



T.C.  
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin Alperen GENÇ

OSMANIYE İLİ İÇİN YATAY DÜZLEME  
GELEN GÜNEŞ RADYASYON  
TAHMİNİNİNDE YENİ MODEL  
GELİSTİRİLMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2015

**T.C.  
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OSMANIYE İLİ İÇİN YATAY DÜZLEME GELEN  
GÜNEŞ RADYASYON TAHMİNİNDE YENİ MODEL  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Yasin Alperen GENÇ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE  
EKİM-2015**

## TEZ ONAYI

### OSMANIYE İLİ İÇİN YATAY DÜZLEME GELEN GÜNEŞ RADYASYON TAHMİNİNİNDE YENİ MODEL GELİŞTİRİLMESİ

Yasin Alperen GENÇ tarafından Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE .....  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Coşkun ÖZALP Birinci ÜYE .....  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Atakan AKAR İkinci ÜYE .....  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, ÇÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. A. Ali GÜRTEN .....  
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2014-PT3-041

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Yasin Alperen GENÇ

## ÖZET

### OSMANİYE İLİ İÇİN YATAY DÜZLEME GELEN GÜNEŞ RADYASYON TAHMİNİNİNDE YENİ MODEL GELİŞTİRİLMESİ

Yasin Alperen GENÇ  
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE

Kasım 2015, 80 Sayfa

Bir bölgeye ait güneş enerjisi uygulamalarında tasarlanacak bir sistem için, güneş ışınım verileri ve bileşenleri, en önemli parametrelerdendir. Güneş ışınım verilerinin ölçülmesi ve bulunması çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bundan dolayı güneş ışınım verilerinin olmadığı yerlerde geçerli bir korelasyon gerçekleştirilerek güneş ışınım verileri belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, literatürdeki yatay yüzeye gelen güneş ışınım modelleri incelenmiş, üniversite kampüsünde kurulan meteorolojik ölçüm cihazından (vantage PRO2) alınan veriler kullanılarak Osmaniye’de yatay yüzeye gelen güneş ışınımı için yeni bir model geliştirilmiştir. Meteorolojik ölçüm cihazı 20 m yükseğe kurulmuş ve ışınım verileri 21.06.2012 tarihinden 21.06.2013 tarihine kadar 5 er dakikalık zaman aralığında alınmıştır. Alınan ölçüm verileri sonucunda Osmaniye ili için güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacı ile yeni bir model geliştirilmiş ve daha önce ışınım verileri kullanılarak elde edilmiş farklı dokuz modelle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada, Osmaniye için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı, basit bir hesaplama yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve ölçülen ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece Osmaniye’nin yatay düzleme gelen global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde en iyi yaklaşım modeli elde edilmiştir. Ayrıca modellerin performans analizlerini göstermek için ortalama sapma hatası (MBE), karekök hatası (RMSE) ve ortalama bağıl hatası (MRE) istatistiksel test yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, güneş ışınım verilerinin tahmininde oldukça kabul edilebilir düzeyde görünmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Global Güneş Radyasyonu, Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Türkiye, Osmaniye

## ABSTRACT

### ESTABLISHING NEW MODEL FOR PREDICTING THE GLOBAL SOLAR RADIATION ON HORIZONTAL SURFACE IN OSMANIYE

Yasin Alperen GENÇ  
M.Sc. , Department of Mechanical Engineering  
Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE

November 2015, 80 Pages

Solar radiation data and its components are one of the most important parameters for the system designed for solar energy applications in a certain region. In most cases, it is nearly impossible to find and measure solar radiation data. Thus, in places in which there is no solar radiation data, it is possible to determine solar radiation by carrying out a valid correlation. In this study, solar radiation models on the horizontal surface have been investigated and by making use of the data gathered from the meteorological measurement device (vantage PRO2) established in the university campus of Osmaniye Korkut Ata, a new model for the global solar radiation on horizontal surface in Osmaniye has been developed. At the beginning of the study, meteorological measuring device was established in 20 m high and solar radiation data were obtained in five-minute time interval from 09.09.2012 to 09.09.2013. Taking the measured data into consideration, a new model has been developed to determine the solar energy potential in Osmaniye, and nine different models have been compared with each other by using radiation data previously collected. In this study, instantaneous global solar radiation on horizontal surface of Osmaniye has been determined by using simple calculation method and a comparison of measured and calculated values has been made. Therefore, the best approach model in the estimation of global solar radiation on the horizontal surface of Osmaniye has been determined. Moreover, with a view to showing performance analysis of models, the statistical testing methods such as mean absolute percentage errors (MAPE), mean absolute bias error (MABE), root mean square error (RMSE) were used. The results reveal that a new model seems highly acceptable for predicting the solar radiation in Osmaniye.

Keywords: Global Solar Radiation, Solar Energy, Renewable Energy, Turkey, Osmaniye

*Çok kıymetli aileme...*

## TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE'ye, teşekkürlerimi sunarım.

Tez dönemim boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, her kararında yanımda olan sevgili aileme minnettarım.

Ayrıca tez çalışmam boyunca deneyimlerinden faydalandığım değerli arkadaşlarım Kazım Emre Akarsu, Ahmet Cihat Yıldız, Coşkun Atalay ve çalışma arkadaşım Osman Karakuz'a teşekkür ederim.

Yüksek lisan eğitimim boyunca katkı ve önerilerinden dolayı tez jürimde yer alan hocalarıma ve beni destekleyen diğer hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.



# İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
İTHAF SAYFASI .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Güneş Enerjisi.....	3
1.2. Güneş Radyasyonu.....	4
1.2.1. Güneş Radyasyonu Ölçüm Cihazları.....	5
1.2.2. Güneş Radyasyonu Tahmin Modelleri.....	10
1.2.3. Uluslararası Kullanılan Ölçüm Modelleri .....	12
1.2.4. Türkiye’de Global Güneş Radyasyonu.....	16
1.2.5. Osmaniye’de Global Güneş Radyasyonu.....	18
1.3. Güneş Açılırları.....	20
1.4. Güneş Açılırları Genel Bağlılıkları.....	27
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	30
2.1. İstatiksel Tabanlı Global Güneş Radyasyonu Modelleri.....	34
2.1.1. Güneşlenme Süresi Bazlı Lineer Modeller.....	35
2.1.2. Güneşlenme Süresi Bazlı Karekök Modeller.....	42
2.1.3. Güneşlenme Süresi Bazlı Küpkök Modeller.....	44
3.1.4. Bulut Bazlı Modeller.....	47
2.1.5. Sıcaklık Bazlı Modeller.....	48
2.1.6. Diğer Modeller.....	49
3. TEORİ VE YÖNTEM.....	55
3.1. Konum.....	55
3.2. Ölçüm.....	57
3.3. Vantage Pro 2 Cihaz Özellikleri.....	57
3.4. Model Oluşturulması.....	58
3.5. İstatiksel Analiz Metotları.....	59
3.5.1. Bağıl Hata Yüzdesi.....	59

3.5.2.	Belirlilik Katsayısı.....	60
3.5.3.	Ortalama Yüzde Hatası.....	60
3.5.4.	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi.....	60
3.5.5.	Bağıl Hata Karesi.....	60
3.5.6.	Bağıl Standart Toplam Hata.....	61
3.5.7.	Ortalama Sapma Hatası.....	61
3.5.8.	Karekök Hatası.....	61
3.6.	İstatiksel Analiz İçin Kullanılan Modeller.....	61
<b>4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>		<b>63</b>
4.1.	Osmaniye İli Aylık Ortalama Günlük Güneş Radyasyon Değerleri.....	63
4.2.	Osmaniye İli Aylık Ortalama Günlük Dünya Dışı Güneş Radyasyonu Değerleri.....	64
4.3.	Osmaniye İli Aylık Ortalama Gün Uzunlukları.....	66
4.4.	Osmaniye İli Aylık Ortalama Maksimum Mümkün Güneşlenme Süresi.....	66
4.5.	Osmaniye İli İçin Geliştirilen Güneş Radyasyon Modeli.....	67
4.6.	Osmaniye İli İçin Literatürdeki Modellerin Güneş Radyasyonu Değerleri.....	69
<b>5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>		<b>72</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>		<b>73</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>		<b>80</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Güneşlenme süresi bazlı lineer modeller.....	50
Çizelge 2.2. Güneşlenme süresi karekök lineer modeller.....	52
Çizelge 2.3. Güneşlenme süresi küp kök lineer modeller.....	53
Çizelge 2.4. Bulut bazlı modeller.....	53
Çizelge 2.5. Sıcaklık bazlı modeller.....	54
Çizelge 2.6. Diğer Modeller.....	54
Çizelge 3.1. Karşılaştırılması yapılan güneş radyasyonu modelleri.....	62
Çizelge 4.1. Osmaniye İli ölçülen aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri.....	63
Çizelge 4.2. Osmaniye İli hesaplanan aylık ortalama günlük $f$ , $\delta$ , $w_s$ ve $n$ değerleri.....	65
Çizelge 4.3. Osmaniye İli hesaplanan aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu.....	65
Çizelge 4.4. Osmaniye İli meteoroloji ortalama gün uzunlukları verileri.....	66
Çizelge 4.5. Osmaniye ili hesaplanan aylık ortalama maksimum mümkün güneşlenme süresi.....	67
Çizelge 4.6. Hesaplanan $H/H_0$ ve $S/S_0$ değerleri.....	68
Çizelge 4.7. Modellerin istatistiksel analiz yöntemleri ile karşılaştırılması.....	70

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yüzeğe gelen güneş ışınım şekilleri.....	5
Şekil 1.2. Pyranometre.....	6
Şekil 1.3. Aktinometre.....	7
Şekil 1.3. Aktinograf.....	7
Şekil 1.5. Pyrliometre.....	8
Şekil 1.6. Gölge Bantlı Pyranometre.....	9
Şekil 1.7. Helyograf.....	9
Şekil 1.8. Mart-2014 Meteororm global güneş radyasyonu haritası.....	12
Şekil 1.9. Trento (İtalya) bölgesinin Grass R.sun kullanılarak oluşturulan 1 senelik ortalama global güneş radyasyon dağılımı.....	13
Şekil 1.10. ESRI Solar Analyst.....	14
Şekil 1.11. European Solar Radiation Atlas.....	15
Şekil 1.12. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).....	17
Şekil 1.13. Türkiye'nin aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -gün).....	17
Şekil 1.14. Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri (Saat).....	18
Şekil 1.15. Osmaniye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası .....	19
Şekil 1.16 Şekil 1.16 Osmaniye aylık ortalama global güneş radyasyon değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -gün).....	19
Şekil 1.17. Osmaniye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri (Saat).....	20
Şekil 1.18. Güneş Açılırları.....	22
Şekil 1.19. Güneş Açılırları.....	23
Şekil 1.20. Güneş Açılırları.....	23
Şekil 1.21. Güneş Açılırları.....	24
Şekil 1.22. Güneş Açılırları.....	24
Şekil 1.23. Güneş Açılırları.....	25
Şekil 1.24. Güneş Açılırları.....	25
Şekil 1.25. Güneş Açılırları.....	26
Şekil 1.26. Güneş Açılırları.....	26
Şekil 3.1. Osmaniye İli uydu görüntüleri.....	55
Şekil 3.2. Osmaniye İli uydu görüntüleri.....	56

Şekil 3.3. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ölçüm merkezi uydu görüntüleri.....	56
Şekil 3.4. Ölçüm İstasyonu.....	57
Şekil 3.5. Vantage Pro 2 meteorolojik ölçüm cihazı.....	58
Şekil 4.1. Osmaniye İli ölçülen aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri....	64
Şekil 4.2 Osmaniye İli için geliştirilen güneş radyasyon modeli .....	68
Şekil 4.3. Osmaniye ili için hesaplanan aylık ortalama global güneş radyasyonu (H) değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.....	71

## SİMGELER VE KISALTMALAR

H	Aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu	(kwh/m <sup>2</sup> gün)
H <sub>0</sub>	Aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu	(kwh/m <sup>2</sup> gün)
S	Gün uzunluğu	(Saat)
S <sub>0</sub>	Maksimum güneşlenme süresini	(Saat)
I <sub>gs</sub>	Güneş sabiti	(W/m <sup>2</sup> )
<i>f</i>	Dünya yörüngesinin düzeltme katsayısı	(-)
$\lambda$	Enlem	(-)
$\delta$	Güneş deklinasyon açısı	(Derece)
w <sub>s</sub>	Aylık ortalama gündeğümü saat açısını	(Derece)
$\alpha_s$	Yükseklik açısı	(Derece)
$\beta$	Güneş açısı	(Derece)
$\gamma$	Yüzey azimut açısı	(Derece)
$\theta$	Geliş açısı	(Derece)
$\theta_z$	Zenit Açısı	(Derece)
S	Eğitim açısı	(Derece)
m	Hava kütlesi	(g)
<i>e</i>	Bağlı hata yüzdesi	(-)
<i>R</i> <sup>2</sup>	Belirlilik katsayısı	(-)
MPE	Ortalama Yüzde Hatası	(-)
MAPE	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi	(-)
SSRE	Bağlı Hata Karesi	(-)
RSE	Bağlı Standart Toplam Hata	(-)
MBE	Ortalama Sapma Hatası	(-)
RMBE	Karekök Hatası	(-)

## 1.GİRİŞ

Son yirmi yılda, güneş enerjisi çalışmaları heyecan verici derecede artış göstermiş, endüstri ve uygulama alanlarında daha çok kullanılmaya başlanmıştır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisi, dünya çapında termal ve fotovoltaik sistemler olarak kullanılmaktadır. Güneş, rüzgâr, gelgit, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları, fosil kaynakların yanında, çevre dostudur. Fosil kaynakların yüksek maliyetleri ve atmosfere zararları nedeniyle dünyanın her yerinde var olan yenilenebilir enerji kaynakları, daha fazla kullanılarak bu zararlar önlenir. Dünyanın her yerinde var olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en büyük enerji kaynağı olarak gösterilir. Güneş enerjisi uzun bir süre havayı kirletmeden elektrik ve ısı kaynağı olarak kullanılabilir [1]. Yenilenebilir enerji sadece Türkiye ve Dünya'nın enerjisinin karşılanması için değil, dünyanın geleceği içinde büyük önem arz etmektedir. Bunun altında, fosil kaynaklara oranla yenilenebilir enerji kaynaklarının çok üstün özelliklerinin olmasıdır. Fakat şu andaki teknolojik yeterlilikle dünyanın tüm enerjisinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması mümkün gözükmemektedir [2]. Bunun giderilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları birbiriyle kombine şekilde kullanılabilir [3].

Yapılan araştırmalar ve literatür taramaları göstermiştir ki, güneş enerjisi, araştırmacılar tarafından vurgulanan beş önemli alanda incelenmiş ve bu alanlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- a) Solar termal kolektörlerin ve PV/T sistemlerin verimliliklerinin artırılması,
- b) Güneş tabanlı tek veya hibrit sistemleri kullanarak elektrik üretimi,
- c) Güneş enerjili hidrojen üretimi,
- d) Güneş enerjisi uygulamalarının binalarda ve endüstride kurutma amaçlı kullanımı,
- e) Güneş enerjisi radyasyonu bileşenlerinin iyi belirlenerek verimliliğin artırılması [4].

Güneş enerjili cihazların tasarımında ve çalışmasında verimliliğin artırılması için en önemli gereksinimlerden birisi, bulunulan yerin güneş radyasyonu bileşenlerinin iyi bilinmesidir [5]. Herhangi bir yerde güneşin, cihazlar için kullanılabilirliğinin, diğer bir deyişle, güneş radyasyonu ve bileşenlerinin, mühendisler, mimarlar, hidrologlar

gibi meslek grupları tarafından bilinmesi gerekir [6]. Öte yandan deneysel modeller yardımıyla güneş enerjisi kapasitesinin belirlenmesi, doğal kaynaklarının sürdürülebilirliği ve güneş enerjisi teknolojilerinin gelişiminde büyük rol oynar [7]. Bundan dolayı dünyada ve Türkiye’de çeşitli deneysel formüller güneş radyasyonunun tahmini için test edilmiştir. Bu bağlamda Türkiye’de güneş radyasyonu ölçümlerinin değerlendirilmesi hakkında yapılan çalışmalar 4 grupta sınıflandırılabilir ve bunlar aşağıdaki gibi olabilir [8]:

1. Türkiye için geliştirilen deneysel korelasyonlar [9-12],
2. Türkiye’nin bazı bölgeleri için geliştirilen deneysel korelasyonlar, örneğin İstanbul, Gebze, Trabzon, Antalya, İzmir, Konya gibi [13-17],
3. Güneş radyasyonu tahminleri için verileri ve grafikleri kullanmak [18-20],
4. Diğer solar radyasyon çalışmaları ise Angström denklemi katsayıları ile tahmin ve istatistiksel analiz ve güneş radyasyon değerlerini tahmini olan çalışmalar.

Tüm araştırmaların doğrultusunda, bir bölgeye ait güneş enerjisi uygulamalarında tasarlanacak bir sistem için, güneş ışınım (radyasyon) verilerinin ve bileşenlerinin en önemli parametrelerden olduğu gözlemlenmiştir. Güneş ışınım verilerinin ölçülmesi ve bulunması çoğu zaman yararlanılacak bölge için mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı güneş ışınım verilerinin olmadığı yerlerde geçerli bir korelasyon gerçekleştirilerek, güneş ışınım verileri belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, literatürde ki yatay yüzeye gelen güneş ışınım modelleri incelenerek, üniversite kampüsünde kurulan meteorolojik ölçüm cihazından (Vantage PRO2) alınan veriler kullanılarak Osmaniye’de yatay yüzeye gelen güneş ışınımı için yeni bir model geliştirilmiştir. Meteorolojik ölçüm cihazı 20 m yükseğe kurulmuş ve ışınım verileri 21.06.2012 tarihinden 21.06.2013 tarihine kadar beşer dakikalık zaman aralığında alınmıştır. Alınan ölçüm verileri sonucunda Osmaniye ili için güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacı ile yeni bir model geliştirilmiş ve daha önce ışınım verileri kullanılarak elde edilmiş farklı dokuz modelle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada, Osmaniye için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı (toplam güneş radyasyonu), basit bir hesaplama yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve ölçülen ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece Osmaniye’nin yatay



düzleme gelen global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde en iyi yaklaşım modeli elde edilmiştir. Ayrıca modellerin performans analizlerini göstermek için ortalama sapma hatası (MBE), karekök hatası (RMSE) ve ortalama bağıl hatası (MRE) istatistiksel test yöntemleri kullanılmıştır.

## 1.1. Güneş Enerjisi

Fosil yakıtların sınırlı olmasından ve çevreye verdikleri geri dönüşümü zor zararlarından dolayı, günümüzde alternatif enerji kaynakları tercih sebebi olmaya başlamıştır. Şu an ki sahip olduğumuz fosil yakıtların gelişen teknoloji ve artan enerji talepleri nedeniyle yoğun bir şekilde kullanılması ile ozon tabakasının delinmesi, asit yağmurları, küresel ısınma gibi etkiler, dünyayı belki de geriye dönüşü zor bir çevre kirliliği ile karşı karşıya bırakmıştır. Yani fosil yakıtların bitecek olması, gelişen teknoloji, artan enerji talebi ve çevresel etmenler alternatif enerji kaynakların kullanımını gerektiren en önemli sebeplerdir. Alternatif enerji kaynakları rüzgâr enerjisi, bio enerji, güneş enerjisi, gelgit enerjisi vb. kaynaklar teknolojinin gelişmesi ve verimliliğin artırılmasına takiben daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Fosil kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynakları Güneş'in Dünya'ya etkileri ile meydana gelmiştir. Bundan dolayıdır ki güneş en fazla öneme ve enerjiye sahiptir. Günümüzde gelişen güneş enerjisi teknolojileri ile güneşten istenilen düzeylerde yararlanılmasını mümkün kılmadığından, güneş enerjisi konusunda yapılan çalışmalar çok büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple güneş enerjisi çalışmaları hız kazanmaktadır.

