



Ankara İlinin Uzun Dönem Global Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi ve Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi ve Eğri Uydurma Metotlarıyla Modellenmesi

Mehmet YEŞİLBUDAK^{1,*}, Medine ÇOLAK², Ramazan BAYINDIR²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir, Türkiye.

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye.

Öz

Güvenli, çevre dostu ve sürdürülebilir olan fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulumlarında güneş parametreleri hakkındaki bilgiler önemlidir. Bu çalışmada, öncelikle, Ankara ilinin uzun dönem global güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı verileri yıllık, aylık ve günlük bazda detaylı olarak analiz edilmiştir. Sonrasında, uzun dönem aylık toplam global güneş ışınım şiddeti, aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık ortalama hava sıcaklığı verilerinin modellenmesi amacıyla polinom, Gauss ve Fourier olmak üzere üç farklı ampirik metod kullanılmıştır. Söz konusu ampirik metodların veri modelleme performanslarını kıyaslamak için belirlilik katsayısı ve karekök ortalama hata istatistiksel test ölçekleri olarak hesaplanmıştır. En iyi sonuçları sağlayan ampirik metodlar Ankara iline ait güneş karakteristiklerinin yüksek kararlılıkta modellenmesine imkan vermiş ve elde edilen çıktılar benzer iklim koşullarına sahip diğer yerler için önemli bir kaynak teşkil etmektedir.

Analysis of Long-Term Global Solar Radiation, Sunshine Duration and Air Temperature Data of Ankara and Modeling with Curve Fitting Methods

Abstract

The information about solar parameters is important in the installation of photovoltaic energy systems that are reliable, environmentally friendly and sustainable. In this study, initially, long-term global solar radiation, sunshine duration and air temperature data of Ankara are analyzed on the annual, monthly and daily basis, elaborately. Afterwards, three different empirical methods that are polynomial, Gaussian and Fourier are used for the purpose of modeling long-term monthly total global solar radiation, monthly total sunshine duration and monthly mean air temperature data. The coefficient of determination and the root mean square error are computed as statistical test metrics in order to compare data modeling performance of the mentioned empirical methods. The empirical methods that provide the best results enable to model the solar characteristics of Ankara more accurately and the achieved outcomes constitute the significant resource for other locations with similar climatic conditions.

Makale Bilgisi

Başvuru: 05/09/2017

Düzeltilme: 20/11/2017

Kabul: 22/11/2017

Anahtar Kelimeler

Global Güneş Işınım Şiddeti

Güneşlenme Süresi

Hava Sıcaklığı

Veri Analizi

Eğri Uydurma Metotları

Modelleme

Keywords

Global Solar Radiation

Sunshine Duration

Air Temperature

Data Analysis

Curve Fitting Methods

Modeling

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyadaki brüt elektrik enerjisi üretimi 1974 yılında 6287 TWh iken 2014 yılında 23815 TWh'a ulaşmıştır. Buna karşın, dünyadaki toplam elektrik enerjisi tüketimi 2014 yılında 19841 TWh olarak gözlenmiştir [1]. 2040 yılında ise dünyadaki elektrik enerjisi talebinin 34250 TWh olması beklenirken, bunun yaklaşık 14271 TWh'nın yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması planlanmaktadır [2]. Dolayısıyla, fosil yakıtların gün geçtikçe azalması, hava kirliliğinin giderek artması ve küresel ısınma endişelerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisi ise, dünyadaki yenilenebilir elektrik üretiminde hidroelektrik

*İletişim yazarı, e-mail: myesilbudak@nevsehir.edu.tr

ve rüzgar enerji santrallerinden sonra üçüncü en büyük kaynaktır ve global fotovoltaik güç kapasitesi 2015 yılında 227 GW'a çıkmıştır [3, 4].

Fotovoltaik güç sistemlerinin kurulumlarında önemli güneş parametreleri olan global güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı verilerinin modellenmesi amacıyla literatürde pek çok ampirik metot kullanılmıştır. *Despotovic ve ark.* aylık ortalama günlük yayılı güneş ışınım şiddeti modellemesi için doğrusal regresyon modelini kullanmış ve söz konusu modelin ortalama mutlak bağıl hatası 0,060 olarak elde edilmiştir [5]. *Jamil ve ark.* aylık ortalama günlük yayılı güneş ışınım şiddeti modellemesi için doğrusal, logaritmik ve üstel regresyon modellerinden faydalanmış ve bu modellerin karekök ortalama hataları sırasıyla 0.8967 MJ/m², 1.1360 MJ/m² ve 1.7705 MJ/m² olarak bulunmuştur [6]. *Filho ve ark.* günlük yayılı güneş ışınım şiddeti modellemesinde sigmoid lojistik fonksiyonunu kullanarak karekök ortalama hatayı 0,2718 MJ/m² olarak hesaplamışlardır [7]. *Bayrakçı ve ark.* aylık ortalama günlük global güneş ışınım şiddeti modellemesi için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinden faydalanmış ve bu modellerin ortalama mutlak sapma hataları sırasıyla 0,1779 kWh/m² ve 0,1804 kWh/m² olarak bulunmuştur [8]. *Arslanoğlu* aylık ortalama günlük global güneş ışınım şiddeti modellemesi için doğrusal, kuadratik ve kübik regresyon modellerini kullanmış ve söz konusu modellerin belirlilik katsayıları sırasıyla 0,949, 0,981 ve 0,981 olarak elde edilmiştir [9]. *Yıldırım ve ark.* günlük global güneş ışınım şiddeti modellemesinde polinom, sinüzoidal ve Gauss eğri uydurma metotlarını kullanarak belirlilik katsayılarını sırasıyla 0,3811, 0,3643 ve 0,3701 olarak hesaplamışlardır [10]. Ayrıca, söz konusu modellerin karekök ortalama hatalarını 0,30 MJ/m², 0,3041 MJ/m² ve 0,3027 MJ/m² olarak tespit etmişlerdir.

Liao ve ark. yıllık ortalama güneşlenme süresi modellemesi için doğrusal regresyon modelini kullanmış ve söz konusu modelin belirlilik katsayısı 0,80 olarak elde edilmiştir [11]. *Chelbi ve ark.* aylık ortalama günlük güneşlenme süresi modellemesi için doğrusal regresyon modelinden faydalanmış ve bu modelin belirlilik katsayısı 0,7976 olarak bulunmuştur [12]. *Alnaser ve ark.* aylık ortalama güneşlenme süresi modellemesinde polinom ve sinüzoidal eğri uydurma metotlarını kullanarak belirlilik katsayılarını sırasıyla 0,973 ve 0,970 olarak hesaplamışlardır [13]. *El-Metwally* aylık ortalama günlük güneşlenme süresi modellemesinde doğrusal olmayan bir eşitlik önererek karekök ortalama hatayı %2,3 olarak tespit etmiştir [14]. *Zhu ve ark.* günlük hava sıcaklığı modellemesi için doğrusal regresyon modelinden faydalanmış ve bu modelin karekök ortalama hatası 3,17 °C olarak bulunmuştur [15]. *Ho ve ark.* günlük maksimum hava sıcaklığı modellemesi için rastgele orman regresyon modelini kullanmış ve söz konusu modelin ortalama mutlak hatası 1,67 °C olarak elde edilmiştir [16]. *Wenbin ve ark.* günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı modellemesinde sinüzoidal eğri uydurma metodunu kullanarak korelasyon katsayılarını sırasıyla 0,83 ve 0,84 olarak hesaplamışlardır [17]. Ayrıca, günlük maksimum hava sıcaklığı modellemesinde doğrusal regresyon metodu aracılığıyla korelasyon katsayısını 0,69 olarak bulmuşlardır. *Knudby ve ark.* günlük maksimum hava sıcaklığı modellemesinde en küçük kareler regresyonu ve rastgele orman regresyonu modellerini kullanarak ortalama mutlak hataları sırasıyla 1,93 ve 1,82 olarak tespit etmişlerdir [18]. Ayrıca, rastgele orman regresyonu modelinin belirlilik katsayısını 0,3401 olarak hesaplamışlardır.

Bu çalışmada ise, öncelikle, Ankara ilinin uzun dönem global güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı verileri detaylı olarak analiz edilmiş, sonrasında bu verilerin polinom, Gauss ve Fourier eğri uydurma metotları aracılığıyla modellemeleri yapılmıştır. Yapılan analizler sayesinde yıllık, aylık ve günlük verilerle ilgili kapsamlı değerlendirmeler yapılırken, yapılan modellemeler sonucunda çok yüksek belirlilik katsayıları ve çok düşük karekök ortalama hata değerleri başarılmıştır.

