

# Yatay Düzleme Gelen Difüz Işınım Modellerinin Ölçüm Sonuçlarına Göre Analizi

Nesrin İLGİN BEYAZİT\*, Hüsamettin BULUT, Yunus DEMİRTAŞ

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.

(Geliş/Received : 08.06.2016 ; Kabul/Accepted : 26.07.2016)

## ÖZ

Yeterli ölçümlerin yapılamaması ve ölçüm aletlerinin pahalı olmasından dolayı, yatay düzleme gelen toplam ışınım verileri kullanılarak yatay düzleme gelen difüz ışınımı, çeşitli modellerle hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, literatürde verilen difüz ışınım modelleri kullanılarak Şanlıurfa için yatay düzlem difüz ışınım değerleri hesaplanmış ve modellerden elde edilen sonuçlar ölçüm verileriyle karşılaştırılmıştır. Analizde, Şanlıurfa ili Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde bulunan güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sisteminden elde edilen 7 yıllık yatay toplam ve difüz güneş ışınım verileri kullanılmıştır. 5 farklı difüz ışınım modelinin istatistiksel hataları hesaplanmıştır. Difüz ışınım, zamanla değişkenlik göstermekle beraber istatistiksel hatalara göre en iyi modelin Erbs ve arkadaşlarının geliştirdiği model olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, yaygın olarak kullanılan Liu ve Jordan modelinin ise ölçüm verilerinden büyük sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş ışınımı, toplam ışınım, difüz ışınım modelleri, Şanlıurfa.

# Analysis of Diffuse Radiation Models For Horizontal Surface According To Measurement Results

## ABSTRACT

Due to insufficient measurements and expensive measuring instruments, the diffuse radiation incident to horizontal surface is calculated from global solar radiation incident horizontal surface by using various models. In this study, horizontal diffuse radiation values for Şanlıurfa were calculated by using diffuse radiation models given in literature with aid of horizontal global radiation measurements and the results of models was compared with measurement results of diffuse radiation. In the analysis, 7 years measurements data from solar radiation measurement system with solar tracker which is set up at Department of Mechanical Engineering, Harran University were used for horizontal total and diffuse solar radiation. The statistical errors of five diffuse radiation models were calculated. It was determined that although the diffuse radiation data vary with time, Erbs et al. model is the most appropriate according to statistical errors. Moreover, Liu and Jordan model which is used commonly in the literature was found to show large deviation from measurement data.

**Keywords:** Solar radiation, global radiation, diffuse radiation models, Şanlıurfa.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeryüzünde herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımı, direkt, difüz ve yansıyan ışınımlardan meydana gelir. Genelde yüzeye gelen toplam güneş ışınımı ölçümü yapılmaktadır. Yatay yüzey difüz ışınım ölçümü ise çok nadiren yapılmakta veya bulunmamaktadır. Difüz ışınım daha çok literatürdeki çeşitli hesaplama modelleri ile tespit edilmektedir.

Difüz ışınım modelleri, temelde berraklık indeksi değerine dayanmaktadır. Literatürde berraklık indeksi değerine göre bir çok yer için difüz ışınımı veren değerli çalışmalar bulunmaktadır [1-10]. İzmir ili için eğimli yüzeye gelen toplam ışınım değerlerini tespit etmek için, yatay düzleme gelen difüz ışınımının hesabında, Liu ve Jordan modeli ve Ülgen ve Hepbaşı modelleri kullanılmıştır [1]. Literatürde çalışılan yerler için en uygun modeli tespit etmek için güneş ışınım modelleri karşılaştırılmaları yapılmıştır. Kuo ve ark.[5], Tayvan

