2 gizli nörondan oluşan iki gizli katmanı ve bir tane çıktı katmanından oluşan çok katmanlı ileri yayımlı Levenberg-Marquardt algoritmalı (trainlm) bir modeldir. Beş farklı empirik modeller (M1-M5) ise Angström-Prescott-Page eşitliği kullanılarak geliştirilmiştir.

YSA ve empirik formüllerden elde tahmin edilen global güneş enerji değerlerinin MGM'den alınan ölçülmüş değerler ile karşılaştırılması için R^2 , RMSE, MAPE ve MSE gibi dört performans parametresi kullanılmıştır. YSA modeli için R^2 , RMSE, MAPE ve MSE sırasıyla Gaziantep için 0.990, 0.586, 4.105 ve 0.343, Antakya için 0.997, 0.287, 2.584, ve 0.083 ve Kahramanmaraş için 0.997, 0.414, 2.445 ve 0.171 olarak bulunmuştur. İstatistiksel hata sonuçlarından görüldüğü gibi incelenen bölgeler için YSA modelinin başarılı ile gerçekleştiği görülmüştür.

Angström-Prescott eşitliği kullanılarak geliştirilen beş farklı modelden (M1-M5) elde edilen global güneş enerji değerlerinin MGM'den alınan ölçülmüş değerler ile karşılaştırılması sonucu R^2 , RMSE, MAPE ve MSE istatistiksel hata göstergeleri incelendiğinde, ortalama R^2 değerleri sırasıyla Gaziantep bölgesi için 0.991, Antakya bölgesi için 0.985 ve Kahramanmaraş bölgesi için 0.992 olduğu görülmüştür. M1-M5 modellerden elde edilen değerlerin ölçülen değerlerle en iyi sonucu veren modeller Gaziantep ve Kahramanmaraş için Model 3 (H_{M3} , kübik S/So 'ye bağlı) olduğu görülürken, Antakya için model 5 (H_{M5} , kübik S/So 'ye ve bağıl neme bağlı) olduğu görülmüştür. Buna göre Model 3'den elde edilen değerler Gaziantep için $R^2=0.993$, RMSE=0.480 ve MSE=0.231, Kahramanmaraş için $R^2=0.994$, RMSE=0.564 ve MSE=0.318 olduğu görülürken Model 5'den Antakya için elde edilen değerler ise $R^2=0.992$, RMSE=0.486 ve MSE=0.219 olduğu görülmüştür.

Tablo 7. Ölçülen ve YSA ve ampirik eşitliklerden geliştirilen modellerden tahmin edilen aylık ortalama günlük açıklık endeksleri değerleri arasında karşılaştırılması (K_T : birimsiz)

