



Mersin / Türkiye için Ölçülen Global Güneş Işınımının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi ve Yaygın Işınım Modelleri ile Karşılaştırılması

Gökhan ARSLAN^{1,*}, Burhan BAYHAN², Kaan YAMAN¹

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 33343, Yenişehir/MERSİN

²Selçuk Üniversitesi, Cihanbeyli Meslek Yüksekokulu Cihanbeyli / KONYA

Öz

Bu çalışmada, Nisan 2017 – Mart 2018 tarihleri aralığında Mersin için ölçülen günlük toplam global güneş ışınım değerlerinin yapay sinir ağı kullanılarak modellenmesi yapılmıştır ve literatürde bulunan yaygın modellerin günlük toplam global güneş ışınım değerlerini tahmin etme performansları incelenmiştir. Günlük ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi ve bulut kapallığı verileri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup güneş ışınım değerleri ise piranometre ile ölçülmüştür. Sonuç olarak, incelenen modeller içerisinde en iyi tahmin performansını belirlilik katsayısı (R^2) 0,83 olan Model 37 (Zhang ve Huang) göstermiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 29/04/2018

Düzeltilme: 11/07/2018

Kabul: 10/01/2019

Anahtar Kelimeler

Global güneş ışınımının tahmini
Güneş ışınım modeli
Yapay Sinir Ağları
Mersin

Keywords

Prediction of global solar radiation
Solar radiation model
Artificial Neural Networks
Mersin

Estimation of Measured Global Solar Radiation by Artificial Neural Networks for Mersin / Turkey and Comparison with Common Solar Radiation Models

Abstract

In this study, the daily total global solar radiation values measured for Mersin between April 2017 and March 2018 were modeled using artificial neural networks and the performance of estimating daily total global solar radiation values of the common models in the literature was investigated. Daily average air temperature, relative humidity, wind speed, sunshine duration, and cloud cover data are obtained from the Turkish State Meteorological Service and solar radiation values are measured with a pyranometer. As a result, Model 37 (Zhang and Huang) showed the best prediction performance among the models examined, with the coefficient of determination (R^2) being 0.83.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fosil yakıtların kısıtlı olması ve çevreye zarar vermesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını önemli hale getirmiştir [1]. Güneş, rüzgâr, jeotermal ve dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının başlıcalarıdır. Güneş enerjisi bu kaynaklar arasında en yüksek potansiyele sahiptir. Günümüzdeki teknoloji güneş enerji potansiyelini ısıl prosese veya doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek insanoğlunun kullanımına olanak sağlamaktadır. Güneş enerjisinin bir diğer avantajı ise dünya çapında homojen dağılımıdır. Bu gerçeklere bağlı olarak, mühendisler sistemleri düzenli bir şekilde tasarlaması için güneş ışınımı şiddeti doğru bir şekilde tahmin etmelidir [2].

Belirli bir bölgedeki güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla yapılan meteorolojik gözlemler, nitelikli insan gücü ve önemli ekonomik yatırımlar gerektirmektedir. Gözlem cihazlarının pahalı olması, cihazların bakım ve kalibrasyonlarının gerekli şekilde ve sıklıkta yapılamaması, verilerin iletiminde ve saklanmasında yaşanan problemler, deneyimli ve yeterli eleman olmaması gibi problemler, gözlem istasyonlarının kurulmasını ve işletimini olumsuz yönde etkilemektedir [3]. Güneş enerjili sistemlerin tasarımında büyük önem taşıyan güneş ışınım verilerinin ölçülmesi her zaman her bölge için mümkün

*İletişim yazarı, e-mail: garslan@mersin.edu.tr

değildir. Bu nedenle, güneş ışınım değerlerini tahmin etmek için yeni modellerin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Güneş ışınım değerleri birçok meteorolojik veya coğrafik parametrelere bağlı olduğundan çeşitli modeller elde etmek mümkündür. Bu çalışmada, güneş ışınımının literatürde bulunan modeller ve yapay sinir ağlarıyla (YSA) tahmin edilebilirliği ortaya konmuştur.

Güneş ışınımının tahmini ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Alsaad, Ürdün'ün Amman şehrinde 1983 – 1987 yılları arasındaki ölçülmüş yatay düzleme gelen saatlik global güneş ışınım verilerini incelemiştir. Aylık ortalama günlük güneş ışınım verilerini hesaplayarak bu verileri Amman için ortalama, maksimum ve minimum global güneş ışınımının her biriyle güneşlenme süreleri arasında geliştirdiği doğrusal ilişkilere uygulamıştır. Sonuç olarak, aylık ortalama günlük güneş ışınım değerlerini %6,6 - 9,6 arasındaki hata oranlarında tahmin etmiştir. Hatanın ortalaması ise %0,3'ü geçmemiştir [4]. Jain ve Jain, aylık ortalama günlük global güneş ışınımının doğrusal regresyon analizini sekiz Zambiya bölgesinin güneş ışınımı verileri ve en küçük kareler tekniği kullanarak gerçekleştirmişler ve global ışınımı %4 - 10 aralığındaki doğrulukla tahmin etmişlerdir [5]. Luhanga ve Andringa, global güneş ışınımı ile güneşlenme süresi arasında Angstrom tipi ilişkileri incelemiştir. Bu ilişkileri Gaborone, Botswana'daki Sebele Tarımsal Araştırma İstasyonu'nda kaydedilen güneş ışınımı verileri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Amaçları Angstrom denklemindeki parametrelerin azaltılıp azaltılamayacağını Hay'ın [6] belirttiği (i) yer ve atmosfer arasındaki ışınımın çoklu yansımaları ve (ii) güneş ışınımı kaydedicinin performans özellikleri etkileriyle ortaya koymaktır. Sonuç olarak, bu etkilerin dahil edilmesiyle Botswana verileri için regresyon parametrelerindeki değerlerde azalmanın olmadığını görmüşlerdir [7]. Almorox ve Hontoria, İspanya'daki 16 meteorolojik istasyon için sadece bağlı güneşlenme süresini kullanarak global güneş ışınımını tahmin etmişler ve bunun için Angstrom–Prescott doğrusal regresyon ve değiştirilmiş fonksiyonlarını (ikinci derece, üçüncü derece, logaritmik ve üstel) kullanmışlardır. Tüm modeller iyi tahmin sonucu vermekle beraber üçüncü dereceden olan fonksiyon diğer modellere göre daha iyi sonuç vermiştir [8]. Öztürk, Isparta ili için yatay düzleme gelen günlük global güneş ışınımını tahmin etmek için literatürde bulunan 46 modeli incelemiş ve 4 model geliştirmiştir [9]. Bahel ve arkadaşları, Zahran için güneşlenme süresini ölçüp aylık ortalama günlük global güneş ışınımı ve güneşlenme süresi arasında doğrusal ilişki kurmuşlardır. Ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki uyumun %4'ten daha iyi olduğunu bulmuşlardır [10]. Louche ve arkadaşları, Akdeniz bölgesi için direkt normal ve global yatay ışınım arasında ilişki kurmuşlardır. Bu ilişkileri saatlik, günlük ve aylık ortalama verileri için geliştirmişlerdir [11]. Akınoğlu ve Ecevit, literatürde bulunan güneşlenme temelli tahmin yapan beş modelin ve kendi geliştirdikleri ikinci dereceden modelin tahmin performansını incelemiştir [12]. Ogelman ve arkadaşları, Ankara ve Adana'daki üç yıllık güneş ışınım verisini kullanarak günlük global güneş ışınımının atmosfer dışı global güneş ışınımına oranı (Q/Q_0) ile güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı (t/t_0) arasında ilişki kurarak model oluşturmuşlardır. Modeldeki bağlı hata %5'ten daha az çıkmıştır [13]. Taşdemiroğlu ve Sever, Türkiye'deki farklı iklim bölgeleri için (Ankara, Antalya, Gebze, İzmir, Diyarbakır ve Samsun) günlük global güneş ışınımının atmosfer dışı global güneş ışınımına oranı (Q/Q_0) ile güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı (t/t_0) arasında ikinci dereceden bir ilişki kurarak model oluşturmuşlardır [14]. Aksoy, ölçtüğü güneşlenme süresi ve güneş ışınımı arasında ikinci dereceden bir ilişki kurarak Ankara, Antalya, Samsun, Konya, Urfa ve İzmir için aylık ortalama global güneş ışınımını %4 bağlı hata ile tahmin etmiştir [15]. Said ve arkadaşları, Tripoli için yatay düzleme gelen global ve yayılı güneş ışınımını tahmin etmek için farklı korelasyonları incelemiştir [16]. Togrul ve Togrul, Türkiye için aylık ortalama global güneş ışınımını tahmin etmek için çeşitli regresyon analizleri uygulamışlardır. Geliştirilen denklemler Türkiye için iyi sonuçlar vermekle birlikte bazı şehirlerde ve sezonluk analizler (yaz ve kış) daha iyi sonuç vermiştir [17]. Tahran ve Sarı, Karadeniz bölgesinin güneş ışınımını Amasya, Çorum, Ordu, Samsun ve Tokat için incelemiştir. Aylık ortalama günlük ışınımı tahmin etmek için ikinci dereceden polinom denklemi geliştirmişlerdir. Ayrıca aylık ortalama günlük yayılı ve direkt güneş ışınımını tahmin eden literatürde yer alan altı modele bağlı olarak hibrit bir model geliştirmişlerdir [18]. Jin ve arkadaşları, Çin'deki 69 meteoroloji istasyonundan aldıkları güneş ışınım ve güneşlenme süresi verilerini kullanarak yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımını tahmin etmişlerdir [19]. Aras ve arkadaşları, İç Anadolu Bölgesi'ndeki on iki il için global ışınım analizi yapmışlardır. Altı yıllık güneş ışınımı ve güneşlenme süresi verilerini Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alıp yatay düzleme gelen aylık global güneş ışınımını tahmin eden ampirik modeller geliştirmişlerdir [20]. Bazı çalışmalarda