için ölçümlere en yakın hesaplama modellerinden birinin Erbs ve arkadaşları, Chandrasekaran ve Kumar modeli ve Boland ve arkadaşları modellerinin olduğunu tespit etmişlerdir. Yeryüzüne düşen güneş ışınım hesabı yapılırken direkt ışınımı doğru hesaplayabilmek için önce yatay düzlem difüz ışınım hesaplama metodlarının doğrulanması gerekmektedir. Kotti ve ark. [6] direkt ışınım hesabını etkileyen difüz ışınım hesaplama hatalarını gidermek için 4 difüz ışınım düzeltme modelini mukayese etmişlerdir. Souza ve ark.[7] ise yatay yüzey difüz ışınım değerlerini doğru bir şekilde hesaplamak için farklı eğimlerde difüz ışınım değişimini incelemişlerdir. Souza ve ark.[8] farklı eğimler için difüz ışınım hesabının toplam ışınım hesabını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Gulin ve ark.[9] eğimli yüzey için toplam ışınım hesabında kullanılan farklı modelleri incelemişlerdir. Shukla ve ark.[10] eğimli yüzey toplam ışınım hesabında en iyi sonuç veren modelleri belirlemeye çalışmışlardır. Notton ve ark.[11] yatay yüzey toplam ışınım verilerini kullanarak literatürde bilinen eğimli yüzey difüz ışınım hesaplama modellerini, yapay sinir ağ modelini ve deneysel

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: nesrinnilgin@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) :

ölçüm verilerini karşılaştırmış ve yapay sinir ağ modelinin bilinen hesaplama modellerinden daha düşük hata oranıyla hesaplama yaptığını belirlemişlerdir. Demain ve ark.[12] farklı gökyüzü koşulları altındaki farklı modellerin performans ilişkisini değerlendirmişlerdir. Tüm gökyüzü koşullarında iyi performans veren modelin dik-kate alındığı bir modelin olmadığı istatistiksel değerlendirme ile açığa çıkması sonucu Belçika için geliştirilen farklı gökyüzü koşulları altında üç modelin davranışının birleşiminden yeni bir model geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmaların ortak amacı yüzeye gelen güneş ışınım hesabı yapılırken hesaplama sonuçlarının istatistiksel olarak minimum hata oranlarına sahip olmasıdır. Davis ve

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Şanlıurfa ili Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde bulunan güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sisteminden 7 yıllık (2009-2015) ölçüm sonucunda elde edilen saatlik yatay düzlem toplam ve difüz güneş ışınım verileri kullanılmıştır. Şekil 1’de güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sistemi görülmektedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi güneş takipli ölçüm sistemi üzerinde bulunan gölge topu ve piranometre ile difüz ışınım ve diğer piranometre ile toplam ışınım ölçülmektedir. Çizelge 1’de güneş ışınımı ölçüm sistemindeki cihazların teknik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 1.** Güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sistemindeki cihazların teknik özellikleri (Some specifications of devices in the solar measurement system)

Cihaz	Doğruluk	Hassasiyet	Çalışma Sıcaklık Aralığı, °C
Güneş takip edici (2AP Tracker)	<0,05°	0,0025°	-20/+50
Piranometre (CM11)	±10 W/m <sup>2</sup>	4-6 µV/W/m <sup>2</sup>	-40/+80
Datalogger (CR 800)	0.33 µV	%0.06	-25/+50

ark.[13] yatay yüzey güneş ışınım 12 hesaplama modeli ile 7 ülkenin ölçüm verilerini karşılaştırmışlardır. Yatay yüzey saatlik difüz ışınım için Erbs ve arkadaşlarının en az hatayı veren model olduğunu belirlemişlerdir. El-Sebaai ve ark.[14] saatlik berraklık indeksine göre Mısır’da 5 yerleşim yeri için yatay yüzey aylık ve günlük toplam ışınım ölçüm verilerinin analizini yapmışlardır. Yapılan çalışmada 2. ve 3. dereceden denklemlerin sonucu olumlu etkilemediğini, 1. dereceden hesaplama denkleminin doğru olduğunu belirlemişlerdir. Noorian ve ark.[15] yatay yüzey ölçüm verilerinden eğimli yüzeylerdeki saatlik difüz ışınımı tahmin etmek için 12 modelin performansını değerlendirmiştir. 12 hesaplama modeli sonuçları Karaj, İran’daki eğimli yüzey (batı ve güney) için ölçüm verileriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmada isotropik modellerde yansıyan ışınımın etkisi çok küçük olduğu fakat difüz ışınım modelleri arasında büyük farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Jastrzebska-Frydrychowicz ve ark.[16] güneş takip sistemli fotovoltaik modülün güneş ışınım dağılımını hesaplamak için Polonya için güneş meteoroloji istasyonunda alınmış güneş ışınım verileri kullanılarak isotropik ve anisotropik modellerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada Liu ve Jordan modeli modifiye edilip eğimli yüzeyler için hesaplama yapılan difüz ışınım modelleri ve ölçüm verileri ile karşılaştırmışlardır. Li ve ark.[17] Hon Kong’ta 2008-20012 yılları için yatay düzlem toplam, direkt ve difüz güneş ışınım ölçüm verileri ile çeşitli iklimlerde direkt güneş ışınımının normalini tahmin eden modelleri değerlendirmişlerdir.

