İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ ANADOLU BÖLGESİ İÇİN GÜNEYE BAKAN EĞİMLİ YÜZEYE GELEN GÜNLÜK GLOBAL, DİREKT VE DİFÜZ RADYASYONUN HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilek YENİSEY

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Yüksek Lisans Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ ANADOLU BÖLGESİ İÇİN GÜNEYE BAKAN EĞİMLİ YÜZEYE GELEN GÜNLÜK GLOBAL, DİREKT VE DİFÜZ RADYASYONUN HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilek YENİSEY
(511801104)

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sema TOPÇU

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511801104 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Dilek YENİSEY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"İÇ ANADOLU BÖLGESİ İÇİN GÜNEYE BAKAN EĞİMLİ YÜZEYE GELEN GÜNLÜK GLOBAL, DİREKT VE DİFÜZ RADYASYONUN HESAPLANMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sema TOPÇU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Salahattin İNCECİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2015**

Ahmet ve Mehmet’e,

ÖNSÖZ

2011 yılında çıkan Af Kanunu sayesinde, 31 yıl önce bıraktığım yerden başladığım bu yüksek lisans programında, Taşkışla'da kullanmak için günlerce sıra beklediğimiz, bir odayı kaplayacak büyüklükteki bilgisayar ve kaynak olarak sadece hocalarımızın ders notlarına sahip olduğumuz bir dönem ile, bütün dünyayı ve sınırsız bilgiyi avuçlarımızın içine taşıyan teknolojiye sahip çok farklı bir dönemi öğrenci olarak yaşayarak mukayese etmek benim için çok enteresandı!

Aradan geçen bu çok uzun zaman diliminde hem çalışma hayatımın olmaması, hem de öğrenim gördüğümüz konularla hiçbir alakamın bulunmaması nedeniyle, büyük tereddütlerle başladığım bu programı bitirebilmiş olmam, 1980 öncesi yılların şartlarında oldukça kesintili bir öğrencilik dönemi geçirmiş olmamıza rağmen üniversitemizde bize gerçekten iyi bir eğitim verilerek temel prensipler ve mühendislik formasyonu kazandırılmış olduğunun bir göstergesidir. Bu yüzden o yıllardaki hocalarımıza ve yeni öğrencilik dönemimde derslerini büyük bir ilgi ve keyifle takip ettiğim hocalarım Prof. Dr. Salahattin İncecik, Prof. Dr. Kasım Koçak, Prof. Dr. Mikdat Kadıoğlu, Prof. Dr. Zafer Aslan, Prof. Dr. Fatma Kadıoğlu ve Prof. Dr. Beril Tuğrul'a çok teşekkür ediyorum.

Dersler ve ödevler dönemindeki yardımlarından dolayı Abdullah Kahraman, Fulden Batıbeniz ve diğer bütün genç arkadaşlarıma teşekkür ediyorum. Yüksek lisans programının başından itibaren bütün destekleri, katkıları ve bu tezin hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı Ayşegül Ceren Moral ve Emel Ünal'a, ve ingilizce özetin hazırlanmasında yardımcı olan Chelsea Wurms'a sevgiyle teşekkür ediyorum.

Ayrıca, tez danışmanım Prof. Dr. Sema Topçu'ya, her türlü desteği, katkıları ve her şey için candan teşekkür ediyorum.

Mayıs 2015 Dilek Yenisey

Meteoroloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Literatür Araştırması 2
2. GÜNEŞ **15**
2.1 Güneş Radyasyonu 21
2.2 Güneş Radyasyonu Ölçümleri 23
2.3 Güneş Radyasyonu Hesaplamaları 24
2.4 Güneş Radyasyonu Modelleri 26
2.5 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli 27
2.6 Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman'ın Güneş Enerjisi Potansiyelleri 31
2.6.1 Ankara 31
2.6.2 Kayseri 33
2.6.3 Aksaray 34
2.6.4 Karaman 35
3. İÇ ANADOLU BÖLGESİNDE GÜNEYE BAKAN EĞİMLİ YÜZEYLERE GELEN GLOBAL RADYASYON **37**
3.1 İç Anadolu Bölgesi 37
3.2 Metodoloji 43
3.2.1 Yatay Yüzeye Gelen Global Radyasyon Hesabı 44
3.2.2 Eğimli Yüzeye Gelen Global Radyasyon (H_β) Hesabı 45
3.2.2.1 Eğimli Yüzeye Gelen Direkt Radyasyonun (I_β) Hesabı 45
3.2.2.2 Eğik Yüzeye Gelen Difüz Radyasyon Bileşeninin Hesabı 45
3.2.2.3 Eğimli Yüzeye Gelen Yansıyan Bileşenin Hesabı 46
3.3 Sonuçların görselleştirilmesi ve yorumu 47
3.4 Diğer Ülkelerle Karşılaştırma 71
4. SONUÇLAR **73**
KAYNAKLAR **77**
ÖZGEÇMİŞ **81**

KISALTMALAR

H_β : Eğimli yüzeye gelen global radyasyon
$H_{\beta dif}$: Eğimli yüzeye gelen difüz radyasyon
I_r : Eğimli yüzeye gelen yansıyan radyasyon
I_{SC} : Güneş sabiti
I_β : Eğimli yüzeye gelen direkt radyasyon
ω_s : Güneşin doğuş saat açısı
CRM : Cloud Cover Radiation Model
DMİ : Devlet Meteoroloji İşleri
EİE : Elektrik İşleri Etüd İdaresi :
EPDK : Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
H : Ölçülen global radyasyon
H_0 : Atmosfer dışına gelen radyasyon
H_{dif} : Yatay düzleme gelen difüz radyasyon
I : Yatay düzleme gelen direkt radyasyon
K_T : Açıklık indeksi
MENA : Middle East and North Africa Regions
MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü
n : Gün sayısı
NASA : National Aeronautics and Space Administration
OPEC : Organization of the Petroleum Exporting Countries
PVGIS : Photovoltaic Geographical Information System
R : Aktüel Dünya Güneş uzaklığı
R/R_{ort} : Ortalama Dünya Güneş uzaklığı
R_b : Eğik düzleme gelen günlük güneş radyasyonunun, yatay düzleme gelen radyasyona oranı
SSE : Surface meteorology and Solar Energy
YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
Z : Zenit açısı
β : Güneye bakan yüzeyler için eğim
δ : Deklinasyon açısı
ρ : Albedo
φ : Enlem açısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Otomatik güneş radyasyonu ölçüm parametreleri. 23

Çizelge 2.2 : Türkiye'nin aylık toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi değerleri. 28

Çizelge 2.3 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı. 29

Çizelge 3.1 : Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman'ınn enlem, boylam ve yükseklik değerleri. 38

Çizelge 3.2 : Bütün istasyonlar için yıllık toplam güneş enerjisi değerleri. 43

Çizelge 3.3 : Ankara için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon..... 65

Çizelge 3.4 : Kayseri ili için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon..... 65

Çizelge 3.5 : Aksaray için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon..... 66

Çizelge 3.6 : Karaman için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon..... 66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Güneşin günlük görünen hareketi. 16
Şekil 2.2 : Güneşin yıllık görünen hareketi. 17
Şekil 2.3 : Esas güneş açıları. 18
Şekil 2.4 : Deklinasyon açısı. 19
Şekil 2.5 : Saat açısı. 19
Şekil 2.6 : Zenit açısı. 19
Şekil 2.7 : Yükseklik açısı. 20
Şekil 2.8 : Azimut açısı. 20
Şekil 2.9 : Yeryüzüne ulaşan ve yansıyan güneş enerjisi miktarları. 21
Şekil 2.10 : Güneş radyasyonunun bileşenleri. 22
Şekil 2.11 : Eğik yüzeylerde güneş akısı geometrisi. 22
Şekil 2.12 : Yerden ve uydu kanalıyla güneş radyasyonu ölçümleri. 23
Şekil 2.13 : Einstein'ın el yazısı ile dünyaya gelen radyasyon. 25
Şekil 2.14 : Yatay radyasyondan hareketle eğimli yüzeylere gelen radyasyonun hesaplanması aşamaları. 25
Şekil 2.15 : 1878 yılındaki bir çanak reflektör. 26
Şekil 2.16 : Türkiye için elde hazırlanmış Güneş radyasyonu atlası. 28
Şekil 2.17 : Türkiye'nin yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi. 30
Şekil 2.18 : Sırasıyla Türkiye'nin ortalama güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi. 30
Şekil 2.19 : Türkiye'nin 30 derecede eğimde elde edilen güneş enerjisi haritası. 31
Şekil 2.20 : Ankara iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası. 32
Şekil 2.21 : Ankara iline ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir. 32
Şekil 2.22 : Kayseri iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası. 33
Şekil 2.23 : Kayseri iline ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir. 33
Şekil 2.24 : Aksaray iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası. 34

Şekil 2.25 : Aksaray iline ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir. 35

Şekil 2.26 : Karaman iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası. 35

Şekil 2.27 : Karaman iline ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir. 36

Şekil 3.1 : İç Anadolu Bölgesi. 37

Şekil 3.2 : Türkiye'nin eğim haritası. 38

Şekil 3.3 : Ankara için 2010-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi. 39

Şekil 3.4 : Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi. 39

Şekil 3.5 : Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi. 40

Şekil 3.6 : Karaman için 2007-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi. 40

Şekil 3.7 : Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman için yıllara göre yatay yüzey için ölçülen global radyasyon. 41

Şekil 3.8 : Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman için ölçülen global radyasyon değerleri 42

Şekil 3.9 : Ankara için 2010-2013 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri 48

Şekil 3.10 : Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri 48

Şekil 3.11 : Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri 49

Şekil 3.12 : Karaman için 2007-2013 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri 49

Şekil 3.13 : Ankara için 2010-2013 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri. 50

Şekil 3.14 : Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri. 50

Şekil 3.15 : Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri. 51

Şekil 3.16 : Karaman için 2007-2013 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri. 51

Şekil 3.17 : Ankara için 2010-2013 yıllarına ait, yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 52

Şekil 3.18 : Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 52

Şekil 3.19 : Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 53

Şekil 3.20 : Karaman için 2007-2013 yıllarına ait, yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 53

Şekil 3.21 : Ankara için 2010-2013 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 54

Şekil 3.22 : Kayseri için için 2007-2010 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 54

Şekil 3.23 : Aksaray için 2007-2013 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 55

Şekil 3.24 : Karaman için 2007-2013 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 55

Şekil 3.25 : Ankara için 2010-2013 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 56

Şekil 3.26 : Kayseri için 2007-2010 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 56

Şekil 3.27 : Aksaray için 2007-2013 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 57

Şekil 3.28 : Karaman için 2007-2013 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri. 57

Şekil 3.29 : Ankara için 2010-2013 yıllarına ait 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi. . 58

Şekil 3.30 : Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait, 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi. . 58

Şekil 3.31 : Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi. . 59

Şekil 3.32 : Karaman için 2007-2013 yıllarına ait 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi. . 59

Şekil 3.33 : Ankara için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri. 60

Şekil 3.34 : Kayseri için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri. 60

Şekil 3.35 : Aksaray için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri. 61

Şekil 3.36 : Karaman için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri. 61

Şekil 3.37 : Ankara için 2010-2013 yıllarına ait anizotropik saçılma koşullarında güneye bakan 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan güneş radyasyonu değerleri. 62

Şekil 3.38 : Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait, 30 derece eğimli yüzeye gelen direkt, yansıyan, difüz ve global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi. 62

Şekil 3.39 : Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait 30 derece eğimli yüzeye gelen direkt, yansıyan, difüz ve global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi. 63

Şekil 3.40 : Karaman için 2007-2013 yıllarına ait 30 derece eğimli yüzeye gelen direkt, yansıyan, difüz ve global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi. 63

Şekil 3.41 : Ankara için 2010-2013 yılları arasında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan global radyasyon değerleri. 67

Şekil 3.42 : Kayseri için 2007-2010 yılları arasında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan global radyasyon değerleri. 67

Şekil 3.43 : Aksaray için 2007-2013 yıllarında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzeyde hesaplanan radyasyon değerleri. 68

Şekil 3.44 : Karaman için 2007-2013 yıllarında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan global radyasyon değerleri. 68

Şekil 3.46 : Ankara için 2010-2013 yıllarında, güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik global radyasyon değerleri. 69

Şekil 3.47 : Kayseri için 2007-2010 yıllarında 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik global radyasyon değerleri. 69

Şekil 3.48 : Aksaray için 2007-2013 yıllarında 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik radyasyon değerleri. 70

Şekil 3.49 : Karaman için 2007-2013 yıllarında 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik global radyasyon değerleri. 70

Şekil 3.50 : Akdeniz güneş enerisi kuşağı. 71

İÇ ANADOLU BÖLGESİ İÇİN GÜNEYE BAKAN EĞİMLİ YÜZEYE GELEN GÜNLÜK GLOBAL, DİREKT VE DİFÜZ RADYASYONUN HESAPLANMASI

ÖZET

Enerji en genel anlamıyla iş yapma kabiliyeti, iş ise bir güç etkisiyle sistemde hareket oluşturmak ve yer değiştirmektir. İlk çağlarda insanlar iş yapabilmek için kendi vücut enerjilerini kullanırlarken, zamanla hayatlarını daha kolay sürdürebilmeleri için hayvan gücünden istifade etmeye başladılar. Bunu 1600'lü yıllarda Avrupalıların ormanları kullanmaya başlaması ve kömürü keşfetmeleri takip etti.

1700'lü yıllarda İngiltere'de başlayan sanayi devrimi neticesinde yeni makinelerin icat edilip kullanılmaya başlaması ile birlikte enerjiye olan talep de aynı oranda arttı. 1776 yılında, James Watt, Newcomen'ın daha önce bulduğu buhar makinesini geliştirerek, kömür madenlerindeki su baskınlarını önlemek amacıyla kullanılan su pompasını sanayide kullanılır hale getirdi ve kömür madenlerinin rahatlamasını sağlayan bu buluş, başta tekstil olmak üzere sanayi devriminin daha hızlı gelişimini sağladı. Bu yüzyılın dünya enerji tarihinin gelişimini yakından ilgilendiren siyasi gelişmelere de bakacak olursak, 1776'da Amerika'nın kurulması ve Rusya ve Fransa'nın gittikçe dünya siyasetinde önem kazanmaya başlamalarından söz edebiliriz. Çünkü bu ülkeler enerji tarihini değiştiren, geliştiren çok önemli çalışmalara, olaylara, keşiflere yol açmışlardır. Yine aynı dönemlerde Edison tarafından (1882) elektriğin bulunması, enerji alanındaki en büyük adımlar biridir.

1800'lü yıllar enerjiye olan talebin daha da arttığı, bu konuda özellikle Almanya ve Fransa arasında çatışmaların yaşandığı ve artık yoğun olarak yeni kaynak araştırmalarının hızlandığı dönemdir. Özellikle yüzyılın ikinci yarısında, 1861'de Amerika'da petrolün bulunması ve bunu daha sonra Rusya ve dünyanın pek çok yerinde bulunan petrol reservlerinin takip etmesi bu yüzyılın enerji bakımından en önemli olaylarındandır.

1900 yılların ilk yarısı enerji kaynaklarının paylaşımı konusunda savaşların yaşandığı bütün dünya ve insanlık tarihi için en zor dönemlerden biridir. Bu dönemde aynı zamanda petrol araştırmaları hızlanmış ve önce İran olmak üzere sırasıyla Irak, Kuveyt ve Arabistan ve daha sonra Ortadoğu bölgesinin büyük bir kısmında yeni petrol rezervleri tespit edilip üretim faaliyetleri arttırılmıştır. Yeni makinelerin icatlarına devam edilmiş, içten yanmalı motorlar keşfedilmiş ve ilk otomobil üretilmiştir. Bu yüzyılda bilimsel araştırmalar da çok yoğundur; özellikle Einstein'ın çalışmaları ve keşifleri neticesinde, atom çekirdeğinin parçalanmasıyla kütlenin enerjiye dönüşümü açıklanmış, ve bu durum enerji alanında yeni bir çığır açarak nükleer enerjiyi gündeme getirmiştir. Bu çalışma daha sonra İtalyan bilim adamı

Enrica Ferni ile başlayan ve birçok bilim adamının değişik zamanlardaki katkıları ile 1942 yılında Amerika'da ilk nükleer reaktörün kurulmasına kadar uzanan bir süreçtir.

Bizim ülkemiz açısından enerji gelişimine baktığımızda, dünyadaki gelişmenin tersine 1800 yıllar Osmanlı imparatorluğunun büyük sorunlar yaşadığı ve küçülmeye başladığı bir süreçtir. Sanayi devriminden uzak kalışı ve 1900'lü yılların başlarında keşfedilen petrol rezervine sahip toprakların kaybedilişi söz konusudur. Dünyada 1882 yılında kullanılmaya başlanan elektriğin bizim ülkemize ilk gelişi 1914 yılındadır. Birinci dünya savaşının en çok etkilediği ülkelerden biri olarak İmparatorluk dağılmış ve Türkiye Cumhuriyeti kurulmuş ve yeni kurumlar oluşturulup enerji alanında çalışmalar başlamış ve bu konuda ilk olarak İzmir'de 9 Eylül Üniversitesi Enerji Enstitüsü kurulmuş ve enerji politikaları oluşturulmaya başlanmıştır.

Ülkelerin gelişmişlik seviyesi kişi başına düşen enerji miktarına göre belirlenmektedir. Kendi kaynaklarının büyük bir bölümünü ilerki dönemlerde kullanmak üzere saklayarak, Ortadoğu'daki büyük petrol kaynaklarına yönelen gelişmiş ve sanayileşmiş ülkeler 1973 yılında yaşanan enerji krizi, 1979 İran devrimi, 1980 İran-Irak savaşlarının başlaması ve 1990 Körfez savaşı gibi çalkantılı dönemlerin arda arda gelmesi ve bu durumun petrol fiyatlarında da büyük çalkantılara neden olmasıyla sarsılmışlar ve artık gelecek 100 yılı kapsayan enerji politikalarını oluşturmaya başlamışlardır. Bu politikalar, büyük ölçüde ülkelerin kendi öz kaynaklarının durumuna ve çeşitliliğine, coğrafi konumlarına, nüfus artış hızları ve yoğunluklarına, ekonomilerine göre belirlenir.

Milyonlarca yılda güneş enerjisi sayesinde oluşmuş olan fosil kaynakların tükenme tehlikesi taşıması ve hem fosil yakıtların ve hem de nükleer enerji reaktörlerinin çevreye verdikleri zararlar ve yan etkileri nedeniyle ülkeler ve bilim insanları kaynağı kendilerinde olan, kolay temin edilebilecek temiz yeni kaynak arayışlarına girmişler ve böylece yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir.

Yukarıda saydığımız özelliklerin hepsini taşıyan yenilebilir enerji kaynakları hidrolik, güneş, biyokütle, rüzgar, jeotermal, dalga gel-git ve hidrojen olmak üzere sıralanabilir. Bu kaynakların bazıları zaten ilk çağlardan beri farkedilmiş ve az miktarda da olsa kullanılmaktaydı. Mesela, rüzgar enerjisi çok eski zamanlardan itibaren keşfedilmiş ve yelkenli gemilerde ve yel değirmenlerinde kullanılıyordu. Aynı şekilde M.Ö 100. yıllarda nehir kenarlarına kurulan su değirmenleri vardı. Bu gün artık bütün dünyada ve ülkemizde bu kaynakların hepsi çok geniş bir uygulama içerisinde, çok ileri yöntemlerle yoğun olarak kullanılmakta ve bu alanların daha da genişlemesi için gerekli her türlü çalışmalar yapılmaktadır ve geleceğin en temiz ve sürdürülebilir enerji yakıtı olarak yenilenebilir bir kaynak olan Hidrojen gösterilmektedir.

Bu tezin konusu olan Güneş enerjisi, yenilenebilir kaynakların temelini oluşturmaktadır. Çünkü aslında bütün enerjilerin kaynağı olan ve enerjisinin yaklaşık olarak gelecek 10^{30} yıl boyunca bitmeyeceği hesaplanan güneş, aynı zamanda tabiatın ve yaşamın da kaynağıdır ve dünyamız bu enerjiyle beslenmektedir. Güneş enerjisinin insanlar tarafından farkedilip çeşitli sebeplerle kısmen kullanılması M.Ö 212 yıllarında Arşimet'in bu enerjiyi keşfedip Roma ordusuna karşı kulanmasına kadar geriye gitmektedir. 1839 yılında Fransız fizik profesörü Edmond Becquerel'in

ilk fotovoltaik etkiyi tespit etmesi ve yine 1860'da Fransa'da su ısıtmak amacıyla kullanılan kollektörler sanayideki ilk uygulamalardır. O zamanlardan günümüze ışık veya ısı enerjisi veya elektrik enerjisi üretiminde kullanılmak suretiyle güneş enerjisinin uygulama alanları çok gelişmiş ve yaygınlaşmıştır.

Güneşten enerji temin etmenin negatif bir yönü olarak, güneş radyasyonu bileşenlerinin ölçümünün ve başlangıçtaki kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu ve kesintili bir kaynak olması nedeniyle enerjinin depolanması durumu karşımıza çıkmaktadır. Fakat teknolojik gelişimlerle doğru orantılı olarak yapılan çalışmalar bu maliyetleri önemli ölçüde düşürmeye başlamıştır. Bu konuda daha iyi neticelere ulaşmak için yapılan araştırmalar nano teknolojik düzeyde sürdürülmektedir. Bu durum Güneş enerjisinin gelecek yıllarda gittikçe artan bir şekilde daha da fazla kullanılacağının en önemli göstergesidir.

Güneş enerjisi, güneşin merkezindeki hidrojen gazının füzyon nedeniyle helyuma dönüşmesi neticesi ortaya çıkan çok yüksek miktardaki radyasyonun yeryüzüne ulaşması ile temin edilir. Bu radyasyonun atmosfer dışına gelen miktarı sabittir, fakat yeryüzüne ulaşması çok değişik faktörlerin etkisiyle azalarak olmakta ve şartlara bağlı olarak değişmektedir. Güneşten enerji üretebilmek için, bu radyasyon miktarlarının ölçümü veya ölçülemeyen bileşenlerinin hesaplanması çok önemlidir. Güneş radyasyonu ölçümlerinin her yerde yapılamaması ve çok pahalı oluşu, aynı şekilde enerji üretecek sistemlerin kurulumunun maliyetinin de çok yüksek olması fizibilite çalışmalarının ne kadar önemli olduğunu gösterir. Bu konuda Güneş radyasyonu tahminleri ve potansiyel çalışmaları gerekmektedir.

Eğimli yüzeye gelen güneş radyasyon miktarı yatay yüzeye göre yüksektir. Fakat yatay yüzeye gelen güneş radyasyonu değerlerinin ölçülebilmesine karşılık, eğimli yüzeye gelen radyasyon bileşenleri ölçülemez, ancak yatay yüzeye gelen ölçüm değerleri kullanılarak çeşitli modeller sayesinde hesaplanabilir. Ayrıca, güneş geometrisi, dünyanın kendi ekseni ve güneşin yörüngesindeki hareketleri sebebiyle radyasyon miktarında meydana gelen değişiklikler nedeniyle, en uygun açı ve yön tespiti de güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu, tasarımı ve güneşten maksimum enerji elde edilmesi için çok önemlidir. 1800'lü yıllardan bu yana, çok fazla sayıda bilim adamı bu konuda çok önemli çalışmalar yapmışlar ve birçok modeller geliştirmişlerdir. Bu modeller sayesinde, ülkeler ve bölgeler bazında güneş enerjisi potansiyellerini tespit etmek üzere yapılan analizler çok gelişmiştir ve iyi bir güneş enerjisi potansiyeli analizi sayesinde hem güneşten maksimum enerji elde etmek hem de çok büyük maliyetleri olan bu sistemlerin planlanıp hayata geçirilmesi daha kolay ve verimli olur.

Tezde çalışma alanı olarak Türkiye'nin üçüncü büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip olan ve güneş enerjisi tarlaları kurulmak üzere teşvik almış bulunan İç Anadolu Bölgesi seçilmiştir. Bu bölgedeki enlem sırasına göre kuzeyden güneye sırasıyla Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman illeri için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylerde izotropik ve anizotropik saçılma koşullarında güneş radyasyonu bileşenleri hesaplanarak bu değerler analiz edilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 'Toplam Güneşlenme Şiddeti' verilerinden hareketle, bu illerde eğimli yüzeylere gelen radyasyon değerleri 10, 20, 30 ,40, 50, 60, 70, 80 ve 90 derece açılar için hesaplanmıştır. Veriler, Ankara için; 2010, 2011, 2012, 2013, Kayseri için; 2007, 2008, 2009, 2010, Aksaray için; 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013 ve Karaman için; 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013 yıllarına aittir.

Yatay düzleme gelen radyasyon direkt ve difüz olmak üzere iki bileşenden, eğik düzleme gelen radyasyon ise direkt, difüz ve yansıyan olmak üzere üç bileşenden oluşmakta ve bu bileşenlerin toplamı gobal değerleri vermektedir. Tezde, her saat başı ölçülmüş olan günlük global radyasyon değerlerinden (H) hareketle her bir istasyon için önce atmosfer dışına gelen radyasyon (H_0) ve açıklık indeksi ($K_T=H/H_0$) ve buradan hareketle de yatay ve eğik düzlemlere gelen global değerler bulunmuştur. İşlemleri 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 derece açılar baz alınarak ve difüz bileşenleri hesaplamak için izotropik ve anizotropik modeller kullanılarak, Excel programı ile her bir açı için güneş radyasyonu bileşenleri ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar görselleştirilerek yorumlanmıştır.

ESTIMATION OF GLOBAL, DIFFUSE AND BEAM RADIATION ON THE SOUTH ORIENTED TILTED SURFACES FOR THE REGION 'IC ANADOLU' IN TURKEY

SUMMARY

In general, energy is defined as the ability to do work. Work is any activity that produces change or movement within a system. Originally, human activity was fueled exclusively by our own physical energy. But in time, humanity began to cultivate external energy sources, learning to employ work animals, firewood, hydraulic mills, and wind power.

In the 1700s, for the first time in human history, fossil fuels became a significant energy source, thanks to England's Industrial Revolution. In 1776, Englishman James Watt perfected the steam engine, based on Thomas Newcomen's earlier invention for draining coal mines. The Watt engine removed a significant barrier to coal production and defined a new era of mechanical innovation. Access to coal fuel was central to the development of machine-based production and to the industrialization of Great Britain and other growing nations, namely the USA, Russia, and France.

In the 1800s, global energy demands continued to increase. Political quarrels erupted as a growing number of industrialized countries --France and Germany at the forefront-- searched for new sources of energy. In 1859, commercial oil drilling began in the USA. Oil reserves were subsequently discovered in Russia and other places. And Thomas Edison's 1882 discovery of electricity further increased the interest in energy production.

Energy production and consumption continued to expand in the first part of the 20^{th} Century. New inventions like the automobile and engine fire provided new applications for electric and mechanical energy, and the search for fossil fuel reserves intensified. Oil was discovered in Iran, Iraq, Kuwait, and Saudi Arabia, among other places, and the growing market for these fuels continued to provoke wars and territorial disputes.

Also in the early 20^{th} Century, Einstein discovered his famous $E=mc^2$ formula, suggesting that energy could be produced from mass. This revelation opened a new epoch in the history of energy: the field of nuclear energy. Enrico Fermi became a key figure in this field when he produced the first controlled nuclear reaction in 1942 in Los Alamos, USA.

Per-capita energy use remains a key indicator of a country's level of development. The most developed countries can also be seen to practice fundamentally similar energy policies. These global superpowers have tended to eschew exploiting their

own natural energy reserves in favor of importing oil from abroad, particularly from the Middle East.

However, reliance on imported energy has proven to be a dangerous strategy in recent years due to a succession of crises abroad: the OPEC embargo in 1973, the Iranian Revolution in 1979, the Iran-Iraq wars in 1980s, and two Gulf Wars in the 1990s. These events had crippling effects on the world's energy-importing superpowers, prompting them to rethink their existing energy portfolios. Shifting energy policies are also motivated by other factors: For one thing, fossil fuels are environmentally damaging. Also, humans are consuming fossil fuels at a much faster rate than these fuels can be formed in nature.

Thus, the dawn of the 21st Century has prompted intense investigation of new ways to obtain, store, and deliver energy. Forward-thinking countries have identified a need to pursue and procure new energy sources that will be cheap, continuous, accessible, and clean. These alternative, renewable energies range from ancient sources such as wind and hydraulic energy to new developments like hydrogen power and biofuel, and also include solar, geothermal, and tidal power.

Today, all of these alternative energy sources are gaining popularity in the world at large and in Turkey specifically. Research continues to improve both theoretical and practical approaches to alternative energy systems. Within this context, hydrogen fuel systems have garnered the most attention. But solar energy has also proved significant in terms of its popularity and practical potential.

This thesis focuses on solar energy, acknowledging solar radiation as the planet's most fundamental source of fuel (and the original source of fossil fuel). Solar is also the quintessential renewable fuel, since we can expect the sun to continue producing energy for about 10^{30} years. Because solar energy fuels all biological life, it is also the energetic motor of the natural world. Humans have been channeling solar energy for millennia. In 212 BC Archimedes channeled solar energy to create an apparatus for incinerating Roman ships. In 1839, the French physician Edmond Becquerel discovered the photovoltaic effect, by which a material exposed to light generates an electric current. Also in France, the first solar-powered engine was introduced in 1860, constituting the first commercial use of solar energy. In intervening centuries, solar energy has frequently been used to create heat energy and light energy.

Of course, there are some problems with solar energy. Notably, it is very expensive to establish the infrastructure required for mass production and adoption of solar power. And while solar energy is guaranteed to last for millions of billions of years, the availability of solar energy changes according to the seasonal and circadian intervals. Thus, the capture and storage of solar energy is a major problem. Technological progress has addressed many of these issues, however. Costs have been reduced thanks to the discovery of new materials and the scaling of PV production. And progress in related fields, including that of nanotechnology, will continue to increase the viability of solar energy, allowing it to become the most useful alternative fuel going forward.

Solar energy is a byproduct of the nuclear fission reactions that occur in the center of the sun. Fission refers to the transformation of hydrogen into helium, which happens via a massive exothermal reaction. The resulting radiation reaches earth's atmosphere as extraterrestrial radiation. The levels of extraterrestrial radiation that

reaches out atmosphere is constant. However, the presence of clouds and other atmospheric elements affects the level of radiation that reach earth's surface. The radiation we receive depends on atmospheric conditions. In addition, the level of radiation on a given surface changes according to the degree of tilt. The radiation that strikes a tilted surface is more intense than the radiation on a horizontal plane. In order to successfully implement solar energy systems, we need to the precise values of solar radiation at different locations, and to understand how these levels of radiation change over time.

All of this knowledge is necessary to design solar energy systems to maximize energy production, minimize costs. But not all of these vital details can be measured directly. For instance, while it is possible to directly measure the amount of solar radiation hitting a horizontal surface, it is not possible to directly measure the level of radiation on a tilted surface. Instead, these values must be calculated based on radiation values of a horizontal surface at the same location. Such is the purpose of this thesis. The data and calculations provided herein can be used to understand the optimal tilt and orientation of photovoltaic collectors in Middle-Anatolia.

Since the 1800s, successive scientists have made extensive work of exploring and calculating the relationship between radiation levels and surface level tilts. Thus, there exist established algorithms for calculating radiation levels, and using mathematical models has proved to be a cost-efficient way to measure solar radiation. In fact, countries often use these models to understand the potential production of solar energy at specific sites within their territories.

Middle-Anatolia ranks third in Turkey in terms of its potential as a solar energy hotspot. Recognizing this potential, the Turkish government recently earmarked funds to establish solar fields in Middle-Anatolia. To understand the region's potential for producing solar energy, we chose to analyze four cities in this region: Ankara, Karaman, Aksaray , and Kayseri. For each of these cities, we used Measured Global Solar Radiation data from MGM to calculate levels of solar radiation at various degrees of tilt, under both isotropic and anisotropic conditions. Ultimately, we calculated radiation levels for tilted surfaces in all four cities, looking at various degrees of tilt: from 30 to 90 degrees in 10-degree increments. While radiation on a horizontal surface has two components (direct radiation and diffuse radiation), radiation on a tilted surface has three components (direct, diffuse, and reflected components). In both cases, the sum of the values of the component radiation types gives the overall value of radiation on a particular surface.

The MGM data used in this work consists of hourly measure surface radiation in all four cities over the span of several years. This includes data from Ankara for the years 2010-2013, Karaman for the years 2007-2013, Aksaray for the years 2007-2013, and Kayseri from 2007 to 2010. MGM uses hourly data to calculate the levels of extraterrestrial radiation and the clearness index (K_t=H/H0). This thesis expands upon MGM's existing radiation data to analyze the specific levels of radiation on tilted surfaces, using formulas developed over time by a number of different scientists. We calculate global radiation values on tilted surfaces in all four cities, and examine seven degrees of tilt: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90. Because the radiation values change according to isotropic and anisotropic conditions, we provide calculations for both conditions. Finally, we visualize this data, using this analysis as a point for our conclusion.

1. GİRİŞ

20 yüzyılın sonlarından başlayarak 21. yüzyılda gittikçe ivme kazanan teknoloji devrimiyle birlikte çok sayıda ve çeşitli makine ve aletler üretilmiş ve bunlar hayatımızın vazgeçilmez unsurları arasına girmiştir. Bütün bunlar için gerekli olan enerji ihtiyacı ise şimdilik, hava ve su kadar önemli olup, bir gün gerçekten havaya ve suya muhtaç kalacağımız duruma kadar bu önem azalmayacaktır.

Enerji ihtiyacının gittikçe artması, buna karşılık mevcut fosil kaynakların bir gün bitecek olması ve nükleer enerji sistemlerinin maliyetinin çok yüksekliği ile çevreye verdikleri zararlar dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılmış ve bu yönde talepler artmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında kapasitesi en yüksek olan, aynı zamanda dünyadaki tüm enerji kaynaklarının da dolayı olarak kaynağı olan Güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, yaklaşık gelecek 10^{30} yıl boyunca bitmeyeceği hesaplanan sınırsız ve en büyük kaynaktır. Fakat güneşten enerji elde edilecek sistemleri kurmak ve depolamak açısından maliyetler çok yüksektir. Bu yüzden Güneş enerjisi kurulumu tasarımlarında ve projelerin hayata geçirilmesinde fizilibiteler yapmak gerekir. Aynı şekilde çok pahalı ekipmanlar gerektiren ölçümler de her yerde yapılamamaktadır. Bu yüzden bilim insanları ve araştırmacılar çok uzun zamanlardan beri bu konuda çalışmalar yaparak en doğru hesaplamaları yapabilmek için kendi bölgeleri veya dünyanın bir çok yeri için çok değişik parametrelere bağlı modeller geliştirmişlerdir.

Türkiye'de güneş enerjisi ile ilgili ilk çalışmalar 1975 yılında ilk ulusal kongrenin yapılması ile başlar ve bunu 1978 yılında İzmir Ege Üniversitesi'nde ilk Güneş Enerjisi Enstitüsü'nün kurulması takip eder. 1980'li yılların başına giderek, bu konudaki ilk bilimsel çalışma Taşdemiroğlu ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmayı saatlik ve günlük ışınım miktarlarının tespiti ve konuyla ilgili haritaların geliştirilmesi takip etmiştir. Devlet Meteoroloji istasyonları, iklimsel verilerin kayıt edilip değerlendirilmesi konusunda aktif çalışmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) de, güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, yoğuşturan

toplayıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmalara imkân sağlamaktadır (Keskin, 2006).

2 Kasım 2011 yılından itibaren ise EİE bünyesinde kurulan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) güneş enerjisi konusunda, teknoloji takibi, kaynak ve potansiyel belirlenmesi ve diğer araştırmaları yürütmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün, 1968-1982 yılları arasındaki güneş şiddeti verileri kullanılarak Türkiye'nin bir güneş enerjisi potansiyel haritası hazırlanmıştır. Bu değerlendirmeler iki rapor halinde yayınlanıp Türkiye'nin ortalama güneş radyasyonu 3,6 kWh/m2 gün olarak, güneş süresi ise 2640 saat olarak belirlenmiştir. Bu çalışmaların daha da hızlanması için DMİ ile yeni bir proje başlatılmış ve değişik illere 5 adet güneş gözlem istasyonunun, 5 yıl süre ile tesis edilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda 13 istasyon kurularak 7'sinde ölçümler bitmiştir. Bu verilerin değerlendirilmesiyle 58 il için güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri tespit edilip rapor edilerek ilgililerin istifadesine sunulmuştur.