günlük global güneş ışınımının atmosfer dışı global güneş ışınımına oranı (Q/Q_0) ile güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı (t/to) arasında üçüncü dereceden bir ilişki kurarak model geliştirilmiştir [21-24]. Kılıç ve Öztürk, komşu ülkelerdeki ölçülen değerlerle çok iyi uyum sağlayan Angström denklemi katsayılarını hesaplayan bağıntı geliştirmişlerdir [25]. Bulut ve Büyükalaca, Türkiye'nin farklı bölgeleri için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan ışınım verilerini inceleyip yatay düzleme gelen günlük toplam ışınım değerini sadece gün sayısına bağlı olarak hesaplayan bağıntı geliştirmişlerdir [26]. Hargreaves ve Samani, günlük maksimum ve minimum sıcaklık farkına bağlı olarak yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımını hesaplayan model geliştirmişlerdir [27]. Bristow ve Campbell, günlük güneş ışınımını günlük sıcaklık aralığının üssel asimptotik fonksiyonu olarak tanımlayan modeli geliştirmişlerdir [28]. Donatelli ve Campbell ile Goodin ve arkadaşları, buna benzer model geliştirmişlerdir [29,30]. Annandale ve arkadaşları, Hargreaves ve Samani'nin [27] modelini geliştirmişlerdir [31]. Literatürde meteoroloji verilerine dayalı modellerde yer almaktadır. Zhang ve Huang kuru termometre sıcaklığı, bağlı nem, rüzgâr hızı ve yönü, bulut kapalılık oranını kullanarak Çin için geçerli saatlik ışınımı tahmin eden model geliştirmiştir [63]. Yaman ve Arslan bu modelin katsayılarını Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden elde ettikleri uzun yılların ortalama değerlerini kullanarak Mersin için yeniden düzenlemişlerdir [64].

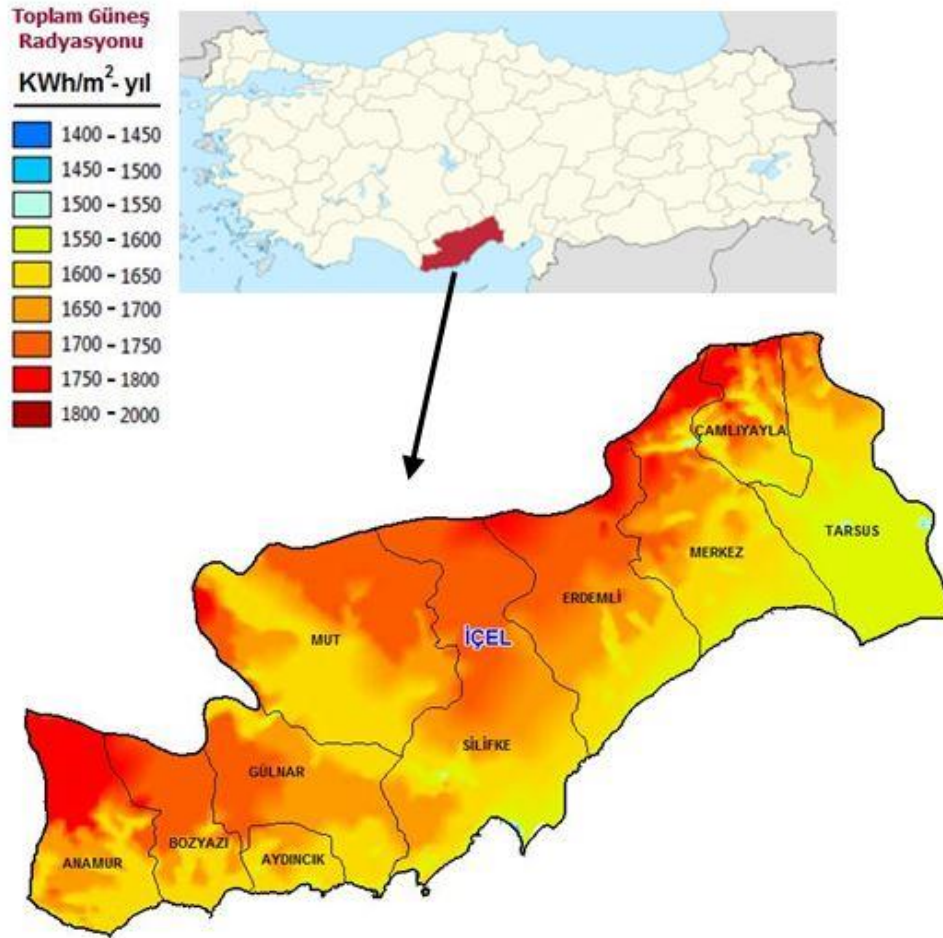
Güneş ışınımının YSA ile tahmini ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Bou-Rabee ve arkadaşları, Kuveyt için günlük ortalama güneş ışınım değerlerini tahmin eden bir modeli yapay sinir ağlarını kullanarak geliştirmişlerdir [32]. Vakili ve arkadaşları, meteorolojik verilere bağlı yapay sinir ağları kullanılarak yapılan günlük ışınım değerlerinin tahmininde partiküller madde kirliliğinin etkisini inceleyerek tahmin modelinin verimliliğini arttırmışlardır [33]. Xue, günlük yayılan güneş ışınımını tahmininde geri yayılım sinir ağı modelinin etkinliğini ve genelleme kabiliyetini arttırmak için genetik algoritma (GA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tekniklerini kullanmıştır [34]. Renno ve arkadaşları, bir konuttaki fotovoltaik uygulaması için günlük global güneş ışınımını ve saatlik direkt güneş ışınımı değerlerini tahmin etmek için iki yapay sinir ağı modelini geliştirmişlerdir [35]. Zou ve arkadaşları, interpolasyon tekniği temelli bir yapay sinir ağı kullanarak Çin'in güneydoğusundaki global güneş ışınımını tahmin etmişlerdir [36]. Sincen ve arkadaşları, Aydın ilinde insan sağlığını etkileyen; sıcaklık, hava kalitesi indeksi ve ultraviyole indeksi parametrelerini toplayıp yapay sinir ağı ile analiz ederek ileriye dönük bu parametreleri tahmin eden ve insanları sms ve e-posta ile uyanan modeli geliştirmişlerdir [37]. Yıldız ve Gurer, Sultansazlığı'nda serbest su yüzeyinden gerçekleşen buharlaşmanın hesabı için Penman ve Yapay Sinir Ağları Metotlarını kullanmış olup hesapladıkları buharlaşma değerlerini gerçek buharlaşma gözlemleri ile karşılaştırmışlardır [38].