Bu çalışmada, Şanlıurfa ili için yatay düzlem difüz ışınım hesaplama modellerinden en uygun yatay düzlem difüz ışınım modelinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Şanlıurfa ilinin yatay düzlem difüz ışınım şiddetini belirlemek için literatürde en çok kullanılan, Liu ve Jordan modeli (Eşitlik 5), Erbs ve arkadaşları modeli (Eşitlik 6.1, 6.2, 6.3), Miguel ve arkadaşları modeli (Eşitlik 7.1, 7.2, 7.3), Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal modeli (Eşitlik 8.1,8.2,8.3) ve Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal olmayan modeli (Eşitlik 9.1, 9.2, 9.3) baz alınmıştır [1, 18-21]. Analizlerde 5 farklı modelin ölçüm değerleri ile karşılaştırması, her ayın referans gününe veya ona yakın güne göre yapılmıştır.



**Şekil 1.** Güneş Takip Sistemli Güneş Işınım Ölçüm Sistemi (Solar Radiation Measurement System With Solar Tracking System)

Yatay düzleme gelen difüz ışınım hesabında temel parametre, yatay düzleme gelen saatlik toplam ışınımının ( $I_t$ ), atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışınımına ( $I_0$ ) oranı olan  $k_t$  saatlik berraklık indeksine (Eşitlik 1), bağlı olarak aşağıdaki hesaplama modelleri ile tespit edilmiştir. Güneş Sabiti,  $I_c = 1367 \frac{W}{m^2}$  ve düzeltme faktörü (Eşitlik 2) kullanılarak, atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışınımı,  $I_0$ , Eşitlik 3'ten hesaplanmıştır [3]. Yatay düzleme gelen saatlik toplam ışınım,  $I_t$ , ise ölçüm sisteminden alınmıştır (Şekil 1).

$$k_t = \frac{I_t}{I_0} \quad (1)$$

$$f = 1 + 0,33 \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) \quad (2)$$

$$I_0 = I_c f [\cos(e) \cos(d) \cos(w) + \sin(e) \sin(d)] \quad (3)$$

**Model 1:** Liu ve Jordan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$I_{ld} = I_t(0,384 - 0,416k_t) \quad (5)$$

**Model 2:** Erbs ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t \leq 0,22 \quad \text{için} \quad E_{ld} = I_t(1 - 0,09k_t) \quad (6.1)$$

$$0,22 < k_t \leq 0,8 \quad \text{için}$$

$$E_{ld} = I_t[0,9511 - 0,16014k_t + 4,388 k_t^2 - 16,638k_t^3 + 12,336 \times k_t^4] \quad (6.2)$$

$$k_t > 0,8 \text{ için} \quad E_{ld} = I_t 0,165 \quad (6.3)$$

**Model 3:** Miguel ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t < 0,21 \text{ için} \quad M_{ld} = I_t(0,995 - 0,081k_t) \quad (7.1)$$

$$0,21 \leq k_t \leq 0,76 \quad \text{için}$$

$$M_{ld} = I_t[0,724 + 2,738 k_t - 8,32 k_t^2 + 4,967 k_t^3] \quad (7.2)$$

$$k_t > 0,76 \quad \text{için} \quad M_{ld} = I_t 0,18 \quad (7.3)$$

**Model 4:** Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t > 0,32 \quad \text{için} \quad U_{ld} = I_t 0,68 \quad (8.1)$$

$$0,32 < k_t < 0,62 \quad \text{için} \quad U_{ld} = I_t(1,0609 - 1,21 k_t) \quad (8.2)$$

$$0,62 < k_t \quad \text{için} \quad U_{ld} = I_t 0,30 \quad (8.3)$$

**Model 5:** Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal olmayan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t < 0,32 \quad \text{için} \quad H_{ld} = I_t 0,68 \quad (9.1)$$

$$k_t < 0,62 \quad \text{için} \quad H_{ld} = I_t 0,30 \quad (9.2)$$

$$0,32 < k_t < 0,62 \quad \text{için} \quad H_{ld} = I_t[0,0743 - 19,343 k_t + 206,91 k_t^2 - 719,72 k_t^3 + 1053,4 k_t^4] - 562,69 k_t^5 \quad (9.3)$$