2. GLOBAL GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ, GÜNEŞLENME SÜRESİ VE HAVA SICAKLIĞI VERİLERİNİN ANALİZİ (ANALYSIS OF GLOBAL SOLAR RADIATION, SUNSHINE DURATION AND AIR TEMPERATURE DATA)

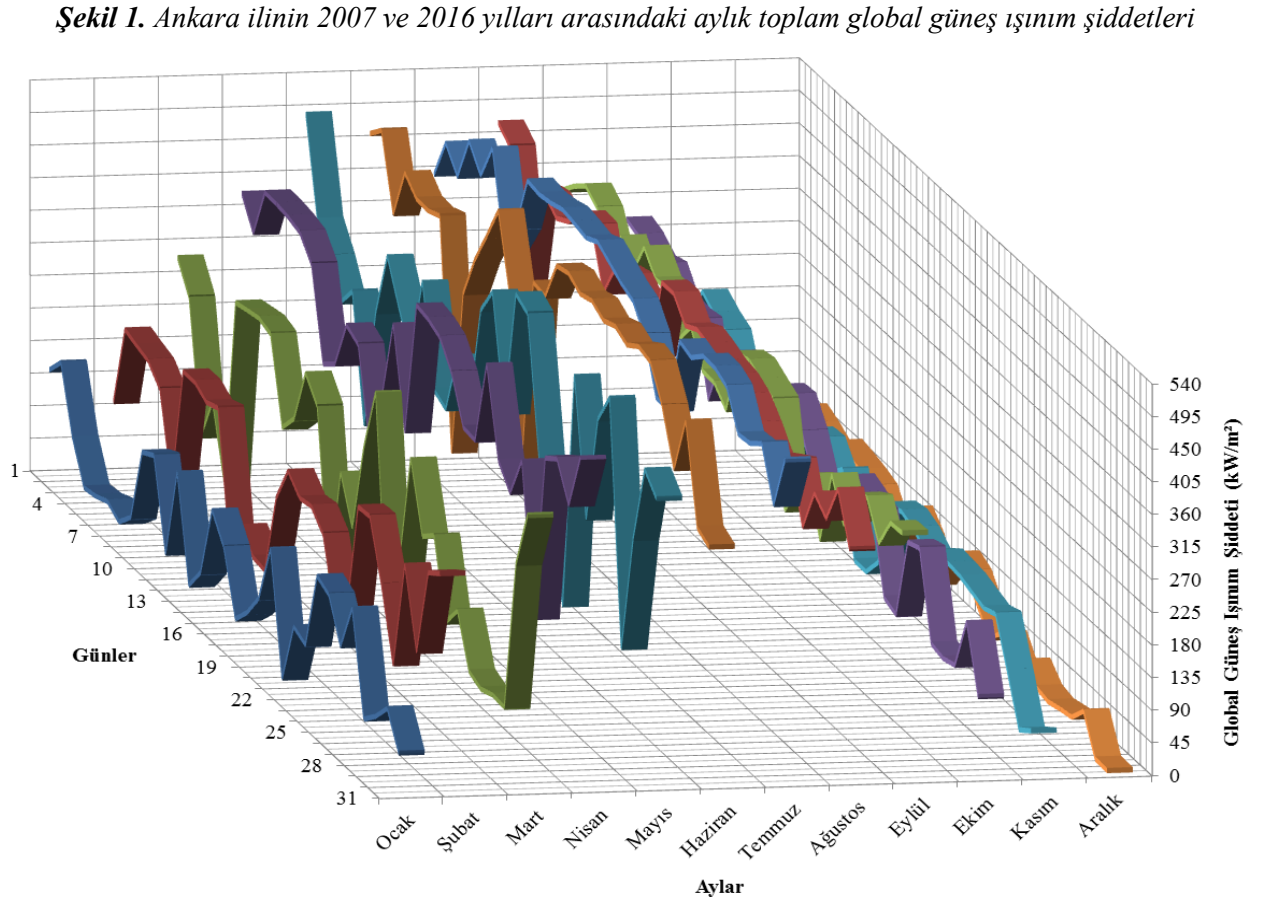
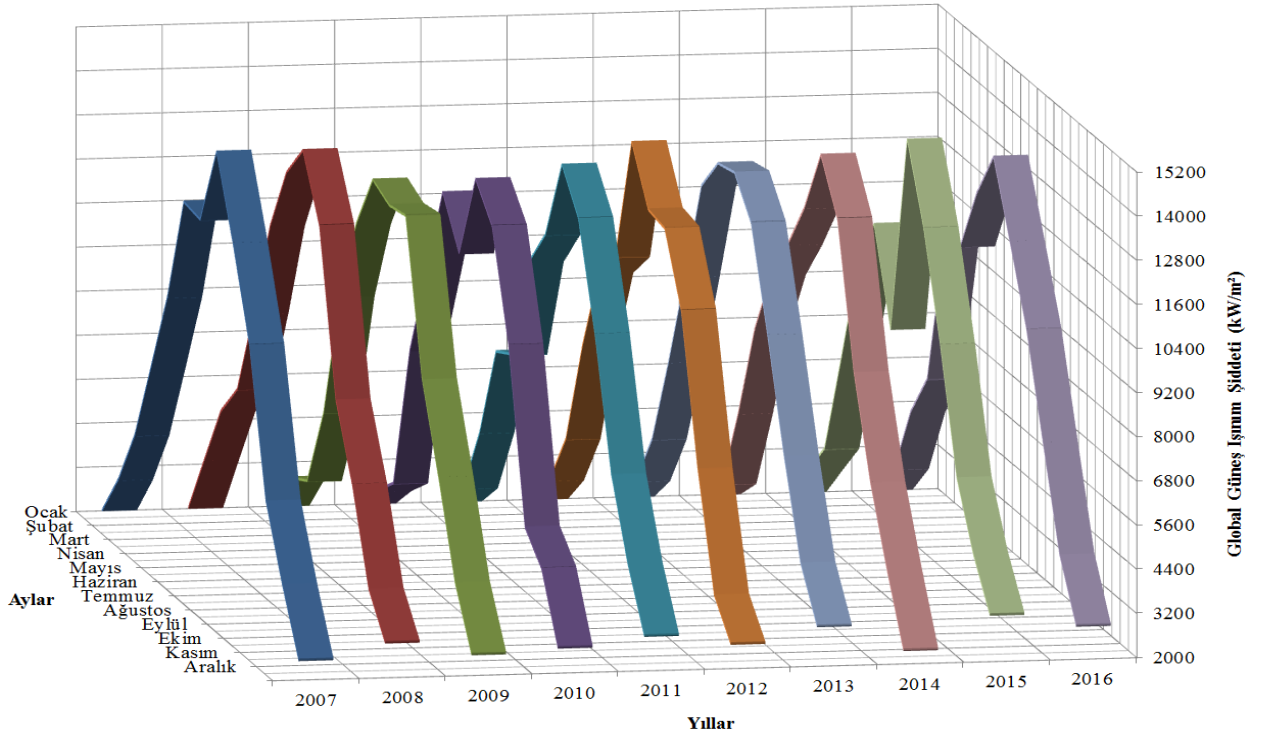
Bu çalışmada kullanılan; Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık toplam global güneş ışınım şiddeti, aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık ortalama hava sıcaklığı verileri ile 2016 yılındaki günlük toplam global güneş ışınım şiddeti, günlük toplam güneşlenme süresi ve günlük ortalama hava sıcaklığı verileri T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır [19]. Gelecek alt bölümlerde bu verilerin görselleştirmeleri ve analizleri detaylı olarak yapılmıştır.

2.1. Global Güneş Işınım Şiddeti Analizi (Global Solar Radiation Analysis)

Bu bölümde, öncelikle Şekil 1 aracılığıyla, Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık toplam global güneş ışınım şiddetleri görselleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 1'de yükseklik eksenini global güneş ışınım şiddetini, genişlik eksenini yılları ve derinlik eksenini ayları temsil etmektedir. Sonrasında Şekil 2 aracılığıyla, Ankara ilinin 2016 yılındaki günlük toplam global güneş ışınım şiddetleri görselleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Şekil 2'de yükseklik eksenini global güneş ışınım şiddetini, genişlik eksenini ayları ve derinlik eksenini günleri belirtmektedir. Şekil 1 ve Şekil 2'de global güneş ışınım şiddetlerinin birimi kW/m^2 olarak tanımlanmıştır.