Gaziantep												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
KT_{MGM}	0.315	0.323	0.419	0.417	0.440	0.486	0.495	0.502	0.505	0.457	0.373	0.312
KT_{YSA}	0.328	0.331	0.398	0.397	0.465	0.509	0.506	0.515	0.524	0.475	0.381	0.336
KT_{M1}	0.360	0.376	0.398	0.420	0.446	0.484	0.495	0.497	0.485	0.456	0.420	0.364
KT_{M2}	0.347	0.367	0.393	0.418	0.444	0.478	0.488	0.489	0.479	0.454	0.418	0.352
KT_{M3}	0.313	0.340	0.376	0.410	0.444	0.483	0.492	0.493	0.484	0.456	0.410	0.319
KT_{M4}	0.328	0.348	0.377	0.406	0.440	0.489	0.504	0.507	0.491	0.453	0.406	0.332
KT_{M5}	0.330	0.370	0.380	0.408	0.434	0.497	0.506	0.494	0.481	0.434	0.390	0.328
Antakya												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
KT_{MGM}	0.297	0.337	0.400	0.412	0.457	0.475	0.439	0.454	0.470	0.414	0.355	0.311
KT_{YSA}	0.292	0.352	0.409	0.418	0.447	0.468	0.448	0.463	0.474	0.426	0.363	0.287
KT_{M1}	0.304	0.336	0.371	0.395	0.426	0.459	0.475	0.474	0.464	0.418	0.362	0.320
KT_{M2}	0.357	0.382	0.405	0.419	0.435	0.449	0.454	0.454	0.451	0.431	0.400	0.370
KT_{M3}	0.306	0.348	0.387	0.412	0.440	0.463	0.472	0.471	0.466	0.433	0.378	0.327
KT_{M4}	0.351	0.370	0.391	0.405	0.424	0.444	0.454	0.453	0.447	0.419	0.386	0.360
KT_{M5}	0.286	0.341	0.387	0.401	0.438	0.479	0.466	0.448	0.469	0.431	0.351	0.288
Kahramanmaraş												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
KT_{MGM}	0.364	0.403	0.490	0.502	0.537	0.601	0.587	0.580	0.610	0.509	0.423	0.369
KT_{YSA}	0.389	0.427	0.491	0.506	0.561	0.609	0.588	0.596	0.610	0.519	0.410	0.375
KT_{M1}	0.424	0.445	0.480	0.503	0.532	0.583	0.605	0.604	0.595	0.542	0.472	0.424
KT_{M2}	0.440	0.461	0.492	0.512	0.535	0.574	0.589	0.588	0.582	0.543	0.485	0.440
KT_{M3}	0.388	0.418	0.464	0.493	0.526	0.577	0.595	0.593	0.586	0.536	0.454	0.387
KT_{M4}	0.372	0.400	0.447	0.478	0.516	0.586	0.615	0.613	0.601	0.530	0.436	0.371
KT_{M5}	0.442	0.454	0.477	0.502	0.536	0.573	0.597	0.592	0.566	0.528	0.478	0.447



Şekil 8. K_T 'nin gözlemlenen ve modellerden tahmin edilen aylık ortalama günlük değerleri arasında karşılaştırılması

Ayrıca, MGM'den alınan ölçülmüş ve YSA ile her üç bölge için ampirik formüllerden tahmin edilen en uygun (KT_{M1} - $M5$) aylık global güneş enerji değerleri için açıklık indeksleri ($KT=H/H_0$) tek tek hesaplanmıştır. Gaziantep için ölçülmüş verilerden, YSA modelinden (KT_{YSA}) ve en iyi ampirik modelden elde edilen açıklık indeksleri sırasıyla $0.328 < KT_{MGM} < 0.505$, $0.328 < KT_{YSA} < 0.524$ ve $0.313 < KT_{M3} < 0.493$ aralığında, Antakya için $0.297 < KT_{MGM} < 0.475$, $0.287 < KT_{YSA} < 0.474$ ve $0.386 < KT_{M5} < 0.479$ aralığında ve

Kahramanmaraş için $0.364 < KT_{MGM} < 0.610$, $0.375 < KT_{YSA} < 0.610$ ve $0.387 < KT_{M3} < 0.595$ aralığında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, hem YSA modelinden (H_{YSA}) hem de geliştirilen modellerden (H_{M1} - H_{M5}) hesaplanan güneş ışınım şiddet değerleri ile ölçülen gerçek değerler (H_{MGM}) arasında bir uyum olduğunu göstermektedir. YSA yöntemlerinin geleneksel regresyon modellerine kıyasla güneş radyasyonunu tahmin etmek için daha uygun olduğunu göstermiştir. Geliştirilen bu modellerin benzer iklime sahip bölgelerde kullanılabileceği önerilmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Muhittin ŞAHAN: Araştırma, Veri Temini, Orjinal Taslak Yazımı, İnceleme ve Düzenleme

Çatışma Beyanı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çatışma beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Etik Kurul Onayı ve Aydınlatılmış Onam Bilgileri

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onayı ve/veya aydınlatılmış onam bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Kaynakça