Modellerin başarısını test etmek için ortalama mutlak hata (MAE), ortalama bağıl hata (MAPE, %) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) gibi istatistik parametreler kullanılmıştır (Eşitlik 10-12). Hata parametrelerinin düşük olması ölçülen verilerle modellerin tahmin ettiği verilerin yakınlığını ifade etmektedir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_{d,model} - I_{d,ölçüm}) \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{I_{d,model} - I_{d,ölçüm}}{I_{d,ölçüm}} \right) 100 \quad (11)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_{d,model} - I_{d,ölçüm})^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

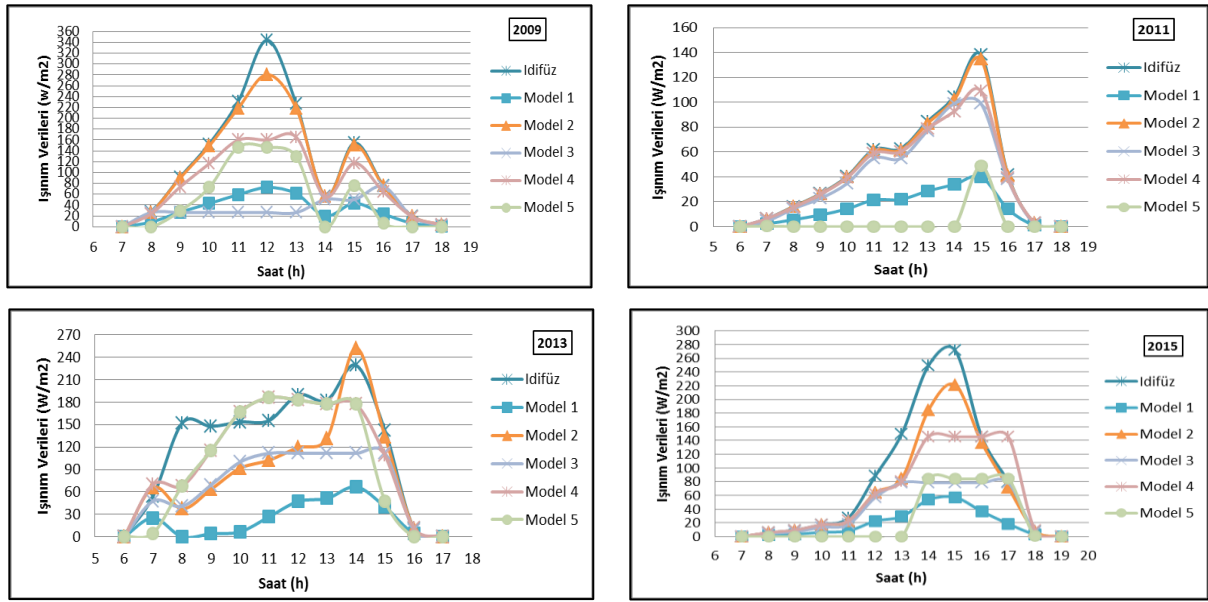
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA (RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION)

Modellerin 7 yıllık ölçüm sonuçlarına göre istatistiksel hataları Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgeden yatay difüz ışınım için, en düşük hatalara sahip olan modelin Erbs ve arkadaşları modeli (Model 2) olduğu tespit edilmiştir. Modeller içinde en büyük sapma, literatürde en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan Liu ve Jordan modelinde (Model 1) olduğu belirlenmiştir. Miguel ve arkadaşları modeli (Model 3) de istatistiksel olarak kabul edilebilir sonuçlar vermiştir.