Şekil 1 detaylı olarak incelendiğinde; maksimum aylık toplam global güneş ışınım şiddetleri 2007, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015 ve 2016 yılları için Temmuz aylarında $14451,31 \text{ kW/m}^2$, $14427,92 \text{ kW/m}^2$, $13520,95 \text{ kW/m}^2$, $13848,79 \text{ kW/m}^2$, $13511,43 \text{ kW/m}^2$, $13931,82 \text{ kW/m}^2$, $14288,82 \text{ kW/m}^2$ ve $13750,45 \text{ kW/m}^2$ olarak gözlenmiştir. 2009 ve 2012 yılları için Haziran aylarında $13183,74 \text{ kW/m}^2$ ve $14026,72 \text{ kW/m}^2$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, son 10 yıl içerisinde maksimum aylık toplam global güneş ışınım şiddeti 2007 yılının Temmuz ayında görülmüştür. Diğer taraftan, minimum aylık toplam global güneş ışınım şiddetleri 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014 ve 2016 yılları için Aralık aylarında $2540,20 \text{ kW/m}^2$, $2958,60 \text{ kW/m}^2$, $2573,85 \text{ kW/m}^2$, $2690,88 \text{ kW/m}^2$, $2674,77 \text{ kW/m}^2$, $2372,83 \text{ kW/m}^2$ ve $2912,14 \text{ kW/m}^2$ olarak kaydedilmiştir. 2011, 2013 ve 2015 yılları için Ocak aylarında $2752,85 \text{ kW/m}^2$, $2829,83 \text{ kW/m}^2$ ve $3001,73 \text{ kW/m}^2$ olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, son 10 yıl içerisinde minimum aylık toplam global güneş ışınım şiddeti 2014 yılının Aralık ayında tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, maksimum yıllık toplam global güneş ışınım şiddeti 2013 yılında $99681,96 \text{ kW/m}^2$ olarak gözlenirken, minimum yıllık toplam global güneş ışınım şiddeti 2015 yılında $93453,36 \text{ kW/m}^2$ olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, son 10 yıl dikkate alındığında ortalama yıllık toplam global güneş ışınım şiddeti $96497,63 \text{ kW/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2 ayrıntılı olarak incelendiğinde; 18 Haziran 2016 tarihinde $514,22 \text{ kW/m}^2$ olarak maksimum günlük toplam global güneş ışınım şiddeti bulunmuştur. Buna karşın, 31 Aralık 2016 tarihinde $9,37 \text{ kW/m}^2$ olarak minimum günlük toplam global güneş ışınım şiddeti elde edilmiştir. Bunlara ilaveten, Temmuz ayında $14202,42 \text{ kW/m}^2$ olarak maksimum aylık toplam global güneş ışınım şiddeti görülürken, Aralık ayında $2165,75 \text{ kW/m}^2$ olarak minimum aylık toplam global güneş ışınım şiddeti tespit edilmiştir.

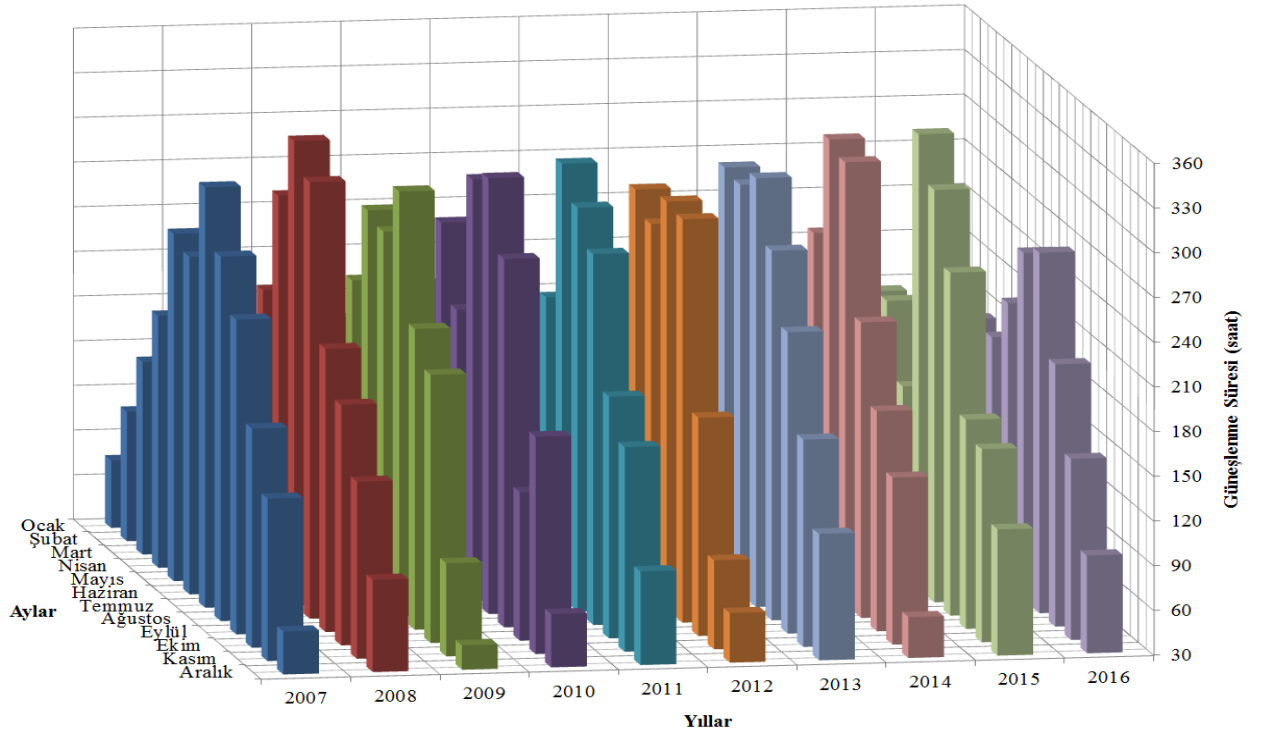


2.2. Güneşlenme Süresi Analizi (Sunshine Duration Analysis)

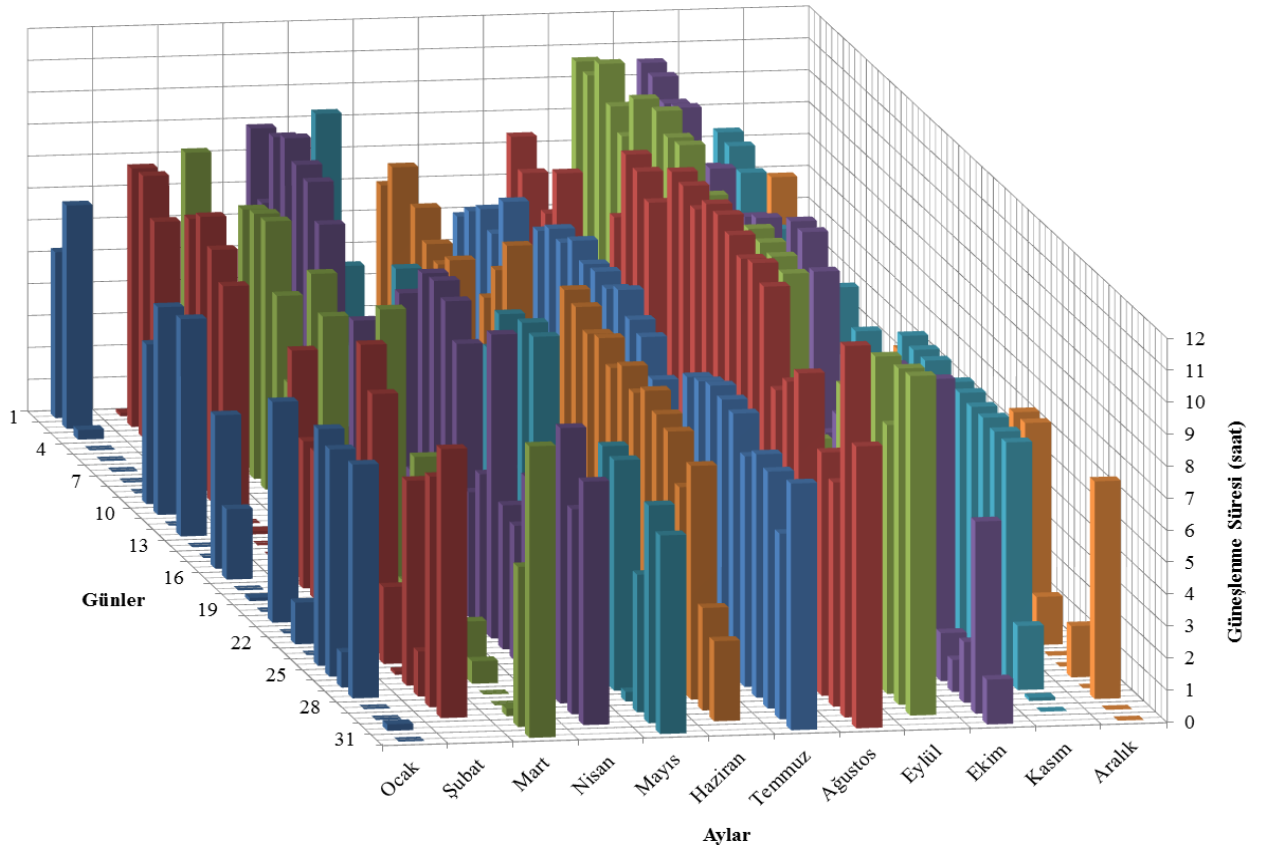
Bu bölümde, öncelikle Şekil 3 aracılığıyla, Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık toplam güneşlenme süreleri görselleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 3’de yükseklik eksenini güneşlenme süresini, genişlik eksenini yılları ve derinlik eksenini ayları temsil etmektedir. Sonrasında Şekil 4 aracılığıyla, Ankara ilinin 2016 yılındaki günlük toplam güneşlenme süreleri görselleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Şekil 4’de yükseklik eksenini güneşlenme süresini, genişlik eksenini ayları ve derinlik eksenini günleri belirtmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4’de güneşlenme sürelerinin birimi saat olarak tanımlanmıştır.

