

**BATMAN'IN İKLİM KOŞULLARINDA EĞİMLİ
DÜZLEME GELEN GÜNEŞ İŞİNİMİNİN FARKLI
AÇI DEĞERLERİNDE BELİRLENMESİ**

Mehmet Sait DERSE

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman PAKMA

Şubat 2014

T.C.
BİNGÖL-BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BATMAN'IN İKLİM KOŞULLARINDA EĞİMLİ
DÜZLEME GELEN GÜNEŞ İŞİNİMİNİN FARKLI AÇI
DEĞERLERİNDE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Sait DERSE

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Osman PAKMA

Şubat 2014

T.C.
BİNGÖL-BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BATMAN'IN İKLİM KOŞULLARINDA EĞİMLİ DÜZLEME
GELEN GÜNEŞ IŞINIMININ FARKLI AÇI DEĞERLERİNDE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Sait DERSE

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Bu tez 04.02.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Ömer GÜLLÜ
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr.
Osman PAKMA
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.
Veyis TÜRÜT
Üye**

Yukarıdaki sonucu onaylarım

**Doç. Dr. İbrahim Yasin ERDOĞAN
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Yrd. Doç. Dr. Osman PAKMA rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Osman PAKMA ya teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca yardımını hiçbir zaman esirgemeyen ve laboratuvarını kullanmama izin veren Batman Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ hocama teşekkür ederim.

Batman ve Bingöl Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyeleri hocalarıma teşekkür ederim.

Yardımlarını gördüğüm Hakkı ÖZTÜRKER'e teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (Proje No: 2010-FED-03) teşekkür ederim.

Mehmet Sait DERSE

Batman 2014

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
MATERYAL VE METOT	6
2.1. Güneş Enerjisi.....	6
2.2. Temel Güneş Açılırları.....	8
2.3. Türetilmiş Güneş Açılırları.....	9
2.4. Güneş Işınım Modelleri.....	10
2.4.1. Eğimli Düzleme Gelen Teorik Güneş Işınım Modelleri.....	11
2.4.2. Eğimli Düzleme Gelen Doğrudan Güneş Işınım Modelleri.....	11
2.4.3. Eğimli Düzleme Gelen Yayımlım Güneş Işınım Şiddeti Modelleri.....	12
2.4.4. Eğimli Düzleme Gelen Yansıyan Güneş Işınım Şiddeti Modelleri....	15
2.4.5. Yatay Düzleme Gelen Teorik Güneş Işınım Modelleri.....	15
2.4.6. Yatay Düzleme Gelen Yayılı ve Doğrudan Güneş Işınım Hesaplama Modelleri.....	24
2.5. Batman İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	27

BÖLÜM 3.	
ÖLÇÜM ARAÇLARI VE SİSTEMİ.....	29
3.1. Piranometre.....	29
BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Batman İli İçin Toplam Güneş Işınım Şiddeti Hesaplamaları.....	32
4.2. Yatay Düzleme Gelen Saatlik Toplam Güneş Işınım Şiddeti.....	33
4.3. İstatistiksel Analiz Yöntemleri.....	38
4.4. Yatay Düzleme Gelen Yayılı ve Doğrudan Güneş Işınım Şiddeti Hesaplamaları.....	41
4.5. Eğimli Düzleme Gelen Saatlik Toplam Güneş Işınım Şiddeti Hesaplamaları.....	42
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MAE	: Ortalama mutlak hatası
MAPE	: Ortalama mutlak hata yüzdesi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSE	: Hata kareler ortalaması
RMSE	: Ortalama karekök hatası
TOE	: Ton petrol eşdeğer
WRC	: Dünya ışıınım merkezi
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
F	: Bulutlanma derecesi
f	: Güneş sabiti düzeltme faktörü
G_{sc}	: Güneş sabiti
I	: Yatay düzleme gelen saatlik toplam güneş ışıınım şiddeti
I_0	: Atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışıınım şiddeti
I_b	: Yatay düzleme gelen saatlik doğrudan güneş ışıınım şiddeti
$I_{b,\beta}$: Eğimli düzleme gelen doğrudan güneş ışıınım şiddeti
I_d	: Yatay düzleme gelen saatlik yayılı güneş ışıınım şiddeti
$I_{d,\beta}$: Eğimli düzleme gelen yayılı güneş ışıınım şiddeti
$I_{r,\beta}$: Eğimli düzleme gelen yansıyan güneş ışıınım şiddeti
I_β	: Eğimli düzleme gelen saatlik toplam güneş ışıınım şiddeti
k_b	: Doğrudan ışıınım katsayısı
k_d	: Yayılım ışıınım oranı
k_D	: Yayılım ışıınım katsayısı
k_T	: Atmosferin saatlik berraklık indeksi
n	: Gün sayısı
S	: Güneşlenme süresi
S_0	: Gün uzunluğu
t	: Güneş saati

Z	: Rakım
ρ	: Albedo
ϕ	: Enlem
ω	: Saat açısı
δ	: Güneş deklinasyon açısı
θ_z	: Güneş zenit açısı
α	: Güneş yükseklik açısı
ψ	: Güneş azimut açısı
β	: Eğim açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Dünyada Güneş enerjisinden farklı tipte kurulu kapasite değerleri	2
Şekil 1.2.	Yıllara göre güneş enerjisinden toplayıcılar vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştürülerek doğrudan su kullanımında dünyadaki kurulu güç gelişimi.....	2
Şekil 1.3.	Güneş enerjisinden toplayıcılar vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştürülerek doğrudan sıcak su kullanımında dünyadaki devletlerin kurulu güç yüzdeleri.....	3
Şekil 2.1.	Güneş ışınım spektrumu.....	6
Şekil 2.2.	Global ışınım bileşenleri.....	7
Şekil 2.3.	Enlem (ϕ), saat açısı (ω) ve güneş deklinasyon açısı (δ).....	8
Şekil 2.4.	Zenit, güneş, yükseklik ve azimut açıları.....	9
Şekil 2.5.	Türkiye güneş enerjisi haritası.....	28
Şekil 2.6.	Batman ilinin güneş enerjisi haritası.....	28
Şekil 3.1.	Termo-çift.....	29
Şekil 3.2.	Kipp&Zonen CM11 piranometre yapısı.....	30
Şekil 4.1.	Batman ili için ölçülen ve hesaplanan yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı şiddeti değerleri.....	39

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Türkiye'deki bölgelere göre güneş potansiyeli.....	4
Tablo 3.1.	Kipp&Zonen CM11 piranometresinin teknik özellikleri.....	31
Tablo 4.1.	Batman iline ait Ekim 2011-Ekim 2013 tarihleri arasındaki aylık ortalama I, I ₀ , S ve S ₀ değerleri.....	33
Tablo 4.2.	Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama Günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 10-Model 16)....	34
Tablo 4.3.	Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 17-Model 23).....	35
Tablo 4.4.	Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 24-Model 30).....	36
Tablo 4.5.	Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 31-Model 33).....	37
Tablo 4.6.	Batman ili için toplam güneş ışınım şiddeti hesaplama modellerinin istatistiksel analizleri.....	40
Tablo 4.7.	Batman iline ait yatay düzleme gelen hesaplanmış yayılı ve doğrudan güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 34-Model 36).....	41
Tablo 4.8.	Batman iline ait yatay düzleme gelen hesaplanmış yayılı ve doğrudan güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 37-Model 38).....	42
Tablo 4.9.	Batman ili için 15° ve 30° için model bileşenleri.....	44
Tablo 4.10.	Batman ili için 45° ve 60° için model bileşenleri.....	45
Tablo 4.11.	Farklı açı değerleri için belirlenmiş en iyi iki optimum model.....	47

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Güneş ışı nım şiddeti, güneş ışı nım modelleri, eğik düzlem, Batman.

Bu çalışmada; Batman ili iklim koşullarında yatay ve dört farklı açı değeri için eğimli düzleme gelen güneş ışı nım değ erleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler literatürde verilen modellerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak optimum modeller tespit edilmiştir. İncelemesi yapılan modellerde hata kareler ortalaması (MSE), ortalama mutlak hatası (MAE), ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) istatistiksel sonuçları istatistiksel hata testlerine bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca Batman'da aylık ortalama günlük global güneş ışı nımını hesabı için yeni bir eşitlik geliştirilmiştir.

DETERMINATION OF SOLAR RADIATION ON INCLINED PLANE AT DIFFERENT ANGLES VALUES FOR CLIMATIC CONDITIONS OF BATMAN

ABSTRACT

Keywords: Solar radiation incident, solar radiation models, tilted surface, Batman.

In this study; hourly global solar radiation on tilted surfaces is measured at four different slope angles in Batman. The data obtained from measurements are compared with solar models and the optimum solar models are determined. Statistical results obtained from the mean square errors (MSE), mean absolute errors (MAE) and root mean square errors (RMSE) and mean absolute percentage error (MAPE) of the examined models were compared on the basis of statistical error tests. Besides, a new equation was developed to calculate monthly average daily global solar radiation in Batman.

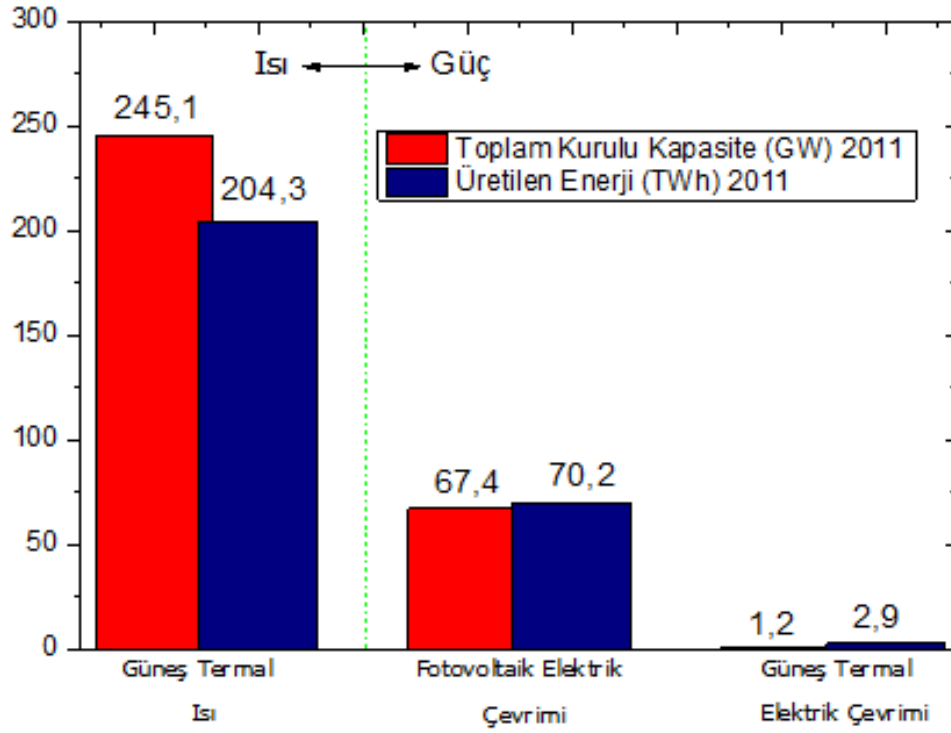
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya üzerinde kullanılan enerji kaynaklarının çoğunluğu fosil kaynaklarına dayalıdır. Fosil kaynaklarının ileri ki yıllarda tükeneceği göz önüne alınırsa yeni enerji kaynaklarının kullanımı zorunlu hale gelecektir. Fosil kaynaklarının sebep olduğu en büyük problemlerden bir tanesi küresel ısınmadır. Bu nedenle ileri ki yıllarda gelecek nesillere yaşanabilecek bir dünya bırakmak istiyorsak kullanacağımız yeni enerji kaynaklarının çevreyi kirletmeyen ve kendini yenileyebilen bir enerji kaynağı olması son derece önemlidir. Bu tür enerji kaynakları temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok bilinenleri jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, biokütle enerjisi, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisidir. Bu kaynaklardan en göze çarpanı güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarından en büyük avantajı bol, temiz ve tükenmez bir kaynak olmasından dolayı yerel uygulamalar için kullanımını elverişli kılmakta ve her yerde faydalanılmasının önünü açmaktadır.

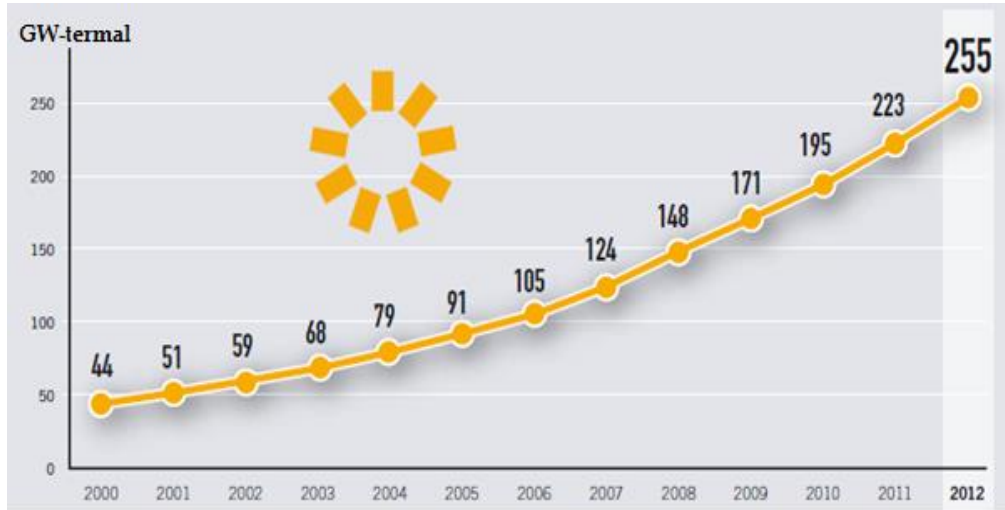
Güneş enerjisinden; binalarda ısıtma ve soğutma, sıcak su elde edilmesi, endüstriyel işlemler ve elektrik çevrimi için faydalanılmaktadır. Şu an için dünyadaki güneş enerjisi kaynakları enerji talebinin çok küçük bir oranını karşılamaktadır. Her yıl dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınlarının enerjisi 80 milyar ton petrole eşdeğerdir (TOE). Bu değer dünyada her yıl tüketilen enerjinin yaklaşık 10000 katına eşittir ve fosile dayalı kaynakların tüm rezervlerinden elde edilen enerjiden daha fazladır (Nebbia, 2001).