**Çizelge 2.** Ölçüm sonuçlarına göre modellerin istatistiksel hataları (Statistical Errors of The Models According To Measurement Results)

Model	± MAE, W/m <sup>2</sup>	% MAPE,±	RMSE, W/m <sup>2</sup>
Model 1	83,07	63,08	112,12
Model 2	-3,21	-22,30	65,40
Model 3	35,99	1,62	97,72
Model 4	-21,65	-43,35	91,39
Model 5	-9,51	-15,40	97,95

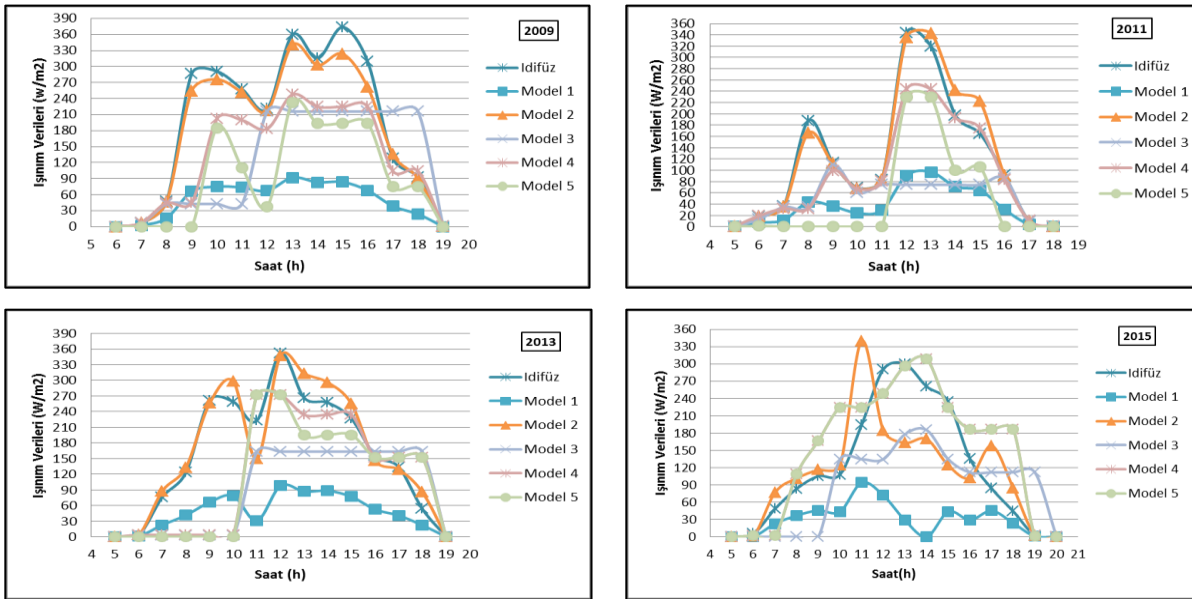
Ölçüm sonuçları ve modellerden elde edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 2-6 arasında belirlenen mevsimsel aylara göre verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının yıldan yıla değiştiği şekillerden görülmüştür. Şekil 2'de şubat ayı için difüz ışınımın saatlik değişimi görülmektedir. Yatay düzlem difüz ışınım ölçüm verileriyle hesaplama sonucu elde edilen yatay düzlem difüz ışınım değerleri için en az sapma gösteren Model 2'dir. Farklı  $k_t$  şartları için hesaplama yapan Model 3, 4 ve 5 ise 2011 yılı hariç ölçüm verilerinden önemli oranda büyük sapmalar yaptığı görülmektedir. Model 1 ise Şekil 2-6'dan da görüldüğü gibi değişik mevsimlerdeki değişik aylar ve yıllar için yüksek oranda mutlak hatalar göstermektedir.