Şekil 3 detaylı olarak incelendiğinde; maksimum aylık toplam güneşlenme süreleri 2007, 2008, 2011, 2014 ve 2015 yılları için Temmuz aylarında 312,10 saat, 341,60 saat, 321,60 saat, 333,20 saat ve 335,20 saat olarak gözlenmiştir. 2009, 2010, 2012, 2013 yılları için Ağustos aylarında 315,10 saat, 322,40 saat, 303,60 saat, 317,70 saat olarak ve 2016 yılı için Eylül ayında 271,90 saat olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, son 10 yıl içerisinde maksimum aylık toplam güneşlenme süresi 2008 yılının Temmuz ayında görülmüştür. Diğer taraftan, minimum aylık toplam güneşlenme süreleri 2007, 2009, 2012 ve 2014 yılları için Aralık aylarında 58,80 saat, 46,40 saat, 63,30 saat ve 57,40 saat olarak kaydedilmiştir. 2008 yılı için Mart ayında 55,90 saat olarak, 2010 yılı için Şubat ayında 57,20 saat olarak ve 2011, 2013, 2015, 2016 yılları için Ocak aylarında 60,00 saat, 42,40 saat, 76,40 saat, 69,80 saat olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, son 10 yıl içerisinde minimum aylık toplam güneşlenme süresi 2013 yılının Ocak ayında tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, maksimum yıllık toplam güneşlenme süresi 2014 yılında 2392,50 saat olarak gözlenirken, minimum yıllık toplam güneşlenme süresi 2016 yılında 2025,60 saat olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, son 10 yıl dikkate alındığında ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2226,20 saat olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4 ayrıntılı olarak incelendiğinde; 15, 18 ve 19 Ağustos 2016 tarihlerinde 12’şer saat olarak maksimum günlük toplam güneşlenme süreleri bulunmuştur. Buna karşın, 2016 yılında Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım ve Aralık aylarının belirli günlerinde 0 saat olarak minimum günlük toplam güneşlenme süreleri elde edilmiştir. Bunlara ilaveten, Ağustos ayında 272,07 saat olarak maksimum aylık toplam güneşlenme süresi görülürken, Aralık ayında 67,70 saat olarak minimum aylık toplam güneşlenme süresi tespit edilmiştir.



Şekil 3. Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık toplam güneşlenme süreleri



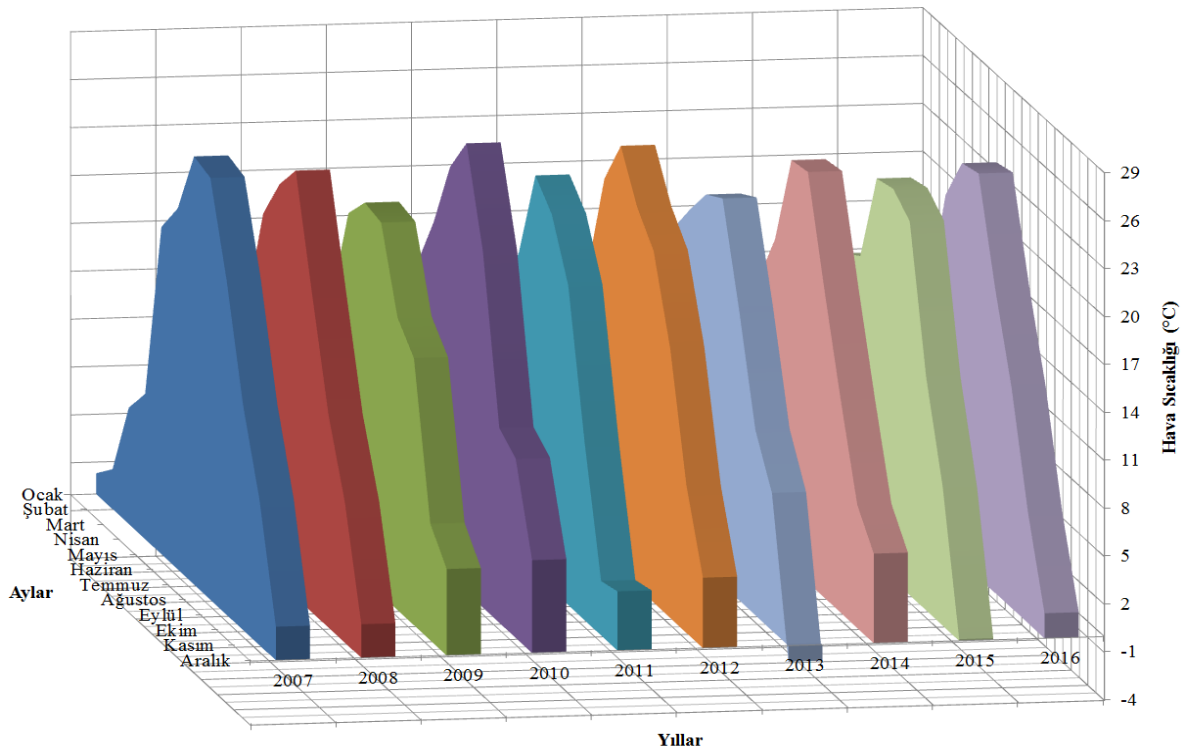
Şekil 4. Ankara ilinin 2016 yılındaki günlük toplam güneşlenme süreleri

2.3. Hava Sıcaklığı Analizi (Air Temperature Analysis)

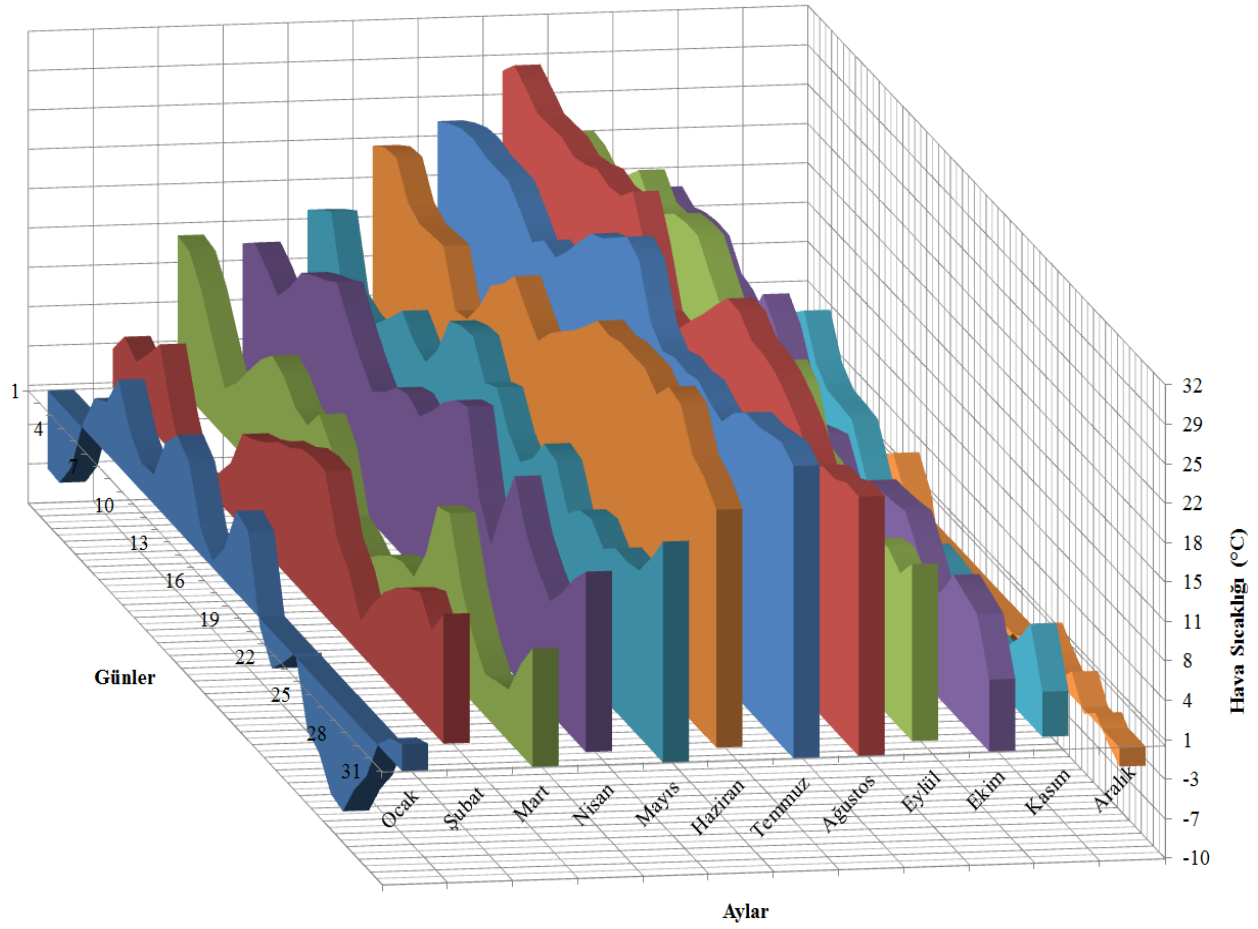
Bu bölümde, öncelikle Şekil 5 aracılığıyla, Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık ortalama hava sıcaklıkları görselleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 5’de yükseklik eksenini hava sıcaklıklarını, genişlik eksenini yılları ve derinlik eksenini ayları temsil etmektedir. Sonrasında Şekil 6 aracılığıyla, Ankara ilinin 2016 yılındaki günlük ortalama hava sıcaklıkları görselleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Şekil 6’da yükseklik eksenini hava sıcaklıklarını, genişlik eksenini ayları ve derinlik eksenini günleri belirtmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6’da hava sıcaklıklarının birimi °C olarak tanımlanmıştır.