Bu çalışmanın konusuna benzer literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır. Ancak, Mersin ili için ölçülen global güneş ışınımının YSA ile tahmin edilmesi ve yaygın ışınım modelleri ile karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran farklı yönler vardır: İlk farklı yön olarak, literatürdeki çalışmaların çoğunda tahmin edilen global güneş ışınım değerleri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen verilerle kıyaslanmıştır. Bu çalışmada ise; yatay düzleme gelen global güneş ışınımı beş dakikalık periyotlarla Nisan 2017 – Mart 2018 tarihleri arasında CM11 model Kipp & Zonen piranometresi ile ölçülüp tahmin edilen değerlerle kıyaslanmıştır. İkinci farklı yön olarak; global güneş ışınım değerlerini etkileyen farklı parametrelere bağlı geliştirilen modeller incelenmiş ve YSA kullanılarak oluşturulan modelle kıyaslanmıştır. Literatürde bulunan YSA çalışmaları genelde ayrı çalışma şeklinde verilmiş olup diğer modellerle kıyaslanmamıştır. Bu çalışma ayrıca güneş enerjisi yatırımcılarının Mersin ili hakkında bilgi edinmesi açısından bölgesel öneme sahip olduğu için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

Mersin, Türkiye'nin güneyinde (enlem: 36°48'K, boylam: 34°38'D) yer alan, ülke geneline bakıldığında güneş enerjisi açısından yüksek potansiyele sahip bir ilimizdir. Mersin ilinin güneş enerjisi potansiyeli haritası Şekil 1'de verilmiş olup dağlık kesimlerde ışınım değerlerinin çok yüksek olduğu nüfusun yoğun olarak yaşadığı sahil kesimlerinde ise ışınım değerlerinin 1700 – 1750 kWh/m²yıl olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Mersin ilinin güneş enerjisi potansiyeli haritası [39].

Bu çalışmada, literatürdeki bazı modeller ve yapay sinir ağları kullanılarak Mersin ilinde yatay düzleme gelen toplam günlük global güneş ışınımı değerleri tahmin edilmiştir. Ayrıca, global güneş ışınımı Kipp & Zonen CM11 model piranometre ile ölçülmüştür. Sıcaklık (°C), bağıl nem (%) ve rüzgâr hızı (m/s), ve güneşlenme süresi (h) verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Literatürde bulunan tahmin metotlarının çoğu günlük toplam atmosfer dışı global güneş ışınım değerini (Q_o) içermektedir. Bu değer standart geometrik kurallar kullanılarak denklem 2.1 ile hesaplanabilmektedir.

$$Q_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{gs} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \varphi \cos \delta \sin w_s + \left(\frac{\pi w_s}{180} \right) \sin \varphi \sin \delta \right] \quad 2.1$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad 2.2$$

Burada $I_{gs} = 1367 \text{ Wm}^{-2}$ olarak güneş sabitidir. n gün sayısı, w_s gün batımı saat açısı, φ ve δ ise sırasıyla enlem ve denklinasyon açılarıdır.

Gün uzunluğu denklem 2.3'den hesaplanarak ve güneşlenme süresi (t) Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilerek Angstrom-PreScott tarafından geliştirilen model olan denklem 2.4 kullanılabilir [40].

$$t_o = \frac{2}{15} w_s \quad 2.3$$

$$\frac{Q}{Q_o} = a + b(t/t_o) \quad 2.4$$

Burada Q , yatay düzlemdeki günlük toplam global güneş ışınım değeri olup a ve b katsayıları ise regresyon katsayılarıdır.

Güneş ışınımını tahmin etmek için literatürde bulunan ve bu çalışmada oluşturulan bazı modeller Tablo 1'de verilmiştir. 1-30 aralığındaki modeller global güneş ışınımının atmosfer dışı global güneş ışınımına oranı (Q/Q_0) ile güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı (t/t_0) arasında ilişki kurarak oluşturulmuş modellerdir. Model 31 sadece gün sayısına göre oluşturulmuştur. 32-36 aralığındaki modeller gün içi maksimum ve minimum hava sıcaklığına bağlı geliştirilmiştir. Model 37 ise bulut kapallılığı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızına bağlı saatlik global güneş ışınımını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Mevcut bu modellere ek olarak Angstrom-PreScott tipi denklemin katsayıları Mersin için yeniden düzenlenerek Model 38 elde edilmiştir. Son olarak YSA kullanılarak Model 39 elde edilmiştir.

Tablo 1. Güneş ışınımını tahmin etmek için literatürde bulunan bazı modeller

Model No	Kaynak	Yıl	Model Denklemi				Çalışma Alanı
			$Q/Q_0 = a + b\left(\frac{t}{t_0}\right) + c\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 + d\left(\frac{t}{t_0}\right)^3$				
			a	b	c	d	
1	Alsaad [4]	1990	0,174	0,615			Amman, Ürdün
2	Jain ve Jain [5]	1988	0,240	0,513			Zambiya
3	Luhanga and Andringa [7]	1990	0,241	0,488			Gaborone, Botsvana
4	Almorox and Hontoria [8]	2004	0,2170	0,5453			İspanya
5	Ozturk [9]	2015	0,2787	0,3788			Isparta
6	Tiris ve ark. [40]	1997	0,18	0,62			
7	Page [41]	1961	0,23	0,48			
8	Bahel ve ark. [10]	1986	0,175	0,552			Zahran
9	Louche ve ark. [11]	1991	0,206	0,546			Akdeniz Bölgesi
10	Akınoğlu ve Ecevit [12]	1990	0,145	0,845	-0,280		
11	Ogelman ve ark. [13]	1984	0,195	0,676	-0,142		Adana, Ankara
12	Taşdemiroğlu ve Sever [14]	1991	0,225	0,014	0,001		Ankara, Antalya, Gebze, İzmir, Diyarbakır ve Samsun
13	Aksoy [15]	1997	0,148	0,668	-0,079		Türkiye
14	Said ve ark. [16]	1998	0,1	0,874	-0,255		Tripoli
15	Togrul ve Togrul [17]	2002	0,1541	1,1741	-0,705		Türkiye
16	Tahran ve Sarı [18]	2005	0,1874	0,8592	-0,4764		Amasya, Çorum, Ordu, Samsun ve Tokat
17	Jin ve ark. [19]	2005	0,1404	0,6126	0,0351		
18	Aras ve ark. [20]	2006	0,3398	0,2868	0,1187		Türkiye, İç Anadolu Bölgesi
19	Almorox ve Hontoria [8]	2004	0,1840	0,6792	-0,1228		İspanya
20	Bahel [21]	1987	0,16	0,87	-0,16	0,34	Dünya geneli
21	Samuel [22]	1991	-0,14	2,52	-3,71	2,24	Sri Lanka
22	Lewis [23]	1992	0,81	-3,34	7,38	-4,51	Tennessee
23	Ülgen ve Hepbaşlı [24]	2002	0,2408	0,3625	0,4597	-0,3708	İzmir
24	Togrul ve Togrul [17]	2002	0,1796	0,9813	-0,2958	-0,2657	Turkey

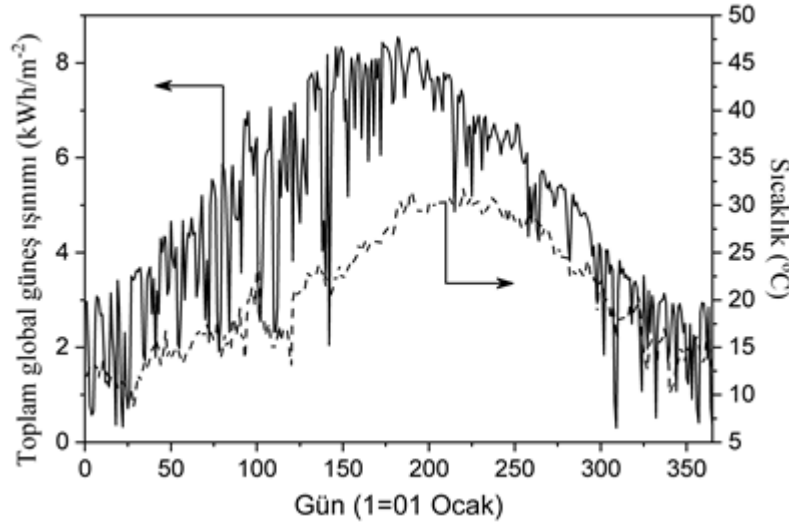
Tablo 1 devamı. Güneş ışınımını tahmin etmek için literatürde bulunan bazı modeller