Güneşten bahsedecek olursak: Güneş 1,4 milyon km çapında dünyanın 110 katı büyüklüğünde ve dünyadan  $1,5 \times 10^{11}$  m uzaklıkta, yüksek sıcaklıklı ve yüksek basınçlı bir yıldızdır. Dış tabakanın sıcaklığının 6000 °K olduğu, iç kısımlardaki sıcaklığın  $8 \times 10^6$  °K ile  $40 \times 10^6$  °K arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Güneş, enerjisini 4 Hidrojen atomunun 1 Helyum atomuna dönüşmesi ile sağlar. Güneş'te her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı  $3,86 \times 10^{26}$  J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji ışınım şeklinde uzaya yayılmaktadır. Toplam enerji rezervi  $1,785 \times 10^{47}$  J olan güneşin milyonlarca yıl yaşayacağını düşünürsek Dünya için sonu olmayan bir enerji kaynağı olarak adlandırılabilir. Güneş enerjisini radyasyon(ışınım) şeklinde uzay boşluğuna,

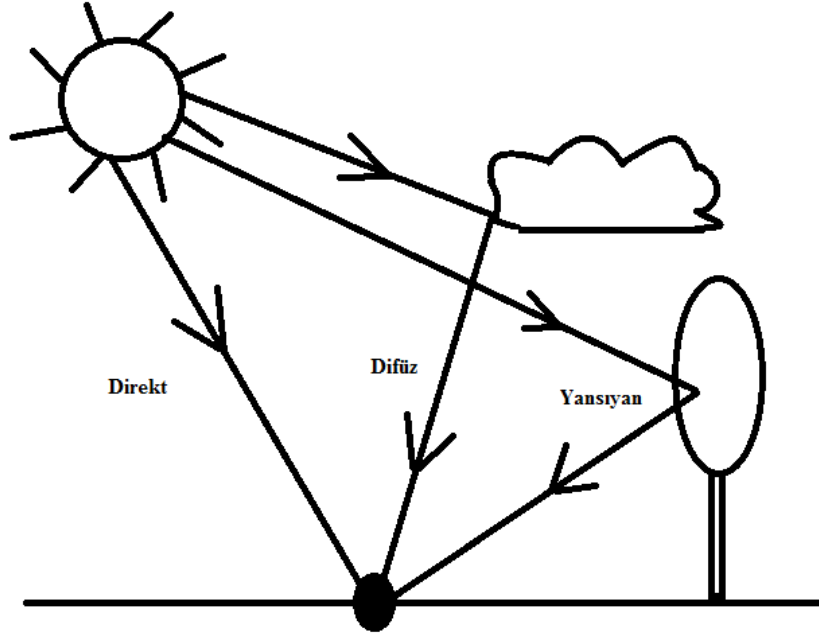
Dünya'ya ve diğer gezegenlere iletmektedir. Dünyanın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş radyasyonu, 178 trilyon kW düzeyindedir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır [21-24].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Yeni ölçüm çalışmaları ile birlikte güneş enerjisi değerlerinin eski sonuçlardan %20-25 oranında fazla çıkacağı tahmin edilmektedir [25].

## **1.2. Güneş Radyasyonu**

Radyasyon, bir diğer adıyla ışınım, enerji kaynağından yayılan elektro manyetik dalgalar veya parçacıklar şeklindeki enerjinin emisyonu veya taşıma şeklidir. Atom, proton, nötron ve bunun çevresinde dönmekte olan elektronlardan oluşmaktadır. Atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla ise; bu tür maddeler kararsız bir yapı göstermekte ve çekirdeğindeki nötronlar alfa, beta, gama gibi çeşitli ışınlar yaymak suretiyle parçalanmaktadırlar. Bu şekilde çevresine ışın yayan maddeler "radyoaktif madde", çevreye yayılan ışınlara alfa, beta ve gama denmekte ve bunlara "radyasyon" adı verilmektedir.

Güneş radyasyonu yeryüzündeki herhangi bir yüzeye gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınımlardan oluşmaktadır. Bu ışınım şekilleri Şekil 1.1. 'de gösterilmiştir [26].



Şekil 1.1. Yüzeğe gelen güneş ışınım şekilleri [26]

Direkt güneş radyasyonu; yansımadan, saçılmadan direkt olarak gökyüzünden yeryüzüne ulaşan ışınımaya denir. Difüz radyasyon yeryüzüne bulutlar, hava molekülleri, aerosoller gibi parçacıklar ve su damlaları vasıtasıyla dağılarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarıdır. Yansıyan güneş radyasyonu ise yeryüzündeki etmenler vasıtasıyla yansımaya uğramış ışınlarla denir. Bu ışınımların toplamına “global (toplam) güneş radyasyonu” adı verilmektedir. Başka bir açıklaması da şöyle yapılmıştır; Güneşten yatay yüzeye  $2\pi$ 'lik açıyla gelen radyasyon toplamıdır. Dalga boyu 300 – 3000 nm'dir [27].

### 1.2.1. Güneş Radyasyonu Ölçüm Cihazları

Güneş radyasyonu aşağıdaki cihazlar yardımıyla ölçülmektedir [27];

- Global güneş radyasyonu: Pyranometre, Aktinometre, Aktinograf
- Direkt güneş radyasyonu: Pyrheliometre
- Difüz güneş radyasyonu: Gölge bantlı pyranometre
- Güneşlenme süresi ölçümleri: Helyograf / Güneşlenme Süresi Ölçer

### a) Pyranometre

Yatay düzleme gelen global güneş radyasyonu şiddetini ölçmede kullanılır. Pyranometre kullanılarak alınan güneş enerjisi ölçümleri, metrekareye düşen global güneş enerjisi miktarını  $W/m^2$  cinsinden vermektedir. Pyranometre’ de bulunan sensör güneşten aldığı radyasyona göre voltaj üreterek ölçümü gerçekleştirmektedir. Pyranometre Şekil 1.2.’de gösterilmiştir [27].



Şekil 1.2. Pyranometre

### b) Aktinometre

Anlık global güneş radyasyon şiddetinin ölçülmesinde ve aktinografin kalibrasyonunda kullanılır. Siyah ve beyaz boyalı hazneye sahip termometre ile sıcaklık ölçme metodudur. Bu termometreden ölçülen sıcaklıklar arasındaki farkın sertifika değerine bölünmesiyle  $cal/cm^2/dak$  cinsinden radyasyon değeri elde edilir. Şekil 1.3.’te gösterilmiştir [27].



Şekil 1.3. Aktinometre

### c) Aktinograf

Yatay bir yüzey üzerine düşen küresel radyasyonu yani güneş ışınları şiddetini ölçmek için kullanılan kaydedici aletlere denir. Diyagramları günlüktür. Bu aletler günün her saatindeki güneş enerjisini  $\text{cal/cm}^2/\text{dak}$  grafiğe yazar. Siyaha boyalı ve güneş radyasyonu etkisinde bulunan bimetalik bir çubuk ile beyaza boyalı ve güneş radyasyonundan korunmuş iki bimetalik çubuk arasındaki sıcaklık farkını tespit etmek için mekanik bir bağlantıya sahiptir. Şekil 1.4.'de gösterilmiştir [27].



Şekil 1.4 Aktinograf

#### **d) Pyrheliometre**

Pyrheliometre, doğrudan (direkt) gelen güneş radyasyon enerjisi miktarını ölçen cihazlardır. Pyrheliometre ölçüm değerleri, özellikle doğrudan güneş ışınımını kullanabilen odaklı sistemler için önemlidir. Bunun için cihazın güneşe tam dik konumda veyahut güneş takip sistemleri ile bütünleşmiş şekilde kullanılarak ölçüm alması gerekmektedir. Şekil 1.5.'te pyrheliometre gösterilmiştir [27].



Şekil 1.5. Pyrheliometre

#### **e) Gölge Bantlı Pyranometre**

Difüz güneş radyasyon enerjisini ölçmekte kullanılır. Gölge bantlı pyranometre aslında standart bir pyranometre kullanılarak yapılmış bir düzendir. Güneş izleme sistemi ile birlikte çalışan bir bant veya topuz sürekli olarak pyranometre' nin alıcı kısmı ile güneş arasında kalarak doğrudan güneş ışınlarının algılayıcıya ulaşmasını engeller. Böylece algılayıcıya sadece difüz güneş ışınları ulaşır. Şekil 1.6.'da gölge bantlı pyranometre gösterilmiştir [27].



Şekil 1.6. Gölge Bantlı Pyranometre

#### f) Helyograf

Günlük güneşlenme süresinin belirlenmesinde kullanılan alettir. Helyograf aleti, güneşten doğrudan gelen güneş ışınlarını bir diyagram üzerine kaydeder. Güneş ışınları bir kâğıt üstüne yoğunlaştırılır, kâğıdın yanması sebebiyle bıraktığı iz ölçülerek güneşlenme süresi tespit edilir. Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından standart ölçü olarak kabul edilir ve Türkiye’de de kullanılır. Şekil 1.7.’ de helyograf gösterilmiştir [27].



Şekil 1.7. Helyograf

### **1.2.2. Güneş Radyasyonu Tahmin Modelleri**

Gelişen, büyüyen ve kentleşen dünyamızda güneş radyasyonu ölçümü de giderek zorlaşmaktadır. Bunun en büyük nedeni ölçüm aletlerinin önceden şehir dışına konulması yeterli iken, şu anda şehir içlerine de konulması gerekliliğidir. Şehir içlerinde ki fazla parametreden dolayı ölçüm aletleri sağlıklı veriler elde edememektedirler. Ayrıca bakım, kalibrasyon, insan gücü gerekliliği ve işletim zorlukları gibi nedenlerden dolayı ekstra maliyetler getirmektedir. Bundan dolayıdır ki yapılan çalışmalar sonucunda güneş radyasyonu tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bunları iki kısımda inceleyebilir [28].

- a) Yer tabanlı tahmin modelleri
- b) Uydu tabanlı tahmin modelleri

#### **a) Yer Tabanlı Tahmin Modelleri**

Yer yüzeyindeki gözlem istasyonları tarafından alınan verilerin (güneşlenme süresi, nemlilik, bulutluluk, sıcaklık gibi) işlenmesi ile elde edilen modellerdir. Bu gözlemler daha önce verilen ölçüm cihazları ile sağlanmaktadır. Yer tabanlı modeller, istatistiksel tabanlı ve fiziksel tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmıştır [28].

#### **b) Uydu Tabanlı Tahmin Modelleri**

Uydu teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte, uydu bazlı güneş radyasyon modelleri de gelişmeye başlamıştır. Güneş radyasyon verilerinin tahmininde uydu verilerinin kullanılması çalışmalara yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Güneş radyasyonun tahmininde üç çeşit yöntem geliştirilmiştir. Bunlar; uydu tabanlı fiziksel modeller, uydu tabanlı istatistiksel modeller ve uydu tabanlı melez modellerdir [28].



### **a.1) Fiziksel Tabanlı Modeller**

Gelen güneş radyasyonu ile atmosfer arasındaki etkileşmeleri içeren birçok etmene bağlı olarak çözümlenen bir model çeşididir. Atmosferin üst kısmında, gelen güneş radyasyonu su buharı, bulutlar, moleküler gazlar gibi atmosferik bileşenlerden etkilenir. Bu atmosferik bileşenlerin iyi bilinmesi ve analiz edilmesi gerekir. Gelen radyasyonun bir kısmı geri yansırken, bir kısmı da soğrulur ve geri kalan kısım global güneş radyasyonu olarak dünyaya ulaşır.

Hantal ve kullanışsız hesaplamalar, atmosferin saçılım etkisinin kabuller ile sürdürülmesi, güneş ışınımının dalga boyu aralıklarının ayrı ayrı belirlenmesi, yüzeyden yansıyan radyasyonun dikkate alınmaması, modellerin kabullere, gözlemlere ve atanmış değerlere dayandırılması vb. birçok dezavantaj bu modellerde karşılaşılan problemlerdir. Fiziksel modellerin en büyük avantajı ise atmosferin dinamik yapısını ve belli oranda atmosfer ile gelen radyasyon arasındaki etkileşimleri dikkate almasıdır. Böylece bu modeller atmosferde meydana gelen anlık veya kısa süreli hadiselerle karşı tepki verme özelliği açısından daha iyidir [28].

### **b.1.) İstatiksel Tabanlı Modeller**

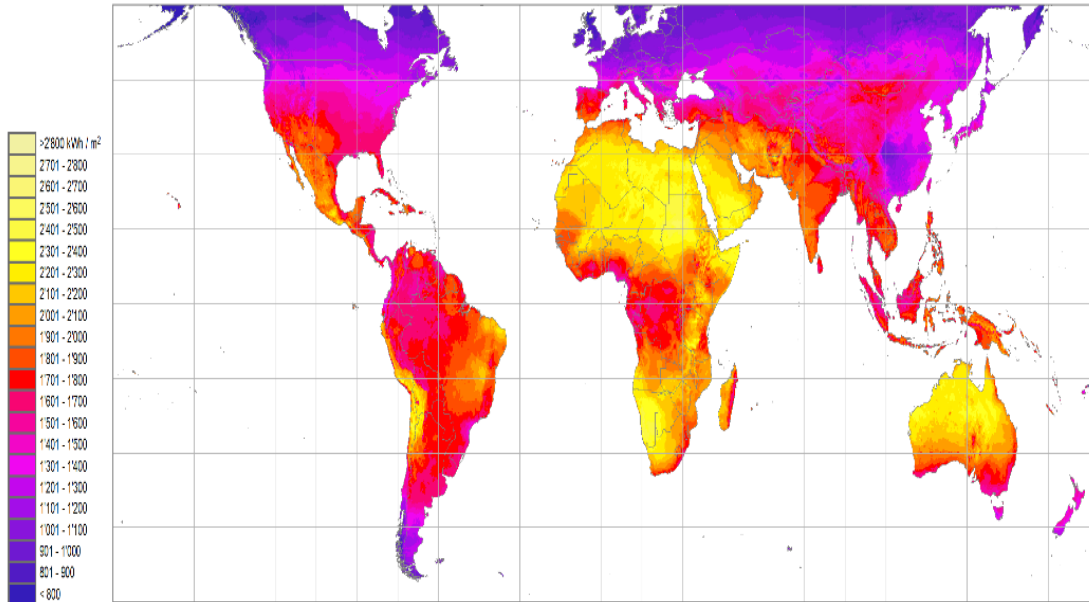
Güneşlenme süresi, bulutluluk ve sıcaklık gibi parametrelerle global güneş radyasyonu arasında ki ilişkiye dayanır. Bu modellerin verimleri yüksektir. Global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi arasındaki ilişkiyi ilk olarak Kimball(1919) grafiksel olarak kullanmıştır. Sayısal bir ilişki ise ilk olarak Angström, Prescott, Page (Angström,1924) tarafından kurulmuştur [28].

### 1.2.3. Uluslararası Kullanılan Ölçüm Modelleri

#### a) NASA Meteonorm

NASA tarafından geliştirilmiştir. Uydu tarafından alınan atmosferik verilerin işlendiği küresel ve yerel bazda güneş ışınım hesaplamalarında yararlanılmaktadır. Kullandığı radyasyon ve iklim verilerinin uzun dönemli ve güncel olması bu modele büyük avantaj sağlamaktadır, fakat sadece NASA'nın hazırladığı 90 m yükseklik modelinin kullanımının sınırlı olması nedeni ile daha hassas çözümlüklere inilememesi dezavantajdır. 90 m çözünürlük ise güneş hesaplamalarında yeterli kabul edilmektedir. Fakat evler için ufak güneş enerjisi uygulamaları için uygun değildir. Türkiye'de 150 istasyon mevcuttur. Çok büyük ölçekli yerlerin güneş enerjisi potansiyellerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Örnek verecek olursak Afrika kıtasının güneş enerjisi potansiyel atlasının çıkartılmasında çok uygundur. Şekil 1.8.'de örnek bir harita gösterilmektedir [29].

Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI)



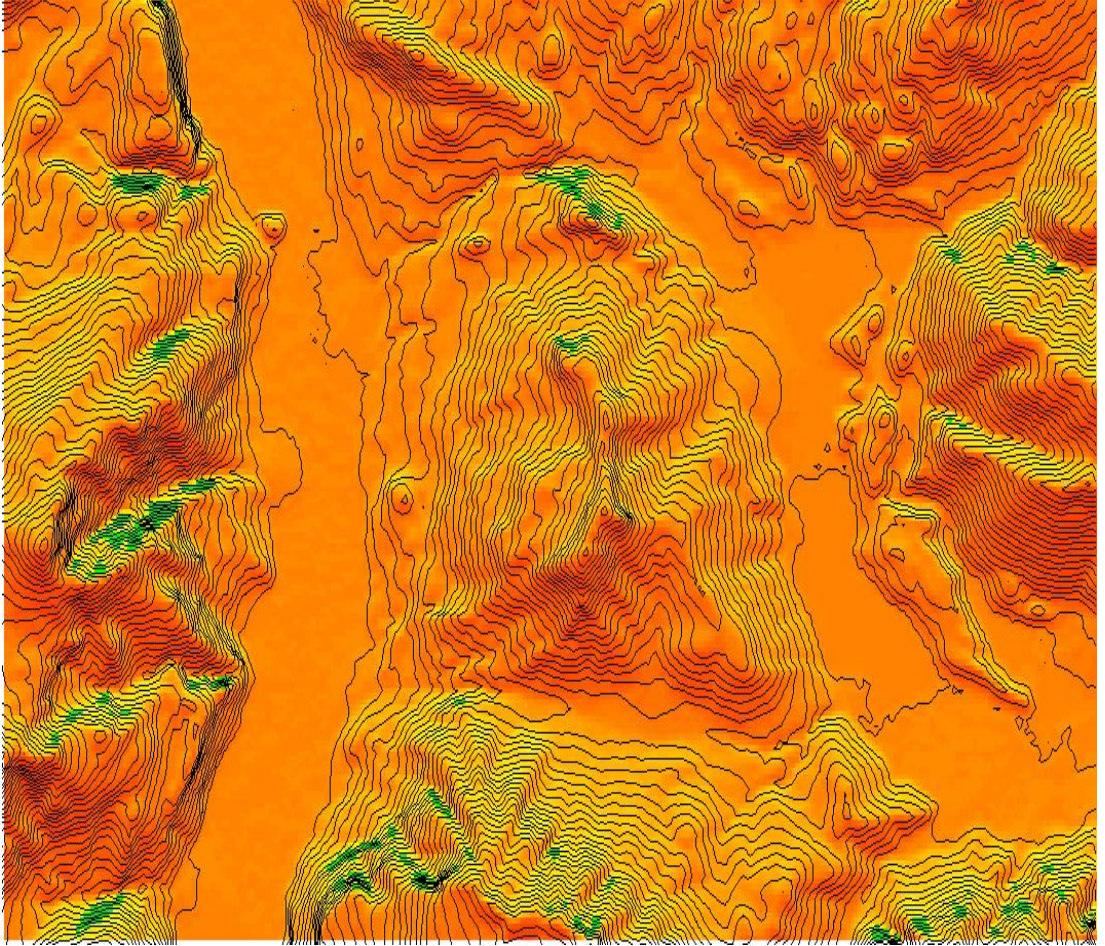
Source: Meteonorm 7.1 (www.meteonorm.com); uncertainty 8%  
Period: 1991 - 2010; grid cell size: 0.125°

March 2014 

Şekil 1.8. Mart-2014 Meteonorm global güneş radyasyonu haritası [29]

## b) GRASS R.sun

Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Komisyonu tarafından geliştirilen kaynak kodlu bir model şeklidir. Alansal olarak kk yerlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. rnek verecek olursak Türkiye’ de il, ile, mahalli alan da dahi kullanılabilir. Model içerisinde yatay, dikey ve açısal yüzeyler için direk, difüz, yansıtılan radyasyon değerlerini ve bunların toplamı olan global radyasyon değerleri saatlik hesaplanırken bu değerlerin günlük, aylık ve yıllık değerleri ile elektrik üretimi hesaplanmakta olup ayrıca gölgelenme hesapları da yapılmaktadır. Yerel bazda kullanıma en uygun modeldir. şekil 1.9.’da Grass R.sun’dan bir resim görebilirsiniz [29].