Şekil 5 detaylı olarak incelendiğinde; maksimum aylık ortalama hava sıcaklıkları 2007, 2009, 2011 ve 2012 yılları için Temmuz aylarında 26,80 °C, 23,60 °C, 25,00 °C ve 26,70 °C olarak gözlenmiştir. 2008, 2010, 2013, 2014, 2015 ve 2016 yılları için Ağustos aylarında 26,70 °C, 28,10 °C, 24,20 °C, 25,70 °C, 24,50 °C ve 25,30 °C olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, son 10 yıl içerisinde maksimum aylık ortalama hava sıcaklığı 2010 yılının Ağustos ayında görülmüştür. Diğer taraftan, minimum aylık ortalama hava sıcaklıkları 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014 ve 2016 yılları için Ocak aylarında 1,30 °C, -4,00 °C, 2,40 °C, 3,10 °C, 2,30 °C, 3,20 °C ve 0,30 °C olarak kaydedilmiştir. 2012 yılı için Şubat ayında -2,00 °C olarak, 2013 yılı için Aralık ayında -1,00 °C olarak ve 2015 yılı için Aralık ayında 0,10 °C olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, son 10 yıl içerisinde minimum aylık ortalama hava sıcaklığı 2008 yılının Ocak ayında tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, maksimum yıllık ortalama hava sıcaklığı 2010 yılında 14,53 °C olarak gözlenirken, minimum yıllık ortalama hava sıcaklığı 2011 yılında 11,84 °C olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, son 10 yıl dikkate alındığında ortalama hava sıcaklığı 13,16 °C olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6 ayrıntılı olarak incelendiğinde; 17 Temmuz 2016 tarihinde 30,50 °C olarak maksimum günlük ortalama hava sıcaklığı bulunmuştur. Buna karşın, 26 Ocak 2016 tarihinde -9,20 °C olarak minimum günlük ortalama hava sıcaklığı elde edilmiştir. Bunlara ilaveten, Ağustos ayında 25,27 °C olarak maksimum aylık ortalama hava sıcaklığı görülürken, Aralık ayında -0,29 °C olarak minimum aylık ortalama hava sıcaklığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık ortalama hava sıcaklıkları



Şekil 6. Ankara ilinin 2016 yılındaki günlük ortalama hava sıcaklıkları

3. GLOBAL GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ, GÜNEŞLENME SÜRESİ VE HAVA SICAKLIĞI VERİLERİNİN MODELLENMESİ (MODELING OF GLOBAL SOLAR RADIATION, SUNSHINE DURATION AND AIR TEMPERATURE DATA)

Bu çalışmada, çok karmaşık olmayan verilerin modellenmesinde makul esneklik sağlamaları, hesaplama yükü açısından kullanımlarının basit olması ve eğri uydurmada en sık kullanılan ampirik modeller olmalarından dolayı polinom, Gauss ve Fourier modelleri tercih edilmiştir. Söz konusu verilerin modellenmesi aşamasında ise, Matlab ortamında daha iyi performans gösterdikleri için 7. dereceden polinom modeli, 3 terimli Gauss modeli ve 4 terimli Fourier modeli esas alınmıştır. Polinom, Gauss ve Fourier modellerine ait matematiksel ifadeler Eşitlik (1), Eşitlik (2) ve Eşitlik (3)'de verilmiştir [20-22]. Ayrıca, eğri uydurma performanslarını değerlendirmek için kullanılan belirlilik katsayısı ve karekök ortalama hataya ait matematiksel ifadeler ise Eşitlik (4) ve Eşitlik (5)'te sunulmuştur [23].

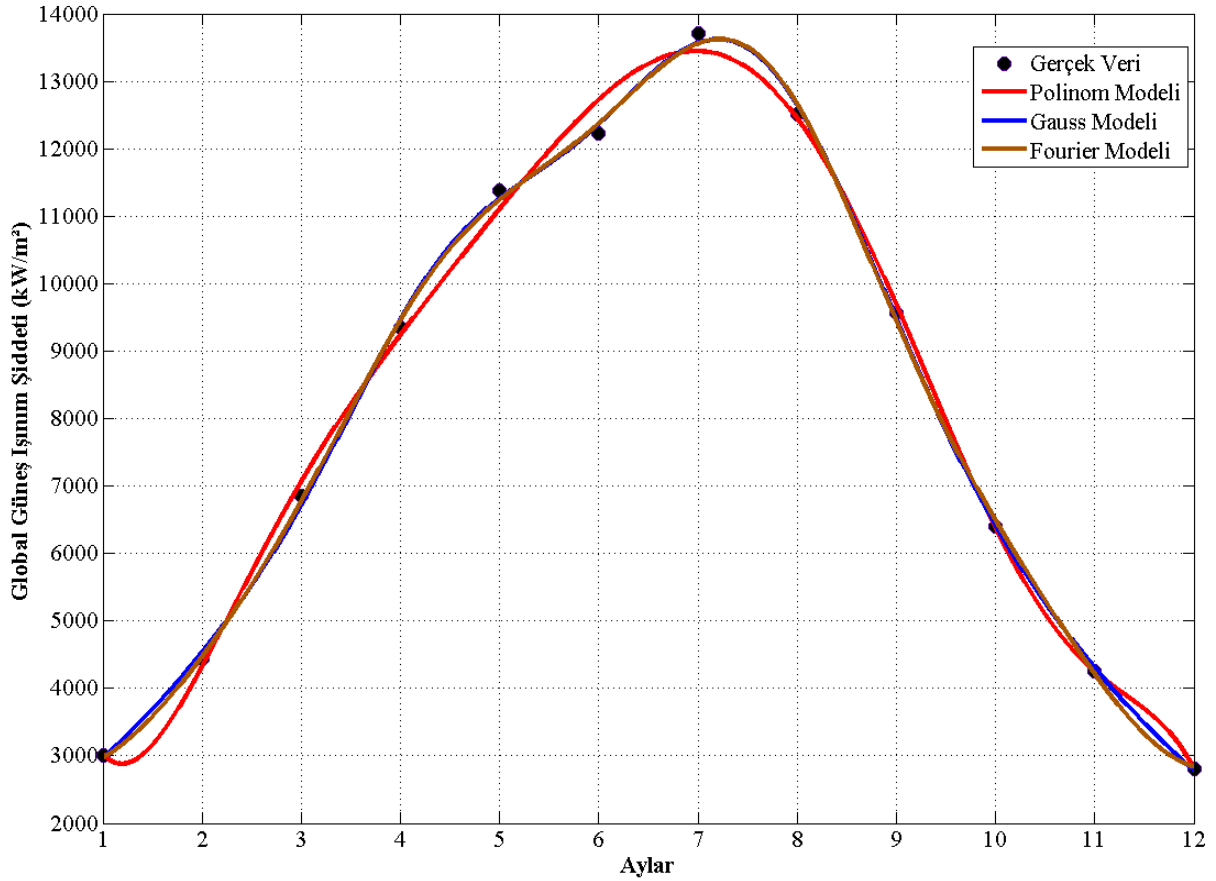
$$\text{Polinom Modeli:} \quad y = \sum_{i=1}^{n+1} p_i x^{n+1-i}, 1 \leq n \leq 9 \quad (1)$$

$$\text{Gauss Modeli:} \quad y = \sum_{i=1}^n a_i e^{\left[-\frac{(x-b_i)^2}{c_i}\right]}, 1 \leq n \leq 8 \quad (2)$$

$$\text{Fourier Modeli: } y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(iwx) + b_i \sin(iwx), 1 \leq n \leq 8 \quad (3)$$

$$\text{Belirlilik Katsayısı: } R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

$$\text{Karekök Ortalama Hata: } \text{KOH} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$