1.1 Tezin Amacı

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli bakımından Dünya'da önemli bir yere sahiptir. İç Anadolu bölgesi, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz'den sonra ülkemizin 3. büyük güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve bu bölge devlet tarafından çok büyük güneş enerjisi kurulumları için önemli teşvikler almıştır. Bu tez çalışmasında bölgenin şehirleri arasından seçilen**,** enlem sırasına göre kuzeyden güneye yer alan, Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman illerinde güneye bakan yüzeye gelen güneş radyasyonu miktarları hesaplanarak, analizi yapılmış ve uygulamacılara yararlı olacak şekilde bir sonuç ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Eğimli yüzeye gelen güneş radyasyonu miktarı daha fazladır; fakat eğimli yüzeye gelen bileşenler ölçülememektedir. Bu yüzden yatay yüzeye için ölçülebilen değerlerden hareketle eğik yüzey için hesaplamalar yapılmış ve genellikle çalışmalar bulundukları bölgenin iklimsel karakteristiklerine ve mevsimlere göre güneş enerjisini toplayacak olan kolektörler için en uygun yön ve eğim açısını bulmak üzerine yoğunlaşmıştır. Dünyada ve ülkemizde bu konuda çok fazla bilim insanı ve

araştırmacılar çalışmalar yapmışlardır. Aşağıda bu çalışmalardan örnekler sunulmuştur.

Aksoy ve Ekici (2013), ülkemizde güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi konusundaki çalışmaların büyük bölümünün yatay düzlemle sınırlı kaldığını tespit ederek, bu çalışmaları özetlemişlerdir: Bulut ve Büyükalaca (2007), Türkiye'de 68 il için günlük toplam güneş ışınımını tahmin edecek basit bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin doğruluğunu, her birine ait meteoroloji istasyonlarında ölçülen güneş ışınımı değerleriyle test etmişlerdir. Bulut ve diğ. (2006), Şanlıurfa iklimsel şartlarında 15°, 30°, 45°, 60° ve 90° eğimli yüzeylere gelen güneş ışınımı şiddetlerini kaydederek bu verileri farklı güneş ışınımı hesaplama yöntemleri ile değerlendirmişlerdir. Şenkal ve Kuleli (2009), Türkiye'deki 12 adet ilin güneş ışınımı potansiyelini tespit edebilmek için yapay sinir ağları yönteminden faydalanmışlardır. Ağın eğitilmesi ve test edilmesi için bu illere ait meteorolojik ve coğrafik bilgileri kullanmışlardır. Bakırcı (2009), Türkiye'nin farklı bölgelerinde yer alan 18 il için yalnızca bağıl güneşlenme süresi verisinden yararlanarak yatay düzlemlere ait aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunu tahmin etmek için 7 farklı deneysel bağıntı kullanmıştır. Aksoy ve Ekici'nin, dünyadaki çalışmalara ilişkin örnekleri ise şöyledir: "Li ve diğ. (2010), güneş enerjisi tahmini için sinüs ve kosinüs dalgalarını birleştirdikleri bir model önermişlerdir. Sonuçları Çin'deki 9 temsili istasyonda denenmiş ve çok olumlu sonuç almışlardır. Gül ve diğ. (1998), meteorolojik ışınım modeli ve bulutluluk ışınım modeli diye iki model tanımlayarak yatay yüzeye gelen saatlik difüz ve direkt ışınım değerlerinin tespit edilebileceğini, ancak meteorolojik ışınım modelinin daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. De la Flor ve diğ. (2005), her türlü kentsel yüzey ve bina içerisindeki direkt, difüz ve yansıyan radyasyon bileşenleri için yeni bir yöntem geliştirmiş ve bu yöntemin bina tasarımlarında çok faydalı olacağını ortaya koymuşlardır. Gueymard ve Thevenard (2009), açık gökyüzü şartlarında yatay yüzeye gelen direkt ve difüz radyasyon hesaplanmasında yeni bir model geliştirmişler ve gökyüzü gözlemlerine ait veri kümelerine dayanan bu modelin Ashrae modeline alternatif olabileceğini düşünmüşlerdir. Robaa (2009), yatay yüzeye gelen aylık ortalama toplam güneş ışınımını hesaplamak için geliştirdiği modeli, 10 farklı ışınım modelini, dokuz farklı istasyonda 1983-2006 yılları arasındaki verileri kullanarak test etmiş ve sonuçta kendi modelinin Mısır için daha iyi olduğu sonucuna varmıştır".

Mengeş ve Sonmete (2005); 2000-2002 yıllarında Konya'da yatay düzleme gelen toplam günlük güneş radyasyonunun aylık ortalama değerlerini 6 farklı modelle hesaplayarak, aynı zaman dilimindeki ölçümlerle karşılaştırmışlardır. Bu hesaplamalarda Angström-Prescot-Page; Gariepy, Ögelman ve diğ., Samuel ve Swartman, Ogünlade, Kılıç ve Öztürk modellerini kullanmışlardır. İlk beş model için regresyon katsayıları hesaplanmış ve bu katsayılar toplam güneş ışınımının tahmininde kullanılmıştır. Kılıç ve Öztürk modelinde kullanılan katsayılar ise, Konya'nın rakımı ve enlemi baz alınarak hesaplanmıştır. Yapılan testler sonucu, Samuel modeli ile elde edilen değerlerin, ölçülenler ile en uygun olduğu saptanmıştır.

Belcacem Ihya ve diğ. (2014); Fas'ın Fez şehrinde, güneye bakan yüzeylerdeki kolektörlerin maksimum güneş enerjisini toplayacak optimum eğim açısını tespit etmek üzere çalışmalar yapmışlardır. Yatay düzleme gelen günlük global güneş radyasyonu değerleri, 2012 yılında her ay boyunca tespit edilmiş ve güneye bakan yüzeyler için değişik açılardaki radyasyon miktarlarını hesaplamak üzere kullanılmıştır. Bu değerleri ölçen aletler 34^0 eğimli olarak, güneye bakacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Eğimli yüzeye gelen radyasyon miktarlarını hesaplamak için 4 izotropik ve 9 anizotropik olmak üzere, 13 farklı model kullanılmıştır. Açılar 20 dereceden 90 dereceye kadar, 5'er derece aralıklarla değiştirilerek çalışılmıştır. Koronakis (1986) modeli kullanılarak yapılan hesapların diğerlerine göre daha iyi netice verdiği gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, optimum eğim açısının Haziran'da -6^0 ile en düşük olup kış ayları boyunca arttığı ve 64^0'ye ulaştığını göstermiştir. Ortalama optimum eğim açısı, yaz ve kış ayları için 12^0 ve 55^0, yıllık ortalama optimum açısı ise 32^0 derece olarak tespit edilmiştir.

Khalil ve diğ. (2013), çalışmalarında, 1990- 2010 yılları arasında, Kahire'de yatay ve eğik düzleme gelen, ölçülmüş saatlik ve günlük toplam, direkt ve difüz solar irradyasyon akılarını analiz etmişlerdir. Bu çalışmada difüz radyasyonu hesaplamak için Badescu'nun izotropik modeli kullanılmış, eğik düzlemlere gelen global güneş radyasyon değerlerini tespit etmek için ise Olma ve diğ. modeli kullanılmıştır: Yapılan analizler sonucunda ölçülmüş ve hesaplanmış toplam güneş radyasyonu arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Hay, Skartveit ve Olseth ve Perez ve diğ. modelleri güneye bakan yüzeylerde, Hay ve Perez modelleri ise Batıya bakan yüzeylerde daha iyi sonuç vermiştir.

Yadav ve Chandel (2013), optimum eğim açısını tespit için değişik yerlerde, değişik yöntemler kullanarak çalışmalar yapmış ve maksimum düzeyde enerji elde etmek için eğim açısının çok önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Burada izotropik ve anizotropik modeller kullanılmıştır. Optimum açının tespitinde, eğik yüzeylerdeki global güneş radyasyonu tespit edilmiş, eğim açısı ve enlem ilişkisi araştırılmış, eğim açısını daha iyi hale getirmek için değişik teknikler kullanılmış ve açılar 0^0 ila 90^0 arasında değiştirilerek analizler yapılmıştır. Sonuç olarak, uygun eğim açısı tespiti ile maksimum düzeyde güneş enerjisi elde etmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir. Yapılan bu çalışma, gelecekte en iyi metodu tespit etmek isteyen araştırmacılar ve uygulamacılar için yararlı olacak bir çalışmadır.

Kwanho ve diğ. (2013), çalışmalarında Güney Kore'de 6 bölgede, 1986 ve 2005 yılları arasında, ölçülmüş olan yatay düzleme gelen toplam güneş radyasyonunu, güneşli günler sayısını ve bulutluluk oranını analiz etmişlerdir. Kalite kontrol sistemleriyle veriler ayıklanarak, hatalı veriler çıkarılmıştır. Ölçülen bu Saatlik global güneş radyasyonu verileri SFRM (Sunshine Fraction Radiation Model) modeli ve bir bulut örtüsü modeli olan CRM (Cloud Cover Radiation Model) modeli kullanılarak hesaplanmış ve ölçülen değerler ile hesaplanan değerler mukayese edilerek, deneysel bağlantılar tespit edilmiştir. Yatay düzlemden hareketle eğik yüzeye gelen değerleri bulmak için, iki çalışma gerçekleştirilmiştir; Birinci tip model ile global değerlerden difüz yatay bileşen, ikinci tip modelde ise yatay düzlemdeki difüz ve global bileşenlerden hareketle eğik yüzeydeki global radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Çalışmalar sonucunda, güneye bakan yüzeyler hariç, yataydan dikeye doğru güneş radyasyonun kademeli olarak gittikçe artan bir şekilde azaldığı görülmüştür. 20^0 ve 40^0 arasındaki eğim açılarında, azimut açısı 150^0 ve 210^0 iken maksimum değer tespit edilmiştir. Önerilen model, bina tasarımcıları için, sadece yatay düzlemdeki ölçülmüş değerlerden hareketle, eğik yüzeylere gelen radyasyonu hesaplamak için alternatif oluşturabilir.

Aggarwal (2013), çalışmasında Delhi'de değişik yönlerde ve eğimlerdeki yüzeylere gelen saatlik ve global radyasyon tahmini için, enlem ve boylama bağlı yeni bir düzeltme faktörü kullanmış, sonuçların doğruluğunu temin için, tahmin edilen değerleri 15 yıllık ölçülmüş değerler ile karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonuçları, $\pm 70^0$ ve $\pm 125^0$ boylamları arasındaki yerlerde, saatlik ve global güneş radyasyonunun hiç

bir başka parametre kullanmadan, düzeltme faktörü ile hesaplanabileceğini ortaya koymuştur.

Jakhrani ve diğ. (2013) çalışmalarında, eğik yüzey için kullanılan güneş enerjisi modellerinin performansını incelemişlerdir. Çalışmada 1 izotropik (Liu ve Jordan) ve 3 anizotropik (Hay-Davies-Klucher,Reindl; Klucher ve Reindl ve diğ.) olmak üzere 4 model üzerinde çalışılmıştır. Model sonuçları istatistiksel yöntemlerle test edilmiştir. Analizler, yerel meteoroloji istasyonlarından elde edilen yıllık ortalama güneş radyasyonu veri kayıtlarının, uydular tarafından sağlanan verilere nazaran %7 daha az olduğunu göstermiştir. Klucher modeli her bir istatiksel test için en az hata gösterip, en iyi sonucu vermiştir. Model sonuçlarını tahmin için iki grup veri seti kullanmışlardır. Bir grup veri bölgenin meteoroloji servisi tarafından temin edilmiş, bir grup veri ise NASA tarafından uydu yoluyla sağlanmıştır. Bu veriler seçilen modellerde mukayeseler yapmak için kullanılmıştır. Bu çalışma için 2005-2009 arası 5 yıllık global güneş radyasyonu ve Malezya Meteoroloji servisinden elde edilen 2000-2009 yılları arasındaki 10 yıllık datalar kullanılmıştır. 23 yıllık veri ise 1983-2006 arası uydudan sağlanmıştır. Yatay düzlemdeki direkt ve difüz radyasyon değerleri Erbst ve diğerleri modelini kullanarak aylık ortalama global radyasyondan hesaplanmıştır. Sonuçta, Reinl ve diğ. modelinin tahmininin en yüksek olduğu, Liu ve Jordan'ın performansının en düşük olduğu görülmüştür. İstatistiksel analizler, Reindl ve diğ. modelinde yüksek sapma değerleri olduğunu göstermiş. Bu yüzden Klucher modeli tercih edilmiştir.

Agarwal ve diğ. (2012) çalışmalarında, Hindistan ve 4 değişik bölgede, eğimli yüzeylerdeki global radyasyonu tespit etmek ve kolektör için en uygun açı ve yönü tespit etmek için aylık düzeyde ve belirli bir dönemde matematiksel bir model kullanmışlardır. Sonuçlar eğim açısının ve yönünün yılda 12 kere değiştirilmesinin, güneş radyasyonunun global değerini, yaklaşık olarak tespit edilen maksimum değerlere yakın tuttuğunu göstermişlerdir. Bu durum yatay düzleme göre yılda %4.56 daha fazla güneş enerjisi temin edilmesine sağlamıştır.

Sultan ve diğ. (2012) çalışmalarında, üç Irak şehri olan Kerkük, Bağdat ve Nasıriye'de yatay yüzeyde ölçülen aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerlerinden hareketle, optimum eğim açısını belirlemiş ve gelen radyasyon miktarının kolektörün eğimine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Yatay düzlemdeki ölçümlerden elde edilen aylık ortalama günlük radyasyon değerlerine karşılık direkt

ve difüz bileşenler deneysel bir model kullanılarak tahmin edilmiştir. Kolektörü yılın her ayı için maksimum radyasyon alacak şekilde ayarlamak için aylık, mevsimlik ve yıllık ortalamalar alınmıştır. Aylık ortalama günlük global radyasyon 1981-1985 yılları arasında 3 değişik şekilde ölçülmüştür. Global radyasyonun bu değerleri, atmosfer dışına gelen radyasyon ile birlikte kullanılarak yıl boyunca maksimum radyasyonu toplayacak en uygun kolektör açısını tahmin etmek üzere kullanılmıştır. Yaz aylarında optimum eğim açısının düşük, kış aylarında ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. Literatürde, yıllık optimum eğim açısının yaklaşık olarak o yerin enlemine bağlı olduğu belirtilir. Bu şehirler arasındaki mesafe fazla olmadığı için, optimum eğim açıları da aralarında 5^0'yi geçmeyecek kadar birbirlerine yakın olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar, maksimum aylık ortalama günlük radyasyon için optitum açının güneye bakan yüzeyde kış aylarında 54^0, yaz aylarında ise hemen hemen yatay düzleme yakın ve 12^0 derece olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitler diğer şehirler için de geçerlidir. Değişik açılarda toplanan enerji simülasyonu için Fortran 95 bilgisayar programı kullanılmıştır.

Bakırcı (2012), çalışmasında seçilen zaman diliminde, Anadolu'nun 8 büyük şehrinde günlük maksimum global güneş radyasyonun için en uygun eğim açısını tespit etmek üzere 0^0 ve 90^0 arasında, 1^0 aralıklarla, çeşitli açılar üzerinde denemeler yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, Haziran ve Temmuz aylarında en uygun açının 0^0 olduğu tespit edilmiş ve bu açıdaki aylık ortalama günlük global radyasyonun genelde maksimumda olduğu görülmüştür. Kış ayları boyunca ise eğim açısının arttığı ve bunun Aralık ayında bütün şehirlerde maksimuma ulaştığı görülmüştür. Türkiye'de kullanılan kolektörler için, en uygun eğim açısı bakımından genel bağlantılar oluşturulmuştur. Aylık ve mevsimlik optimum eğim açıları için Türkiye'nin hava koşullarının prensipleri tespit edilmiş ve genel bir bağlantı kurularak Türkiye için optimum eğim açısı geliştirilmiştir. Buna göre, Türkiye için optimum eğim açısının Adana ve Diyarbakır'da Haziran'da ve Temmuz'da, diğer şehirlerde ise sadece Haziran'da 0^0 ile minimum olduğu görülmüştür. Kış boyunca ise optimum eğim açısının artarak Aralık'ta bütün şehirlerde 65^0 olup genelde bu açının maksimum olduğu belirlenmiştir. Bu testler bütün şehirler için diğer parametreler bakımından yapılıp makalede detaylı olarak sunulmuştur. Sonuç olarak: Türkiye için optimum eğim açısı Haziran'da 0^0 ve Aralık'ta 65^0 olmak üzere tespit edilmiştir.

Basunia ve diğ. (2011) çalışmalarında, pirinçlerin kurutulmasını sağlamak amacıyla maksimum güneş enerjisi tespiti yapmışlar, yatay ve eğik yüzeylerde saatlik, günlük ve aylık ortalama günlük güneş radyasyonu simülasyonları için bir bilgisayar modeli geliştirilmişlerdir. Japonya'da yapılan çalışmaların, hemen hemen aynı enlem aralığında olan Bengladeş için de geçerli olduğu kabul edilerek bir sonuç değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmalarda, Ekim 2004'ün birçok günü için sabahtan akşama kadar 1'er dakikalık aralıklarla ölçümler yapılarak, ölçümlerin yapıldığı piranometreyi özel bir bilgisayara bağlayarak veriler temin etmişlerdir. Bu şekilde bilgisayar programı ile simule edilen değerler ölçülmüş saatlik ve günlük güneş radyasyonu değerleri ile karşılaştırılmış ve gözlenen ve tahmin edilen değerlerin uyumunun açık hava koşullarında olumlu olduğu gözlenmiştir. Ölçülen ve simule edilen aylık ortalama günlük global (difüz ve direkt) radyasyon değerleri, Japonya'da birkaç istasyonun gözlenen değerleriyle mukayese edilmiştir. Simulasyon, Matsuyama'da pirinç hasadı zamanı olan Eylül'den Kasım'a kadar, yatay yüzeye gelen günlük ortalama radyasyon miktarının 14,7 MJ/m2 olduğunu göstermiştir. Bengladeş de ise esas hasat mevsimi olan Kasım-Aralık arasında yatay yüzeye gelen radyasyonun aynı miktarda olduğu görülmüştür. Tespit edilen bu radyasyon miktarının pirinçleri ve diğer ürünleri kurutmak için yeterli olduğuna karar verilmiştir.

Muzathik ve diğ. (2011), çalışmalarında yatay ve eğik düzleme gelen toplam güneş radyasyonu tahminlerinde çeşitli deneysel yöntemler kullanılmışlardır. Yatay ve eğik düzlemlere gelen radyasyonları hesaplamak için seçilen alanda 2004-2007 yılları arasındaki veriler ve değişik modeller kullanmışlardır. Datalar Malezya'da Terengganu istasyonu ölçümlerinden, her dakika da bir kaydedilmiş, verilerdir ve buradan hareketle saatlik değerler tespit edilmiştir. Öncelikle, veriler kalite kontrolünden geçirilmiştir. Seçilen modeller istatistiksel yöntemlerle mukayese edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu, Kadir Bakırcı lineer exponential modelinden hareketle aşağıdaki yeni model geliştirilmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0.19490 + 0.4771\left(\frac{n}{N}\right) + 0.2994\exp\left(\frac{n}{N}\right) \qquad \textbf{(1.1)}$$

Bu modelin, yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük toplam radyasyon tespitinde kullanımı önemli ölçüde tavsiye edilmektedir. Yatay düzleme gelen radyasyonu

eğimli yüzeylere çevirmek için ise Olmo ve diğ. tarafından sunulan bir model önerilmiştir. Burada sadece yatay düzleme gelen radyasyon ölçümleri kullanılmaktadır. Çalışmanın sonucuna göre, gelişmiş bir model olan bu model çok iyi neticeler vermektedir ve uygulamalar için de nispeten daha kolaydır. Yatay ve eğik yüzeye gelen radyasyon değerlerini hesaplamak için yardımcı olacaktır.

Sebaii ve diğ (2010) çalışmalarında, 1996-2004 yılları arasındaki verilerle hesaplamalar yapmış ve bulunan sonuçları 2005-2007 yılları arasındaki verilerle mukayese etmişlerdir. Yatay düzlemdeki difüz bileşen için bazı deneysel bağlantılar önerilmiştir. Güneye bakan eğimli yüzeylere değişik açılardan gelen güneş radyasyonu, Liu ve Jordan izotropik yöntemleriyle ve Klucher'in anizotropik modelleriyle hesaplanmıştır. Eğik yüzeylere gelen global radyasyon değerinin tahmininde izotropik modelin, anizotropik modele göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ocak ayı boyunca, optimum eğim açısı ile elde edilen maksimum global değerin 36 MJ/m2 olduğu tespit edilmiştir. NASA-SSE'nin 22 yıllık ortalama verileriyle karşılaştırıldığında, bulunan çalışmanın tespit ettiği sonuçların makul bir doğrulukta olduğu görülmüştür.

Aynı zamanda Jedah'ta bölgenin enlem durumuna göre, güneş enerjisi aletlerinin güneye yönelik olması durumunda, yıl boyunca en iyi performansın alınacağı tespit edilmiştir.

Bakırcı (2009) çalışmasında, Erzurum için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımını tespit etmek için basit bir metot kullanmış ve ölçülen ve hesaplanan değerler mukayese edilip sonuçta değerler arasında iyi bir uyum olduğu gösterilmiştir. Yatay düzleme gelen açık günlerdeki, anlık maksimum global ışınım Hottel (1976) modeli ile hesaplanmış ve burada hareketle anlık global ışınımı tahmin için basit eşitlikler geliştirilmiştir. Hottel (1976) modelinde, farklı iklim tiplerine göre düzeltme faktörleri verilmiş ve bu çalışmada tüm yıl için r_0= 0.97, r_1=0.99 ve r_k= 1.02 düzeltme faktörü değerleri kullanılmıştır. Ayrıca hesaplanan anlık global radyasyon değerlerinden hareketle, her bir ay için, g gün sayısına bağlı olarak, yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınımını veren eşitlikler geliştirilmiştir. En küçük kareler metodu ile bu eşitlikler 12 ay için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Ahmad ve Tiwari (2009) çalışmalarında, dünyanın değişik yerlerinde bulunan 10 istasyonda, 11 yıllık bir dönem için (1991-2001) araştırmalar yapmışlardır. Bu

istasyonlarda bulunan güneye bakan düzlem kolektörlerdeki açılar değiştirilerek nasıl daha fazla enerji elde edilebileceği araştırılmıştır. Hindistan'daki istasyonda, yatay düzlemde ölçülmüş aylık ortalama günlük toplam radyasyon ve difüz solar radyasyon verileri kullanılmıştır. Diğer istasyonlardaki hesaplamalarda ise, yatay düzlemdeki aylık ortalama günlük toplam radyasyon verileri ve aylık ortalama açıklık indeksi kullanılmıştır. Bu çalışmalarda izotropik ve anizotropik olmak üzere değişik modeller kullanılmıştır. Hesaplamalar yatay düzleme gelen ölçülmüş değerler üzerinden yapılmıştır. Her bir istasyon için eğik yüzeye gelen radyasyon değerleri 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 derece açılar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. En uygun enerjinin, açının yılda dört kez değiştirilmesiyle elde edildiği gösterilmiştir. Elde edilen toplam enerji miktarının eğim açılarını mevsimsel olarak değiştirmek yerine optimum eğim açısına göre yılın her ayı ayarlandığında %1 enerji kaybı olduğu görülmüştür. Yıllık ortalama sabit bir açı kullanılırsa bu kaybın %15 olduğu gösterilmiştir. Her bir istasyon için, optimum eğim açısı aylara göre değişmektedir. Mevsimlik en uygun eğim açısı da istasyondan istasyona fark göstermektedir. Yıllık en uygun eğim açısı ise, yaklaşık olarak istasyonun bulunduğu yerin enlemine eşittir. Burada incelenen 8 değişik modelde, en uygun eğimin aynı olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre, ortalama en uygun eğim açısı New Delhi için kış aylarında $47,5^0$ ve yaz aylarında 13^0 olarak tespit edilmiştir. Bu değer birçok araştırmacının yaptığı çalışmalarla da örtüşmektedir. Hindistan New Delhi'de kışlık olarak, aylık ortalama günlük global radyasyon değerinin günlük ortalaması 14.82 MJ/m^2 g, yazlık değerler için ise 22.97 MJ/m^2 olarak tespit edilmiştir. Yatay düzlemdeki direkt ve difüz değerler ise, kış aylarında hemen hemen eşit ve global radyasyona etkileri aynı olarak tespit edilmiştir. Yaz aylarında direkt radyasyon difüz radyasyondan daha fazla olup, global etkiyi esas olarak direkt radyasyonun yaptığı görülmüştür. Muson mevsimlerde difüz radyasyonun etkisi direkt radyasyona göre daha fazladır. Optimum eğim açıları her istasyon için ve her ay olmak üzere hesaplanmıştır. Albedo 0,2 olarak kabul edilmiştir.

Bulut (2008) çalışmasında, Adana ili için, 21 yıllık (1986-2006) bir dönemi değerlendirmiş ve yatay düzleme gelen saatlik güneş radyasyonu verilerinden yola çıkarak, eğik düzleme gelen radyasyon hesaplamalarını yapmıştır. Hesaplamalarda Liu ve Jordan izotropik modelleri kullanılmak suretiyle, güneye bakan yüzeyler değişik açılar kullanılarak değerlendirilmiştir. Açılar 0^0 ila 90^0 arasında olup 5^0

derece arttırmak suretiyle değiştirilmiştir. Sonuçta, maksimum güneş radyasyonu için, eğim açısının aylara göre farklılık gösterdiği ve bunların yaz ayları için 5^0-15^0 arasında, kış ayları için 50^0-60^0 arasında olduğu ve geçiş ayları (Nisan ve Eylül) için ise 30^0-35^0 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar araştırmacı ve uygulamacıların kullanımına sunulmuştur. Hesaplamalarda Liu ve Jordan, (1961); Duffie ve Beckman (1980); Iqbal (1983); Hsiesh (1986) modelleri kullanılmıştır.

Noorian ve diğ. (2008), çalışmalarında yatay düzlemde ölçülmüş değerlerden hareketle eğik düzlemlere gelen saatlik güneş radyasyonu değerlerinin tahminini 12 model ile değerlendirmişlerdir. Direkt radyasyon geliş açısının, solar zenit açısına oranı ile hesaplanır. Yansıyan bileşenin hesaplara çok fazla bir etkisi yoktur ve izotropik bir model ile hesaplanır. Bu makalenin amacı Difüz radyasyon hesaplamalarında modellerin gösterdiği farklılıklardır. Bu 12 model, İran Karaj'da güneye ve batıya yönelik yüzeylerde Badescu; Tian ve diğ.; Perez ve diğ.; Reindl ve diğ.; Koronakis; Perez ve diğ.; Skartveit ve Olseth; Steven ve Unsworth; Hay; Klucher; Temps ve Coulson ve; Liu ve Jordan. Skartveit ve Olseth, Hay, Reindl diğ. ve Perez ve diğ. modelleri, batıya bakan yüzeylerde ise Perez ve diğ. modeli daha doğru sonuçlar vermiştir. Genel olarak ise Perez ve diğerleri modeli ölçülmüş verilerle en iyi uyum sağlayan model olmuştur. Yapılan İstatistiki testler, güneye bakan yüzeylerdeki hesaplamaların ölçülen verilerle uyumlu olduğunu göstermiştir.

Kamali ve diğ. (2006) çalışmalarında, eğik yüzeylere gelen direkt güneş radyasyonunu, Klein (1977) modelinden geliştirilen Anderson (1980) modelini kullanarak hesaplanmıştır. Yine eğik yüzeylere gelen yansıyan bileşen anizotropik bir modelle tespit edilmiştir. Difüz güneş radyasyonu bileşenin ise modellere göre farklılıklar göstermesi çalışmanın esas değerlendirme alanıdır. Yatay düzlemdeki değerlerden elde edilen günlük difüz radyasyonun, eğik yüzeyler için hesaplanmasından elde edilen sonuçlar, Karaj'da, daha evvel kaydedilmiş değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada şu modeller kullanılmıştır; Badescu (2002), Tian ve diğ. (2001), Reindl ve diğ. (1990), Skartveit ve Olseth (1986), Koronakis (1986), Steven ve Unsworth (1980), Hay (1979) ve Liu ve Jordan (1962). Günlük yatay difüz radyasyon bileşeninden hareketle, eğik yüzeylere gelen Difüz radyasyonun tespiti için 8 değişik model kullanılmıştır. Badescu (2002), Tian ve diğ. (2001), Reindl ve diğ. (1990), Skartveit ve Olseth (1986), Koronakis (1986), Steven ve Unsworth (1980), Hay (1979) ve Liu ve Jordan (1962). Bütün modeller, direkt radyasyon ve

topraktan yansıyan radyasyon için aynı metodu kullanmışlardır. Fakat difüz bileşen hesaplanması bakımından modeller farklılık gösterdikleri için sadece difüz radyasyon mukayesesi yapılmıştır. Yapılan istatistiklerde, Reindl modelinin güneye cepheli ve Koronakis modelinin ise batıya yönelik yüzeylerde en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Unsworth modelinin ise kabul edilemez bir sonuç verdiği görülmüştür. Genel olarak Reindl modeli en iyi uyumu göstermiştir.

Bulut (2009), İzmir'de 22 yıllık (1985-2006) bir süreci kapsayan yatay düzlem verilerini değerlendirerek, güney yönüne bakan eğik yüzeylere gelen radyasyon değerlerini hesaplamıştır. 0^0'den başlayarak, 5^0 arttırmak suretiyle 90^0'ye kadar tüm eğim açıları için hesaplamalar yapılmış ve işlemlerde değişik modeller kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, maksimum güneş radyasyonu elde etmek için, eğim açısının aylara göre değiştiği görülmüştür. Bu eğim açısının yaz ayları için 5^0 ve 15^0 arasında, kış ayları için 50^0-60^0 olduğu, Nisan ve Eylül de ise 20^0-30^0 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tespitler ve analiz edilen sonuçlar, sistem tasarım ve kurulumu için uygulamacıların değerlendirmelerine sunulmuştur. Hesaplamalarda aşağıdaki modeller kullanılmıştır. Eğimli yüzeye gelen direkt güneş radyasyonu için, Liu ve Jordan (izotropik), Jimenez ve Castro modelleri kullanılmıştır. Eğik yüzeye gelen difüz güneş radyasyonu için ise Liu ve Jordan (izotropik), Koronakis (izotropik), Jimenez ve Castro (izotropik), Bugler (unizotropik), Klucher (anizotropik) ve Ma ve Iqbal (anizotropik) modelleri kullanılmıştır. Yatay düzleme gelen difüz güneş ışınımı için Liu ve Jordan, Erbs ve diğ., Miguel ve diğ., Ülgen ve Hepbaşlı (doğrusal), Ülgen ve Hepbaşlı (doğrusal olmayan) modelleri denenmiştir.

Bakırcı (t.y.), yatay düzleme gelen mevcut verilerden hareketle, Erzurum için eğimli yüzeylere gelen güneş radyasyonu değerlerini hesaplamış, 0^0 ila 90^0 arasındaki açıları deneyerek, her ay için kolektörlerin optimum açılarını tespit etmiştir. Hottel (1976) modeli kullanılarak, yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun havanın açık olduğu günlere ait değerleri hesaplanmıştır. Buradan hareketle, Klein (1977) modelinde önerilen $H_T=R \bullet H$ formülü kullanılarak eğik düzleme gelen değerler bulunmuştur. Buradaki R ise, eğik düzleme gelen günlük global radyasyonun, yatay düzleme gelen günlük global radyasyona oranıdır. R değeri Liu ve Jordan (1962) modeliyle hesaplanmış ve hesaplamalarda bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Sonuç olarak her ay için Erzurum'da optimum bir eğim açısı belirlenmiştir.

Çağlar ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmalarda, Türkiye için yapılan şu çalışmaları tespit etmişlerdir: "Bulut ve Büyükalaca (2007) günlük global radyasyon simulasyonu için basit bir model önermişlerdir. Oğulata ve Oğulata (2002) Adana için aylık ortalama global radyasyon ve saatlik, difüz, direkt radyasyon tahmini yaptmışlardır. Bakırcı (2009) aynı çalışmayı bütün Türkiye için, Toğrul ve Onat (1999) ise Elazığ için yapmışlardır. Mengeş ve diğ. (2006) Konya için global radyasyon hesabında bir çok modeli mukayese etmişler, Ertekin ve Yaldız (2000) ise bu çalışmayı Antalya için yapmışlardır. Bakırcı (2009), Erzurum da yatay yüzeylere gelen global radyasyon tahmininde basit bir model geliştirmiştir. Yıldız (2011) tarafından İzmir'de açık gökyüzünde saatlik global güneş radyasyonu tahmini için zenith açısına bağlı yeni bir model sunulmuş ve model ASHRAE modeli kullanılarak diğer modellerle mukayese edilmiştir. Sözen ve Arcaklıoğlu (2005) Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network) yöntemini kullanarak Türkiye'deki enerji potansiyelinin analizi, Şenkal ve Kuleli (2009) ise aynı modeli uydu verileri kullanarak yapmışlardır. Model, Deniz ve Atık (2007) tarafından Zonguldak için geliştirilmiştir. Bulut ve Büyükalaca (2007) ve Kaygusuz ve Ayhan (1999) uzun süreli verilerle çalışmışlardır. Direkt radyasyon çok fazla araştırılmamıştır.

Bu çalışmada ise, alan olarak Türkiye'nin üçüncü büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip ve çok büyük güneş enerjisi tarlaları kurulmak üzere teşvik almış olan İç Anadolu Bölgesinde bulunan Ankara, Aksaray, Karaman ve Kayseri illeri seçilmiştir. Veriler her istasyon için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen dakikada bir otomatik olarak ölçülmüş 'Toplam Güneşlenme Şiddeti' değerleridir. Bu veriler düzenlerek önce günlük toplam değerleri, sonra aylık ortalama günlük değerleri tespit edilmiştir. Ankara için; 2010, 2011, 2012, 2013, Karaman için; 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, Aksaray için; 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013 ve Kayseri için; 2007, 2008, 2009, 2010 yıllarına ait veriler kullanılmıştır.

Her bir istasyon için önce atmosfer dışına gelen radyasyon (H_0) ve açıklık indeksi ($K_T=H/H_0$) değerleri ve güneş açıları ve buradan hareketle de yatay ve eğik düzlemlere gelen global radyasyon değerleri bulunmuştur. İşlemler yine her bir istasyon için olmak üzere 10^0 ila 90^0 arasındaki açılar 10'ar derece arttırılmak suretiyle ayrı ayrı hesaplanmıştır. Difüz radyasyon hesaplamalarında hem izotropik, hem de anizotropik modeller kullanılmış ve bunlar birbirleriyle mukayese edilmiştir ve neticede sözkonusu illerde, güneye bakan yüzeyde direkt, yansıyan ve difüz

radyasyon bileşenleri ve global radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar daha sonra görselleştirilerek grafikler ve tablolar haline getirilip yorumlanmıştır. Hem hesaplamalarda hem de görselleştirmelerde Excel programı kullanılmıştır.

2. GÜNEŞ

Güneş çok yoğun sıcak gazlardan oluşan bir küredir. Çapı $1{,}39 \times 10^9$ m ve dünyaya olan ortalama uzaklığı $1{,}5 \times 10^{11}$ m'dir. Ayda bir kendi ekseni etrafında dönmektedir. Güneşin efektif siyah cisim sıcaklığı 5777 K'dir. Güneş ışınlarına dik bir birim alana, birim zamanda gelen güneş enerjisi sabittir ve bu sayı 1367 W/m^2'dir (Duffie ve Beckmann, 2013).

Merkezindeki sıcaklığı tahminen 8-40 milyar K, yüzey sıcaklığı ise 6000 K'dir. Merkezindeki yüksek sıcaklık nedeni ile her saniye 650 Ton Hidrojenden 646 Ton Helyum meydana gelir. Bu dönüşüm neticesi açığa çıkan enerji çok yüksektir ve bu şekilde yüzeyinden 175 Milyar MW radyasyon gönderir. Yeryüzüne ulaşan radyasyon miktarı ise insanlığın enerji ihtiyacının 20.000 katıdır (Kıncay, t.y.).