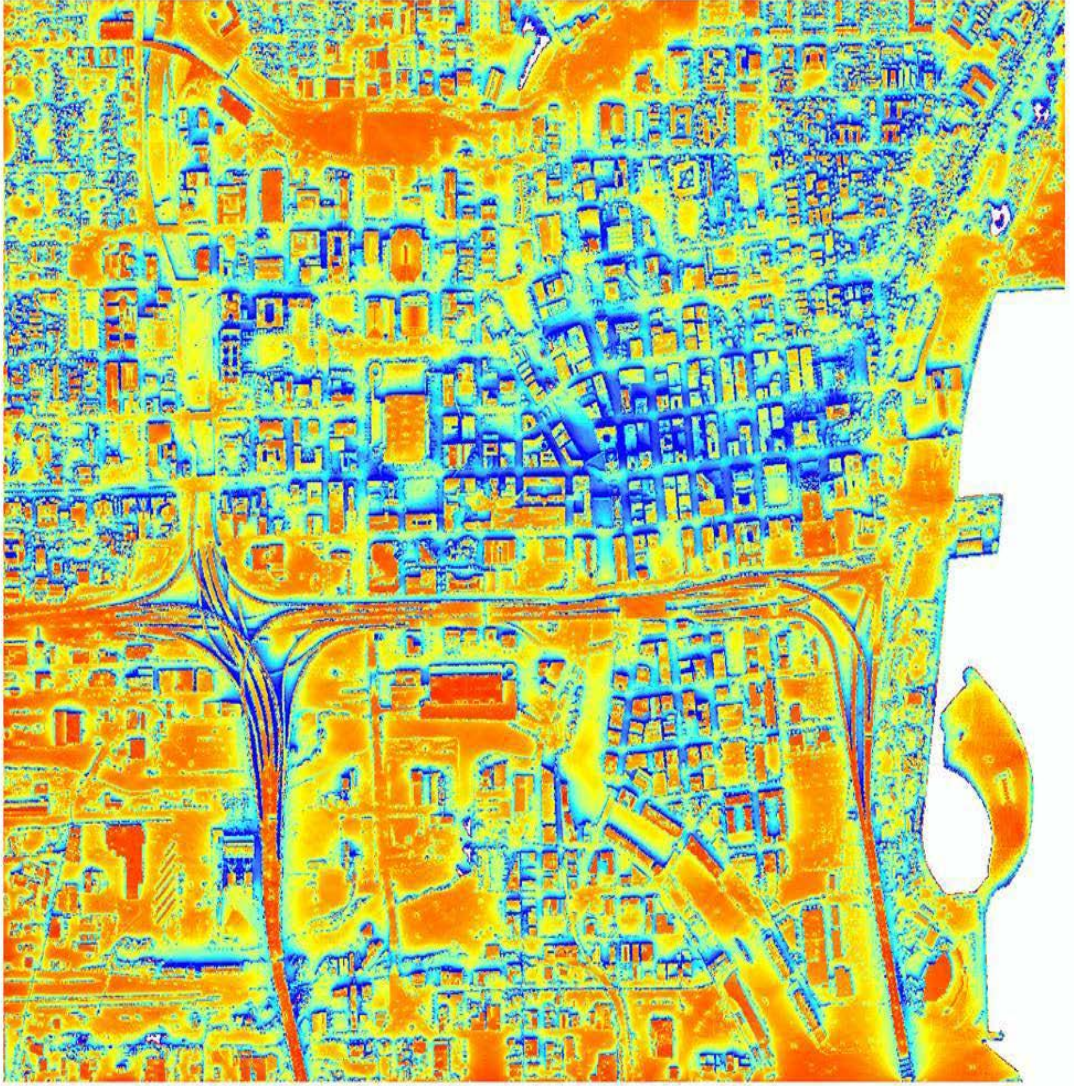


şekil 1.9. Trento (İtalya) bölgesinin Grass R.sun kullanılarak oluşturulan 1 senelik ortalama global güneş radyasyon dağılımı [29]



### c) ESRI Solar Analyst

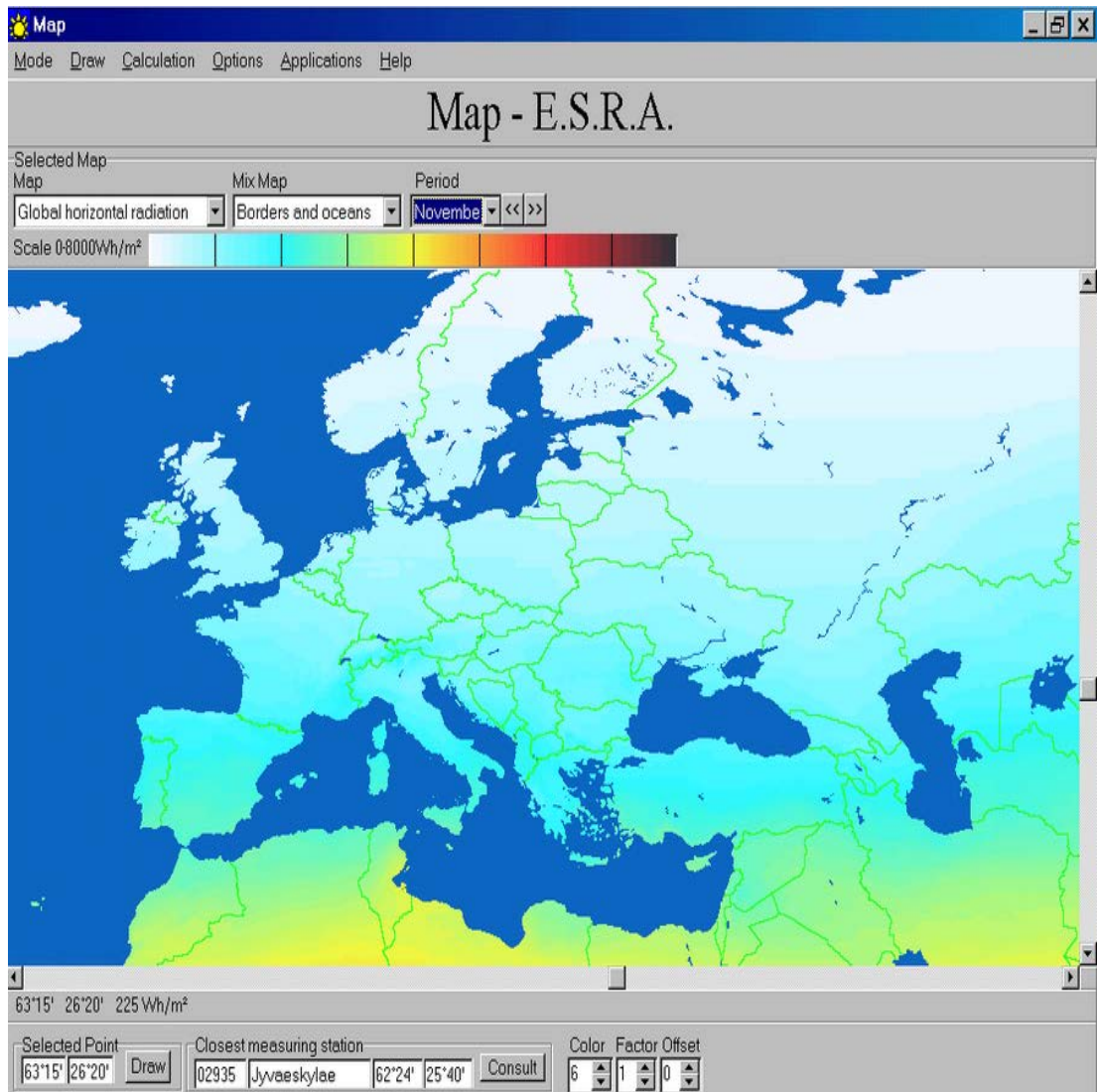
ESRI firması tarafından geliştirilmiştir. İlk güneş ışınım modelleri içerisinde yer almaktadır. Zamanla birçok ek parametreler eklenerek bugünkü halini almıştır. GIS (coğrafi bilgi sistemi) tabanlı oluşturulmuş bir modeldir. Geniş ölçekli alanlarda iyi sonuçlar vermektedir. Ancak yerel alanlarda %15-20 oranında hata payı bırakmaktadır. EİE, GEPA Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası bu model kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 1.10.'da Esri ile hazırlanan bir örnek bulunmaktadır [30].



Şekil 1.10. ESRI Solar Analyst [30]

#### d) E.S.R.A ve Saatlik Radyasyon Tahmini

E.S.R.A (European Solar Radiation Atlas) modeli, NASA'dan ve diğer meteorolojik servislerden alınan, saatlik meteorolojik güneş verilerinin ve bu veriler ile üretilen harita model verilerinin ve 3 günlük saatlik tahminleme verilerinin sunulduğu ücretli bir servistir. Bu sayede bu yöntemi kullanan şirketler üretecekleri enerji miktarını planlayıp ona göre hareket edebilirler. Buda E.S.R.A modeline büyük avantaj sağlamaktadır. Şekil 3.11.'de E.S.R.A ölçümünden (2014-Aralık) bir kesit gösterilmiştir [31].



Şekil 1.11. European Solar Radiation Atlas [31]

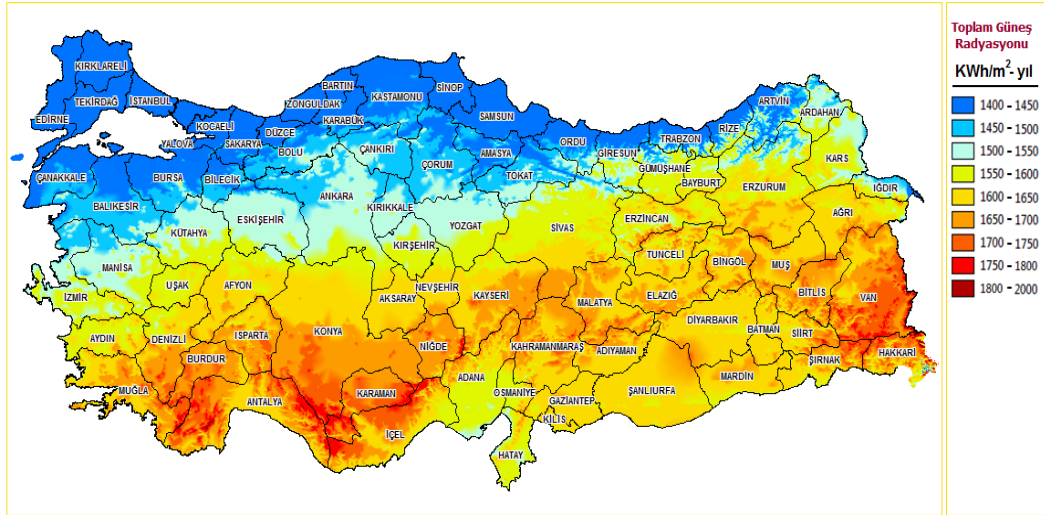
#### 1.2.4. Türkiye’de Global Güneş Radyasyonu

Türkiye, sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre avantajlıdır. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ile radyasyon şiddeti verilerinden yararlanarak yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısınım şiddetinin yıllık 1.311 kWh/m<sup>2</sup> (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu ortaya çıkmıştır. 110 gün boyunca ortalamanın üzerinde güneş enerjisi potansiyeline sahip Türkiye’de gerekli yatırımların yapılması halinde yılda birim metre kareden ortalama olarak 1.100 kWh’lik güneş enerjisi potansiyelinin olduğu anlaşılmıştır [23].

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, onu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Türkiye’ nin en çok Haziran ayında ve en az ise Aralık ayında güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Güneş enerjisi üretiminin çok verimsiz olduğu Karadeniz bölgesi dışında bir yılda birim metre kareden 1.100 kWh’lik enerji üretilebilir durumdadır ve toplam güneşli saat miktarı ise 2.640 saattir. Buna göre toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı yaklaşık 1.015 kWh kadardır [24].

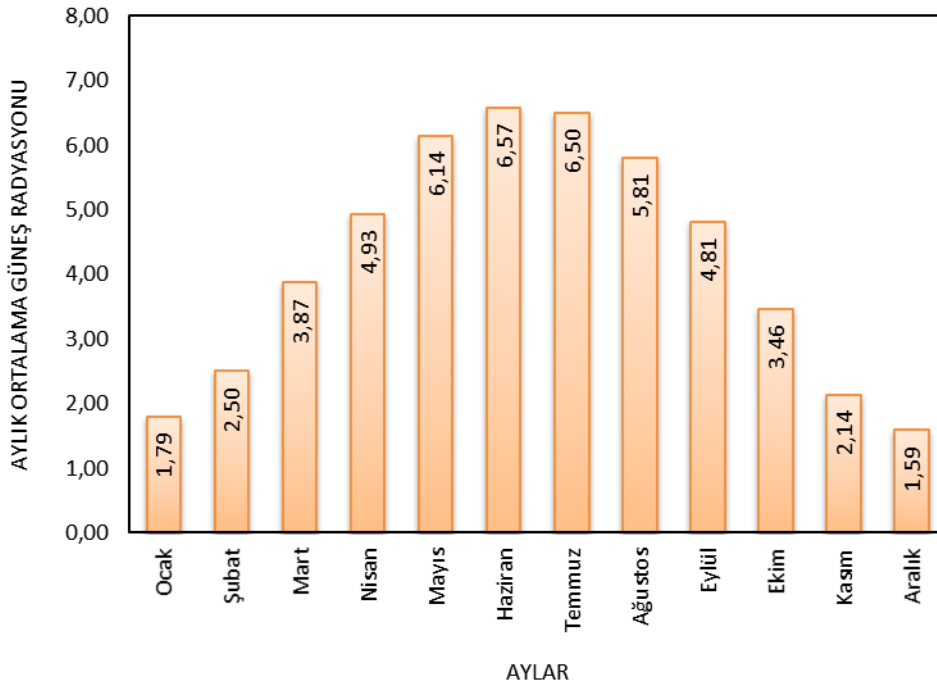
Uluslararasıda kullanılan bir model olan “ESRI Güneş Radyasyon Modeli” kullanılarak elde edilen global güneş ışınımı haritada kolaylıkla görülebilmektedir. Bu amaca yönelik ön fizibilite çalışmaları yapılabilen ve güneş kaynak alanı arama amacıyla yapılan çalışmalar ortadan kaldırılarak zaman ve ekonomik tasarruf sağlanmaktadır. ESRI Güneş Radyasyon Modeli, Türkiye geneli için 500 x 500 metrelik çözünürlükte çalıştırılmış ve toplam 3.120.000 adet grid oluşturularak her bir grid için güneş kaynak bilgileri hesaplanmış ve sonrasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak elde edilen bilgiler haritalandırılmıştır ve Şekil1.12.’de Türkiye için bir örneği gösterilmiştir [24,23]. Bu haritada noktasal bazda % 10 hata yaşanabilmektedir. Bu bilgiler Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 148 adet ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün 8 adet uzun dönemli güneş ölçüm verileri ile doğrulanmış ve kalibre edilmiştir [23].



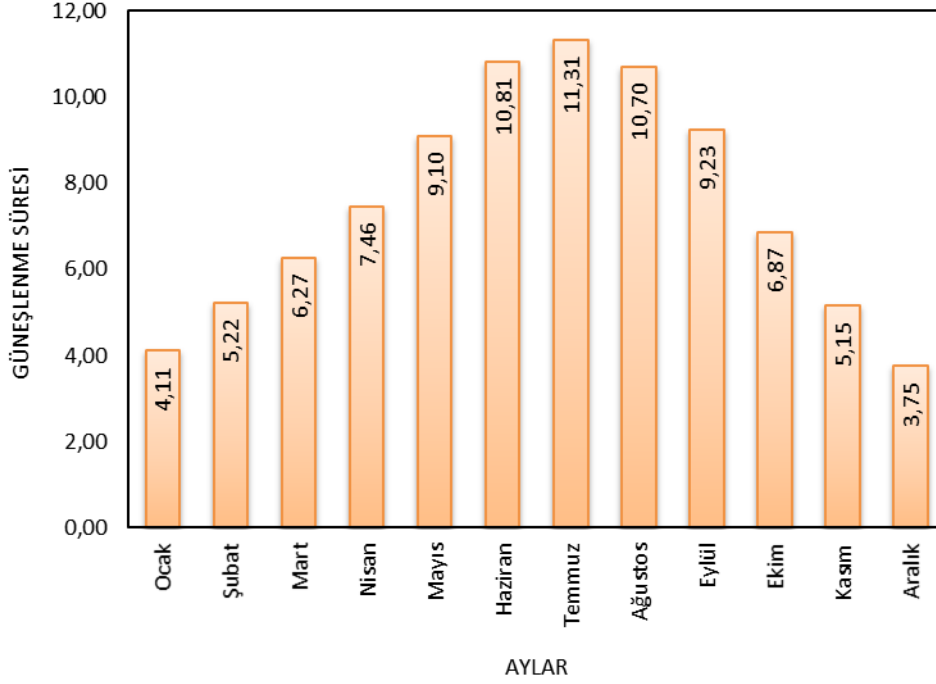


Şekil 1.12. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [32]

Türkiye’de Global güneş radyasyonu değerinin en yüksek haziran ayında ve güneşlenme süresinin en uzun temmuz ayında olduğu Şekil 1.13 ve Şekil 1.14.’de görülmektedir [23].