Güneş enerjisinden en çok sıcak su elde etmek için termal ısı sistemlerinden ve elektrik çevrimi için de fotovoltaik ve solar termal elektrik sistemlerinden faydalanılmaktadır. Dünya üzerinde yalnız güneş enerjisine dayalı 2011 yılına ait kurulu toplam kapasite değerleri Şekil 1.1'de verilmektedir. Güneş enerjisinden toplayıcılar vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştürülerek doğrudan sıcak su kullanımında dünyadaki kurulu güç Şekil 1.2'de görüldüğü gibi son 10 yılda 5 katına çıkmıştır. Şekil 1.3'te ise 2011 yılı itibari ile

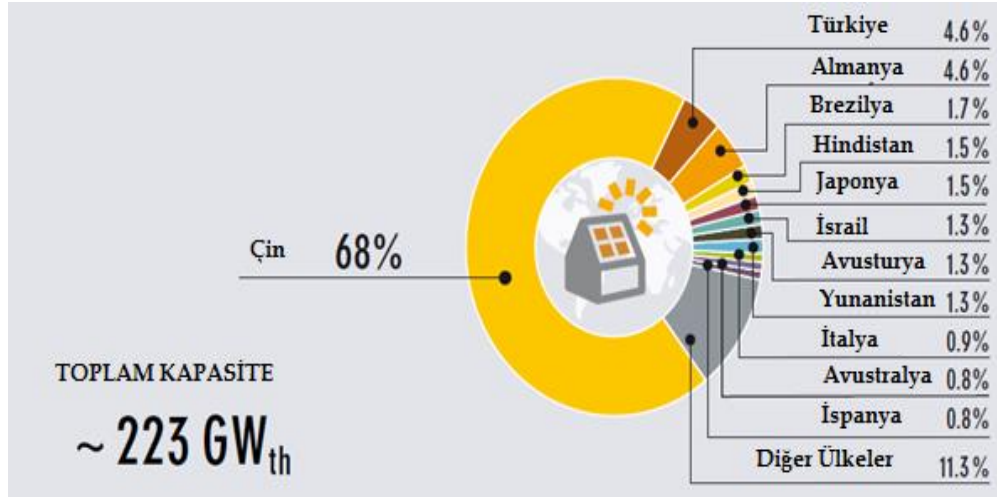
güneş enerjisinden sıcak su temininde kurulu gücün ülkelere göre dağılımı verilmektedir. Dikkat edilirse ülkemiz % 4,6 oranı ile ikinci durumdadır.



Şekil 1.1. Dünyada Güneş enerjisinden farklı tipte kurulu kapasite değerleri (Weiss and Mauthner, 2010)



Şekil 1.2. Yıllara göre güneş enerjisinden toplayıcılar vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştürülerek doğrudan sıcak su kullanımında dünyadaki kurulu güç gelişimi (Anonymous, 2013)



Şekil 1.3. Güneş enerjisinden toplayıcılar vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştürülerek doğrudan sıcak su kullanımında dünyadaki devletlerin kurulu güç gelişimi (Anonymous, 2013)

Ülkemizin artan hızlı nüfusuna ve ekonomisine bağlı olarak, yıllara göre tüketilen enerji rakamları da eklendiğinde 2023 yılında öngörülen toplam elektrik enerji ihtiyacının 530000 GWh olacağı öngörülmektedir. Mevcut durumlara bakıldığında ancak 160000 GWh'lık kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Türkiye bulunduğu coğrafi konum ve sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli nedeniyle şanslı ülkelerden birisidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) elde edilen verilere göre ülkemizin birim metre kare başına ortalama günlük güneş ışınım enerji değeri 3,6 kWh ve toplam yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir (günlük ortalama 7,2 saat). Bu verilere dayanarak Türkiye'nin yıllık güneş enerji potansiyeli 6150 TWh olmakla birlikte bunun 305 TWh'lık değeri ekonomiye dönüştürülme büyüklüğü olarak hesaplanmaktadır (Kaygusuz, 2011). Tablo 1.1'de Türkiye'deki bölgelere göre güneş potansiyeli verileri görülmektedir.

Güneş enerjisinin hem ısı enerjisine hem de elektrik enerjisine çevriminde verimliliği etkileyen en temel faktörler güneş ışınım şiddeti ve coğrafi yapıdır. Güneş ışınım şiddeti verileri; güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve sistem performansını değerlendirmelerde gerekli olan temel parametrelerdir. Bu nedenle güneş ışınımının dünya yüzeyindeki değişik enlemlerdeki bölgelere gelen miktarının kesin tespiti birçok güneş enerjisi uygulamasında büyük önem arz etmektedir.

Tablo 1.1. Türkiye'deki bölgelere göre güneş potansiyeli (Kamil ve vd., 2006)

Bölge	Toplam ortalama Güneş enerjisi (kWh/m²-yıl)	Ortalama Güneşlenme süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan güneş kolektör ve paneller bina yüzeyine eğimli olarak yerleştirildiklerinden; sistemin maksimum performansta çalışabilmesi için sistem hesaplamalarına gerek olan eğik düzleme gelen toplam güneş ışınım miktarlarıdır. Türkiye'de yatay düzleme gelen güneş ışınım şiddet ölçümlerini, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve bazı üniversiteler yapmaktadır. Eğik düzleme gelen güneş ışınım şiddeti değerleri ise bazı çalışmalar dışında bulunmamaktadır (Anonim, 200; Bulut, 2008). Ancak eğimli düzleme gelen güneş ışınım şiddeti değerleri, yatay düzleme gelen ölçüm değerleri ve güneş ışınım modelleri yardımı ile tespit edilebilmektedir (Notton and et al., 2002; Notton and et al., 2004).

Türkiye'de güneş enerjisi uygulamalarına yönelik son yıllarda ciddi atılımlar gerçekleşmektedir. Özellikle güneş enerjisinden elektrik elde etmeye yönelik lisanslı ve lisanssız kurulum için ilgili yönetmelikler çıkarılmıştır. Buna göre 1 MWh'ın üzerindeki kurulumlar için lisans alma zorunluluğu getirilmiştir. Ayrıca güneş enerjisine dayalı lisans başvuruları için yapılacak güneş ölçümlerine uygulamalarına dair tebliğ 28212 sayılı ve 22.02.2012 tarihli Resmi Gazetede yayımlanmış olup, en az 6 ay yerinde ölçüm yapmış olmayı zorunlu kılmıştır.

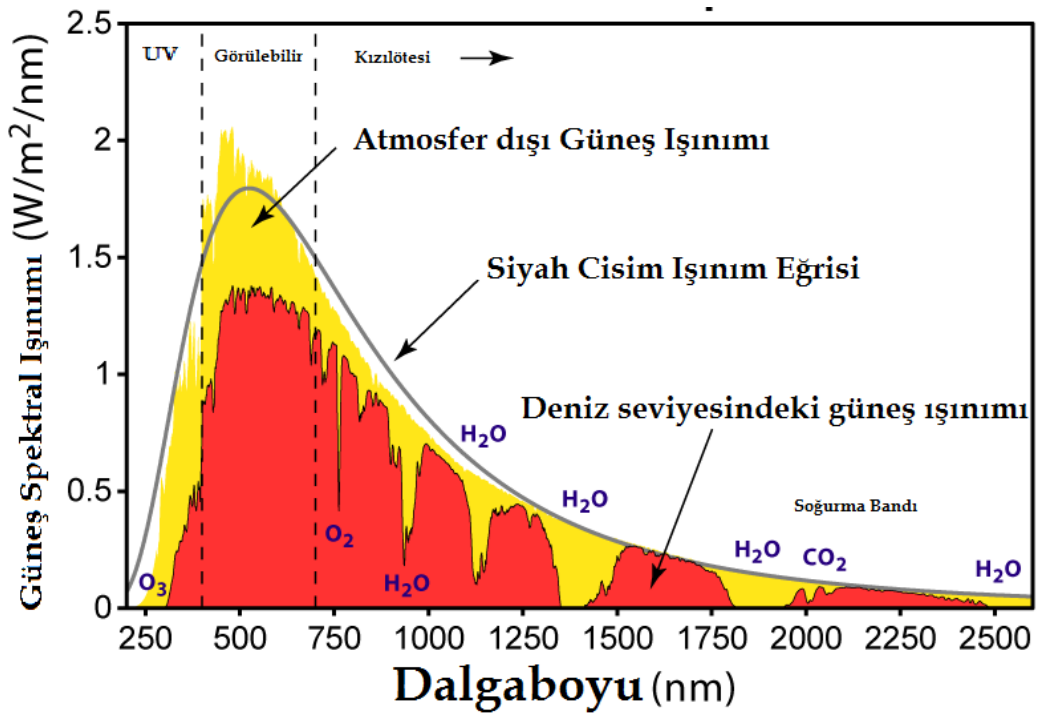
Güneş ışınım değerlerini tahmin etmek için kullanılan modellerin birçoğu, Angstrom-tip eşitlikten türetilmiştir. Angstrom eşitliği ilk olarak Angstrom tarafından ortaya atılmıştır (Akınoğlu and Ecevit, 1990). Bu modelleri bağlı kalarak ülkemizde de birçok çalışma yapılmıştır. Babur ve Demirkol, Şanlıurfa ilimiz için MGM'den elde ettikleri güneş ışınım ölçüm değerlerini mevcut teorik modellere uygulayarak, modellemenin karşılaştırmasını yapmışlardır (Babur ve Demirkol, 2004). Ülgen ve Hepbaşlı; İstanbul, Ankara ve İzmir için yatay düzleme gelen toplam ışınımını veren bazı ampirik denklemleri incelemişlerdir (Ülgen and Hepbaşlı, 2003). Güngör ve arkadaşları, Mersin ili için yatay düzleme gelen güneş ışınımını farklı eğim açıları için hesaplamışlardır (Güngör ve vd., 2005). Tarhan ve Sarı, Orta Karadeniz bölgesindeki bazı illerde farklı modeller kullanarak yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı şiddetini hesaplamışlardır (Tarhan and Sarı, 2005). Bulut ve arkadaşları ise, Şanlıurfa ilimiz için eğik düzleme gelen güneş ışınımı değerlerini farklı açı değerleri için hesaplamışlardır (Bulut ve vd., 2006).

Bu çalışmanın amacı; Batman ilinde eğimli düzleme gelen güneş ışınım değerlerinin farklı açılar için ölçülerek, elde edilen bu verileri değişik güneş ışınımı modelleriyle karşılaştırarak uygun güneş ışınım modelini belirlemektir.

BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOT

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi tükenmez bir enerji olup güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Güneşin yaydığı ve dünyamıza da ulaşan enerji, güneş'in çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Güneş Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 5770 K sıcaklıktaki siyah cisim ışınım spektrumuna sahiptir (Foukal, 1990).

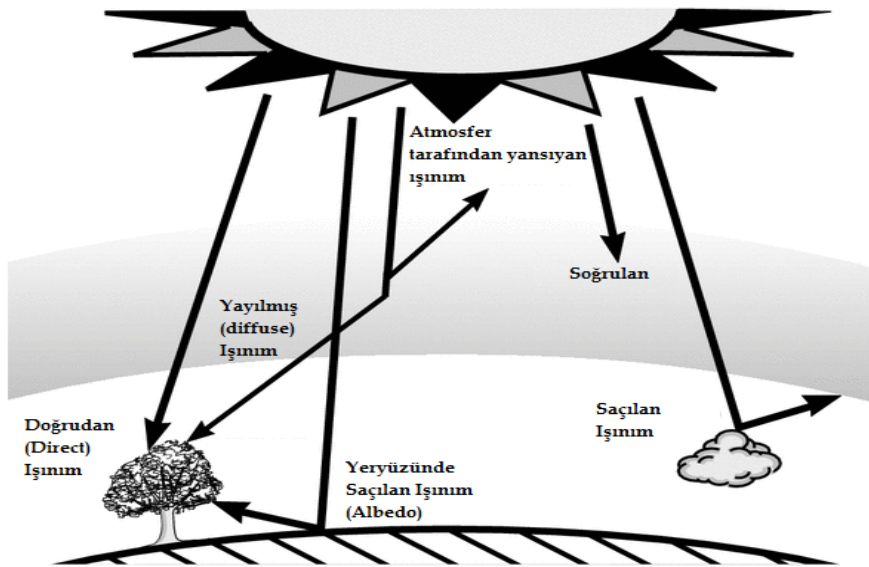


Şekil 2.1. Güneş ışınım spektrumu

Atmosfer dışına gelen güneş ışınımı şiddeti günlere göre değişim göstermektedir. Astronomik birimde, atmosfer dışında birim alana dikey olarak gelen güneş ışınlarının

tüm dalga boylarını içeren birim zamandaki toplam güneş ışınım enerjisi şiddetine güneş sabiti denir ve G_{sc} ile gösterilir. 1971 yılından itibaren NASA Güneş sabiti değerini yaklaşık 1353 W/m^2 olarak almıştır. Dünya ışınım merkezi (WRC) ise güneş sabiti değerini 1367 W/m^2 olarak kabul etmiştir ve ışınım hesaplamalarında bu değer kullanılmaktadır (Iqbal, 1983).