Günümüzde insanlığın en önemli ihtiyaçlarının başında gelen enerji, kaynakları itibariyle çok çeşitlilik taşımaktadır. Bu kaynaklar tabiatta değişik şekillerde bulunup, birbirlerine dönüştürülebilmektedir. Tükenme tehlikesi taşımaları bakımından, enerji kaynaklarının planlı kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının rezerv, kapasite, üretim ve tüketim değerleri iyi araştırılmalıdır.

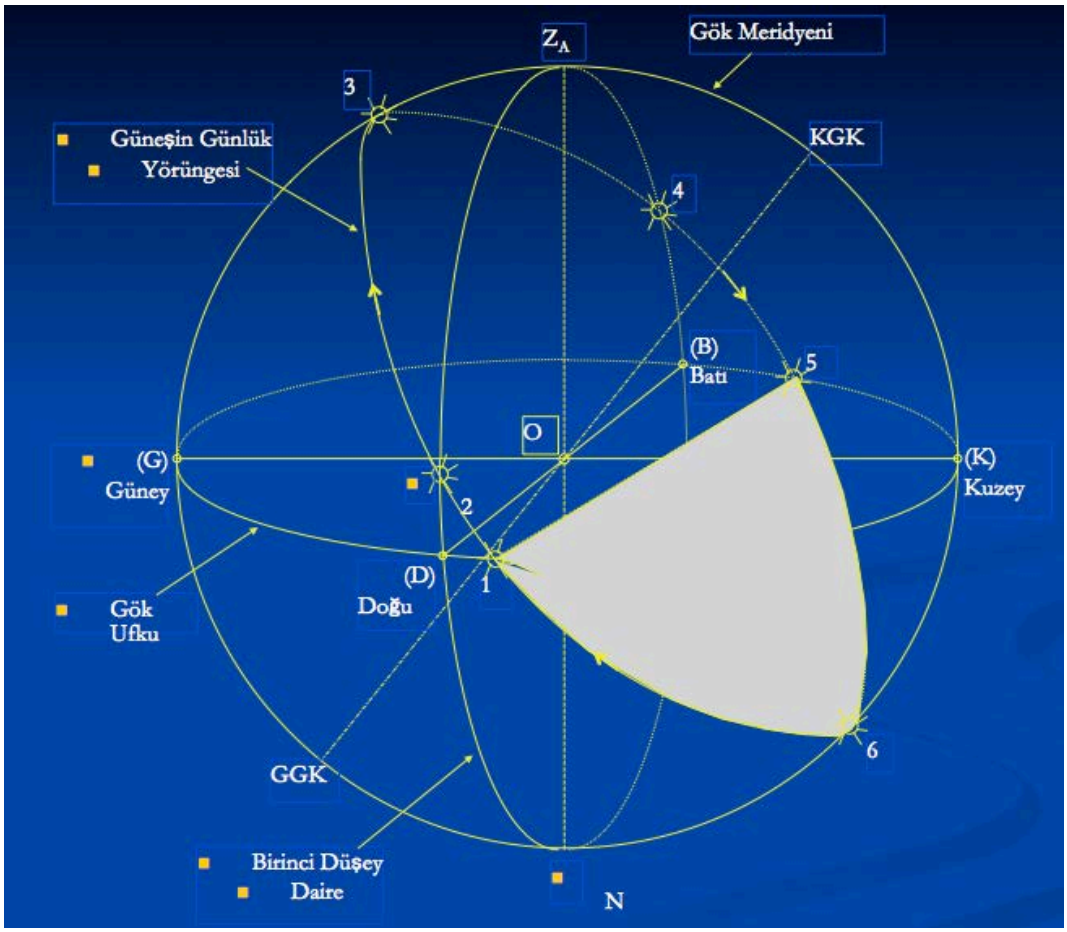
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında kapasitesi en yüksek olan, aynı zamanda dünyadaki tüm enerji kaynaklarının da dolayı olarak kaynağı olan Güneş enerjisidir. Güneş enerjisi yaklaşık gelecek 10^{30} yıl boyunca bitmeyeceği hesaplanmış, sınırsız ve en büyük kaynaktır.

Güneş enerjisi, çekirdeğindeki füzyon sonucu hidrojen gazının helyuma dönüşmesiyle ortaya çıkan çok büyük bir enerjidir. Güneşten gelen radyasyonun tamamı enerjiye dönüştürülemez. Maksimum miktarda güneş enerjisi elde etmek için, çok eski zamanlardan beri devam eden güneş enerjisi ölçüm ve uygulama teknolojileri gittikçe daha çok geliştirilmekte ve maliyetleri düşürülmektedir.

İleride güneş enerjisinin uzayda üretilebileceği ve gece etkisinin ortadan kaldırılarak dev boyuttaki santrallerle 5000-10.000 MW gücünde enerji sağlamanın mümkün

olabileceğini savunan görüşler mevcuttur. Bu proje ilk P.E. Galeser tarafından 1968'de ortaya atılmış, NASA tarafından da kabul görmüştür. Üretilen enerjinin dünyaya elektromanyetik dalgalar halinde gönderilmesi sözkonusudur (Url-1).

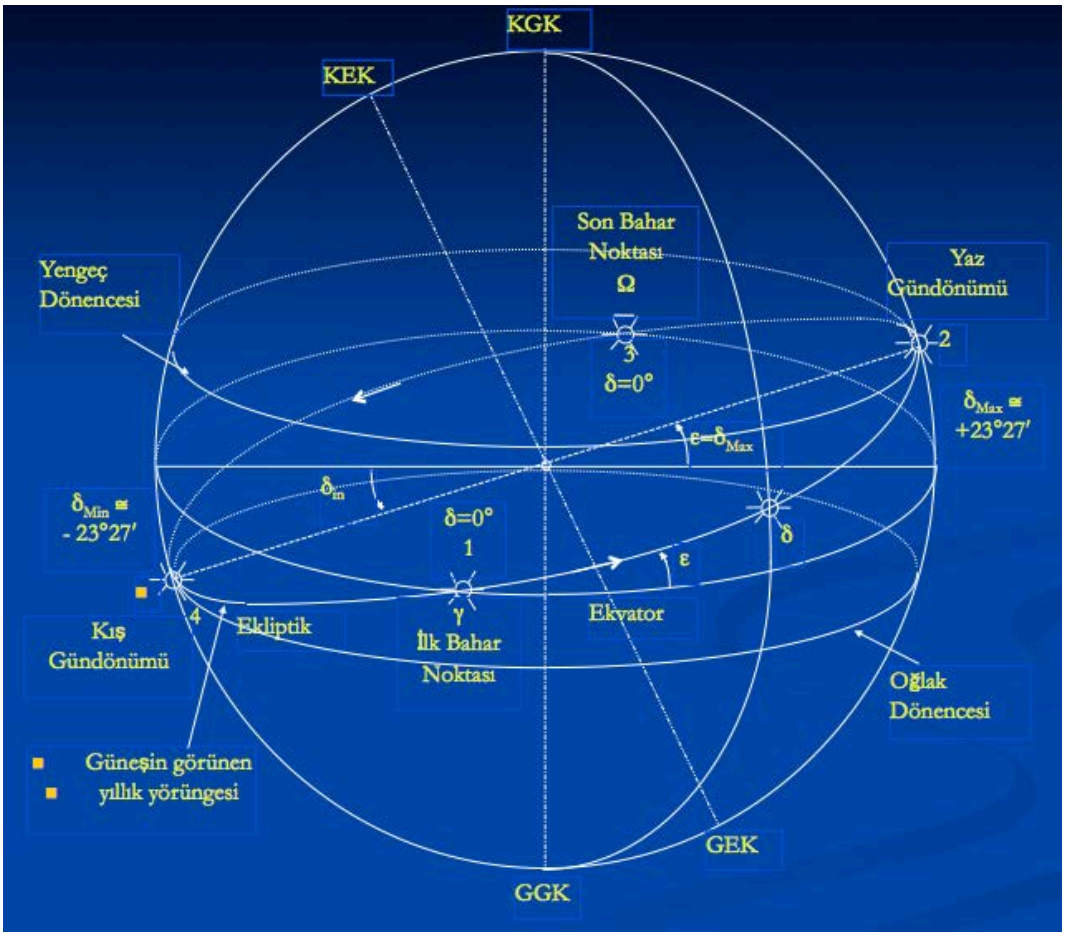
Dünya'nın kendi etrafındaki dönüşü ve güneşin yörüngesindeki günlük, mevsimsel ve yıllık hareketi güneş geometrisini oluşturmakta ve bu geometriden dolayı güneş açıları sürekli değişmekte ve bu durum Güneş'ten Dünya'ya gelen radyasyonu da doğrudan etkilemektedir.



Şekil 2.1: Güneşin günlük görünen hareketi (Arslan, t.y).

Şekil 2.1, güneşin bir günlük görünen hareketini göstermektedir. Güneş günlük hareketini yaparken Şekil 2.1'e göre, önce (1) numaralı noktadan doğar ve (3) numaralı noktaya kadar yörüngesi üzerinde ufuk düzleminden uzaklaşarak, devamlı yükselir ve (3) numaralı konuma geldiğinde, gözlem yerinde tam öğlen vaktidir; yani zenit açısı minimumdur ve güneş ışınları gözlem yerine en büyük açı ile gelir. Bu noktadan sonra alçalmaya başlar; (4) Numaralı konuma geldiğinde azimut açısı 270^0 derecedir. Bu noktadan sonra alçalmaya devam eder ve gittikçe ufka yaklaşır. (5) numaralı konumda ufuk dairesinin tam batısındadır ve bu nokta güneşin batış

noktasıdır. Güneş bu noktadan sonra ufkun altına iner ve gözden kaybolur. Bu nokta gecenin başlangıcı olup, güneşin yükseklik açısı 0^0 ve zenit açısı 90^0'dir. Güneş ufkun altında da yörüngesinde harekete devam eder. (6) numaralı konumda zenit noktasından en uzaktadır ve bu gece yarısıdır. Güneş bu noktadan sonra yükselmeye devam ederek yeniden (1) numaralı konuma yani doğuşa ulaşır. Böylece bir günlük hareketini tamamlamış olur (Arslan, t.y).

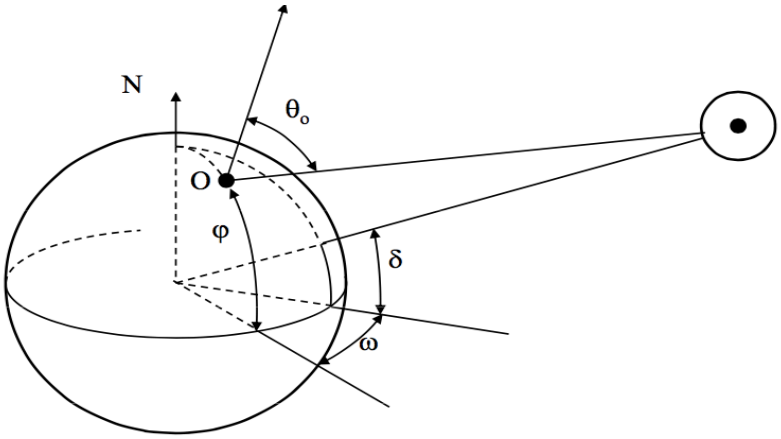


Şekil 2.2: Güneşin yıllık görünen hareketi (Arslan, t.y).

Şekil 2.2, Güneşin yıllık görünen hareketini göstermektedir. Güneş yıllık hareketi boyunca, 21 Mart'da ilkbahar noktasında bulunur; bu noktada güneş ışınları dünyanın dönme eksenine dik gelir, güneşin yörengesi ekvator ile çakışır ve deklinasyon açısı 0^0'dir. 21 Haziran'da yaz gündönümü noktasına gelir. Burada deklinasyon açısı maksimumdur ve deklinasyon açısı ekliptik eğimine eşit olur ($23^0 27'$). Burada güneşin günlük yörüngesi aynı açıya sahip olan yengeç dönencesi ile çakışır. Güneş bu noktaya kadar batıdan doğuya hareketle ekvatordan uzaklaşıp, deklinasyon açısı artarken, bu noktadan sonra ise ekvatora yaklaşmaya ve deklinasyon açısı da azalmaya başlar. 23 Eylül'de sonbahar noktasına geldiğinde

deklinasyon açısı yine 0^0 olur ve güneş burada hem ekliptik, hem de ekvator düzlemi içindedir; çünkü bu noktada da ekvator düzlemi ile çakışır ve güneş ışınları ekvator düzlemine yine dik gelir. Bu noktadan sonra deklinasyon açısı azalmaya başlar ve negatif değerler alır. 21 Aralık'da güneş kış gündönümü noktasına ulaşır. Burada deklinasyon açısı minimum değerde ve $-23^0 27'$ dir ve yörüngesi Oğlak dönencesi ile çakışır. Bu şekilde Güneş bir yıllık hareketini tamamlamış olur. (Arslan , t.y)

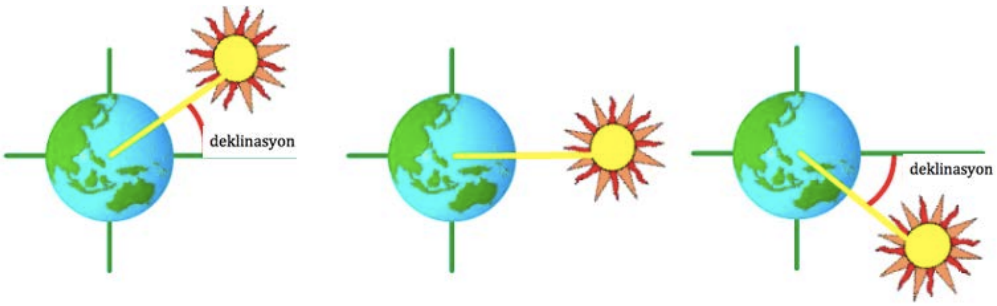
Güneş açılarını detaylı olarak bilmek ve hesaplamak güneş radyasyonundan maksimum düzeyde enerji sağlamamıza yarar. Güneş açıları esas güneş açıları ve türetilen açılar olmak üzere iki ayrı grupta toplanır. Esas güneş açıları enlem açısı, saat açısı ve deklinasyon açısıdır. Türetilen güneş açıları ise, zenit, yükseklik ve azimut açılarıdır. Esas güneş açıları aşağıda Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3: Esas güneş açıları (Url-2).

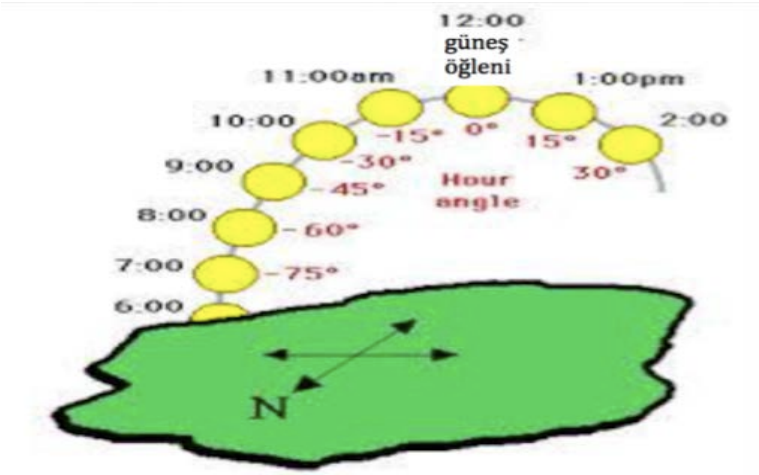
Enlem açısı (ϕ), yeryüzündeki herhangibir noktayı dünyanın merkezine birleştiren doğrunun ekvator düzleme ile yaptığı açıdır. $(-90^0, +90^0)$ derece arasında değişir.

Şekil 2.4 deklinasyon açısını göstermektedir. Deklinasyon açısı (δ) güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır ve güneş radyasyonu bakımından en etkili olan açıdır. Bu açıya göre, güneş ışınlarının gelişi de aylara ve mevsimlere göre değişiklikler gösterir. Deklinasyon açısı, her gün değişerek, 21 Haziran'da en yüksek $(+23.45^0)$, 21 Aralık'ta ise en düşük değerini (-23.45^0) alır.



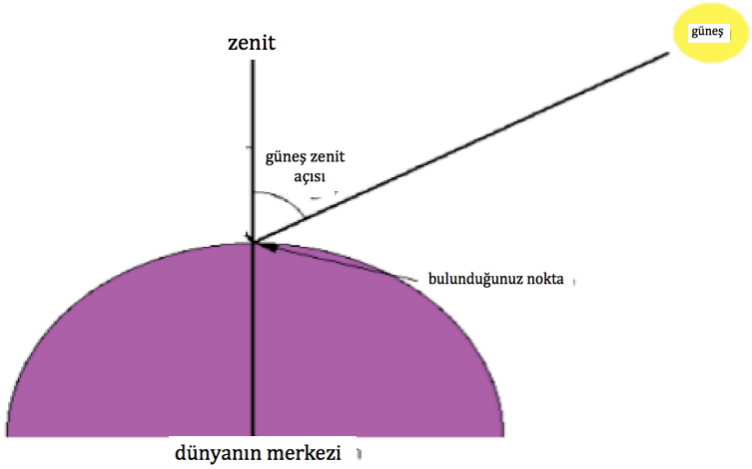
Şekil 2.4: Deklinasyon açısı (Url-3).

Şekil 2.5 Güneş saat açısını göstermektedir. Saat açısı (ω), güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile, bulunulan yerin boylamı arasındaki açıdır. Öğleden önce (-), öğleden sonra (+) olup, öğlene göre simetriktir.



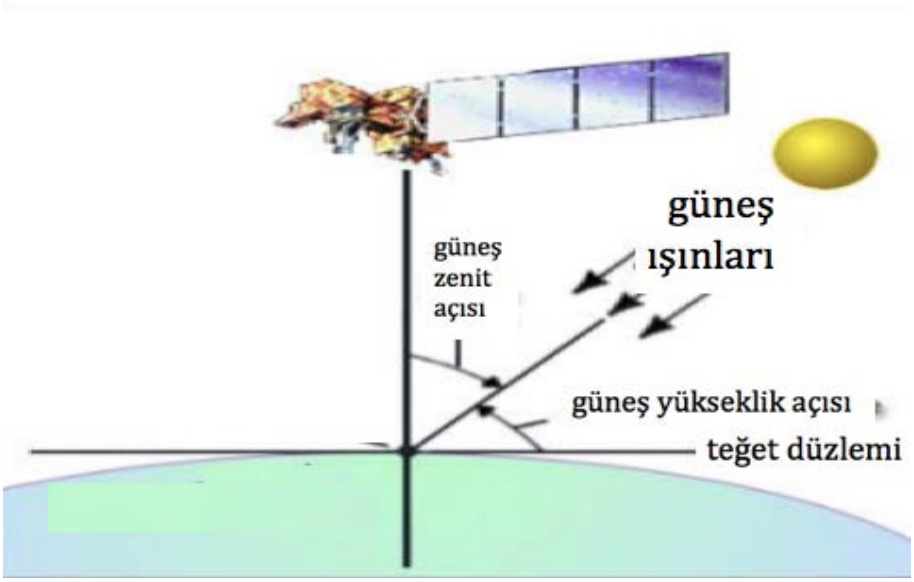
Şekil 2.5: Saat açısı (Url-4).

Şekil 2.6 Zenit açısını göstermektedir. Zenit açısı, güneş ışını ile yatay düzlemin normali arasındaki açıdır yani, güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır. Yükseklik açısı ile birbirlerini 90^0'ye tamamlarlar.



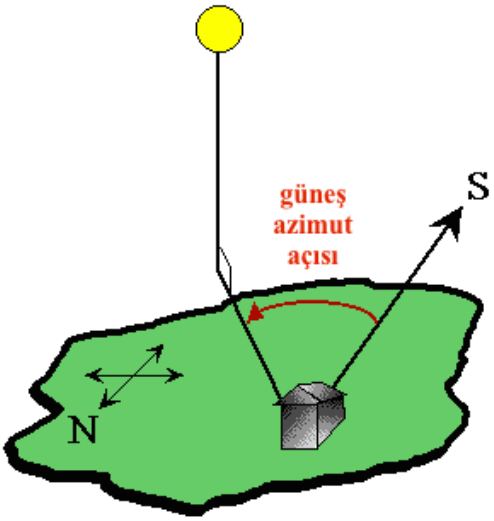
Şekil 2.6: Zenit açısı (Url-5).

Şekil 2.7 Yükseklik açısını göstermektedir. Yükseklik açısı, direkt güneş ışını ile yatay düzlem arasındaki açıdır. En yüksek güneş öğlenine denk gelir. Bu açı 21 Aralık'da en küçük, 21 Haziran'da en büyük değerini almaktadır.



Şekil 2.7: Yükseklik açısı (Url-6).

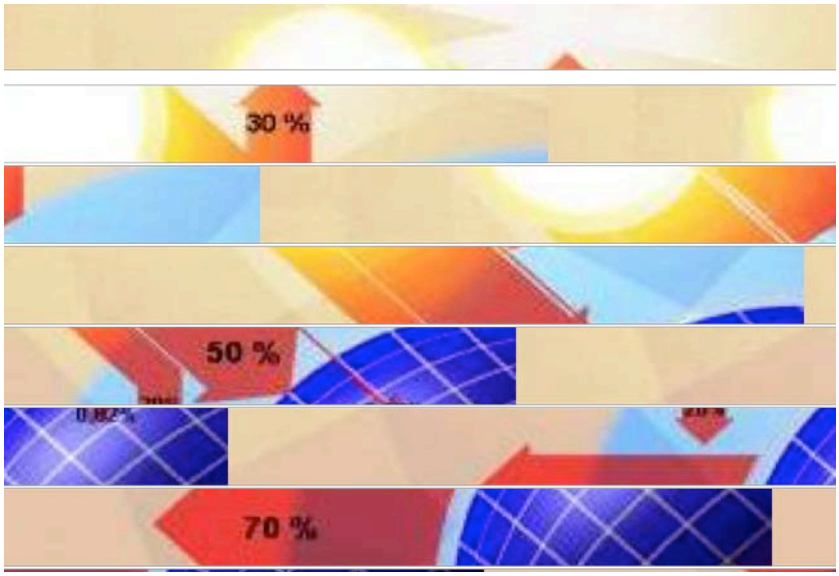
Şekil 2.8 Azimut açısını göstermektedir. Azimut açısı, güneş azimut açısı ve yüzey azimut (γ) açısı olmak üzere iki yönden değerlendirilir. Güneş azimut açısı, güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde sapmasını, yüzey azimut açısı ise, yüzeyin normalinin boylama göre sapmasını gösteren açılardır. Güneş azimut açısı, saat 12'de 180 derecedir. Yüzey azimut açısı ise -180^0 ve $+180^0$ değerleri arasında değişir. Güneye bakan yüzeylerde 0, doğuya bakan yüzeylerde (+), batıya bakan yüzeylerde ise (-) değer alır (Kıncay, t.y.).



Şekil 2.8: Azimut açısı. (Url-7).

2.1 Güneş Radyasyonu

Güneş radyasyonu güneşten elektromanyetik dalgalar halinde yayılan kısa ve uzun dalga boylu radyasyondur. Işınlar ilk olarak atmosfere dışına gelir. Daha sonra çeşitli parametrelere bağlı olarak azalarak yeryüzüne ulaşır. Atmosfer dışına gelen miktarı yıl boyunca değişmez.



Şekil 2.9: Yeryüzüne ulaşan ve yansıyan güneş enerjisi miktarları. (YEGM, t.y.).

Güneş radyasyonunun atmosferde soğurulma, dağılma ve yansıma gibi işlemler sonucunda yere ulaşan kısmı ikiye ayrılır. Güneş'ten, paralel ışınlar halinde yere ulaşan radyasyona direkt güneş radyasyonu denir.

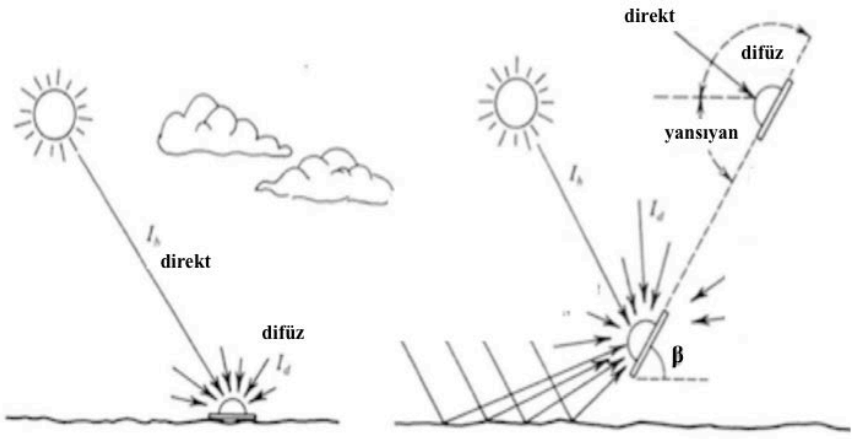
Difüz radyasyon ise; güneşten atmosfere girmiş olan radyasyonun bulutlar, aerosoller, kuru hava ve toz molekülleri tarafından çeşitli şekilde dağılıp, saçıldıktan sonra tekrar yer yeryüzüne dönen kısmıdır.

Difüz ve direkt radyasyon, hem yatay düzlemler için hem de eğik yüzeyler için sözkonusudur. Eğik düzlemlere gelen radyasonun bir de yansıyan bileşeni vardır. Bu bileşen global radyasyon hesaplamalarını çok fazla etkilememektedir, fakat uygulamada yansıyan bileşen gittikçe önem kazanmaktadır. Özellikle Almanya'da karlı ortamlarda çift yüzlü hücreler kullanılarak yansıyan bileşeni arttırıcı sistemler kullanılmakta ve bu durum pratikte daha fazla enerji elde etme konusunda etkili olmaktadır.

Yeryüzüne ulaşan doğrudan, yayılan ve yansıyan radyasyon toplamına ise global güneş radyasyonu denir.

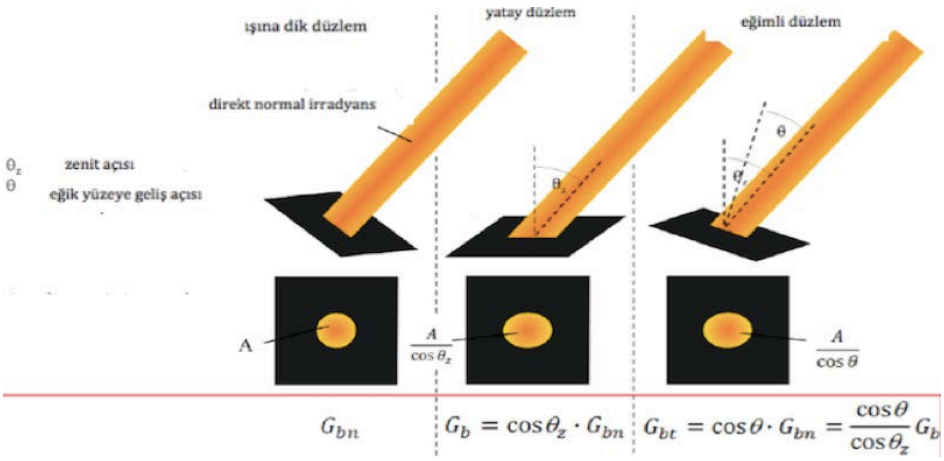
Yatay ve eğik yüzeylere gelen radyasyon miktarları farklıdır. Eğimli yüzeylere gelen enerji miktarı yaz ayları hariç daha fazladır, fakat yatay düzleme gelen radyasyon miktarlarının ölçülebilir olmasına rağmen eğik yüzeylere gelen değerlerin hesaplanmaları gerekmektedir. Herhangi bir bölgedeki güneş radyasyonu bilgisi ve analizleri, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve kurulumu açısından çok önemlidir. Global güneş radyasyonu ve bileşenlerinin şiddeti, güneşlenme süresi, açıklık indeksi gibi bilgiler, projenin tasarımı, fiyatlandırılması ve etkinliği için kullanılır. Ayrıca günlük direkt, difüz ve global radyasyon değerlerinin aylık ortalaması, güneş enerji sistemlerinin uzun süreli performansının tahmini için de gereklidir.

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere, yatay düzleme gelen radyasyonun difüz ve direkt olmak üzere iki, eğik yüzeye gelen radyasyonun ise direkt, difüz ve yansıyan olmak üzere üç bileşeni vardır.



Şekil 2.10: Güneş radyasyonunun bileşenleri. (Url-8).

Şekil 2.11'de Güneş radyasyonu yatay ve eğik yüzeylere gelişi bakımından değişik özellikleri görülmektedir.



Şekil 2.11: Eğik yüzeylerde güneş akısı geometrisi (MENA, t.y.)

2.2 Güneş Radyasyonu Ölçümleri

Güneş radyasyonu ölçüm sistemleri pahalı olması, kurulumu, bakımı ve kalibrasyon gerektirmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılamamaktadır. Ölçüm yapılamayan bölgeler için veya eksik ölçümler için çeşitli ampirik bağıntılardan yararlanılmaktadır (Muzathik ve diğ., 2011; Kwantho ve diğ., 2013).

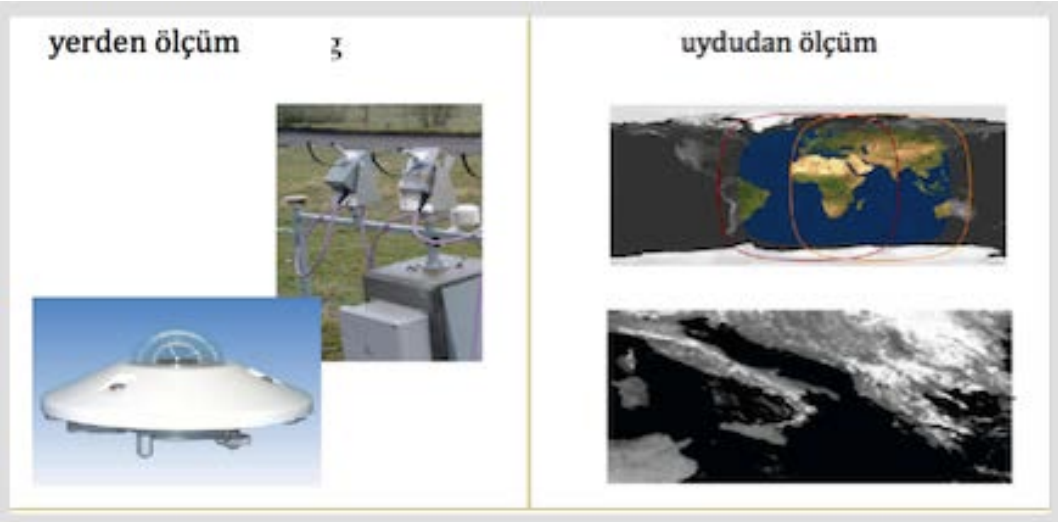
Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ölçüm istasyonlarında, Güneşlenme süresi, global güneşlenme şiddeti ve direkt güneşlenme şiddeti her dakikada bir otomatik olarak ölçülmektedir.

Çizelge 2.1: Otomatik güneş radyasyonu ölçüm parametreleri (MGM).

Periyot	Parametre
1 Dakika	sıcaklık
	nem
	rüzgar yönü
	rüzgar hızı-şiddeti
	yağış
	güneşlenme süresi
	güneşlenme şiddeti (global)
	güneşlenme şiddeti (direkt)
	güneşlenme şiddeti (difüz)

Güneş Radyasyonu ölçümleri, gökyüzünün konumuna, kısa süreli değişime (dakika ve saat), uzun süreli zaman peryoduna (mevsim, yıl, onyıllar) ve bulunulan noktaya göre değişim göstermektedir (Şahin, t.y).

Güneş enerjisi ölçümleri yerden ve uydular kanalıyla olmak üzere iki farklı şekilde olur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Yerden ve uydu kanalıyla güneş radyasyonu ölçümleri (Ener-MENA).

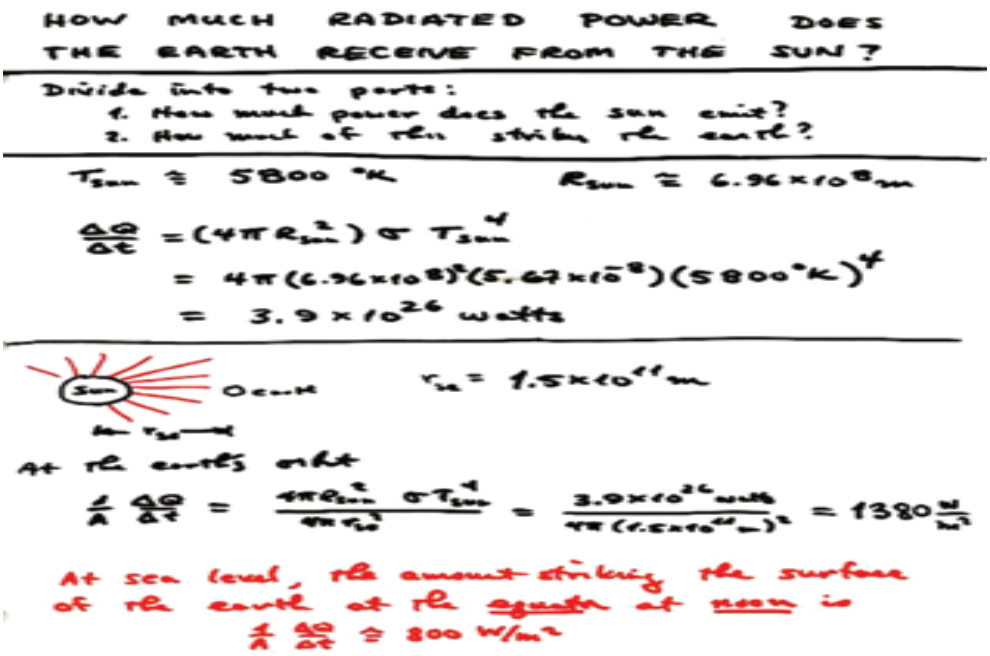
Güneş radyasyonu üç farklı yöntemle ölçülür; Termal Resistans yönteminde güneş radyasyonu sıcaklıkla direnci değişen siyaha boyalı disk tarafından soğurulur, diskteki direnç değişimi ölçülerek güneşlenme miktarı ölçülmüş olur. Termoelektrik yönteminde, birbirine bağlı farklı iki farklı tipteki metalin bağlantı noktasında güneş radyasyonu toplanır; Isı etkisiyle metallerin bağlantı noktasında mV seviyesinde voltaj üretilir, radyasyon şiddeti arttıkça voltaj da artar. Bu şekilde voltaj ölçülerek radyasyon da ölçülmüş olur. Fotoelektrik yönteminde ise ışığa duyarlı fotoelektrik malzeme güneş radyasyonu ile voltaj üretilir. Üretilen voltaj ölçülerek global radyasyon ölçülmüş olur.

Piranometre: Piranometre, yatay düzlemden 2 ila 5 m arasında bir yüksekliğe konularak, yatay düzlemedeki 1 m2 alana gelen toplam güneş radyasyonunu ölçer. Güneşlenme süresi sensörü, yerden 2 ila 5 m arasında kurulup, dakikalık ölçümler yapar ve bu ölçümlerden saatlik toplamlar kaydedilir (Url-9).

Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) tarafından belirlenen ve 22.02.2012 tarihli 28212 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Tebliğ'de ölçümlere standart getirilmiştir. Buna göre, güneş ölçüm sensörü (piranometre) ve güneşlenme süresi sensörlerinin TS ISO 9060 veya ISO 9060 standardına uygun olması şartı aranmakta ve aynı zamanda güneş istasyonunda sıcaklık sensörü, bağıl nem sensörü, rüzgar hızı ve rüzgar yönü sensörleri ile bir de ölçüm kayıt cihazı bulundurulması istenmektedir. Bu ölçümlerin dakikalık veya 10 dakikalık bazlarla kayıt edilmesi, yerinde yapılan en az altı aylık ölçüm süresi içerisinde işletme ve/veya bakım veya sair nedenlere veri kaybının %20'den fazla olmaması gerekmektedir. Veri kaybının %20'ye kadar olduğu durumlarda kayıp verilerin, mevcut veriler veya faaliyet alanını temsil edebilecek MGM tarafından belirlenecek bir veya birkaç meteoroloji istasyonu verilerinden faydalanılarak istatiksel veri tamamlama yöntemlerinden birisi (enterpolasyon ve benzeri) kullanılarak düzenlenmesi gerektiği de tebliğde belirtilmiştir.