Model No	Kaynak	Yıl	Model Denklemi				Çalışma Alanı
25	Ülgen ve Hepbaşlı [24]	2004	0,2854	0,2591	0,6171	-0,4834	Turkey
26	Tahran ve Sarı [18]	2005	0,1520	1,1334	-1,1126	0,4516	Amasya, Çorum, Ordu, Samsun ve Tokat
27	Jin ve ark. [19]	2005	0,1275	0,7251	-0,2299	0,1837	
28	Aras ve ark. [20]	2006	0,4832	-0,6161	1,8932	-1,0975	Türkiye, İç Anadolu Bölgesi
29	Almorox ve Hontoria [8]	2004	0,230	0,3809	0,4694	-0,3657	İspanya
30	Kılıç ve Öztürk [25]	1983	$a = 0,103 + 0,000017Z + 0,198 \cos(e - d)$ $b = 0,533 - 0,165 \cos(e - d)$				Türkiye
31	Bulut ve Büyükalaca [26]	2007	$Q = a + (b - a) \left \sin \left[\frac{\pi(n + 5)}{365} \right] \right ^{1,5}$ <p>Mersin için: $a = 7,01$ ve $b = 25$</p>				Türkiye
32	Hargreaves ve Samani [27]	1982	$Q = Q_o \left[a(T_{max} - T_{min})^{\frac{1}{2}} \right]$ $a = 0,1459$				
33	Bristow ve Campbell [28]	1984	$Q = Q_o a [1 - \exp(-b\Delta T^c)]$ $\Delta T = T_{max(i)} - (T_{min(i)} + T_{min(i+1)})/2$				
			0,7025	0,0101	1,9034		
34	Donatelli ve Campbell [29]	1998	$Q = Q_o a \left[1 - \exp(-bf(T_{avg})\Delta T^2 \exp(\frac{T_{min}}{c})) \right]$ $\Delta T = T_{max(i)} - (T_{min(i)} + T_{min(i+1)})/2$ $f(T_{avg}) = 0,017 \exp(\exp(-0,053T_{avg(i)}))$ $T_{avg(i)}(^{\circ}C) = (T_{max(i)} + T_{min(i)})/2$				
			0,7107	0,2481	67,4299		
35	Goodin ve ark. [30]	1999	$Q = Q_o a [1 - \exp(-b(\Delta T^c/Q_o))]$				
			0,6849	0,3337	1,9442		
36	Annandale ve ark. [31]	2002	$Q = Q_o \left[a(1 + 2,7 * 10^{-5} Z(T_{max} - T_{min})^{\frac{1}{2}}) \right]$ $a = 0,1439$				
37	Yaman ve Arslan [64]	2018	$I_{model} = [I_{GS} \sin(h) \{c_0 + c_1 CC + c_2 CC^2 + c_3(T_i - T_{i-3}) + c_4 RH + c_5 V_r\} + d]/k$ $c_0 = 37,6865; c_1 = 13,9263;$ $c_3 = 0,9695; c_4 = -0,2046; c_5 = -0,098;$ $d = -10,8568; k = 49,3112$				Mersin
38	Mevcut çalışma (Angstrom Prescott tipi)		$Q/Q_o = a + b \left(\frac{t}{t_o} \right)$ $a = 0,5498; b = 0,0543$				Mersin
39	Mevcut çalışma (YSA)						Mersin

2.1. Güneş Işınımının Ölçülmesi (Measurement of the Solar Radiation)

Yatay düzleme gelen global güneş ışınımı beş dakikalık periyotlarla Nisan 2017 – Mart 2018 tarihleri arasında CM11 model Kipp & Zonen piranometresi ile ölçülmüştür. Ölçüm düzeneği Mersin Üniversitesi Çiftlikköy yerleşkesi içerisinde gün boyunca güneş alan bir bölgeye kurulmuştur. Ölçüm düzeneği belirsizliği $\pm\%2$ olan CM 11 model piranometre, yüksek doğrulukta CR 800 model veri kaydedici ($\pm\%0,06$), bilgisayar ve bataryadan (12V, 9A) oluşmaktadır.

Ölçülen yatay düzleme gelen günlük toplam global güneş ışınımı ve günlük ortalama sıcaklık değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre, günlük toplam güneş ışınımı yaz günlerinde $4200 - 8500 \text{ Whm}^{-2}$ ve kış günlerinde ise $320 - 4600 \text{ Whm}^{-2}$ bandında değer almaktadır. Ayrıca, hava sıcaklığının güneş ışınım değerleriyle uyumlu bir şekilde değiştiği anlaşılmakta olup hava sıcaklığının yaz ayı günlerinde ortalama 30°C ’nin üzerine çıktığı ve kış ayı günlerinde ise ortalama 10°C ’ye kadar indiği anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Günlük toplam global güneş ışınımı ve günlük ortalama hava sıcaklığı.

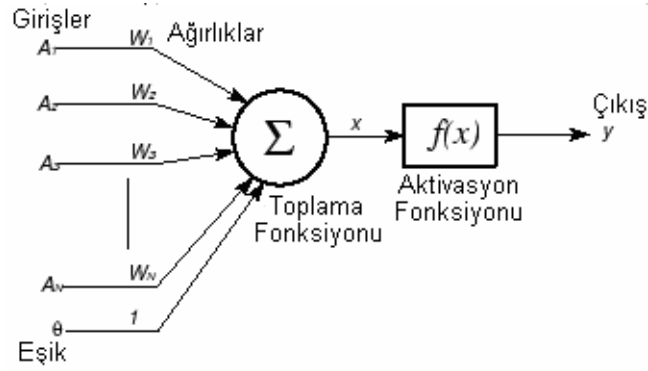
2.2. Yapay Sinir Ağı Uygulaması (Application of Artificial Neural Network)

Yapay sinir ağları, modellenen ve öğrenen algoritmaya sahip sistemler olup insan beyninin sinir hücresi yapısından esinlenerek geliştirilmiştir. Modelleme ve kontrol konularında geniş uygulama alanları bulmuştur [42]. Bir YSA süreç elemanları olarak adlandırılan yapay nöronlardan oluşmaktadır [43]. YSA Şekil 3’te gösterildiği gibi; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş temel elemandan oluşmaktadır [44].

Yapay nöron j’nin görevi basittir ve komşu nöronlardan bağlantı ağırlıkları (W_{ij}) ile ağırlıklandırılmış alıcı giriş sinyallerinden (X_i) oluşur. Bu ağırlıklı sinyalin toplamı, nöronun toplam veya net girişini (net_j) sağlar. Daha sonra, nöron j’nin aktivasyon eşiği, pozitif veya negatif θ_j değeriyle, net girdiye eklenir ve net girdiye matematiksel bir fonksiyon (transfer fonksiyonu) uygulanarak, çıktı değeri Y_j hesaplanır ve diğer nöronlara gönderilir. Bu süreç denklem 2.5 ve 2.6’da özetlenmiştir [45].

$$net_j = \sum_i^n X_i W_{ij} - \theta_j \quad 2.5$$

$$Y_j = f(net_j) \quad 2.6$$



Şekil 3. YSA'nın Süreç Elemanları [45].

Güneş ışıınımı değeri birçok parametreye bağılı olduğu için YSA'da çeşitli modeller elde etmek mümkündür. Literatürde yer alan bazı YSA çalışmalarında kullanılan değışkenler, algoritmalar ve performansları Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde literatürde yer alan YSA uygulamalarında güneş ışıınımının başarılı bir şekilde tahmin edildiğı görölmektedir.

Tablo 2. Güneş ışıınımını tahmin etmek için YSA'da kullanılan giriş değışkenleri [46]

Kaynak	Giriş değışken(leri)	Çalışma alanı	Öğrenme algoritması	Çıkış değışkeni	R veya R ²
[46]	Sıcaklık (en yüksek ve en düşük) ve atmosfer dışı ışıınım	İran'nın güneybatısı	LM (Levenberg-Marquardt)	Günlük global güneş ışıınımı	0,8890
[47]	Enlem, boylam, rakım, ay, ortalama güneşlenme süresi ve ortalama sıcaklık	Türkiye	LM, SCG (Scaled conjugate gradient), PCG (Polar-Ribiere conjugate)	Türkiye'nin güneş potansiyeli (aylık veri kullanılmış)	0,9989
[48]	Enlem, boylam, rakım, ay, ortalama güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık ve bağılı nem	Nijerya	LM, SCG	Aylık global güneş ışıınımı	0,9710
[49]	Sıcaklık, bağılı nem, güneşlenme süresi ve yılın günleri	Medine (Suudi Arabistan)	LM	Günlük global güneş ışıınımı	0,9765
[50]	Sıcaklık, bağılı nem, rüzgar hızı ve rüzgar yönü	Mısır	BP	Günlük ve saatlik yayılan fraksiyon	0,9770
[51]	Enlem, boylam, rakım, yılın ayları ve ortalama bulutluluk	Türkiye'nin akdeniz bölgesi	BP	Aylık global güneş ışıınımı	0,9978
[52]	Yılın günleri, günlük ortalama hava sıcaklığı, bağılı nem, güneşlenme süresi, rüzgar hızı ve buharlaşma	Dezful (İran)	LM	Günlük global güneş ışıınımı	0,9957
[53]	Ortalama sıcaklık ve bağılı nem	Onitsha (Nijerya)	-	Günlük global güneş ışıınımı (yatay düzlemde)	Farklı test uygulanmış
[54]	Global güneş ışıınımı, uzun dönem emisyon değerleri, hava sıcaklığı, bağılı nem ve hava basıncı	Turkey	LM	Aylık ortalama günlük toplam global güneş ışıınımı	0,9936
[55]	Yılın günleri, bağılı nem ve günlük ortalama sıcaklık	Abha (Suudi Arabistan)	BP	Günlük global güneş ışıınımı	Farklı test uygulanmış
[56]	Sıcaklık, basınç, rüzgar hızı ve rüzgar yönü	Korsika (Fransa)	LM, BP	Saatlik global güneş ışıınımı	Farklı test uygulanmış
[57]	Güneşlenme süresi, maksimum sıcaklık, bulut kapallığı, enlem, boylam ve rakım	Uganda	LM (en iyi sonucu veren algoritma)	Aylık ortalama günlük global güneş ışıınımı (yatay düzlemde)	0,9740
[58]	Gece ve gündüz toprak sıcaklığı farkı, bitki örtüsü indeksi, gün sayısı, yerel hava basıncı oranı ve deniz seviyesinde	Tibet Platosu	SCG, BR		0,89-0,99
[59]	Enlem, boylam, rakım ve güneşlenme süresi	Suudi Arabistan Krallığı	BP	Aylık ortalama günlük global güneş ışıınımı	Farklı test uygulanmış
[60]	Meteorolojik tahminler	Le Bourget du Lac (Fransa)	BP	Günlük global güneş ışıınımı (yatay düzlemde)	Farklı test uygulanmış
[61]	Yılın ayları, enlem, boylam, rakım ve güneşlenme oranı	Umman	BR	Aylık global güneş ışıınımı	Farklı test uygulanmış