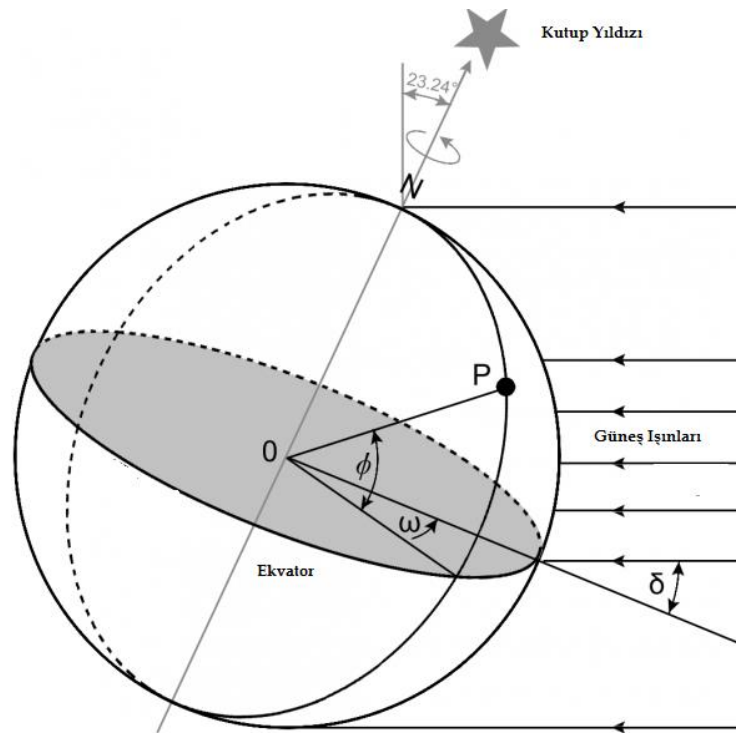
Yeryüzüne ulaşan güneş ışınları öncesinde atmosferde bulunan moleküller nedeniyle bir kısmının saçılarak yön değiştirmesi ve bir kısmının da soğrulması ile enerjisini belli oranda kaybederler. Saçılan ışınım yayılı (diffuse- D) ışınım adı verilir. Bu ışınımın bir kısmı uzaya geri yansıtılırken bir kısmı da yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne güneşten çizilen bir doğru boyunca yön değiştirmeden gelen ışınım doğrudan (direct, B) ışınım adı verilir. Bir yüzey üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı yüzey tarafından soğrulurken, bir kısmı yansır ve bir kısmı da geçer. Gelen ışığın kaynağı güneş olduğu zaman yeryüzünden yansıyan ışınlar Albedo ismi verilir ve ρ ile gösterilir. ρ belirli bir yüzey üzerinden yansıyan ışınımın, yüzey üzerine düşen toplam ışınım oranı olarak tanımlanır. Albedo değeri yüzeyin cinsine bağlı olarak 0,2 ile 0,8 arasında değerler almaktadır. Eğimli bir yüzey üzerindeki toplam (global- G) güneş ışınım Şekil 2.2’de gösterildiği gibi doğrudan, yayılı ve yansıyan ışınların toplamıdır (Rüther and Klesis, 1996).



Şekil 2.2. Global ışınım bileşenleri

2.2. Temel Güneş Açıları

Dünya kendi ekseninde ve güneş çevresinde iki farklı yörüngede hareket eder. Bu nedenle belirli zamanlarda dünya yüzeyine gelen güneş ışınım açılarının bilinmesinde fayda vardır. Güneş ışınlarının belirlenmesinde enlem (ϕ), saat açısı (ω) ve güneş deklinasyon açılarının (δ) bilinmesi zorunludur. Şekil 2.3'te dünya yüzeyinde yer alan temel açılar görülmektedir.



Şekil 2.3. Enlem (ϕ), saat açısı (ω) ve güneş deklinasyon açısı (δ)

Enlem ϕ ; P noktasının ekvatorдан olan açısal uzaklığıdır. Bu terim OP doğrusu ile OP doğrusunun ekvator düzlemindeki izdüşümü arasındaki açıdır. Kuzey enlemleri pozitif ve güney enlemleri negatiftir ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$).

Saat açısı ω ; Saat 12'de saat açısı 0° olur. Bir saat 15° boylama denk gelmektedir. Saat açısı öğleden önce eksi ve öğleden sonra da artı değer alır.

Deklinasyon açısı δ ; Güneş ışınlarının kuzey ve güney yarımküredeki konumları ile ekvator düzlemi arasındaki açısal mesafesidir. Bu açı; güneşin merkezinden dünyanın

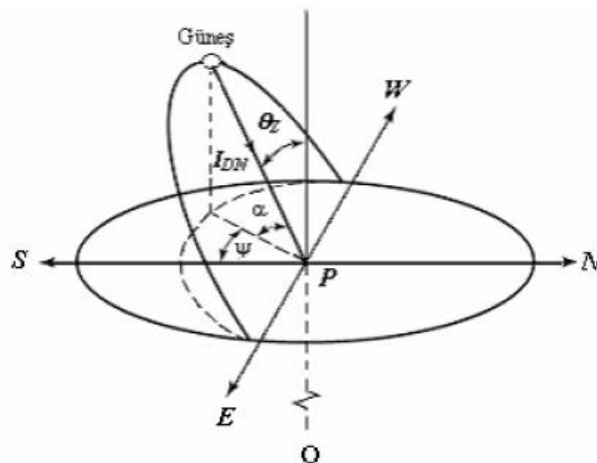
merkezine çizilen bir doğru ile bu doğrunun ekvator düzlemi üzerindeki iz düşümü arasında oluşan açı ile bulunur. Deklinasyon açısı bir yıl boyunca -23.5° ile 23.5° arasında değerler almaktadır (Ramsey, 2003). Deklinasyon açısının değişimi 24 saat boyunca 0.5° den daha düşük bir derecededir. Bu nedenle 1 gün boyunca deklinasyon açısı sabit kabul edilir (Uyarel ve Öz, 1987). Deklinasyon açısını yaklaşık olarak bulmak için

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (2.1)$$

denklemden yararlanılır. Burada n ; 1 Ocak tarihinden itibaren yıl boyunca geçen gün sayısını vermektedir (Iqbal, 1983).

2.3. Türetilmiş Güneş Açıları

Temel Güneş açılarının yanında güneş ışınımı hesaplamalarında kolaylık sağlayan açı bağıntıları tanımlanmıştır. Bunlar; güneş zenit açısı (θ_z), güneş yükseklik açısı (α) ve güneş azimut açısıdır (ψ). Ayrıca güneş ışınımından maksimum faydalanılması için güneş ışınlarının geliş açısı ve yüzey azimut açısı ayrıca ifade edilir. Dünya yüzeyindeki bir gözlemci için güneş gökyüzünde doğudan batıya doğru dairesel bir yol tarar. Şekil 2.4'te güneşin hareketi ve güneşe bağlı türetilmiş açılar görülmektedir.



Şekil 2.4. Zenit, güneş yükseklik ve azimut açıları (Ramsey, 2003)

P noktasında bakan bir gözlemciye göre O noktası dünyanın merkezi ve I_{DN} güneş ışınlarının yönünü belirleyen doğrudur. Buna göre;

Güneş Zenit açısı θ_z , P noktasına doğrudan gelen güneş ışınlarının P noktasındaki yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır.

Güneş Yükseklik açısı α , güneş ışınları ve güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açıdır ($\theta_z + \alpha = 90^\circ$).

Güneş Azimut açısı ψ , yatay düzlemde tam güney doğrultusu ile güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü arasında ölçülen açıdır.

Zenit açısı;

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega \quad (2.2)$$

$\theta_z + \alpha = 90^\circ$ olduğundan güneş yükseklik açısının sinüsü zenit açısının kosinüsüne eşittir ($\cos \theta_z = \sin \alpha$). Güneş yükseklik açısı ise,

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \cos \omega \quad (2.3)$$

ile hesaplanır. Burada β eğim açısıdır.

2.4. Güneş Işınım Modelleri

Güneş enerjisi sistemlerinden maksimum verimlilik elde etmek için bilinmesi gereken en önemli parametre konumun güneş ışınımıdır. Genelde yatay düzleme gelen güneş ışınımı ölçümleri yapılmasına rağmen, eğimli düzleme gelen güneş ışınımı değerleri ölçülmemektedir. Eğimli düzleme gelen güneş ışınımı ise yatay düzleme gelen ölçüm değerleri ya da modellerinden tahmin edilen güneş ışınım değerlerinden yararlanılarak tesbiti yapılabilmektedir.

2.4.1. Eğimli Düzleme Gelen Teorik Güneş Işınım Modelleri

Eğimli düzleme gelen saatlik toplam güneş ışınım şiddeti şu denklem ile hesaplanır (Liu and Jordan, 1962; Duffie and Beckman, 1980; Gueymard 2000; Li and et al., 2002);

$$I_{\beta} = I_{b,\beta} + I_{d,\beta} + I_{r,\beta} \quad (2.4)$$

şeklinde olup, burada $I_{b,\beta}$ [W/m^2] cinsinden eğimli düzleme gelen doğrudan ışınım şiddetini, $I_{d,\beta}$ [W/m^2] cinsinden eğimli düzleme gelen yayılım ışınım şiddetini ve $I_{r,\beta}$ [W/m^2] cinsinden eğimli düzleme gelen yansıyan ışınım şiddetini ifade etmektedir. Bu bileşenlerin hesaplanabilmesi için yatay düzleme gelen toplam, doğrudan ve yayılım ışınım şiddetlerinin bilinmesi zorunludur. Bu nedenle bu tür ışınım değerleri çeşitli modellemelerden yararlanılarak bulunur.

2.4.2. Eğimli Düzleme Gelen Doğrudan Güneş Işınım Modelleri

Liu ve Jordan Modeli (Model 1):

Eğimli düzleme gelen saatlik doğrudan güneş ışınım şiddeti şu denklem yardımıyla bulunur (Liu and Jordan, 1962; Notton and et al., 2006);

$$I_{b,\beta} = I_b \cdot k_b \quad (2.5)$$

Burada I_b [W/m^2] cinsinden yatay düzleme gelen saatlik doğrudan ışınım şiddetini ve k_b doğrudan ışınım katsayısı olup,

$$k_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Jimenez ve Castro Modeli (Model 2):

Jimenez ve Castro modelinde eğik düzleme gelen saatlik direkt güneş ışınımının eğik düzleme gelen saatlik toplam ışınımın % 80'ine eşit olduğunu ifade eder ve şu eşitlik ile hesaplanır (Durmaz, 2007; Wong and Chow, 2001);

$$I_{b,\beta} = 0,8 \cdot I_b \cdot k_b \quad (2.7)$$

2.4.3 Eğimli Düzleme Gelen Yayılım Güneş Işınım Şiddeti Modelleri

Eğimli düzleme gelen saatlik yayılım güneş ışınım şiddeti de literatürde bulunan çeşitli modellemeler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu modellemelerde eğimli düzleme gelen saatlik yayılım ışınım şiddeti, yatay düzleme gelen saatlik yayılım ışınım şiddeti, eğim açısı ve doğrudan ışınım şiddeti dönüşüm katsayısının fonksiyonu olarak ifade edilir (Notton and et al., 2002; Notton and et al., 2004; Vartiainen, 2000; Bulut ve vd., 2006).

Liu ve Jordan Modeli (Model 3):

Eğimli düzleme gelen saatlik yayılım güneş ışınım şiddeti (Notton and et al., 2006);

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) \quad (2.8)$$

ile bulunur. Burada I_d [W/m^2] cinsinden yatay düzleme gelen saatlik yayılım güneş ışınım şiddetidir.

Koronakis Modeli (Model 4):

Koronakis denklem (2.8)'i modifiye ederek tekrar düzenlemiş olup ilgili denklem (Notton and et al., 2002);

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{3} I_d (2 + \cos \beta) \quad (2.9)$$

şeklini almıştır.

Temps ve Coulson Modeli (Model 5):

Temps ve Coulson denklem (2.8)'e anisotropik terimler eklemişler ve eğimli düzleme gelen saatlik yayılım güneş ışınım şiddetini (Miguel and et al., 2001);

$$P_1 = 1 + \cos^2 \theta (\sin^3 \theta_z) \quad (2.10a)$$

$$P_2 = 1 + \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \quad (2.10b)$$

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) P_1 \cdot P_2 \quad (2.10c)$$

şeklinde vermişlerdir.