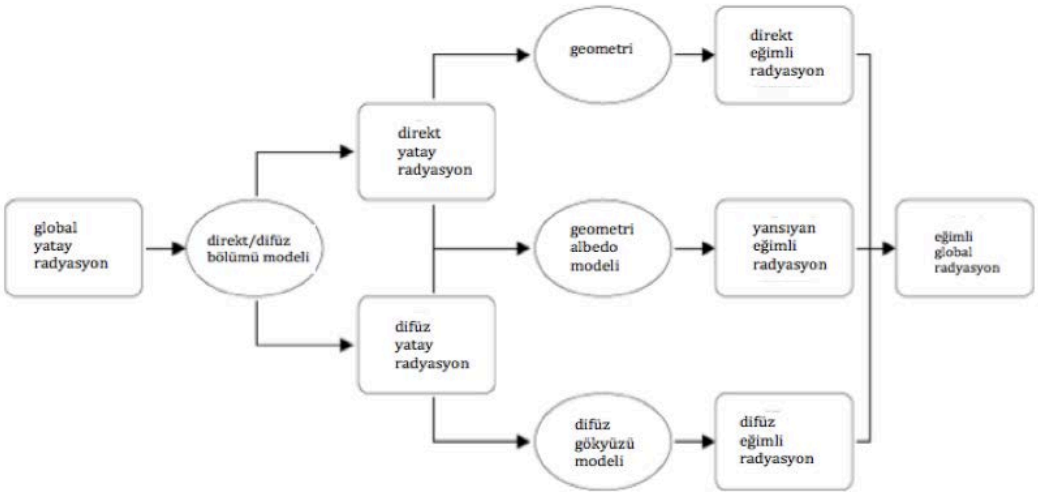
2.3 Güneş Radyasyonu Hesaplamaları

Güneş radyasyonu hesaplamaları çok eski tarihlerden itibaren, bir çok bilim insanı tarafından çalışılmıştır. Şekil 2.13'de Einstein'ın el yazısı ile bu konuda yaptığı çalışmalardan bir örnek görülmektedir.



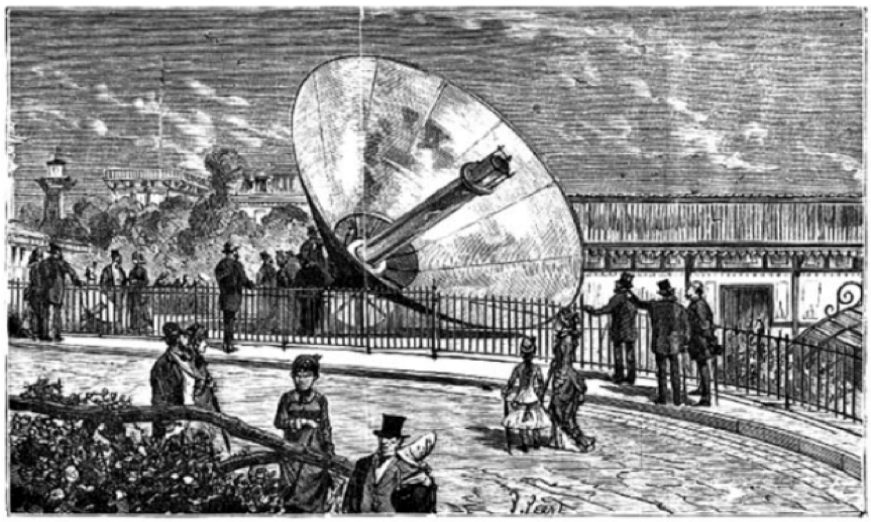
Şekil 2.13: Einstein'ın el yazısı ile dünyaya gelen radyasyon (World Energy Council, 2009).

Herhangi bir bölge için yatay yüzeye gelen global güneş radyasyonu değerleri bilindiğinde eğimli yüzeye gelen global, direkt ve difüz radyasyon değerleri çeşitli yöntemlerle hesaplanabilir. Bu hesaplamaların yapılması güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanmak için çok gerekli ve önemlidir. Değişik modeller kullanılarak, eğik düzleme gelen radyasyon miktarı yatay yüzeye gelen ölçülen değerlerden hareketle aşağıda Şekil 2.14'deki aşamalar takip edilerek yapılır.



Şekil 2.14: Yatay radyasyondan hareketle eğimli yüzeylere gelen radyasyonun hesaplanması aşamaları (Heinemann, 2000).

Güneş kolektörlerinin yönü, eğimi doğru tespit edildiğinde, güneş enerjisinden yararlanılan sabit (stationary) sistemlere göre daha fazla güneş enerjisi elde etmek mümkün olur. Ancak bunlar pahalı sistemlerdir. Sabit sistemlerde yıl boyunca eğim uygulanması, kolektör veya fotovoltaik panellere maksimum güneş enerjisi gelmesine neden olur. Güneş enerjisinden yararlanan düzlemsel, kolektör veya fotovoltaik paneller, ekvatora, yani güneye bakacak şekilde eğim verilerek yerleştirilirler. Optimum eğim açıları aylık olarak ve enleme bağlı olarak değişir. Şekil 2.15'de 1878 yılında Fransa'da bir sergide sergilenen çanak reflektör görülmektedir.



Şekil 2.15: 1878 yılındaki bir çanak reflektör (World Energy Council, 2009).

2.4 Güneş Radyasyonu Modelleri

Güneş radyasyonundan daha çok yararlanmak ve daha fazla miktarda radyasyon elde etmek üzere, çeşitli bilim insanları çok eski zamanlardan beri araştırmalar yaparak, değişik meteorolojik, coğrafik ve klimatolojik parametrelere bağlı çok sayıda istatistiksel modeller ileri sürmüşlerdir.

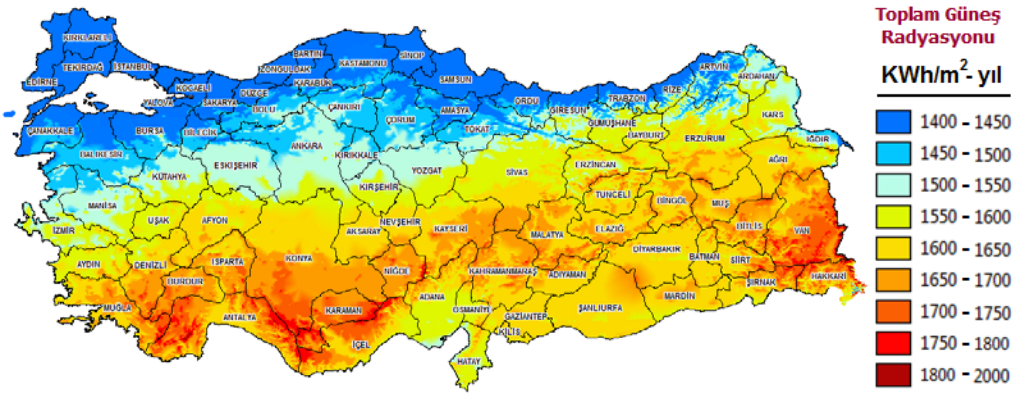
Çok fazla sayıda olan bu modellerin önemli olup çok kullanılanlarından bazıları şöyledir: Liu ve Jordan (1960), Orgil ve Hollands (1977), Iqbal (1980), Erbst ve diğ. (1982), Garrison (1985), Skarveit ve Olseth (1987), Maxwell (1987), Reindl ve diğ. (1990), Perez ve diğ. (1991), Gonzales ve Calbo (1999), Boland ve diğ. (2001), Dürr (2004), Marty (2000), Helbig (2009), Notton ve diğ. (2004), Guymard (2005), Jacovides ve diğ. (2006) gibi bir çok bilim adamı değişik zamanlarda değişik parametrelere bağlı modeller üretmişlerdir.

Wong ve Chow (2001), güneş enerjisi modelleri hakkında yaptıkları bir araştırma sonucunda, bu modelleri parametrik (parametric) ve bileşenlere ayrılarak elde edilen (decomposition) modeller olmak üzere sınıflamaya tabi tutmuşlar ve bunları mukayese etmişlerdir. Parametrik modellerin atmosferik koşulların detaylı bilgilerini gerektirdiğini ve en çok kullanılan parametrik modellerden birinin Ashre modeli olduğunu belirtmişlerdir. Wong ve Chow'ya göre, dekompozisyon modelleri direkt ve difüz radyasyon hesaplarında ve daha çok global güneş radyasyonu bileşeninin hesabında, Iqbal ve Ashre modelleri ise direkt normal radyasyon hesabında kullanılmaktadır ve Ashre modelinde yansıma hesaba katılmamaktadır.

Ortalama günlük global radyasyonun güneşlenme süresi ile bağlantılı olarak hesaplanması Angström modeli ile yapılmıştır. Bu model 1940'da Prescot tarafından geliştirilerek Angström-Prescot modeli haline dönüşmüş ve Gueymard ve diğ. tarafından tekrar yorumlanmıştır. Dekompozisyon modelleri yardımıyla yatay düzlemdeki saatlik difüz radyasyon hesabında Liu ve Jordan Amerika ve Kanada'da 98 istasyonda çalışmışlardır. Bu çalışmayı yine Kanada'da, Orgill ve Holland'ın çalışmaları takip etmiştir. Erbst ve diğ.'leri de Amerika'nın 5 istasyonunda 4 yıllık verilerle çalışmışlardır. Spencer difüz radyasyon için Avusturalya'da çalışmalar yapmış ve bir formül geliştirmiştir. Aynı şekilde Reindl ve diğ. difüz radyasyon için Amerika'nın 5 istasyonunda araştırmalar yapmışlardır. Lam ve Lee Hong-Kong'da yaptıkları çalışmalar ile direkt ve difüz radyasyon modelleri geliştirmişlerdir. Skarweit ve Olseit, difüz radyasyonun bağıl nem ve sıcaklık gibi başka parametrelere de bağlı olduğunu ileri sürmüş ve direkt radyasyon için bir model geliştirmişlerdir. 1987 yılında Maxwell daha evvel Batlles ve diğ. tarafından yorumlanmış olan yatay düzlemdeki global radyasyondan hareketle direkt normal radyasyon tahmini için bir model geliştirmiştir (Wong ve Chow, 2001).

2.5 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye güneş enerjisi bakımından oldukça şanslı bir konumdadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından, dünya güneş enerjisi kapasitesi bakımından ülkelerin potansiyelleri sıralanmış ve Türkiye'nin 29. sırada olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.16'da YEGM tarafından hazırlanan Türkiye'nin Güneş Radyasyonu atlası görülmektedir.



Şekil 2.16: Türkiye için elde hazırlanmış Güneş radyasyonu atlası (YEGM).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde mevcut bulunan 1966-1982 yılları arasında 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 1311 kWh/m^2-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m^{2-}-gün) olarak tespit edilmiştir. Çizelgeye göre, en fazla radyasyon Temmuz ayında, en düşük radyasyon ise Aralık ayında gelmektedir. Çizelge 2.2 Türkiyenin aylık toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi değerlerini göstermektedir.

Çizelge 2.2: Türkiye'nin aylık toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi değerleri (EİE).

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm2-ay)	(kWh/m2-ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	**112,74**	**1311,00**	**2640**
Ortalama	**308,0 cal/cm2-gün**	**3,6 kWh/m2-gün**	**7,2 saat/gün**

Çizelge 2.3, Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjii potansiyelinin bölgelere göre dağılımını göstermektedir. Çizelgeye göre, Türkiye'de güneş radyasyonunu en az alan bölge Karadeniz Bölgesidir. Bunu Marmara ve Kuzey Ege Bölgesi takip etmektedir. Güneş radyasyonu bakımından Güneydoğu Anadolu ve özellikle sağ alt bölümü en çok radyasyon alan bölgedir.

Çizelge 2.3: Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (EİE).

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi kWh/m2-yıl	En çok güneş enerjisi (Haziran) kWh/m2	En az güneş enerjisi (Aralık) kWh/m2	Ortalama güneşlenme süresi saat/yıl	En çok güneşlenme süresi (Haziran) saat	En az güneşlenme süresi (Aralık) saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Ülkemizde kolektörlerle üretilen ısıl güç 9,3 GWt seviyelerinde olup, PV sistemlerinin kurulu gücü ise 5 MW'a ulaşmıştır**.** Gerekli yatırımlar yapılarak günde 1100 kWh güneş enerjisi üretilebilir (Koç ve Şenel, 2013).

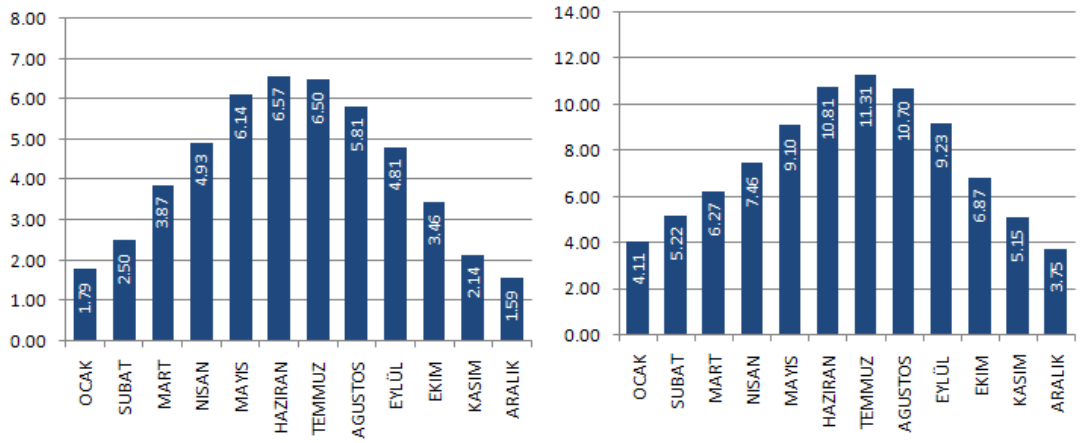
Güneş enerjisi elde etmek üzere kurulacak olan santrallerin tesis edileceği bölgenin yılda en az 2000 saat güneşlenme süresine ve metrekare başına yılda 1500 kWh'lik bir güneş enerjisi değerine sahip olması gerekir. Ayrıca 4 saatlik güneşlenme süresine sahip gün sayısının 150'den az olmaması gerekir. Bunun için uzun saatlik direkt güneş radyasyonu değerleri kullanılarak performans değerlendirmeleri yapmak eğer bu değerler ölçülemiyorsa modeller kullanmak gerekir (YEGM).

Güneş enerjisi potansiyel tespitlerinde gün uzunluğu ve güneşlenme süresi değerleri de çok önemlidir. Güneşin doğuş ve batışı arasındaki süre gün uzunluğunu, güneş radyasyonunun gün boyunca geldiği süre ise güneşlenme süresini ifade etmektedir. Şekil 2.17'de, 1985-2013 yılları arasındaki verilerden temin edilen Türkiye'nin yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi atlası görülmektedir.



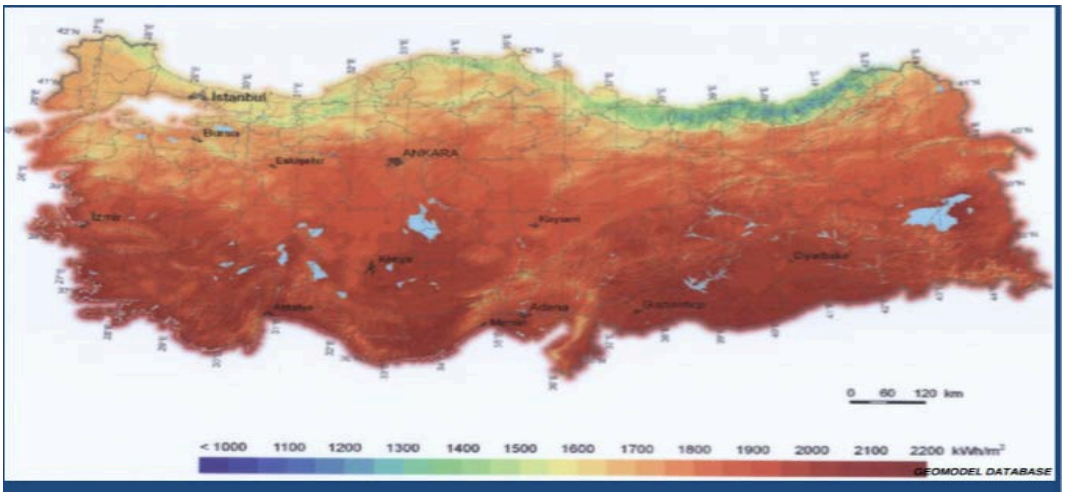
Şekil 2.17: Türkiye'nin yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi (MGM).

Şekildeki güneşlenme süresi atlası incelendiğinde, Türkiye'de en yüksek güneş radyasyonu değerlerinin Haziran'da, en yüksek güneşlenme süresi değerlerinin ise Temmuz ayında olduğu görülmektedir. Şekil 2.18'de ise yıllık toplam günlük global radyasyon ve yıllık toplam güneşlenme süresi değerleri görülmektedir.



Şekil 2.18: Sırasıyla Türkiye'nin ortalama güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi (YEGM).

Şekil 2.19'da Türkiye'nin 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan güneş radyasyonu haritası görülmektedir.

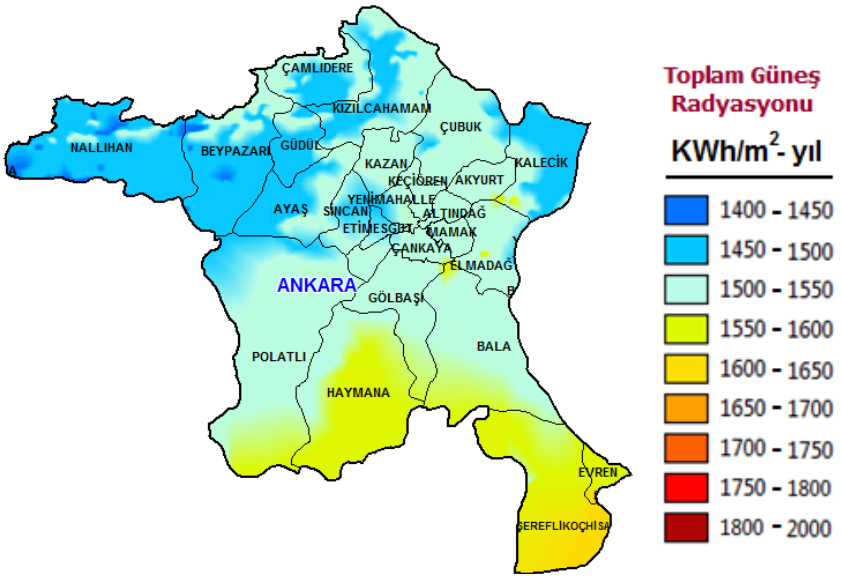


Şekil 2.19: Türkiye'nin 30 derecede eğimde elde edilen güneş enerjisi haritası (Aşker, 2012).

2.6 Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman'ın Güneş Enerjisi Potansiyelleri

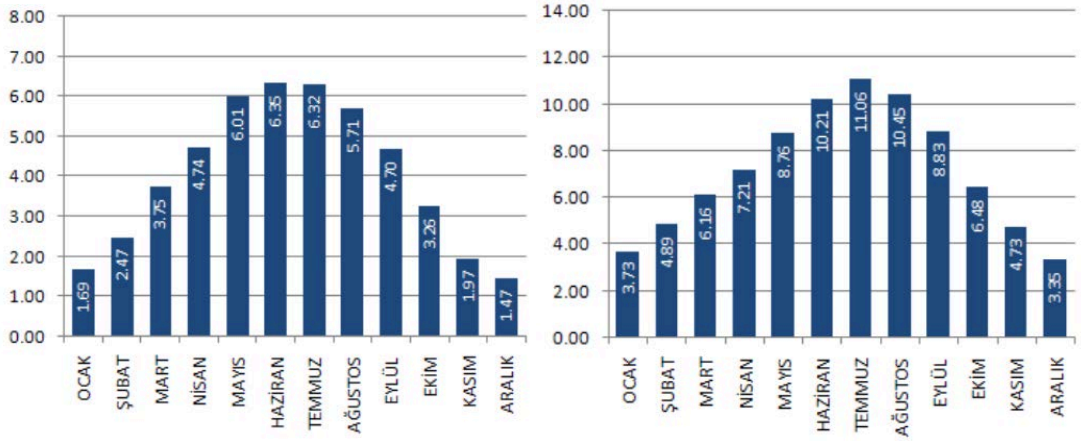
2.6.1 Ankara

Türkiye'nin ikinci büyük şehri ve başkenti olan Ankara, İç Anadou Bölgesinin kuzey kesiminde ve karasal iklimin hakim olduğu bir şehrimizdir. Gece ve gündüz yüksek derecede ısı farkı vardır, yazın geceler serin gündüzleri sıcak geçer. Yağış miktarı azdır ama kış aylarında yoğun kar yağışı görülür. Yaz aylarında çok az yağış alır. Yılda ortalama 10 gün fırtınalı, hava kirliliği hesaba katılmadan 30 gün sislidir. Yüksekliği yaklaşık 100 m civarındadır. Şehrin yakınında yer alan Ankara ovası az bir eğimle batıya doğru uzanır. Kızılırmak ve Sakarya nehirlerinin kollarının oluşturduğu ovalarla kaplı bir bölgedir. Bitki örtüsü olarak bozkır hakimdir. Şehir haricinde toprakların büyük kısmı platolardan oluşur. Orman alanları ile step ve bozkır alanlarını bir arada görmek mümkündür. Güneyde tipik İç Anadolu ikliminin özellikleri olan step iklimi, kuzeyde ise Karadeniz ikliminin ılıman ve yağışlı özelliklerini taşır. Şekil 2.20, Ankara'nın yıllık toplam güneş radyasyonu değerlerini göstermektedir.



Şekil 2.20: Ankara iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası (YEGM).

Şekil 2.20'deki güneş enerjisi potansiyel haritasından da görüleceği üzere, Ankara'da güneş enerjisi potansiyeli bakımından çok yüksek değerler ifade edilmemektedir. Karadeniz iklimine hakim olan kuzey bölgelerine nazaran, İç Anadolu iklim özellikleri taşıyan güney kısmı yıllık ortalama 1600 kW/m^2-yıl değeriyle bu konuda vasat bir enerji potansiyeline sahiptir. Şekil 2.21'de Ankara için, 1985-2006 yıllarına ait verilerden elde edilen sırasıyla güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi değerleri görülmektedir.

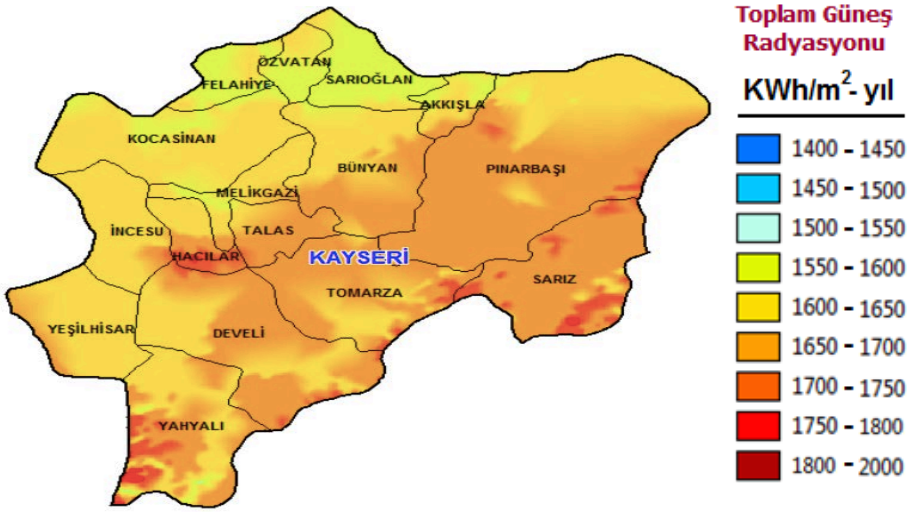


Şekil 2.21: Ankara iline ait global radyasyon değerleri (kWh/m^2-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) görülmektedir (YEGM).

Sonuçlar 1985-2006 yıllarına ait 22 yıllık, saatlik verilerden elde edilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, Ankara güneş radyasyonunu en fazla sırasıyla Haziran, Temmuz ve Mayıs aylarında almakta olup maksimum aylık ortalama günlük radyasyon miktarı 6,39 kWh/m^2-yıl'dır.

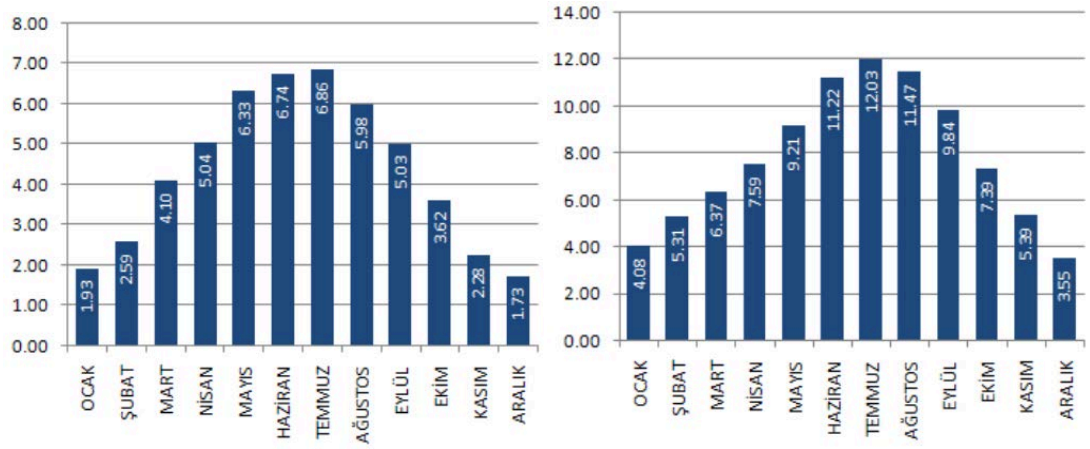
2.6.2 Kayseri

İç Anadolu'nun güney bölümü ile Toros dağlarının birbirine yaklaştığı yerde, Orta Kızılırmak bölümünde yer alır. Orman yönünden çok fakirdir. Karasal iklim özellikleri taşır ve kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak geçmektedir. Birçok yerinde bozkır iklim özelliği taşır. Kapalı gün sayısı oldukça azdır. Kapalı gün sayısı ortalama 68, güneşli gün sayısı ise 110 gün civarındadır. Şekil 2.22, Kayseri'nin yıllık toplam güneş radyasyonu değerlerini göstermektedir.



Şekil 2.22: Kayseri iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası. (YEGM)

Şekil 2.23'de Kayseri için, 1985-2006 yıllarına ait verilerden elde edilen sırasıyla güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi değerleri görülmektedir.



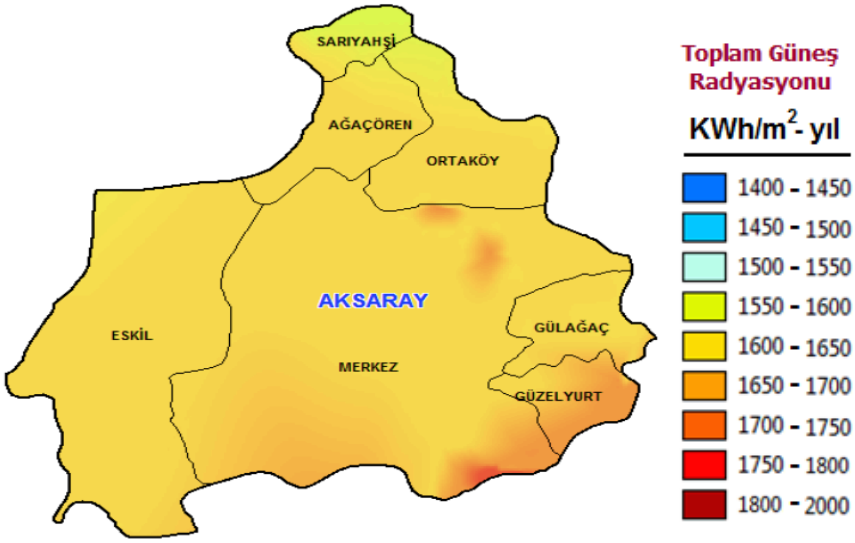
Şekil 2.23: Kayseri iline ait global radyasyon değerleri (kWh/m^2-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) görülmektedir. (YEGM)

Sonuçlar 1985-2006 yıllarına ait 22 yıllık, saatlik verilerden elde edilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, Kayseri'de güneş radyasyonunun en yoğun geldiği zamanlar

Haziran ve Temmuz aylarıdır. Aynı şekilde güneşlenme süreleri de en fazla yaz ayları olup Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarıdır.

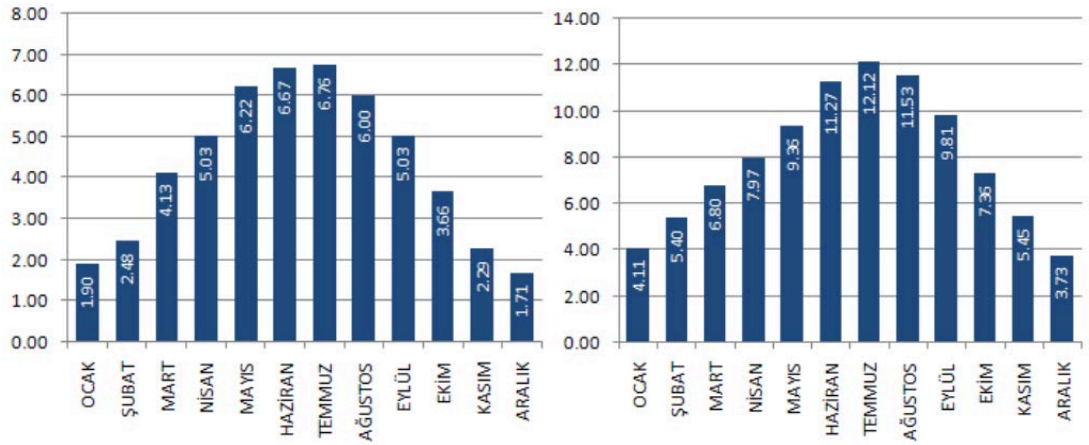
2.6.3 Aksaray

Tuz gölü havzasında yer alan Aksaray ili, yüzey şekilleri itibariyle düzlüktür. Ortalama denizde yüksekliği 980 m civarındadır. Orta kısmı, kuzeyi ve güneyi tamamen ovalıktır. Güneyde obruk platosunun uzantısı ve Aksaray ovası bulunur. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Toros dağları, doğusunda yüksek Doğu Anadolu platosu bulunmaktadır. Yeryüzü şekillerini eski volkanik dağlardan püsküren lavların meydana getirdiği platolar ve ovalar oluşturmaktadır. İç Anadolu'nun tipik iklimi olan karasal iklim özelliklerine sahiptir, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve genellikle karlı geçmektedir. Şekil 2.24, Aksaray'ın yıllık toplam güneş radyasyonu değerlerini göstermektedir



Şekil 2.24: Aksaray iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası. (YEGM)

Aksaray ili güneş enerjisi potansiyeli bakımından yıllık ortalama 1600-1700 kWh/m^2-yıl enerji potansiyeline sahiptir. Şehrin güney doğusuna gidildikçe bu potansiyel artmaktadır. Şekil 2.25'de Aksaray için, 1985-2006 yıllarına ait verilerden elde edilen sırasıyla güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi değerleri görülmektedir.

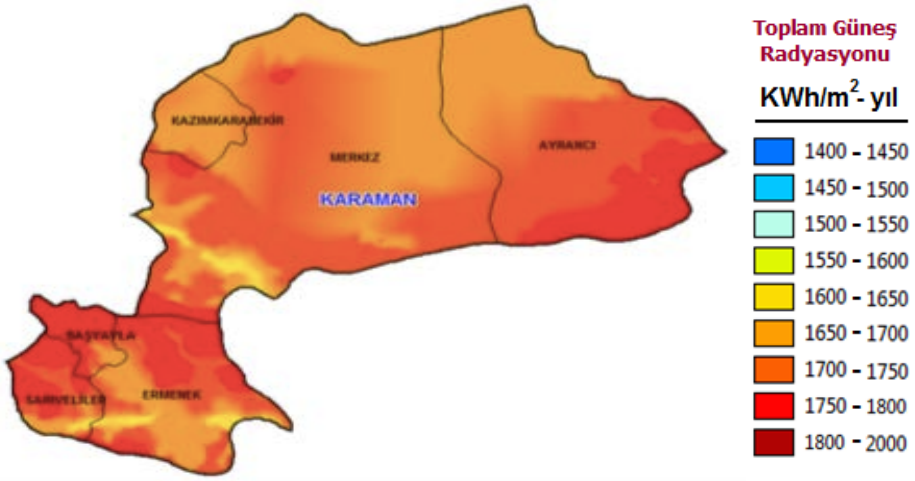


Şekil 2.25: Aksaray iline ait global radyasyon değerleri (kWh/m2-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) görülmektedir (YEGM).

Şekilden de görüleceği üzere, Aksaray'da, Haziran ve Temmuz en çok radyasyon alan aylarıdır ve bu değer Ankara'ya göre biraz daha yüksektir. Güneşlenme süresi Temmuz ayında en yüksek değerdedir. Aksaray güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu bakımından, Türkiye ortalama değerlerinin üzerinde ve arazinin coğrafi yapısı nedeniyle güneş enerjisi santralleri kurulumuna müsattir.

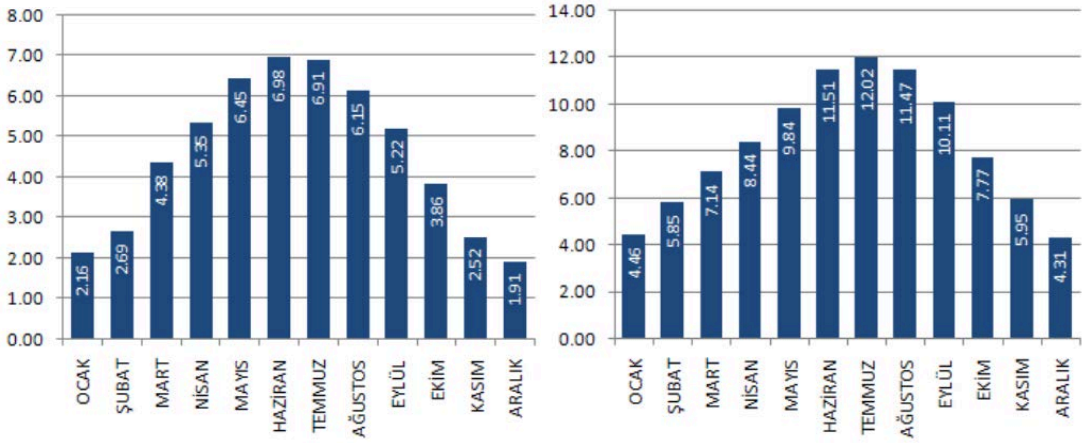
2.6.4 Karaman

İç Anadolu bölgesinin güneyinde yer alır. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1033 m'dir. İklimi tipik bir karasal iklim olup, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçer. Yağış miktarı azdır. Merkez ilçenin kuzeyinde 1400 km^2'lik alanı ova görünümündedir. Arazinin 2/3'ü dağlıktır. Bozkır alanı içerisinde olduğu için, step bitki örtüsüne sahiptir. Şekil 2.26, Karaman'ın yıllık toplam güneş radyasyonu değerlerini göstermektedir.



Şekil 2.26: Karaman iline ait güneş enerjisi potansiyeli haritası (YEGM).

Şekil 2.27'de Karaman için, 1985-2006 yıllarına ait verilerden elde edilen sırasıyla güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi değerleri görülmektedir.



Şekil 2.27: Karaman iline ait global radyasyon değerleri (kW/m2-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) görülmektedir (YEGM).