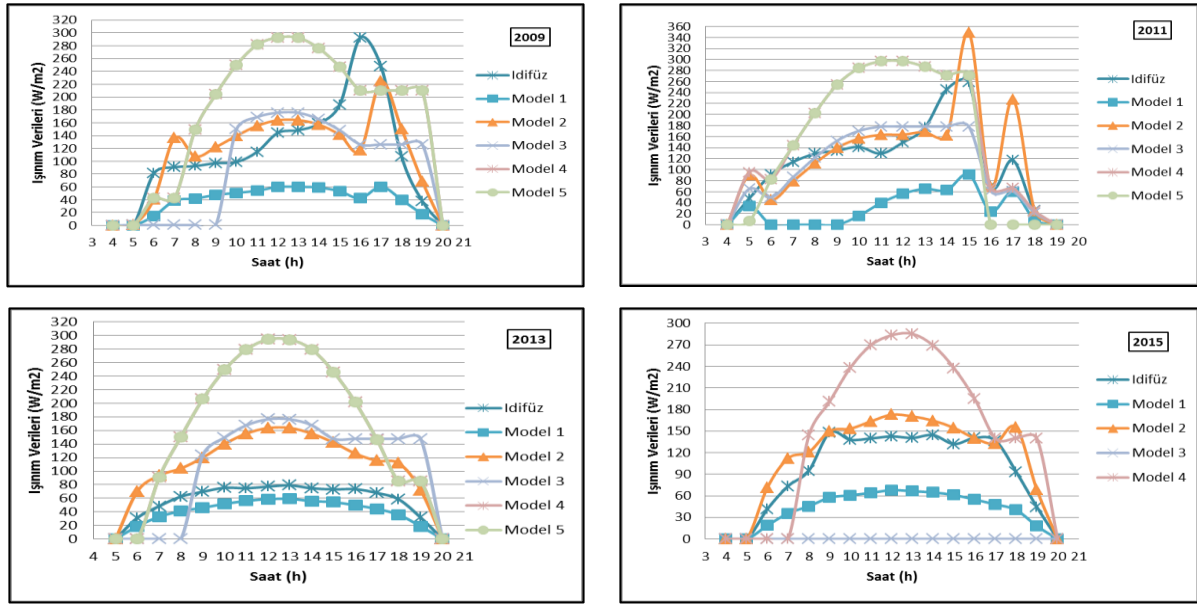
Şekil 2. Şubat ayı referans günü (16 Şubat) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of February (16<sup>th</sup> day of February) )

Nisan ayı yatay düzlem difüz ışınım ölçüm ve hesaplama modellerinin değişim eğrisi Şekil 3'te 2009, 2011, 2013, 2015 yılları için verilmiştir. En az mutlak hata oranıyla hesaplama yapan Model 2, yüksek mutlak hata oranıyla hesaplama yapan metod Model 1 olduğu Şekillerden görülmektedir. Ayrıca, 2015 yılı için incelendiğinde Model 2'nin yatay düzlem difüz ışınım ölçüm değerinden yüksek oranda mutlak hata gösterdiği durumlar için Model 5 daha az bir mutlak hatayla ölçüm sonuçlarını takip ettiği görülmüştür.

Haziran ayı, yatay düzlem difüz ışınım ölçüm ve hesaplama modellerinin değişim eğrileri Şekil 4'te 2009, 2011, 2013, 2015 yılları için verilmiştir. En az mutlak hata oranıyla hesaplama yapan Model 2 olup yatay düzlem difüz ışınım ölçüm değerlerinin çok küçük olduğu yıllar için en çok mutlak hata oranıyla hesaplama yapan metodun Model 1 olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Nisan ayı referans günü (15 Nisan) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of April (15<sup>th</sup> day of April) )