Şekil 1.13. Türkiye’nin aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün) [32]

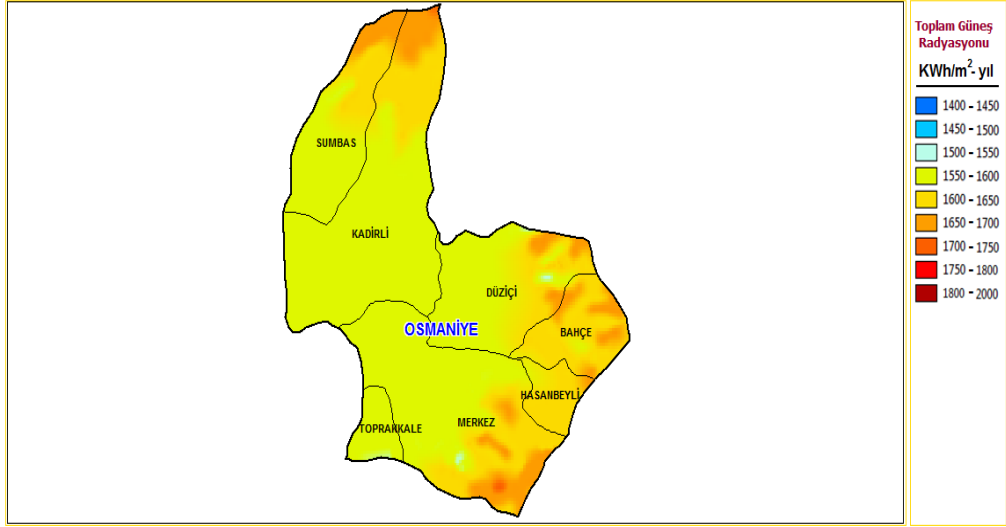


Şekil 1.14. Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri (Saat) [32]

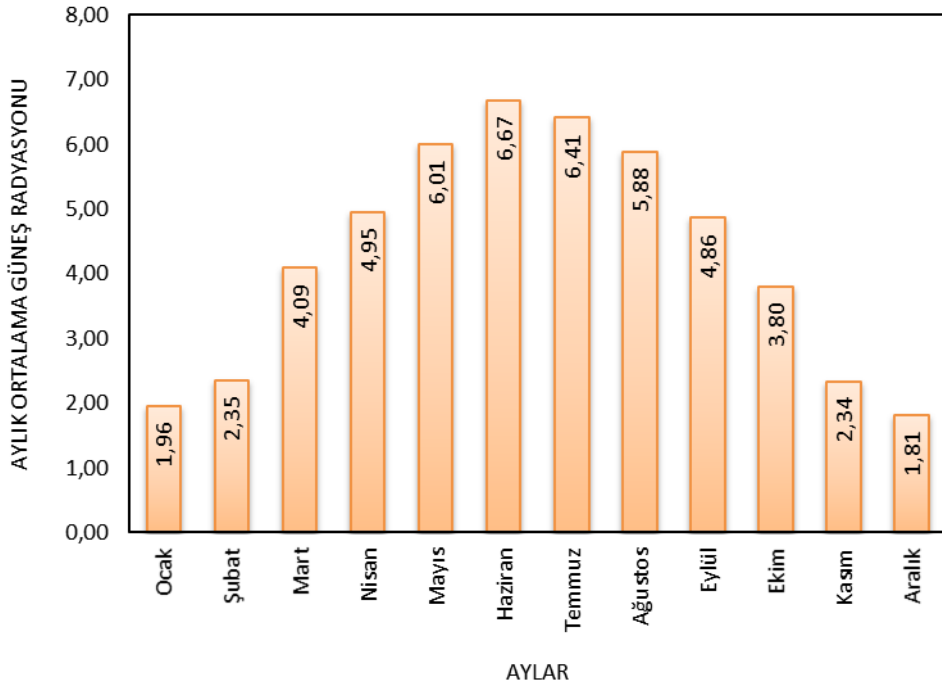
### 1.2.5. Osmaniye'de Global Güneş Radyasyonu

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın kaynaklarından elde edilen verilere göre, TR63 Bölgesinin ortalama aylık güneşlenme süreleri, her bir ay için Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme sürelerinden daha fazla olduğu öngörülmektedir. Osmaniye'nin en fazla aylık ortalama güneş radyasyonu değeri Haziran ayında, en fazla aylık ortalama güneşlenme süresinin ise Türkiye ortalamasında olduğu gibi Temmuz ayında olduğu gözlemlenmiştir. İl bazında inceleme yapıldığında ise Osmaniye ilinin her bir ay için Türkiye Ortalamasına göre daha fazla aylık güneşlenme süresine sahip oldukları ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber, rakamlarla yapılan analiz bir adım öteye götürüldüğünde, Osmaniye ilinin yıl bazında 8-10 saatlik yıllık ortalama güneşlenme süresine sahip olduğu görülmektedir [23]. Osmaniye'nin global güneş radyasyon haritası, değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 1.15. , Şekil 1.16. ve Şekil 1.17.'de verilmiştir [23].

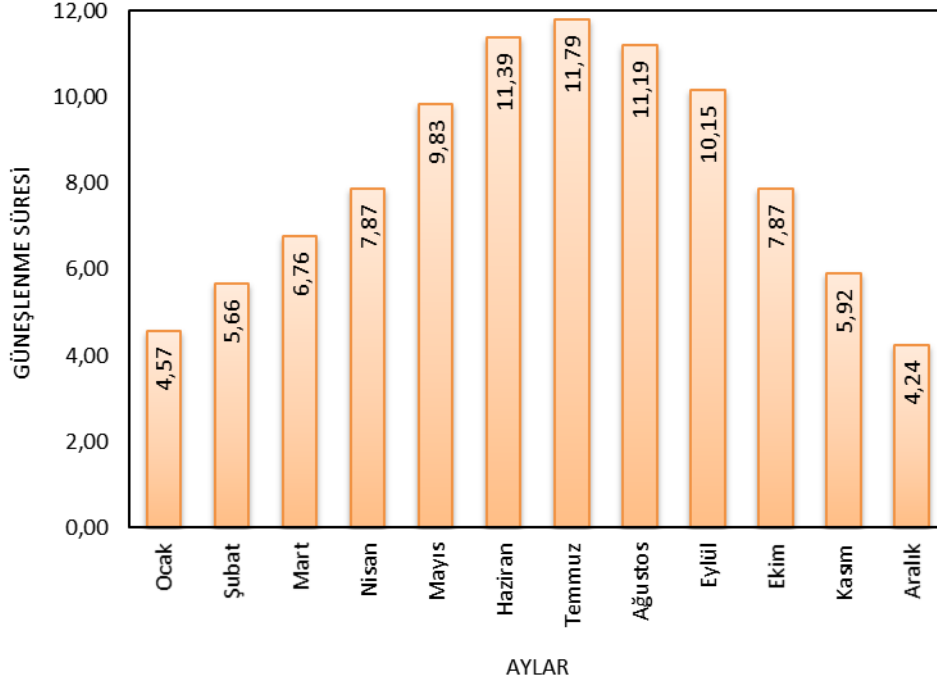




Şekil 1.15. Osmaniye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [33]



Şekil 1.16 Osmaniye aylık ortalama global güneş radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün) [33]



Şekil 1.17. Osmaniye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri (Saat) [33]

### 1.3. Güneş Açıları

Dünyadaki yüzeyler ile güneşten gelen ışınların arasında belirli açılar vardır. Bu açılar, güneşten en verimli şekilde enerji elde edebilmesi için önemlidir. Bundan dolayıdır ki güneş açıları en doğru şekilde belirlenmelidir. Güneş açıları Kıncay O. tarafında aşağıdaki şekilde özetlenmiştir [34].

#### a) Yükseklik Açısı

Yatay düzlem ve güneş ışınları arasındaki açıdır. “ $\alpha_s$ ” şeklinde gösterilir.

#### b) Güneş Azimut Açısı

Güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde, sapmasını gösteren açıdır. “ $\beta$ ” şeklinde gösterilir. Örneğin öğlen 12.00 de  $180^\circ$  ‘dir.

### c) Yüzey Azimut Açısı

Yüzey dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. “ $\gamma$ ” şeklinde gösterilir. Güneye bakan yüzeyler için  $\gamma=0^\circ$  olur. Doğuya yönelen yüzeylerde artı (+) Batıya yönelen yüzeylerde ise eksi (-) değer alır.

### d) Deklinasyon Açısı

Öğlen 12’de ekvator düzlemi ile gelen güneş ışınımı arasındaki açıya denir. Dünya ve Güneş doğrultusunun ekvator ile yaptığı açıda denilebilir. Kuzey yarım küre için artı (+) güney yarım küre için ise eksi (-) değer alır. Deklinasyon açısı  $-23,45^\circ$  (21 Aralık kış gündönümünde) ile  $+23,45^\circ$  (21 Haziran yaz gündönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) deklinasyon açısı sıfır olur.

### e) Geliş Açısı

Güneş ışınları ve yüzeyin normali arasında ki açıdır. “ $\theta$ ” şeklinde ifade edilir.

### f) Zenit Açısı

Yatay yüzeyin dikeyi ve güneş ışını arasındaki açıdır. “ $\theta_z$ ” şeklinde ifade edilir.

### g) Enlem Açısı

Kuzey yarım kürede artı (+) güney yarım kürede ise (-) değerini alır. “ $\lambda$ ” şeklinde ifade edilir.

### h) Saat Açısı

“ $\omega$ ” şeklinde ifade edilir. Öğlen 12’de  $\omega = 0^\circ$  olur. Bir saat  $15^\circ$  boylama eşitir. Öğleden önce açı (-) değer alır öğleden sonra ise açı (+) değer alır.

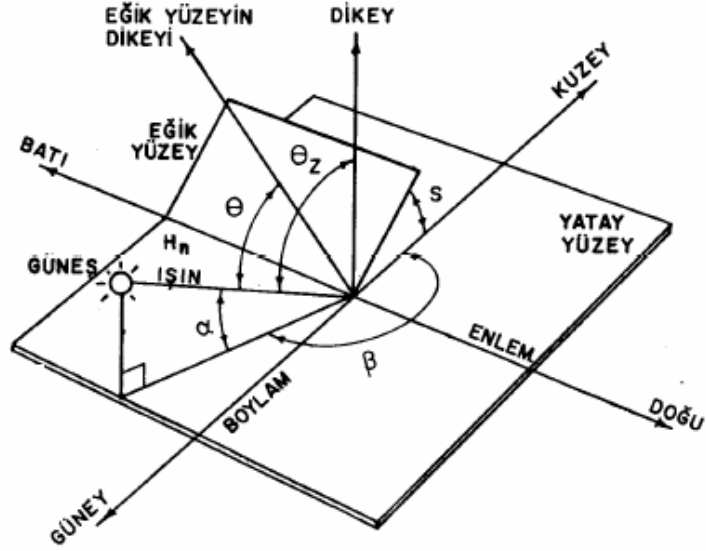
### 1) Eğim Açısı

Eğik yüzey ve yatay yüzey arasında kalan açığı ifade eder. “S” ile gösterilir. Ekvatora yaklaşan yüzeyler için artı değer alır.

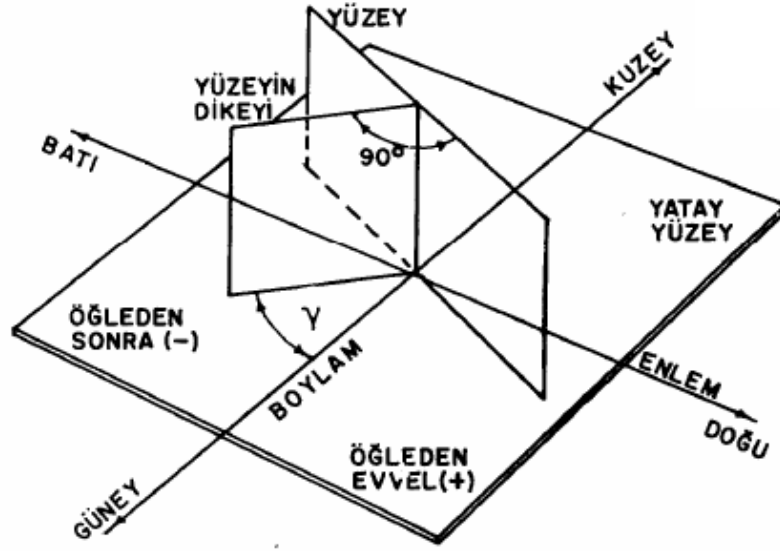
### i) Hava Kütlesi

Işın radyasyonunun geçtiği atmosfer kütlelerinin, güneş tam tepede iken ışın radyasyonunun içinden geçeceği atmosfer kütlelerine oranıdır. “m” ile ifade edilir.

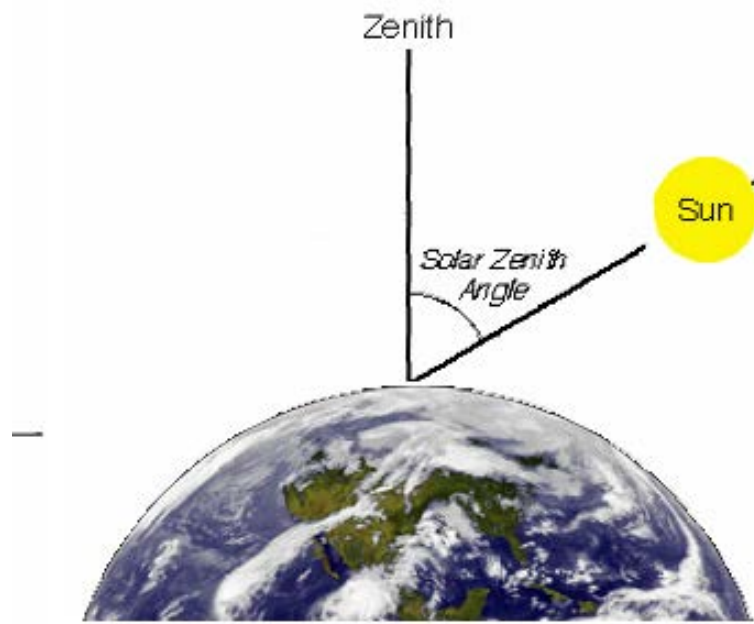
Yukarıda ki açılar arasındaki bağlantılar aşağıdaki Şekil 1.18 ile Şekil 1.26. arasında detaylı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Güneş açıları

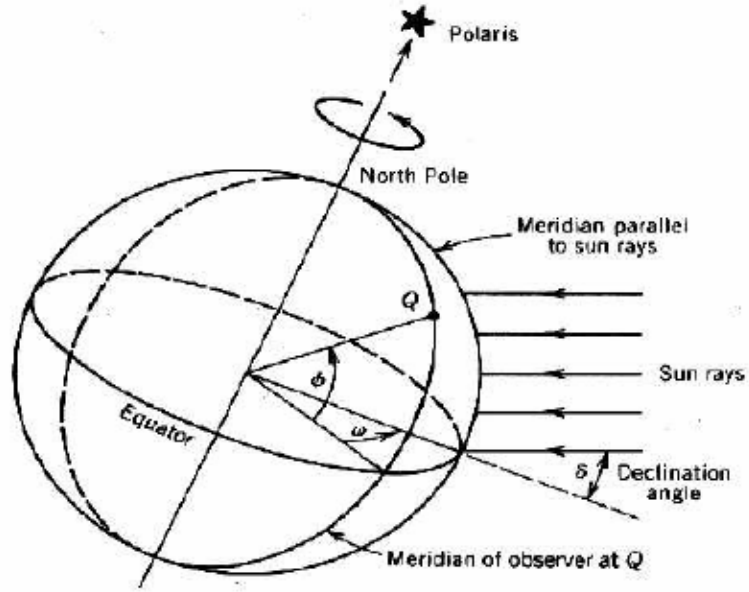


Şekil 1.19. Güneş açıları

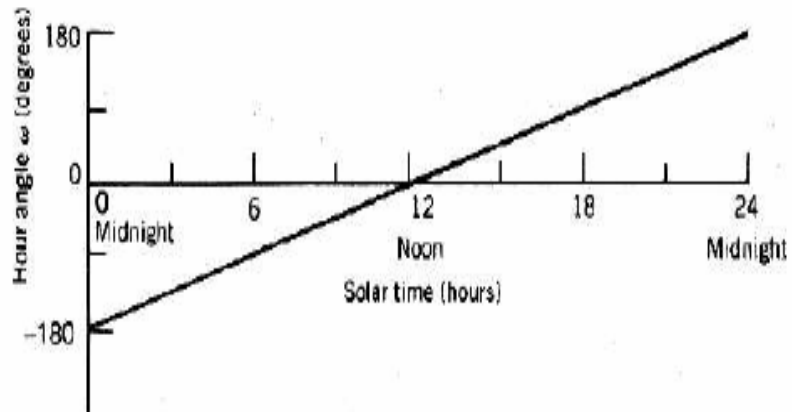


Şekil 1.20. Güneş açıları

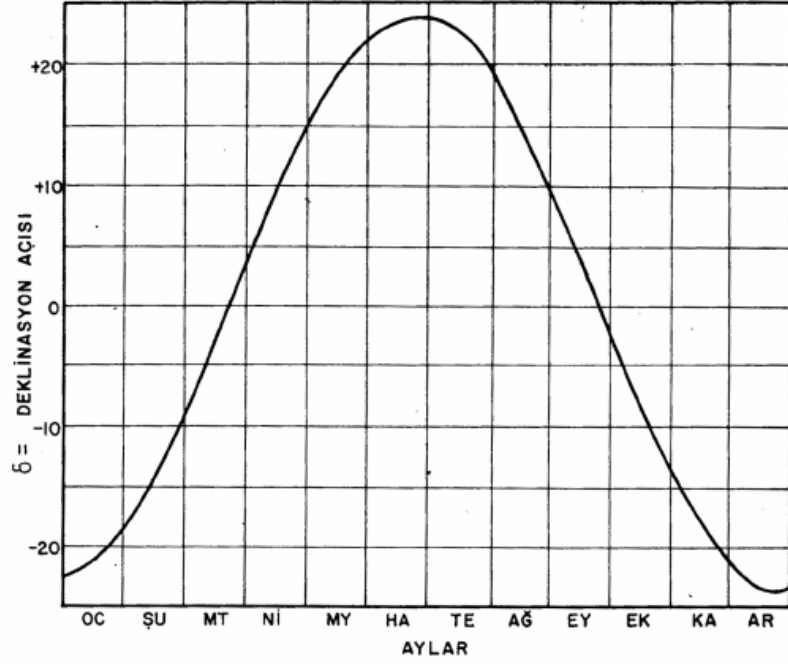




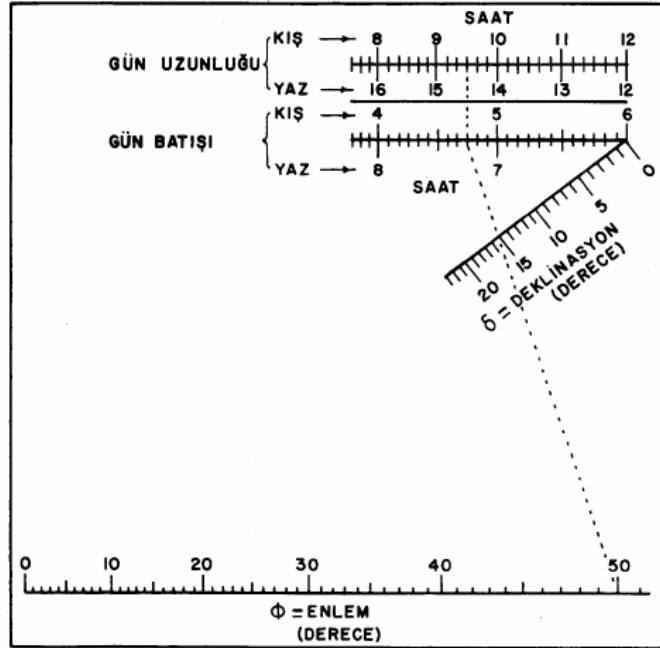
Şekil 1.23. Güneş açıları



Şekil 1.24. Güneş açıları



Şekil 1.25. Güneş açıları



Şekil 1.26. Güneş açıları



#### 1.4. Güneş Açıları Genel Bağlıları

Güneye doğrultulmuş eğimli bir yüzeyde ve iki eksenli izleme sistemi yüzeyinde güneş radyasyonu literatür bilgileri yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [34].

Güneş sabitinin günlere göre düzeltme faktörü ( $f$ ),  $n$  yıl içindeki gün sayısı olmak üzere;

$$f = 1 + 0,033 \left( \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.1)$$

şeklinde tanımlanır.

Güneş deklinasyon açısı ( $\delta$ ) ise;

$$\delta = 23,24 \sin \left[ \frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (1.2)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Saat açısı ( $w$ ) ;

$$w = (\text{dakika sayısı} / 4) \quad (1.3)$$

ile hesaplanabilir.

Burada dakika sayısı öğleden önce için (-), öğleden sonra için (+) alınır. Örneğin saat 11:00 için dakika sayısı (-60) alınır. Buradan  $w$  açısı ise  $-15^\circ$  çıkar.

Güneş yükseklik açısı ise ( $\alpha_s$ ) ;

$$\alpha_s = \sin^{-1}([\cos(\lambda) \cos \delta \cos \omega] + [\sin(\lambda) \sin(\delta)]) \quad (1.4)$$

ifadesi yarımıyla hesaplanabilir. Burada  $\lambda$  bölgenin enlem derecesidir.

Güneş azimut açısı ( $\gamma_s$ ) ;

$$\gamma_s = \cos^{-1} \left\{ \frac{[\sin a_s \sin \lambda] - \sin \delta}{\cos a_s \cos \lambda} \right\} \quad (1.5)$$

şeklinde hesaplanır.