Bu çalışmada, YSA tasarımı için Matlab nntool arayüzü kullanılmıştır. Nöron ve tabaka sayısı değiştirilerek en iyi sonucu veren yüz nöron ve iki tabakadan oluşan ileri beslemeli YSA modeli tasarlanmıştır. Bu modelde sırasıyla; Levenberg Marquand (Trainlm) geri yayılım eğitim algoritması, Logsig transfer fonksiyonu ve Purelin transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Ağın eğitilmesi işleminde girdi olarak, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan ölçülmüş günlük ortalama hava sıcaklığı (°C), bağıl nem (%) ve rüzgâr hızı (m/s) verileri kullanılmıştır. Çıktı olarak ise, 2017 yılında ölçülen günlük toplam global güneş ışınımı değerleri (Wh/m²) kullanılmıştır. Ağın eğitiminde, iterasyon ve doğrulama hata sayısı 100, gradient değeri 1e-7 ve performans fonksiyonu ortalama karesel hata (mse) olarak seçilmiştir. Ayrıca ağda kullanılan dividerand algoritması verileri kendi içerisinde %70 eğitim, %15 test ve %15 doğrulama için rastgele ayırmıştır.

2.3. İstatiksel Değerlendirme (Statistical Evaluation)

Global güneş ışınımı tahmininde literatürde yaygın olarak R², RMSE, MBE, MABE, MPE ve MAPE istatistiksel parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler aşağıda verilmiştir:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{\hat{o}})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{\hat{o}} - \bar{Q}_{\hat{o}})^2} \quad 2.7$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum (Q_{i\hat{o}} - Q_{ih})^2 \right]^{0.5} \quad (kWhm^{-2} gün^{-1}) \quad 2.8$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum Q_{i\hat{o}} - Q_{ih} \quad (kWhm^{-2} gün^{-1}) \quad 2.9$$

$$MABE = \frac{1}{n} \sum |Q_{i\hat{o}} - Q_{ih}| \quad (kWhm^{-2} gün^{-1}) \quad 2.10$$

$$MPE = \frac{100}{n} \sum \frac{Q_{i\hat{o}} - Q_{ih}}{Q_{i\hat{o}}} \quad (\%) \quad 2.11$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum \left| \frac{Q_{i\hat{o}} - Q_{ih}}{Q_{i\hat{o}}} \right| \quad (\%) \quad 2.12$$

Belirlilik katsayısı (R²), bir değişkenin diğer bir değişkene bağlılığın göstergesi olup 0<R²<1 arasında değer almaktadır. Bu değer bire ne kadar yakınsa değişkenler arasında o derece güçlü bir bağ vardır.

Ortalama hata kareleri kökü (RMSE), ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki sapmanın göstergesi olup incelenen modelin kısa dönem performansı hakkında bilgi verir. RMSE değeri sıfıra ne kadar yakınsa modelin performansı o kadar yüksektir.

Ortalama sapma hatası (MBE), incelenen modelin uzun dönem performansı hakkında bilgi verir. MBE değeri sıfıra ne kadar yakınsa modelin performansı o kadar yüksektir. Bu değer pozitif olursa hesaplanan değer üstünde negatif olursa hesaplanan değer altında bir tahmin yapılmıştır.

Ortalama mutlak sapma hatası (MABE), MBE değerinin mutlak değerine eşittir. Bu değerde aynı şekilde sıfıra ne kadar yakınsa modelin performansı o kadar yüksektir.

Ortalama hata yüzdesi (MPE), ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki sapmanın yüzdesel değerinin göstergesi olup değeri sıfıra ne kadar yakınsa modelin performansı o kadar yüksektir.

Ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), MPE değerinin mutlak değerine eşittir. Bu değerde aynı şekilde sıfıra ne kadar yakınsa modelin performansı o kadar yüksektir.

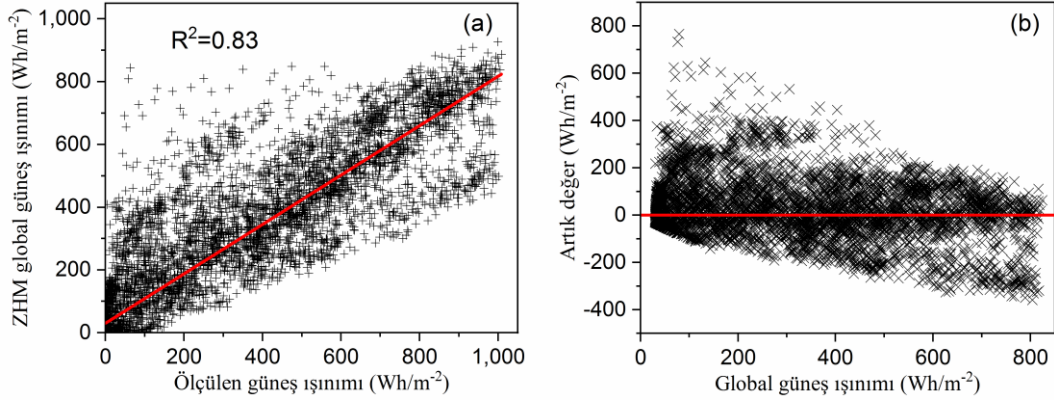
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma kapsamında incelenen modellerin performansları Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, belirlilik katsayısına (R^2) göre en iyi performansı Model 37 (Zhang ve Huang; $R^2=0,83$) göstermiştir. Bunu performans olarak sırasıyla model 31 (Bulut ve Büyükalaca; $R^2=0,78$), Angstrom-Prescott tipi Mersin'e uyarlanan Model 38 ($R^2=0,75$) ve YSA kullanılarak oluşturulan Model 40 ($R^2=0,75$) takip etmektedir. Model 37'nin diğer modellere göre iyi performans göstermesi saatlik olması, hava sıcaklığı, bağıl nem rüzgâr hızı ve en önemlisi bulut kapallılığı parametrelerini içermesidir. Yaman ve Arslan [64] bu modelin başarısını bulut kapallılığının dikkate alınmasına bağlamıştır. Model 31'in sadece gün sayısına bağlı olmasına rağmen iyi performans göstermesinin sebebi Mersin için önerilen katsayılarla göre hesaplanmış olmasıdır.