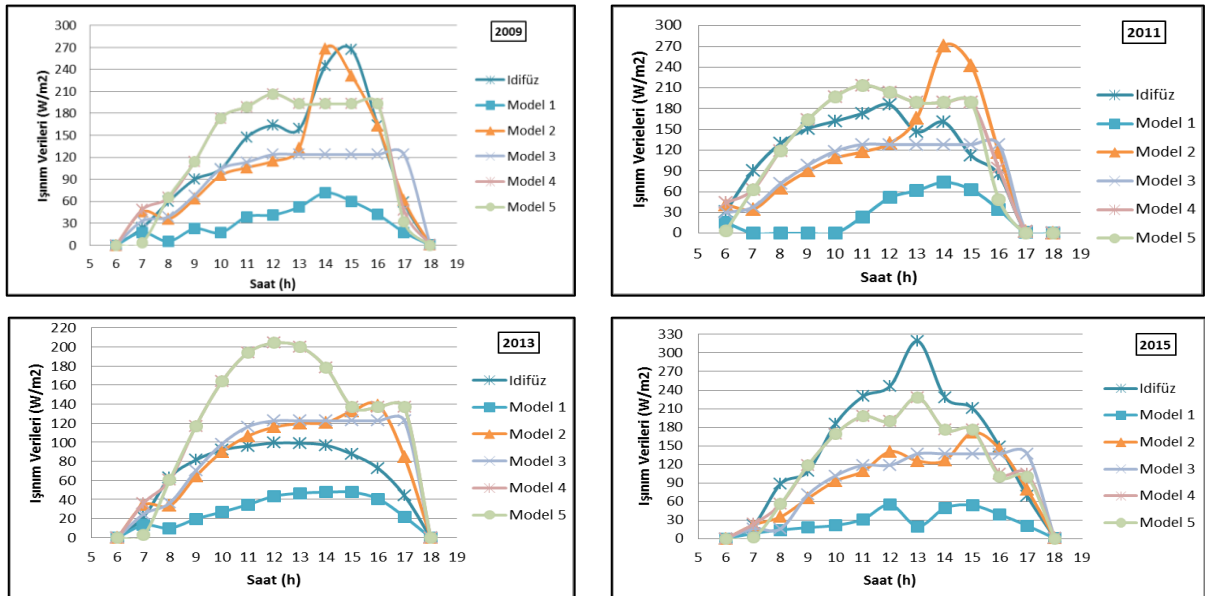


Şekil 4. Haziran ayı referans günü (11 Haziran) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of June (11<sup>th</sup> day of June) )

Şekil 5'te 2009, 2011, 2013, 2015 yılları için Ekim ayı, yatay düzlem difüz ışınım ölçüm ve hesaplama modellerinin değişim eğrileri verilmiştir. 2011 ve 2015 yılları incelendiğinde Model 2'nin yatay düzlem difüz ışınım ölçüm değerinden yüksek mutlak hata oranı gösterdiği durumlar için Model 5 daha az bir mutlak hata oranıyla hesaplama yapmıştır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yatay düzlem saatlik difüz ışınımını hesaplayan literatürdeki 5 farklı modelin uygunluğu, Şanlıurfa'da yapılan 7 yıllık ölçüm verileri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 5. Ekim ayı referans günü (15 Ekim) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of October (15<sup>th</sup> October) )



Difüz ışınım zamanla değişkenlik göstermekle beraber istatistiksel hatalara göre en iyi modelin Erbs ve arkadaşlarının geliştirdiği model olduğu tespit edilmiştir. Erbs ve arkadaşları modeli için, ortalama mutlak hata, -3,21 W/m<sup>2</sup>, ortalama bağıl hata % -22,30 ve hata kareler ortalamasının karekökü 65,4 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Liu ve Jordan modelinin ölçüm verilerinden genellikle büyük sapma gösterdiği tespit edilmiştir. Liu ve Jordan modelinin ortama bağıl hatası %63,08 ve ortalama mutlak hatasının 83,07 W/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan diğer modellerin ise bazı yıllarda ölçüm değerleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Saatlik berraklık indeksine dayanan tek bir modelin yerine, daha düşük hata oranlarını verecek karma modellerin geliştirilmesi ve kullanılması uygun olacaktır. Gerçek difüz ışınım değerleri zamanla değişim gösterdiği için, yıl boyunca tek bir model yerine farklı modellerin kullanılması daha hassas sonuçlar verecektir. Ayrıca, eğimli yüzeyler için ölçüm değerlerinin olmadığı yerlerde en uygun eğimli yüzey difüz ışınım modellerinin tespit edilmesi gerekir.

#### SEMBOL VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBRIVATION)

$I_t$	yatay düzlem saatlik toplam ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$I_0$	atmosfer dışı saatlik toplam ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$I_{difüz}$	yatay düzlem saatlik difüz ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$k_t$	berraklık indeksi
$f$	düzeltilme faktörü
$n$	yılın gün sayısı
$e$	enlem
$d$	denklinasyon açısı
$w$	saat açısı
$LId$	Liu ve Jordan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$EId$	Erbs ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$MId$	Miguel ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$UI_d$	Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$UI_d$	Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal olmayan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
MAE	ortalama mutlak hata
MAPE	ortalama bağıl hata
RMSE	hata kareler ortalamasının karekökü