Zenit açısı ( $\theta_z$ ) ise;

$$\theta_z = 90 - a_s \quad (1.6)$$

Yüzey azimut açısı ( $\gamma$ ) ise;

Güneye yönlendirilmiş yüzeyler için;

$$\gamma = 0 \quad (1.7)$$

İki eksen izlemeli sistemlerin yüzeyi için;

$$\gamma = 180 - \gamma_s \quad (1.8)$$

şeklinde alınabilir.

Güneş geliş açısı ( $\theta$ );

$$\theta = \cos^{-1} \{ [\sin(\delta) \sin(\lambda) \cos(\beta) - [\sin(\delta) \cos(\lambda) \sin(\beta) \cos(\gamma)] + [\cos(\delta) \cos(\lambda) \cos(\beta) \cos(\gamma)] + [\cos(\delta) \sin(\lambda) \sin(\beta) \cos(\gamma) \cos(\omega)] + [\cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega] \} \quad (1.9)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Güneye doğrultulmuş bir yüzey için  $\gamma = 0$  alınır. İki eksenli izleme durumunda ise  $\theta$  sıfır olur.

İki eksenli izleme yapan sistemin eğim açısı ( $\beta$ ) ise;

$$\beta = 90 - \alpha_s = \theta_z \quad (1.10)$$

denklemleri ile belirlenir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar incelendiğinde global güneş radyasyonu modellerinde ilk çalışma lineer bir model olan Angstrom (1924) modelinde türetilmiştir. Bununla beraber gelişen global güneş radyasyonu modelleri, güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, enlem, boylam, yağış, bağıl nem ve bulutluluk gibi parametrelere bağlı olarak geliştirilmiştir.

Bulut ve Büyükalaca (2003) Diyarbakır ili için yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım miktarı, güneşlenme süresi ve berraklık indeksi değerleri yeni ölçüm değerleri kullanılarak analiz edilmiştir. 1985- 2001 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşlerinden (DMİ) alınan 17 yıllık ölçümler kullanılmıştır. Güneş verileri aylık ortalama değerler olarak verilmiştir. Ayrıca yatay düzleme gelen toplam güneş radyasyon şiddetinin ve berraklık indeksinin gün boyunca saatlik değişimi irdelenmiş ve tipik günler için değerler sunulmuştur. Bunlara ek olarak, 17 yıllık ölçüm verileri kullanılarak, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım miktarı bir trigonometrik fonksiyonla ifade edilmiştir. Bu fonksiyondan türetilen değerlerin, ölçülen değerlere göre bağıl ve standart hataları, ortalama mutlak, ve korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Ölçülen güneş ışınım değerleri yıl içinde ve yıllara göre dalgalanma göstermekle birlikte, geliştirilen eşitliğin uzun dönem ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiği görülmüştür. Diyarbakır için elde edilen değerler literatürde verilen değerlerle kıyaslanmış, değerler arasında farkların olduğu anlaşılmıştır.

Ülgen ve Hepbaşlı(2004) Türkiye’de bazı illerde bulunan modelleri gözden geçirmiş ve Türkiye’de 1983-2002 arasında geliştirilen 41 modelin incelemesini yapmıştır. 19 yıllık süre içerisinde güneş radyasyon modelleri polinom denklemler ile elde edilmiştir. Antalya, Elazığ, Gebze, İstanbul, İzmir, Konya ve Trabzon gibi illerin içinde bulunduğu modeller ile oldukça yakın güneş radyasyon verilerine ulaşılacağı ve bu modellerin benzer iklim modellerinde de kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

Ülgen ve Hepbaşlı (2004) Bir önceki çalışmanın devamı olarak ele alınan bu çalışmada Türkiye’nin nüfus olarak %30 ‘unu oluşturan iller güneş radyasyonu modelleri açısından incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken istatistiksel analiz metotları

kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda üç büyük il için (İstanbul, Ankara, İzmir) H değerlerinin tahmini sonucuna yaklaşmanın diğer modellere oranla daha mümkün olduğu görülmüştür.

Akdeniz bölgesi için, uzun dönem ölçüm verileri kullanılarak, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş radyasyonu trigonometrik bir fonksiyon ile ifade edilmiştir. Fonksiyondan bulunan değerlerin, ölçülen değerlere göre ortalama mutlak, bağıl ve standart hatalar ve korelasyon katsayısı gibi istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır ve karşılaştırılmıştır. Ölçülen güneş radyasyon değerleri yıl içinde ve yıllara göre dalgalanma göstermekle ve geliştirilen eşitliğin uzun dönem ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiğini Bulut vd. (2006) bu çalışmada dile getirmiştir

Bakırcı (2009) , Erzurum için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı basit bir hesaplama metodu kullanılarak hesaplanmış ve ölçülen ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Anlık maksimum global güneş radyasyonu, Hottel (1976) tarafından verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmış ve anlık maksimum global ışınımın tahmini için basit eşitlikler geliştirilmiştir. Ölçülen değerler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Enerji Laboratuvarı'nda kurulan meteoroloji istasyonundan (Davis-GroWeather ışınım ölçerinden) elde edilmiştir.

Akdeniz bölgesi için yatay düzleme gelen toplam güneş radyasyon şiddeti bu çalışmada Yelman ve Öztekin (2010) tarafından trigonometrik fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Fonksiyonlardan türetilen değerlerin, ölçülen değerlere göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Ölçülen güneş ışınım değerleri yıl içinde ve yıllara göre değişim göstermektedir. Elde edilen fonksiyonun uzun dönem ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Modeller sonucunda ortaya çıkan değerler, literatürde Akdeniz bölgesi için verilen değerlerle karşılaştırmıştır. Yatay düzleme gelen aylık ortalama tüm güneş ışınımı değerleri Akdeniz Bölgesinde bulunan 6 il için trigonometrik fonksiyonlarla modellenmiştir. Toplam güneş ışınımı değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan altı ayrı hesap yöntemi sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlardan, hesap yöntemlerinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, ideale yakın sonuçlar verdiği ve ölçüm değerleri yerine kullanılabilen modeller olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlara göre Akdeniz Bölgesi

için güneş ışınımının tahmin edilmesinde kullanılacak en uygun toplam güneş ışınımı hesap yönteminin Kılıç ve Öztürk ile Rietveld modelleri olduğu söylenmiştir. Modellerin genel olarak ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiği belirlenmiştir. Literatürdeki güneş ışınımı ile ilgili değerlerin tüm iller için mevcut olmadığı ve değerler arasında önemli farkların olduğu görülmüştür.

Öztürk vd. (2011) Bu çalışmada, Isparta için seçilen bağımsız bir veri grubunu kullanarak yatay bir yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde literatürde mevcut olan bazı modelleri karşılaştırmış ve istatistiksel hata testlerini uygulayarak en iyi sonucu veren modeli ve diğer geçerli modelleri belirlemiştir.

Isparta yatay düzlemi üzerine gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresinin 11 yıllık verileri kullanılmıştır. 2000 ile 2010 yıllarını kapsayan veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Günlük global güneş radyasyonu (H) ve gün uzunluğu (S) 11 yıllık verilerin ortalamasından belirlenmiştir. Aylık ortalama günlük dünya dışı radyasyon ( $H_0$ ) ve maksimum mümkün güneşlenme süresi ( $S_0$ ) sırasıyla hesaplanmıştır. Kullanılan modellerin parametreleri hesaplanmıştır. Modellerin hesaplanmasında kullanılan regresyon sonuçları ve diğer istatistiksel parametre değerleri elde edilmiştir.

Jemaa vd. (2013) Fransa'nın Troyes şehri için lineer, karekök ve küp kök modelleri uygulamış ve bu modellerden hangilerinin güneş radyasyon değerlerinin bulunmasına uygun olduğunu belirlemiştir.

Besharat vd. (2013) İran için literatürde yer alan birçok formül incelenmiş ve en doğru modele ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu modeller içinde diğerler çalışmalardan farklı olarak, bulut tabanlı, sıcaklık tabanlı ve diğer tabanlı modeller de incelenmiştir. İran için en uygun modelin istatistiksel analiz metotları ile karşılaştırılması sonucunda güneş tabanlı modeller olduğu ortaya çıkartılmıştır.

Sabzpooshani ve Mohammadi (2014) ise İran'ın orta kesimlerinde bulunan İsfahan kenti için yatay yüzeye gelen güneş radyasyonunun bulunması amacıyla yeni model

geliştirilmiş ve 16 model ile istatistiksel analiz yöntemleri yardımıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen modellerden küp kök model İsfahan kenti için en uygun model olduğu anlaşılmıştır.

Osmaniye ili için literatürdeki yatay yüzeye gelen güneş ışıınım modellerini inceleyen bu çalışmada, üniversite kampüsünde kurulan meteorolojik ölçüm cihazından (vantage PRO2) alınan veriler kullanılarak Osmaniye’de yatay yüzeye gelen güneş ışıınımı için yeni bir model ilk defa, Yanıktepe ve Genç (2014) tarafından geliştirilmiştir. Meteorolojik ölçüm cihazı 20 m yükseğe kurulmuş ve ışıınım verileri 21.06.2012 tarihinden 21.06.2013 tarihine kadar beşer dakikalık zaman aralığında alınmıştır. Alınan ölçüm verileri sonucunda Osmaniye ili için güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacı ile yeni bir model geliştirilmiş ve daha önce ışıınım verileri kullanılarak elde edilmiş dokuz farklı modelle karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu çalışmada, Osmaniye için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışıınımı, basit bir hesaplama yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve ölçülen ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece Osmaniye’nin yatay düzleme gelen global güneş radyasyonunun tahmin edilmesinde en iyi yaklaşım modeli elde edilmiştir. Ayrıca modellerin performans analizlerini göstermek için ortalama sapma hatası (MBE), karekök hatası (RMSE) ve ortalama bağıl hatası (MRE) istatistiksel test yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, güneş ışıınım verilerinin tahmininde oldukça kabul edilebilir düzeyde görünmektedir.

Daha önce literatürde geçen modeller incelenmiş ve bu çalışmada baz alınan istatistiksel tabanlı modeller detaylı olarak Besharat vd. tarafında 2013 yılında özetlenmiştir. Bu istatistiksel tabanlı modeller 2.1.’de verilmiştir.

## 2.1. İstatiksel Tabanlı Modeller

Güneşlenme süresi, bulutluluk ve sıcaklık gibi parametrelerle global güneş radyasyonu arasındaki ilişkiye dayanır. Bu modellerin verimleri yüksektir. Global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi arasındaki ilişkiyi ilk olarak Kimball(1919) grafiksel olarak kullanmıştır. Sayısal bir ilişki ise ilk olarak Angström, Prescott, Page (Angström,1924) tarafından kurulmuştur. Angström (1924) eşitliği aşağıda denklem(2.1) verilmiştir [35].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.1)$$

Burada, H aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu, H<sub>0</sub> aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu, S gün uzunluğu, S<sub>0</sub> maksimum güneşlenme süresini, a ve b ise katsayıları göstermektedir. Aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu ise aşağıdaki şekilde açıklanır [36].

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left[ \cos \lambda \cos \delta w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \lambda \sin \delta \right] \quad (2.2)$$

Burada;

$I_{gs}$ :Güneş sabiti (1367 W/m<sup>2</sup>),

$f$ : Dünya yörüngesinin düzeltme katsayısı,

$\lambda$ : Enlem,

$\delta$ : Güneş deklinasyon açısı,

$w_s$ :Aylık ortalama gündoğumu saat açısını göstermektedir.

Düzeltilme katsayısı, deklinasyon açısı ve aylık ortalama gün doğumu saat açısı verilen denklemlerle hesaplanabilir [36].



$$f = 1 + 0,033 \left( \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (2.3)$$

$$\delta = 23,24 \sin \left[ \frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (2.4)$$

$$ws = \cos^{-1}(-\tan \lambda \tan \delta) \quad (2.5)$$

Burada n; 1 Ocaktan başlayan gün sayısıdır. Belirli bir ay için mümkün güneşlenme süresi ise şu şekilde hesaplanabilir [36].

$$S_0 = \frac{2}{15} \times ws \quad (2.6)$$

### 2.1.1. Güneşlenme Süresi Bazlı Lineer Modeller

#### Model 1

Page dünyanın her yerinde geçerli olan modelini Angström-Prescott-Page (1961) katsayılarıyla aşağıdaki gibi elde etmiştir [37].

$$\frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.48 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.7)$$

#### Model 2

Bendson (1984), bir yıl içinde iki farklı formül kullanarak hesaplama yapabileceğimiz formülü bulmuştur. Ekim-Mart ve Nisan-Eylül aralığı için kullanılan formüller aşağıdaki gibidir [38].

$$\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.60 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.8)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.53 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.9)$$

### Model 3

Bahel (1986), Angström denklemini aşağıdaki katsayılarla önermiştir [39].

$$\frac{H}{H_0} = 0.175 + 0.552 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.10)$$

### Model 4

Tırıs vd. (1997), Türkiye için Angström-Prescott-Page modeline bağlı olarak a ve b katsayılarını aşağıdaki gibi türetmişlerdir [40].

$$\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.62 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.11)$$

### Model 5

Rietveld (1978), a ve b katsayılarını aşağıdaki gibi bulmuştur [41].

$$a = 0.10 + 0.24 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.12a)$$

$$b = 0.38 + 0.08 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (3.12b)$$

### Model 6

Gopinathan (1988) a ve b katsayılarına ek olarak rakım (Z) ile birlikte yeni bir model önermiştir [42].

$$a = 0.265 + 0.07Z + 0.136 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.13a)$$

$$b = 0.401 + 0.108Z + 0.0325 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.13b)$$

## Model 7

Soler (1990), Ritveld tarafından geliştirilen modeli Avrupa'da 100 istasyon için uygulamış ve her ay için ayrı modeli aşağıdaki gibi geliştirmiştir [43].

$$\text{Ocak} \quad \frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.66 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14a)$$

$$\text{Şubat} \quad \frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.60 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14b)$$

$$\text{Mart} \quad \frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.58 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14c)$$

$$\text{Nisan} \quad \frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.62 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14ç)$$

$$\text{Mayıs} \quad \frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.52 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14d)$$

$$\text{Haziran} \quad \frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.53 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14e)$$

$$\text{Temmuz} \quad \frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.53 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14f)$$

$$\text{Ağustos} \quad \frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.55 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14g)$$

$$\text{Eylül} \quad \frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.59 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14ğ)$$

$$\text{Ekim} \quad \frac{H}{H_0} = 0.19 + 0.60 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14h)$$

$$\text{Kasım} \quad \frac{H}{H_0} = 0.17 + 0.66 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14i)$$

$$\text{Aralık} \quad \frac{H}{H_0} = 0.18 + 65 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.14i)$$

### **Model 8**

Bakırcı (2009) Türkiye için aşağıdaki modeli elde etmiştir [44].

$$\frac{H}{H_0} = 0.2786 + 0.4160 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.15)$$

### **Model 9**

El-Metwall (2005) Mısır için aşağıdaki modeli çıkartmıştır [45].

$$\frac{H}{H_0} = 0.228 + 0.527 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.16)$$

### **Model 10**

Jain (1986) İtalya için aşağıdaki modeli Angström-Prescott-Page modeline göre kendi modelini aşağıdaki gibi bulmuştur [46].

$$\frac{H}{H_0} = 0.177 + 0.692 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.17)$$

### **Model 11**

Ülgen ve Özbalta (2000) İzmir-Bornova için buldukları model aşağıda verilmiştir [47].

$$\frac{H}{H_0} = 0.2424 + 0.5014 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.18)$$

### **Model 12**

Rensheng vd. (2006) Çin için 86 istasyondan alınan verileri kullanarak aşağıdaki eşitliği önermiştir [48].

$$\frac{H}{H_0} = 0.176 + 0.563 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.19)$$

### **Model 13**

Yine Çin için Jin vd.(2005) 69 istasyondan aldıkları veriler doğrultusunda aşağıdaki formülü elde etmişlerdir [49].

$$\frac{H}{H_0} = 0.1332 + 0.6471 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.20)$$

### **Model 14**

Ülgen ve Hepbaşı (2004) Angström teoremine bağlı kalarak Ankara, İstanbul ve İzmir'den alınan veriler doğrultusunda aşağıdaki lineer denklemi meydana çıkarmışlardır [50].

$$\frac{H}{H_0} = 0.2671 + 0.4754 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.21)$$

### **Model 15**

Aras vd. (2006) aşağıdaki lineer bağıntıyı orta Anadolu için aşağıdaki elde etmiştir [51].

$$\frac{H}{H_0} = 0.3078 + 0.4166 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.22)$$

### **Model 16**

Raja ve Twidell (1990) Pakistan için aşağıdaki modeli çıkartmıştır [52].

$$\frac{H}{H_0} = 0.335 + 0.367 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.23)$$

### Model 17

Glomer ve McClulloch (1958) güneş deklinasyon açısını da kullanarak aşağıdaki denklemi elde etmiştir ( $\delta < 60$ ) [53].

$$\frac{H}{H_0} = a \cos \delta + b \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.24a)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.29 \cos \delta + 0.52 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.24b)$$

### Model 18

Ülgen ve Hepbaşlı (2004) İzmir için aşağıdaki Glomer-McCulloch teoremini önermiştir [54].

$$\frac{H}{H_0} = 0.3092 \cos \delta + 0.4931 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.25)$$

### Model 19

Dogniaux ve Lemonie (1983) global güneş radyasyonu hesaplanması için aşağıdaki denklemi çıkartmıştır [55].

$$\frac{H}{H_0} = 0.37 + \left[ 0.005 \left( \frac{S}{S_0} \right) - 0.003 \right] \lambda + 0.32 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.26)$$

## Model 20

Dogniaux ve Lemonie (1983) aylık global güneş radyasyonu hesaplanmasını aylık olarak aşağıdaki denklemlerde önermiştir [55].

$$\text{Ocak} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00301\lambda + 0.34507) + (0.00495\lambda + 0.34572) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27a)$$

$$\text{Şubat} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00255\lambda + 0.33459) + (0.00547\lambda + 0.35533) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27b)$$

$$\text{Mart} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00303\lambda + 0.36690) + (0.00466\lambda + 0.36377) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27c)$$

$$\text{Nisan} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00334\lambda + 0.38557) + (0.00456\lambda + 0.35802) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27ç)$$

$$\text{Mayıs} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00245\lambda + 0.35057) + (0.00485\lambda + 0.33550) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27d)$$

$$\text{Haziran} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00327\lambda + 0.39890) + (0.00578\lambda + 0.27292) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27e)$$

$$\text{Temmuz} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00369\lambda + 0.41234) + (0.00568\lambda + 0.27004) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27f)$$

$$\text{Ağustos} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00269\lambda + 0.36243) + (0.00412\lambda + 0.33162) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27g)$$

$$\text{Eylül} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00338\lambda + 0.39467) + (0.00564\lambda + 0.27121) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27ğ)$$

$$\text{Ekim} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00317\lambda + 0.36213) + (0.00504\lambda + 0.31790) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27h)$$

$$\text{Kasım} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00350\lambda + 0.36680) + (0.00523\lambda + 0.31467) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27i)$$

$$\text{Aralık} \quad \frac{H}{H_0} = (0.00350\lambda + 0.36262) + (0.00559\lambda + 0.30675) \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2.27i)$$

## Model 21

Kılıç ve Öztürk (1983) a ve b katsayılarını aşağıdaki gibi elde etmiştir [56].

$$a = 0.103 + 0.00001Z + 0.19 \cos \lambda - \delta \quad (2.28a)$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos \lambda - \delta \quad (2.28b)$$

### 2.1.2. Güneşlenme Süresi Bazlı Karekök Modeller

## Model 22

Ogelman vd. (1984) global güneş radyasyonunun hesaplanabilmesi için ikinci derecen bir denklemi aşağıdaki şekilde bulmuşlardır [57].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0}\right) + c \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.29)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.195 + 0.676 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.142 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.30)$$