Klucher Modeli (Model 6):

Klucher denklem (2.8)'i modifiye ederek tekrar düzenlemiş olup ilgili denklem (Klucher, 1979);

$$F = 1 - \left(\frac{I_d}{I} \right)^2 \quad (2.11a)$$

$$I_{d,\beta} = I_d \left[\frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) \right] \left[1 + F \cos^2 \theta \cdot \sin^3 \theta_z \right] \left[1 + F \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] \quad (2.11b)$$

şeklinde verilmiştir. Burada F bulutlanma derecesini ve I yatay düzleme 1 saatlik süre içerisinde gelen toplam güneş ışınım şiddetini tanımlamaktadır.

Hay ve Davis Modeli (Model 7):

Bu modele göre de eğimli düzleme gelen saatlik yayılım güneş ışınlam şiddeti (Hay and Davies, 1980);

$$F_{Hay} = \frac{I_b}{I_0} = \frac{I - I_d}{I_0} \quad (2.12a)$$

$$I_{d,\beta} = I_d \left[F_{Hay} \cdot \left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right) + \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \cdot (1 - F_{Hay}) \right] \quad (2.12b)$$

şeklinde tanımlanır. Burada I_0 atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışınlam şiddeti olup;

$$I_0 = \left(\frac{12 \cdot 3600}{\pi} \right) G_{sc} \cdot f \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + (\omega_2 - \omega_1) \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta \right] \cdot 10^{-6} \quad (2.13)$$

eşitliğiyle belirlenir. ω_2 ve ω_1 saat açıları olup t_1 ve t_2 güneş saatleri kullanılarak şu şekilde hesaplanır;

$$\omega_1 = (t_1 - 12) \cdot 15 \quad (2.14a)$$

$$\omega_2 = (t_2 - 12) \cdot 15 \quad (2.14b)$$

f güneş sabiti düzeltme faktörü olup;

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos \left[\frac{2\pi n}{365} \right] \quad (2.15)$$

eşitliği ile bulunur.

Ma ve Iqbal Modeli (Model 8):

Ma ve Iqbal eğimli düzleme gelen saatlik yayılım güneş ışınım şiddetini (Ma and Iqbal, 1983)

$$I_{d,\beta} = I_d \left[k_T \cdot k_b + (1 - k_T) \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] \quad (2.16)$$

şeklinde vermişlerdir. Burada k_T atmosferin saatlik berraklık indeksi olup;

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (2.17)$$

şeklinde hesaplanır.

2.4.4. Eğimli Düzleme Gelen Yansayan Güneş Işınım Şiddeti Modelleri

Duffie ve Arkadaşları Modeli (Model 9):

Eğimli düzleme gelen saatlik yansayan güneş ışınım şiddeti (Duffie and Beckman, 1980);

$$I_{r,\beta} = \frac{1}{2} \rho I (1 - \cos \beta) \quad (2.18)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada ρ yüzey yansıtma oranı (Albedo) olup genelde 0,2 olarak hesaplarda esas alınmaktadır.

2.4.5. Yatay Düzleme Gelen Teorik Güneş Işınım Modelleri

Genelde güneş enerjisi sisteminin kurulumu yapılacağı alanlarda öncelikli olarak hesaplamalarda yatay düzleme gelen saatlik toplam ve yayılım ışınım şiddetlerinin bilinmesi önemlidir. Yatay düzleme gelen saatlik toplam güneş ışınım şiddeti ölçümleri

birçok MGM istasyonlarında yapılmakta olup, bu değerlere ulaşılması kolaydır. Ancak yatay düzleme gelen saatlik yayılım ışınım şiddeti değerleri genelde ölçülmediği için bu değerlere ulaşmak kısıtlıdır. Bu nedenle yatay düzleme gelen saatlik yayılım ışınım şiddetini hesaplamak için belirli modellemelerden faydalanılır.

Atmosfer dışında yatay düzlemde birim alan başına düşen günlük güneş ışınım şiddeti şu şekilde ifade edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983);

$$I_0 = \frac{24}{\pi} \cdot G_{sc} \left\{ 1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360n}{365} \right\} \left\{ \cos \lambda \cdot \cos \delta \cdot \sin W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \sin \lambda \cdot \sin \delta \right\} \quad (2.19)$$

Aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddetinin hesaplanması ilk kez Angstrom tarafından ortaya atılmış ve Angstrom eşitliği geliştirilmiştir. Lineer model olarak bilinen Angström-PreScott-Page modeli şu şekilde ifade edilir (Angström, 1924);

$$\frac{I}{I_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.20)$$

Burada I günlük toplam güneş ışınım şiddetini, S güneşlenme süresini, S_0 gün uzunluğunu, a ve b sabitleri belirtmektedir.

Ülgen ve Özbalta Modeli (Model 10):

Ülgen ve Özbalta tarafından İzmir-Bornova için önerdiği model şu şekildedir (Ülgen ve Özbalta, 2000);

$$\frac{I}{I_0} = 0,2424 + 0,5014 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.21a)$$

$$\frac{I}{I_0} = 0,0959 + 0,9958 \left(\frac{S}{S_0} \right) - 0,3922 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (2.21b)$$

Toğrul ve Toğrul Modeli (Model 11):

Toğrul ve Toğrul tarafından; Ankara, İzmir, Antalya, Aydın, Adana ve Elazığ illeri için elde ettikleri ifadeler şu şekildedir (Toğrul and Toğrul, 2002);

$$\frac{I}{I_0} = 0,318 + 0,449 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.22)$$

Tırıs ve Arkadaşları Modeli (Model 12):

Tırıs ve arkadaşları, Angström-Prescott-Page modeline bağlı olarak a ve b katsayılarını Türkiye için genel olarak şu şekilde vermiştir (Tırıs and et al., 1997);

$$\frac{I}{I_0} = 0,18 + 0,62 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.23)$$

Aksoy Modeli (Model 13):

Aksoy; Ankara, Antalya, Samsun, Konya, Urfa ve İzmir için aylık ortalama günlük global güneş ışınımının belirlenmesi için 2 yıllık meteorolojik verileri kullanarak aşağıda verilen ikinci dereceden denklemi elde etmişlerdir (Aksoy, 1997);

$$\frac{I}{I_0} = 0,148 + 0,668 \left(\frac{S}{S_0} \right) - 0,079 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (2.24)$$

Samuel Modeli (Model 14):

Samuel, aşağıda verilen ifadeyi önermiştir (Samuel, 1991);

$$\frac{I}{I_0} = -0,14 + 2,52 \left(\frac{S}{S_0} \right) - 3,71 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 + 2,24 \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (2.25)$$

Louche ve Arkadaşları Modeli (Model 15):

Louche ve arkadaşları aşağıda verilen ifadeyi önermişlerdir (Louche and et al., 1991);

$$\frac{I}{I_0} = 0,206 + 0,546 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.26)$$

Taşdemiroğlu ve Sever Modeli (Model 16):

Taşdemiroğlu ve Sever, aşağıda verilen ifadeyi altı il (Ankara, Antalya, Diyarbakır, Gebze, İzmir ve Samsun) için geliştirmişlerdir (Taşdemiroğlu and Sever, 1991);

$$\frac{I}{I_0} = 0,22 + 0,014 \left(\frac{S}{S_0} \right) + 0,001 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (2.27)$$

Alsaad Modeli (Model 17):

Alsaad Ürdün için şu ifadeyi vermiştir (Alsaad, 1990);

$$\frac{I}{I_0} = 0,174 + 0,615 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.28)$$

Akınoğlu ve Ecevit Modeli (Model 18):

Akınoğlu ve Ecevit, aşağıdaki denklemi önermiştir (Akınoğlu and Ecevit, 1990);

$$\frac{I}{I_0} = 0,145 + 0,845 \left(\frac{S}{S_0} \right) - 0,280 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (2.29)$$

Soler Modeli (Model 19):

Soler, Rietveld tarafından verilen modeli Avrupa'da bulunan 100 istasyon için uygulamış ve aşağıdaki aylık korelasyonu önermiştir (Soler, 1990);

$$\text{Ocak} \quad \frac{I}{I_0} = 0,18 + 0,66 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30a)$$

$$\text{Şubat} \quad \frac{I}{I_0} = 0,20 + 0,60 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30b)$$

$$\text{Mart} \quad \frac{I}{I_0} = 0,22 + 0,58 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30c)$$

$$\text{Nisan} \quad \frac{I}{I_0} = 0,20 + 0,62 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30d)$$

$$\text{Mayıs} \quad \frac{I}{I_0} = 0,24 + 0,52 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30e)$$

$$\text{Haziran} \quad \frac{I}{I_0} = 0,24 + 0,53 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30f)$$

$$\text{Temmuz} \quad \frac{I}{I_0} = 0,23 + 0,53 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30g)$$

$$\text{Ağustos} \quad \frac{I}{I_0} = 0,22 + 0,55 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30h)$$

$$\text{Eylül} \quad \frac{I}{I_0} = 0,20 + 0,59 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30i)$$

$$\text{Ekim} \quad \frac{I}{I_0} = 0,19 + 0,60 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30j)$$

$$\text{Kasım} \quad \frac{I}{I_0} = 0,17 + 0,66 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30k)$$

$$\text{Aralık} \quad \frac{I}{I_0} = 0,18 + 0,65 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.30l)$$

Raja ve Twindell Modeli (Model 20):

Raja ve Twidell, Pakistan'da bulunan beş istasyondan elde edilen güneşlenme verilerine bağlı olarak şu formülü önermişlerdir (Raja and Twidel, 1990);

$$\frac{I}{I_0} = 0,335 + 0,367 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.31)$$

Gopinathan Modeli (Model 21):

Gopinathan, Angström-Prescott-Page katsayılarını şu şekilde önermiştir (Gopinathan, 1988);

$$a = 0,265 + 0,07Z - 0,136 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.32a)$$

$$b = 0,401 - 0,108Z + 0,0325 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.32b)$$

Burada Z rakımı (km) göstermektedir.

Newland Modeli (Model 22):

Newland, logaritmik terimli ifadeyi şu şekilde vermiştir (Newland, 1988);

$$\frac{I}{I_0} = 0,34 + 0,40 \left(\frac{S}{S_0} \right) + 0,17 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.33)$$

Jain ve Jain Modeli (Model 23):

Jain ve Jain Zimbabwe'deki belirli istasyonlardan aldığı verilerle aşağıda verilen ifadeyi önermişlerdir (Jain and Jain, 1988);

$$\frac{I}{I_0} = 0,240 + 0,513 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.34)$$

Bahel ve Arkadaşları Modeli (Model 24):

Bahel ve arkadaşları, dünya genelinde bulunan 48 istasyon için aşağıda verilen ifadeyi geliştirmişlerdir (Bahel and et al., 1987);

$$\frac{I}{I_0} = 0,16 + 0,87 \left(\frac{S}{S_0} \right) - 0,16 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 + 0,34 \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (2.35)$$

Jain Modeli (Model 25):

Jain İtalya'daki 31 adet bölge için elde ettiği ifade şu şekildedir (Jain, 1986);

$$\frac{I}{I_0} = 0,177 + 0,692 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.36)$$

Bahel Modeli (Model 26):

Bahel'in önerdiği ifade şu şekildedir (Bahel and et al., 1987);

$$\frac{I}{I_0} = 0,175 + 0,552 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.37)$$

Zabara Modeli (Model 27):

Zabara, a ve b katsayıları için polinom regresyon tekniğini kullanarak Angström-Prescott-Page modeli için a ve b katsayılarını günlük güneş ışınımı ilişkisiyle (S/S_0) hesaplamıştır (Zabara, 1986);

$$a = 0,395 - 1,24 \left(\frac{S}{S_0} \right) + 2,68 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 - 1,67 \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (2.38a)$$

$$b = 0,39 + 1,38 \left(\frac{S}{S_0} \right) - 3,24 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 - 2,055 \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (2.38b)$$

Ögelman ve Arkadaşları Modeli (Model 28):

Ögelman ve arkadaşları, aşağıda verilen denklemi elde etmişlerdir (Ögelman and et al., 1984);

$$\frac{I}{I_0} = 0,195 + 0,676 \left(\frac{S}{S_0} \right) - 0,142 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (2.39)$$

Benson ve Arkadaşları Modeli (Model 29):

Benson ve arkadaşları, bir yıl için iki farklı formül önermişlerdir. Ekim-Mart ve Nisan-Eylül aralığı için önerilen formüller (Benson and et al., 1984);

$$\frac{I}{I_0} = 0,18 + 0,60 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.40a)$$

$$\frac{I}{I_0} = 0,24 + 0,53 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.40b)$$

şeklindedir.