Tablo 3. Modellerin istatistiksel sonuçları

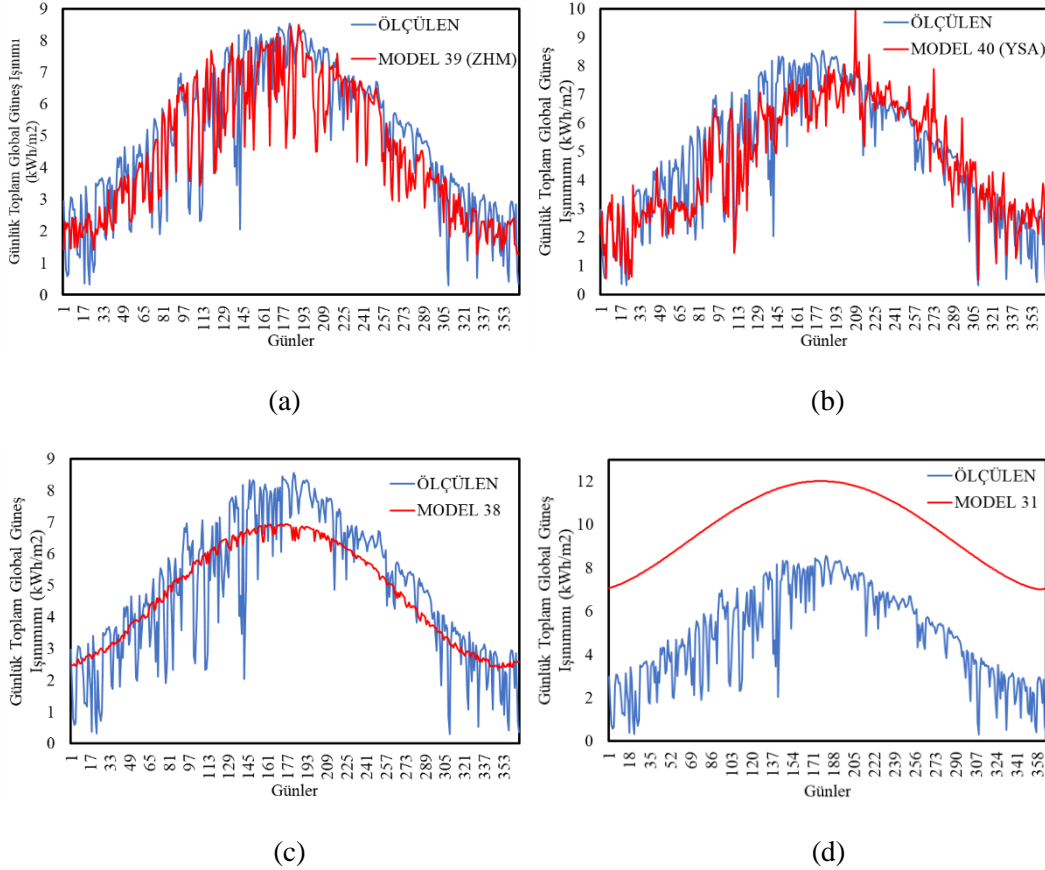
Model	R^2	RMSE	MBE	MABE	MPE	MAPE	Model	R^2	RMSE	MBE	MABE	MPE	MAPE
1	0,62	1,47	0,62	1,19	-3,45	38,75	21	0,46	2,84	-1,49	2,40	-53,45	72,26
2	0,52	1,63	0,19	1,19	-14,41	42,50	22	0,45	1,86	0,31	1,35	-10,45	45,15
3	0,57	1,49	0,19	1,09	-15,18	40,63	23	0,64	1,60	0,90	1,38	0,82	41,28
4	0,57	1,49	0,32	1,10	-12,21	40,01	24	0,57	1,49	0,31	1,10	-12,36	40,00
5	0,55	1,54	0,21	1,12	-14,50	41,06	25	0,59	1,42	0,21	1,03	-16,16	39,90
6	0,61	1,47	0,60	1,19	-6,17	39,47	26	0,59	1,42	0,24	1,05	-14,49	39,68
7	0,52	1,63	0,11	1,20	-16,30	43,07	27	0,60	1,50	0,62	1,20	-5,95	39,82
8	0,57	1,52	0,45	1,15	-8,90	39,88	28	0,49	1,72	0,32	1,26	-10,74	42,89
9	0,53	1,63	0,51	1,21	-6,61	40,67	29	0,65	1,29	0,15	0,98	-17,60	39,08
10	0,54	1,55	0,29	1,14	-12,30	40,78	30	0,56	1,52	0,26	1,10	-13,29	40,45
11	0,54	1,56	0,32	1,13	-11,97	40,62	31	0,78	5,01	-4,89	4,89	-175,65	175,61
12	0,56	1,52	0,26	1,10	-13,53	40,48	32	0,62	1,85	1,22	1,60	6,84	43,57
13	0,58	1,48	-0,13	1,04	-24,03	42,30	33	0,38	2,54	1,88	2,15	23,80	50,61
14	0,52	1,64	0,43	1,20	-8,50	41,06	34	0,01	2,63	1,97	2,23	25,56	51,75
15	0,51	1,67	0,43	1,20	-8,58	41,25	35	0,59	1,40	-0,20	0,96	-33,32	45,05
16	0,59	1,42	0,19	1,03	-16,78	39,95	36	0,62	1,89	1,27	1,64	8,09	43,83
17	0,61	1,52	0,68	1,24	-4,61	39,97	37 ZHM	0,83	119,58	13,39	64,43	16,33	24,14
18	0,50	1,71	0,33	1,25	-10,33	42,55	38 Lineer	0,75	1,13	0,12	0,92	-21,33	38,94
19	0,62	1,36	0,11	1,01	-18,06	39,85	39 YSA	0,75	1,10	0,18	0,85	-7,92	27,67
20	0,55	1,55	0,26	1,12	-13,41	40,82							

Belirlilik katsayısına (R^2) göre en iyi performansı gösteren Model 37'ye (ZHM) karşılık ölçülen saatlik global güneş ışınımı verileri Şekil 4(a)'da ve artık değerler ise Şekil 4(b)'de göstermiştir.



Şekil 4. Ölçülen global güneş ışınlamına karşılık güneş ışınlam modeli (a) ZHM modeli ve (b) Artık değer.

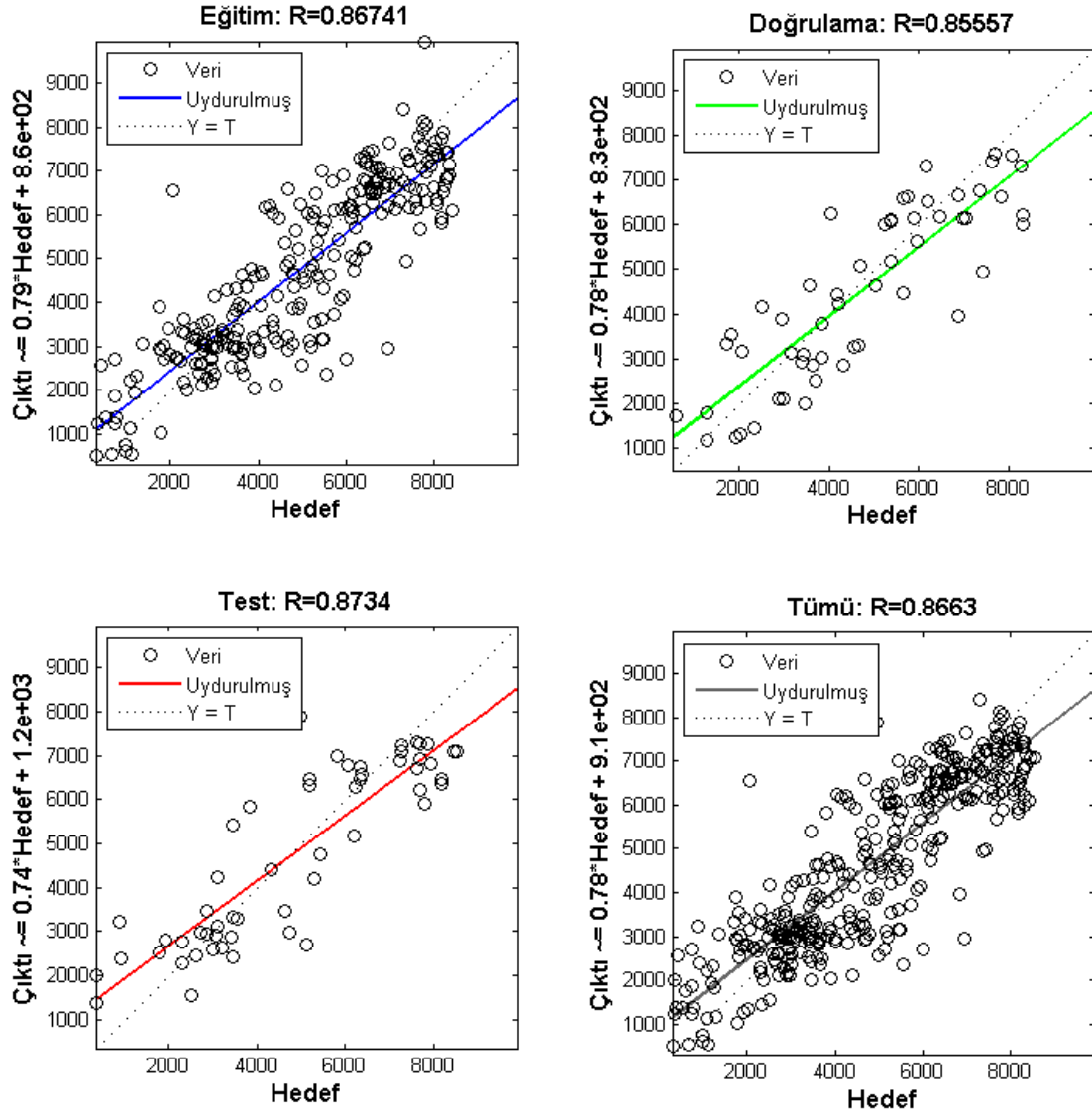
Ölçülen ve bazı modellerle tahmin edilen global güneş ışınlam değerleri günlük olarak Şekil 5'te verilmiştir. Buna göre, ölçülen değer grafiğiyle en çok benzer eğilim gösteren model ZHM modelidir (Şekil 5a) ve bunu YSA modeli (Şekil 5b) takip etmiştir. Model 38 (Şekil 5c) ve Model 31 (Şekil 5d) için aynı yorum yapılamaz. Çünkü bu modeller basit regresyon analiziyle oluşturulmuş modellerdir.