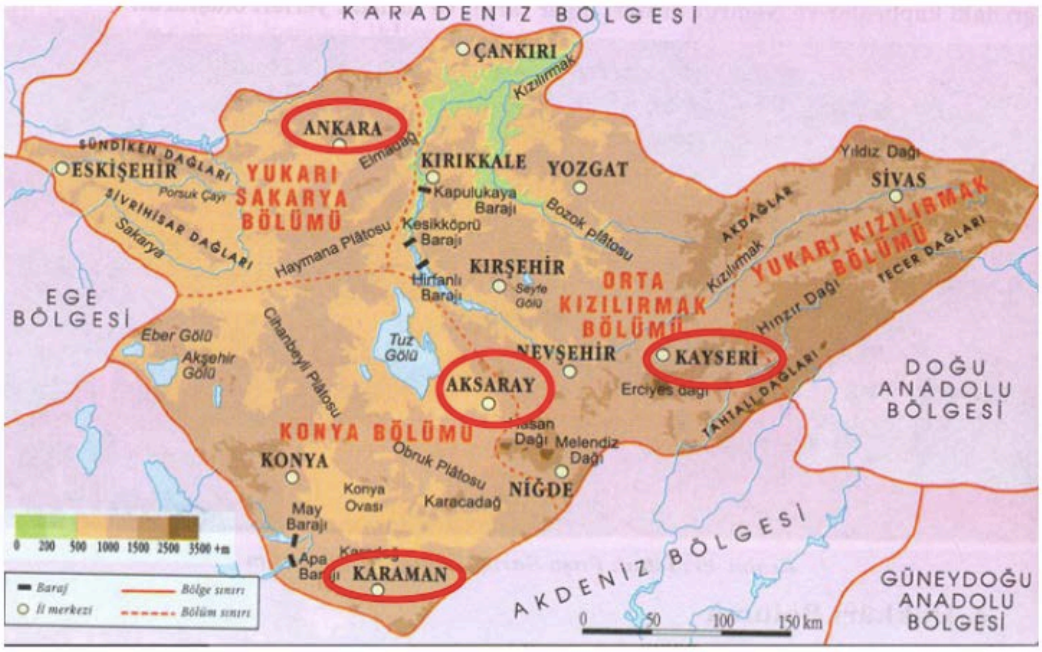
Karaman, Akdeniz Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi'nde sınır bölgesi olup, Türkiye'nin güneş enerjisi atlasında görüldüğü gibi güneş radyasyonunun en yüksek olduğu kuşak üzerinde, tarım ve hayvancılıkta kullanılması mümkün olmayan hazineye ait arazilere sahiptir. Bölgedeki zeminin kayalık olması nedeniyle, toz bulutunun diğer bölgelere göre daha az olması, bu bölgeye kurulacak olan güneş enerjisi sistemlerinde yer alan toplayıcıların üzerinde toz oluşumunun da önüne geçmesidir. Gölge etkisi yaratabilecek herhangi bir ağaçlık alan ve dağlık bölgenin bulunmamaktadır. Bu durumda doğrudan gelen güneş ışınımlarının kayıpsız şekilde kullanılabilmektedir. Arazinin eğimi sıfır dereceye yakındır ve kara ve demir yollarına ve havaalanlarına uzaktır. Bu yüzden güneş enerjisi kurulumları bakımından Türkiye'deki en elverişli yerlerin başında gelir. Bölgede herhangi bir fosil kaynak tespit edilememiş olması da istimlak çalışmalarının olmayacağı yönündeki garantidir. Türkiye'nin ortalama değerleri göz önüne alındığında Karaman iline ait güneş enerjisi değerleri aylara göre %10 ile %30 aralığında değişen daha yüksek değerlere sahiptir (Sönmezoğlu ve diğ., 2013).

3. İÇ ANADOLU BÖLGESİNDE GÜNEYE BAKAN EĞİMLİ YÜZEYLERE GELEN GLOBAL RADYASYON

3.1 İç Anadolu Bölgesi

İç Anadolu Bölgesi yüzölçümü bakımından 2. Büyük bölgemizdir. Ortalama yükselti 800-1000m civarında olup bölgenin doğu ve güneyi dağlıktır. Konya Ovası Türkiye'nin en büyük ovasıdır. Bölge dağlarla çevrili olduğu için yazları sıcak ve kurak kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Ilıman karasal iklim (step iklimi) özelliği taşır. Yağış miktarı en az olan bölgemiz olup ortalama yağış 400mm dir. Bu yüzden doğal bitki örtüsü bozkırdır ve tarımsal verim oldukça düşük ve ürün çeşitliliği de azdır.

Şekil 3.1'de İç Anadolu bölgesinin haritası görülmektedir.



Şekil 3.1: İç Anadolu Bölgesi (Url-11).

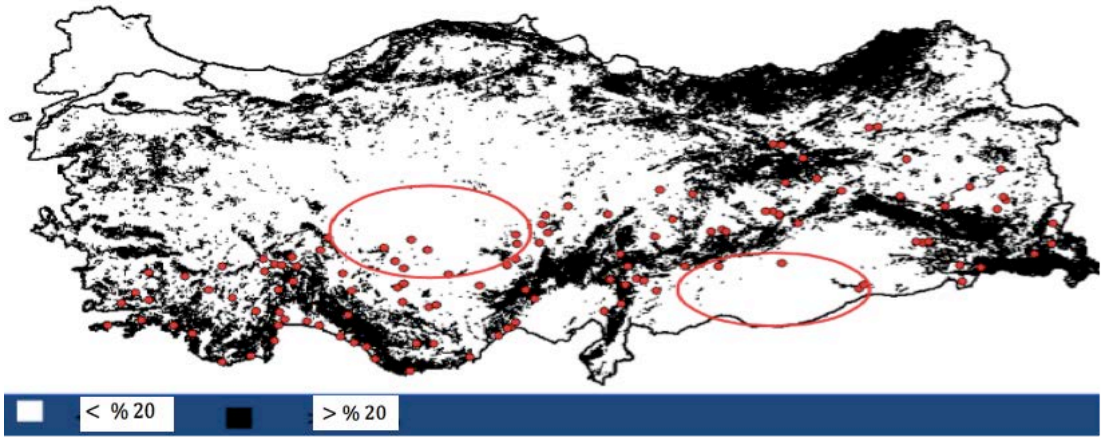
Bu çalışmada, İç Anadolu Bölgesindeki, enlem durumuna göre kuzeyden güneye sırasıyla Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman istasyonları güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeyler için global radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Son yıllarda özellikle fotovoltaik panellerle güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi için

geliştirilen projeler İç Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Bu bölgede tarıma elverişli olmayan ama fotovoltaik panellerin yerleştirilmesine uygun düz ve boş araziler bulunması, bölge arazisinin eğiminin ve ulaşım durumlarının müsait olması güneş radyasyonu potansiyeli bakımından yatırımcıların dikkatini çekmiştir. Bu nedenle İç Anadolu Bölgesi göz önüne alınmıştır. İç Anadolu Bölgesinden seçilen istasyonların coğrafi konumları Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman'ınn enlem, boylam ve yükseklik değerleri.

	Ankara	**Kayseri**	**Aksaray**	**Karaman**
Enlem	39,97 derece	38,68 derece	38,37 derece	37,19 derece
Boylam	32,86 derece	35 derece	33,99 derece	33,22 derece
Yükseklik	891 metre	1094 metre	970 metre	1018 metre

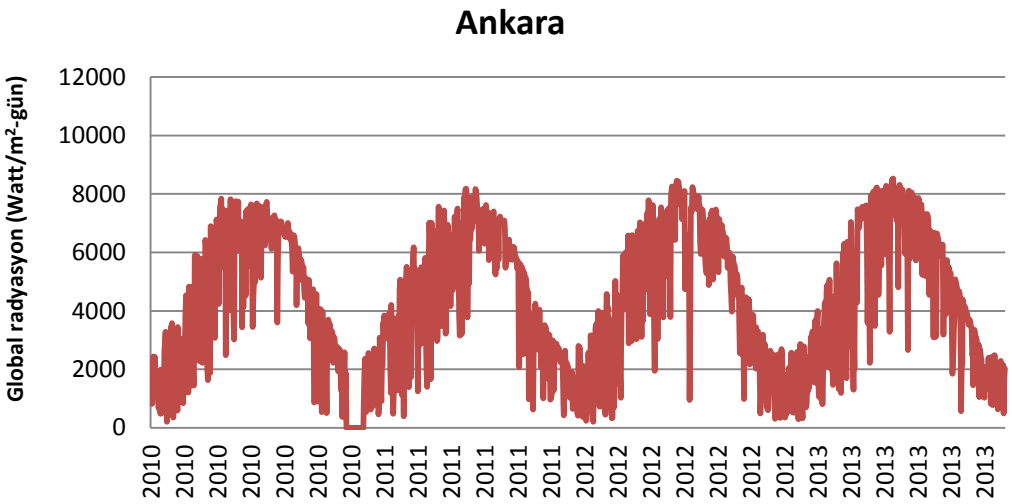
Güneş enerjisi tesis kurulumları açısından arazinin eğimi önem taşımaktadır. Bunun için özellikle eğimin yüksek olmaması gerekir. Aşağıda Şekil 3.2'de Türkiye'nin arazi eğim haritası görülmektedir. Haritada İç Anadolu Bölgesinin bu açıdan çok uygun olduğu ve eğimi %20'den küçük olan alanlar kapsamında olduğu görülmektedir. Bölgenin güneş enerjisi kurulumları için teşvik almasının önemli sebeplerinden biri de arazinin eğim durumudur.



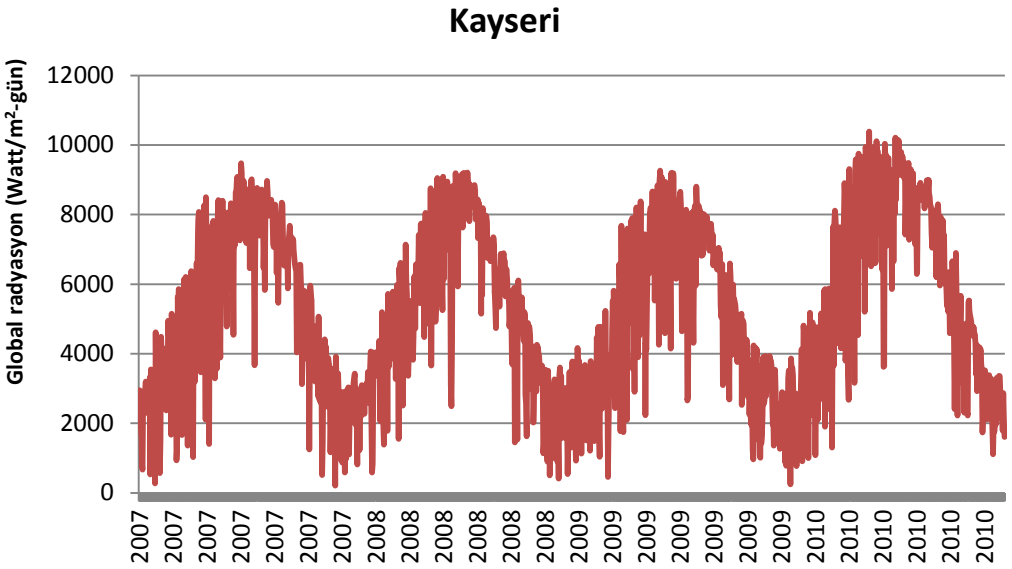
Şekil 3.2: Türkiye'nin eğim haritası (Aşker, 2012).

Çalışmada Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman istasyonlarına ait 2007-2013 yılları arasında yatay yüzeye gelen saatlik global radyasyon verileri göz önüne alınmıştır. Global radyasyon değerleri dakikada bir Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Solarimetre ile kaydedilmiştir. Eğimli yüzeylere gelen global radyasyon değerleri günlük olarak hesaplandığından, öncelikle günlük global radyasyon değerleri hesaplanmıştır.

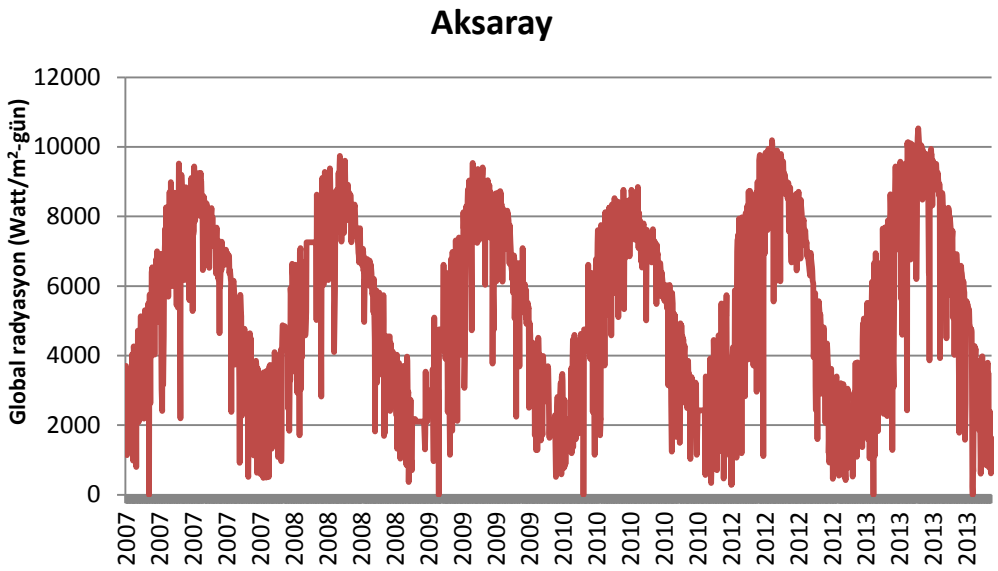
Şekil 3.3 - Şekil 3.6 sırasıyla Ankara için 2010-2013; Kayseri için 2007-2010; Aksaray ve Karaman için ise 2007-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon değerlerinin zaman serilerini göstermektedir.



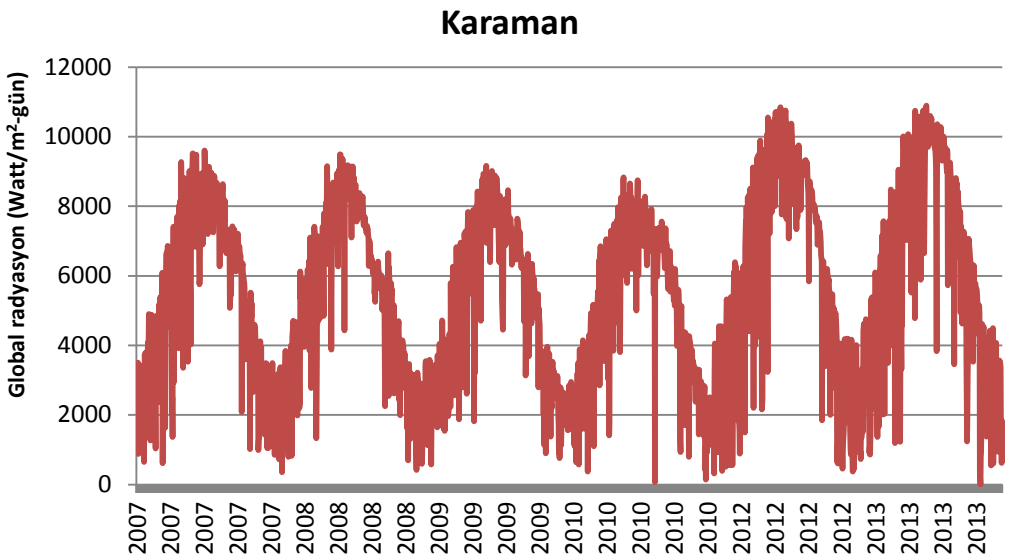
Şekil 3.3: Ankara için 2010-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi.



Şekil 3.4: Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi.

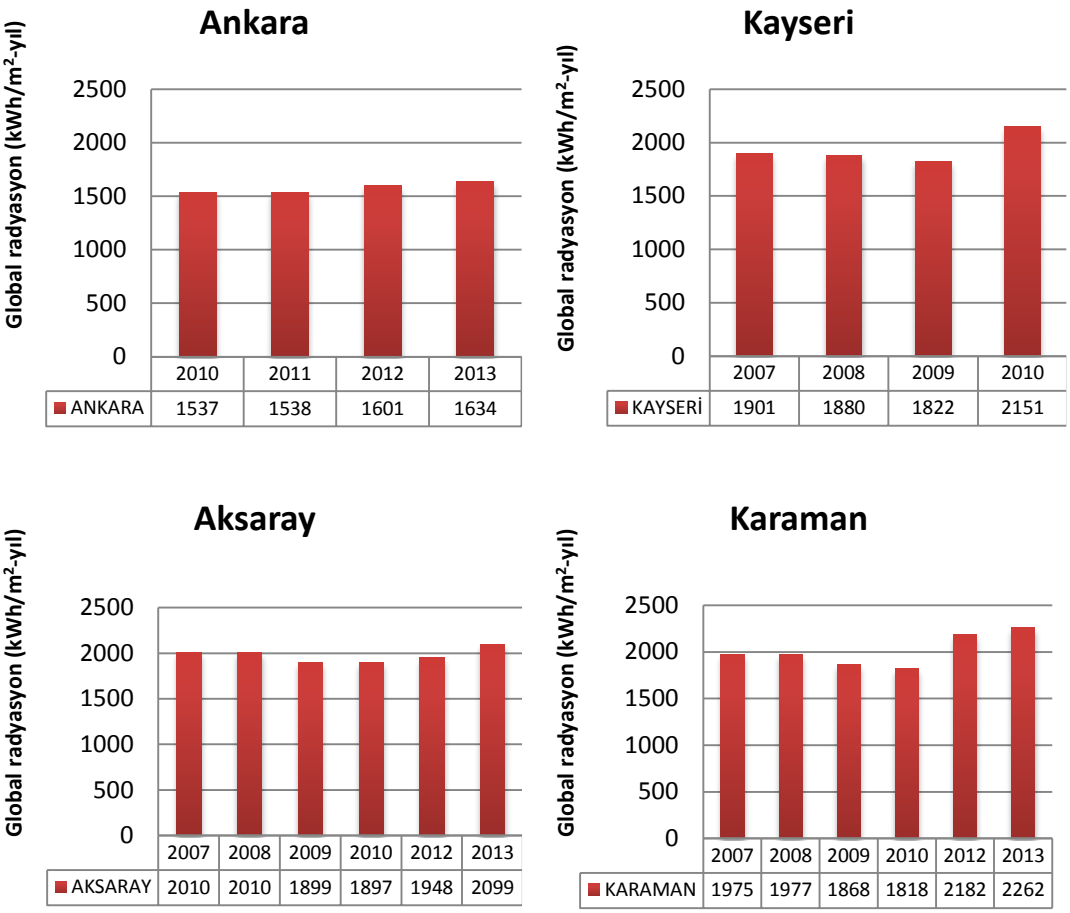


Şekil 3.5: Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi.



Şekil 3.6: Karaman için 2007-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen global radyasyon zaman serisi.

Şekil 3.3 - Şekil 3.6'da Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman istasyonlarının gözönüne alınan dönemlerdeki zaman serilerine bakıldığında; Ankara için 2010 yılında bir miktar artış görülmektedir. Fakat Kayseri için 2013 yılında, Aksaray ve Karaman için ise 2012 ve 2013 yıllarında önceki yıllara göre günlük global radyasyon değerlerindeki önemli artış dikkati çekmektedir.



Şekil 3.7: Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman için yıllara göre yatay yüzey için ölçülen global radyasyon.

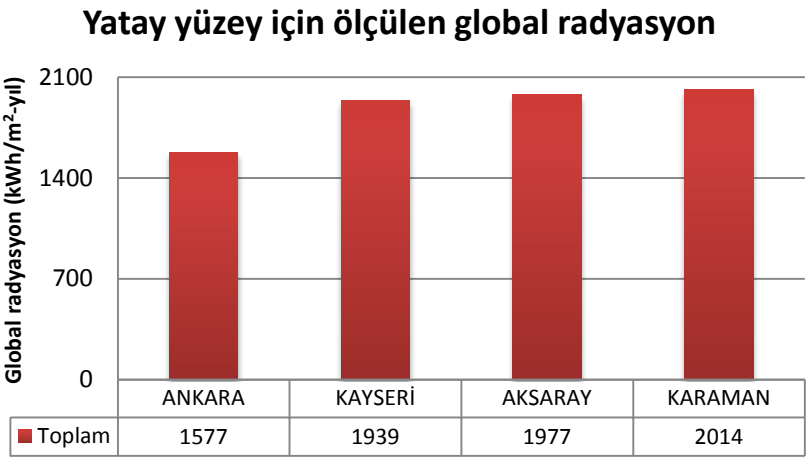
Ankara'da yatay yüzey için ölçülen en yüksek değer 1634 kWh/m^2-yıl olarak 2013'de elde edilmiştir. 2010-2013 yılları arasındaki ortalama değer ise, 1577 kWh/m^2-yıl'dır. 1995-2000 yılları için Ankara'da yapılan çalışmada yatay düzleme gelen yıllık ortalama değer 1527 kWh/m^2-yıl'dır (Çelik, 2005). 2010-2013 yılları arasında yapılan bu çalışmada bulunan 1577 kWh/m^2-yıl değeri, %3,2 daha fazladır. YEGM tarafından tespit edilen yıllık ortalama değer ise 4,06 kWh/m^2-gün dür. Bu çalışmada bulunan 4,32 kWh/m^2-gün değeri %6,4 daha yüksektir.

Kayseri'de yatay yüzey için ölçülen en yüksek global radyasyon değeri 2151 kWh/m^2-yıl olarak 2010 yılında tespit edilmiştir. Kayseri için, YEGM tarafından yapılan ve 1985- 2006 yılı verilerinden temin edilen yıllık ortalama global radyasyon değeri 4,35 kWh/m^2-gün'dür. Bu çalışmada bulanan değer ise 5,31 kWh/m^2-gün olup, %18 daha fazladır.

Aksaray'da yatay yüzey için ölçülen en yüksek global radyasyon değeri 2099 kWh/m^2-yıl olarak, 2013 yılında tespit edilmiştir. Kayseri için, YEGM tarafından yapılan ve 1985- 2006 yılı verilerinden temin edilen yıllık ortalama global radyasyon değeri 4,36 kWh/m^2-gün'dür. Bu çalışmada bulanan değer ise 5,41 kWh/m^2-gün olup, %24 daha fazladır.

Bu çalışmada Karaman için, 2007-2013 yılları arasındaki yıllık ortalama günlük değer 5,52 kWh/m^2-gün olarak tespit edilmiştir. Bu değer Avrupa Komisyonu tarafından yürütülen Ortak Araştırma Merkezi Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) tarafından sağlanan ışınım şiddeti verilerine göre, Karaman için tespit edilen 5 kWh/m^2-gün değerine çok yakındır (Sönmezoğlu ve diğ., 2013).

YEGM tarafından yapılan ve 1985- 2006 yılı verilerinden temin edilen yıllık ortalama global radyasyon değeri ise 4,55 kWh/m^2-gün'dür. Bu çalışmada bulanan 5,52 kWh/m^2-gün değeri %17,6 daha fazladır.



Şekil 3.8: Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman için ölçülen global radyasyon değerleri

Şekil 3.8'e göre, Karaman'da 2007-2013 yıllarında, yatay yüzey için ölçülen en yüksek global radyasyon miktarı 2014 kWh/m^2-yıl ile en yüksek değerdir. Bunu 2007-2013 yılları için 1977 kWh/m^2-yıl değeri ile Aksaray, 2007-2010 yılları için 1939 kWh/m^2-yıl değeri ile Kayseri takip etmektedir. Ankara'da ise 2010-2013 yıllarında yatay yüzey için ölçülen global radyasyon değeri 1577 kWh/m^2-yıl olarak diğer illere göre en düşük değerdir. Bölge ortalaması 1877 kWh/m^2-yıl'dır ve bu değer MGM'nin uzun yıllar ortalama değeri olan 1314 kWh/m^2-yıl değerinden %43 daha fazladır. Çizelge 3.2'de Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman için yıllık toplam güneş enerjisi miktarları görülmektedir.

Çizelge 3.2: Bütün istasyonlar için yıllık toplam güneş enerjisi değerleri (kWh/m^2-yıl).

kWh/m2-yıl	Ankara	Kayseri	Aksaray	Karaman
2007	-	1901	2010	1975
2008	-	1880	2010	1977
2009	-	1822	1899	1868
2010	1537	2151	1897	1818
2011	1538	-	-	-
2012	1601	-	1948	2182
2013	1634	-	2099	2262
Ort.	1577	1939	1977	2014

Çizelge 3.2 gözönüne alınan istasyonların 2007-2013 yılları arasındaki yatay yüzey için ölçülen yıllık toplam güneş enerjisi ve bunların ortalama değerlerini vermektedir. Dört istasyona ait ortalama yıllık radyasyon değeri, güneş enerjisinden yararlanılabilen 1500 kWh/m^2-yıl eşik değerini geçmektedir. Karaman'ın 2013 yılı toplam değeri 2014 kWh/m^2-yıl ile maksimum değerdedir. Yıllık ortalama değerlerine bakıldığında Karaman bölgedeki diğer istasyonlara göre en yüksek güneş enerjisine sahiptir. Bu durum Karaman'ın diğer illere göre, bölgenin daha güneyinde, daha düşük enlemde yer alması ile uygunluk göstermektedir.

3.2 Metodoloji

Çalışmada Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman için söz konusu yıllarda, ekvatora (güneye) bakan 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanln global radyasyon değerleri, yatay yüzey için ölçülen global radyasyon değerlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu sebeple öncelikle yatay yüzeye gelen direkt ve difüz radyasyon değerleri günlük olarak hesaplanmıştır. Difüz radyasyon değerleri, yatay yüzeye gelen global radyasyonun atmosfer dışına gelen global radyasyona oranı olarak tanımlanan açıklık indeksinden yararlanarak hesaplanmıştır.

Atmosfer dışına gelen radyasyon (H_0) (3.1) ve (3.2) formülleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Güneş-dünya arasındaki mesafe atmosfer dışına gelen radyasyonu %$\pm$3 oranında etkiler (Duffie ve Beckmann, 2013). Burada I_{sc}, güneş sabitidir ve 1367 W/m^2 olarak alınmıştır. Z zenit açısını, R aktüel dünya-güneş uzaklığını ifade eder. Bu değer her gün değişir. R_{ort} ortalama dünya-güneş uzaklığı olup sabit bir değerdir ve yaklaşık 150 milyon km'dir. Cos Z enleme, deklinasyon açısına ve saat açısına bağlı olarak hesaplanmıştır (Duffie ve Beckmann, 2013).

$$H_0 = I_{sc} \cdot \left(\frac{R}{R_{ort}}\right)^2 \cdot \cos z \quad \textbf{(3.1)}$$

$$\cos z = sin\varphi \cdot sin\delta + cos\varphi \cdot cos\delta \cdot cos\omega \quad \textbf{(3.2)}$$

Deklinasyon açısı için değişik modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmada deklinasyon açısı Cooper modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(284 + N)\right) \quad \textbf{(3.3)}$$

Aktüel dünya-güneş uzaklığının, ortalama dünya güneş uzaklığına oranı olan düzeltme faktörü Spencer (1971) modeli ile hesaplanmıştır. Bu değer her gün için değişmektedir.

$$\left(\frac{R}{R_{ort}}\right)^2 = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{N}{365}\right) \quad \textbf{(3.4)}$$

3.2.1 Yatay Yüzeye Gelen Global Radyasyon Hesabı

Yatay yüzeye gelen radyasyon direkt radyasyon ve difüz radyasyon olmak üzere iki bileşenden oluşur ve yatay düzleme gelen global radyasyon bu bileşenlerin toplamıdır.

Yatay düzleme gelen difüz radyasyon (H_{dif}) ve yatay düzleme gelen direkt radyasyon (I) değerlerini hesaplamak için sırasıyla aşağıdaki (3.5) ve (3.6) numaralı eşitliklerden yararlanılmıştır (Iqbal, 1983).

$$I = (H - H_{dif}) \quad \textbf{(3.5)}$$

$$\frac{H_{dif}}{H} = -1.2047 \cdot K_T^2 - 0.217 \cdot K_T + 0.9899 \quad \textbf{(3.6)}$$

Çalışmada, ikinci aşamada eğimli yüzeye gelen direkt ve difüz bileşenler hesaplanmıştır. Eğik yüzeye gelen direkt radyasyonun hesaplanması için aşağıda verilen R_b düzeltme oranı yöntemi kullanılmıştır. Atmosfer dışında eğik düzleme gelen günlük direkt radyasyonun, yatay düzleme gelen günlük direkt radyasyona oranını ifade eden 'düzeltme oranı' (R_b) aşağıdaki formülden hesaplanır (Iqbal 1983).

$$R_b = \frac{\omega_s' \cdot sin\delta \cdot \sin(\varphi - \beta) + cos\delta \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot sin\omega_s'}{\omega_s \cdot sin\delta \cdot sin\varphi + cos\delta \cdot cos\varphi \cdot sin\omega_s} \quad \textbf{(3.7)}$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot tan\delta) \quad \textbf{(3.8)}$$

$$\omega_s' = \cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot tan\delta) \quad \textbf{(3.9)}$$

3.2.2 Eğimli Yüzeye Gelen Global Radyasyon (H_β) Hesabı

$$H_\beta = I_\beta + I_r + H_{\beta dif} \quad \textbf{(3.10)}$$

Eğimli yüzeye gelen global radyasyon; eğimli yüzeye gelen direkt radyasyon, eğimli yüzeye gelen difüz radyasyon ve yerden yansıyan radyasyon olmak üzere üç bileşenin toplamı olarak ifade edilmektedir (Iqbal, 1983).

Bu çalışmada eğimli yüzeye gelen global radyasyonu hesabı için (3.11) numaralı Klein 1977 modeli kullanılmıştır.

$$H_\beta = I \cdot R_b + H_{dif}\left(\frac{1 + cos\beta}{2}\right) + H \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - cos\beta}{2}\right) \quad \textbf{(3.11)}$$

H_{dif}, yatay yüzeydeki difüz radyasyon, H_β, eğik yüzeye gelen global radyasyon, β değeri ise güney bakan yüzeyler için yüzeyin yatay ile yaptığı açı ve ρ, yüzeyin albedo değeridir. Bu çalışmada albedo değeri çim yüzey için olan 0.18 değeri gözönüne alınmıştır.

3.2.2.1 Eğimli Yüzeye Gelen Direkt Radyasyonun (I_β) Hesabı

Burada, I yatay düzleme gelen direkt ışını ifade eder.

$$I_\beta = I \cdot R_b \quad \textbf{(3.12)}$$

3.2.2.2 Eğik Yüzeye Gelen Difüz Radyasyon Bileşeninin Hesabı

Eğimlı yüzeye gelen difüz radyasyon hesaplamalarında izotropik ve anizotropik saçılma koşullarında kullanılan farklı modeller gözönüne alınmaktadır. Bu çalışmada, eğimli yüzeye gelen difüz radyasyon izotropik ve anizotropik saçılma koşullarında iki farklı model kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve mukayese edilmiştir.

İzotropik modellerde atmosferdeki saçılmanın tüm yönlerde eşit olduğu varsayılmıştır. Bu koşuldaki saçılma temiz atmosfer koşullarında, sadece hava moleküllerinin meydana getirdiği saçılma ile örtüşmektedir. Anizotropik saçılma ise açısal olarak saçılma şiddetinin eşit olmadığı saçılmadır ve aerosollerin ve bulutların olduğu bir atmosfer için seçilmektedir. Bu saçılma gerçek atmosferik saçılmaya daha yakındır. Bu yüzden çalışmada her iki model de değerlendirilmiş fakat anizotropik modeller kullanılarak yapılan sonuçlar yorumlanmıştır.

İzotropik modeller daha çok açık gökyüzü için iyi sonuç verirler. Anizotropik modeller ise güneye bakan yüzeylerde açık ve yarı açık atmosfer koşullarında iyi sonuç vermez ama tamamen bulutlu atmosfer koşullarında difüz radyasyon hesabında iyi sonuçlar verir. Anizotropik model daha konservatiftir ve bulutlu gökyüzü için iyi sonuç verir (Harrison and Coombes, 1988).

Bu çalışmada, Liu ve Jordan (1962) izotropik Modeli kullanılmıştır (3.13). İzotropik modeller gökyüzünden gelen difüz radyasyonun eşit bir biçimde saçıldığını kabul ederler. Bu formüle göre difüz radyasyon sadece eğim açısına bağlıdır. Basit ve uygulaması kolay olduğu için çok kullanılır. Fakat, güneş radyasyonunun atmosferdeki dağılımını oldukça basitleştirdiği için aktüel meteorolojik datalar ile yapılan hesaplara göre biraz daha az doğruluk gösterir. 1982 de Jimenez ve Castro, atmosferde difüz radyasyon dağılımının anizotropik olduğunu göstermiş ve güneye bakmayan yüzeylerde uygulandığında, Liu ve Jordan modelinin doğruluğunu sorgulamışlardır (Wlodarczyk, 2009).

İzotropik model

$$H_{\beta dif} = \frac{1}{2} \cdot H_{dif}(1 + cos\beta) \tag{3.13}$$

Anizotropik model

$$H_{\beta dif} = H_{dif}\left\{\left[\frac{H - H_d}{H_0}\right] \cdot R_b + \frac{1}{2}(1 + cos\beta) \cdot \left[1 - \frac{H - H_d}{H_0}\right]\right\} \tag{3.14}$$

3.2.2.3 Eğimli Yüzeye Gelen Yansıyan Bileşenin Hesabı

$$I_r = \frac{1}{2} \cdot H \cdot \rho \cdot (1 - cos\beta) \tag{3.15}$$

Burada, H, ölçülen global radyasyonu, $ı_r$, eğimli yüzeylerde yansıyan radyasyonu , ρ ise Albedo'yu ifade etmektedir.

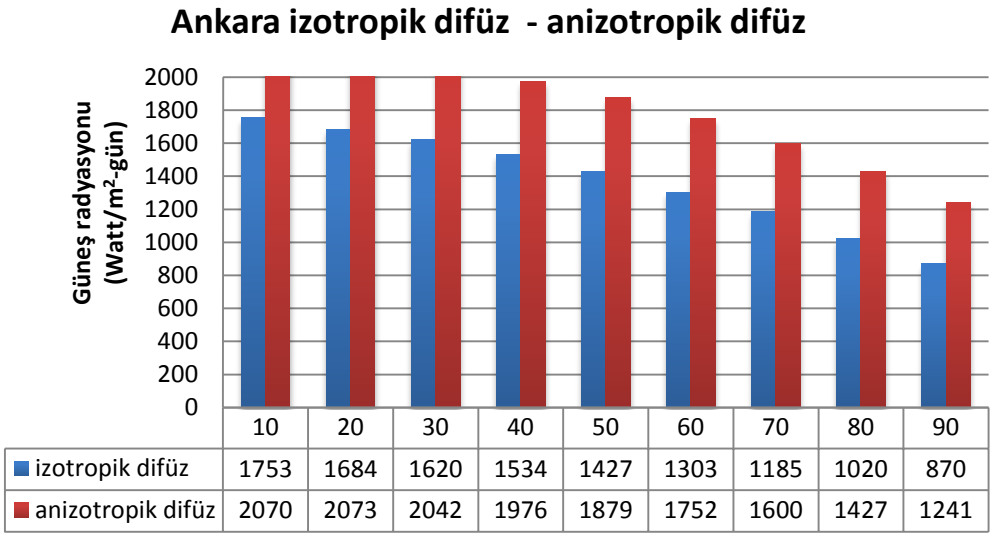
Bu bileşenin global radyasyon hesabında büyük bir etkisi yoktur. Bu konudaki ilk model çalışması Liu ve Jordan tarafından 1963 yılında yapılmıştır. $I_r=0.2 \bullet I$ şeklinde ifade edilen bu model albedometre ile ölçüm yapılamayan, albedo ölçümünün zor olduğu yerlerde kullanılmıştır. Buradaki 0.2 katsayısı yer, iklim, güneş geometrisi, mevsim ve benzeri hiç bir parametreye bağlı değildir (Wlodarczyk, 2009).

3.3 Sonuçların görselleştirilmesi ve yorumu

Güneş enerjisinden maksimum olarak istifade etmek, solar panellerin yönü ve eğim açısına bağlıdır. Eğim açısı paneller ile yatay düzlem arasındaki açıdır ve enleme bağlıdır. Kuzey yarım kürede maksimum radyasyon elde etmek için solar panellerin güneye yönelik olduğu bilinmektedir fakat yine de bu konuda çok farklı öneriler vardır. Enleme bağlı olarak en uygun açı tespitleri yapan modeller güneşli iklimlerde direkt ışının daha fazla olduğunu doğrulamıştır. Sık sık bulutlu hava koşullarında ise difüz radyasyon daha önemlidir, direkt radyasyon azalmaktadır (Armstrong ve Hurley, 2009). Literatürde de en yüksek radyasyon alan yüzey eğiminin enlem açısına yakın olduğu, kışın bu eğim açısının enlem açısından 15 derece fazla, yazın ise enlem açısından 15 derece eksik olduğu yaklaşık olarak kabul edilmektedir (Bulut, t.y).