Kılıç ve Öztürk Modeli (Model 30):

Kılıç ve Öztürk, a ve b katsayılarını aşağıdaki gibi vermiştir (Kılıç ve Öztürk, 1983);

$$a = 0,103 + 0,00001Z + 0,19 \cos(\lambda - \delta) \quad (2.41a)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\lambda - \delta) \quad (2.41b)$$

Lewis Modeli (Model 31):

Lewis Zimbabwe'deki üç farklı istasyon için aşağıda verilen ifadeyi önermiştir (Lewis, 1983);

$$\frac{I}{I_0} = 0,754 - 0,654 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.42)$$

Kholagi ve Arkadaşları Modeli (Model 32):

Kholagi ve arkadaşları Yemen'de üç farklı istasyondan alınan verilerle aşağıda verilen ifadeleri önermişlerdir (Kholagi and et al., 1983);

$$\frac{I}{I_0} = 0,191 + 0,571 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.43a)$$

$$\frac{I}{I_0} = 0,297 + 0,432 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.43b)$$

$$\frac{I}{I_0} = 0,262 + 0,454 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.43c)$$

Dogniaux ve Lemoine Modeli (Model 33):

Dogniaux ve Lemoine, global güneş radyasyonunun hesaplanması için şu modeli önermişlerdir (Dogniaux and Lemoine, 1983);

$$\frac{I}{I_0} = 0,37022 + \left[0,00506 \frac{S}{S_0} - 0,00313 \right] \lambda + 0,32029 \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.44)$$

2.4.6. Yatay Düzleme Gelen Yayılı ve Doğrudan Güneş Işınımı Hesaplama Modelleri

Literatürde yatay düzleme gelen yayılı ve doğrudan güneş ışınım şiddetinin belirlenmesinde kullanılan modeller berraklık indeksi ve yayılı ışınım oranı gibi parametrelerin fonksiyonu olarak verilir (Wong and Chow, 2001; Miguel and et al., 2001). Denklem (2.18)'de ifade edilen berraklık indeksi yanında,

$$k_d = \frac{I_d}{I} \quad (2.45a)$$

$$k_D = \frac{I_d}{I_0} \quad (2.45b)$$

$$k_b = \frac{I_b}{I_0} \quad (2.45c)$$

ifadeleri de vardır. Burada k_d yayılım ışınım oranını ve k_D ise yayılım ışınım katsayısını vermektedir. Yatay düzleme gelen yayılı ışınım ve yatay düzleme gelen doğrudan ışınım şiddeti değerleri k_T , k_d , k_D ve k_b katsayılarına bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

Liu ve Jordan Modeli (Model 34):

Bu modele göre yatay yüzeydeki yayılı ışınım katsayısı berraklık indeksine bağlı, yatay düzlemdeki doğrudan ışınım katsayısı yayılı ışınım katsayısına bağlı olarak ve yatay düzleme gelen yayılı ışınım şiddeti ile doğrudan ışınım şiddeti değerleri de bu katsayılara bağlı olarak hesaplanabilmektedir (Liu and Jordan; 1962).

$$k_D = 0,0271 - 0,2939 \cdot k_b \quad (2.46a)$$

$$k_T = \frac{I_b + I_d}{I_0} = k_b + k_D \quad (2.46b)$$

$$k_D = 0,384 - 0,416 \cdot k_T \quad (2.46c)$$

Orgill ve Hollands Modeli (Model 35):

Bu modele göre yatay düzleme gelen yayılı ışınım şiddeti berraklık indeksine ve yayılı ışınım oranına bağlı olarak hesaplanabilmektedir (Orgill and Hollands, 1977).

$$k_d = 1 - 0,249 \cdot k_T \quad ; \quad k_T < 0,35 \quad (2.47a)$$

$$k_d = 1,577 - 1,84 \cdot k_T \quad ; \quad 0,35 \leq k_T \leq 0,75 \quad (2.47b)$$

$$k_d = 0,177 \quad ; \quad k_T > 0,75 \quad (2.47c)$$

Erbs ve Arkadaşları Modeli (Model 36):

Erbs ve arkadaşları Amerika'da 31 ve 42° enlem arasındaki 5 istasyonda elde ettiği verileri incelemişler ve yatay düzleme gelen yayılı ışınım şiddeti için berraklık indeksine ve yayılı ışınım oranına bağlı olarak korelasyon katsayılarını şu şekilde hesaplamışlardır (Erbs and et al., 1982);

$$k_d = 1,009 \cdot k_T ; k_T \leq 0,22 \quad (2.48a)$$

$$k_d = 0,9511 - 0,1604 \cdot k_T + 4,388 \cdot k_T^2 - 16,638 \cdot k_T^3 + 12,336 \cdot k_T^4 ; 0,22 < k_T \leq 0,8 \quad (2.48b)$$

$$k_d = 0,165 ; k_T > 0,8 \quad (2.48c)$$

Spencer Modeli (Model 37):

Spencer Avustralya'daki 5 istasyon için günlük yayılım ışınım şiddetini enleme bağlı olarak hesaplamış ve şu ifadeleri elde etmiştir (Spencer, 1982);

$$k_d = a_3 - b_3 \cdot k_T ; 0,35 \leq k_T \leq 0,75 \quad (2.49a)$$

$$a_3 = 0,94 + 0,0118|\phi| \quad (2.49b)$$

$$b_3 = 1,185 + 0,0135|\phi| \quad (2.49c)$$

Reindl ve Arkadaşları Modeli (Model 38):

Reindl ve arkadaşları Avrupa ve Amerika'daki 5 istasyondan aldıkları verileri kullanarak iki model önermişlerdir. Birinci modelde yatay düzleme gelen yayılı ışınım miktarını berraklık indeksine ve yayılı ışınım oranına bağlı olarak vermişlerdir (Reindl and et al., 1990);

$$k_d = 1,02 - 0,248 \cdot k_T \quad ; \quad k_T \leq 0,3 \quad (2.50a)$$

$$k_d = 1,45 - 1,67 \cdot k_T \quad ; \quad 0,3 < k_T < 0,78 \quad (2.50b)$$

$$k_d = 1,147 \quad ; \quad k_T \geq 0,78 \quad (2.50c)$$

İkinci modelde ise güneş enlemine bağlı olarak ifadeler verilmiştir;

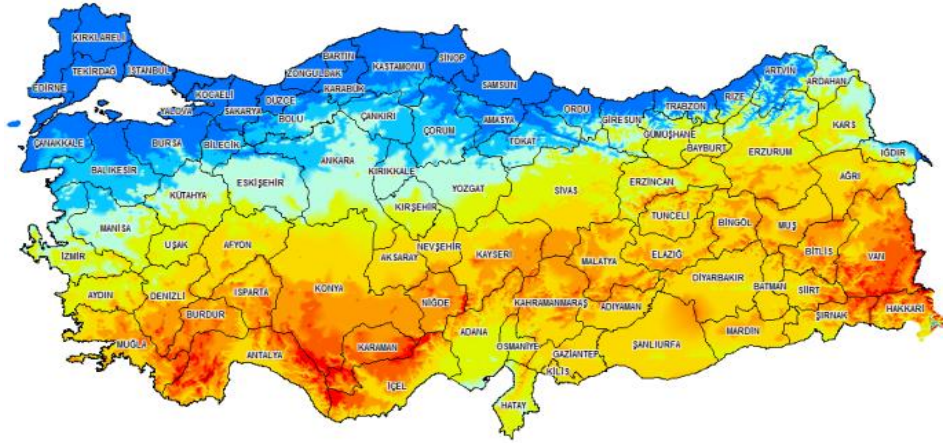
$$k_d = 1,02 - 0,254 \cdot k_T + 0,0123 \cdot \sin \alpha \quad ; \quad k_T \leq 0,3 \quad (2.51a)$$

$$k_d = 1,4 - 1,749 \cdot k_T + 0,177 \cdot \sin \alpha \quad ; \quad 0,3 < k_T < 0,78 \quad (2.51b)$$

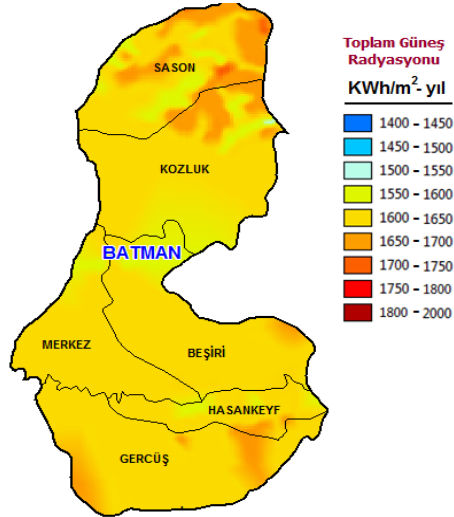
$$k_d = 0,486 \cdot k_T + 0,182 \cdot \sin \alpha \quad ; \quad k_T \geq 0,78 \quad (2.51c)$$

2.5. Batman İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Bir yerin güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanabilmesi için verimliliği etkileyen temel faktörlerin başında yerin coğrafi konumu ve güneş ışınım şiddeti değeri gelmektedir. Batman ili ülkemizin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer almakta olup, Şekil 2.5'teki güneş enerjisi atlasında görüldüğü gibi güneş ışınımının yüksek olduğu kuşak alanında bulunmaktadır. Şekil 2.6'da ise Batman ili sınırları içerisindeki bölgelerde yıllık 1650 kWh/kW_p değerinin üzerinde bir elektrik enerjisi üretimi söz konusudur.



Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi haritası (www.eie.gov.tr)

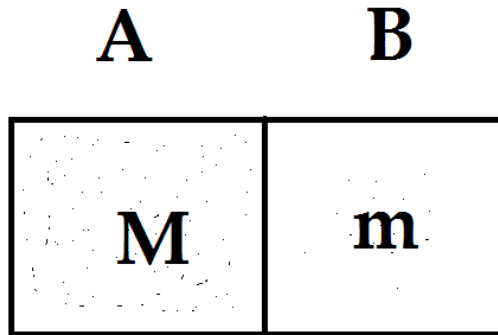


Şekil 2.6. Batman ilinin güneş enerjisi haritası (www.eie.gov.tr)

BÖLÜM 3. ÖLÇÜM ARAÇLARI VE SİSTEMİ

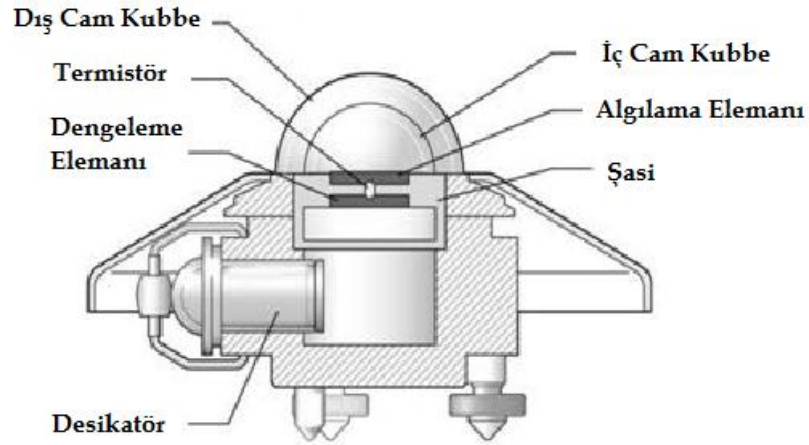
3.1. Piranometre

Piranometreler; üzerindeki yarı küreye doğrudan ya da yayılı olarak gelen anlık güneş ışınım şiddetlerini ölçmek için tasarlanmış ana çalışma prensibi termopile dayanan araçlardır. Termopil tipi piranometrelerin çalışma prensibi, bir yüzeyin üstüne düşen ışınım ile ısınması sonucu üretilen elektriksel potansiyel farkın ölçülmesine dayanır. Termo-elektrik çiftin elektromotor kuvveti farklı metallerdeki elektron yoğunluğunun aynı olmamasından ileri gelir ve sıcaklığa bağlıdır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi A ve B iletkenlerin cm^3 başına ihtiva ettikleri serbest elektron sayısı M ve m olsun. M’nin m’den büyük olduğunu kabul edersek, A ve B iletkenlerinin teması halinde A’dan B’ye, B’den A’ya geçecek olduğundan daha çok elektron geçecektir. Bu durumda B negatif olarak yüklenecek olup, B’deki negatif yük fazlalığından dolayı diğer tarafa geçmek isteyen elektronlara etkileyen kuvvet elektronların hızlarını gittikçe azaltacaktır. Denge halinde A elektron kaybettiğinden pozitif ve B elektron kazandığından negatif olacaktır. Böylece A ve B iletkenleri arasında bir potansiyel fark meydana gelecektir (Masalci, 2000). Bu potansiyel fark aynı zamanda soğrulan güneş ışınımının bir ölçüsüdür.



Şekil 3.1. Termo-çift

Batman'ın iklim şartlarında güneş ışınım şiddetini tespit etmek için anlık güneş ışınım şiddetini ölçen Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tarafından da önerilen Kipp&Zonen firmasına ait CM11 piranometresi kullanılmıştır. CM11 piranometreye ait teknik özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir. Piranometre, güneş modülünden destekli batarya yardımıyla depolama aygıtı olan dataloggera bağlanmıştır. Belli günlerde dataloggerda kaydedilen veriler RS232 arayüzü ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ayrıca sistem belli derecelere göre platform dizayn edilmiştir. Piranometre 15°, 30°, 45° ve 60°lere göre çalışabilir konuma ayarlanmıştır. Tüm ölçümler Batman Üniversitesi merkez kampüsünde gerçekleştirilmiş olup, ölçüm değerleri Ekim 2011 ile Ekim 2013 tarihleri arasında kapsamaktadır.