## Model 23

Aknoğlu ve Ecevit (1990) Türkiye için aşağıdaki eşitliği çıkartmıştır [58].

$$\frac{H}{H_0} = 0.145 + 0.845 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.280 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.31)$$

## Model 24

Taşdemiroğlu ve Sever (1991) aşağıdaki denklemi altı il (Ankara, Antalya, Diyarbakır, Gebze, İzmir ve Samsun) için bulmuştur [59].

$$\frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.014 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.001 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.32)$$



### **Model 25**

Yıldız ve Öz (1994) beş farklı istasyondan alınan veriler ile aşağıdaki denklemi elde etmiştir [60].

$$\frac{H}{H_0} = 0.203 + 0.92 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.391 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.33)$$

### **Model 26**

Aksoy (1997) Ankara, Antalya, Samsun, Konya, Urfa ve İzmir için aylık ortalama global güneş radyasyonunun belirlenmesi için aşağıdaki denklemi bulurken 2 yıllık metrolojik verileri kullanmışlardır [61].

$$\frac{H}{H_0} = 0.148 + 0.668 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.079 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.34)$$

### **Model 27**

Bakırcı (2007) aşağıdaki modeli Türkiye için çıkartmıştır [62].

$$\frac{H}{H_0} = 0.2545 + 0.5121 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.0864 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.35)$$

### **Model 28**

Ülgen ve Özbalta (2000) İzmir-Bornova için aşağıdaki modeli önermiştir [63].

$$\frac{H}{H_0} = 0.0959 + 0.9958 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.3922 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.36)$$

### Model 29

Toğrul ve Toğrul (2000) Ankara, Antalya, İzmir, Yenihisar (Aydın), Yumurtalık (Adana) ve Elazığ için aşağıdaki ikinci dereceden denklemi elde etmiştir [64].

$$\frac{H}{H_0} = 0.1541 + 1.1714 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.705 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.37)$$

### Model 30

Aras vd. (2006) İç Anadolu Bölgesi için aşağıdaki eşitliği önermiştir [65].

$$\frac{H}{H_0} = 0.3398 + 0.2868 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.1187 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.38)$$

### Model 31

Jin vd. (2005) Çin için 69 istasyondan aldıkları doğrultusunda aşağıdaki denkleme ulaşmışlardır [66].

$$\frac{H}{H_0} = 0.1404 + 0.6126 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.0351 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (2.39)$$

### 2.1.3. Güneşlenme Süresi Bazlı Küpkök Modeller

#### Model 32

Bahel vd. (1986) dünya genelinde bulunan 46 istasyondan aldıkları verilere dayanarak üçüncü derecen elde ettikleri denklem aşağıda verilmiştir [39].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0}\right) + c \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + d \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.40)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.16 + 0.87 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.16 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.34 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.41)$$

### Model 33

Samuel (1991) aşığıda verilen üçüncü dereceden denklemi önermiştir [67].

$$\frac{H}{H_0} = -0.14 + 2.52 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 3.71 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 2.24 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.42)$$

### Model 34

Ülgen ve Hepbaşı (2004) İzmir için aşığıdaki eşitliğı önermiştir [50].

$$\frac{H}{H_0} = 0.2408 + 0.3625 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.4597 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.3708 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.43)$$

### Model 35

Toğrul ve Toğrul (2002) Ankara, Antalya, İzmir, Yenihisar (Aydın), Yumurtalık (Adana) için aşığıdaki üçüncü dereceden denklemi önermiştir [64].

$$\frac{H}{H_0} = 0.1796 + 0.9813 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.2958 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.2657 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.44)$$

### Model 36

Tahran ve Sarı (2005) Karadeniz Bölgesi'nin global güneş radyasyonunu hesaplayabilmek için aşığıdaki denklemi önermiştir [68].

$$\frac{H}{H_0} = 0.1520 + 1.1334 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.2958 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.4516 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.45)$$

### Model 37

Zabara (1986) a ve b kat sayılarını 3. Dereceden denklem olarak bulmuştur ve aşağıdaki şekilde vermiştir [69].

$$a = 0.395 - 1.247 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 2.680 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 1.674 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.46a)$$

$$b = 0.395 - 1.384 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 3.249 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 2.055 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.46b)$$

### Model 38

Ertekin ve Yıldız (2000) Antalya için aşağıdaki modeli elde etmiştir [70].

$$\frac{H}{H_0} = -2.4275 + 11.946 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 16.745 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 7.9575 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.47)$$

### Model 39

Ülgen ve Hepbaşlı (2004) Ankara, İstanbul ve İzmir için aşağıdaki üçüncü dereceden eşitliği bulmuştur [50].

$$\frac{H}{H_0} = 0.2854 + 0.2597 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 6171 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.4834 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.48)$$

### Model 40

Jin (2005) Çin için 69 istasyondan aldığı veriler doğrultusunda geliştirdiği 3. Dereceden denklem aşağıda verilmiştir [71].

$$\frac{H}{H_0} = 0.1275 + 0.7251 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.2299 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.1837 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.49)$$

### Model 41

Aras vd. (2006) İç Anadolu Bölgesi için aşağıdaki 3. Dereceden denklemi uygun görmüştür [72].

$$\frac{H}{H_0} = 0.4832 - 0.6161 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 1.8932 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 1.0975 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.50)$$

### 2.1.4. Bulut Bazlı Modeller

#### Model 42

Black (1956) aylık ortalama bulutlu gün sayısına (C) dayanarak aşağıdaki 2. Dereceden denklemi elde etmiştir [73].

$$\frac{H}{H_0} = 0.803 - 340C - 0.458C^2 \quad C \leq 0.8 \quad (2.51)$$

#### Model 43

Badescu (1999) aşağıdaki bağıntıyı aylık ortalama gün sayısı ile bağdaştırmıştır [74].

$$\frac{H}{H_0} = a + bC \quad (2.52)$$

$$\frac{H}{H_0} = a + bC + cC^2 \quad (2.53)$$

$$\frac{H}{H_0} = a + bC + cC^2 + dC^3 \quad (2.54)$$

### 2.1.5. Sıcaklık Bazlı Modeller

#### Model 44

Hargreaves ve Samani (1982) maksimum ve minimum sıcaklıkları kullanarak güneş radyasyonunu tahmin etmede yeni bir yöntem geliştirmişlerdir [75].

$$\frac{H}{H_0} = a(T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (2.55)$$

#### Model 45

Bristow ve Champbell (1984) sıcaklıkla güneş radyasyonu arasında ki ilişkiyi aşağıdaki şekilde vermiştir. Burada a ve b katsayı c oranadır indisidir [76].

$$\frac{H}{H_0} = a[1 - \exp(-b\Delta T^c)] \quad (2.56a)$$

$$\frac{H}{H_0} = 14.35[1 - \exp(-0.009\Delta T^{0.54})] \quad (2.56b)$$

#### Model 46

Hunt vd (1998) ise aşağıdaki gibi bir denklem önermişlerdir [77].

$$H = a(T_{max} - T_{min})^{0.5}H_0 + b \quad (2.57)$$

## 2.1.6. Diğer Modeller

### Model 47

Elagib ve Mansell (2000) aşağıda verilen korelasyonları önermiştir [78].

$$\frac{H}{H_0} = 0.37958 \exp \left[ 0.50948 \left( \frac{S}{S_0} \right) \right] \quad (2.58a)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.301 + 0.3158 \left( \frac{S}{S_0} \right)^{0.736718} \quad (2.58b)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.0614 + 0.077\lambda + 0.2665 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.58c)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.3851 - 0.0299\lambda + 0.2695 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.58ç)$$

### Model 48

Newland (1988) logaritmik terim içeren bir eşitliği aşağıdaki gibi elde etmiştir [79].

$$\frac{H}{H_0} = 0.34 + 0.40 \left( \frac{S}{S_0} \right) + 0.17 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.59)$$

### Model 49

Chen vd.(2004) içerisinde sıcaklık, güneşlenme süresi ve logaritmanın da kullanıldığı aşağıdaki denklemi önermiştir [80].

$$\frac{H}{H_0} = a \ln(T_{max} - T_{min}) + b \left( \frac{S}{S_0} \right)^c + d \quad (2.60)$$

Çizelge 2.1.'de güneşlenme süresi bazlı lineer modeller Çizelge 2.2.'de güneşlenme güresi bazlı karekök modeller Çizelge 2.3.'de güneşlenme süresi bazlı küp kök modeller Çizelge 2.4.'de bulut bazlı modeller Çizelge 2.5.'te sıcaklık bazlı ve Çizelge 2.6.'da diğer modeller tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 2.1. Güneşlenme süresi bazlı lineer modeller

Güneşlenme Süresi Bazlı Lineer Modeller		
	Modeller	Referans
Model 1	$\frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.48 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Angström-Prescott-Page (1961)
Model 2	Ekim-Mart $\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.60 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Nisan-Eylül $\frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.53 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Bendson (1984)
Model 3	$\frac{H}{H_0} = 0.175 + 0.552 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Bahel (1986)
Model 4	$\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.62 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Tırs vd. (1997)
Model 5	$a = 0.10 + 0.24 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ $b = 0.38 + 0.08 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Rietveld (1978)
Model 6	$a = 0.265 + 0.07Z + 0.136 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ $b = 0.401 + 0.108Z + 0.0325 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Gopinathan (1988)
Model 7	Ocak $\frac{H}{H_0} = 0.18 + 0.66 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Şubat $\frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.60 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Mart $\frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.58 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Nisan $\frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.62 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Mayıs $\frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.52 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Haziran $\frac{H}{H_0} = 0.24 + 0.53 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Temmuz $\frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.53 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Ağustos $\frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.55 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Eylül $\frac{H}{H_0} = 0.20 + 0.59 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Ekim $\frac{H}{H_0} = 0.19 + 0.60 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Kasım $\frac{H}{H_0} = 0.17 + 0.66 \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Aralık $\frac{H}{H_0} = 0.18 + 65 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Soler (1990)
Model 8	$\frac{H}{H_0} = 0.2786 + 0.4160 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Bakırcı (2009)
Model 9	$\frac{H}{H_0} = 0.228 + 0.527 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	El-Metwall (2005)



Model 10	$\frac{H}{H_0} = 0.177 + 0.692 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Jain (1986)
Model 11	$\frac{H}{H_0} = 0.2424 + 0.5014 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Ülgen ve Özbalta (2000)
Model 12	$\frac{H}{H_0} = 0.176 + 0.563 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Rensheng vd. (2006)
Model 13	$\frac{H}{H_0} = 0.1332 + 0.6471 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Jin vd.(2005)
Model 14	$\frac{H}{H_0} = 0.2671 + 0.4754 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Ülgen ve Hepbaşlı (2004)
Model 15	$\frac{H}{H_0} = 0.3078 + 0.4166 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Aras vd. (2006)
Model 16	$\frac{H}{H_0} = 0.335 + 0.367 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Raja ve Twidell (1990)
Model 17	$\frac{H}{H_0} = a \cos \delta + b \left(\frac{S}{S_0}\right)$ $\frac{H}{H_0} = 0.29 \cos \delta + 0.52 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Glower ve McClulloch (1958)
Model 18	$\frac{H}{H_0} = 0.3092 \cos \delta + 0.4931 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Ülgen ve Hepbaşlı (2004)
Model 19	$\frac{H}{H_0} = 0.37 + \left[0.005 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.003\right] \lambda + 0.32 \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Dogniaux ve Lemonie (1938)
Model 20	Ocak $\frac{H}{H_0} = (0.00301\lambda + 0.34507) + (0.00495\lambda + 0.34572) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Şubat $\frac{H}{H_0} = (0.00255\lambda + 0.33459) + (0.00547\lambda + 0.35533) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Mart $\frac{H}{H_0} = (0.00303\lambda + 0.36690) + (0.00466\lambda + 0.36377) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Nisan $\frac{H}{H_0} = (0.00334\lambda + 0.38557) + (0.00456\lambda + 0.35802) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Mayıs $\frac{H}{H_0} = (0.00245\lambda + 0.35057) + (0.00485\lambda + 0.33550) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Haziran $\frac{H}{H_0} = (0.00327\lambda + 0.39890) + (0.00578\lambda + 0.27292) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Temmuz $\frac{H}{H_0} = (0.00369\lambda + 0.41234) + (0.00568\lambda + 0.27004) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Ağustos $\frac{H}{H_0} = (0.00269\lambda + 0.36243) + (0.00412\lambda + 0.33162) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Eylül $\frac{H}{H_0} = (0.00338\lambda + 0.39467) + (0.00564\lambda + 0.27121) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Ekim $\frac{H}{H_0} = (0.00317\lambda + 0.36213) + (0.00504\lambda + 0.31790) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Kasım $\frac{H}{H_0} = (0.00350\lambda + 0.36680) + (0.00523\lambda + 0.31467) \left(\frac{S}{S_0}\right)$ Aralık $\frac{H}{H_0} = (0.00350\lambda + 0.36262) + (0.00559\lambda + 0.30675) \left(\frac{S}{S_0}\right)$	Dogniaux ve Lemonie (1958)
Model 21	$a = 0.103 + 0.00001Z + 0.19 \cos \lambda - \delta$ $b = 0.533 - 0.165 \cos \lambda - \delta$	Kılıç ve Öztürk (1938)

Çizelge 2.2. Güneşlenme süresi karekök lineer modeller

Güneşlenme Süresi Bazlı Karekök Modeller		
	Modeller	Referans
Model 22	$\frac{H}{H_0} = 0.195 + 0.676 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.142 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Ogelman vd. (1984)
Model 23	$\frac{H}{H_0} = 0.145 + 0.845 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.280 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Akınoğlu ve Ecevit (1991)
Model 24	$\frac{H}{H_0} = 0.22 + 0.014 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.001 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Taşdemiroğlu ve Sever (1991)
Model 25	$\frac{H}{H_0} = 0.203 + 0.92 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.391 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Yıldız ve Öz (1994)
Model 26	$\frac{H}{H_0} = 0.148 + 0.668 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.079 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Aksoy (2005)
Model 27	$\frac{H}{H_0} = 0.2545 + 0.5121 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.0864 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Bakırcı (2007)
Model 28	$\frac{H}{H_0} = 0.0959 + 0.9958 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.3922 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Ülgen ve Özbalta (2002)
Model 29	$\frac{H}{H_0} = 0.1541 + 1.1714 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.705 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Toğrul ve Toğrul (2000)
Model 30	$\frac{H}{H_0} = 0.3398 + 0.2868 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.1187 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Aras vd. (2006)
Model 31	$\frac{H}{H_0} = 0.1404 + 0.6126 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.0351 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2$	Jin vd. (2005)

Çizelge 2.3. Güneşlenme süresi küp kök lineer modeller

Güneşlenme Süresi Bazlı Küpkök Modeller		
	Modeller	Referans
Model 32	$\frac{H}{H_0} = 0.16 + 0.87 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.16 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.34 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Bahel vd. (1986)
Model 33	$\frac{H}{H_0} = -0.14 + 2.52 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 3.71 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 2.24 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Samuel (1991)
Model 34	$\frac{H}{H_0} = 0.2408 + 0.3625 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 0.4597 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.3708 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Ülgen ve Hepbaşlı (2004)
Model 35	$\frac{H}{H_0} = 0.1796 + 0.9813 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.2958 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.2657 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Toğrul ve Toğrul (2004)
Model 36	$\frac{H}{H_0} = 0.1520 + 1.1334 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.2958 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.4516 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Tahran ve Sarı (2005)
Model 37	$a = 0.395 - 1.247 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 2.680 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 1.674 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$ $b = 0.395 - 1.384 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 3.249 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 2.055 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Zabara (1986)
Model 38	$\frac{H}{H_0} = -2.4275 + 11.946 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 16.745 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 7.9575 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Ertekin ve Yıldız (2000)
Model 39	$\frac{H}{H_0} = 0.2854 + 0.2597 \left(\frac{S}{S_0}\right) + 6171 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0.4834 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Ülgen ve Hepbaşlı (2004)
Model 40	$\frac{H}{H_0} = 0.1275 + 0.7251 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 0.2299 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.1837 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Jin (2005)
Model 41	$\frac{H}{H_0} = 0.4832 - 0.6161 \left(\frac{S}{S_0}\right) 1.8932 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 1.0975 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3$	Aras vd. (2006)

Çizelge 2.4. Bulut bazlı modeller

Bulut Bazlı Modeller		
	Modeller	Referans
Model 42	$\frac{H}{H_0} = 0.803 - 340C - 0.458C^2 \quad C \leq 0.8$	Black (1956)
Model 43	$\frac{H}{H_0} = a + bC$ $\frac{H}{H_0} = a + bC + cC^2$ $\frac{H}{H_0} = a + bC + cC^2 + dC^3$	Badescu (1999)

Çizelge 2.5. Sıcaklık bazlı modeller

Sıcaklık Bazlı Modeller		
	Modeller	Referans
Model 44	$\frac{H}{H_0} = a(T_{max} - T_{min})^{0.5}$	Hargreaves ve Samani (1982)
Model 45	$\frac{H}{H_0} = a[1 - \exp(-b\Delta T^c)]$ $\frac{H}{H_0} = 14.35[1 - \exp(-0.009\Delta T^{0.54})]$	Bristow ve Champbell (1984)
Model 46	$H = a(T_{max} - T_{min})^{0.5}H_0 + b$	Hunt vd (1998)

Çizelge 2.6. Diğer Modeller

Diğer Modeller		
	Modeller	Referans
Model 47	$\frac{H}{H_0} = 0.37958 \exp \left[ 0.50948 \left( \frac{S}{S_0} \right) \right]$ $\frac{H}{H_0} = 0.301 + 0.3158 \left( \frac{S}{S_0} \right)^{0.736718}$ $\frac{H}{H_0} = 0.0614 + 0.077\lambda + 0.2665 \left( \frac{S}{S_0} \right)$ $\frac{H}{H_0} = 0.3851 - 0.0299\lambda + 0.2695 \left( \frac{S}{S_0} \right)$	Elagib ve Mansell (2000)
Model 48	$\frac{H}{H_0} = 0.34 + 0.40 \left( \frac{S}{S_0} \right) + 0.17 \log \left( \frac{S}{S_0} \right)$	Newland (1988)
Model 49	$\frac{H}{H_0} = a \ln(T_{max} - T_{min}) + b \left( \frac{S}{S_0} \right)^c + d$	Chen vd.(2004)

### 3.TEORİ VE YÖNTEM

#### 3.1. Konum

Osmaniye İli Doğu Akdeniz’de, batısında Adana, doğusunda Gaziantep, güneyinde Hatay ve kuzeyinde Kahramanmaraş’ın bulunduğu Türkiye’nin 81 ilinden bir tanesidir. Kuzey yarım kürede bulunan şehir 37,05 kuzey enlemi, 36,14 doğu boylamında yer almaktadır. Akdeniz’e 20 km ve denizden yüksekliği ise 120 metredir.