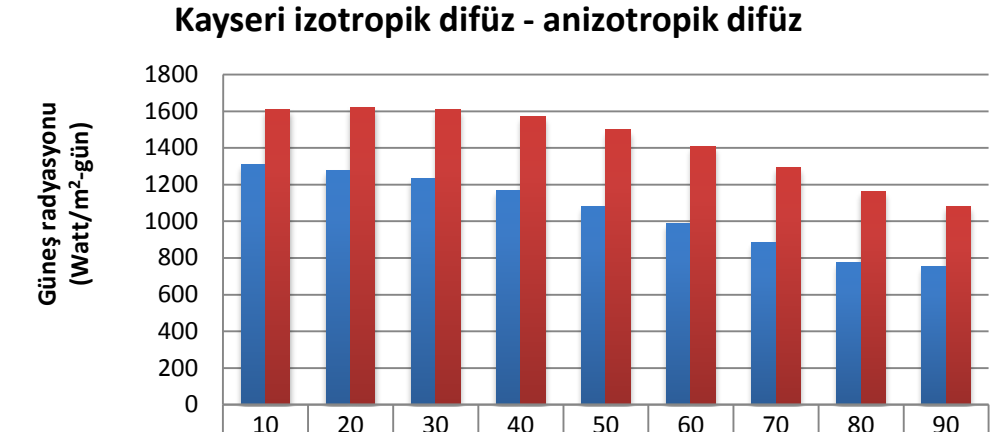
Bu çalışmada, yukarıda ayrıntıları verilen eşitlikler kullanılarak Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman istasyonları için sözkonusu yıllarda, güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen direkt, difüz, yansıyan ve global radyasyon değerleri hem izotropik hem de anizotropik saçılma koşullarında hesaplanmış fakat gerçek atmosfer koşullarına daha yakın olduğu için anizotropik saçılma koşullarındaki global radyasyon değerleri ve tüm istasyonlar için en yüksek radyasyon değerlerinin elde edildiği 30 derece eğimli yüzeye gelen radyasyon miktarları yorumlanmıştır. Sonuçlar görselleştirilerek aşağıda grafikler ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

Şekil 3.9 - Şekil 3.12 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarında elde edilmiş difüz radyasyon değerleri arasındaki farkı göstermektedir. Anizotropik koşullardaki saçılma her yöne farklı şiddette olan saçılmadır ve gerçek atmosfer koşullarına daha yakındır. Atmosferde bulunan aerosol, toz, bulutlar ve benzeri parametreler tarafından radyasyon her yöne saçılmaktadır. Anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyon miktarı izotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyondan daha yüksektir.



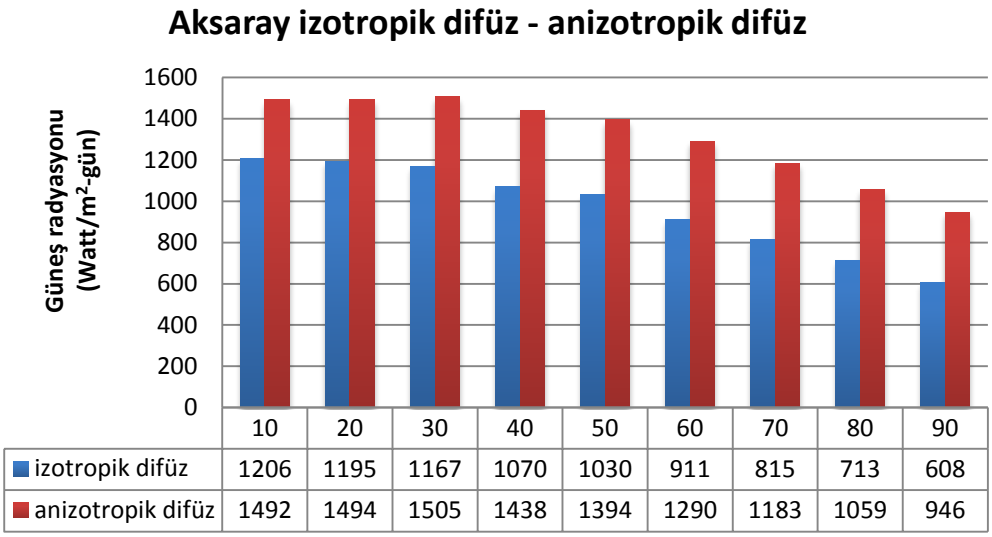
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik difüz	1753	1684	1620	1534	1427	1303	1185	1020	870
anizotropik difüz	2070	2073	2042	1976	1879	1752	1600	1427	1241

Şekil 3.9: Ankara için 2010-2013 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri



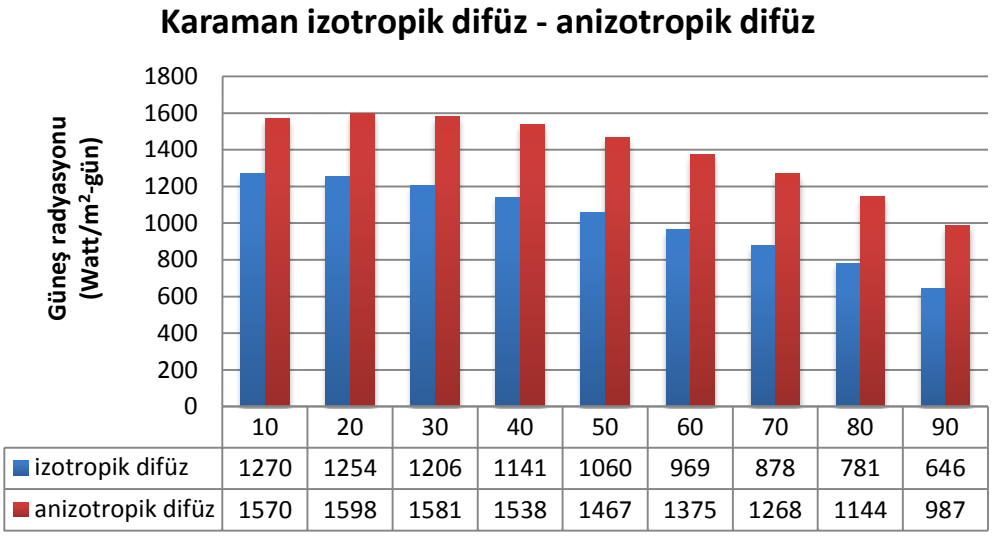
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik difüz	1308	1279	1232	1166	1081	989	885	775	755
anizotropik difüz	1607	1622	1612	1570	1498	1408	1293	1163	1079

Şekil 3.10: Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri



	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik difüz	1206	1195	1167	1070	1030	911	815	713	608
anizotropik difüz	1492	1494	1505	1438	1394	1290	1183	1059	946

Şekil 3.11: Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri

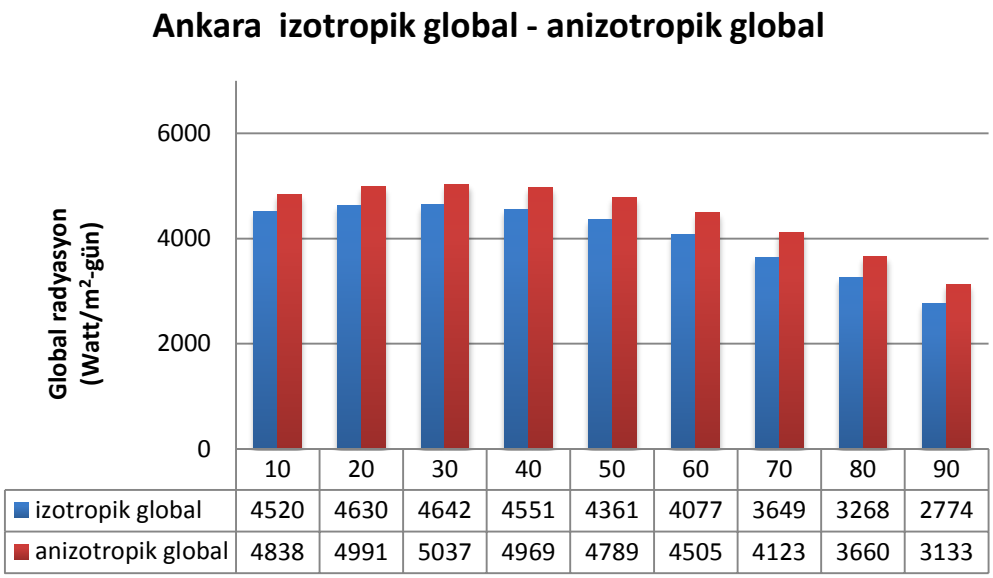


	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik difüz	1270	1254	1206	1141	1060	969	878	781	646
anizotropik difüz	1570	1598	1581	1538	1467	1375	1268	1144	987

Şekil 3.12: Karaman için 2007-2013 yıllarına ait izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki difüz radyasyonun 10-90 derece eğimli yüzeylerdeki değerleri

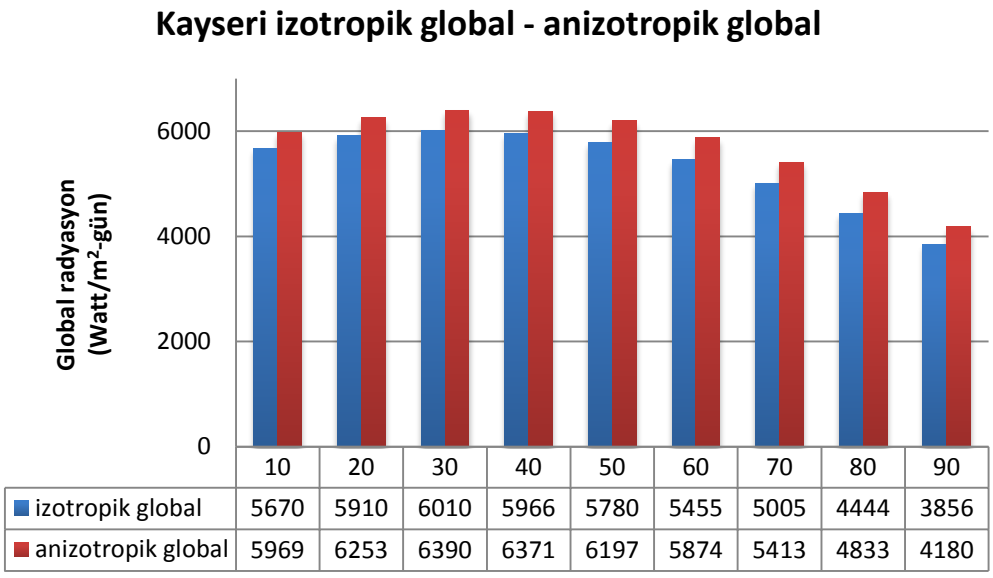
Şekil 3.9 - Şekil 3.12 Söz konusu yıllarda, 30 derece eğimli yüzeyde gelen radyasyon değerlendirildiğinde, anizotropik saçılma koşullardaki difüz radyasyonun, izotropik difüz radyasyona göre Ankara'da %26; Kayseri'de %31; Aksaray'da %29 ve Karaman'da %31 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3.13 - Şekil 3.16, Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait güneye bakan eğimli yüzeyler için hesaplanan ve anizotropik saçılma koşullarında elde edilmiş global radyasyon değerleri arasındaki farkı göstermektedir. Anizotropik koşullardaki saçılma her yöne farklı şiddette olan saçılmadır ve bu gerçek atmosfer koşullarına daha yakındır. Atmosferde bulunan aerosol, toz, bulutlar ve benzeri parametreler tarafından radyasyon her yöne saçılmaktadır.



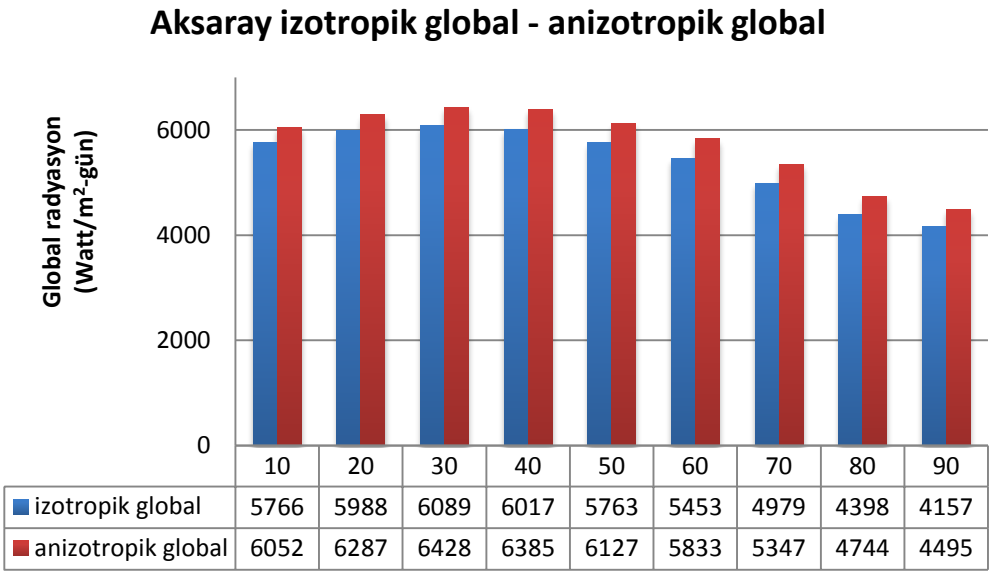
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik global	4520	4630	4642	4551	4361	4077	3649	3268	2774
anizotropik global	4838	4991	5037	4969	4789	4505	4123	3660	3133

Şekil 3.13: Ankara için 2010-2013 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri.



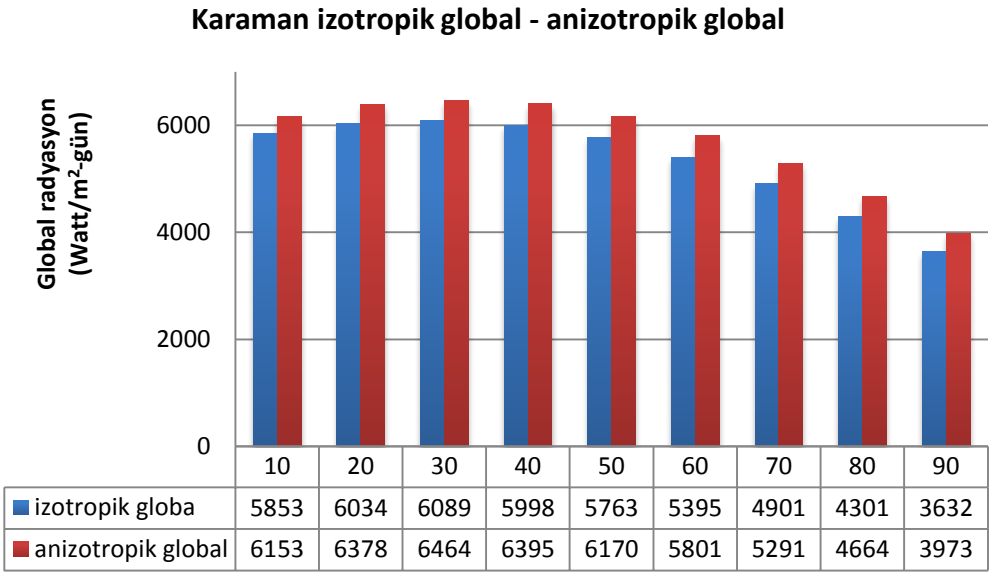
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik global	5670	5910	6010	5966	5780	5455	5005	4444	3856
anizotropik global	5969	6253	6390	6371	6197	5874	5413	4833	4180

Şekil 3.14: Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri.



	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik global	5766	5988	6089	6017	5763	5453	4979	4398	4157
anizotropik global	6052	6287	6428	6385	6127	5833	5347	4744	4495

Şekil 3.15: Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri.

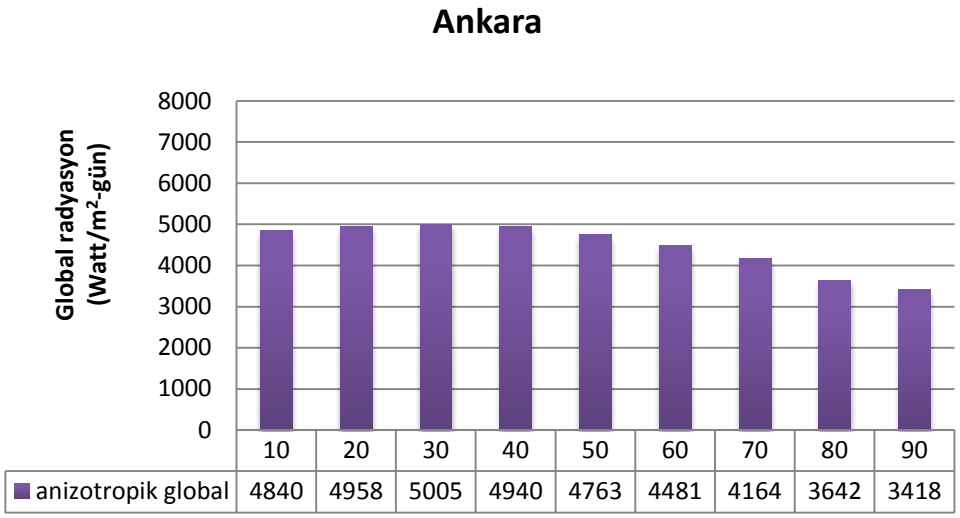


	10	20	30	40	50	60	70	80	90
izotropik globa	5853	6034	6089	5998	5763	5395	4901	4301	3632
anizotropik global	6153	6378	6464	6395	6170	5801	5291	4664	3973

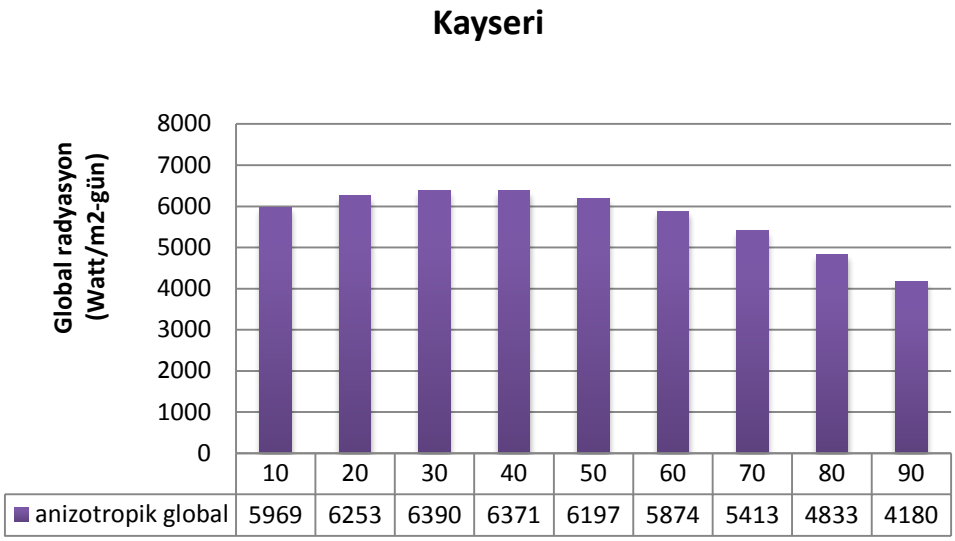
Şekil 3.16: Karaman için 2007-2013 yıllarına ait eğimli yüzeylere gelen izotropik ve anizotropik global radyasyon değerleri.

Şekil 3.13 - Şekil 3.16'da görüldüğü gibi her istasyon için hesaplanan anizotropik saçılma koşullarındaki global radyasyon miktarı, izotropik saçılmaya göre daha fazladır. Bu durumdaki difüz radyasyon miktarı daha yüksek olduğu için global radyasyon miktarı da daha fazladır. Anizotropik saçılma koşullarındaki global radyasyonun izotropik koşullardakine göre artışı, söz konusu dönemler için 30 derece eğimli yüzey için hesaplandığında Ankara'da %8,5; Kayseri'de %6,3; Aksaray'da %5,6 ve Karaman'da %6,2 olarak tespit edilmiştir.

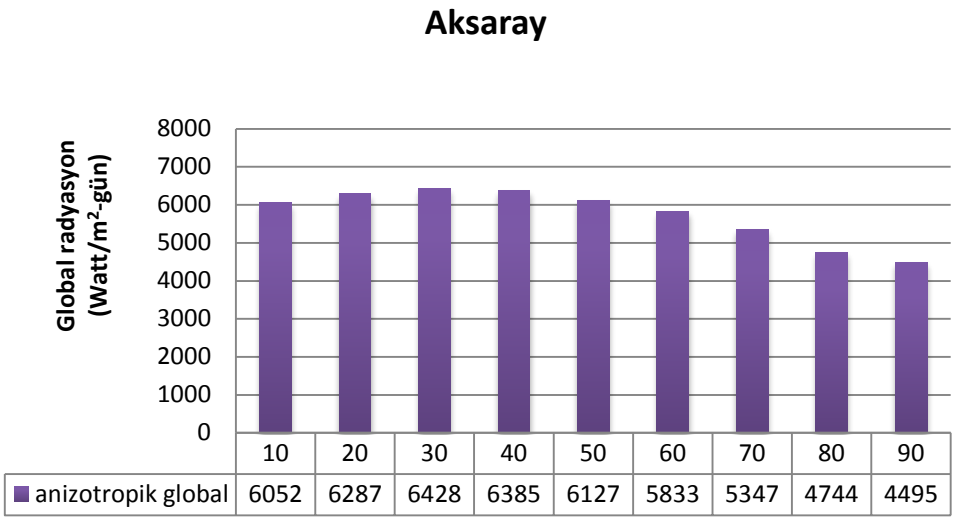
Şekil 3.17 - Şekil 3.20'de, Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanmış yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri görülmektedir.



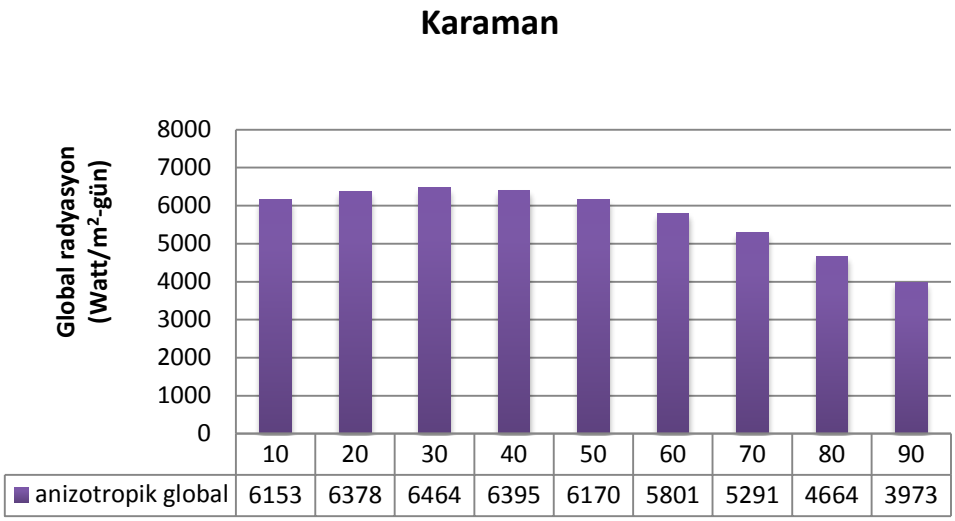
Şekil 3.17: Ankara için 2010-2013 yıllarına ait, yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



Şekil 3.18: Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



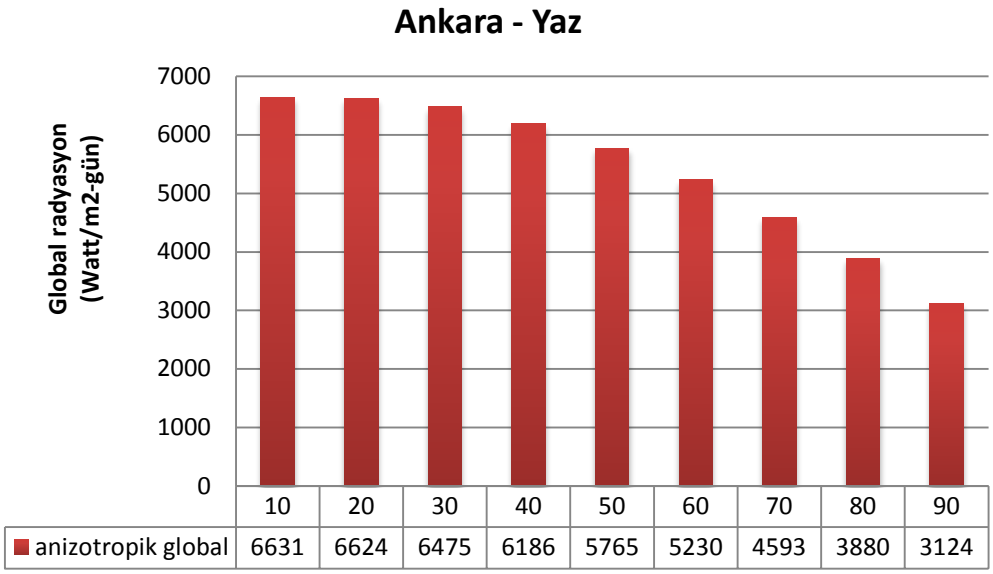
Şekil 3.19: Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



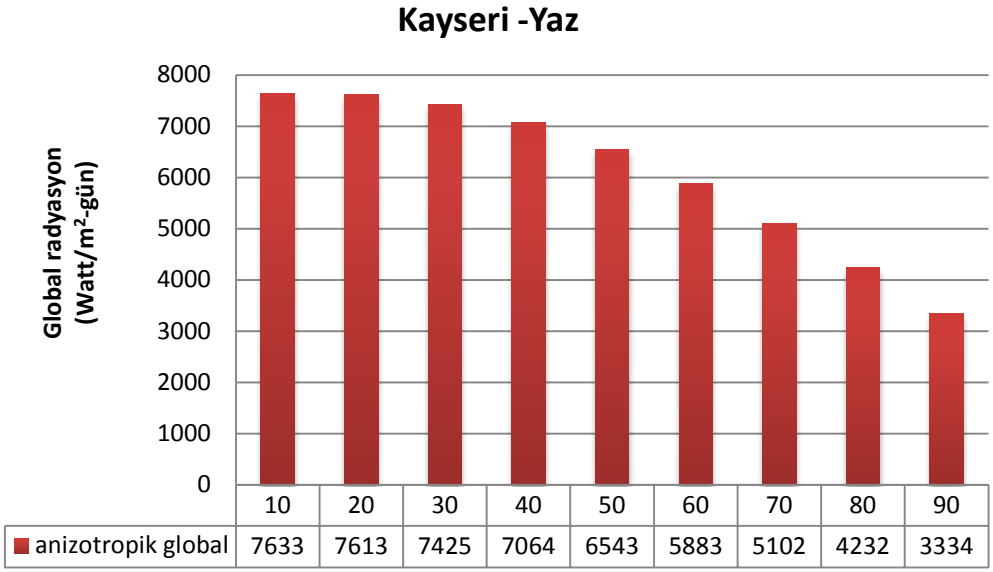
Şekil 3.20: Karaman için 2007-2013 yıllarına ait, yıllık ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.

Şekil 3.17 - Şekil 3.20'dan görüleceği üzere, güneye bakan 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan en yüksek global radyasyon söz konusu dönemlerde, Ankara'da 5005 Watt/m^2-gün, Kayseri'de 6390 Watt/m^2-gün, Aksaray'da 6428 Watt/m^2-gün, Karaman'da 6464 Watt/m^2-gün olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerin daha küçük enlemlere gidildikçe, kuzeyden güneye arttığı görülmektedir.

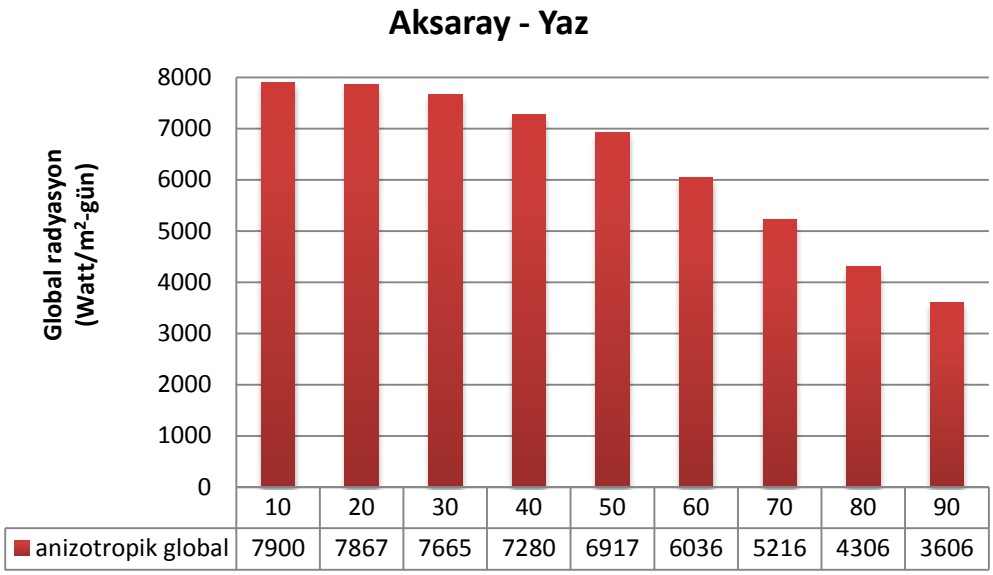
Şekil 3.21 - Şekil 3.24 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarının yaz aylarına ait güneye bakan 10 ila 90 derece eğimli yüzeylerde hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerini göstermektedir.



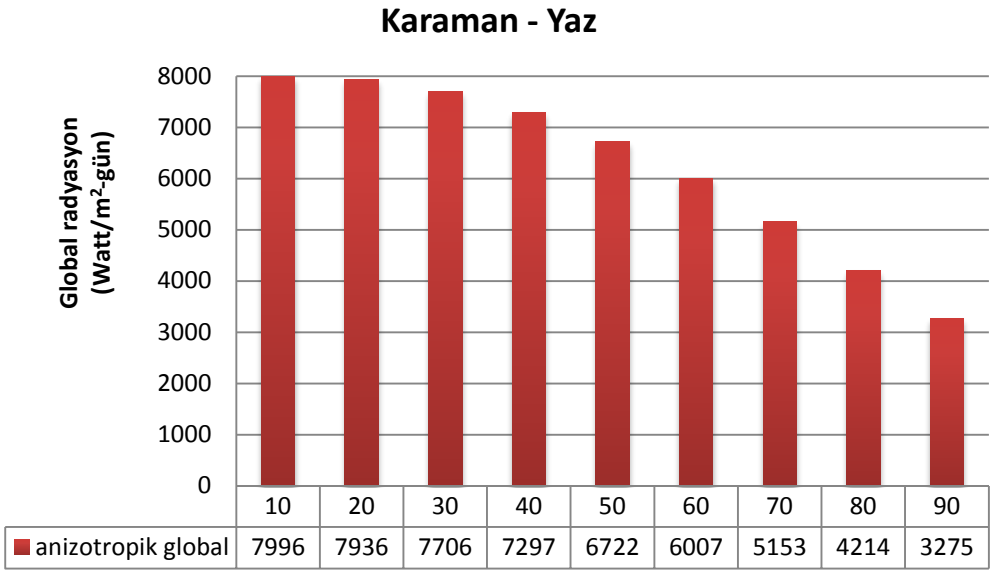
Şekil 3.21: Ankara için 2010-2013 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



Şekil 3.22: Kayseri için için 2007-2010 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



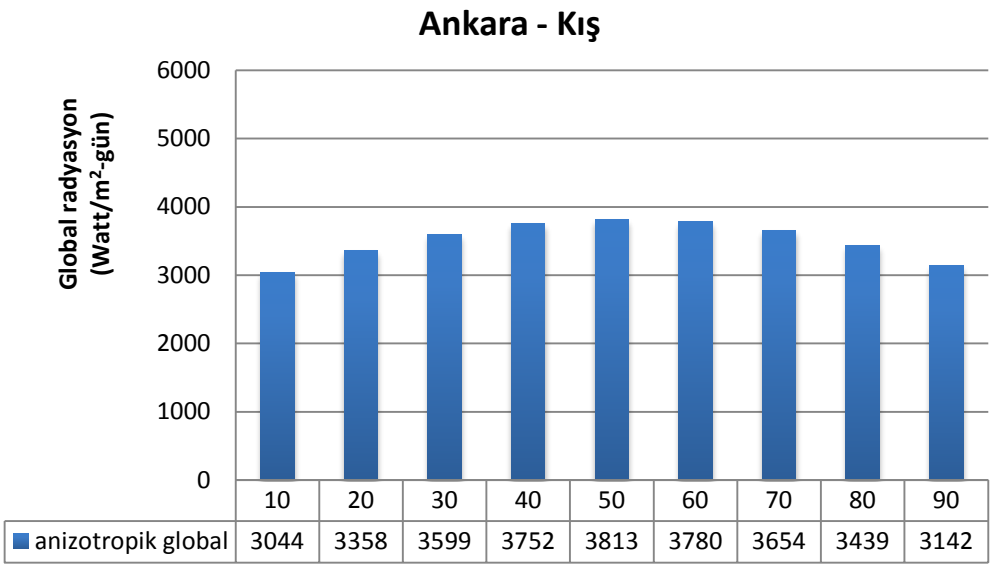
Şekil 3.23: Aksaray için 2007-2013 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



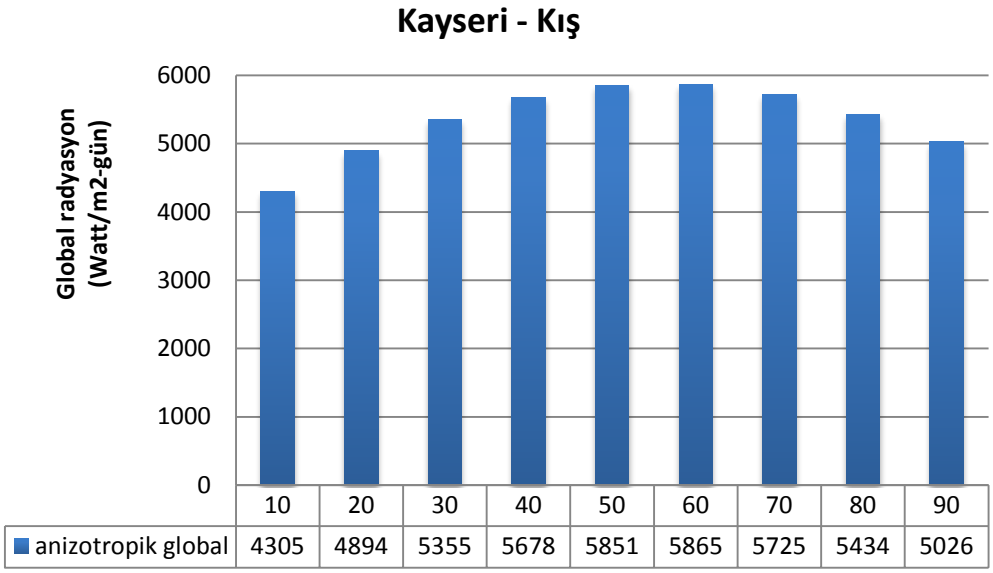
Şekil 3.24: Karaman için 2007-2013 yılları yaz aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.

Şekil 3.21 - Şekil 3.24'de görüldüğü gibi Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman'da söz konusu yılların yaz ayları için hesaplanan anizotropik global radyasyon miktarlarının en fazla 10 derece eğimli yüzeye, en düşük anizotropik global radyasyon miktarlarının ise bütün istasyonlar için 90 derece eğimli yüzeye geldiği görülmüştür. Yaz aylarında eğimi az olan yüzeye gelen radyasyon miktarı daha fazladır.