Şekil 5. Ölçülen ve modeller ile tahmin edilen ışınlam değerleri.

YSA'da kullanılan dividerand algoritması 365 veriyi kendi içerisinde %70 eğitim (274 veri), %15 (55 veri) test ve %15 (55 veri) doğrulama için rastgele ayırmıştır. Bunların ayrı ayrı ve tamamının performansını gösteren regresyon eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre, belirlilik katsayısı (R^2); eğitim, test, doğrulama ve tüm veriler için sırasıyla 0,7524, 0,7628, 0,7320 ve 0,7504 değerlerini almaktadır. Bu değerlerin birine yakınlığı modelin başarısını göstermekte olup ZHM saatlik modeline göre performansı düşüktür. Bunun nedeni, bu çalışmada bir yıllık ölçülmüş verilerin kullanılmasıdır. YSA modelinin başarısı modelde uzun yıllar ölçülmüş verilerin kullanılmasına, parametre sayısı ve türüne bağlı olduğu düşünülmektedir. Çünkü literatürdeki çalışmalarda (Tablo 2'de verilen çalışmalar gibi) YSA ile çok iyi tahmin sonuçları elde

edilmiştir. ZHM modelinin başarısının ise bulutluluk oranı parametresinin kullanılması ve bu modelin saatlik tahmin sonuçları vermesinden ötürü olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. YSA regresyon eğrileri.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, literatürde bulunan bazı modeller incelenerek ve yapay sinir ağları kullanılarak yatay düzleme gelen günlük global güneş ışınımının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Global güneş ışınımının atmosfer dışı global güneş ışınımına oranı (Q/Q_0) ile güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı (t/t_0) arasında ilişki kurularak oluşturulmuş modeller bölgelere göre basit regresyon analizi sonucunda elde edildiği için düşük performans göstermiş olup Mersin için kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Bu yüzden Mersin için regresyon analizi yapılarak Angstrom-PreScott tipi Model 38 oluşturulmuştur. Bu modelin belirlilik katsayısı (R^2) 0,75, ortalama mutlak sapma değeri (MAPE) ise %38,94 olarak bulunmuştur.

Sadece gün sayısına bağlı olarak oluşturulmuş ve literatürde mevcut Mersin için kullanılacak katsayıların önerildiği Model 31 (Bulut ve Büyükalaca) için belirlilik katsayısı (R^2) 0,78 olarak bulunmuştur, ancak ortalama mutlak sapma değerinin (MAPE) %175,61 olması modelin başarısızlığını göstermektedir.

Gün içi maksimum ve minimum hava sıcaklığına bağlı geliştirilmiş 32-36 aralığındaki modeller düşük performans gösterdiği için Mersin için kullanılamayacağı anlaşılmıştır.

Bulut kapalılığı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızına bağlı saatlik global güneş ışınımını tahmin etmek için geliştirilmiş Model 37'nin belirlilik katsayısı (R^2) 0,83 olarak bulunmuştur. Bu modelin iyi performans göstermesinin nedeni diğer modellerden farklı olarak daha çok parametreyi dikkate alarak ve bölgenin meteoroloji verilerini kullanarak oluşturulmuş olması ile saatlik olmasıdır.

Güneş ışınımını tahmin etmek için ayrıca oluşturulan YSA modelinde belirlilik katsayısı (R^2) 0,75 ve ortalama mutlak sapma değeri (MAPE) %27,67 olarak bulunmuştur. Bu modelin çok iyi performans göstermemesinin nedeni çalışmada bir yıllık ölçülmüş verilerin kullanılmış olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, incelenen ve oluşturulan modeller içerisinde en iyi performansı Yaman ve Arslan [64] tarafından katsayıları düzenlenen ZHM modeli göstermiştir. Daha iyi sonuçların elde edilmesi için geliştirilecek modellerde; güneş ışınımını etkileyen parametrelerin sayısının artırılması, algoritmaların geliştirilmesi ve uzun dönem ölçüm verilerinin kullanılmasını önerilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından 2017-2-AP4-2584 no'lu proje ile desteklenmiştir.

SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS and ABBREVIATIONS)

a, b, c, d	: Denklem katsayıları
$c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, d, k$: ZHM modelinin katsayıları
CC	: Bulut kapalılığı
h	: Saat açısı ($^{\circ}$)
e	: Enlem ($^{\circ}$)
n	: Gün sayısı
t	: Güneşlenme süresi (saat)
t_0	: Gün uzunluğu (saat)
T_{min}, T_{max}	: Minimum ve maksimum sıcaklık ($^{\circ}C$)
ΔT	: Sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)
Q, Q_0	: Günlük global ve atmosfer dışı güneş ışınımı ($kWh\ m^{-2}$)
$Q_{ih}, Q_{iö}$: Hesaplanan ve ölçülen ışınım ($kWh\ m^{-2}$)
RH	: Bağıl nem (%)
I_{model}	: Anlık global güneş ışınımı ($kWh\ m^{-2}$)
I_{GS}	: Güneş sabiti ($1367\ W\ m^{-2}$)
V_r	: Rüzgâr hızı (m/s)
z	: Rakım (m)
YSA	: Yapay sinir ağı
ZHM	: Zhang ve Huang modeli
RMSE	: Ortalama hata kareleri kökü
MBE	: Ortalama sapma hatası
MABE	: Ortalama mutlak sapma hatası
MAPE	: Ortalama mutlak hata yüzdesi
MPE	: Ortalama hata yüzdesi

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] B. Bayhan, G. Arslan, Applicability of solar and wind energy technologies for a non-residential building. Turkish Journal of Engineering, 2: 1 (2018) 27-34.
- [2] G. Arslan, B. Bayhan, Solar energy potential in Mersin and a simple model to predict daily solar radiation. Mugla Journal of Science and Technology, Special Issue (2016) 1-4.
- [3] M. Şahan, Y. Okur, Akdeniz bölgesine ait meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla güneş enerjisinin tahmini. SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 11: 1 (2016) 61-71.