Osmaniye İlinde Fakıuşağı mahallesinde yer alan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi kampüsünde Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümü tarafından kurulan meteorolojik ölçüm cihazından, beşer dakika aralar ile alınan yatay düzleme gelen güneş radyasyon değerleri yardımıyla, Osmaniye ilinin bir senelik ışınım değerleri kayıt altına alınmıştır. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi coğrafi konumu Şekil 3.1. , Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Osmaniye İli uydu görüntüleri



Şekil 3.2. Osmaniye İli uydu görüntüleri



Şekil 3.3. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ölçüm merkezi uydu görüntüleri

### 3.2. Ölçüm

Osmaniye Korkut Ata Üniversite kampüsünde kurulan meteorolojik ölçüm cihazından (Vantage PRO2) alınan veriler kullanılarak Osmaniye’de yatay yüzeye gelen güneş ışınımı için yeni bir model geliştirilmiştir. Meteorolojik ölçüm cihazı 20 m yükseğe kurulmuş ve ışınım verileri 21.06.2012 tarihinden 21.06.2013 tarihine kadar beşer dakikalık zaman aralığında alınmıştır. Şekil 3.4.’te ölçüm istasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Ölçüm istasyonu

### 3.3. Vantage Pro 2 Cihaz Özellikleri

Tek bir paket içerisinde nem, sıcaklık, güneş radyasyonu, yağmur sensörü, anemometre bulunduran çok yönlü bir kablosuz hava istasyonudur. Kablosuz, radyo frekanslarını kullanarak 300 metreye kadar veri aktarımını sağlayabilen türünün ilk cihazıdır. Vantage Pro 2 cihazının çözünürlüğü  $5 \text{ W/m}^2$  ve  $0-1800 \text{ W/m}^2$  arasında %5 hata payı ile ölçüm yapmaktadır. Şekil 3.5.’te Vantage Pro 2 cihazı gösterilmiştir.





Şekil 3.5. Vantage Pro 2 meteorolojik ölçüm cihazı

### 3.4. Model Oluşturulması

Osmaniye ili ortalama güneş radyasyonu modeli oluşturulması için istatistiksel tabanlı sayısal bir model kullanılmıştır. Sayısal bir ilişki ise ilk olarak Angström, Prescott, Page (Angström,1924) tarafından kurulmuştur. Angström(1924) eşitliği aşağıda denklemde verilmiştir [35]. Bu çalışmada Angström(1924) eşitliği baz alınarak güneşlenme süresi bazlı kübik bir model Osmaniye ili için oluşturulmuştur. Kübik model literatürde ilk olarak Bahel vd. (1986) tarafından aşağıdaki şekilde kullanılmıştır.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.1)$$

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) + c \left( \frac{S}{S_0} \right)^2 + d \left( \frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (2.40)$$



Burada, H aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu, H<sub>0</sub> aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu, S gün uzunluğu, S<sub>0</sub> maksimum güneşlenme süresini, a ve b ise katsayıları göstermektedir.

### 3.5. İstatiksel Analiz

Literatürde, güneş radyasyonu tahmin modellerinin performansını değerlendirmek amacıyla çeşitli istatiksel analiz test metotları bulunmaktadır. Bunlar içerisinde bağıl hata yüzdesi “e”, belirlilik katsayısı “R<sup>2</sup>”, ortalama yüzde hata “MPE”, ortalama mutlak hata yüzdesi “SSRE”, bağıl standart toplam hata “RSE”, ortalama sapma hatası “MBE”, karekök hatası “RMSE” istatiksel sonuçlarını en çok karşılaştırmakta kullanılan yöntemlerdir [8-81]. Bu çalışmada bulunan modelin, güneş radyasyonu ölçüm verilerinin ve diğer modellerle karşılaştırılması aşağıdaki istatiksel analiz metotlarından MBE Ortalama Sapma Hastası, MAPE Ortalama Mutlak Hata ve RMSE Karekök Hatası kullanılmıştır.

#### 3.5.1. Bağıl Hata Yüzdesi

Bağıl hata yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$e = \left( \frac{m_i - c_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada  $c_i$  hesaplanan değerleri ve  $m_i$  ölçülen değerleri göstermektedir.

$e$  hesaplanan ve ölçülen veri arasındaki yüzdesel sapma miktarını vermektedir.  $e$ 'nin ideal değeri sifıra eşittir.

### 3.5.2. Belirlilik Katsayısı

Kararlılık katsayısı hesaplanan ve ölçülen veri arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılabilir [81].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_m) \times (m_i - m_a)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (c_i - c_m)^2 \times (m_i - m_a)^2]}} \quad (3.2)$$

Burada  $m_a$  ve  $c_a$  ölçülen ve hesaplanan değerlerin ortalamasıdır.

### 3.5.3. Ortalama Yüzde Hatası

Ortalama yüzde hatası, ölçülen değerlerden önerilen denklemler ile tahmin edilen aylık ortalama günlük radyasyonun yüzeyel sapması olarak tanımlanabilir [81].

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i - c_i}{m_i} \right) \times 100}{n} \quad (3.3)$$

Burada, n hesaplanan ve ölçülen değerlerin sayısıdır.

### 3.5.4. Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi

Tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki yüzdesel sapmanın mutlak ortalama değeri olarak ifade edilmiştir [81].

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{m_i - c_i}{m_i} \right| \times 100}{n} \quad (3.4)$$

### 3.5.5. Bağlı Hata Karesi

Bağlı hatanın karelerinin toplamı aşağıdaki gibi hesaplanır [81].

$$SSRE = \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i - c_i}{m_i} \right)^2 \quad (3.5)$$

### 3.5.6. Bağıl Standart Toplam Hata

Bağıl standart hata aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$RSE = \sqrt{\frac{SSRE}{n}} \quad (3.6)$$

RSE korelasyon tahmininin doğruluk derecesini vermektedir [81].

### 3.5.7. Ortalama Sapma Hatası

Ortalama sapma hatası aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - c_i) \quad (3.7)$$

MBE hesaplanan ve ölçülen değerler terimi ile dönem arasındaki gerçek sapma için korelasyonun uzun vadeli performansı hakkında bilgi verir. MBE'nin ideal değeri sıfırdır [81].

### 3.5.8. Karekök Hatası

Karekök ortalama hatası aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - c_i)^2} \quad (3.8)$$

Kısa vadeli performans hakkında bilgi verir. RMSE'nin ideal değeri 0'dır [81].

## 3.6. İstatiksel Analiz İçin Kullanılan Modeller

Osmaniye ili için bulunan modelin ve ölçülen güneş radyasyonu verilerinin analizini yapabilmek için aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilen modeller kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Karşılaştırılması yapılan güneş radyasyonu modelleri

	<b>Models</b>	<b>References</b>
<b>Model 1</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.18 + 0.62 \frac{S}{S_o}$	Tiris et al., (1997)
<b>Model 2</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.206 + 0.546 \frac{S}{S_o}$	Louce et al. (1991)
<b>Model 3</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.145 + 0.845 \frac{S}{S_o} - 0.280 \left(\frac{S}{S_o}\right)^2$	Akinoglu and Ecevit (1990)
<b>Model 4</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.203 + 0.92 \left(\frac{S}{S_o}\right) - 0.391 \left(\frac{S}{S_o}\right)^2$	Yildiz and Oz (1994).
<b>Model 5</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.148 + 0.668 \left(\frac{S}{S_o}\right) - 0.079 \left(\frac{S}{S_o}\right)^2$	Aksoy (1997)
<b>Model 6</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.22 + 0.014 \left(\frac{S}{S_o}\right) - 0.001 \left(\frac{S}{S_o}\right)^2$	Tasdemiroglu and Sever (1991)
<b>Model 7</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.16 + 0.87 \left(\frac{S}{S_o}\right) - 0.16 \left(\frac{S}{S_o}\right)^2 + 0.34 \left(\frac{S}{S_o}\right)^3$	Bahel et al (1987)
<b>Model 8</b>	$\frac{H}{H_o} = 0.1796 + 0.9813 \left(\frac{S}{S_o}\right) - 1.1126 \left(\frac{S}{S_o}\right)^2 - 0.2657 \left(\frac{S}{S_o}\right)^3$	Toğrul and Toğrul (2002)

## 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

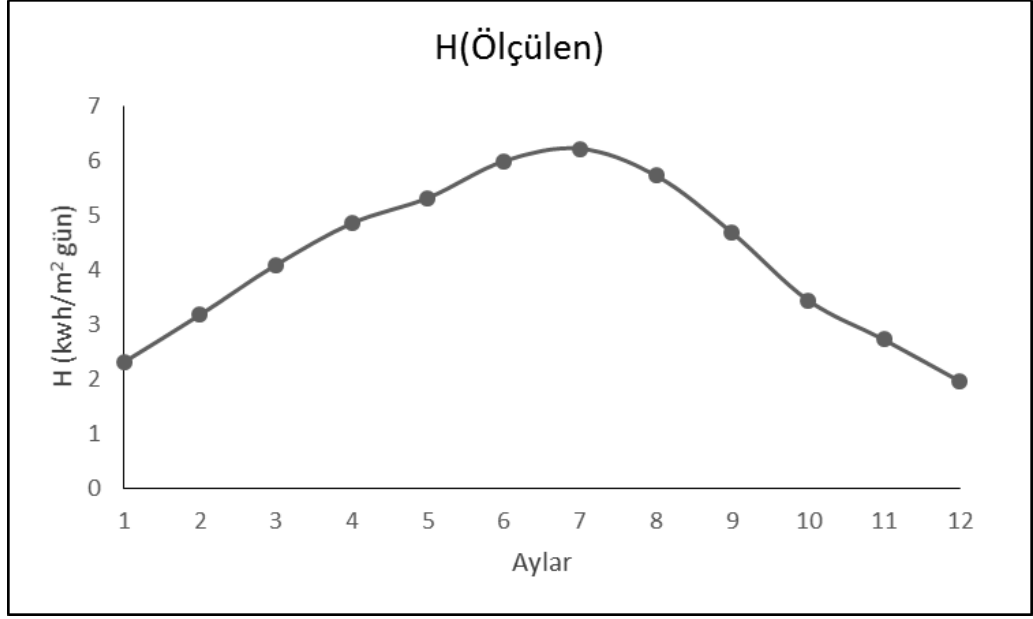
### 4.1. Osmaniye İli Aylık Ortalama Günlük Güneş Radyasyon Değerleri

Bir sene boyunca ölçülen güneş ışınım değerleri, Osmaniye İli için bir model oluşturulması amacıyla, 12 aya indirgenmiştir. Her gün için ortalama ışınım değerleri bulunmuş ve bulunan bu değerlerinde ortalaması alınarak bir ay için ortalama güneş radyasyon değerleri hesap edilmiştir. Çizelge 4.1. ve Şekil 4.1.'de bu değerler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Osmaniye İli ölçülen aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri

Aylar	H(ölçülen)
1	2,306860668
2	3,172059756
3	4,084262088
4	4,848238632
5	5,31120888
6	5,985274476
7	6,213628528
8	5,720990628
9	4,67723642
10	3,440253064
11	2,716736056
12	1,953039516

Osmaniye için ölçümler sonucu bulunan aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu değerlerine göre en yüksek radyasyon değeri Temmuz ayında meydana gelmiştir. En düşük radyasyon değeri ise Aralık ayında gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Osmaniye İli ölçülen aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri

#### 4.2. Osmaniye İli Aylık Ortalama Günlük Dünya Dışı Güneş Radyasyonu Değerleri

Aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır [36].

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left[ \cos \lambda \cos \delta w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \lambda \sin \delta \right] \quad (2.2)$$

Burada  $I_{gs}$  güneş sabiti (1367 W/m<sup>2</sup>),  $f$  dünya yörüngesinin düzeltme katsayısı,  $\lambda$  enlem,  $\delta$  güneş deklinasyon açısı ve  $w_s$  ise aylık ortalama gündoğumu saat açısını göstermektedir[38].Düzeltilme katsayısı, deklinasyon açısı ve aylık ortalama gün doğumu saat açısı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır [36].

$$f = 1 + 0,033 \left( \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (2.3)$$

$$\delta = 23,24 \sin \left[ \frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (2.4)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \lambda \tan \delta) \quad (2.5)$$

Burada  $n$  1 Ocaktan başlayan gün sayısıdır.  $f$ ,  $\delta$ ,  $w_s$  ve  $n$  değerleri Çizelge 4.2’de aylık ortama şeklinde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Osmaniye İli hesaplanan aylık ortalama günlük  $f$ ,  $\delta$ ,  $w_s$  ve  $n$  değerleri

Aylar	$n$	$f$	$\delta$	$w_s$
1	15	1,031906	-21,2719	72,934
2	45	1,023584	-13,6249	79,4744
3	75	1,009111	-2,42458	88,1733
4	105	0,992262	9,408065	97,1732
5	135	0,977431	18,78711	104,8551
6	165	0,968486	23,26654	108,9078
7	195	0,967761	21,67812	107,4308
8	225	0,975445	14,43611	101,1848
9	255	0,989533	3,429211	92,5871
10	285	1,006351	-8,47202	83,5528
11	315	1,021513	-18,1638	75,6848
12	345	1,031063	-23,1185	71,2334

Bu değerler doğrultusunda Osmaniye İli aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu hesaplanmıştır ve Çizelge 4.3.’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Osmaniye İli hesaplanan aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu

Aylar	$H_0$
1	4,67184
2	6,055117
3	7,991545
4	9,829377
5	11,08027
6	11,59026
7	11,36871
8	10,42798
9	8,830894
10	6,890314
11	5,200117
12	4,325115

### 4.3. Osmaniye İli Aylık Ortalama Gün Uzunlukları

Bu çalışmada aylık ortalama gün uzunluğu için meteorolojiden alınan veriler kullanmıştır. Meteorolojiden alınan veriler Çizelge 4.4.'de verilmiştir.[33]. Bu verilere göre Osmaniye İlinde en çok Temmuz ayında, en az ise Aralık ayında gün uzunluğuna rastlanmaktadır.

Çizelge 4.4. Osmaniye İli meteoroloji ortalama gün uzunlukları verileri

Aylar	S(saat)
1	4,11
2	5,22
3	6,27
4	7,46
5	9,1
6	10,81
7	11,31
8	10,7
9	9,23
10	6,87
11	5,15
12	3,75

### 4.4. Osmaniye İli Aylık Ortalama Maksimum Mümkün Güneşlenme Süresi

Aylık ortalama maksimum güneşlenme süresi aşağıdaki verilen formül ile bulunmuştur.

$$S_0 = w_s \times \frac{2}{15} \quad (2.6)$$

Bulunan  $S_0$  değerleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Bu verilere göre Osmaniye ilinde maksimum mümkün güneşlenme süresinin Haziran ve Temmuz ayların da en fazla, en az ise Ocak ve Aralık aylarında olduğu gözlemlenmiştir.



Çizelge 4.5. Osmaniye İli hesaplanan aylık ortalama maksimum mümkün

güneşlenme süresi

Aylar	S <sub>0</sub>
1	9,724533
2	10,59659
3	11,75644
4	12,95643
5	13,98068
6	14,52104
7	14,32411
8	13,49131
9	12,34495
10	11,14037
11	10,09131
12	9,497787

#### 4.5. Osmaniye İli İçin Geliştirilen Güneş Radyasyon Modeli

Osmaniye İli için geliştirilen yeni model Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi yerleşkesi içine kurulan metrolojik ölçüm istasyonu yardımı ile Aylık ortalama günlük güneş radyasyon değeri (H) , metrolojiden alınan aylık ortalama gün uzunluğu (S), denklemler yardımıyla elde edilen aylık ortalama günlük güneş radyasyonu H<sub>0</sub> ve aylık ortalama maksimum mümkün güneşlenme süresi S<sub>0</sub> değerleri yardımıyla sağlanmıştır. Bu çalışmada Osmaniye ili için güneşlenme süresi bazlı küp kök model kullanılmıştır. Bu model aşağıdaki formülde verilmiştir.

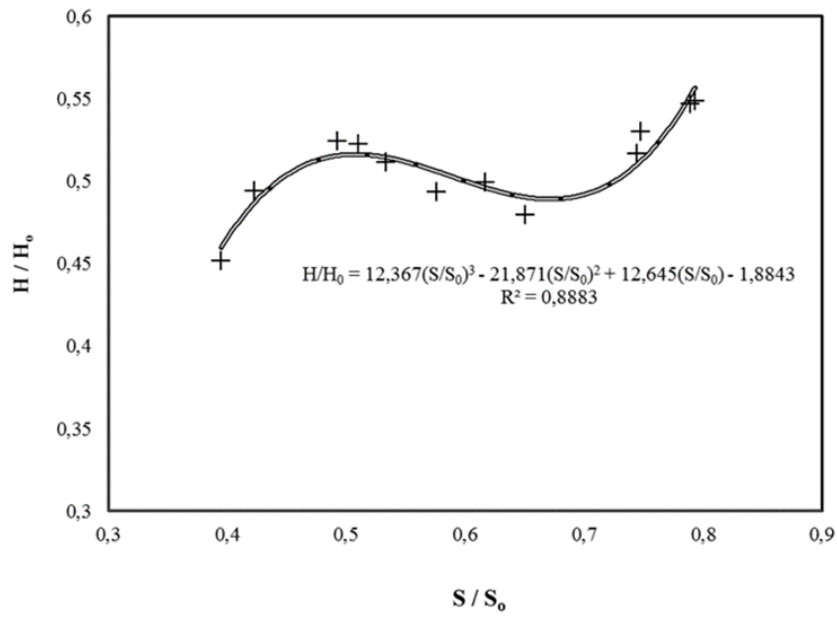
$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0}\right) + c \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + d \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (2.40)$$

Gerekli değerler Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Hesaplanan H/H<sub>0</sub> ve S/S<sub>0</sub> değerleri

Aylar	H/H <sub>0</sub>	S/S <sub>0</sub>
1	0,493779881	0,422642389
2	0,523864329	0,492611457
3	0,511072902	0,533324714
4	0,49323965	0,575776037
5	0,479339418	0,65089824
6	0,516405437	0,744437038
7	0,546555226	0,789578035
8	0,54861908	0,793103312
9	0,529644729	0,747674352
10	0,499288317	0,616675922
11	0,522437494	0,510340253
12	0,451557837	0,39482883

Bu veriler doğrultusunda Aşağıdaki Şekil 4.2.'ye ulaşılmış ve Osmaniye İli için yeni bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model denklem (4.1 )'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Osmaniye İli için geliştirilen güneş radyasyon modeli

$$\frac{H}{H_0} = -1.8843 + 12.645 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 21.871 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 12.367 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad R^2 = 0.8883 \quad (4.5)$$

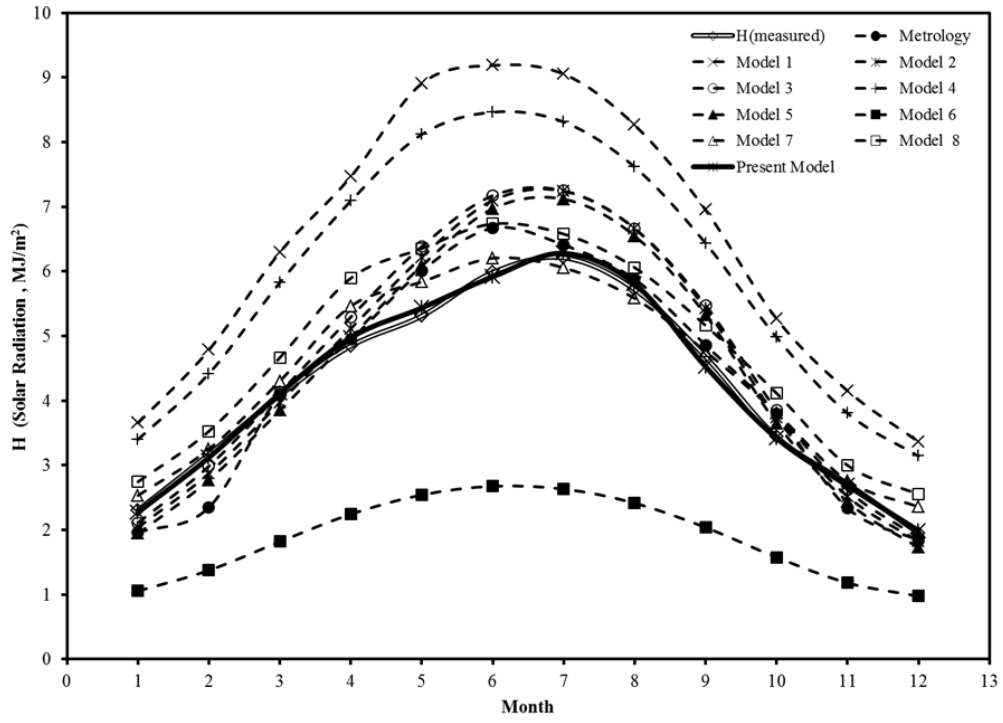
Osmaniye İli için geliştirilen güneşlenme süresi bazlı küp kök modelin gayet yüksek oranlarda doğruluk sağlayabileceği  $R^2$  değerinden anlaşılmıştır. Kısacası yeni geliştirilen model Yaklaşık %90 oranında doğruluk sağlamaktadır.