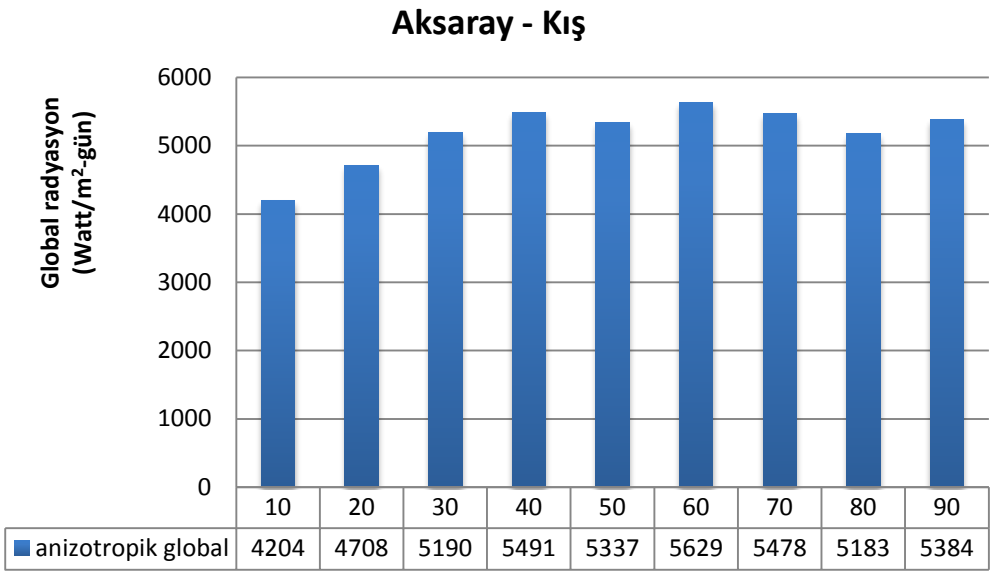
Şekil 3.25 - Şekil 3.28 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Kayseri için 2007-2013 yıllarının kış aylarına ait güneye bakan 10 ila 90 derece eğimli yüzeylerde hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerini göstermektedir.



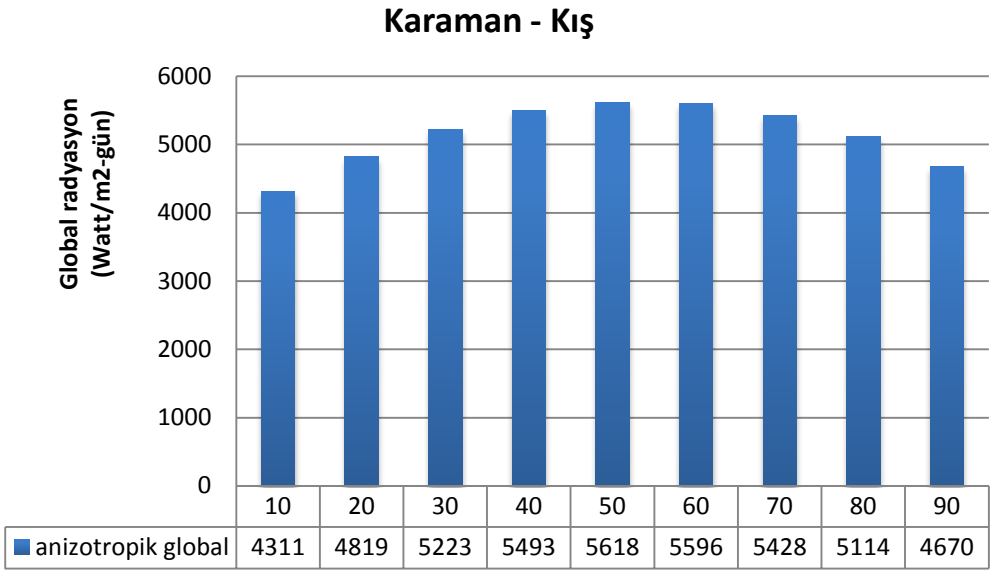
Şekil 3.25: Ankara için 2010-2013 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



Şekil 3.26: Kayseri için 2007-2010 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



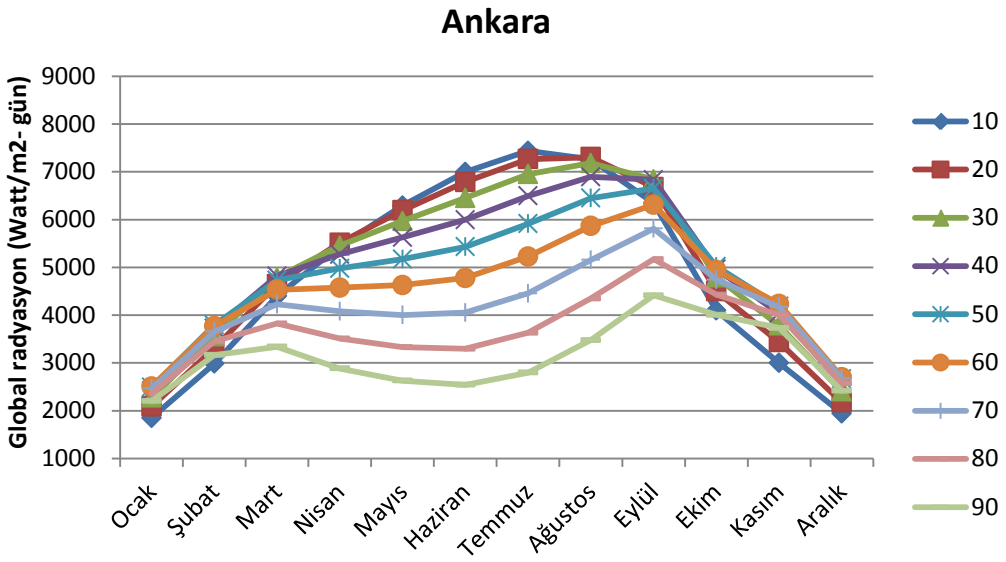
Şekil 3.27: Aksaray için 2007-2013 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.



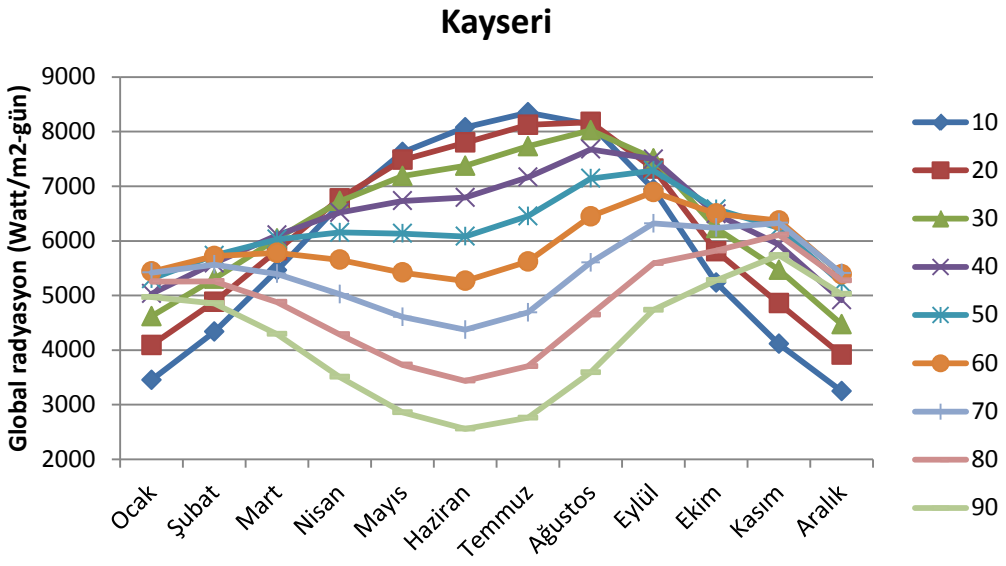
Şekil 3.28: Karaman için 2007-2013 yılları kış aylarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerleri.

Şekil 3.25 - Şekil 3.28'de görüldüğü gibi Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman'da söz konusu yılların kış ayları için hesaplanan en yüksek anizotropik global radyasyon değeri Ankara ve Karaman'da 50 derece eğimli yüzeyde, Kayseri ve Aksaray'da 60 derece eğimli yüzeylerde elde edilmiştir. Bu durum kış ayları için eğim açısının artmasıyla birlikte gelen radyasyonun da arttığını göstermektedir.

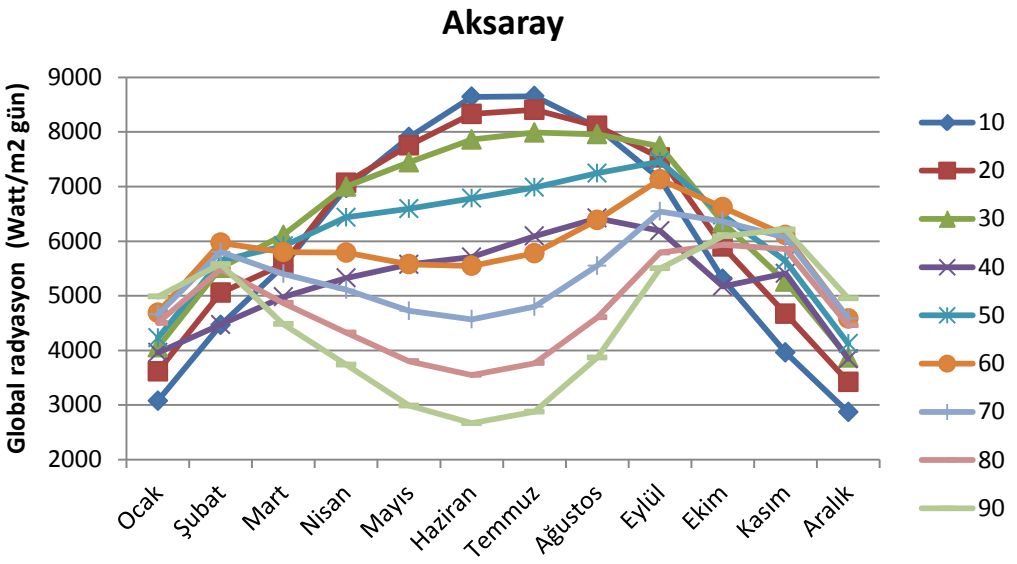
Şekil 3.29 - Şekil 3.32 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman illeri için 2007-2013 yıllarına ait ortalama anizotropik global radyasyon değerlerinin güneye bakan eğimli yüzeylerde 10 ila 90 derece eğim açılardaki yıllık değişimini göstermektedir.



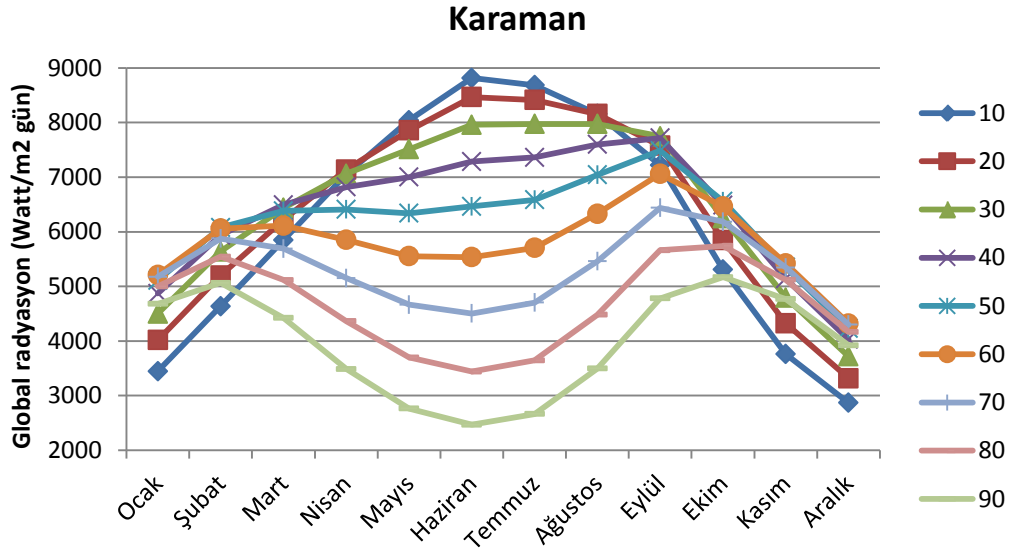
Şekil 3.29: Ankara için 2010-2013 yıllarına ait 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi.



Şekil 3.30: Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait, 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi.



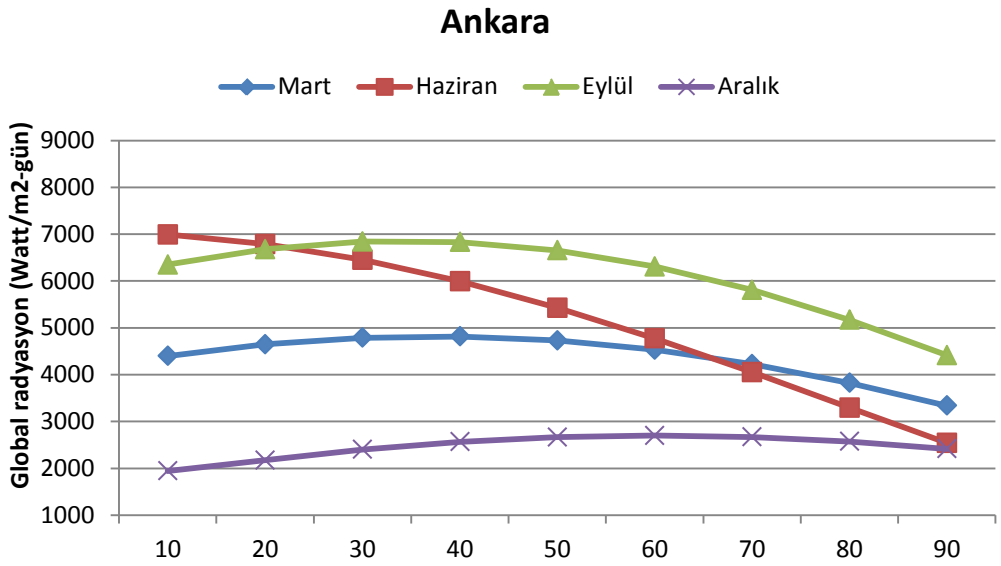
Şekil 3.31: Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi.



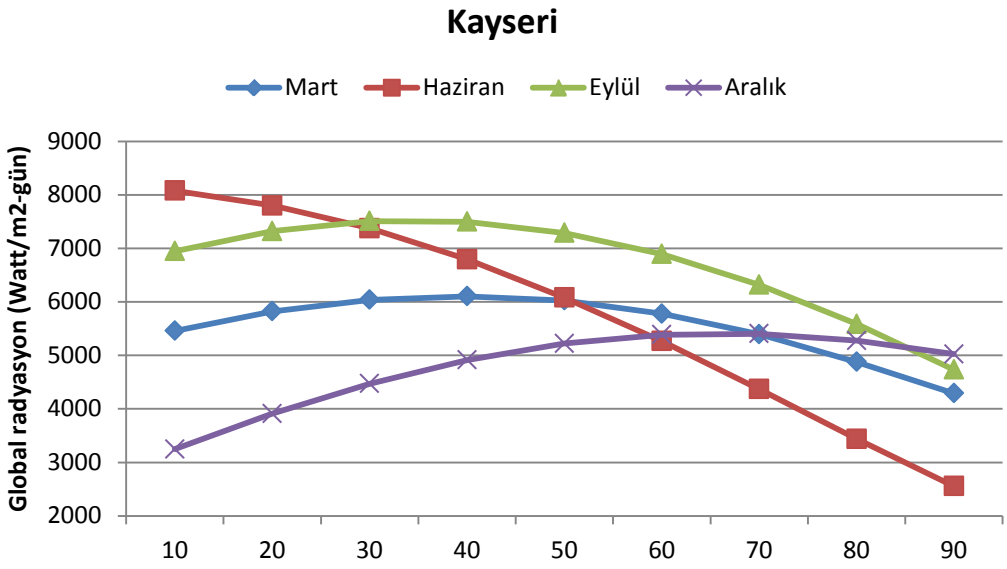
Şekil 3.32 : Karaman için 2007-2013 yıllarına ait 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi.

Şekil 3.29- Şekil 3.32'den görüleceği gibi, yaz aylarında, yüzeyin eğimi arttıkça aylık ortalama günlük radyasyon değerleri azalmaktadır. Kış aylarında ise güneşin yörüngesinin ufka daha yakın olması nedeniyle eğim açısı yüksek olduğunda radyasyon değerlerinin arttığı görülmektedir.

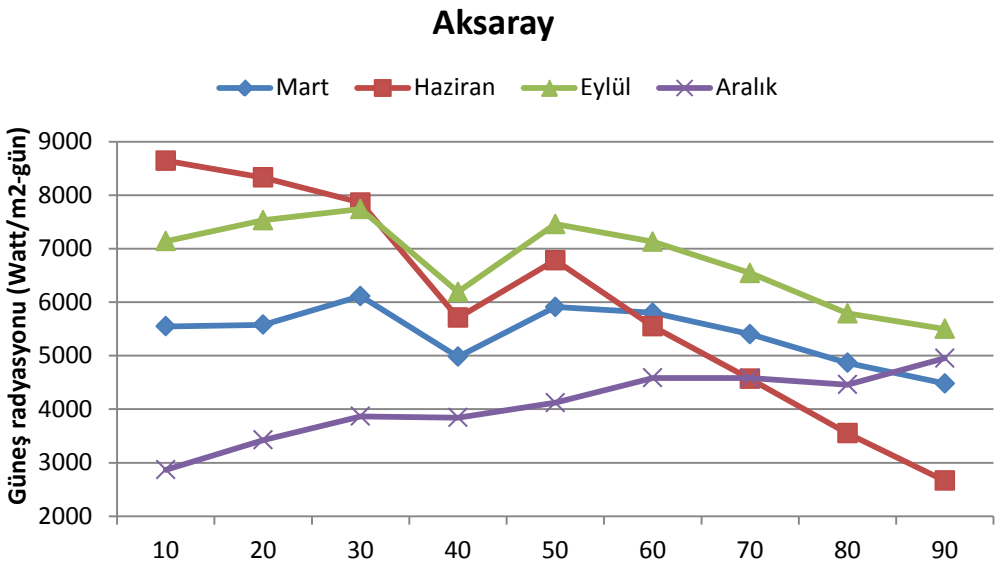
Şekil 3.33 - Şekil 3.36'da Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait, güneye bakan eğimli yüzeyler için hesaplanan Mart, Haziran, Eylül ve Aralık ayları değerlerinin 10-90 derece açılar için değişimi görülmektedir.



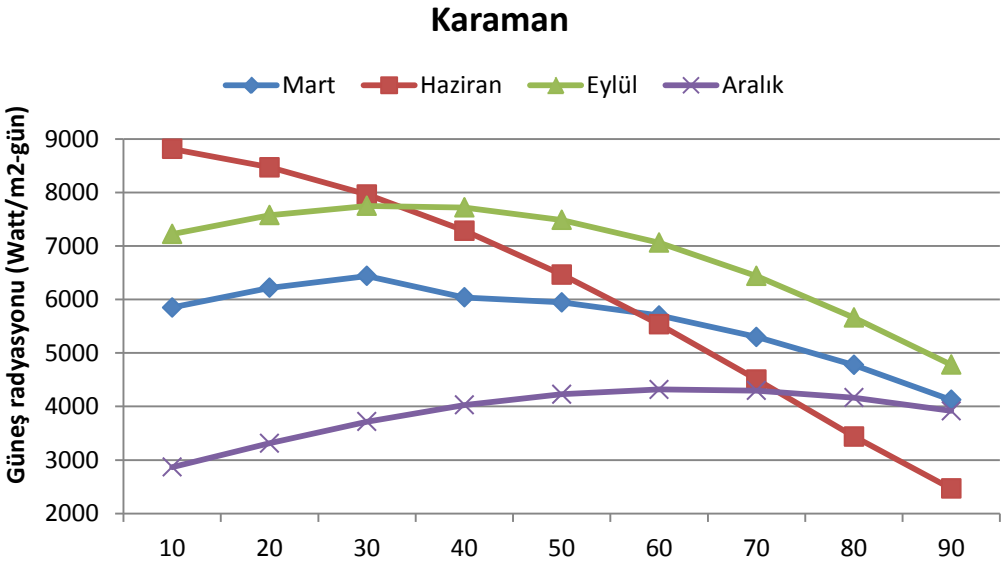
Şekil 3.33: Ankara için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri.



Şekil 3.34: Kayseri için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri.



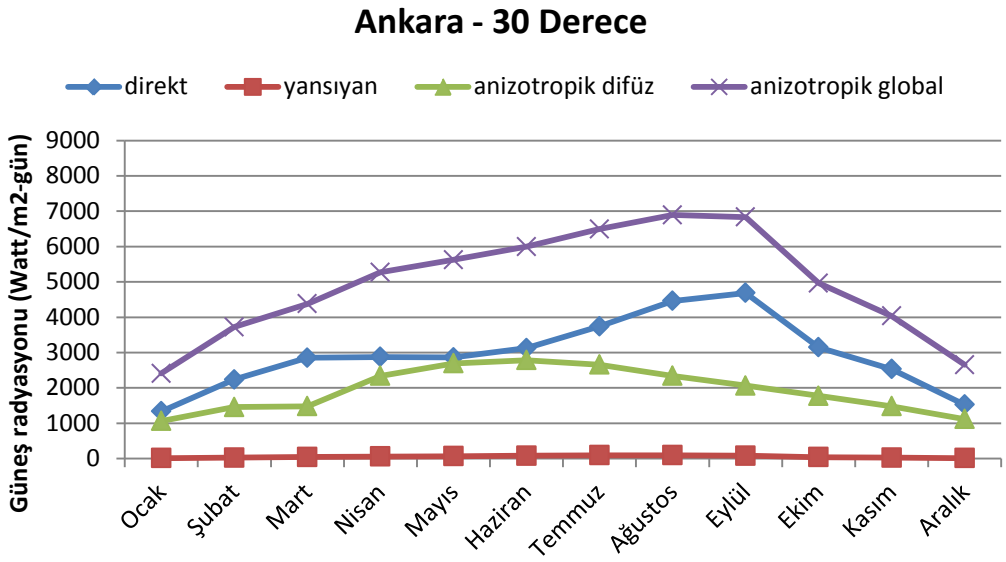
Şekil 3.35: Aksaray için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri.



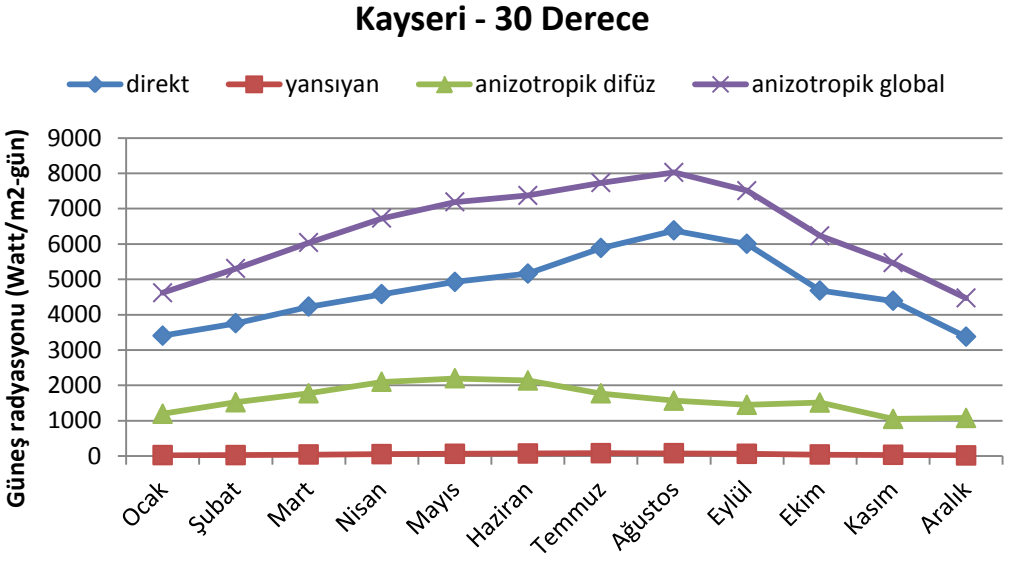
Şekil 3.36: Karaman için Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarına ait anizotropik global radyasyon değerleri.

Şekil 3.33- Şekil 3.36'da tüm istasyonlar için söz konusu yıllarda Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarındaki durum incelendiğinde, Mart ve Aralık aylarında yüzey eğiminin yüksek olduğu durumlarda global radyasyonun daha yüksek, Haziran ve Eylül aylarında ise eğimin düşük olduğu durumlarda global radyasyonun daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum yıl boyunca güneşin yörüngesindeki değişimle ilgilidir. Yazın güneşin zenit açısı daha düşük olduğundan yatay yüzeye daha fazla güneş radyasyonu ulaşacaktır. Kışın ise aksi durum söz konusudur.

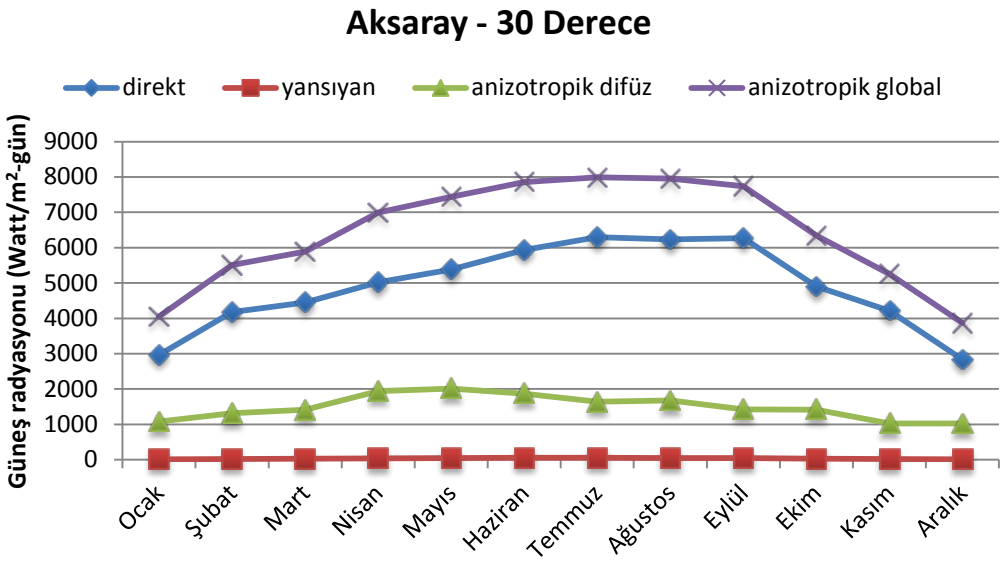
Şekil 3.37 – Şekil 3.40 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait en yüksek radyasyon temin edilen güneye bakan 30 derece eğimli yüzeye gelen direkt, yansıyan, anizotropik difüz ve anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık değişimini göstermektedir.



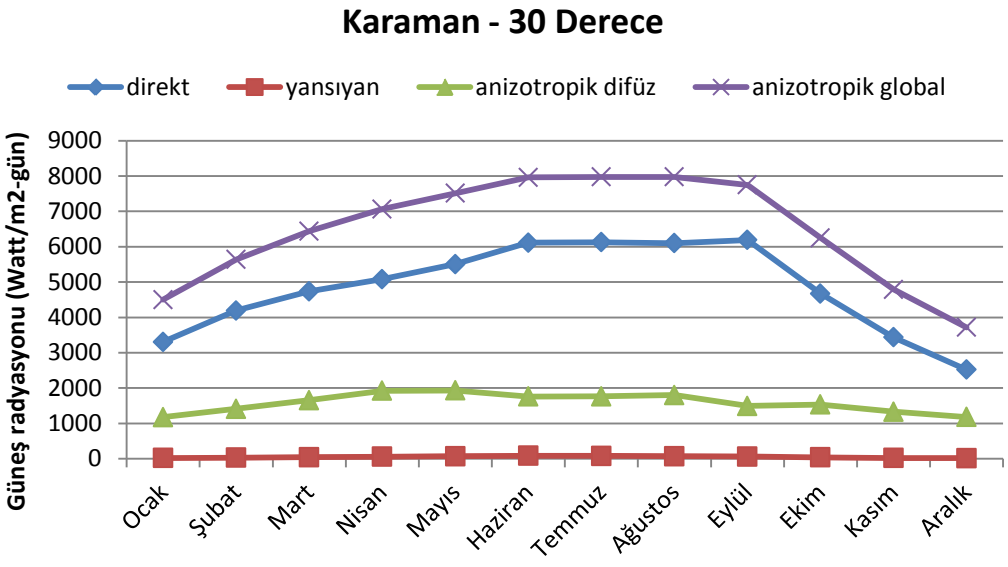
Şekil 3.37: Ankara için 2010-2013 yıllarına ait anizotropik saçılma koşullarında güneye bakan 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan güneş radyasyonu değerleri.



Şekil 3.38: Kayseri için 2007-2010 yıllarına ait, 30 derece eğimli yüzeye gelen direkt, yansıyan, difüz ve global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi.



Şekil 3.39: Aksaray için 2007-2013 yıllarına ait 30 derece eğimli yüzeye gelen direkt, yansıyan, difüz ve global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi.



Şekil 3.40: Karaman için 2007-2013 yıllarına ait 30 derece eğimli yüzeye gelen direkt, yansıyan, difüz ve global radyasyon değerlerinin yıllık değişimi.

Şekil 3.37 - Şekil 3.40 incelendiğinde, enleme bağlı olarak en uygun açı tespitleri yapan modeller güneşli iklimlerde direkt ışının daha fazla olduğunu doğrulamıştır. Sık sık bulutlu hava koşullarında ise difüz radyasyon daha önemlidir, direkt radyasyon azalmaktadır (Armstrong ve Hurley, 2009). Literatürde de en yüksek radyasyon alan yüzey eğiminin enlem açısına yakın olduğu, kışın bu eğim açısının enlem açısından 15 derece fazla, yazın ise enlem açısından 15 derece eksik olduğu yaklaşık olarak kabul edilmektedir (Bulut, t.y). Yansıyan bileşen değerlerinin diğer

bileşenlere göre çok daha az olduğu görülmektedir. Fakat uygulamada, özellikle Almanya'da bu bileşeni arttıracak çift yüzlü sistemler geliştirilerek daha fazla miktarda global radyasyon elde edilmektedir.

Çizelge 3.3 - Çizelge 3.7 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait, güneye bakan 10 ila 90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan anizotropik global radyasyon değerlerinin yıllık dağılımını göstermektedir.

İşaretlenen değerler her yıla ait maksimum değerleri göstermekte ve çizelgeye bakıldığında, bu değerlerin kış aylarında yüksek açılara, yaz aylarında ise düşük açılara denk geldiği görülmektedir.

Çizelge 3.3: Ankara için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon (Watt/m^2-gün)

Açı	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10	1849	2984	4398	5450	6292	6994	7438	7264	6349	4095	2998	1943
20	2086	3311	4648	5512	6192	6786	7267	7306	6678	4497	3431	2173
30	2274	3558	4789	5452	5969	6452	6952	7183	6841	4790	3783	2402
40	2410	3720	4817	5272	5626	5995	6495	6894	6833	4965	4035	2565
50	2487	3791	4729	4975	5173	5429	5913	6449	6654	5016	4188	2665
60	2504	3769	4530	4575	4627	4776	5225	5865	6310	4941	4233	2700
70	2460	3654	4225	4081	4004	4053	4453	5155	5811	4743	4170	2669
80	2357	3450	3824	3509	3328	3295	3629	4349	5172	4428	4001	2573
90	2198	3163	3338	2882	2630	2542	2796	3477	4415	4006	3730	2414

Çizelge 3.4: Kayseri ili için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon (Watt/m^2-gün)

Açı	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10	3450	4333	5459	6666	7623	8078	8351	8131	6947	5234	4110	3247
20	4089	4881	5822	6775	7482	7799	8124	8174	7322	5808	4854	3911
30	4619	5303	6039	6726	7185	7374	7732	8024	7509	6230	5467	4471
40	5030	5591	6105	6517	6731	6794	7167	7676	7499	6492	5935	4913
50	5305	5732	6028	6154	6134	6081	6455	7143	7289	6581	6240	5222
60	5435	5721	5778	5652	5420	5266	5621	6446	6894	6497	6372	5387
70	5419	5565	5395	5021	4606	4371	4689	5604	6320	6238	6328	5405
80	5255	5262	4879	4286	3728	3438	3702	4647	5587	5822	6110	5275
90	4969	4856	4293	3508	2858	2556	2759	3592	4734	5277	5737	5025

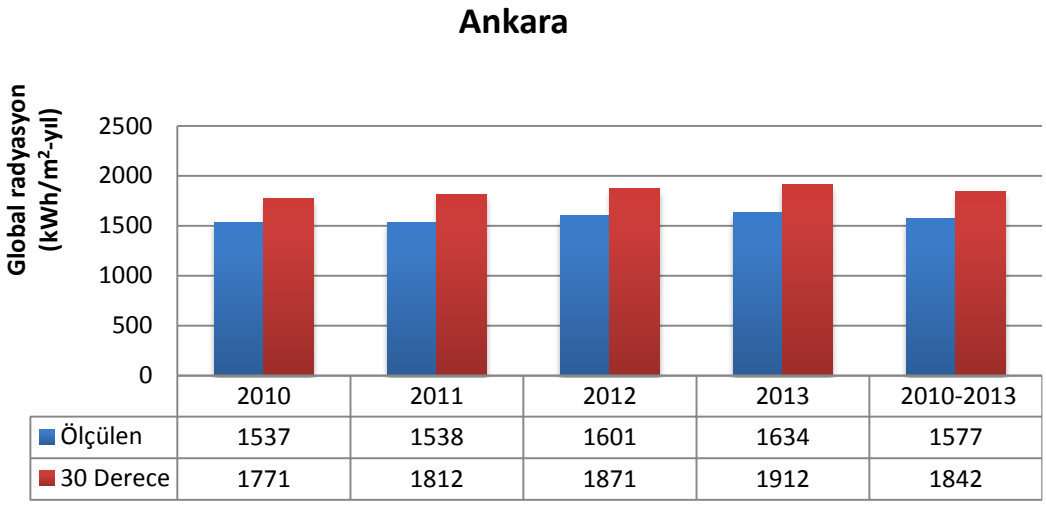
Çizelge 3.5: Aksaray için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon (Watt/m^2-gün)

Açı	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10	3076	4464	5547	6973	7905	8644	8655	8083	7139	5310	3960	2867
20	3615	5056	5578	7069	7756	8329	8406	8111	7530	5903	4672	3423
30	4054	5508	5887	6998	7443	7860	7990	7958	7741	6342	5257	3867
40	4377	5808	6232	6744	6960	7224	7403	7614	7732	6608	5698	4214
50	4230	5644	5910	6437	6594	6783	6984	7246	7459	6477	5640	4121
60	4688	5970	5801	5792	5577	5548	5779	6389	7131	6621	6112	4583
70	4656	5802	5400	5111	4723	4567	4800	5551	6544	6361	6066	4582
80	4500	5487	4867	4325	3799	3549	3766	4603	5790	5933	5854	4458
90	4985	5580	4481	3738	2989	2665	2877	3867	5500	6091	6213	4952

Çizelge 3.6: Karaman için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen aylık ortalama günlük global radyasyon (Watt/m^2-gün)

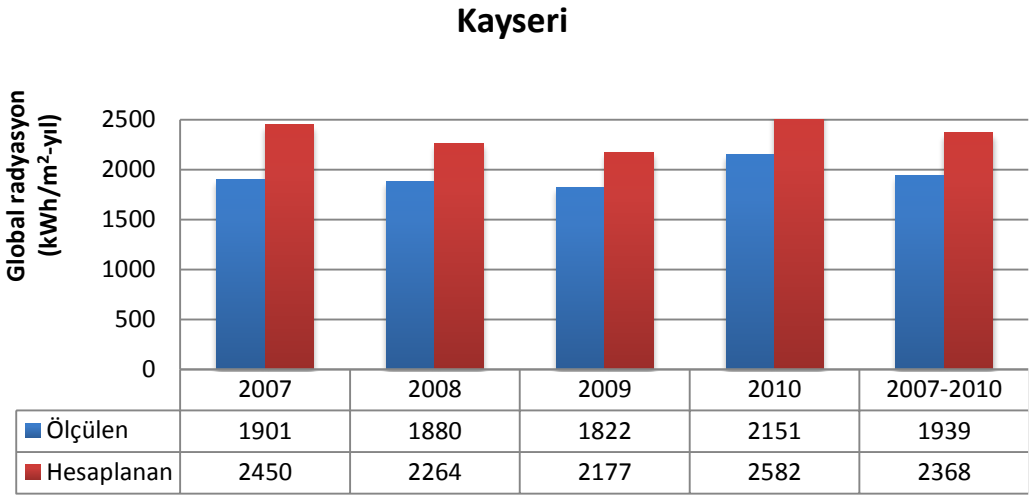
Açı	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10	3446	4637	5850	7053	8041	8815	8686	8157	7221	5308	3759	2868
20	4016	5197	6218	7140	7858	8469	8414	8157	7577	5847	4323	3315
30	4502	5639	6438	7065	7512	7961	7975	7974	7750	6249	4793	3717
40	4871	5937	6038	6819	7000	7285	7361	7599	7718	6490	5140	4027
50	5109	6078	5946	6409	6339	6466	6586	7044	7487	6560	5349	4228
60	5210	6057	5700	5852	5554	5535	5706	6331	7062	6463	5418	4318
70	5174	5876	5299	5152	4664	4504	4703	5459	6439	6183	5345	4299
80	4998	5546	4775	4362	3696	3439	3644	4481	5661	5740	5120	4167
90	4680	5064	4124	3486	2762	2467	2662	3496	4781	5169	4767	3919

Şekil 3.41 - Şekil 3.44 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan anizotropik saçılma koşullarındaki yıllık ortalama global radyasyon miktarlarını göstermektedir.