- [4] M. A. Alsaad, Characteristic distribution of global radiation for Amman, Jordan. *Solar Wind Technol.*, 7 (1990) 261–266.
- [5] S. Jain, P. C. Jain, A comparison of the Angstrom-type correlations and the estimation of monthly average daily global irradiation. *Solar Energy*, 40 (1988) 93–98.
- [6] J. E. Hay, Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces. *Solar Energy* 23 (1979) 301-307.
- [7] P. V. C. Luhanga, J. Andringa, Characteristic of solar radiation at Sebele, Gaborone, Botswana. *Solar Energy*, 44 (1990) 71–81.
- [8] J. Almorox, C. Hontoria, Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Convers. Manage.*, 45 (2004) 1529–1535.
- [9] M. Ozturk, An Evaluation of global solar radiation empirical formulations in Isparta. Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37 (2015) 2474–2486.
- [10] V. Bahel, H. Bakhsh, R. Srinivasan, A correlation for estimation of global solar radiation. *Energy*, 12 (1987) 131–135.
- [11] A. Louche, G. Notton, P. Poggi, G. Simonnot, Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a French Mediterranean site. *Solar Energy*, 46 (1991) 261–266.
- [12] B. G. Akinoğlu, A. Ecevit, A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. *Solar Energy*, 15 (1990) 865–872.
- [13] H. Ogelman, A. Ecevit, E. Tasdemiroglu, A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data. *Solar Energy*, 33 (1984) 619–625.
- [14] E. Tasdemiroglu, R. Sever, An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey. *Energy Convers. Manage.*, 31 (1991b) 599–600.
- [15] B. Aksoy, Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations. *Renewable Energy*, 10 (1997) 625–633.
- [16] R. Said, M. Mansor, T. Abuain, Estimation of global and diffuse radiation at Tripoli. *Renewable Energy*, 14 (1998) 221–227.
- [17] I. T. Togrul, H. Togrul, Global solar radiation over Turkey: Comparison of predicted and measured data. *Renewable Energy*, 25 (2002) 55–67.
- [18] S. Tahran, A. Sarı, Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey. *Energy Convers. Manage.*, 46 (2005) 605–613.
- [19] Z. Jin, W. Yezheng, Y. Gang, General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China. *Energy Convers. Manage.*, 46 (2005) 257–268.
- [20] H. Aras, O. Balli, A. Hepbasli, Global solar radiation Potential. Part 1. Model development. *Energy Sources Part B*, 1 (2006) 303–315.
- [21] V. Bahel, R. Srinivasan, H. Bakhsh, Solar radiation for Dhahran, Saudi Arabia. *Energy* ,11 (1986) 985–989.
- [22] T. D. M. A. Samuel, Estimation of global radiation for Sri Lanka. *Solar Energy*, 47 (1991) 333–337.
- [23] G. Lewis, An empirical relation for estimating global irradiation for Tennessee, USA. *Energy Convers. Manage.*, 33 (1992) 1097–1099.

- [24] K. Ulgen, A. Hepbasli, Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models. *Energy Sources*, 26 (2004) 521–530.
- [25] A. Kılıç, A. Öztürk, Güneş enerjisi. Kipaş Dağıtımçılık, (1983).
- [26] H. Bulut, O. Büyükalaca, Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey. *Applied Energy*, 84 (2007) 477-491.
- [27] G. H. Hargreaves, Z. A. Samani, Estimating potential evapotranspiration. *J. Irrig. and Drain. Engr.*, 108 (1982) 223-230.
- [28] K. L. Bristow, G. S. Campbell, On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric. For. Meteorol.*, 31 (1984) 159-166.
- [29] M. Donatelli, G. S. Campbell, A simple model to estimate global solar radiation. *Proceedings of the 5th European Society of Agronomy Congress, Nitra, (Slovak Republic 1998)*, p.133.
- [30] D. G. Goodin, J. M. S. Hutchinson, R. L. Vanderlip, M. C. Knapp, Estimating solar irradiance for crop modeling using daily air temperature data. *Agron. J.*, 91 (1999) 845-851.
- [31] J. G. Annandale, N. Z. Jovanic, N. Benade, R. G. Allen, Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. *Irrig. Sci.*, 21 (2002) 57-67.
- [32] M. Bou-Rabee, et al., Using artificial neural networks to estimate solar radiation in Kuwait. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72 (2017) 434-438.
- [33] M. Vakili, et al., Evaluating the effect of particulate matter pollution on estimation of daily global solar radiation using artificial neural network modeling based on meteorological data. *Journal of cleaner production*, 141 (2017) 1275-1285.
- [34] X. Xue, Prediction of daily diffuse solar radiation using artificial neural networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42:47 (2017) 28214-28221.
- [35] C. Renno, F. Petito, A. Gatto, ANN model for predicting the direct normal irradiance and the global radiation for a solar application to a residential building. *Journal of Cleaner Production* 135 (2016) 1298-1316.
- [36] L. Zou, et al., Estimation of global solar radiation using an artificial neural network based on an interpolation technique in southeast China. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 146 (2016) 110-122.
- [37] M. Sinecen, B. Kaya, Ö. Yıldız, Aydın İlinde İnsan Sağlığını Birincil Dereceden Etkileyen Hava Değişkenlerine Yönelik Yapay Sinir Ağı Tabanlı Erken Uyarı Modeli. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5:4 (2017) 121-131.
- [38] F. Yıldız, İ. Gurer, Sultansazlığı sulak alanı için buharlaşma yöntemlerinin karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2:3 (2014) 247-254.
- [39] <http://www.enerjiatlasi.com> Erişim tarihi: 23 Nisan 2018.
- [40] M. Tırıs, C. Tırıs, Y. Erdalli, Water heating systems by solar energy. Marmara Research Centre, Institute of Energy Systems and Environmental Research, Nato Tucoating, Gebze, Kocaeli, Turkey (1997).
- [41] A. Angstrom, Solar and terrestrial radiation, *Q. J. R. Meteorolog. Soc.*, 50 (1924) 121–125.
- [42] E. Deniz, K. Atik, Güneş ışınım şiddeti tahminlerinde yapay sinir ağları ve regresyon analiz yöntemleri kullanımının incelenmesi. *Isı bilimi ve tekniği dergisi*, 27: 2 (2007) 15-20.

- [43] R. Trippi, E. Turban, *Neural Networks in Finance and Investing*. Chicago: Irwin Publishing, 1996.
- [44] L. H. Tsaukalas, R. E. Uhrig, *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*. New York: Wiley, 1997.
- [45] A. Zafari, M. H. Kianmehr, R. Abdolazadeh, Modeling the effect of extrusion parameters on density of biomass pellet using artificial neural network. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 2.1 (2013) 9.
- [46] Ö. Çelik, A. Teke, H. B. Yıldırım, The optimized artificial neural network model with Levenberg–Marquardt algorithm for global solar radiation estimation in Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Journal of cleaner production*, 116 (2016) 1-12.
- [47] A. Rahimikhoob, Estimating global solar radiation using artificial neural network and air temperature data in a semi-arid environment. *Renew. energy*, 35 (2010) 2131-2135.
- [48] A. Sozen, E. Arcaklioglu, M. Ozalp, Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Convers. Manag.*, 45 (2004) 3033-3052.
- [49] D. A. Fadare, Modelling of solar energy potential in Nigeria using an artificial neural network model. *Appl. energy*, 86 (2009) 1410-1422.
- [50] M. Benghanem, A. Mellit, S. N. Alamri, ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data: a case study. *Energy Convers. Manag.*, 50 (2009) 1644-1655.
- [51] H. K. Elminir, Y.A. Azzam, F. I. Younes, Prediction of hourly and daily diffuse fraction using neural network, as compared to linear regression models. *Energy*, 32 (2007) 1513-1523.
- [52] A. Koca, H. F. Oztop, Y. Varol, G. O. Koca, Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey. *Expert Syst. Appl.*, 38 (2011) 8756-8762.
- [53] M. A. Behrang, E. Assareh, A. Ghanbarzadeh, A. R. Noghrehabadi, The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data. *Sol. energy*, 84 (2010) 1468-1480.
- [54] G. A. Agbo, G. F. Ibeh, J. E. Ekpe, Estimation of global solar radiation at Onitsha with regression analysis and artificial neural network models. *Res. J. Recent Sci.*, 1 (2012) 27-31.
- [55] M. Ozgoren, M. Bilgili, B. Sahin, Estimation of global solar radiation using ANN over Turkey. *Expert Syst. Appl.*, 39 (2012) 5043-5051.
- [56] S. Rehman, M. Mohandes, Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity. *Energy policy*, 36 (2008) 571-576.
- [57] A. Sfetsos, A. H. Coonick, Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques. *Sol. energy*, 68 (2000) 169-178.
- [58] J. Mubiru E. J. K. B. Banda, Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks. *Sol. energy*, 82 (2008) 181-187.
- [59] J. Qin, Z. Chen, K. Yang, S. Liang, W. Tang, Estimation of monthly-mean daily global solar radiation based on MODIS and TRMM products. *Appl. energy*, 88 (2011) 2480-2489.
- [60] M. Mohandes, S. Rehman, T. O. Halawani, Estimation of global solar radiation using artificial neural networks. *Renew. energy*, 14 (1998) 179-184.
- [61] B. Amrouche, L.X. Pivert, Artificial neural network based daily local forecasting for global solar radiation. *Appl. energy*, 130 (2014) 333-341.

- [62] A.S.S. Dorvlo, J.A. Jervase, A. Al-Lawati, Solar radiation estimation using artificial neural networks. *Appl. Energy*, 71 (2002) 307-319.
- [63] Q. Y. Zhang, Y. J. Huang, Development of typical year weather files for Chinese locations, *ASHRAE Transactions*, 108 (2002) 1063-1075.
- [64] K. Yaman, G. Arslan, The impact of hourly solar radiation model on building energy analysis in different climatic regions of Turkey. *Building Simulation*, 11: 3 (2018) 483-495.