Şekil 7. Ankara ilinin uzun yıllar aylık toplam global güneş ışınım şiddeti verilerinin modellenmesi

Şekil 7'de Ankara ilinin uzun yıllar (2007 ve 2016 arası) aylık toplam global güneş ışınım şiddeti verilerinin ortalamasını temsil eden gözlem noktaları görülmektedir. Söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 7. dereceden polinom modeli oluşturulduğunda; belirlilik katsayısı $R^2=0,9970$ ve karekök ortalama hata $\text{KOH}=353,7744 \text{ kW/m}^2$ olarak elde edilmiştir. Bu polinom modelindeki katsayılar $p_1=-0,1551$, $p_2=6,99$, $p_3=-125,9$, $p_4=1167$, $p_5=-6002$, $p_6=1,693 \times 10^4$, $p_7=-2,149 \times 10^4$ ve $p_8=1,254 \times 10^4$ olarak bulunmuştur. Söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 3 terimli Gauss modeli oluşturulduğunda; belirlilik katsayısı $R^2=0,9992$ ve karekök ortalama hata $\text{KOH}=206,7778 \text{ kW/m}^2$ olarak bulunmuştur. Bu Gauss modelindeki katsayılar $a_1=3841$, $b_1=7,494$, $c_1=1,73$, $a_2=1714$, $b_2=4,502$, $c_2=1,373$, $a_3=1,01 \times 10^4$, $b_3=6,428$ ve $c_3=4,905$ olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan, söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 4 terimli Fourier modeli oluşturulduğunda; belirlilik katsayısı $R^2=0,9991$ ve karekök ortalama hata $\text{KOH}=257,3 \text{ kW/m}^2$ olarak elde edilmiştir. Bu Fourier modelindeki katsayılar $a_0=8213$, $a_1=-4772$, $b_1=-2018$, $a_2=-413,7$, $b_2=202,6$, $a_3=278,8$, $b_3=-75,17$, $a_4=-151,4$, $b_4=-106,6$ ve $w=0,5405$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, uzun yıllar aylık toplam global güneş ışınım şiddeti verilerinin ortalamasını temsil eden gözlem noktalarının modellenmesinde 3 terimli Gauss modeli, 4 terimli Fourier modeli ve 7. dereceden polinom modelinden daha iyi bir performans göstermiştir. Oluşturulan 7. dereceden polinom modeli, 3 terimli Gauss modeli ve 4 terimli Fourier modeline ait denklemler Eşitlik (6), Eşitlik (7) ve Eşitlik (8)'de verilmiştir.

$$f_1(x) = p_1x^7 + p_2x^6 + p_3x^5 + p_4x^4 + p_5x^3 + p_6x^2 + p_7x + p_8$$

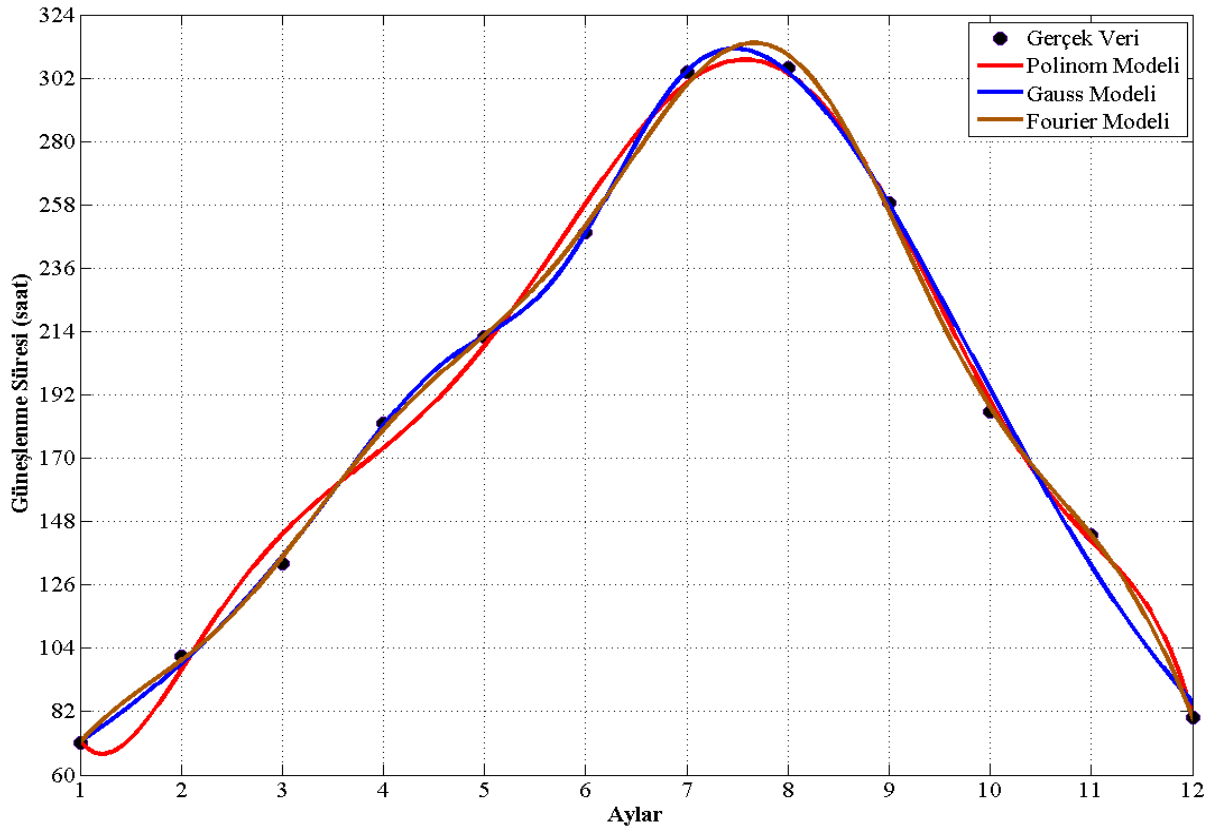
$$f_1(x) = -0,1551x^7 + 6,99x^6 - 125,9x^5 + 1167x^4 - 6002x^3 + 1,693 \times 10^4x^2 - 2,149 \times 10^4x + 1,254 \times 10^4 \quad (6)$$

$$f_2(x) = a_1e^{\left[-\left(\frac{x-b_1}{c_1}\right)^2\right]} + a_2e^{\left[-\left(\frac{x-b_2}{c_2}\right)^2\right]} + a_3e^{\left[-\left(\frac{x-b_3}{c_3}\right)^2\right]}$$

$$f_2(x) = 3841e^{\left[-\left(\frac{x-7,494}{1,73}\right)^2\right]} + 1714e^{\left[-\left(\frac{x-4,502}{1,373}\right)^2\right]} + 1,01 \times 10^4e^{\left[-\left(\frac{x-6,428}{4,905}\right)^2\right]} \quad (7)$$

$$f_3(x) = a_0 + a_1 \cos(1wx) + b_1 \sin(1wx) + a_2 \cos(2wx) + b_2 \sin(2wx) + a_3 \cos(3wx) + b_3 \sin(3wx) + a_4 \cos(4wx) + b_4 \sin(4wx)$$

$$f_3(x) = 8213 - 4772\cos(0,5405x) - 2018\sin(0,5405x) - 413,7\cos(1,081x) + 202,6\sin(1,081x) + 278,8 \cos(1,6215x) - 75,17 \sin(1,6215x) - 151,4 \cos(2,162x) - 106,6\sin(2,162x) \quad (8)$$



Şekil 8. Ankara ilinin uzun yıllar aylık toplam güneşlenme süresi verilerinin modellenmesi