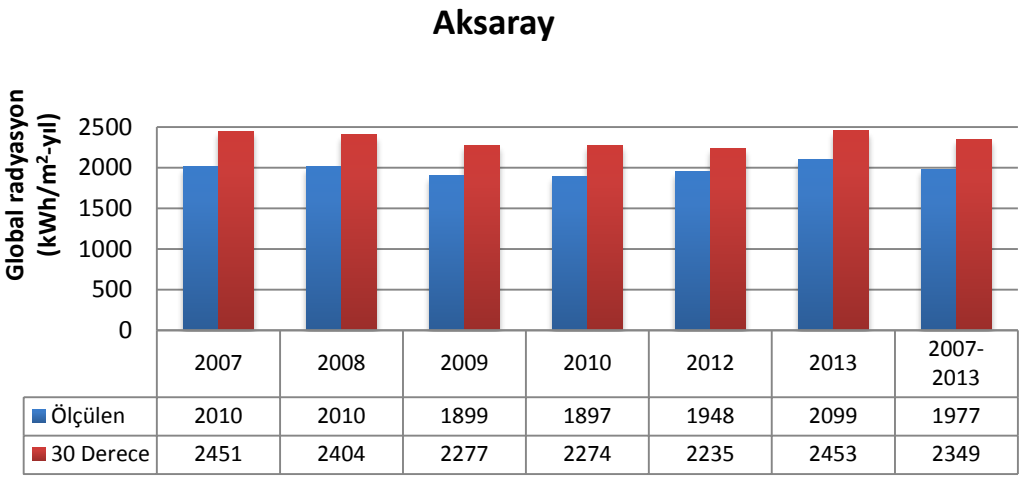
	2010	2011	2012	2013	2010-2013
Ölçülen	1537	1538	1601	1634	1577
30 Derece	1771	1812	1871	1912	1842

Şekil 3.9: Ankara için 2010-2013 yılları arasında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan global radyasyon değerleri.

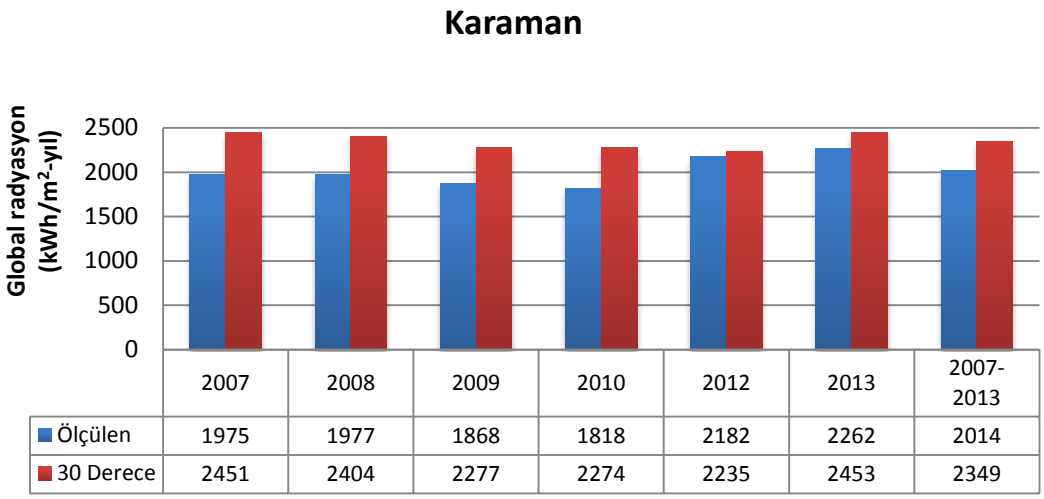


	2007	2008	2009	2010	2007-2010
Ölçülen	1901	1880	1822	2151	1939
Hesaplanan	2450	2264	2177	2582	2368

Şekil 3.10: Kayseri için 2007-2010 yılları arasında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan global radyasyon değerleri.



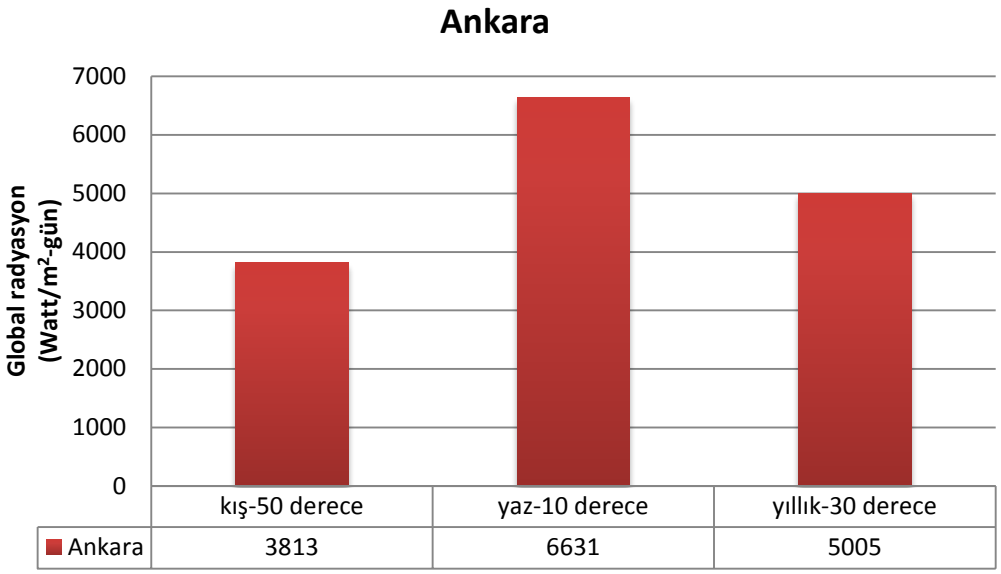
Şekil 3.11: Aksaray için 2007-2013 yıllarında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzeyde hesaplanan radyasyon değerleri.



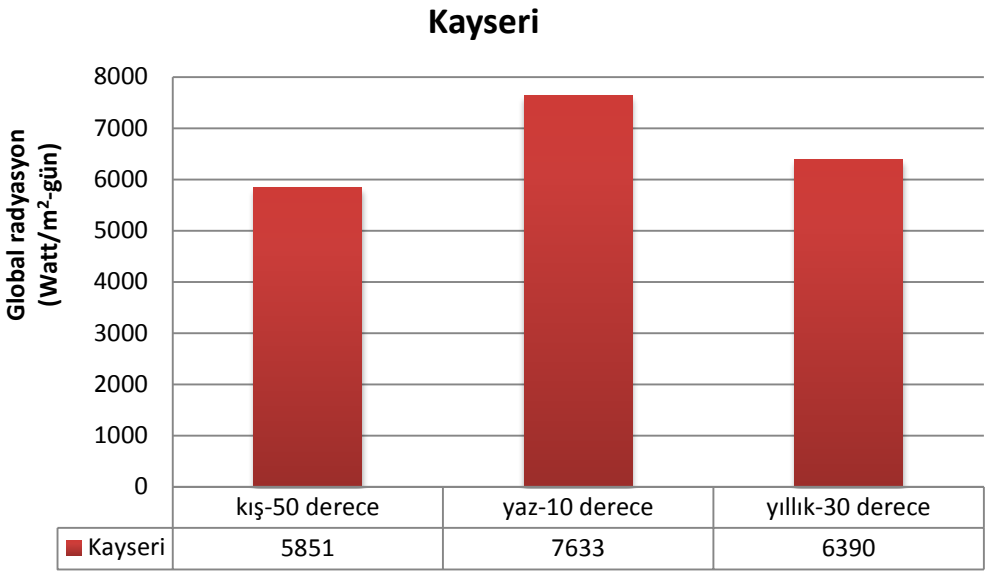
Şekil 3.12: Karaman için 2007-2013 yıllarında yatay yüzey için ölçülen ve 30 derece eğimli yüzey için hesaplanan global radyasyon değerleri.

Şekil 3.41 - Şekil 3.44'de görüldüğü gibi; anizotropik saçılma koşullarında güneye bakan 30 derece eğimli yüzeye gelen global radyasyonun, yatay yüzey için ölçülen global radyasyona göre Ankara'da %16,8; Kayseri'de %20,4; Aksaray'da %18,8 ve Karaman'da radyasyonun %17,2 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

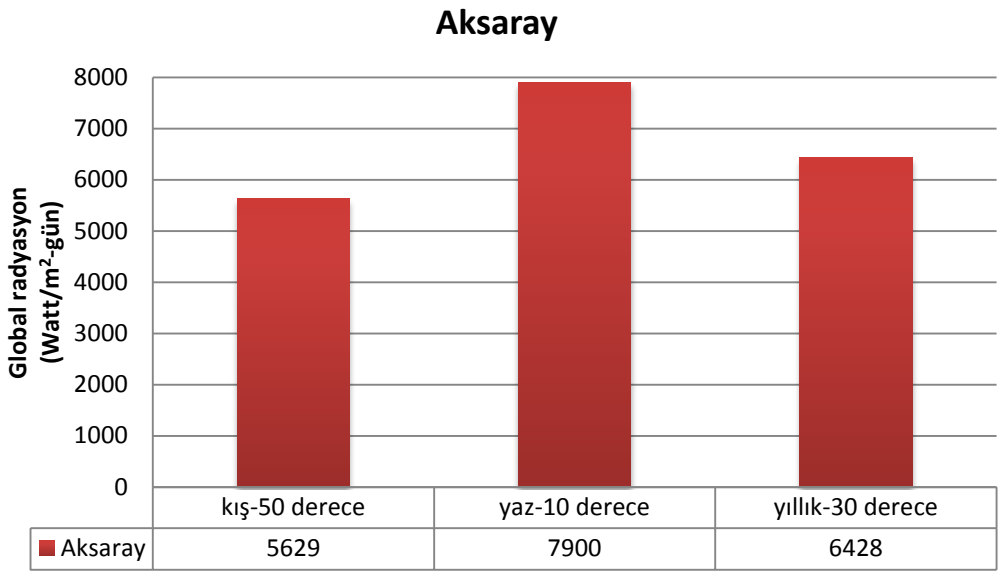
Şekil 3.45 - Şekil 3.48 Ankara için 2010-2013, Kayseri için 2007-2010, Aksaray ve Karaman için 2007-2013 yıllarına ait yıllık toplam, kış ve yaz aylarına ait anizotropik saçılma koşullarındaki en yüksek global radyasyon değerlerini ve bunların hangi eğimlerde tespit edildiklerini göstermektedir.



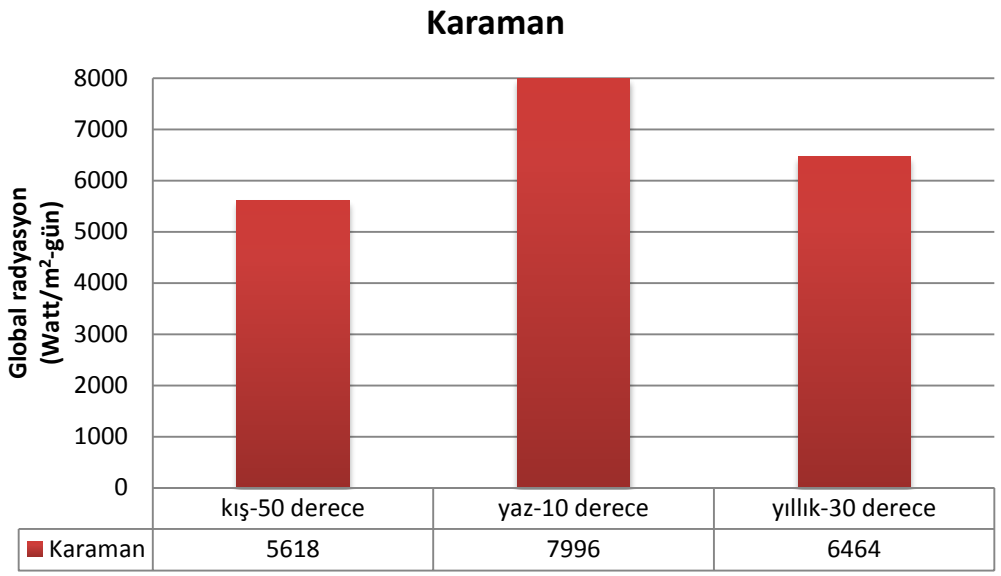
Şekil 3.46: Ankara için 2010-2013 yıllarında, güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik global radyasyon değerleri.



Şekil 3.47: Kayseri için 2007-2010 yıllarında 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik global radyasyon değerleri.



Şekil 3.48: Aksaray için 2007-2013 yıllarında 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik radyasyon değerleri.



Şekil 3.49: Karaman için 2007-2013 yıllarında 10-90 derece eğimli yüzeyler için hesaplanan en yüksek anizotropik global radyasyon değerleri.

Şekil 3.46 - Şekil 3.49'da görüldüğü üzere Ankara için yaz aylarında en yüksek global radyasyonun 10 derecede 6631 Watt/m^2-gün, kış aylarında en yüksek global radyasyonun 50 derecelik eğimde 3813 Watt/m^2-gün ve yıllık ortalama en yüksek global radyasyonun 30 derecede 5005 Watt/m^2-gün olduğu tespit edilmiştir.

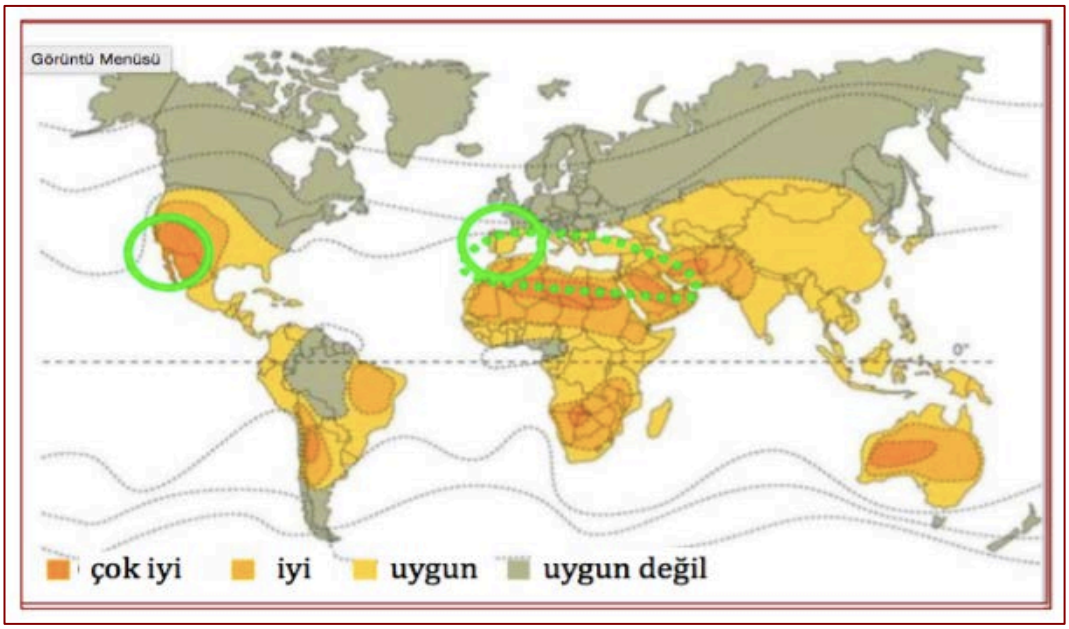
Kayseri için yaz aylarında en yüksek global radyasyonun 10 derecede 7633 Watt/m^2-gün, kış aylarında en yüksek global radyasyonun 60 derecelik eğimde 5851 Watt/m^2-

gün ve yıllık ortalama en yüksek radyasyonun 30 derecede 6390 Watt/m^2-gün olduğu tespit edilmiştir.

Aksaray için yaz aylarında en yüksek global radyasyonun 10 derecede 7900 Watt/m^2-gün, kış aylarında en yüksek global radyasyonun 50 derecelik eğimde 5629 Watt/m^2-gün ve yıllık ortalama en yüksek radyasyonun 30 derecede 6428 Watt/m^2-gün olduğu tespit edilmiştir.

Karaman için yaz aylarında en yüksek global radyasyonun 10 derecede 7996 Watt/m^2-gün, kış aylarında en yüksek global radyasyonun 50 derecelik eğimde 5618 Watt/m^2-gün ve yıllık ortalama en yüksek global radyasyonun 30 derecede 6464 Watt/m^2-gün olduğu tespit edilmiştir

3.4 Diğer Ülkelerle Karşılaştırma



Şekil 3.50: Akdeniz güneş enerisi kuşağı (Aşker, 2012).

Türkiye'nin güneş radyasyonu değerleri Akdeniz ülkeleri arasında en fazla İspanya ve Portekiz ile benzerlik göstermektedir (Aşker, 2012).

Ramiro ve diğ. (t.y.) İspanya'da 52 bölgede 0-90 derece açılar için yaptıkları çalışmada, en uygun eğim açısının enlem derecesine en yakın olduğunu ve bu açıların 30 ila 45 derece arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Kazadzis ve diğ. (t.y.) Yunanistan'da Pentelh istasyonunda (38,05 derece enlem) yaptıkları çalışmada, en yüksek radyasyonun 38 derecelik açıda geldiğini tespit etmişlerdir.

Hassan ve diğ. (2013), Tripoli (32,97 derece enlem) için yaptıkları çalışmada, maksimum radyasyon alan eğim açısının enlem açısına eşit olduğunu, kış ayları için enlem açısından 18 ila 21 derece daha büyük eğim açılarının, yaz aylarında ise enlem açısından 19 ila 23 derece daha eksik eğim açılarının en fazla radyasyon aldığını tespit etmişlerdir.

Bulut (2009), için yaptığı çalışmada en uygun eğim açısının yaz ayları için 5-15 derece, kış ayları için 50-60 derece ve Nisan ve Eylül için 20-30 derece arasında değiştiğini göstermiştir.

Çelik (2006), 1995-2000 yılları verilerini kullanarak Ankara için yaptığı çalışmada, 2010 yılı için en uygun eğim açısının 39 derecede, en düşük eğim açısının Haziran ayında 6,7 derece, en yüksek eğim açısının ise Kasım ayında 65 derecede olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada yıllık ortalama global radyasyon 1509-1566 kWh/m^2-yıl olarak belirlenmiştir. 2010-2013 yıllarına ait olan bu çalışmada bulunan 1577 kWh/m^2-yıl değeri biraz daha yüksektir.

Bakırcı (2012), Adana, Ankara, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir, Samsun ve Trabzon için yaptığı çalışmada 0-90 derece arasındaki açıları 1'er derece arttırmak suretiyle hesaplamış ve optimum eğim açısının yıl boyunca 0 ila 60 derece arasında değiştiğini tespit etmiştir. Bu açının Haziran'da 0 derece ile minimumda ve radyasyon miktarının ise maksimumda olduğunu tespit etmiştir.

Bulut (2008), Adana için yaptığı çalışmada, 0-90 derece arasında 5'er derece aralıklarla değiştirdiği açılar için hesaplamalar yapmış ve yaz ayları için en uygun açının 5-15 derece arasında olduğunu, kış ayları için 50-60 derece ve Nisan ve Eylül için ise 30 derecenin en uygun açı olduğunu göstermiştir.

Yukarıda sözüedilen çalışmalar, bu çalışmada bulunan sonuçlarla uyum gösterecek niteliktedir.

4. SONUÇLAR

Son yıllarda, dünyada olduğu gibi ülkemizde de güneş enerjisinden yararlanılan sistemlere ilgi artmıştır. Güneş enerjisinin kullanım alanı gittikçe genişlemekte ve özellikle elektrik enerjisi üretimindeki payı artmaktadır. Devlet sektörü, özel sektör, üniversiteler ve bu konuda çalışmalar yapan bilim insanları tarafından konuyla ilgili fizibilite raporları hazırlanıp, alt yapılar tesis edilmeye çalışılmaktadır.

Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde güneş radyasyonu bileşenlerinin ölçümü önemlidir. Yatay yüzeye gelen güneş enerjisi ölçülebilir ve tespiti kolaydır. Fakat eğimli yüzeylere gelen enerji yerin coğrafi konumuna, güneş geometrisine ve açılarına, dolayısıyla mevsimlere ve atmosferik koşullara göre değişmektedir ve bu değerler değişik modeller ve tahmin yöntemleri kullanılarak hesaplanır.

Türkiye konumu gereği güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir kuşakta yer almaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin üçüncü büyük enerji potansiyeline sahip olan İç Anadolu Bölgesinden seçilen enlem sırasına göre kuzeyden güneye Ankara, Kayseri, Aksaray ve Karaman istasyonları için güneye bakan 10-90 derece eğimli yüzeylere gelen direkt, difüz, yansıyan ve global güneş radyasyonu bileşenleri açılar 10 ar derece arttırılmak suretiyle hesaplanmıştır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından bölgeye arazi yapısı, topografik yapı ve enerji potansiyeli nedeniyle önemli teşvikler sağlanarak güneş enerjisinden elektrik üretim santrali kurulumu planlanmış ve yapımına başlanmıştır. Bu gayretler, fizibilite çalışmaları ve güneş enerjisi potansiyeli analizleriyle desteklendiği takdirde bölgenin geleceği için önemli gelişmelere neden olacaktır.

Çalışmada, her bir istasyon için önce atmosfer dışına gelen global radyasyon (H_0) hesaplanmıştır. Difüz radyasyon bileşenlerini hesaplayabilmek için açıklık indeksi ($K_T=H/H_0$) değerleri ve yatay düzleme gelen direkt ve difüz radyasyon değerleri izotropik ve anizotropik saçılma koşullarındaki farklı modeller kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, güneye bakan eğimli yüzeye gelen direkt,

difüz ve yansıyan radyasyon bileşenleri hesaplanmıştır. Global radyasyon değerleri, söz konusu istasyonlarda ve zaman diliminde 10^0 ila 90^0 arasındaki açılar, 10'ar derecelik aralıklarla değiştirilmek suretiyle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, görselleştirilerek grafikler ve tablolar halinde sunulmuş ve yorumlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda, bulundukları coğrafi konum nedeniyle bu illerimizde güneş enerjisi potansiyeli kuzeyden güneye inildikçe artmaktadır. Her dört istasyonda da ortalama birim alana düşen güneş enerjisi potansiyeli, 1500 kWh/m^2-yıl eşik değerinin oldukça üstündedir ve güneye bakan yüzeyler için değişik açılar kullanılarak yapılan bu hesaplamalar neticesinde bulunan değerler bu şehirler için yüksek bir potansiyel olduğunu göstermektedir. En fazla radyasyon elde edilen açılar mevsimlere göre değişiklik göstermektedir; Maksimum derecede radyasyon elde etmek için yaz aylarında daha düşük, kış aylarında ise daha yüksek açılar uygundur. Uygulamacıların ve yatırımcıların bu hususları gözönünde bulundurmaları gerekmektedir.

Gözönüne alınan 2007-2013 döneminde istasyonların zaman serilerine bakıldığında Kayseri için 2013 yılında, Aksaray ve Karaman için 2012 ve 2013 yıllarında önceki yıllara göre günlük global radyasyon değerlerinde önemli artış dikkati çekmektedir.

İç Anadolu Bölgesinde Karaman 2014 kWh/m^2-yıl ile en yüksek, Ankara ise 1577 kWh/m^2-yıl ile en düşük global radyasyon değerine sahiptir. Bölge ortalaması 1877 kWh/m^2-yıl'dır ve bu değer MGM'nin uzun yıllar ortalama değeri olan 1314 kWh/m^2-yıl değerinden %43 daha fazladır.

Yaz aylarında yüzeyin eğimi arttıkça aylık ortalama günlük radyasyon değerleri azalmakta, kış aylarında ise yüksek eğim açılarında global radyasyon değerleri artmaktadır. Bu sonuçlar güneşin mevsimlik yörüngesi ile uygunluk göstermektedir.

10 derecelik aralıklarla eğimli yüzeylere gelen global radyasyon hesaplamalarında tüm istasyonlar için maksimum global radyasyon değerinin güneye bakan 30 derece eğimli yüzeye geldiği belirlenmiştir. Yaz ayları için en uygun eğim açısı 10 derece, kış ayları için en çok radyasyon alan eğim açısı, Ankara ve Karaman için 50 derece, Kayseri ve Aksaray için 60 derece olarak tespit edilmiştir.

Bu ve benzeri hesaplamalar güneş enerjisi potansiyeli tespiti bakımından esastır fakat, uygulamacılar ve yatırımcılar açısından daha araştırılması gereken bir çok

husus vardır; Kurulum yapılacak olan bölgenin, en yakın elektrik dağıtım ve üretim bağlantı noktalarına olan mesafesi, çok düşük bir eğime sahip olması, sulama kapsamı dışında olması, toprak zemininin montaj durumuna uygunluğu önemlidir. Ayrıca bölgenin toz ve kirlilik gibi atmosferik koşulları ve iklimsel özellikleri incelenmiş, güvenlik faktörü sağlanmış, doğal ve yapay gölgelendirme şartları araştırılmış olmalıdır. Ayrıca güneş enerjisi kurulumunun yapılabilmesi için boyut olarak en az 18-20 dönümlük tarıma uygun olmayan boş araziler gerekmektedir.

Çok az bir güneş potansiyeline sahip olduğu halde, bugün Dünya'da güneş enerjisinden en fazla faydalanan ülkenin Almanya oluşu, bu konudaki bilgi ve teknolojinin önemini göstermektedir. Bu yüzden, bu çalışmada ve benzeri diğer çalışmalarda yapılan eğimli yüzeylere gelen radyasyon hesaplarının sonuçları, yukarıda saydığımız hususları ilgilendiren disiplinlerle ilgili kurum ve kuruluşlar ve bilim insanlarının yapacağı başka çalışmalarla birlikte ele alınarak, bir güneş ülkesi olan Türkiye'nin bu enerjiden her alanda maksimum düzeyde yararlanması temin edilmelidir.

KAYNAKLAR

Agarwal, A., Vashishtha, V. K., Mishra, S.N. (2012). Comparative Approach For The Optimization Of Tilt Angle To Receive Maximum Radiation, International Journal of Engineering Research and Technologie (IJERT), Vol.1 Isssue 5, July 2012.

Aggarwal, R. K. (2013). Estimation of Total Solar Radiation on Tilted Surface, Journal of Environmental Engineering and Technology, Vol.2 No.1, January 2013.

Ahmad, M. J. Ve Tiwari, G. N. (2009). Optimization of Tilt Angle for Solar Collector to Receive Maximum Radiation, , The Open Renewable Energy Journal, 2009, 2, 19-24.

Aksoy, U. T., Ekici, B. B. (2013). TS 825 İklimsel Verilerinin Farklı Derece Gün Bölgeleri İçin Uygunluğunun Değerlendirilmesi, , METU JFA, 2013/2 (30:2) 163- 179.

Armstrong, S. ve Hurley, W.G. (2010). A New Methodology to Optimise Solar Energy Extraction Under Cloudy Conditions, Renewable Energy 35 (2010) 780-787.

Arslan, E. (t.y). Coordinate Systems in Geodesy (t.y).

Aşker, M.; Solar Energy Potantial of Turkey (2012), General Directorate of Renewable Energy, Turkey.

Bakırcı, K. (2009). Yatay Yüzeye Gelen Anlık Global Güneş Işınımın Tahmini İçin Basit Bir Hesaplama Metodu, , Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29, 2, 53-58, 2009.

Bakırcı, K. (2012). General Models for Optimum Tilt Angles of Solar Panels: Turkey Case Study, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012.

Bakırcı, K. (t.y.). Optimum Toplayıcı Eğim Açısının Aylara Göre Değişimi, , Mühendislik ve Makina Dergisi, Cilt: 47 Sayı: 562

Basunia, MA., Yoshio, H. ve Abe, T. (2012). Simulation of Solar Radiation Incident on Horizontal and Inclined Surfaces, TJER 2012, Vol.9, No.2, 27-35.

Beyazit N. İ., Bulut H. (2012). Batman İli için Eğimli Yüzeylere Gelen ve Camdan Geçen Güneş ışınım Miktarının Analizi, Journal of Life Sciences, Volume 1, Number 2, (2012).

Bulut, H. (2008). Adana İlinde Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınım Miktarının Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim 2008, Adana.

Bulut, H.(2009). Bina Enerji Analizi ve Güneş Enerji Sistemleri İçin Eğimli Yüzeylere Gelen Toplam Güneş Işınım Şiddeti Değerlerinin Hesaplanması, Makina Mühendisleri Odası, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2009.

Çağlar, A., Yamalı, C., Baker, D. K., Kaftanoğlu, B. (2013). Measurement of Solar Radiation in Ankara, Turkey, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 33, 2, 135-142, 2013.

Çelik A. N. (2006). Analysis of Ankara's Exposure to Solar Radiation: Evaluation of Distributional Parameters Using Long-Term Hourly Measured Global Solar Radiation Data, Turkish J. Eng. Env. Sci. 30 (2006), 115-126, TUBİTAK.

Demain, C., Journee, M. ve Bertran, C. (2013). Evaluation of Different Models to Estimate The Global Solar Radiation on Inclined Surfaces, , Renewable Energy, 2013.

Duffie, A.J., Beckmann, A.W. (2013). Solar Engineering and Thermal Process, Fourth Edition, 2013 John Willey and Sons, Inc. Published 2013.

El-Sebaii, A. A., Al-Hazmi, F. S., Al-Ghamdi, A. A. ve Yaghmour, S. J. (2010). Global, Direct and Diffuse Solar Radiation on Horizontal and Tilted Surfaces in Jeddah, Applied Energy 87 (2010), 568-576.

Fawaz, S., Firas, A.A., Tariq, K. A. R. (2012). Tilt Angle Optimization of Solar Collectors for Maximum Radiation in Three Iraqi Cities, , International Journal of Engineering and Industries (IJEI) Vol. 3, No.4 December 2012.

Harrison, A.W. ve Coombes, C. A. (1988). Comparison of Model and Indirectly Measured Diffuse Sky Irradiances of Tilted Surfaces, Atmosphere-Ocean 26(27 1988, 193-202.

Hassan, Y.M., Dakhil M.A., ve Furawi O. M. (2013). Optimum Slope for Solar Insolation on a Surface Tilted Toward the Equator in Libya, Research Journal of Applied Sciences 8 (1): 22-26, 2013.

Heinemann D., (2012). Energy Meteorology, Lecture Notes, postgraduate Programme (Renewable Energy), Carl von Ossietzky Universitaet, Oldenburg 2000.

Ihya, B., Mechaqrane A., Tadili, R. ve Bargach, M. N. (2014). Optimal Tilt Angles For Solar Collectors Facing South At Fez City (Morocco), Journal of Natural Sciences Research, Vol.4, No.10, 2014.

Jakhrani, A. Q., Samo S. R., Rigit A.R.H. ve Kamboh, S. A. (2013). Selection of Models for Calculation of Incident Solar Radiation on Tilted Surfaces, , World Applied Sciences Journal 22 (9): 1334- 1343 , 2013.

Kamali, G. A., Moradi, I., ve Khalili, A. (2006). Estimating Solar Radiation on Tilted Surfaces with Various Orientations: A Study Case in Karaj (Iran), , Theorotical and Applied Climatology, 84, 235-241 (2006).

Kazadzis S., Raptis I.P., Psiloglou V., Kazantzidis A., Bais A. (t.y). Solar Radiation Measurement and Model Calculations at Inclined Surfaces.

Keskin, N., (2006). Türkiye'de Güneş Enerjisi Araştırma ve Geliştirme, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 91, s. 74-82, 2006

Khalil, S. A., Shaffie, A.M. (2013). A Comparative Study of Total, Direct and Diffuse Solar Irradiance by Using Different Models On Horizontal and Inclined Surfaces for Cairo- Egypt, , Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013.

Koç, E., Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu- Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 54, Sayı 639, s.32-44.

Kwanho Lee, Hochun Yoo, Geoff J.Levermore (2013). Quality Control and Estimation Hourly Solar Irradiation on Inclined Surfaces in South Korea, Renewable Energy, 2013.

Mengeş H.O. ve Sonmete M. H. (2005). Konya'da Aylık Ortalama Toplam Güneş Işınımının Tahmini İçin Mevcut Bazı Modellerin Karşılaştırılması, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2005,1 (3), 237-244.

Muzathik, A. M., Ibrahim, M.Z., Samo, K. B. ve Wan W.V. Nik (2013). Estimation of Global Solar Irradiation on Horizontal and Inclined Surfaces Based on The Horizontal Measurements, , Energy 2013.

Noorian, A. M., Isaac, M., Kamali, G.A. (2008). Evaluation of 12 Models to Estimate Hourly Diffuse Irradiation on Inclined Surfaces, , Renewable Energy 33 (2008) 1406-1412., 2008.

Ramiro A., Moral F.J., Masa F.J. ve Sorda A. (t.y). Statistical inter-comparison study of empirical models to estimate the monthly-average daily global irradiation on tilted south oriented surfaces.

Sönmezoğlu S., Köz B., Tozlu C. (2013). Karaman ili Enerji ihtisas Enerji Bölgesi İlanına Yönelik Fizibilite Çalışması, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, 2013

Wlodarczyk D. ve Nowak, H., (2009). Statistical Analysis of Solar Radiation Models onto Inclined Planes for Climatic Conditions of Lower Silesia in Poland, Wroclaw University of Technology, Wybrzeze Wyspianskiego 25, 50-370, Poland.

Wong, L.T., Chow, W. K. (2001). Solar Radiation Model, Applied Energy 69 (2001) 191-224.

World Energy Council (2009). Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi, 2009.

Yadav, A. K. ve Chandel, S.S. (2013). Tilt Angle Optimization to Maximize Incident Solar Radiation: A Review, , Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013.

Kıncay, O. (t.y.). Güneş Enerjisi Ders Notları.

Şahin, A. D. (t.y.). Güneş Enerjisi Ölçümleri ve Fizibilite Süreci,

Url-1 <www. alternatürk.org>, alındığı tarih: 23 Mayıs 2015.

Url-2 <http://www.iac.ethz.ch/edu/courses/bachelor/vertiefung/climate_systems/notizen/Solar-Radiation-Radiative-Transfer.pdf>, alındığı tarih: 12 Nisan 2015.

Url-3 <www.pveducation.com>**,** alındığı tarih: 22 Mayıs 2015.

Url-4 <www.susdesign.com>**,** alındığı tarih: 22 Mayıs 2015.

Url-5 <www.mazlumyolbas.com>**,** alındığı tarih: 22 Mayıs 2015.

Url-6 <www.mazumyolbas.com>**,** alındığı tarih: 22 Mayıs 2015.

Url-7 <www.susdesign.com>**,** alındığı tarih: 22 Mayıs 2015.

Url-8 <www.powerfromthesun.net>**,** alındığı tarih: 12 Nisan 2015.

Url-10 <www.mgm.gov.tr>, alındığı tarih: 3 Mayıs 2015.

Url-11 <http://www.cografya.gen.tr/egitim/bolgeler/ic-anadolu.htm>, alındığı tarih: 26 Mayıs 2015.



ÖZGEÇMİŞ

1957 yılında Gölköy'de doğdu. 1973 yılında Ordu Lisesinden ve 1980 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Temel Bilimler Fakültesi Meteoroloji bölümünden mezun oldu. Evli ve iki çocuk annesi.

Ad Soyad : Dilek Yenisey

Doğum Yeri ve Tarihi : 13.11.1957

E-Posta : dyenisey@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans : 1980, İstanbul Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Meteoroloji Bölümü