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bulut H., "Bina enerji analizi ve güneş enerji sistemleri için eğimli yüzeylere gelen toplam güneş ışınım şiddeti değerlerinin hesaplanması", *IX. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 435-448, (2009).
2. Bulut H., Durmaz A. F. ve Yeşilata B., "Eğik yüzeye gelen güneş ışınımı değerlerinin deneysel olarak incelenmesi", *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 143-149, (2006).
3. Bulut H. ve Durmaz A. F., "Türkiye için pencerelerden geçen güneş ışınımının analizi", *II. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 85-95, (2008).
4. El-Sebaei A.A., Al-Hazmi F.S., Al-Ghamdi, A.A. and Yagmour, S.J., "Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia", *Applied Energy*, 87: 568-576, (2010).
5. Kuo, C., Chang, W. and Chang, K., "Modeling the hourly solar diffuse fraction in Taiwan", *Renewable Energy*, 66: 56-61, (2014).
6. Kotti, M.C., Argiriou A.A. and Kazantzidis A., "Estimation of direct normal irradiance from measured global and corrected diffuse horizontal irradiance", *Energy*, 70: 382-392, (2014).
7. Souza, A.P. and Escobedo, J.F., "Diurnal evolution of the hourly diffuse solar radiati on incident on tilted surface in Southeast of Brazil", *International Journal of Energy Science*, 3(3): 137-147, (2013).
8. Souza, A.P. and Escobedo, J.F., "Estimates of hourly diffuse radiation on tilted surfaces in Southeast of Brazil", *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(1): 207-221, (2013).
9. Gulin, M., Vasak, M., and Baotic, M., "Estimation of the global solar irradiance on tilted surfaces", *17th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics*, Dubrovnik-Croatia, 334-339, (2013).
10. Shukla, K.N, Rangnekar, S. and Sudhakar, K., "Comparative study of isotropic and anisotropic sky models to estimate solar radiation incident on tilted surface: a case study for Bhopal, India", *Energy Reports*, 1: 96-103, (2015).
11. Notton, G., Paoli, C., Vasileva, S., Ivanova, L., Nivet, M. L. and Stoyanov L., "Transformation of horizontal global solar data into tilted irradiation at hourly scale: comparison of various methodologies", *Ecological Engineering and Environment Protection*, 3: 13-19, (2012).
12. Demain, C., Journee, M. and Bertrand, C., "Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces", *Renewable Energy*, 50: 710-721, (2013).
13. Davies, J. A. and Mckay, D. C., "Evaluation of selected models for estimating solar radiation on horizontal surfaces", *Solar Energy*, 43(3): 153-168, (1989).
14. El-Sebaei, A.A. and Trabea, A.A., "Estimation of global solar radiation on horizontal surfaces over Egypt", *Egypt. J. Solids*, 28(1): 163-175, (2005).
15. Noorian, A.M., Moradi, I. and Kamali, G.A., "Evaluation of 12 models to estimate hourly diffuse irradiation on inclined surfaces", *Renewable Energy*, 33: 1406-1412, (2008).
16. Jastrzębska-Frydrychowicz, G. and Bugała, A., "Modeling the distribution of solar radiation on a

- two-axis tracking plane for photovoltaic conversion”, *Energies*, 8: 1025-1041, (2015).
17. Li, D. H.W., Lou, S.W. and Lam, J.C., “An analysis of global, direct and diffuse solar radiation”, *Energy Procedia*, 75: 388–393, (2015).
  18. Notton, G., Cristofari, C., Muselli, M. and Poggi P., “Calculation on an hourly basis of solar diffuse irradiations from global data for horizontal surfaces in Ajaccio”, *Energy Conversion and Management*, 45(18-19): 2849–2866, (2004).
  19. Wong, L.T. and Chow, W.K., “Solar radiation model”, *Applied Energy*, 69: 191–224, (2001).
  20. Miguel, A.D., Bilbao, J., Aguar, R., Kambezidis H. and Negro E., “Diffuse solar irradiation model evaluation in the North mediterranean belt area”, *Solar Energy*, 70: 143-153, (2001).
  21. Ulgen, K. and Hepbaslı, A., “Prediction of Solar radiation parameters through clearness index for İzmir, Turkey”, *Energy Sources*, 24: 773-785, (2002).