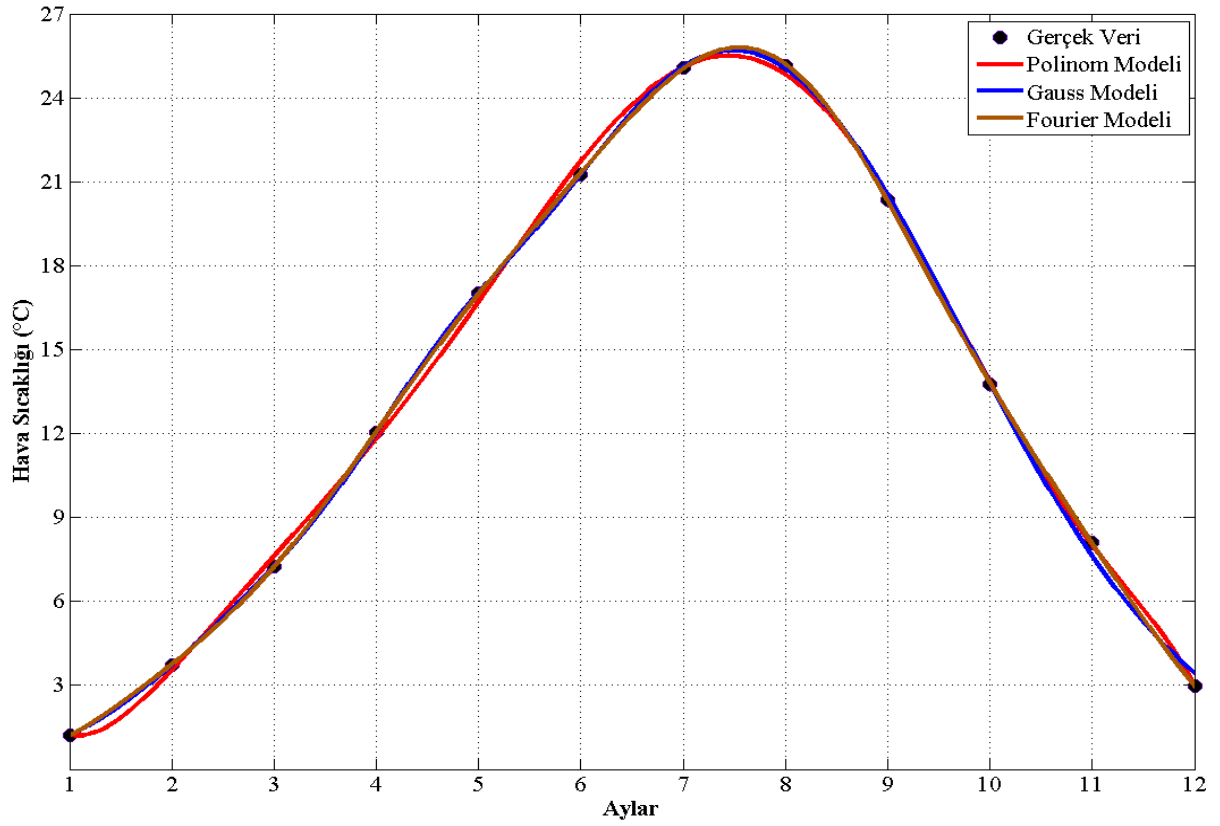
Şekil 8’de Ankara ilinin uzun yıllar (2007 ve 2016 arası) aylık toplam güneşlenme süresi verilerinin ortalamasını temsil eden gözlem noktaları gösterilmektedir. Söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 7. dereceden polinom modellemesi yapıldığında; belirlilik katsayısı $R^2=0,9954$ ve karekök ortalama hata $KOH=9,285$ saat olarak gözlenmiştir. Bu polinom modelindeki katsayılar $p_1=-0,004963$, $p_2=0,2233$, $p_3=-4,008$, $p_4=36,66$, $p_5=-182,4$, $p_6=487,6$, $p_7=-600,3$ ve $p_8=334$ olarak hesaplanmıştır. Söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 3 terimli Gauss modellemesi yapıldığında; belirlilik katsayısı $R^2=0,9971$ ve karekök ortalama hata $KOH= 8,545$ saat olarak kaydedilmiştir. Bu Gauss modelindeki katsayılar $a_1=186,3$, $b_1=7,365$, $c_1=3,313$, $a_2=-46,06$, $b_2=5,751$, $c_2=1,106$, $a_3=135,1$, $b_3=6,269$ ve $c_3=6,291$ olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 4 terimli Fourier modellemesi yapıldığında; belirlilik katsayısı $R^2=0,9990$ ve karekök ortalama hata $KOH=5,944$ saat olarak gözlenmiştir. Bu Fourier modelindeki katsayılar $a_0=132,4$, $a_1=-150,2$, $b_1=60,63$, $a_2=12,61$, $b_2=32,07$, $a_3=-0,6308$, $b_3=19,82$, $a_4=16,71$, $b_4=4,193$ ve $w=0,399$ olarak hesaplanmıştır.

Dolayısıyla, uzun yıllar aylık toplam güneşlenme süresi verilerinin ortalamasını temsil eden gözlem noktalarının modellenmesinde 7. dereceden polinom modeli ve 3 terimli Gauss modeli 4 terimli Fourier modelinden daha kötü bir performans göstermiştir. Yapılan 7. dereceden polinom modellemesi, 3 terimli Gauss modellemesi ve 4 terimli Fourier modellemesine ait denklemler Eşitlik (9), Eşitlik (10) ve Eşitlik (11)’de sunulmuştur.

$$f_4(x) = -0,004963x^7 + 0,2233x^6 - 4,008x^5 + 36,66x^4 - 182,4x^3 + 487,6x^2 + -600,3x + 334 \quad (9)$$

$$f_5(x) = 186,3e^{\left[-\left(\frac{x-7,365}{3,313}\right)^2\right]} - 46,06e^{\left[-\left(\frac{x-5,751}{1,106}\right)^2\right]} + 135,1e^{\left[-\left(\frac{x-6,269}{6,291}\right)^2\right]} \quad (10)$$

$$f_6(x) = 132,4 - 150,2\cos(0,399x) + 60,63\sin(0,399x) + 12,61\cos(0,798x) + 32,07\sin(0,798x) - 0,6308 \cos(1,197x) + 19,82 \sin(1,197x) + 16,71 \cos(1,596x) + 4,193\sin(1,596x) \quad (11)$$



Şekil 9. Ankara ilinin uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verilerinin modellenmesi

Şekil 9’da Ankara ilinin uzun yıllar (2007 ve 2016 arası) aylık ortalama sıcaklık verilerinin ortalamasını temsil eden gözlem noktaları verilmektedir. Söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 7. dereceden polinom modeli için belirlilik katsayısı $R^2=0,9992$ ve karekök ortalama hata KOH= $0,4035$ °C olarak tespit edilmiştir. Bu polinom modelindeki katsayılar $p_1=-0,0002315$, $p_2=0,01027$, $p_3=-0,1798$, $p_4=1,589$, $p_5=-7,675$, $p_6=20,51$, $p_7=-24,37$ ve $p_8=11,36$ olarak bulunmuştur. Söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 3 terimli Gauss modeli için belirlilik katsayısı $R^2=0,9994$ ve karekök ortalama hata KOH= $0,4046$ °C olarak tespit edilmiştir. Bu Gauss modelindeki katsayılar $a_1=25,69$, $b_1=7,491$, $c_1=3,183$, $a_2=2,674$, $b_2=4,604$, $c_2=1,094$, $a_3=3,443$, $b_3=2,982$ ve $c_3=1,646$ olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan, söz konusu gözlem noktalarının % 95 güven sınırıyla 4 terimli Fourier modeli için belirlilik katsayısı $R^2=0,9999$ ve karekök ortalama hata KOH= $0,09114$ °C olarak tespit edilmiştir. Bu Fourier modelindeki katsayılar $a_0=12,38$, $a_1=-11,16$, $b_1=-4,455$, $a_2=-0,1979$, $b_2=1,195$, $a_3=0,02564$, $b_3=-0,3269$, $a_4=-0,3458$, $b_4=0,08152$ ve $w=0,491$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verilerinin ortalamasını temsil eden gözlem noktalarının modellenmesinde 4 terimli Fourier modeli, 3 terimli Gauss modeli ve 7. dereceden polinom modelinden daha iyi bir performans göstermiştir. 7. dereceden polinom modeli, 3 terimli Gauss modeli ve 4 terimli Fourier modeline ait denklemler Eşitlik (12), Eşitlik (13) ve Eşitlik (14)’te verilmiştir.