Şekil 3.2. Kipp&Zonen CM11 piranometre yapısı

Tablo 3.1. Kipp&Zonen CM11 Piranometresinin Teknik Özellikleri

Spektrum aralığı	305-2800 nm (50% nokta)
Duyarlılık	4-6 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Empedans	700-1500 Ω
Tepki zamanı (95%)	15 saniye
Yüzdesel sapma	$< \pm 0.6 \%$ ($< 1000 \text{ W}/\text{m}^2$)
Sıcaklığa duyarlılık	$< \pm 1 \%$ (- 10 dan 40 $^{\circ}\text{C}$)
Doğrudan hata	$< \pm 10 \text{ W}/\text{m}^2$ (1000 W/m^2 ışınımında)
Çalışma sıcaklığı	-40 $^{\circ}\text{C}$ den 80 $^{\circ}\text{C}$
Ağırlık	850 gram
Kablo uzunluğu	10 m
Boyutlar	150.0 mm x 91.5 mm

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Batman İli İçin Toplam Güneş Işınım Şiddeti Hesaplamaları

Batman ilinde Ekim 2011-Eylül 2013 tarihleri arasında ölçülmüş olan yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışınım şiddeti ve bazı günlerde eğimli düzleme gelen güneş ışınım şiddeti değerleri ölçülmüştür. Çalışmamızda şu yol izlenmiştir:

- 1) Yatay düzleme gelen ölçülmüş saatlik toplam güneş ışınım şiddeti değerleri yardımıyla;
 - (a) Yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddetiyle ilgili 16 adet model (Model 10....Model 33) karşılaştırması yapılarak optimum model belirlenmiştir.
 - (b) 5 model (Model 34....Model 38) kullanılarak yatay düzleme gelen saatlik doğrudan güneş ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan 5 farklı değer farklı açı değerleri için 2 model (Model 1-Model 2) kullanılarak eğimli düzleme gelen saatlik doğrudan güneş ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır.
 - (c) 5 model (Model 34....Model 38) kullanılarak yatay düzleme gelen saatlik yayılı güneş ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan 5 farklı değer farklı açı değerleri için 6 model (Model 3...Model 8) kullanılarak eğimli düzleme gelen saatlik doğrudan güneş ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır.
 - (d) 1 model (Model 9) kullanılarak farklı açı değerleri için eğimli düzleme gelen saatlik yansıyan güneş ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır.
 - (e) Sonuçta farklı açı değerleri için eğimli düzleme gelen saatlik toplam güneş ışınım değerleri hesaplanmıştır.
- 2) Belli günlerde farklı açılarda ölçülmüş eğimli düzleme gelen saatlik toplam güneş ışınım şiddeti değerleri, hesaplanmış olan değerlerle karşılaştırılarak optimum model belirlenmiştir.

4.2. Yatay Düzleme Gelen Saatlik Toplam Güneş Işınım Şiddeti

Batman ilinde ölçülmüş olan yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışınım şiddeti değerleri Tablo 4.1’de verilmektedir. Güneşlenme süreleri de MGM’den elde edilmiştir. Batman ili için farklı modellerin a ve b katsayılarına uygun olarak toplam güneş ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’de verilmektedir.

Tablo 4.1. Batman İline Ait Ekim 2011- Ekim 2013 Tarihleri Arasındaki Aylık Ortalama I , I_0 , S ve S_0 Değerleri

AYLAR	Yatay Yüzeye Gelen Aylık Ortalama Günlük Güneş Işınım Şiddeti (MJ/m^2 gün)	Yatay Yüzeye Gelen Atmosfer Dışı Aylık Ortalama Günlük Güneş Işınım Şiddeti (MJ/m^2 gün)	Güneşlenme Süresi (Saat)	Gün Uzunluğu (Saat)
	I	I_0	S	S_0
OCAK	5,470	16,758	3,21	9,72
ŞUBAT	9,319	21,923	4,19	10,63
MART	14,742	28,574	5,45	11,75
NİSAN	20,320	35,269	7,08	12,97
MAYIS	22,848	39,881	9,31	14,02
HAZİRAN	28,848	41,470	11,55	14,54
TEMMUZ	28,240	40,723	12,13	14,31
AĞUSTOS	25,233	37,012	11,29	13,41
EYLÜL	20,733	30,929	10,04	12,22
EKİM	13,666	23,855	7,06	11,01
KASIM	8,817	17,954	5,24	9,96
ARALIK	5,832	15,338	3,08	9,46
<u>ORTALAMA</u>	17,01	29,160	7,469	12,01

Tablo 4.2. Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 10-Model 16)

AYLAR	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13	Model 14	Model 15	Model 16
OCAK	6,905	7,812	6,445	6,030	6,168	6,472	3,766
ŞUBAT	9,752	10,848	9,299	8,744	9,073	9,230	4,947
MART	13,736	15,035	13,357	12,594	12,976	13,120	6,478
NİSAN	18,442	19,857	18,281	17,247	17,436	17,774	8,039
MAYIS	23,279	24,572	23,597	22,203	22,067	22,674	9,162
HAZİRAN	27,125	28,126	28,032	26,211	26,819	26,667	9,664
TEMMUZ	27,614	28,449	28,731	26,774	28,288	27,236	9,471
AĞUSTOS	24,981	25,754	25,973	24,213	25,473	24,630	8,605
EYLÜL	20,553	21,240	21,315	19,897	20,662	20,240	7,180
EKİM	13,648	14,457	13,782	12,977	12,910	13,270	5,472
KASIM	9,203	9,947	9,083	8,570	8,706	8,852	4,087
ARALIK	6,283	7,119	5,855	5,476	5,589	5,885	3,445

Tablo 4.3. Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 17-Model 23)

AYLAR	Model 17	Model 18	Model 19	Model 20	Model 21	Model 22	Model 23
OCAK	6,317	6,592	6,667	2,591	5,432	6,538	6,859
ŞUBAT	9,125	9,523	9,565	3,903	8,931	9,399	9,691
MART	13,120	13,618	13,978	5,819	12,342	13,393	13,654
NİSAN	17,974	18,437	18,987	8,245	16,235	18,113	18,338
MAYIS	23,225	23,236	23,342	11,055	23,344	22,946	23,156
HAZİRAN	27,617	26,663	27,555	13,547	21,197	26,711	26,992
TEMMUZ	28,314	26,880	27,661	14,032	20,457	27,156	27,481
AĞUSTOS	25,595	24,346	25,273	12,670	19,234	24,571	24,861
EYLÜL	21,002	20,107	21,172	10,358	18,343	20,226	20,453
EKİM	13,562	13,641	13,714	6,415	16,257	13,450	13,576
KASIM	8,929	9,189	9,281	4,065	9,035	9,027	9,151
ARALIK	5,739	5,987	6,005	2,345	5,430	5,940	6,242

Tablo 4.4. Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 24-Model 30)

AYLAR	Model 24	Model 25	Model 26	Model 27	Model 28	Model 29	Model 30
OCAK	7,406	6,793	5,985	6,081	6,747	6,335	6,133
ŞUBAT	10,931	9,855	8,603	8,741	9,629	9,127	8,800
MART	16,084	14,226	12,314	12,455	13,656	13,092	12,853
NİSAN	22,656	19,561	16,796	16,845	18,397	17,897	17,468
MAYIS	30,577	25,384	21,597	21,340	23,181	23,067	21,474
HAZİRAN	38,364	30,291	25,573	24,841	26,780	27,370	25,351
TEMMUZ	40,298	31,095	26,180	25,255	27,120	28,068	25,448
AĞUSTOS	36,324	28,104	23,670	22,851	24,550	25,390	23,251
EYLÜL	29,533	23,051	19,433	18,810	20,239	20,885	19,478
EKİM	17,701	14,812	12,622	12,509	13,603	13,836	12,617
KASIM	11,177	9,709	8,352	8,395	9,177	9,311	8,539
ARALIK	6,717	6,169	5,439	5,524	6,134	6,327	5,525

Tablo 4.5. Batman iline ait çeşitli modellere göre hesaplanmış aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerleri (Model 31-Model 33)

AYLAR	Model 31	Model 32 a	Model 32 b	Model 32 c	Model 33
OCAK	9,019	6,359	7,366	6,901	8,004
ŞUBAT	10,883	9,117	10,241	9,664	10,918
MART	12,880	13,029	14,210	13,501	14,869
NİSAN	14,005	17,726	18,790	17,979	19,279
MAYIS	12,751	22,738	23,285	22,471	23,310
HAZİRAN	9,792	26,869	26,688	25,956	26,107
TEMMUZ	8,130	27,488	27,007	26,341	26,195
AĞUSTOS	7,537	24,854	24,448	23,837	23,735
EYLÜL	6,708	20,411	20,158	19,635	19,633
EKİM	7,978	13,294	13,696	13,198	13,771
KASIM	7,364	8,818	9,410	8,989	9,699
ARALIK	8,300	5,780	6,712	6,285	7,303

4.3. İstatistiksel Analiz Yöntemleri

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, modellemelerin performansını değerlendirmek için kullanılan birçok test yöntemi vardır (Davies and et al., 1984; Malik and Tama, 1995; Zeroual and et al., 1995). Bu modeller arasında; hata kareler ortalaması (MSE), ortalama mutlak hatası (MAE), ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) istatistiksel sonuçları karşılaştırmak için en çok kullanılan yöntemlerdir (Ma and Iqbal, 1984).

Model karşılaştırmalarında ilk belirleyici ölçüt toplam karesel hatanın ortalaması (MSE) alınarak hesaplanır. MSE değeri ne kadar küçük ise gözlenen değer ile beklenen değer arasındaki sapma da küçük olur. Bu durumda ölçüm değerleri ile beklenen değerler arasındaki sapma küçüldükçe model daha iyi uyum sağlayacaktır. MSE şu şekilde verilir;

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ölçülen} - X_{hesaplanan})^2 \quad (4.1)$$

Model değerlendirmesinde kullanılan ikinci ölçüt ise ortalama karekök hatanın (RMSE) bulunmasıdır. RMSE'in sıfıra yakın değerler alması modele uyumu hakkında bilgi verir. RMSE'de şu şekilde verilir;

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^N \frac{(X_{ölçülen} - X_{hesaplanan})^2}{N} \right)^{1/2} \quad (4.2)$$

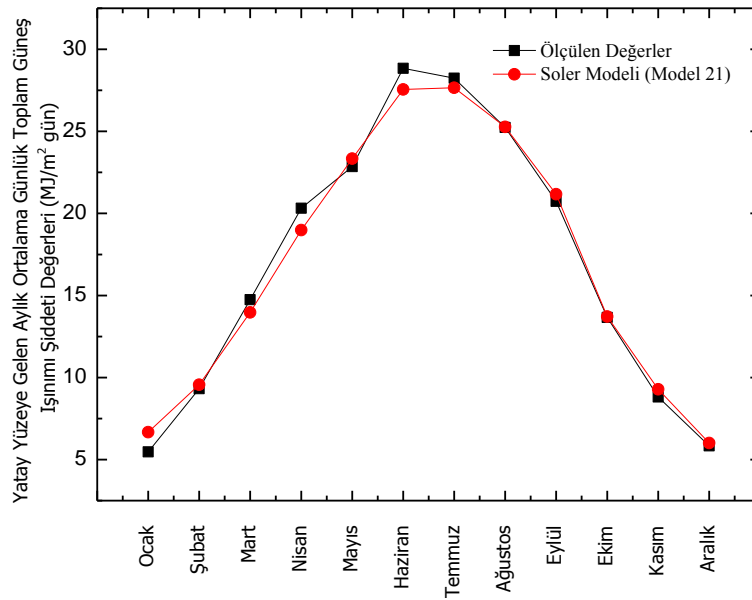
Model değerlendirmesinde kullanılan üçüncü ölçüt ortalama mutlak hatasının (MAE) bulunmasıdır. MAE şu şekilde verilir;

$$MAE = \sum_{i=1}^N \frac{X_{ölçülen} - X_{hesaplanan}}{N} \quad (4.3)$$

Model değerlendirmesinde kullanılan diğer bir ölçüt ortalama mutlak hata yüzdesinin (MAPE) bulunmasıdır. MAPE'de şu şekilde verilir;

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{ölçülen} - X_{hesaplanan}}{X_{ölçülen}} \right| \times 100 \quad (4.4)$$

Batman iline ait toplam güneş ışınım şiddeti hesaplama modellerinin istatistiksel analiz değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Yapılan incelemelerde, aylık ortalama günlük güneş ışınımı hesaplama modelinde Batman ili için en uygun modelin Soler modeli (model 19) olduğu görülmektedir. Şekil 4.1'de Batman iline ait ölçülen ve Soler modeli ile hesaplanan toplam güneş ışınım şiddeti değerleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Batman ili için ölçülen ve hesaplanan yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı şiddeti değerleri

Tablo 4.6. Batman ili için toplam güneş ışınım şiddeti hesaplama modellerinin istatistiksel analizleri

MODELLER	MSE	RMSE	MAE	MAPE
Model 10	0,896	0,946	0,734	5,927
Model 11	1,312	1,145	0,959	9,956
Model 12	0,787	0,887	0,683	4,610
Model 13	2,215	1,488	1,186	7,103
Model 14	1,448	1,203	0,822	5,367
Model 15	1,387	1,178	0,849	5,301
Model 16	141,982	11,915	10,311	56,098
Model 17	0,897	0,947	0,635	4,387
Model 18	1,182	1,087	0,860	5,605
Model 19	0,545	0,738	0,589	4,656
Model 20	99,218	9,960	9,084	54,348
Model 21	15,898	3,987	2,870	13,428
Model 22	1,196	1,093	0,810	5,247
Model 23	0,981	0,990	0,769	5,939
Model 24	44,379	6,661	5,309	28,394
Model 25	2,951	1,717	1,461	9,191
Model 26	3,430	1,852	1,543	8,925
Model 27	4,680	2,163	1,802	9,852
Model 28	1,096	1,046	0,834	5,909
Model 29	1,015	1,007	0,705	5,363
Model 30	3,420	1,849	1,537	8,543
Model 31	123,162	11,097	8,656	45,417
Model 32a	1,280	1,131	0,780	4,957
Model 32b	1,291	1,136	0,963	8,114
Model 32c	2,072	1,439	1,175	7,680
Model 33	2,362	1,537	1,299	11,289