- [1] M. A. AbdulAzeez, "Artificial neural network estimation of global solar radiation using meteorological parameters in Gusau, Nigeria," *Archives of Applied Science Research*, 3 (2), 586-595, 2011.
- [2] E.A. Ahmed and M. El-Nouby Adam, "Estimate of global solar radiation by using artificial neural network in Qena, Upper Egypt," *Journal of Clean Energy Technologies*, 1, 2, 2013.
- [3] O. Şenkal and T. Kuleli, "Estimation of solar radiation over Turkey using artificial neural network and satellite data," *Applied Energy*, 86, 1222-1228, 2009.
- [4] O. Şenkal "Modeling of solar radiation using remote sensing and artificial neural network in Turkey," *Energy*, 35 (12), 4795-4801, 2010.
- [5] M. Şahan ve Y. Okur, "Akdeniz Bölgesine ait meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla güneş enerjisinin tahmini," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 11 (1), 61-71, 2016.
- [6] A. Angström, "Solar and terrestrial radiation," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50 (210), 121-126, 1924.
- [7] J. A. Prescott, "Evaporation from a water surface in relation to solar radiation," *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-148, 1940.
- [8] M. R. Rietveld, "A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine," *Agricult. Meteorol.*, 19, 243-252, 1978.
- [9] H. Ogelman, A. Ecevit, and E. Tasdemiroglu, "A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data," *Solar Energy*, 33, 619-625, 1984.
- [10] K. L. Bristow and G. S. Campbell, "On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature," *Agric. For. Meteorol.*, 31, 159-166, 1984.
- [11] B. G. Akınoğlu and A. Ecevit, "A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation," *Solar Energy*, 15, 865-872, 1990.
- [12] R. De Jong and D. W. Stewart, "Estimating global solar radiation from common meteorological observations in western Canada," *Can. J. Plant. Sci.* 73, 509-518, 1993.
- [13] B. T.Nguyen and T. L. Pryor, "The relationship between global solar radiation and sunshine duration in Vietnam," *Renewable Energy*, 11, 47-60, 1997.
- [14] I. T. Togrul, H. Togrul, and D. Evin, "Estimation of global solar radiation under clear sky radiation in Turkey," *Renewable Energy*, 21, 271-287, 2000.
- [15] S. A. Khalil and A. M. Fathy, "An empirical method for estimating global solar radiation over Egypt," *Acta Polytechnica*, 48 (5), 48-53, 2008.

- [16] S. Edalati, M. Ameri, and M. Iranmanesha, "Estimating and modeling monthly mean daily global solar radiation on horizontal surfaces using artificial neural networks in South East of Iran," *Journal of Renewable Energy and Environment (JREE)*, 2 (1), 36-42, 2015.
- [17] I. A. Basheera and M. Hajmeer, "Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application," *Journal of Microbiological Methods*, 43, 3-31, 2000.
- [18] F. S. Marzano, E. Fionda, and P. Ciotti, "Neural-network approach to ground-based passive microwave estimation of precipitation intensity and extinction," *Journal of Hydrology*, 328, 121-131, 2005.
- [19] D. Graupe, *Principles of Artificial Neural Networks*. (2nd Edition), Advanced series on circuits and systems, volume 6, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007.
- [20] C. Gershenson, "Artificial neural networks for beginners, formal computational skills teaching package," COGS, *University of Sussex, Brighton, UK*, 2001.
- [21] J. K. Page, "The estimation of monthly ea values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N -40°S," *Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy*, Paper No. 598, 378-390, 1964.
- [22] S. Klein, "Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces," *Solar Energy*, 19 (4), 1977, 325-329, 1977.
- [23] M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*. London: Academic Press, 1983.
- [24] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*. (4th ed.), John Wiley and Sons, Inc., New York, 2013.
- [25] J. R. Howell, R. B. Bannerot, and G. C. Vliet, *Solar-Thermal Energy Systems Analysis and Design*. McGraw-Hill, Inc., New York, 1982.
- [26] M. Despotovic, V. Nedic, D. Despotovic, and S. Cvetanovic, "Review and statistical analysis of different global solar radiation sunshine models," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1869-1880, 2015.