$$f_7(x) = -0,0002315x^7 + 0,01027x^6 - 0,1798x^5 + 1,589x^4 - 7,675x^3 + 20,51x^2 - 24,37x + 11,36 \quad (12)$$

$$f_8(x) = 25,69e^{\left[-\left(\frac{x-7,491}{3,183}\right)^2\right]} + 2,674e^{\left[-\left(\frac{x-4,604}{1,094}\right)^2\right]} + 3,443e^{\left[-\left(\frac{x-2,982}{1,646}\right)^2\right]} \quad (13)$$

$$f_9(x) = 12,38 - 11,16\cos(0,491x) - 4,455\sin(0,491x) - 0,1979\cos(0,982x) + 1,195\sin(0,982x) + 0,02564 \cos(1,473x) - 0,3269 \sin(1,473x) - 0,3458 \cos(1,964x) + 0,08152\sin(1,964x) \quad (14)$$

Ayrıca, 7. dereceden polinom, 3 terimli Gauss ve 4 terimli Fourier modellerinin aylık toplam global güneş ışınım şiddeti, aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık ortalama hava sıcaklığı verilerinin modellenmesindeki performansları Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Eğri uydurma metotlarının güneş verilerinin modellenmesindeki performansları

Modeller	Veriler		Aylık toplam global güneş ışınım şiddeti		Aylık toplam güneşlenme süresi		Aylık ortalama hava sıcaklığı	
	R ²	KOH (kW/m ²)	R ²	KOH (saat)	R ²	KOH (°C)		
7. dereceden polinom modeli	0,9970	353,7744	0,9954	9,285	0,9992	0,4035		
3 terimli Gauss modeli	0,9992	206,7778	0,9971	8,545	0,9994	0,4046		
4 terimli Fourier modeli	0,9991	257,3	0,9990	5,944	0,9999	0,09114		

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, öncelikle, Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık toplam global güneş ışınım şiddeti, aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık ortalama hava sıcaklığı verileri görselleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Son 10 yıl içerisinde maksimum aylık toplam global güneş ışınım şiddeti ve maksimum aylık toplam güneşlenme süresi sırasıyla 2007 ve 2008 yıllarının Temmuz aylarında 14451,31 kW/m² ve 341,60 saat olarak gözlenirken, maksimum aylık ortalama hava sıcaklığı 2010 yılının Ağustos ayında 28,10 °C olarak görülmüştür. Diğer taraftan, son 10 yıl içerisinde minimum aylık toplam global güneş ışınım şiddeti 2014 yılının Aralık ayında 2372,83 kW/m² olarak gözlenirken, minimum aylık toplam güneşlenme süresi ve minimum aylık ortalama hava sıcaklığı sırasıyla 2013 ve 2008 yıllarının Ocak aylarında 42,40 saat ve -4,00 °C olarak görülmüştür. Bunlara ilaveten, 2007 ve 2016 yılları arasındaki veriler yıllık maksimum ve yıllık minimum bazında detaylı olarak değerlendirilirken, 2016 yılındaki veriler günlük maksimum ve günlük minimum bazında da analiz edilmiştir.

Sonrasında, Ankara ilinin 2007 ve 2016 yılları arasındaki aylık toplam global güneş ışınım şiddeti, aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık ortalama hava sıcaklığı verilerinin ortalamaları polinom, Gauss ve Fourier eğri uydurma metotları aracılığıyla modellenmiştir. 3 terimli Gauss modeli aylık toplam global güneş ışınım şiddeti verilerinin modellenmesinde 0,9992’lik belirlilik katsayısıyla en iyi performansı gösterirken, 4 terimli Fourier modeli aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık ortalama hava sıcaklığı verilerinin modellenmesinde sırasıyla 0,9990 ve 0,9999 belirlilik katsayılarıyla en iyi kararlılığı sergilemiştir. Diğer taraftan, 4 terimli Fourier modeli ve 3 terimli Gauss modeline göre 7. dereceden polinom modeli her bir parametrenin modellenmesinde en düşük belirlilik katsayılarını sağlamıştır. Sonuç olarak, Ankara ilinin uzun dönem güneş karakteristikleri detaylı olarak analiz edilmiş, eğri uydurma metotları aracılığıyla yüksek doğrulukta modellenmiş ve fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulumları için etkili çıkarımlar elde edilmiştir. Gelecek çalışmalarda, eğri uydurma metotlarının günlük toplam global güneş ışınım şiddeti, günlük toplam güneşlenme süresi ve günlük ortalama hava sıcaklığı verilerinin modellenmesindeki performansları kıyaslanacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Internet: International Energy Agency, “Electricity Information 2016”, <http://dx.doi.org/10.1787/electricity-2016-en>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.
- [2] Internet: International Energy Agency, “World Energy Outlook 2016”, <http://dx.doi.org/10.1787/weo-2016-en>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.
- [3] Internet: REN21, “Renewables 2016 Global Status Report”, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.
- [4] Y. Shi, R. Xie, L. Wang, Y. Shi and H. Li, “Switching characterization and short-circuit protection of 1200V SiC MOSFET T-Type module in PV inverter application”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, DOI: 10.1109/TIE.2017.2682800.
- [5] M. Despotovic, V. Nedic, D. Despotovic and S. Cvetanovic, “Evaluation of empirical models for predicting monthly mean horizontal diffuse solar radiation”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 246-260, April 2016.
- [6] B. Jamil and N. Akhtar, “Comparison of empirical models to estimate monthly mean diffuse solar radiation from measured data: Case study for humid-subtropical climatic region of India”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 1326-1342, September 2017.
- [7] E.P.M. Filho, A.P. Oliveira, W.A. Vita, F.L.L. Mesquita, G. Codato, J.F. Escobedo, M. Cassol and J.R.A. Franca, “Global, diffuse and direct solar radiation at the surface in the city of Rio de Janeiro: Observational characterization and empirical modeling”, *Renewable Energy*, vol. 91, pp. 64-74, June 2016.
- [8] H.C. Bayrakci, C. Demircan and A. Kecebas, “The development of empirical models for estimating global solar radiation on horizontal surface: A case study”, DOI: 10.1016/j.rser.2017.06.082.
- [9] N. Arslanoglu, “Empirical modeling of solar radiation exergy for Turkey”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 108, pp. 1033-1040, August 2016.
- [10] H.B. Yildirim, O. Celik, A. Tekec and B. Barutcu, “Estimating daily global solar radiation with graphical user interface in Eastern Mediterranean Region of Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, DOI: 10.1016/j.rser.2017.06.030.
- [11] W. Liao, X. Wang, Q. Fan, S. Zhou, M. Chang, Z. Wang, Y. Wang and Q. Tu, “Long-term atmospheric visibility, sunshine duration and precipitation trends in South China”, *Atmospheric Environment*, vol.107, pp. 204-216, April 2015.
- [12] M. Chelbi, Y. Gagnon and J. Waewsak, “Solar radiation mapping using sunshine duration-based models and interpolation techniques: Application to Tunisia”, *Energy Conversion and Management*, vol. 101, pp. 203-215, September 2015.
- [13] W.E. Alnaser and M.K. Merzaa, “Empirical correlations for the climate data in the Kingdom of Bahrain”, *Energy*, vol. 30, pp. 2818-2830, November 2005.
- [14] M. El-Metwally, “Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt”, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 67, pp. 1331–1342, September 2005.
- [15] W. Zhu, A. Lu, S. Jia, J. Yan and R. Mahmood, “Retrievals of all-weather daytime air temperature from MODIS products”, *Remote Sensing of Environment*, vol. 189, pp. 152-163, February 2017.
- [16] H.C. Ho, A. Knudby, Y. Xu, M. Hodul and M. Aminipouri, “A comparison of urban heat islands mapped using skin temperature, air temperature, and apparent temperature (Humidex), for the greater Vancouver area”, *Science of the Total Environment*, vol. 544, pp. 929-938, February 2016.
- [17] Z. Wenbin, L. Aifeng and J. Shaofeng, “Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products”, *Remote Sensing of Environment*, vol. 130, pp. 62-73, March 2013.

- [18] H.C. Ho, A. Knudby, P. Sirovyak, Y. Xu, M. Hodul and S.B. Henderson, “Mapping maximum urban air temperature on hot summer days”, Remote Sensing of Environment, vol. 154, pp. 38-45, November 2014.
- [19] Internet: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.
- [20] Internet: Mathworks Documentation, “Polynomial Models”, <https://www.mathworks.com/help/curvefit/polynomial.html>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.
- [21] Internet: Mathworks Documentation, “Fourier Series”, <https://www.mathworks.com/help/curvefit/fourier.html>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.
- [22] Internet: Mathworks Documentation, “Gaussian Models”, <https://www.mathworks.com/help/curvefit/gaussian.html>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.
- [23] Internet: Mathworks Documentation, “Evaluating Goodness of Fit”, <https://www.mathworks.com/help/curvefit/evaluating-goodness-of-fit.html>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2017.