#### **4.6. Osmaniye İli İçin Literatürdeki Modellerin Güneş Radyasyonu Değerleri**

Literatürde bahsedilen lineer, karekök ve küp kök güneşlenme süresi bazlı modellerden 8 adet seçilmiş ve Osmaniye ili için geliştirilen model ile birlikte 9 adet model, ölçülen güneş radyasyonu değerleriyle istatistiksel analizi yapılabilmesi için güneş radyasyonu değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada istatistiksel analiz metotlarından, “MBE” Ortalama Sapma Hatası, “MAPE” Ortalama Mutlak Hata ve “RMSE” Karekök Hatası kullanılmıştır. Çizelge 4.7.’de bu değerler ve istatistiksel analiz değerleri verilmiştir. Şekil 4.3.’de ise modellerin grafiksel karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4.7. Modellerin istatistiksel analiz yöntemleri ile karşılaştırılması

Month	H(measured)	Metrology	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Present Model
<b>1</b>	2,306860668	1,96	3,655699853	2,040485719	2,112220093	3,400130205	1,944483473	1,056282592	2,533706035	2,744801252	2,27481066
<b>2</b>	3,172059756	2,35	4,785074987	2,875973784	2,987050861	4,418624069	2,772600707	1,375354571	3,252193975	3,528497237	3,123077065
<b>3</b>	4,084262088	4,09	6,297802732	3,973358558	4,123777171	5,827410125	3,850250648	1,820082213	4,304384443	4,668018305	4,113538996
<b>4</b>	4,848238632	4,95	7,465374719	5,114949611	5,295141585	7,090086277	4,977876497	2,244954908	5,462806584	5,895349337	4,97731749
<b>5</b>	5,31120888	6,01	8,908103524	6,220356129	6,386464722	8,120347831	6,086725582	2,54332294	5,83873582	6,353807426	5,436433188
<b>6</b>	5,985274476	6,67	9,187568039	7,098602448	7,172947645	8,464603642	6,971579951	2,677075962	6,20511194	6,735685473	5,917816868
<b>7</b>	6,213628528	6,41	9,053581801	7,243115142	7,249054837	8,312531375	7,118937846	2,633874889	6,056329372	6,579306769	6,28063088
<b>8</b>	5,720990628	5,88	8,265084748	6,663840166	6,663989167	7,615495022	6,549826726	2,416502225	5,583678027	6,060976062	5,807378947
<b>9</b>	4,67723642	4,86	6,951642773	5,424201707	5,477451017	6,437573975	5,32753815	2,040170143	4,761672037	5,163055499	4,527833809
<b>10</b>	3,440253064	3,8	5,266687149	3,739407991	3,855889614	4,9801499	3,651154211	1,577976562	3,811599203	4,11640711	3,421119479
<b>11</b>	2,716736056	2,34	4,153286274	2,520214716	2,617282839	3,804961361	2,435380966	1,182533686	2,761194983	3,001165484	2,685823471
<b>12</b>	1,953039516	1,84	3,364722416	1,823366969	1,881343728	3,142617668	1,727582208	0,976107034	2,358217904	2,55256481	1,98968638
<b>MABE</b>		0,337300273	2,243736692	0,525600075	0,541201793	1,765395228	0,499122368	2,323795916	0,257422094	0,580820504	0,068463058
<b>RMSE</b>		0,433857361	2,440971436	0,660558763	0,702526468	1,915561341	2,114691863	2,552216931	0,320374582	0,653604012	0,083067199
<b>MAPE</b>		8,978962128	35,17776163	10,55810021	9,969537333	30,05230289	11,38095792	122,6293243	6,310229205	12,82009555	1,594317498



Şekil 4.3. Osmaniye ili için hesaplanan aylık ortalama global güneş radyasyonu (H) değerlerinin grafiksel karşılaştırılması

Elde edilen veriler doğrultusunda Osmaniye İli için en uygun modelin yeni geliştirilen model olduğu ve en doğru sonuçlara ulaşılabilceği ortaya konulmuştur. Metrolojiden alınan veriler ve Osmaniye ili için geliştirilen modelin sonuçları arasında büyük yakınlık olduğu gözlemlenmiştir. Bundan ayrı olarak Osmaniye güneş radyasyon değerleri açısından en yakın sonuçları lineer eşitlikler arasından Model 2 Lounce vd. (1991), karekök modellerden Model 5 Aksoy (1997), küp kök modellerden ise Model 7 Bahel vd. (1987) vermiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yatay yüzeye gelen güneş ışınım değerleri deneysel olarak incelenmiş ve literatürde sunulan 8 modelle karşılaştırılmıştır. Osmaniye İli güneş potansiyelinin belirlenmesi amacıyla ölçülen verilerin bir sonucu olarak yeni bir model geliştirilmiştir (Osmaniye Modeli). Geliştirilen yeni model meteoroloji ve diğer modellerin sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Yeni geliştirilen modelin performansını analiz etmek amacıyla diğer verilerle istatistiksel analiz yöntemlerinden MBE Ortalama Sapma Hastası, MAPE Ortalama Mutlak Hata ve RMSE Karekök Hatası kullanılmıştır.

Osmaniye için üçüncü derecen bir polinom model (güneşlenme süresi bazlı küp kök model) geliştirilmiştir. Geliştirilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = -1.8843 + 12.645 \left(\frac{S}{S_0}\right) - 21.871 \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 12.367 \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (4.5)$$

İstatistiksel analiz metotları sonucunda geliştirilen modelin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesinde kurulan ölçüm merkezinden alınan veriler göz önünde bulundurularak Osmaniye İli için en doğru model olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Osmaniye için bulunan modelin Osmaniye için en uygun model olduğu ortaya konulmuştur.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Demirhan, H. M. T. , Atilla, M. , Statistical comparison of global solar radiation estimation models over Turkey , *Energy Convers Manage*, 68, 141–148, 2013.
- [2] Ediger, V. S. , Kentel, E. , Renewable energy potential as an alternative to fossil fuels in Turkey, *Energy Convers Management*, 40(7), 743–755, 1999.
- [3] Wrixon, G. T, Rooney, M. E., Palz, W. , *Renewable Energy 2000*, Springer-Verlag, Berlin-Germany, 1993
- [4] Coskun, C. , Oktay, Z. , Dincer, I. , Estimation of monthly solar radiation distribution for solar energy system analysis, *Energy*, 36(2), 1319 -1323, 2011.
- [5] Gopinathan, K. K. , Soler, A. , Diffuse radiation models and monthly-average daily, diffuse data for a wide latitude range, *Energy*, 20(7), 657–667, 1995.
- [6] Togrul, I. T. , Onat, E. , A study for estimating solar radiation in Elazig using geographical and meteorological data, *Energy Convers. Mgmt. ,* 40(14), 1577–1584, 1999.
- [7] Ertekin, C. , Yaldiz, O. , Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey) , *Energy Convers. Mgmt. ,* 41(4), 311–330 2000.
- [8] Ulgen, K. , Hepbasli, A. , Solar Radiation Models. Part 1: A Review, *Energy Sources*, 26, 507–520, 2004.
- [9] Akinoglu, B. G. , Ecevit, A. , Construction of a quadratic model using modified Angström coefficients to estimate global solar Radiation, *Solar Energy*, 45(2), 85–92 1990.
- [10] Tasdemiroglu, E. , Sever, R. , Estimation of monthly average daily, horizontal diffuse radiation in Turkey, *Energy*, 16(4), 787–790, 1991.
- [11] Yildiz, M., Oz, S. , Evaluation of the solar energy potential of Turkey, In Proc. of the 6th National Energy Congress, 250–260, Izmir-Türkiye, 1994.
- [12] Aksoy, B. , Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations, *Renewable Energy*, 10(4), 625–633, 1997.
- [13] Topcu, S., Dilmac, S., Aslan, Z., Study of hourly solar radiation data in Istanbul, *Renewable Energy*, 6(2), 171–174, 1995.

- [14] Dincer, I. , Dilmac, S. , Ture, I. E. , Edin, M. , A simple technique for estimating solar radiation parameters and its application for Gebze, *Energy Convers. Mgmt.*, 37(2), 183–198, 1996.
- [15] Tiris, M. , Tiris, C. , Erdalli Y. , Water heating systems by solar energy, Marmara Research Center, Institute of Energy Systems and Environmental Research, NATO TU-Coating, 151, Gebze-Turkey, 1997.
- [16] Kaygusuz, K. , The comparison of measured and calculated solar radiation in Trabzon-Turkey, *Energy Sources*, 21(4), 347–353, 1999.
- [17] Ertekin, C. , Yaldiz, O. , Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya, Turkey, *Energy Convers. Mgmt.*, 41(4), 311–330, 2000.
- [18] Gunes, M. , Comparison of total horizontal solar radiation measurements with some existing models for Turkey, *Energy Sources*, 24(8), 735–742, 2002.
- [19] Ecevit, A., Akinoglu, B. G. , Aksoy, B. , Generation of a typical meteorological year using sunshine duration data, *Energy*, 27(10), 947–954, 2002.
- [20] Sahin, A. D. , Kadioglu, M. , Sen, Z. , Monthly clearness index values of Turkey by harmonic analysis approach, *Energy Convers. Mgmt.*, 42(8), 933–940, 2001.
- [21] Togrul, I. T. , Togrul, H. , Global solar radiation over Turkey: comparison and predicted and measured data, *Renewable Energy*, 25(1), 55-67, 2002.
- [22] “Yıldız Teknik Üniversitesi Güneş Enerjili Sistemler Kulübü, Güneş Enerjisi”, Erişim adresi: <http://www.gesk.yildiz.edu.tr> , Erişim tarihi: 08 Kasım 2014.
- [23] “EİE'NİN Güneş Enerjisi Çalışmaları”, Erişim adresi: <http://www.eie.gov.tr/> , Erişim tarihi: 12.11.2014
- [24] Varınca, K. B. , Gönüllü, M. T. , Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 270-272, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir-Türkiye, 21-23 Haziran 2006
- [25] “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri-Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü”, Erişim adresi: [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr), Erişim tarihi: 10.02.2015.
- [26] Bulut, H. , Adana İlinde Eğik Yüzeyle Gelen Güneş Işınım Miktarının belirlenmesi, 2-3 Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu, Adana-Türkiye, 16-17 Ekim 2008.



- [27] EPDK Rüzgâr ve Güneş Ölçüm Standartları Tebliği, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 5-133, İstanbul-Türkiye, 19 Aralık 2012.
- [28] Özdemir, Y. , Uydu Tabanlı Kuadratik Model ile Türkiye’de Güneş Radyasyonunun Dağılımın Belirlenmesi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü, 106, ANKARA, Haziran-2012.
- [29] “NASA Meteonorm”, Erişim adresi: <http://meteonorm.com/>, Erişim tarihi:28.01.2015.
- [30] “GRASS R.sun”, Erişim adresi: <https://www.behance.net/>, Erişim tarihi: 28.01.2015.
- [31] “Europen Solar Atlas”, Erişim adresi: <http://re.jrc.ec.europa.eu/> , Erişim tarihi: 29.01.2015.
- [32] “GEPA”, Erişim adresi: <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>. 2 Erişim tarihi: 01.02.2015.
- [33] “GEPA”, Erişim adresi: <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/80.aspx>, Erişim tarihi: 2.02.2015.
- [34] Kıncay, O. , Güneş Enerjisi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye.
- [35] Angström, A. , Solar and Terrestrial Radiation, Quart. J. Roy Met. Soc. , 50(210) ,121–125, 1924.
- [36] Duffie, J. A., Beckman , W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. New York-Wiley, Transactions of the Royal Society of Australia, 46:114–8, 1940, Avustralya.
- [37] Page, J. K. , The estimation of monthlymean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40o N-40o S. Conference on New Sources of Energy. 378-390, 1961.
- [38] Benson, R. B. , Paris, M. V. , Sherry, J. E. , Justus, C.G. , Estimation of daily and monthly direct diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements., Solar Energy, 32(4), 523–35, 1984.
- [39] Bahel, V. , Srinivasan, R. , Bakhsh, H. , Solar radiation for Dhahran, Solar Energy Energy, 44(6), 315-319, 1990.

- [40] Tiris, M. , Tiris, C. , Erdalli Y. , Water heating systems by solar energy, Marmara Research Center, Institute of Energy Systems and Environmental Research, NATO TU-Coating, 151, Gebze-Turkey, 1997.
- [41] Rietveld, M. , A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine, *Agricultural Meteorology*, 48(2-3), 243-252, 1978.
- [42] Gopinathan, K. K. , A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface, *Solar and Wind Technology*, 5(5), 581–583, 1988.
- [43] Soler, A. , Monthly specific Rietveld's correlations, *Solar and Wind Technology*, 7(2-3), 305–308, 1990.
- [44] Bakirci, K. , Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey, *Energy*, 34(4), 485–501, 2009.
- [45] El-Metwally, M. , Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67(14), 1331–42, 2005.
- [46] Jain, P. C. , Global irradiation estimation for Italian locations, *Solar and Wind Technology*, 3(4), 323–8, 1986.
- [47] Ulgen, K. , Ozbalta, N. , Measured and estimated global radiation on horizontal surface for Bornova, Izmir, XII. National Thermal Science and Technical Congress, 113–8, Izmir-Turkey, 2000.
- [48] Rensheng, C. , Shihua, L. , Ersi, K. , Jianping, Y. , Xibin, J. , Estimating daily global radiation using two types of revised models in China. *Energy Conversion and Management*, 47(7-8), 865–78, 2006.
- [49] Jin, Z. , Yezheng, W. , Gang, Y. , General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China, *Energy Conversion and Management*, 46(2) 257–68, 2005.
- [50] Ulgen, K. , Hepbasli, A. , Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models, *Energy Sources*, 26(5), 521–30, 2004.
- [51] Aras, H. , Balli, O. , Hepbasli, A. , Global solar radiation Potential. Part 1. Model Development, *Energy Sources, Part B, Economics, Planning and Policy* 15(3), 303–315, 2006.
- [52] Raja, I.A. , Twidell, J. W. , Distribution of global insolation over Pakistan. *Solar Energy*, 43(6), 355-357, 1990.

- [53] Glower, J. , McGulloch, J. S. G. , The empirical relation between solar Radiation and hours of sunshine, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84(360), 172-175, 1958.
- [54] Ulgen, K. , Hepbasli, A. , Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models, *Energy Sources*, 26, 521–530, 2004.
- [55] Dogniaux, R. , Lemoine, M. , Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency, *Solar energy research and development in the European Community*, series F, vol. 2. Dordrecht, Holland-Reidel, 1983.
- [56] Kilic, A. , Ozturk, A. , *Solar energy*, Kipaş Yayincilik, İstanbul-Türkiye, 1983.
- [57] Ogelman, H. , Ecevit, A. , Tasdemiroglu, E. , A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data, *Solar Energy*, 33(6), 619–625, 1984.
- [58] Akinoglu, B. G. , Ecevit, A. A. , Further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. *Energy*, 15(10),865–872, 1990.
- [59] Tasdemiroglu, E. , Sever, R. , An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey, *Energy Conversion and Management*, 31(6), 599–600, 1991.
- [60] Yildiz, M. , Oz, S. , Evaluation of the solar energy potential of Turkey, *Proceedings of the sixth national energy congress*, 250–260,Türkiye, 1994.
- [61] Aksoy, B. , Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations, *Renewable Energy*, 10(4),625–633, 1997.
- [62] Bakirci, K. , Estimation of global solar radiation on horizontal surface, *Journal of Thermal Science and Technology*, 27(1), 7–1, 2007.
- [63] Ulgen, K. , Ozbalta, N. , Measured and estimated global radiation on horizontal surface for Bornova, Izmir. XII. National Thermal Science and Technical Congress, 113–8, Izmir-Türkiye, 2000.
- [64] Togrul, I.T. , Togrul, H. , Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data, *Renewable Energy*, 25(1), 55-67, 2002.
- [65] Aras H, Balli O, Hepbasli A. Global solar radiation Potential. Part 1. Model Development. *Energy Sources Part B: Economics, Planning and Policy*, 1(3), 303–15, 2006.
- [66] Jin, Z. , Yezheng, W. , Gang, Y. , General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China, *Energy Conversion and Management*, 46(2), 257–68, 2005.

- [67] Samuel, TDMA. , Estimation of global radiation for Sri Lanka, *Solar Energy*, 47, 333–7, 1991.
- [68] Tahrán, S. , Sarı, A. , Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey, *Energy Conversion and Management*, 46(4), 605–13, 2005.
- [69] Zabara, K. , Estimation of the global solar radiation in Greece, *Solar and Wind Technology*, 3(4), 267–72, 1986.
- [70] Ertekin, C. , Yaldiz, O. , Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey), *Energy Conversion and Management*, 41(4), 311–330, 2000.
- [71] Jin, Z. , Yezheng, W. , Gang, Y. , General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China, *Energy Conversion and Management*, 46(2), 257–68, 2005.
- [72] Aras, H. , Balli, O. , Hepbasli, A. . Global solar radiation Potential. Part 1. Model Development. *Energy Sources Part B: Economics, Planning and Policy*, 1(3), 303–315, 2006.
- [73] Black, J. N. , The distribution of solar radiation over the earth's surface, *Archiv fur Meteorologie, Geophysik, und Bioklimatologie Serie A Meteorologie und Geophysik*, 7(2), 165–1889, 1956.
- [74] Badescu, V. , Correlations to estimate monthly mean daily solar global irradiation: application to Romania, *Energy*, 24(10), 883–893, 1999.
- [75] Hargreaves, G. H. , Samani, Z. A. , Estimating potential evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108(IR3), 223–30, 1982.
- [76] Bristow, K. L. , Campbell, G. S. , On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature, *Agricultural and Forest Meteorology*, 31(2), 59–166, 1984.
- [77] Hunt, L. A. , Kucharb, L. , Swanton, C. J. , Estimation of solar radiation for use in crop modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91(3-4), 293–300, 1998.
- [78] Elagib, N. , Mansell, M. G. , New approaches for estimating global solar Radiation across Sudan, *Energy Conversion and Management*, 41(5), 419–34, 2000.
- [79] Newland, F. J. , A study of solar radiation models for the coastal region of South China, *Solar Energy*, 31(4), 227–35, 1988.

- [80] Chen, R. , Ersi, K. , Yang, J. , Lu, S. , Zhao, W. , Validation of five global Radiation models with measured daily data in China, *Energy Conversion and Management*, 45(11-12), 1759–69, 2004.
- [81] Öztürk, M. , Özek, N. , Berkama, B. , Isparta İçin Aylık Ortalama Global Güneş Radyasyonu Tahmininde Mevcut Olan Bazı Modellerin Karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (4), 13-27, 2012.

## ÖZGEÇMİŞ

- 1. Adı Soyadı :** Yasin Alperen GENÇ
- 2. Doğum Tarihi:** 24/02/1990
- 3. Ünvanı :** Öğrenci
- 4. Öğrenim Durumu :** Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2013
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	-

- 5. Yayınlar:** Establishing New Model for Predicting the Global Solar Radiation on Horizontal Surface in Osmaniye, TURKEY , NURER 2014 Antalya-Türkiye

Establishing New Model for Predicting the Global Solar Radiation on Horizontal Surface in Osmaniye, TURKEY, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 40, Issue 44, 26 November 2015, Pages 15278–15283.