4.4. Yatay Düzleme Gelen Yayılı ve Doğrudan Güneş Işınım Şiddeti Hesaplamaları

Batman iline ait ölçülmüş toplam güneş ışınımı şiddeti değerlerine bağlı kalınarak, yatay düzleme gelen yayılı ve doğrudan güneş ışınımı şiddeti değerleri farklı modeller ele alınarak (Model 34- Model 38) hesaplamaları yapılmış olup, ilgili değerler Tablo 4.7 ve 4.8’de verilmiştir. Bu hesaplamalarda k_T berraklık indeksi, k_d yayılı ışınım oranı, k_D yayılı ışınım katsayısı ve k_b doğrudan ışınım katsayısı değerleri her bir model için hesaplanmıştır. Bu değerler yanında I yatay yüzeye gelen toplam ışınım şiddeti ve I_0 atmosfer dışı yatay yüzeye gelen toplam ışınım şiddeti değerlerinden de yararlanılarak; I_d yatay düzleme gelen yayılı ışınım şiddeti ve I_b yatay düzleme gelen doğrudan ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4.7. Batman İline Ait Yatay Düzleme Gelen Hesaplanmış Yayılı ve Doğrudan Güneş Işınım Şiddeti Değerleri (Model 34- Model 36)

AYLAR	Model 34		Model 35		Model 36	
	I_d (MJ/m ² gün)	I_b (MJ/m ² gün)	I_d (MJ/m ² gün)	I_b (MJ/m ² gün)	I_d (MJ/m ² gün)	I_b (MJ/m ² gün)
OCAK	4,159	1,310	5,025	0,444	5,074	0,395
ŞUBAT	4,541	4,777	7,407	1,911	7,461	1,858
MART	4,839	9,902	9,253	5,488	9,221	5,520
NİSAN	5,090	15,222	10,503	9,816	10,008	10,315
MAYIS	5,809	17,038	11,946	10,901	11,419	11,428
HAZİRAN	3,923	24,924	8,568	20,279	7,236	21,611
TEMMUZ	3,889	24,350	8,500	19,739	7,182	21,057
AĞUSTOS	3,715	21,517	8,139	17,093	6,915	18,317
EYLÜL	3,251	17,481	7,123	13,609	6,106	14,626
EKİM	3,475	10,190	7,146	6,519	6,830	6,835
KASIM	3,226	5,590	5,937	2,879	5,973	2,843
ARALIK	3,463	2,368	5,116	0,715	5,060	0,771

Tablo 4.8. Batman İline Ait Yatay Düzleme Gelen Hesaplanmış Yayılı ve Doğrudan Güneş Işınım Şiddeti Değerleri (Model 37- Model 38)

AYLAR	Model 37		Model 38	
	I_d (MJ/m ² gün)	I_b (MJ/m ² gün)	I_d (MJ/m ² gün)	I_b (MJ/m ² gün)
OCAK	4.543	0.926	4.949	0.520
ŞUBAT	6.185	3.133	6.897	2.421
MART	7.519	7.222	8.674	6.067
NİSAN	8.294	12.025	9.912	10.407
MAYIS	9.451	13.396	11.269	11.578
HAZİRAN	5.944	22.903	8.316	20.531
TEMMUZ	5.922	22.317	8.243	19.996
AĞUSTOS	5.791	19.441	7.859	17.373
EYLÜL	5.159	15.573	6.852	13.880
EKİM	5.653	8.012	6.741	6.924
KASIM	4.867	3.949	5.553	3.263
ARALIK	4.313	1.518	4.753	1.078

4.5. Eğimli Düzleme Gelen Saatlik Toplam Güneş Işınım Şiddeti Hesaplamaları

Batman ili için eğimli düzleme gelen yayılı, doğrudan ve yansıyan ışınım şiddeti değerleri 15°, 30°, 45° ve 60° eğim açıları için hesaplanmıştır. Buna göre:

Eğimli Düzleme Gelen Doğrudan Işınım Şiddeti Hesaplamaları: 5 model (Model 34...Model 38) kullanılarak hesaplanmış yatay düzleme gelen saatlik doğrudan güneş ışınım şiddeti değerlerinden yararlanılmıştır. Bu değerler ele alınarak eğimli düzleme gelen doğrudan ışınım şiddeti hesabı için ortalama gün ele alınarak 2 model (Model 1-

Model 2) kullanılmış ve 15° , 30° , 45° ve 60° eğim açıları için hesaplanmıştır. Sonuçta her bir ay için 40 farklı değer elde edilmiştir.

Eğimli Düzleme Gelen Yayılı Işınım Şiddeti Hesaplamaları: 5 model (Model 34...Model 38) kullanılarak hesaplanmış yatay düzleme gelen saatlik yayılı güneş ışınım şiddeti değerlerinden yararlanılmıştır. Bu değerler ele alınarak eğimli düzleme gelen doğrudan ışınım şiddeti hesabı için ortalama gün ele alınarak 6 model (Model 3-Model 8) kullanılmış ve 15° , 30° , 45° ve 60° eğim açıları için hesaplanmıştır. Sonuçta her bir ay için 120 farklı değer elde edilmiştir.

Eğimli Düzleme Gelen Yansıyan Işınım Şiddeti Hesaplamaları: 1 model (Model 9) yardımıyla yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddeti değerlerinden yararlanılarak 15° , 30° , 45° ve 60° eğim açıları için eğimli düzleme gelen yansıyan ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta her bir ay için 4 farklı değer elde edilmiştir.

Eğimli düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddeti değeri denklem (2.4) kullanılarak hesaplanmıştır. 15° , 30° , 45° ve 60° eğim açıları için toplam 240 adet sütun veri elde edilmiştir. Bu 240 adet sütun verileri Tablo 4.9 ve 4.10'da görüldüğü gibi tekrar bileşenler ele alınarak isimlendirilmiştir.

Tablo 4.9. Batman ili için 15° ve 30° için model bileşenleri

15°				30°			
Model		Model		Model		Model	
Bileşenleri		Bileşenleri		Bileşenleri		Bileşenleri	
A1	1+3+9+34	A31	2+3+9+36	B1	1+3+9+34	B31	2+3+9+36
A2	1+4+9+34	A32	2+4+9+36	B2	1+4+9+34	B32	2+4+9+36
A3	1+5+9+34	A33	2+5+9+36	B3	1+5+9+34	B33	2+5+9+36
A4	1+6+9+34	A34	2+6+9+36	B4	1+6+9+34	B34	2+6+9+36
A5	1+7+9+34	A35	2+7+9+36	B5	1+7+9+34	B35	2+7+9+36
A6	1+8+9+34	A36	2+8+9+36	B6	1+8+9+34	B36	2+8+9+36
A7	2+3+9+34	A37	1+3+9+37	B7	2+3+9+34	B37	1+3+9+37
A8	2+4+9+34	A38	1+4+9+37	B8	2+4+9+34	B38	1+4+9+37
A9	2+5+9+34	A39	1+5+9+37	B9	2+5+9+34	B39	1+5+9+37
A10	2+6+9+34	A40	1+6+9+37	B10	2+6+9+34	B40	1+6+9+37
A11	2+7+9+34	A41	1+7+9+37	B11	2+7+9+34	B41	1+7+9+37
A12	2+8+9+34	A42	1+8+9+37	B12	2+8+9+34	B42	1+8+9+37
A13	1+3+9+35	A43	2+3+9+37	B13	1+3+9+35	B43	2+3+9+37
A14	1+4+9+35	A44	2+4+9+37	B14	1+4+9+35	B44	2+4+9+37
A15	1+5+9+35	A45	2+5+9+37	B15	1+5+9+35	B45	2+5+9+37
A16	1+6+9+35	A46	2+6+9+37	B16	1+6+9+35	B46	2+6+9+37
A17	1+7+9+35	A47	2+7+9+37	B17	1+7+9+35	B47	2+7+9+37
A18	1+8+9+35	A48	2+8+9+37	B18	1+8+9+35	B48	2+8+9+37
A19	2+3+9+35	A49	1+3+9+38	B19	2+3+9+35	B49	1+3+9+38
A20	2+4+9+35	A50	1+4+9+38	B20	2+4+9+35	B50	1+4+9+38
A21	2+5+9+35	A51	1+5+9+38	B21	2+5+9+35	B51	1+5+9+38
A22	2+6+9+35	A52	1+6+9+38	B22	2+6+9+35	B52	1+6+9+38
A23	2+7+9+35	A53	1+7+9+38	B23	2+7+9+35	B53	1+7+9+38
A24	2+8+9+35	A54	1+8+9+38	B24	2+8+9+35	B54	1+8+9+38
A25	1+3+9+36	A55	2+3+9+38	B25	1+3+9+36	B55	2+3+9+38
A26	1+4+9+36	A56	2+4+9+38	B26	1+4+9+36	B56	2+4+9+38
A27	1+5+9+36	A57	2+5+9+38	B27	1+5+9+36	B57	2+5+9+38
A28	1+6+9+36	A58	2+6+9+38	B28	1+6+9+36	B58	2+6+9+38
A29	1+7+9+36	A59	2+7+9+38	B29	1+7+9+36	B59	2+7+9+38
A30	1+8+9+36	A60	2+8+9+38	B30	1+8+9+36	B60	2+8+9+38

Tablo 4.10. Batman ili için 45° ve 60° için model bileşenleri

45°				60°			
	Model		Model		Model		Model
	Bileşenleri		Bileşenleri		Bileşenleri		Bileşenleri
C1	1+3+9+34	C31	2+3+9+36	D1	1+3+9+34	D31	2+3+9+36
C2	1+4+9+34	C32	2+4+9+36	D2	1+4+9+34	D32	2+4+9+36
C3	1+5+9+34	C33	2+5+9+36	D3	1+5+9+34	D33	2+5+9+36
C4	1+6+9+34	C34	2+6+9+36	D4	1+6+9+34	D34	2+6+9+36
C5	1+7+9+34	C35	2+7+9+36	D5	1+7+9+34	D35	2+7+9+36
C6	1+8+9+34	C36	2+8+9+36	D6	1+8+9+34	D36	2+8+9+36
C7	2+3+9+34	C37	1+3+9+37	D7	2+3+9+34	D37	1+3+9+37
C8	2+4+9+34	C38	1+4+9+37	D8	2+4+9+34	D38	1+4+9+37
C9	2+5+9+34	C39	1+5+9+37	D9	2+5+9+34	D39	1+5+9+37
C10	2+6+9+34	C40	1+6+9+37	D10	2+6+9+34	D40	1+6+9+37
C11	2+7+9+34	C41	1+7+9+37	D11	2+7+9+34	D41	1+7+9+37
C12	2+8+9+34	C42	1+8+9+37	D12	2+8+9+34	D42	1+8+9+37
C13	1+3+9+35	C43	2+3+9+37	D13	1+3+9+35	D43	2+3+9+37
C14	1+4+9+35	C44	2+4+9+37	D14	1+4+9+35	D44	2+4+9+37
C15	1+5+9+35	C45	2+5+9+37	D15	1+5+9+35	D45	2+5+9+37
C16	1+6+9+35	C46	2+6+9+37	D16	1+6+9+35	D46	2+6+9+37
C17	1+7+9+35	C47	2+7+9+37	D17	1+7+9+35	D47	2+7+9+37
C18	1+8+9+35	C48	2+8+9+37	D18	1+8+9+35	D48	2+8+9+37
C19	2+3+9+35	C49	1+3+9+38	D19	2+3+9+35	D49	1+3+9+38
C20	2+4+9+35	C50	1+4+9+38	D20	2+4+9+35	D50	1+4+9+38
C21	2+5+9+35	C51	1+5+9+38	D21	2+5+9+35	D51	1+5+9+38
C22	2+6+9+35	C52	1+6+9+38	D22	2+6+9+35	D52	1+6+9+38
C23	2+7+9+35	C53	1+7+9+38	D23	2+7+9+35	D53	1+7+9+38
C24	2+8+9+35	C54	1+8+9+38	D24	2+8+9+35	D54	1+8+9+38
C25	1+3+9+36	C55	2+3+9+38	D25	1+3+9+36	D55	2+3+9+38
C26	1+4+9+36	C56	2+4+9+38	D26	1+4+9+36	D56	2+4+9+38
C27	1+5+9+36	C57	2+5+9+38	D27	1+5+9+36	D57	2+5+9+38
C28	1+6+9+36	C58	2+6+9+38	D28	1+6+9+36	D58	2+6+9+38
C29	1+7+9+36	C59	2+7+9+38	D29	1+7+9+36	D59	2+7+9+38
C30	1+8+9+36	C60	2+8+9+38	D30	1+8+9+36	D60	2+8+9+38

Batman ili için eğimli düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddeti için; ölçülmüş ve hesaplanmış değerler istatistiksel analiz yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Buna göre; 15°, 30°, 45° ve 60° eğim açıları hesaplanmış Tablo 4.9 ve 4.10'da yer alan 240 adet eğimli düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddeti değeri ölçülmüş değer ile hata kareler ortalaması (MSE), ortalama mutlak hatası (MAE), ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) istatistiksel sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 4.10'da 15°, 30°, 45° ve 60° eğim açıları için istatistiksel hesaplamalar sonucu elde edilen en iyi iki optimum model sırasıyla verilmiştir.

15° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Klucher modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Klucher modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Spencer modelidir.

30° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Temps ve Coulson modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Orgill ve Hollands modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Koronakis modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Orgill ve Hollands modelidir.

45° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Hay ve Davis modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Erbs ve arkadaşları modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Koronakis modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Erbs ve arkadaşları modelidir.

60° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Klucher modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Spencer modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Liu ve Jordan modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Spencer modelidir.

Tablo 4.11. Farklı açı değerleri için belirlenmiş en iyi iki optimum model

Açı	Eğimli Düzlem İçin Yayılı Işınım Modeli	Eğimli Düzlem İçin Doğrudan Işınım Modeli	Eğimli Düzlem İçin Yansıyan Işınım Modeli	Yatay Düzlem İçin Yayılı ve Doğrudan Işınım Modeli
15° (1)	Klucher Model 6	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Liu ve Jordan Model 34
15° (2)	Klucher Model 6	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Spencer Model 37
30° (1)	Temps ve Coulson Model 5	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Orgill ve Hollands Model 35
30° (2)	Koronakis Model 4	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Orgill ve Hollands Model 35
45° (1)	Hay ve Davis Model 7	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Erbs ve Ark. Model 36
45° (2)	Koronakis Model 4	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Erbs ve Ark. Model 36
60° (1)	Klucher Model 6	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Spencer Model 37
60° (2)	Liu ve Jordan Model 3	Liu ve Jordan Model 1	Duffie ve Ark. Model 9	Spencer Model 37

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Batman iline ait ölçülmüş olan toplam güneş ışınım şiddeti değerleri, 16 adet model kullanılarak hesaplanmış olan değerlerle istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemelerde, yatay düzlem için aylık ortalama günlük güneş ışınımı hesaplama modelinde Batman ili için en uygun modelin Soler modeli (model 19) olduğu görülmektedir. Soler modeli ile hesaplanmış değerler ölçülmüş değerlerle kıyaslandığında hata payının çok az olduğu görülmektedir.

15° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Klucher modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Klucher modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Spencer modelidir.

30° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Temps ve Coulson modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Orgill ve Hollands modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Koronakis modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Orgill ve Hollands modelidir.

45° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Hay ve Davis modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Erbs ve arkadaşları modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Koronakis modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Erbs ve arkadaşları modelidir.

60° için; en iyi optimum modeller sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Klucher modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Spencer modelidir. Diğer en iyi optimum modeller ise sırasıyla eğimli düzlemde yayılım ışınım modeli Liu ve Jordan modeli, doğrudan ışınım modeli Liu ve Jordan modeli ve yansıyan ışınım modeli de Duffie ve arkadaşları modelidir. Yatay düzlem için ise yayılı ve doğrudan ışınım modeli Spencer modelidir.

KAYNAKLAR

AKINOGLU, BG., ECEVİT, A., “Construction of a quadratic model using modified Angstrom coefficients to estimate global solar radiation”, *Solar Energy*, 45(2): 85-92, 1990.

AKINOGLU, BG., ECEVİT, A., “A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation”, *Energy*, 15: 865–72, 1990.

AKSOY, B., “Estimated Monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations”, *Renewable Energy*, 10: 625-633, 1997.

ALSAAD, MA., “Characteristic distribution of global radiation for Amman, Jordan”, *Solar and Wind Technology*, 7(2/3): 261-6, 1990.

ANGSTRÖM A., “Solar and Terrestrial radiation”, *Quartely Journal of Royal Meteorological Society*, 50: 121-125, 1924.

BABUR, Y., DEMİRKOL, S., “Yeryüzüne düşen toplam güneş ışını miktarını belirlemede kullanılan modellerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması”. V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, s. 227-231, 2004.

BAHEL, V., BAKHSH, H., SRINIVASAN, RA., “Correlation for estimation of global solar radiation”, *Energy*, 12: 131-5, 1987.

BENSON, RB., PARIS, MV., SHERRY, J E., JUSTUS, CG., “Estimation of Daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements”, *Solar Energy*, 32: 523-35, 1984.

BULUT, H., DURMAZ, AF., YEŞİLATA B., “ Eğik düzleme gelen güneş ışınım değerlerinin deneysel olarak incelenmesi, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerji Kongresi, Eskişehir, Türkiye, s.143-149, 2006.

BULUT, H., “Adana ilinde eğik yüzeylere gelen güneş ışınım miktarının belirlenmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, Adana, Türkiye, s. 1-6, 2008.

DAVIES, JA., ABDEL-WAHAB, M., HOWARD, JE., “Errors in estimating solar irradiance from a numerical model”, *Solar Energy*, 32: 307, 1984.

DOGNIAUX, R., LEMOINE, M., “Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency”, Solar energy research and development in the European Community, Series F, vol. 2. Dordrecht, Holland: Reidel, 1983.

DUFFIE, JA., BECKMAN, WA., “Solar engineering of thermal processes”, John Wiley & Sons, Inc., 1980.

DURMAZ, AF., “Eğik yüzeylere gelen güneş ışınımının analizi ve cam yüzeylerden geçen güneş ışınımının tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 2007.

<http://www.eie.gov.tr> (erişim tarihi: 22.12.2013).

ERBS, DG, KLEIN, SA., DUFFIE, JA., “Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation”, Solar Energy, 28(4): 293–302, 1982.

FOUKAL PV., “Solar Astrophysics”, Wiley, Newyork, 1990.

GOPINATHAN, KK., “ A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface”, Solar Wind Technol, 5: 581-3, 1980.

GUEYMARD, C., “Predicting and performance assessment of mean hourly global radiation”, Solar Energy, 68: 285-303, 2000.

GÜNGÖR, A., YILDIZ A., KARTAL Y., “Ülkemiz enlemleri açık gün ışınımının hesaplanması için bir algoritma, örnek uygulama: Mersin”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, s.161-174, 2005.

HAY, J., DAVIES, J., “Calculation of the solar radiation incident on a inclined surface”, Proceedings First Canadian Solar Radiation Data Workshop, s.59–72, 1980.

IQBAL, M., “An introduction to Solar Radiation”, Academic Press, Toronto, 1983.

JAIN, S., JAIN, PC., “A comparison of the Angstrom-type correlations and the estimation of monthly average daily global irradiation”, Solar Energy, 40(2): 93-8, 1988.

JAIN, PC., “ Global irradiation estimation for Italian locations”, Solar and Wind Technology, 3(4): 323-8, 1986.

KAYGUSUZ, K., “Prospect of concentrating solar power in Turkey: the sustainable future”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 201(15): 808-14, 2011.

KHOLAGI, A., RAMADAN, MRI., ALI, ZEH., FATTAH, YA., “Global and diffuse solar irradiance in Yemen (Y.A.R)”, Solar Energy, 31(1): 55–62, 1983.

KILIÇ, A., ÖZTÜRK, A., “Güneş Enerjisi”, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.

KLUCHER, T., “Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces”, Solar Energy, 23: 111–114, 1979.

- LEWIS G., “Diffuse irradiation over Zimbabwe”, *Solar Energy*, 31(1): 125–8, 1983.
- LIU B., JORDAN, R., “Daily insolation on surfaces tilted towards the equator”, *Trans. ASHRAE*, 526-541, 1962.
- LIU, B., JORDAN, R., “The long term average performance of flat plate solar energy collectors”, *Solar Energy*, 7: 53-74, 1963.
- LI, DHW., LAM, JC., LAU, CCS., “A new approach for predicting vertical global solar irradiance”, *Renewable Energy*, 25: 591-606, 2002.
- LOUCHE, A., NOTTON, G., POGGI, P., SIMONNOT, G., “Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a French Mediterranean site”, *Solar Energy*, 46: 261-6, 1991.
- MA, C., IQBAL, M., “Statistical comparison of models for estimating solar radiation on inclined surfaces”, *Solar Energy*, 31: 313–317, 1983.
- MALIK, AQ., TAMA, SH., “Estimation of monthly average daily diffuse radiation for Brunei Darussalam”, *Renewable Energy*, 6: 425, 1995.
- MASALCI Ö., “Muğla ili güneş ışınım verileri ve değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2000.
- MIGUEL, AD., BILBAO, J., AGUIAR, R., KAMBEZİDİS, H., NEGRO, E., 2001. Diffuse solar irradiation model evaluation in the North mediterranean belt area, *Solar Energy*, **70**, 143-153.
- NEBBIA, G.,”Twentytwenty-five”, *Futures*, 33: 43-54, 2001.
- NEWLAND, FJ., “A Study of solar radiation models for the coastal region of South China”, *Solar Energy*, 31: 227-235, 1988.
- NOTTON, G., CRISTOFARI C., POGGI P. AND MUSELLI M., “Calculation of solar irradiance profiles from hourly data to simulate energy systems behaviour”, *Renewable Energy*, 27: 123-142, 2002.
- NOTTON, G., CRISTOFARI, C., MUSELLI, M., POGGI, P.,” Calculation on an hourly basis of solar diffuse irradiances from global data for horizontal surfaces in Ajaccio”, *Energy Conversion and Management*, 45: 2849-2866, 2004.
- NOTTON, G., POGGI, P., CRISTOFARI, C., “Predicting hourly solar irradiances on inclined surfaces based on the horizontal measurements: performances of the association of well-known mathematical models”, *Energy Conversion And Manegement*, 47: 1816-1829, 2006.
- OGELMAN, H., ECEVIT, A., TASDEMIROGLU, E., “A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data”, *Solar Energy*, 33: 619-625, 1984.

ORGILL, JF., HOLLANDS, KGT., “Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface”, *Solar Energy*, 19(4): 357–9, 1977.

RAJA, IA., TWIDELL, JW., “Diurnal variation of global insolation over five locations in Pakistan”, *Solar Energy*, 44: 73–6, 1990.

RAMSEY, WJ., “Thermal Environmental Engineering, Univeristy of Minnesota”, ME 5103: 1-14, 2003.

REINDL, D., BECKMAN, W., DUFFIE, J., “Evaluation of hourly tilted surface radiation models”, *Solar Energy*, 45(1): 9–17, 1990.

REINDL, D., BECKMAN, W., DUFFIE, J., “Diffuse fraction corrections”, *Solar Energy*, 45(1): 1-7, 1990.

Renewables 2013.

RÜTHER, R., KLEISIS, G., “Advantages of thin Film Solar Modules in Façade, Sound Barrier and Roof-Mounted PV sytems”, *Eurosun’96*, 1990.

SAMUEL, TDMA., “ Estimation of global radiation for Sri Lanka”, *Solar Energy*, 47: 333-337, 1991.

SKARTVEIT, A., OLSETH, J., “Modelling slope irradiance at high latitudes”, *Solar Energy*, 38: 271-274, 1987.

SOLER, A., “Monthly specific Rietveld’s correlations”, *Solar Wind Technol*, 7: 305-8, 1990.

SPENCER, JW., “A comparis on of methods for estimating hourly diffuse solar-radiation from global solar-radiation”, *Solar Energy*, 29(1): 19-32, 1982.

TARHAN S., SARI, A., “Model selection for global and diffuse radiation over the central black sea (cbs) region of Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 46: 605-613, 2005.

TASDEMIROGLU, E., SEVER, R., “An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 31: 775-778, 1991.

TIRIS, M., TIRIS, C., ERDALLI Y., “Water heating system by solar energy: Marmara Research Centre, Institute of Energy Systems and Environmental Research”, NATO TU-COATING, Gebze, Kocaeli, Turkey, 1997.

TOGRUL, IT, TOGRUL, H., “H. Global solar radiation over Turkey: Comparison of predicted and measured data”, *Renewable Energy*, 25: 55-67, 2002.

TTMD, “Türkiye İklim Verileri”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara, 2000.

UYAREL, Y., ÖZ, E. S., “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları”, Birsen yayınevi, 1987.

ÜLGEN, K., ÖZBALTA, N., “Measured and estimated global radiation on horizontal surface for Bornova”, Izmir. XII. National Thermal Science and Technical Congress, İzmir, Turkey, p. 113–18, 2000.

ÜLGEN, K., HEPBAŞLI, A., “Comparison of the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for İzmir, Turkey”, Energy Sources, 25: 637-649, 2003.

VARTAINEN., “A new approach to estimating the diffuse irradiance on inclined surfaces”, Renewable Energy, 20: 45-64, 2000.

WEISS, W., MAUTHNER, F., “Solar Heat Worldwide”, Markets and Contribution, 2010.

WONG, LT., CHOW, WK., “Solar radiation model”, Applied Energy, 69: 191-224, 2001.

ZABARA K., “Estimation of global radiation in Greece”, Solar Wind Technology Journal, 7: 267-272, 1986.

ZEROUAL, A., ANKRIM, M., WILKINSON, AJ., “The diffuse-global correlation: its application to estimating solar radiation on tilted surfaces in Marrakesh, Morocco”, Renewable Energy, 7: 1-13, 1996.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Batman'da doğdu, Evli ve 3 çocuk sahibi, İlk orta ve lise öğrenimini Batman'da tamamladı, 2005 yılında Harran Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünden mezun olarak lisans eğitimini tamamlamıştır. 2011 yılında Batman Üniversitesi-Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı,