

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN OPTİMUM EĞİM
AÇISININ HESAPLANMASI**

ALİ AJDER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ELEKTRİK TESİSLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. CELAL KOCATEPE**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN OPTİMUM EĞİM
AÇISININ HESAPLANMASI**

ALİ AJDER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ELEKTRİK TESİSLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. CELAL KOCATEPE**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN OPTİMUM EĞİM
AÇISININ HESAPLANMASI**

Ali AJDER tarafından hazırlanan tez çalışması ... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

ÖNSÖZ

Herkesin bildiği gibi enerji insanoğlunun en önemli ihtiyaçlarından biri olmuştur. Çeşitli şekillerde sağlanan enerjilerin kaynakları sınırlıdır. Önemli bir kaynak olan petrolün arzı sınırlı olduğundan yakın gelecekte petrolün tükenmesi kaçınılmazdır. Aynı zamanda petrol fiyatlarının giderek yükseldiği düşünülürse, yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç artacaktır. Gelecekte tüm insanlığın yararı için gerekli olan yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması gerekliliğini şimdiden söylemek mümkündür. Bu durumda yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmalar ülkemiz açısından da çok gereklidir.

Bu nedenle tez çalışmasının amacı fotovoltaiik güneş panellerinin konumlandırılması olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın yapılması esnasında benden desteklerini esirgemeyen Sayın Hocalarım Prof. Dr. Celal KOCATEPE' ye, Doç. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN' e, Arş. Gör. İsmail NAKİR' e, Arş. Gör. Ali DURUSU' ya, tüm çalışma arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans dönemimde bana burs veren TÜBİTAK' a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2011

Ali AJDER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	4
GÜNEŞ ENERJİSİ	4
2.1 Güneş	4
2.2 Güneşten Gelen Enerji	4
2.3 Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu	6
2.4 Ülkemizde Güneş Enerjisi Potansiyeli	8
BÖLÜM 3	11
FOTOVOLTAİK HÜCRELER	11
3.1 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı	12
3.2 Fotovoltaik Pillerin Yapımında Kullanılan Malzemelerin Verimleri	13
3.3 Fotovoltaik Güneş Panellerinin Elektriksel Karakteristikleri.....	14
3.4 Fotovoltaik Güneş Pilleri Modelleri	17
3.4.1 Basitleştirilmiş model.....	17
3.4.2 Tek diyotlu model	18
3.4.3 İki diyotlu model	19
3.5 Fotovoltaik Yapılara Sıcaklığın Etkisi	20

BÖLÜM 4	21
GÜNEŞ IŞINIMI VE AÇILARI	21
4.1 Güneş Açıları	21
4.1.1 Enlem açısı	21
4.1.2 Deklinasyon açısı	22
4.1.3 Saat açısı	24
4.1.4 Zenit açısı	24
4.1.5 Azimut açısı	25
4.1.6 Güneş yükseklik açısı	25
4.2 Güneş Işınımının Ölçülmesi	26
4.3 Güneş Işınımına Dünya Atmosferinin Etkisi	28
4.4 Güneş Işınımına Bulutların Etkisi	29
4.5 Yatay Yüze Gelen Global Işınımın Bileşenlerine Ayrılması	30
4.6 Eğimli Yüze Gelen Güneş Işınımı	32
BÖLÜM 5	34
UYGULAMA ÇALIŞMALARI	34
BÖLÜM 6	43
SONUÇ VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR	46
EK-A	48
BOSTON'A AİT ÖRNEK VERİLER	48
EK-B	50
YATAY DÜZLEME GELEN IŞINIM MİKTARLARI	50
EK-C	52
EĞİK DÜZLEME GELEN IŞINIM MİKTARLARI	52
ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGE LİSTESİ

D	Diyot
E	Enerji
E_{eo}	Güneş sabiti
c	Işık hızı
f_g	Güneş sabiti düzeltme faktörü
g	Gün sayısı
G	PV yapının iletkenliği
H_0	Atmosfer dışına gelen ışınım
H_b	Yatay yüzeye gelen direkt ışınım
H_d	Yatay yüzeye gelen yayınlık ışınım
H_r	Yatay yüzeye gelen yansıyan ışınım
H_t	Yatay yüzeye gelen toplam ışınım
H_B	Eğik yüzeye gelen direkt ışınım
H_D	Eğik yüzeye gelen yayınlık ışınım
H_R	Eğik yüzeye gelen global ışınım
H_T	Eğik yüzeye gelen toplam ışınım
I	Güneş panelinin giriş akımı
I_B	Direkt ışınım
I_{BC}	Direkt ışınım etkin değeri
I_D	Diyot akımı
I_{mp}	Maksimum güç akımı
I_p	Paralel direnç üzerinden akan akım
I_{ph}	Foton akımı
I_s	Diyot doyma akımı
I_{sc}	Kısa devre akımı
k_T	Açıklık indeksi
m	Kütle
N	Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı
r_g	Güneş ile dünya arasındaki uzaklık
r_o	Yıllık ortalama uzaklık
R_p	Paralel direnç
R_s	Seri direnç
V	Güneş paneli çıkış gerilimi

V_D	Diyot gerilimi
V_L	Yük gerilimi
V_{oc}	Açık devre gerilimi
V_{mp}	Maksimum güç gerilimi
V_{ref}	Referans gerilimi
V_T	Çıkış gerilimi
β	Yüzey eğimi
δ	Deklinasyon açısı,
θ	Güneş geliş açısı
ϑ_z	Zenit açısı
ω	Saat açısı
ϕ	Enlem açısı
γ	Yüzey azimutu

KISALTMA LİSTESİ

A	Amper
AC	Alternatif akım
ASTM	American Society of Testing Materials
atm	Atmosfer
B	Batı
°C	Santigrad derece
cal	Kalori
cm ²	Santimetrekare
cos	Kosinüs
D	Doğu
DC	Doğru Akım
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
G	Güney
h	Hour (Saat)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
K	Kuzey
k	Kilo
km	Kilometre
kWh	Kilo watt saat
m	Metre
m ²	Metrekare
mV	Milivolt
ort	Ortalama
PV	Photovoltaic
sin	Sinüs
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
V	Volt
vb	Ve benzeri
vd	Ve diğerleri
W	Watt

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Güneşten gelen enerji	5
Şekil 2. 2	Dünya güneş enerjisi haritası.....	8
Şekil 2. 3	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası	10
Şekil 3. 1	Silikon güneş hücresi	12
Şekil 3. 2	Fotovoltaik Hücre- Modül- Panel- Dizi	13
Şekil 3. 3	Ülkemizde PV Tipi- Alan- Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl).....	14
Şekil 3. 4	Fotovoltaik hücrelerin seri ya da paralel olarak bağlanması.....	15
Şekil 3. 5	Seri bağlı fotovoltaik hücrelerin I- V eğrisi	15
Şekil 3. 6	Paralel bağlı fotovoltaik hücrelerin I- V eğrisi.....	16
Şekil 3. 7	Işınımın I- V eğrisine etkisi	16
Şekil 3. 8	Basitleştirilmiş model	17
Şekil 3. 9	Tek diyotlu elektriksel model	19
Şekil 3. 10	İki diyotlu elektriksel model	19
Şekil 3. 11	Farklı sıcaklıklar için I- V eğrisi	20
Şekil 4. 1	Enlem açısı	22
Şekil 4. 2	Deklinasyon açısının yıl içerisindeki değişimi	23
Şekil 4. 3	Zenit açısı	24
Şekil 4. 4	Azimut açısı.....	25
Şekil 4. 5	Güneş yükseklik açısı	26
Şekil 4. 6	Piranometre.....	27
Şekil 4. 7	Piranometre yan kesiti.....	27
Şekil 4. 8	Toplam ışınımın bileşenleri.....	29
Şekil 4. 9	Bulutsuz ve kısmen bulutlu günde güneş ışınımı.....	29
Şekil 4. 10	Yatay düzleme gelen verilerin bileşenlerine ayrılması	31
Şekil 4. 11	Yayınık ve yansıyan bileşenler	33
Şekil 5. 1	Atmosfer dışına gelen ışınım	34
Şekil 5. 2	Boston'a gelen global ışınım	35
Şekil 5. 3	Kt açıklık indeksi.....	35
Şekil 5. 4	Yataya gelen yayınık ışınım.....	36
Şekil 5. 5	Yataya gelen direkt ışınım.....	36
Şekil 5. 6	Eğimli yüzey geliş açısı	37
Şekil 5. 7	Eğimli yüzeye gelen direkt ışınım	37
Şekil 5. 8	Eğimli yüzeye gelen yayınık ışınım.....	38
Şekil 5. 9	Eğimli yüzeye gelen yansıyan ışınım.....	38
Şekil 5. 10	Eğimli yüzeye gelen toplam ışınım	39

Şekil 5. 11	Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışı nım miktarının değ işimi-1	40
Şekil 5. 12	Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışı nım miktarının değ işimi-2	42
Şekil 5. 13	Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışı nım miktarının değ işimi-3	43

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	Farklı hava koşullarında yaygın ışınım ve toplam ışınım miktarları.....	6
Çizelge 2. 2	Türkiye aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	9
Çizelge 2. 3	Yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	10
Çizelge 4. 1	Ortalama yansıtma katsayıları	33
Çizelge 5. 1	Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışınım miktarının değişimi-1	41
Çizelge 5. 2	Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışınım miktarının değişimi-2	42
Çizelge 5. 3	Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışınım miktarının değişimi-3	43

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN OPTİMUM EĞİM AÇISININ HESAPLANMASI

Ali AJDER

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Celal KOCATEPE

Dünya nüfusu son yıllarda büyük bir artış içerisinde. Buna paralel olarak sanayileşme çabaları ve yatırımlarının yapılması enerji talebini arttırmaktadır. Bu enerji talebinin büyük bir kısmı yıllardır fosil yakıtlardan karşılanmaktaydı, fakat çevremize olan bilincin artması ve aynı zamanda fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenecek olması alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmıştır.

Alternatif enerji kaynaklarından jeotermal ve nükleer enerji dışında kullanılan tüm kaynakların temelinde güneş enerjisi yatmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanabilmek için dünyamıza gelen güneş ışınımını (direkt, yayılı ve yansıyan) iyi analiz edebilmek gereklidir.

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisini irdeleyerek güneşten yararlanabilmek için gerekli olan güneş açılarının belirlenmesi ortaya konmuştur. Daha sonra yatay düzleme gelen ışınım bileşenlerine ayrıştırılmış ve son olarak da İstanbul ile aynı enlemde yer alan Boston şehri için sabit konumlandırılmış panellerin optimum eğim açısı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, fotovoltaik sistemler, güneş ışınımı, optimum eğim açısı

CALCULATION OF OPTIMUM TILT ANGLE FOR PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SYSTEMS

Ali AJDER

Department of Electrical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Celal KOCATEPE

The world population has dramatically increased in recent years. Industrialization efforts and investments parallel to this population growth result in more demand of energy. Most of this demand has been fulfilled by fossil fuel. However, as people become more sensitive to environmental factors and also since those fossil fuel will be used up, the attention to renewable energy sources has increased.

The core source of all energy sources except nuclear and geothermal energy is sun. To benefit from this huge energy capacity of sun, the radiation (direct, diffused and reflected) coming from sun needs to be analyzed very circumspectly.

In this study of thesis, after giving some general information regarding solar energy, the necessary angles to obtain adequate benefit from sun's radiation are mentioned. Additionally, the radiation coming to horizontal surface is separated into its components and finally, the optimum tilt angle of fixed positioned solar panels for Boston, which is on the same latitude as Istanbul is calculated.

Key words: Renewable energy sources, solar energy, photovoltaic systems, solar radiation, optimum tilt angle

1.1 Literatür Özeti

Güneş enerjisi uygulamaları yaklaşık 200 yıl öncesine dayanmaktadır. Dolayısıyla güneş, güneş ışınımı, güneş enerji sistemleri, fotovoltaik sistemler literatürde en kapsamlı konuların başında gelmektedir. Güneş enerjisinden yararlanırken en fazla verim elde edilmesi hedeflenmektedir. Güneş panelleri olarak adlandırılan ve direkt olarak güneşe dönük malzemeler bu işlemde en önemli kısımlardır. Güneş panellerinin konumu güneş enerjisinden yararlanmada en etkili parametrelerdendir. Bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır. Sabit paneller için optimum eğim açısının belirlenmesi hakkında da çok sayıda makaleye ulaşmak mümkündür.

H.M.S. Hussein ve arkadaşlarının Kahire'de yaptıkları çalışmada, fotovoltaik (PV) panel yüzeyine maksimum ışınımın panelin güney doğrultusunda konumlandırılması ve mevsimsel olarak eğim açısının değiştirilmesi durumunda olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca batı doğrultusunda konumlandırılan panellerin doğu doğrultusunda konumlandırılan panellere göre daha fazla enerji çıktısı olduğundan bahsetmişlerdir [1].

M. Kacira ve arkadaşlarının Şanlıurfa için yaptıkları çalışmada, sabit konumlandırılmış PV paneller için optimum eğim açısını belirleyip, iki eksenli bir güneş takipçisiyle sonuçları karşılaştırmışlardır. Aylık optimum eğim açısının yıl boyunca 13° - 61° arasında değiştiği ve yıllık enlem açısına eşit bir eğim açısıyla konumlandırılmış panele göre %3.9 daha fazla ışınım aldıklarını söylemişlerdir. Ayrıca temmuz ayının bir günü için iki

eksenli bir takipçinin enerji çıktısının 14° eğim açısıyla güney doğrultusunda konumlandırılmış bir panele göre %34,6 daha fazla olduğunu söylemişlerdir[2].

Koray Ulgen'in İzmir için yaptığı çalışmada, güneş kolektörleri için optimum eğim açısının yıl boyunca $0-61^\circ$ arasında değiştiğini belirlemiştir. Güneş kolektörlerinin, mevsimsel olarak kışın 55.7° , ilkbahar da 18.3° , yazın 4.3° , sonbahar da ise 43° eğimli olması gerektiğini söylemiştir. Sabit konumlandırılmış sistemler için ise yıllık ortalama eğim açısının 30.3° olduğunu ortaya koymuştur[3].

H. Gunerhan ve A. Hepbasli'nın İzmir için yaptıkları çalışmada, binalarda kullanılan güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısı araştırılmıştır. İzmir için, kolektör yüzeyine gelen maksimum ışınımın, güney doğrultusunda konumlandırılması durumunda iken olduğunu ifade etmişlerdir. Kolektör yüzeyine gelen ışınımı artırmak için kolektörlerin aylık ortalama eğim açılarına göre konumlandırılması gerektiğini ve eğim açılarının ayda bir değiştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [4].

1.2 Tezin Amacı

Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça iyi konumdadır. Rüzgar, güneş, hidroelektrik ve jeotermal enerjilerde kaynakların varlığı bakımından dünyada ilk on ülke içerisinde bulunmaktayız. Ancak günümüz itibarı ile bu kaynaklardan yeterince faydalanamamaktayız. Enerji üretimimiz tüketimimizin yaklaşık üçte birini karşılamaktadır. Bu yüzden bir an önce yüksek potansiyele sahip olduğumuz yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmemiz gerekmektedir [5].

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar 1800'lü yıllara kadar uzanmaktadır. Ancak bu çalışmaların yoğunluk kazanması 1970 li yıllardaki petrol krizine denk gelmektedir. Yaklaşık 40 yıldır bu alanda çalışmalar yapılsa da henüz maliyetlerin oldukça yüksek olmasından dolayı ülkemizde kullanımı yaygın değildir.

Bu tezin amacı güneş enerjisi, fotovoltaik yapılar ve güneş ışınımına etki eden meteorolojik faktörler teorik olarak vermek ve İstanbul ile aynı enlemde olan Boston (ABD) için sabit konumlandırılmış panellerde optimum eğim açısının hesaplanmasını gerçekleştirmektir.

1.3 Hipotez

Herhangi bir yüzey üzerine gelen güneş ışınlarının maksimum olabilmesi için, bu ışınların yüzeye dik bir açıda gelmesi gerekmektedir. Güneş takip sistemleri kullanılarak bunu sağlamak mümkündür, ancak takip sistemlerinin maliyeti yüksektir. Bazı uygulamalarda, örneğin sokak aydınlatılmasında güneş takip sistemlerine gerek yoktur. Bu uygulamalarda paneller sabit bir açıyla yerleştirilir. Sabit açıyla yerleştirilecek panelin açısı önem kazanır. Uygulamanın enerji ihtiyacına bağlı olarak aylık, mevsimlik ya da yıllık optimum eğim açısı hesaplanır. Yaygınlaşmakta olan alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi için ülkemizde de gelişimin sağlanabilmesi bakımından bu çalışmada İstanbul ile aynı enlemde olan Boston (ABD) için gelen ışınımın değerine göre yıllık optimum eğim açısı hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Böylece uygulamada önemli bir parametrenin belirlenmesi sağlanmış olmaktadır.

GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1 Güneş

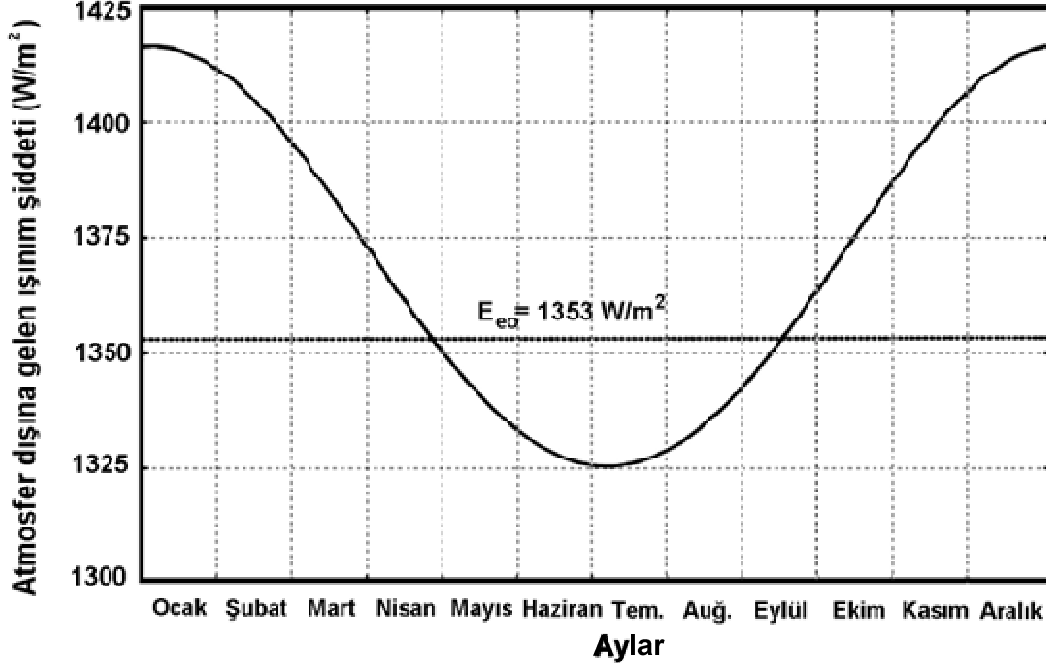
Jeotermal enerji ve nükleer yakıtlar dışında dünyada kullanılan tüm kaynakların temelinde güneş yatmaktadır. Güneşten gelen ısı ve ışık, Einstein'ın $E = m.c^2$ ile ifade ettiği kütle kaybı neticesinde ortaya çıkan enerjidir. Güneşin çekirdeğinde füzyon (çekirdek kaynaşması- helyum atomunu oluşturmak üzere hidrojen atomlarının tepkimeye girmesi) reaksiyonu sonucunda çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerji tüm uzaya yayılır ve dünyamıza ulaşır. Hidrojen atomlarının çok yüksek sıcaklıklarda daha ağır bir element olan helyuma dönüşmesi sırasında çok küçük miktarda kütle kaybı meydana gelir. Günümüzden yaklaşık 4 buçuk milyar yıl önce başlayan bu dönüşüm, güneşin çekirdeğinde bulunan tüm hidrojenlerin helyuma dönüşmesine kadar, yani yaklaşık 5 milyar yıl daha devam edecektir. Güneş çekirdeğinde sıcaklık yaklaşık 15 milyon °C ve basınç 340 milyar atm'dir. Bu koşullar altında saniyede yaklaşık 650 milyon ton hidrojen helyuma dönüşürken, 5 milyon ton madde enerjiye dönüşür. Fakat güneşte ortaya çıkan bu enerjinin çok az bir kısmı dünyamıza ulaşmaktadır [6].

2.2 Güneşten Gelen Enerji

Atmosfer dışına gelen ışınım dünyanın güneş etrafındaki yörüngesi boyunca değişim gösterir. Bunun nedeni yıl boyunca güneş ve dünya arasındaki mesafenin 147 milyon km ile 152 milyon km arasında değişmesidir. Bu da atmosfer dışına gelen ışınımın 1325

W/m^2 ile $1420 W/m^2$ arasında değişmesine neden olur. Yıl boyunca atmosfer dışına gelen ortalama güneş ışınımı ise $1367 (-/+ 2) W/m^2$ dir. Bu da güneş sabiti olarak isimlendirilir [7].

Atmosfer dışına gelen ışınım şiddetinin aylara göre değişimi şekil 2.1' de gösterildiği gibidir.



şekil 2.1 Güneşten gelen enerji miktarı

Güneşten gelen ışınım miktarını hesaplamak üzere güneş sabiti E_{eo} değeri tanımlanmıştır. E_{eo} , anlık olarak atmosfer dışında birim alana gelen tüm dalga boylarındaki güneş ışınımını ifade eder. Atmosfer dışına herhangi bir günde birim alana gelen tüm dalga boylarındaki güneş ışınım değeri (2.1) de verildiği gibidir.

$$E_g = \frac{r_0^2}{r_g^2} \cdot E_{eo} = f_g \cdot E_{eo} \quad (2.1)$$

Burada E_{eo} güneş sabiti, r_g güneş ile dünya arası uzaklık, r_0 yıllık ortalama uzaklık olup, f_g güneş sabiti düzeltme faktörüdür ve "g" sene başından itibaren istenilen güne kadar olan gün sayısını göstermektedir. f_g düzeltme faktörünü hesaplamak üzere (2.2) deki ifadeden yararlanılabilir [8].

$$f_g = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(360 - \frac{g}{365}\right) \quad (2.2)$$

Thekaekara, 1976 yılında güneş sabitini 1353 W/m^2 olarak vermiş ve bu değer ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir [9].

Güneşten yeryüzüne gelen toplam ışınım, direkt (dolaysız) ve yaygın (dolaylı) ışınım olmak üzere iki kısma ayrılır; doğrudan güneşten gelen ışınım direk ışınım olarak adlandırılırken, yaygın ışınım ise belirli yönü ve doğrultusu olmayan, yani güneş ışınımının yeryüzüne dağınık olarak ulaşan kısmıdır [10]. Bu dağınıklığın sebebi güneş ışınımının atmosferden geçerken su buharı ya da toz parçacıkları tarafından saçılmasıdır. [11].

Çizelge 2.1' de değişik hava durumları için toplam ışınım ve bu toplam içindeki yaygın ışınım yüzdeleri verilmiştir [12].

Çizelge 2.1 Farklı hava koşullarında yaygın ışınım ve toplam ışınım miktarları

Hava Durumu	Toplam ışınım	Yaygın (Dolaylı) ışınım
Açık	$600- 1000 \text{ W/m}^2$	% 10- 20
Puslu	$200- 400 \text{ W/m}^2$	% 20- 80
Tam kapalı	$50- 150 \text{ W/m}^2$	% 80- 100

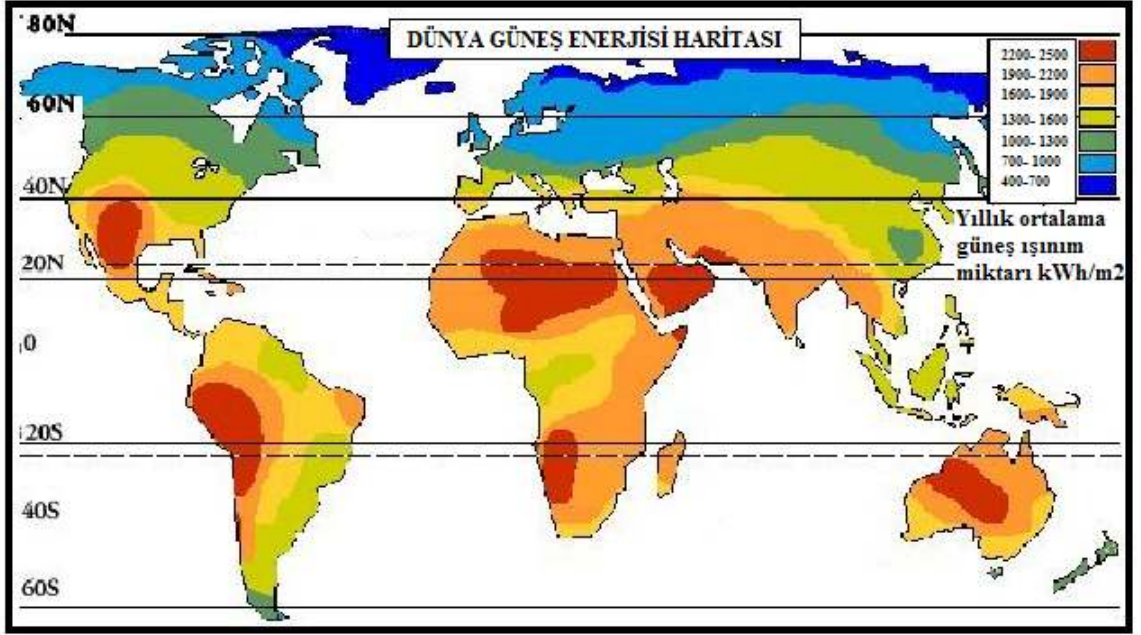
2.3 Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu

Sanayileşme ve buna paralel olarak enerji kaynaklarına ulaşma çabaları tüm dünya için çok acı olayların yaşanmasına sebep olmuş, dünya savaşları bu kaynakları ele geçirmek adına yapılmıştır. 1970' li yıllara gelindiğinde bu sürecin sağlıklı olmadığı ve sürdürülemeyeceği anlaşılmaya başlandı. Uluslararası toplantılar ve ortak Geleceğimiz gibi raporlar hazırlanarak 1970' lerden itibaren bu konuda ciddi gelişmeler yaşanmaktadır. Dünya devletlerinin enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarının yanında sorunsuz, sınırsız ve güvenilir enerji kaynakları da bu dönemde sorgulanmaya

başlanmıştır. Jeotermal ve nükleer enerji hariç diğer tüm enerji kaynaklarının ana kaynağı olan güneş enerjisi bu konuda ele alınan en büyük umut kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır [13].

Tüm dünyada 40 yıldır güneş enerjisi alanında yürütülen çalışmalar son dönemde özellikle hız kazanmıştır. Bunun en büyük sebeplerinden birisi dünyadaki petrol tekellerinin ve hedge fonlarının etkisiyle Temmuz 2008 de varil fiyatı 147 dolara kadar artan petrol fiyatlarının, kömür ve doğalgaz fiyatlarını da arttırması olarak gösterilebilir.

İkinci olarak ve asıl üzerinde durulması gereken önemli bir neden, dünya enerji sektörünün, iklimlerde meydana gelen değişimlerden ve bunun sonucunda ortaya çıkan sorunlardan dolayı arayış içerisinde olmasıdır. Fosil kaynakları yetersiz olup enerjide dışa bağımlılığı rahatsızlık veren gelişmiş ülkeler, bu arayış içerisinde güvenilir enerji kaynaklarına yönelerek, yenilenebilir enerji ve temiz teknolojiler konularında çalışmalarını giderek artırmaktadırlar. Dünyanın önde gelen petrol şirketleri dahi stratejik hedeflerini belirlerken alternatif enerji kaynaklarının kullanımını öncelikleri arasına almış durumdadırlar. Gelişmiş ülke ve şirketler için yenilenebilir enerji sadece enerji güvenliği açısından önemli olmayıp aynı zamanda yatırım ve istihdam alanı olarak değerlendirilmeli, dünya üzerinde temelleri yeni atılmakta olan teknoloji egemenliğinin yapı taşları olarak görülmelidir. Bundan dolayı dünya devlerinin fosil kaynaklar üzerinde olan rekabetleri önümüzdeki yıllarda yeni teknoloji pazarına da yansımaktır. Güneş enerjisi son dönemde dünyanın özellikle iklim değişikliği ile ilgili sorunların çözümü olarak gördüğü en önemli kaynak durumundadır[30]. Şekil 2.2 de dünya güneş enerjisi haritası verilmektedir.



Şekil 2.2 Dünya güneş enerjisi haritası

Güneş enerjisinden ısıtma, soğutma, direk ve endirek elektrik üretiminde yararlanılmakta olup, farklı alanlarda kullanımı giderek artmaktadır. Önümüzdeki 30 yıla kadar dünya enerji ihtiyacının %26 sının sadece güneşten sağlanacağı tahmin edilmekte olup 2 milyondan fazla kişiye iş imkanı sağlanması beklenmektedir. Ayrıca 2020 li yıllarda güneş enerjisi ile elektrik üretiminin diğer kaynaklar ile üretimle rekabet edebilir seviyeye geleceği öngörülmektedir [14].

2.4 Ülkemizde Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi bakımından çok şanslı konumdadır. Ülkemizde ortalama güneşlenme süresinin yüksek olması ve ayrıca güneş enerjisi potansiyelimizin ülkemize dağılımı göz önüne alınırsa tüm bölgelerimizin her türlü güneş enerjisi uygulamasına elverişli olduğu söylenebilir. Çizelge 2.2' de ülkemizin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir [15].

Çizelge 2.2 Türkiye aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,65	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,38	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	280
EKİM	7,73	89,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

EİE' nin yapmış olduğu çalışma kapsamında, 1966–1982 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) genel müdürlüğünce ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yola çıkarak ülkemizin güneşlenme süresi günlük toplam 7,2 saat ve ortalama yıllık toplam 2640 saattir. Ortalama toplam ışınım şiddeti ise 1311 kWh/m²- yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olarak belirlenmiştir [16].

Daha sonra yapılan çalışmalar bu değerlerin gerçeği yansıtmadığına işaret etmektedir, ülkemizin gerçek potansiyelinin çok daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. 1992 yılından itibaren EİE ile DMI, güneş enerjisi değerlerinin daha güvenilir ölçülmesi amacıyla çalışmalar yapmaktadırlar; bu çalışmalar sonucunda, ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin önceki değerlerden %20- 25 daha fazla çıkması öngörülmektedir [16]. Bu konuda uzmanlar ülkemizin güneş ışınımının 1500 kWh/ m²- yıl değerinden daha fazla

olduğunu belirtmektedirler. Şekil 2.3' de ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli ve Çizelge 2.3 de bu potansiyelin bölgelere göre dağılımı yer almaktadır.



Şekil 2.3 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası

Çizelge 2.3 Yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ	GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(kWh/m ² -yıl)	(Saat/ Yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

FOTOVOLTAİK HÜCRELER

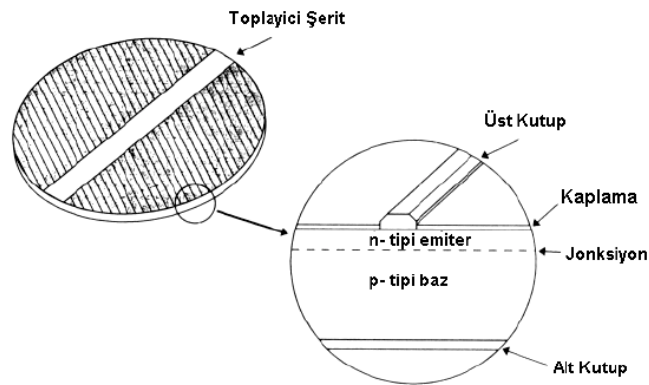
Fotovoltaik hücreler (Photovoltaic, PV) güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretimini sağlayan yarıiletken yapılardır. Fotovoltaik kelimesinin kökenine bakıldığında Latince ışık anlamında kullanılan “Photo” ve elektriksel bir büyüklük olan gerilimin birimi “Volta” (Count Volta: 1745–1827 İtalyan fizikçi) kelimelerinden oluşmaktadır [17].

Güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üreten sistemler henüz istenilen seviyeye ulaşamamıştır. Bu alanda önder sayılabilecek kişi 1839 yılında fotovoltaik etki ile güneş ışığının doğrudan doğruya elektriğe dönüştürülebileceğini gözlemleyen Edmand Becquerel’ dir. Becquerel içerisine elektrotlar bulunan bir elektrolite ışınım verilerek gerilim elde edilebileceğini göstermiştir. 1876 yılında selenyumun fotovoltaik özelliklerini keşfeden Adams ve Day, 1914 yılına gelindiğinde %1 verim ile çalışan selenyum pillerin geliştirilmesine öncülük etmişlerdir [18]. Bugün kullandığımız yarı iletken teknolojisine sahip güneş pilleri ise 1954 yılında Chaplin, Fuller ve Pearson tarafından Bell laboratuvarında geliştirilmiştir. Bu pillerin verimi yaklaşık % 6 civarında olup, 1958 yılında Vanguard I adlı uzay aracında kullanılmışlardır [19]. Fotovoltaik pillerin gelişiminin yavaş ilerlemesinin en temel nedeni yeterli pil verimi sağlayacak malzemenin geliştirilmesindeki zorluklardır. Fakat sonraki yıllarda bipolar transistördeki gelişmeler ve uzay çalışmalarının hız kazanmasıyla, uyduların enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere güneş pillerinin kullanılması, güneş pillerinin gelişimini hızlandırmıştır. Güneş pillerinin üretim maliyetinin çok yüksek olması uzun yıllar laboratuvar çalışması olarak kalmasına sebep olmuştur. Gelişen üretim teknolojileri ve malzeme bilimindeki

ilerlemeler sayesinde maliyetleri düşen yüksek verimli (%10-%20) güneş pilleri 1980'den sonra ticari alanda kendisini göstermiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır [20].

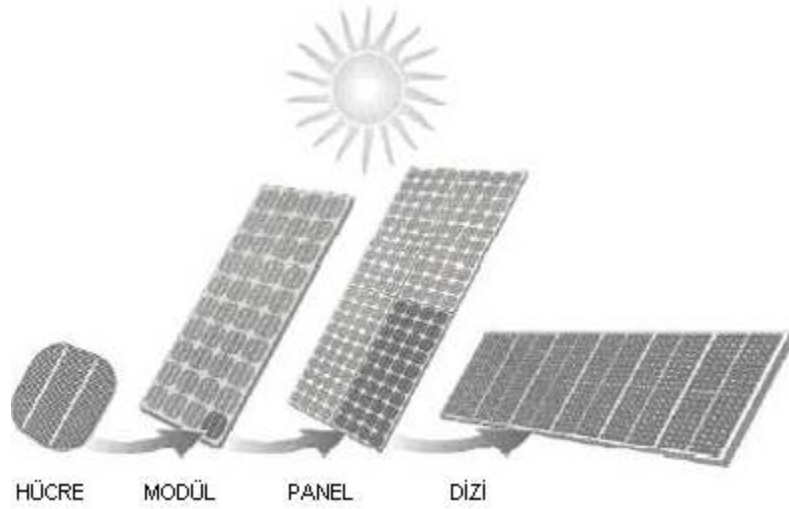
3.1 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı

Fotovoltaik piller, kelime anlamına uygun olarak, ışık (foton) enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu enerji dönüşümü, yarı iletken malzemelerle ışık enerjisini alabilecek bir yüzey (hücre) oluşturularak gerçekleştirilir. Bilindiği gibi yarı iletken maddeler diyot, transistör, triyak, tristör vb. gibi elektronik elemanların da yapıtaşlarıdır. Fotovoltaik pillerin elektronik elemanlardan farkı p ve n tipi olarak adlandırılan malzemelerin birleştiği yüzeylerinin (diğer adıyla jonksiyonların) daha büyük tutulmasıdır. Fotonlar jonksiyonlar üzerine düşerek enerjileriyle yarı iletken malzemelerin bünyelerinde bulunan serbest elektronları harekete geçirirler ve bu sayede elektrik akımı üretilmiş olur [20]. Şekil 3.1 de silikon güneş hücresinin yapısı verilmiştir.



Şekil 3.1 Silikon güneş hücresi

Bir fotovoltaik hücrenin verebileceği güç çok küçüktür, dolayısıyla yüksek güçler elde etmek için güneş hücrelerini belirli gruplar halinde toplamak gereklidir. Fotovoltaik hücreler bir araya gelerek modülleri oluşturular. Modüllerin birleşiminden ise güneş panelleri ortaya çıkar [21]. Şekil 3.2' de fotovoltaik yapılar yer almaktadır.



Şekil 3.2 Fotovoltaik Yapılar: Hücre- Modül- Panel- Dizi

3.2 Fotovoltaik Pillerin Yapımında Kullanılan Malzemelerin Verimleri

Güneş pilleri çok değişik malzemelerden üretilmektedir, malzemelerin verimleri farklılıklar göstermektedir. Bu malzemelerin verimlerini inceleyelim:

Tek (Mono) Kristal Silisyum: Tek kristal Silisyum bloklardan oluşan fotovoltaik pillerde ticari modüllerde her ne kadar %15 civarında verim elde edilse de yapılan laboratuvar çalışmalarında %24' e kadar çıkılabilmektedir.

Çok (Poli) Kristal Silisyum: Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen daha düşük maliyetli Çok-kristal Silisyum güneş pillerinde ise laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarında verim alınmaktadır.

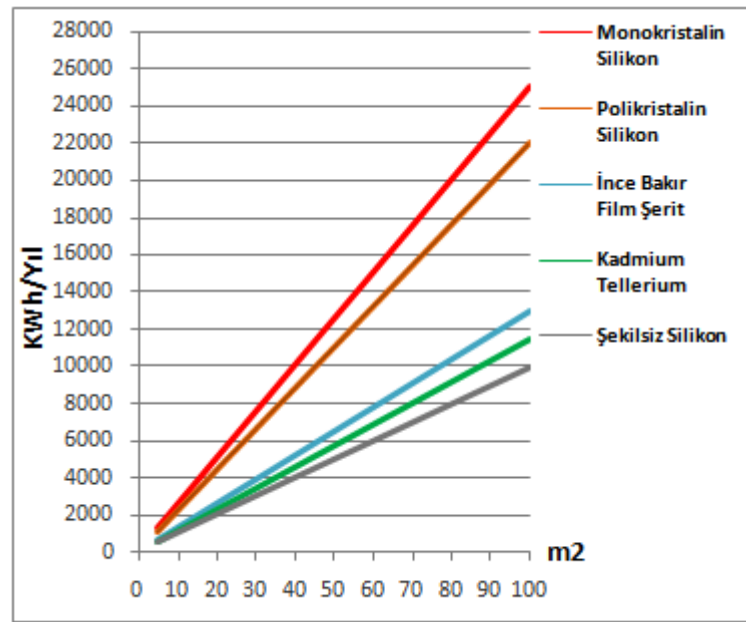
Amorf Silisyum: Ticari modüllerde %5 ila 7 civarında olan verim, laboratuvar ortamında maksimum %10' a kadar çıkabilmektedir. Küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak uygulama alanı bulmaktadır.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Laboratuvar ortamında yaklaşık %17 olarak alınan verim, enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10 civarında elde edilmiştir.

Galyum Arsenit (GaAs): Laboratuvar ortamında verim %25 civarındadır. Çok eklemlerli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. Bu piller daha çok optik yoğunlaştırıcı sistemlerde ve uzay çalışmalarında kullanılmaktadırlar.

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Laboratuvar şartlarında %16, ticari modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir. CdTe ile fotovoltaik pil maliyetinin çok düşük seviyelere çekilebileceği öngörülmektedir.

Şekil 3.3 de kullanılan malzeme çeşitlerine göre PV panellerinden üretilebilecek enerji miktarının da değişiklik göstereceği verilmiştir. [15]

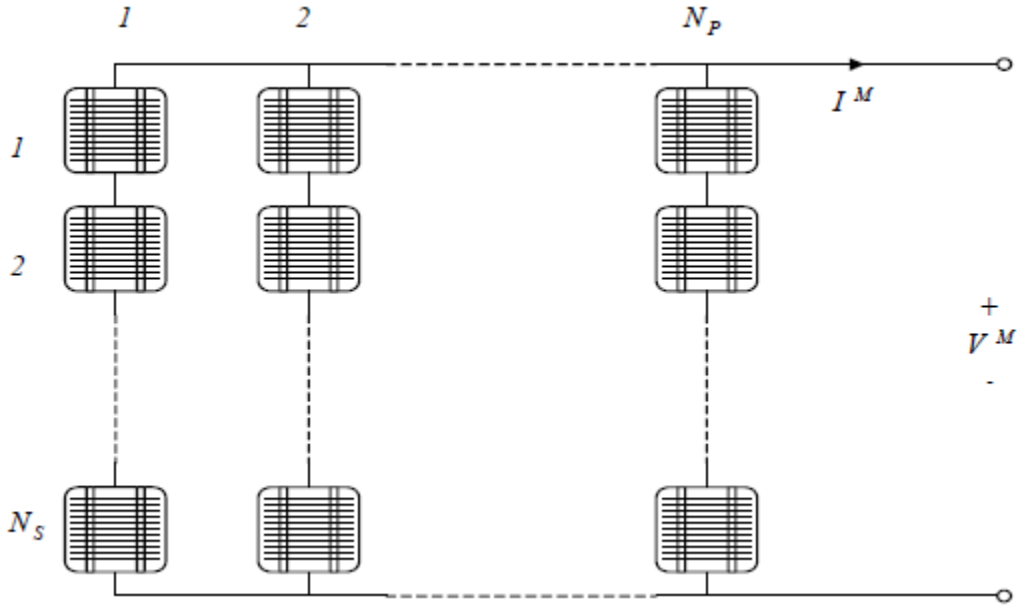


Şekil 3.3 PV panellerinin üretilebilecek enerji miktarları [15]

Ticari olarak geniş bir kesime hitap eden geleneksel silisyum güneş pillerine rakip olabilecek, verimleri aynı ancak üretimi daha az maliyetli ve basit olan güneş pilleri üzerinde son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlardan başlıcaları; fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit piller, polimer yapıları Plastik piller ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilebilen enerji band aralığına sahip Kuantum güneş pilleridir [15].

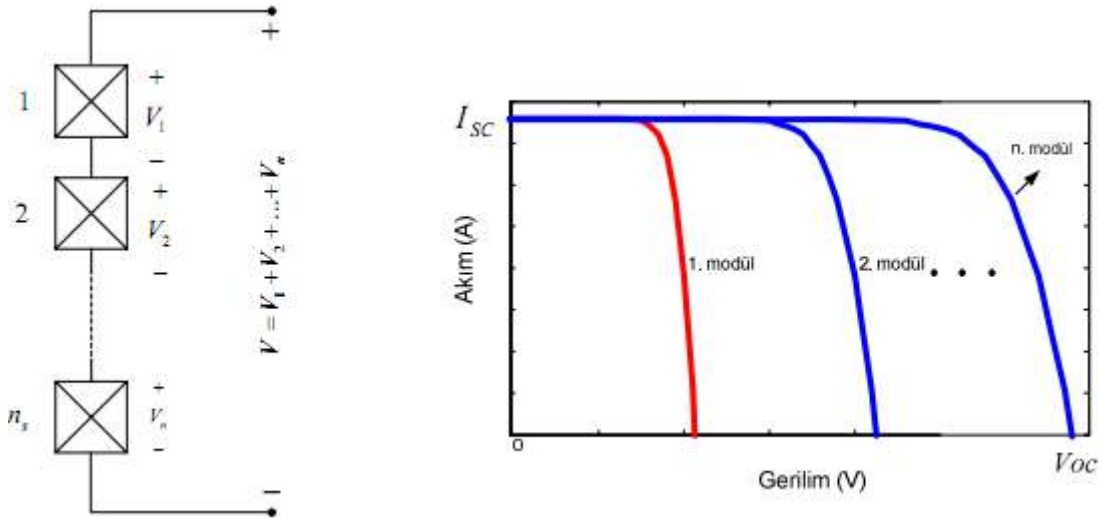
3.3 Fotovoltaik Güneş Panellerinin Elektriksel Karakteristikleri

Bir fotovoltaik hücrenin gücü, belirli ışınım değeri altında verimine bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte 1- 1.5 watt aralığındadır. Tek bir hücrenin verebileceği gerilim değeri yaklaşık 0,5- 0,6 volt, akım değeri ise 2- 2,5 amper' dir. Uygulamanın farklılığına göre değişik kombinasyonda fotovoltaik hücre birbirlerine seri ya da paralel olarak gruplandırılarak şekil 3.4 te görüldüğü gibi modül ve panelleri oluştururlar.



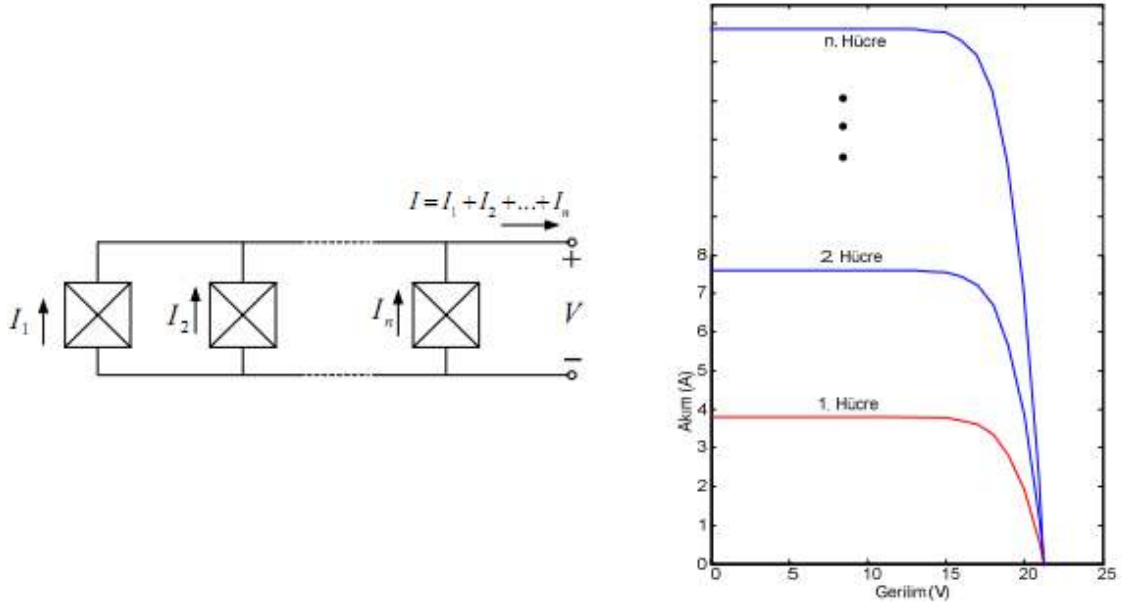
Şekil 3.4 Fotovoltaik hücrelerin seri ya da paralel olarak bağlanması

Fotovoltaik hücrelerin seri ya da paralel olarak bağlanması durumunda akım- gerilim (I-V) eğrileri Şekil 3.5 ve 3.6. da gösterildiği şekliyle değişecektir.



Şekil 3.5 Seri bağlı fotovoltaik hücrelerin I- V eğrisi

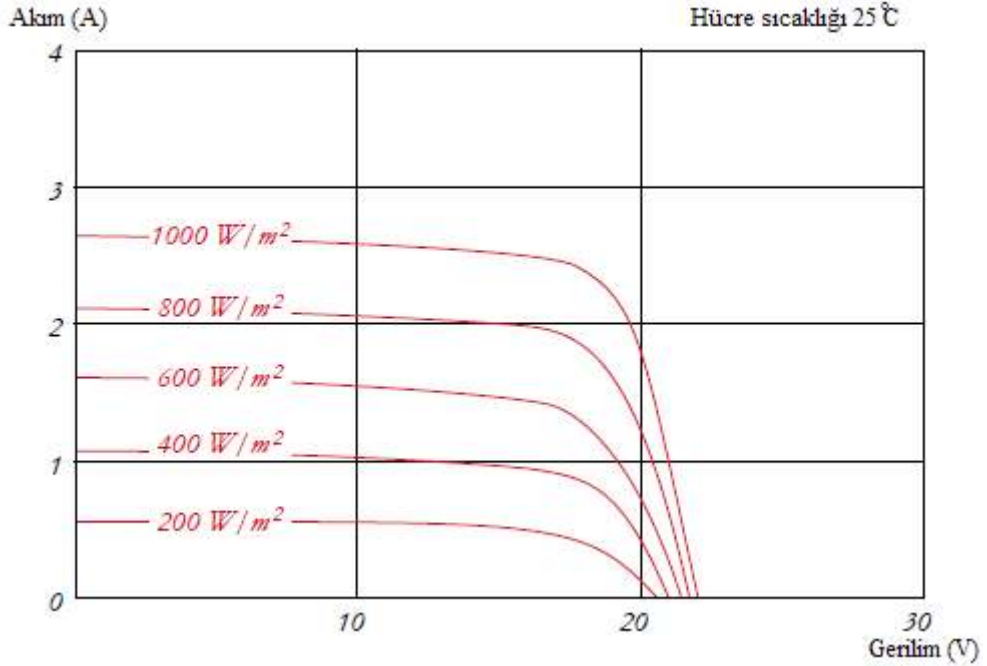
Seri bağlı fotovoltaik hücrelerde toplam gerilim, hücrelerin tek tek gerilimleri toplamına eşit olacaktır.



Şekil 3.6 Paralel bağlı fotovoltaik hücrelerin I- V eğrisi

Şekil 3.6 da ise hücrelerin paralel bağlanması durumunda modülün akım değerinin tüm hücrelerin akımları toplamına eşit olacağı görülmektedir [28].

Fotovoltaik modüllerin elektriksel karakteristiğini etkileyen önemli parametrelerden biri güneş ışınımıdır. Şekil 3.7 de ışınımın I- V karakteristiğine etkisi görülmektedir. (Kyocera Solar)



Şekil 3.7 Işınımın I- V eğrisine etkisi

3.4 Fotovoltaik Güneş Pilleri Modelleri

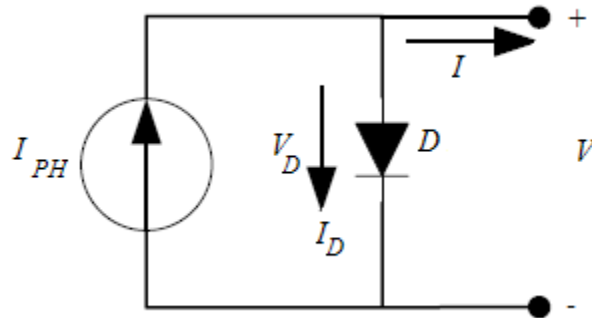
Fotovoltaik sistemin farklı çalışma koşullarındaki performansını ortaya koymak üzere teorik matematiksel modeller oluşturulmuştur. Literatürde bu modeller, deneysel ve analitik modeller olmak üzere iki kısma ayrılır. Deneysel metotlar, fotovoltaik güneş pillerinin karakteristiklerini çıkarabilmek için çalışma bölgesinde uzun yıllar boyunca gözlemler yaparak sistemin performansının tespit edilmesi ve alınan veriler ile matematiksel formülasyonların ortaya koyulmasıdır. Fotovoltaik sistem tasarımı yapabilmek için panel üreticilerinin verdiği katalog değerleri yeterli olmamaktadır, çünkü bu değerler standart test koşulları için verilmiş olup, farklı ışınım, sıcaklık, hava kütlesi... vb. için değişiklik göstereceklerdir. Bu problemi ortadan kaldırmak üzere standart test koşullarındaki değerleri referans alarak modeller oluşturulur.

Fotovoltaik güneş pilleri için ortaya konmuş üç model bulunmaktadır. Bu modeller basitleştirilmiş model, tek diyotlu model, iki diyotlu modeldir.

3.4.1 Basitleştirilmiş model

Fotovoltaik pillerinin en basit ve çözümü pratik olan elektriksel modeli Şekil 3.8 de gösterilen basitleştirilmiş modeldir. Çeşitli ihmaller yapılırsa güneş pillerinin, basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer modeli, bir diyot ve bir akım kaynağından oluşur.

Modelde akım kaynağı (I_{PH}) güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak üretilen foton akımını ifade etmektedir [22]. Güneş panelinin temelini teşkil eden yarı iletken yapı da bir diyot ile modellenmiştir [7]. Şekil 3.8 de basitleştirilmiş model yer almaktadır.



Şekil 3.8 Basitleştirilmiş Model

Kirchhoff'un akım yasasını kullanarak,

$$I = I_{ph} - I_D \quad (3.1)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde;

I panelin çıkış akımı, I_{ph} foton akımı, I_D diyot akımıdır.

Denklemde I_D diyot akımı,

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V}{m.V_T}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

eşitliği ile verilebilir.

I_S diyotun ters yönde doyma akımı, V panelin çıkış gerilimi, m diyot faktörü, V_T panelin uç gerilimidir.

V_T çıkış geriliminin değeri 25°C standart sıcaklıkta 25,7 mV olmaktadır. [17]

3.4.2 Tek diyotlu model

Basitleştirilmiş model bir takım ihmaller yapılarak oluşturulmuştur. Bu ihmallerin en başında gerilim düşümleri ve kaçak akımlar gelmektedir. Tek diyotlu model basitleştirilmiş modelde ihmal edilen gerilim düşümlerini ve kaçak akımları gösterebilmek için geliştirilmiştir. Şekil 3.9' da tek diyotlu elektriksel model verilmiştir. Tek diyotlu modelde yer alan R_S seri direnci güneş pili üzerinde meydana gelen gerilim düşümlerini, R_P paralel direnci ise kaçak akımları temsil etmektedir.

Şekil 3.9' da tek diyotlu modele ait devrede,

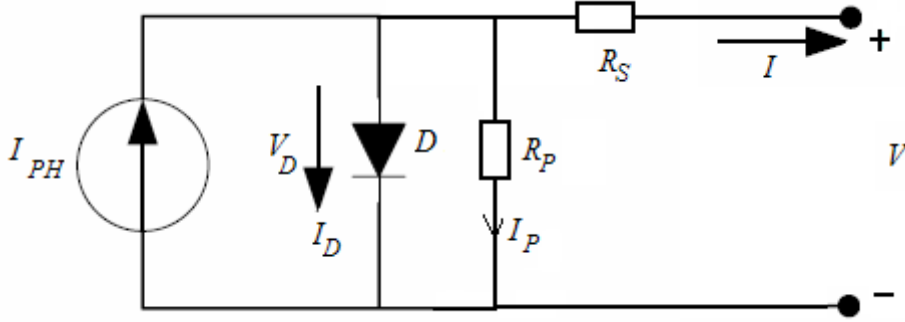
$$I_{ph} - I_D - I_P - I = 0 \quad (3.3)$$

olmaktadır. I_D , diyot akımı ($I_D = I_S \left(e^{\frac{V}{m.V_T}} - 1 \right)$) denklemde yerine yazılırsa,

$$I_{ph} - I_S \left(\left(e^{\frac{V+I.R_S}{m.V_T}} - 1 \right) - \frac{V+I.R_S}{R_P} - I = 0 \quad (3.4)$$

elde edilir.

Basitleştirilmiş modelde edilen denklemin çözümü çok kolay olmasına rağmen tek diyotlu modelin çözümü kolay değildir. Nümerik analiz yöntemlerinin kullanılması ile çözüme ulaşılır [7].

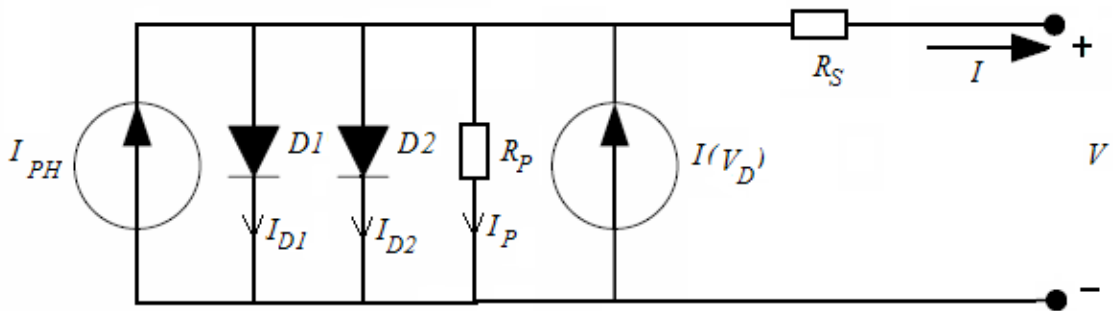


Şekil 3.9 Tek diyotlu elektriksel model

Literatürde yer alan pek çok çalışmada enerji üretiminin tahmini için tek diyotlu model kullanılmıştır, ancak bu çalışmalar genellikle çok fazla giriş verisine ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla tasarım aşamasında bu modelleri kullanmak verilere ulaşmak açısından problem çıkarmaktadır. Tek diyotlu model 5 parametrelilik model olarak da bilinmektedir.

3.4.3 İki diyotlu model

İki diyotlu modelin tek diyotlu modelden farkı, negatif gerilim altında fotovoltaik pildeki arıza durumunu da gösterebilecek yapıda olmasıdır. Elektriksel modelde görülen diyotların diyot faktörleri birbirinden farklıdır. Negatif gerilim altındaki arızayı modellemek üzere ikinci akım kaynağı kullanılmıştır [7]. Şekil 3.10' da iki diyotlu elektriksel model yer almaktadır.

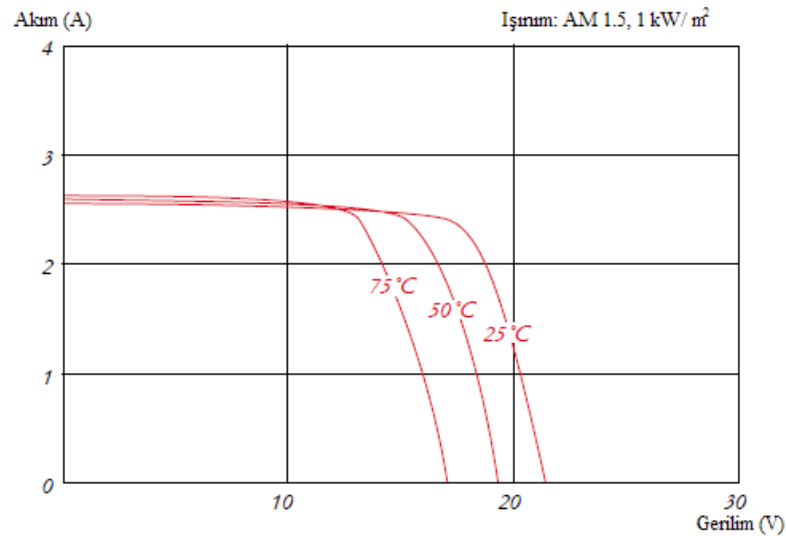


Şekil 3.10 İki diyotlu elektriksel model

3.5 Fotovoltaik Yapılara Sıcaklığın Etkisi

Fotovoltaik yapıların performanslarını değerlendirirken, sıcaklığın gerilim, akım ve güç üzerinde farklı etkisinin olduğu bilinmelidir. Fotovoltaik sistemlerin sıcaklık katsayılarının belirlenmesinde henüz standartlarda yer alan ölçüm metotları bulunmamaktadır. Bu katsayıların ölçümünde uygulanan test metotlarında ortaya çıkan etkiler genellikle benzerlik göstermektedir. Ayrıca literatürde bu katsayıların uygulanmalarıyla alakalı yanlış anlaşılmalarda mevcuttur. Her ne kadar fotovoltaik sistem tasarımında en kötü işletme koşulları dikkate alınsa da, sistemin dizaynı ve boyutlandırılması aşamasında sıcaklık katsayılarının etkisi göz ardı edilemez.

Sıcaklık katsayıları fotovoltaik yapının farklı parametrelerinin değişim oranlarının verir. Sıcaklık katsayıları kısa devre akımı, maksimum güç akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç gerilimi, maksimum güç ve de dolun faktörü ve verimlilik için belirlenebilir. ASTM (American Society for Testing and Materials) nin hücre ve modüllerin performans testleri için yer alan standartlarında akım ve gerilim için olmak üzere 2 katsayı bulunmaktadır. Modül ve PV yapıların farklı işletme koşullarında doğru bir elektriksel model ortaya koymak için açık havada karakteristiklerini elde etmede $I_{SC}, I_{mp}, V_{OC}, V_{mp}$ için 4 sıcaklık katsayısı gerekmektedir. (King, 1996) ASTM' ye göre sıcaklık katsayıları 1000 W/ m² ışınım altında belirlenmelidir, ancak bu katsayılar farklı ışınım değerleri için de uygulanabilir olmalıdır. Şekil 3.11' de sıcaklığın I- V karakteristiğine etkisi görülmektedir.



Şekil 3.11 Farklı sıcaklıklar için I- V eğrisi

BÖLÜM 4

GÜNEŞ IŞINIMI VE AÇILARI

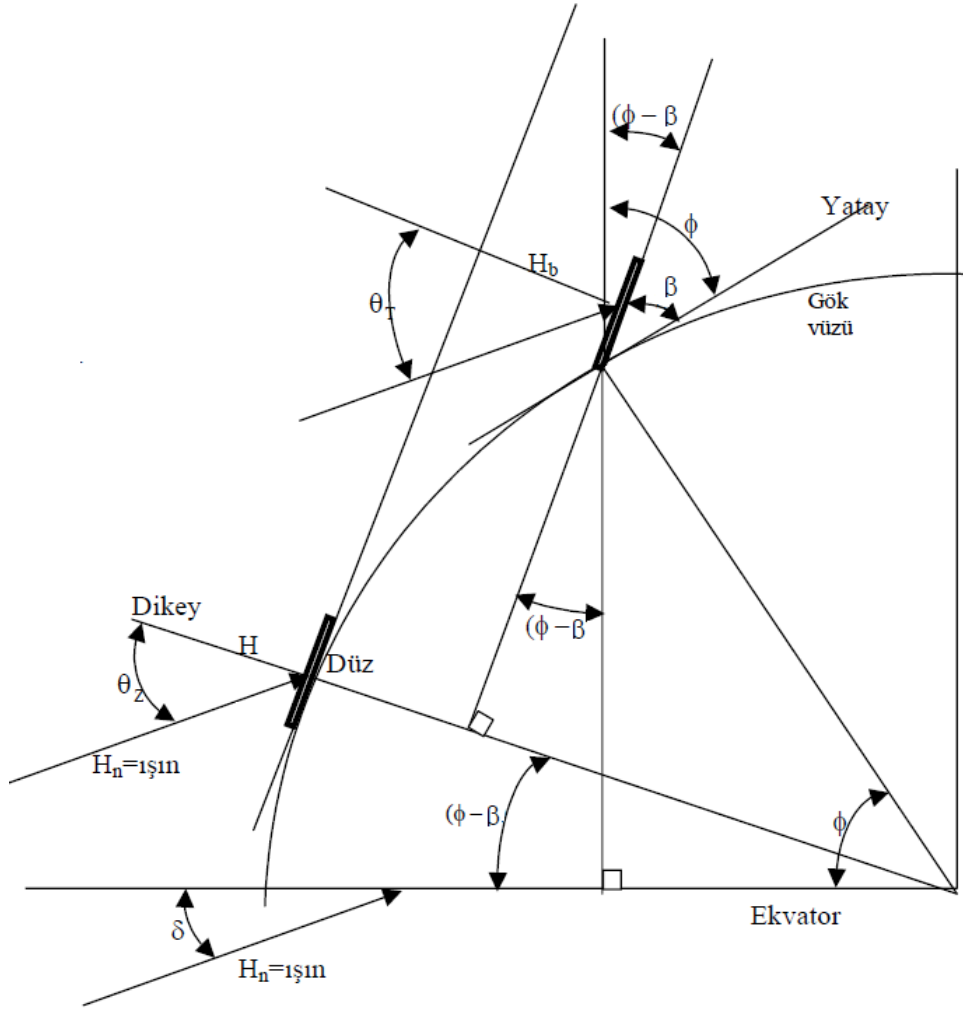
Güneş, dünyaya yaklaşık 150 milyon km uzaklıktadır. Çapı ise yaklaşık 1,39 milyon km' dir. Güneş $1,99 \times 10^{33}$ erg/saniye hızıyla enerji üretir, ancak bu çok büyük enerjinin yalnızca 2 milyonda biri dünyamıza ulaşır. Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşması yaklaşık 8.44 dakikadır. Dünya'da bilinen bütün enerji kaynaklarından elde edilecek enerji Güneş'in sadece üç günde yaymış olduğu enerjiye eşittir.

Güneş enerjisi uygulamalarında atmosfer dışına gelen güneş ışınımının hesaplanması son derece önemlidir. Yatay ve eğik düzleme gelen güneş ışınımını hesaplayabilmek için literatürde yer alan açı ve parametrelerden faydalanılır.

4.1 Güneş Açıları

4.1.1 Enlem açısı

Dikkate alınan yeri dünya merkezine birleştiren doğrunun, ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Ekvatordan kuzeye gidildikçe pozitif, ekvatordan güneye gidildikçe negatif işaret alır. Kuzey kutbu için $+90^\circ$, güney kutbu için -90° olur. Şekil 4.1 de enlem açısı ve diğer açılarla ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.1 Enlem açısı [29]

Burada ϕ enlem açısı, β eğim açısı, θ_z zenit açısıdır.

4.1.2 Deklinasyon açısı

Deklinasyon, güneş ve dünyanın merkezini birleştiren doğrunun, ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Artık yıldan dolayı deklinasyon açısında değişim meydana gelir. Şekil 4.1' de deklinasyon açısının yıl içerisindeki değişimi görülmektedir.

21 Mart ilkbahar ekinoksu ve 23 Eylül sonbahar ekinoksu tarihlerinde deklinasyon açısı sıfır iken, 21 Aralık kış gündönümünde $-23,45^\circ$ ve 21 Haziran yaz gündönümünde $23,45^\circ$ değerini alır. Buna göre diğer günlerde $-23,45^\circ$ ile $23,45^\circ$ arasında değerler alır. Deklinasyon açısı denklem 4.1 e göre hesaplanabilir.

$$\delta = \begin{pmatrix} 0,006918 - 0,399912 \cos \theta_0 + 0,070257 \sin \theta_0 \\ -0,006759 \cos 2\theta_0 + 0,000907 \sin 2\theta_0 \\ -0,002697 \cos 3\theta_0 + 0,001480 \sin 3\theta_0 \end{pmatrix} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (4.1)$$

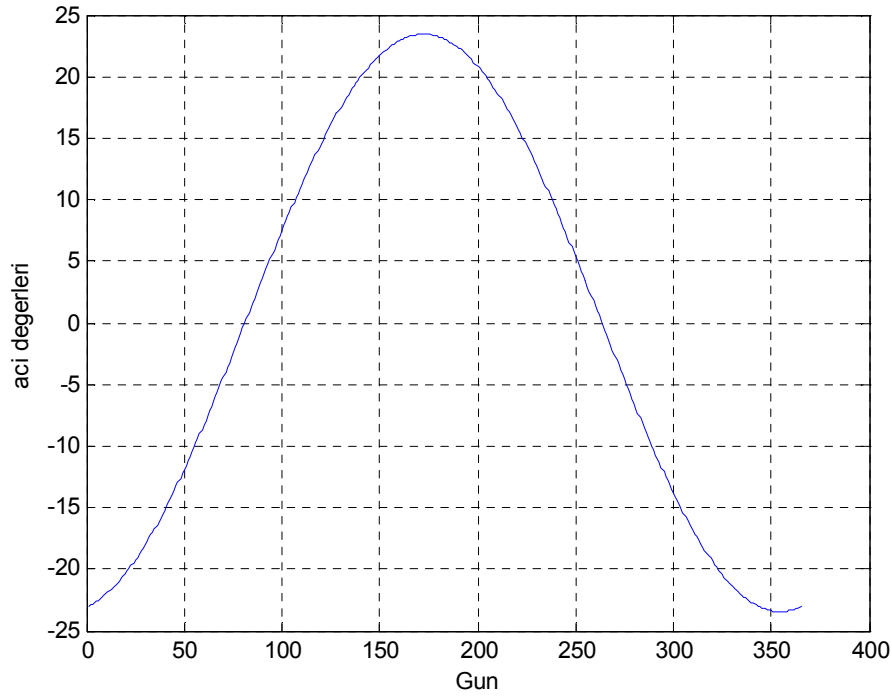
$$\theta_0 = \frac{2\pi d_n}{365}$$

Burada, θ_0 : gün sayısının açısal ifadesi [radyan], d_n : gün sayısı, n : yılın günü (1=1 Ocak, 365=31 Aralık) olarak temsil edilmektedirler.

Deklınasyon açısı ampirik formüller yardımıyla da elde edilebilir. Bu formüllerden en çok kullanılanları denklem 4.2 te verilen Cooper (1969) formülü ve denklem 4.3 teki Lunde (1980) formülüdür [5].

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{n + 284}{365}\right) \quad (4.2)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{n - 80}{370}\right) \quad (4.3)$$



Şekil 4.2 Deklınasyon açısının yıl içerisindeki değişimi

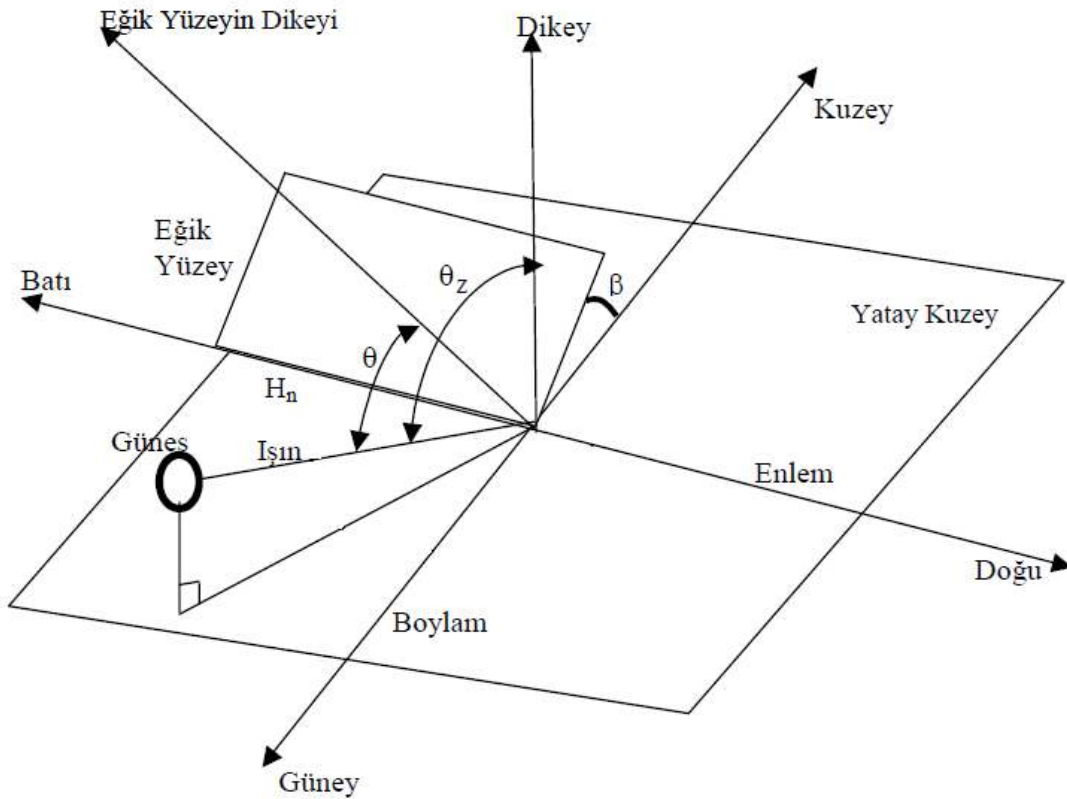
4.1.3 Saat açısı

Saat açısı, göz önüne alınan yerin boylamı ile güneş ışınlarını dünya merkezine birleştiren doğru arasındaki açıdır. Saat açısı güneşin gökyüzünde en yüksekte bulunduğu zaman sıfır olarak alınır. Güneş öğlesinden önce negatif, güneş öğlesinden sonra pozitif işaret alır [23]. Her 15^0 saat açısı (boylam farkı) zaman olarak 1 saate karşılık gelir.

4.1.4 Zenit açısı

Güneş yer doğrultusunun yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Güneş doğarken ve batarken zenit açısı 90^0 , güneş ışınları yatay düzleme dik geldiğinde 0^0 olur. Denklem 4.4' de zenit açısının eşitliğine, Şekil 4.3 de buna ait açılar görülmektedir [5].

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (4.4)$$

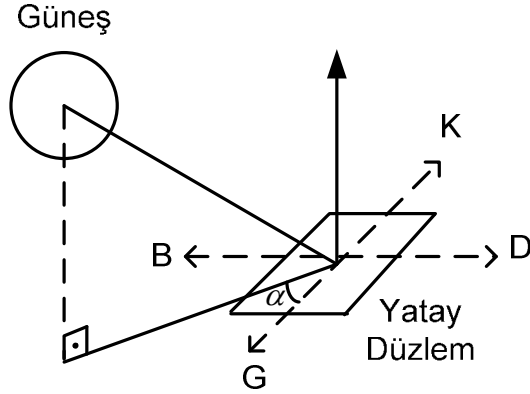


Şekil 4.3 Zenit açısı [29]

Burada θ_z zenit açısı, θ geliş açısı, β eğim açısını göstermektedir.

4.1.5 Azimut açısı

Kuzey güney doğrultusunun, eğik yüzeyin normal düzlemi ile yaptığı açıdır [24]. Güneyde 0°, batıda 90°, doğuda 270° kuzeyde 180° dir. Şekil 4.3 azimut açısını göstermektedir [5].



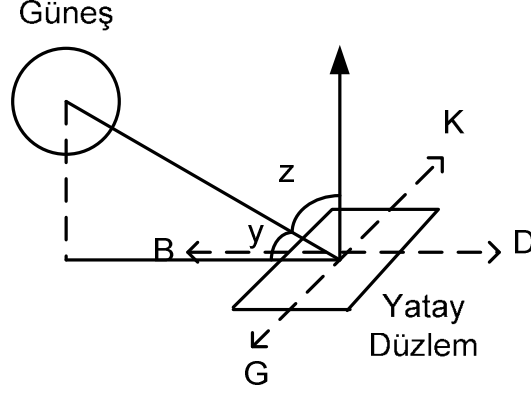
Şekil 4.4 Azimut açısı

4.1.6 Güneş yükseklik açısı

Direkt güneş ışınlarının yatay düzlem ile yaptığı açıdır. Şekil 4.4 te güneş yükseklik açısı ile beraber zenit açısı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere iki açı birbirlerini 90° ye tamamlamaktadır. Güneş yükseklik açısı;

$$\sin(\gamma) = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \omega \quad (4.5)$$

olmaktadır [5]. Şekil 4.4 te güneş yükseklik açısı yer almaktadır.



Şekil 4.5 Güneş yükseklik açısı

4.2 Güneş Işınımının Ölçülmesi

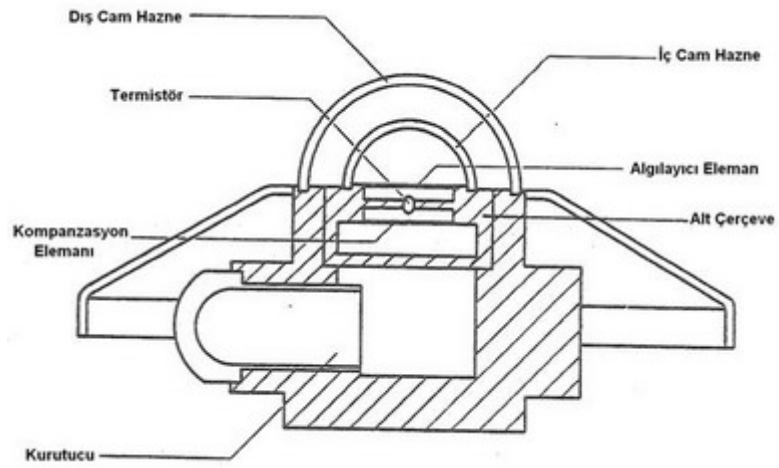
Güneş ışınımının ölçülmesi ile ilgili çalışmalara 19.yy da başlanmıştır. İlk başlarda askeri amaçlar için yapılan çalışmalar, daha sonra uzay araştırmalarıyla devam etmiştir. Güneş ışınımı ölçen aletler pirheliometre, pirradiometre, pirgeometre ve pironometre olarak sayılabilir. Pirheliometre normal doğrultuda gelen direkt güneş ışınımını ölçer. Pirradiometre kısa ve uzun dalga boylu (toplam) ışınım ölçmede kullanılır. Pirgeometre yer ışınımını ölçer. Pironometreler tüm güneş ışınımını ölçebildiği gibi gölgelendirme elemanı kullanmak suretiyle yaygın ışınım ölçmede de kullanılır [5].

Pironometreler ışınım yutma ve yansıtma özelliği temel alınarak geliştirilmişlerdir. Pironometrenin üzerinde bir beyaz, bir de siyah kısım bulunur. Siyah kısım ışınımı yutar ve sıcaklığı yükselir, beyaz kısım ile sıcaklık farkı oluşur ve bu sıcaklık farkı ölçülür. Pironometrelerin cam kısımları çeşitli dış etkenlerden dolayı kirlenir, bu yüzden yanlış ölçüm yapmamak için kontrolleri yapılmalıdır.



Şekil 4.6 Piranometre

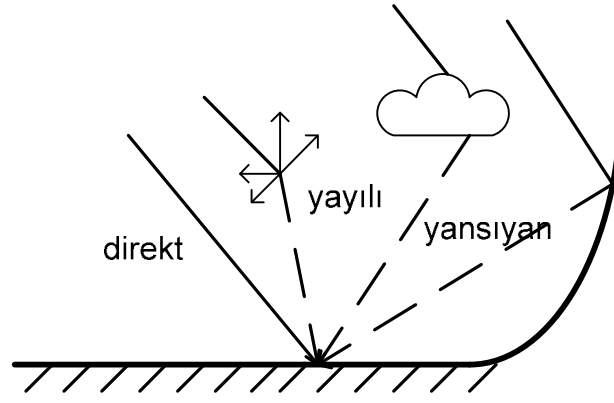
Şekil 4.6 da piranometrenin dış görünümü, Şekil 4.7 da ise yan kesiti görülmektedir.



Şekil 4.7 Piranometre yan kesiti

4.3 Güneş Işınımına Dünya Atmosferinin Etkisi

Ülkemizde yapılan güneş enerjisi çalışmalarında önemli noktalardan biri bölgenin coğrafik ve atmosferik şartlarının ihmal edilmesidir. Bundan dolayı da yapılan enerji hesaplamaları sürekli olarak eksik kalmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi çalışmalarında güneş potansiyeli yanında güneşlenme süresi de büyük önem taşımaktadır. Güneşlenme süresi ölçümlerinde atmosferin şartları çok önemlidir. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları havaküreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit vb. gibi gaz moleküllerinin yanında, aerosol ve toz zerreciklerinde saçılır ve ancak havaküre dışındaki enerjinin 0.1 ila 0.8 arasında bir kesri yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne düşen güneş ışınları, daha önceden de değinildiği gibi doğrudan güneşten gelen ve havakürede saçıldıktan sonra yayınımına (difüzyona) uğramış ışınların toplamıdır. Hava koşullarına bağlı olarak doğrudan güneşten gelen ışınların, saçılmış ışına oranı değişir. Örneğin, bulutsuz bir günde güneş enerjisinin büyük bir kısmı, doğrudan ışınlardan oluşurken bulutlu bir günde, güneş ışınımının önemli bir bölümü, saçılmış ışınlardan oluşur. Bunun sebebi atmosferde bulunan foton, molekül ve toz gibi parçacıklardır. Doğrudan yeryüzüne gelen kısma direkt güneş ışınımı, parçacıklar nedeniyle saçılan ışınımın yeryüzüne gelen kısmına yayılı güneş ışınımı adını alır. Direkt ve yayılı güneş ışınımı 0.3- 3.0 mikrometre aralığındadır. Dolayısıyla kısa dalga boylu ışınım olarak da adlandırılır. Direkt ve yayılı ışınımın toplamı global ışınım olarak isimlendirilir. Atmosferdeki su buharı ve karbondioksit tarafından saçılan aşağı doğru olanı yeryüzüne atmosfer ışınımı olarak ve yer tarafından saçılan ve yansıtılan ışınım da yer ışınımı olarak göz önüne alınan uzun dalga boylu ışınımlardır. Tüm bu ışınımın toplamına, toplam güneş ışınımı adı verilir. Şekil 4.8' de toplam ışınımın bileşenleri görülmektedir [5].

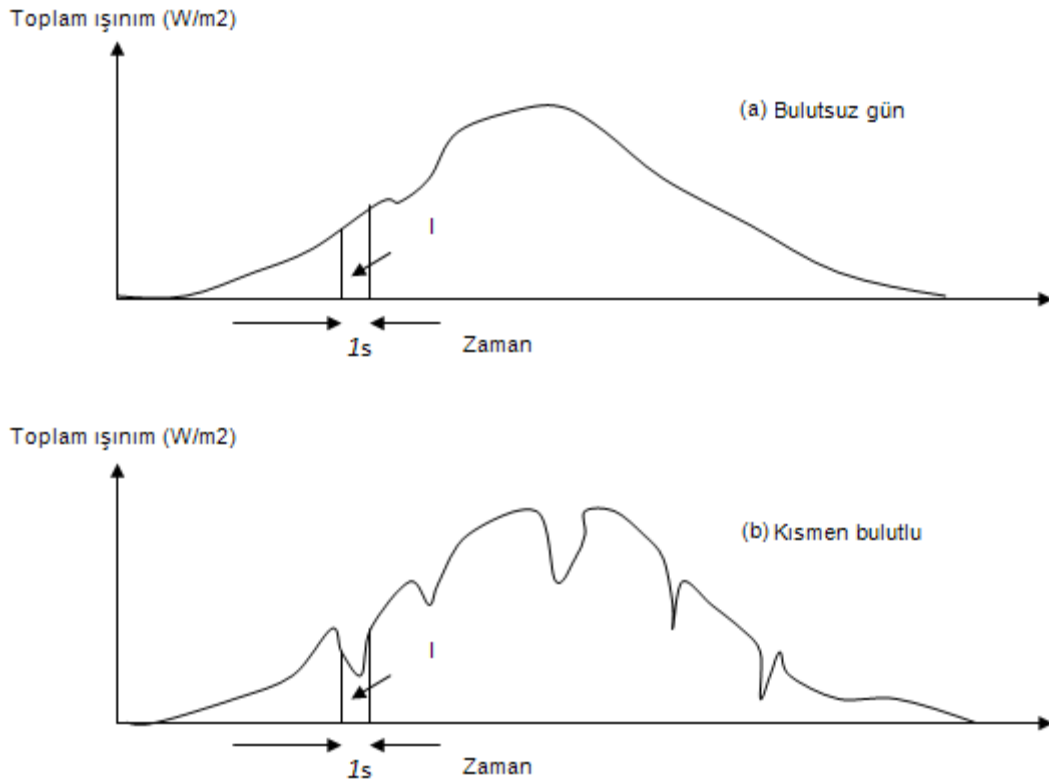


Şekil 4.8 Toplam ışıınının bileşenleri

4.4 Güneş Işıınıına Bulutların Etkisi

Yoğuşan su buharı ile birlikte küçük su damlacıkları buz kristallerini oluşturur. Çok sayıda damlacık ve kristallerin bir araya gelmesi bulut görüntüsünü meydana getirir. Bulutlar genellikle beyazdır ancak gri yada siyaha yakın olarak da görünebilirler. Bunun sebebi bulutların çok kalın veya yoğun olması ile güneş ışığını geçirmemeleridir.

Şekil 4.9' da görüleceği gibi havanın bulutsuz olması durumunda daha fazla güneş ışığı geçerken, kısmen bulutlu havada ışıınının değeri önemli miktarda azalmaktadır [24].



Şekil 4.9 a) Bulutsuz ve b) kısmen bulutlu günde güneş ışıınıını

4.5 Yatay Yüzeyle Gelen Global Işınımın Bileşenlerine Ayrılması

Güneş ışınımı yeryüzüne ulaşınca kadar pek çok faktörden etkilenir. Dolayısıyla güneş ışınımını ölçmede çok fazla parametre göz önüne alınmalıdır. Bu faktörler; astronomik faktörler, coğrafik faktörler, geometrik faktörler, fiziksel faktörler, meteorolojik faktörler olarak sayılabilir [25].

Astronomik faktörler; güneş sabiti, dünya güneş mesafesi, deklinasyon açısı, saat açısına bağlıdır.

Coğrafik faktörler; ölçüm yapılacak noktanın enlemi, boylamı ve rakımı ile değişir.

Geometrik faktörler; yüzeyin azimut açısı ve eğimi, güneş yükseklik ve azimut açısı ile belirlenir.

Fiziksel faktörler; hava moleküllerin saçması, atmosferdeki su buharının azalması, tozların saçılmasına göre değişkenlik gösterir.

Meteorolojik faktörler; bulutların etkisi ve çevrenin yansıtmasından etkilenir olarak sayılabilir [25].

Tüm bu faktörlerin bulunduğu teorik bir bağıntı ortaya koymak oldukça zordur. Bu nedenle güneş ışınımı hesaplarında ölçülen güneş ışınımı verileri kullanılmasına dayalı ampirik (deneysel) bağıntılar geliştirilmiştir.

Yatay düzleme gelen ışınımın direkt ve yayınık olarak ayrımına bakarsak, literatürde bu konuda tam kesinlik kazanmış bir metod bulunmamaktadır. Geniş bir veri tabanı oluşturulması ve eldeki verilerin daha ayrıntılı incelenmesiyle bu konuya derinlik kazandırılabilir. Konunun daha iyi anlaşılması bakımından ayrıştırma işlemine geçmeden önce saatlik açıklık indeksi tanımlanmalıdır [26].

Açıklık indeksi, atmosferin güneş radyasyonunu geçirme değeri olarak tanımlanır. 0 ve 1 arasında değişiklik gösterir ve birimsizdir. Açıklık indeksi atmosferin en üst seviyesine çarpan güneş radyasyonunun dünya yüzeyine ulaşan radyasyona oranını belirten bir sayıdır.

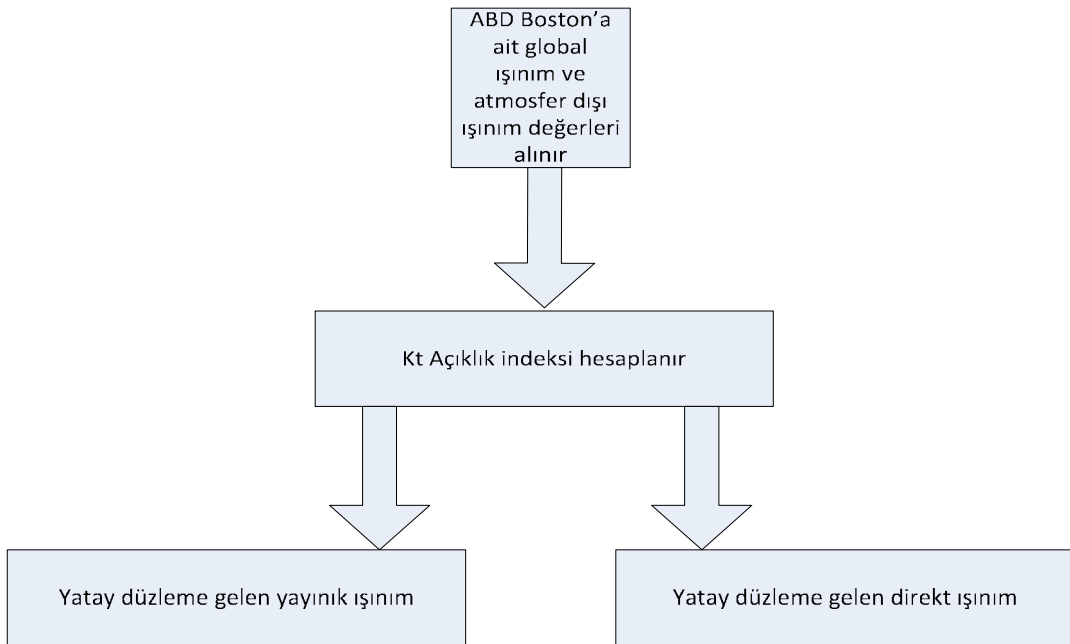
Dünyada bir çok meteoroloji rasathanesinde yapılan ışınım ölçümleri yatay yüzeye gelen küresel ışınımın ölçümü şeklindedir. Yatay yüzeydeki ışınım verisinden eğimli yüzeydeki ışınımın elde edilmesi formüllerinde direkt ve yayınık ışınım verilerine ihtiyaç duyulur.

Denklem 4.6 da $\frac{H_t}{H_0}$ ile k_T saatlik açıklık indeksi arasındaki ilişki görülmektedir.

$$\frac{H_t}{H_0} = \begin{cases} 1.0 - 0.09k_T & k_T \leq 0.22 \text{ ise} \\ 0.9511 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 & 0.22 < k_T \leq 0.80 \text{ ise} \\ -16.638k_T^3 + 12.336k_T^4 & \\ 0.165 & k_T > 0.80 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.6)$$

Bu oranın bulunması halinde atmosferin bölgesel etkileri kolaylıkla belirlenebilecektir. Bölgedeki atmosfer dışındaki ışınımın atmosfer tarafından yutulma ve saçılma değerlerini göstermesi açısından bu oran büyük önem taşır.

Yayınık ışınım K_t açıklık indeksinin ilgili değerini global ışınım değeriyle çarparak elde edilir. Toplam ışınımdan yayınık ışınım çıkarılarak da direkt ışınım bulunur. Şekil 4.10 da akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.10 Yatay düzleme gelen verilerin bileşenlerine ayrılması

4.6 Eğimli Yüzeğe Gelen Güneş Işınımı

Eğik yüzeğe gelen güneş ışınımı, eğime, azimut açısına, çevrenin yansıtma katsayısına ve yatay düzleme gelen direkt ve yayılı ışınım miktarına bağlıdır.

Eğimli yüzeyler için ışınım gelme açısı:

$$\begin{aligned}\cos(\theta_B) &= \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) - \sin(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \\ &+ \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) \\ &+ \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\omega)\end{aligned}\quad (4.7)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada,

β : panel eğim açısı

γ : panel azimut açısı

ϕ : enlem açısı

δ : deklinasyon açısı

ω : saat açısıdır.

Eğimli yüzeye gelen direkt ışınım, yataya gelen direkt ışınımı eğimli yüzeye gelme açısının kosinüsünü çarparak bulunur.

$$H_B = H_b \cdot \cos(\theta_B) \quad (4.8)$$

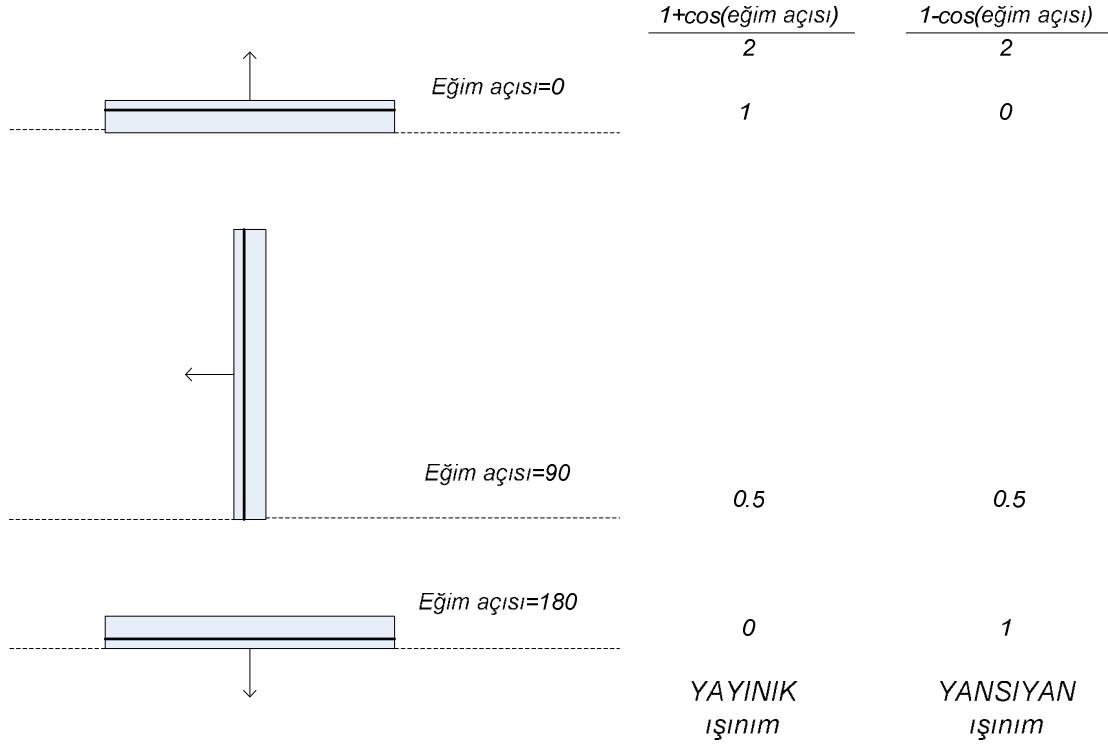
Eğimli yüzeye gelen yayınık ışınım, yatay yayınık ışınım ile eğimli yüzeye gelme açısının fonksiyonudur [27].

$$H_D = R_d \cdot H_d \quad (4.9)$$

$$R_d = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (4.10)$$

Eğimli yüzeye gelen yansıyan ışınım, yataya gelen toplam ışınım, eğimli yüzeye gelme açısı ve yüzey yansıtma katsayısına bağlıdır [27].

$$H_R = H_t \cdot r_0 \cdot \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (4.11)$$



Şekil 4.11 Yayınık ve yansıyan bileşenler

r_0 yüzey yansıtma katsayıları Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Ortalama yansıtma katsayıları

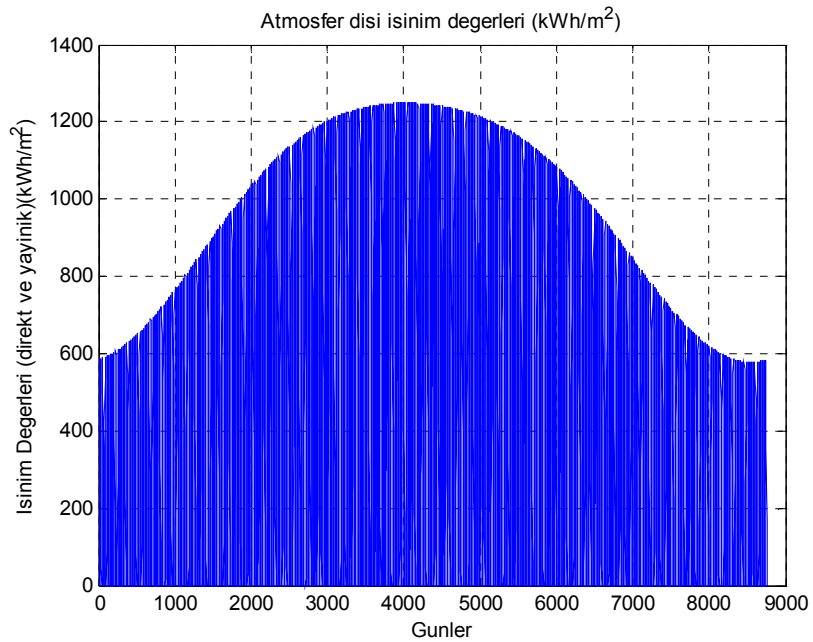
Yüzey	Ortalama yansıtma katsayısı
Kar	0.75
Su yüzeyi	0.07
Toprak	0.14
Patika yollar	0.04
Çam ormanları (kış)	0.07
Sonbahardaki ormanlar	0.26
Beton kaplı alan	0.22
Kuru çim	0.2
Yeşil çim	0.26

BÖLÜM 5

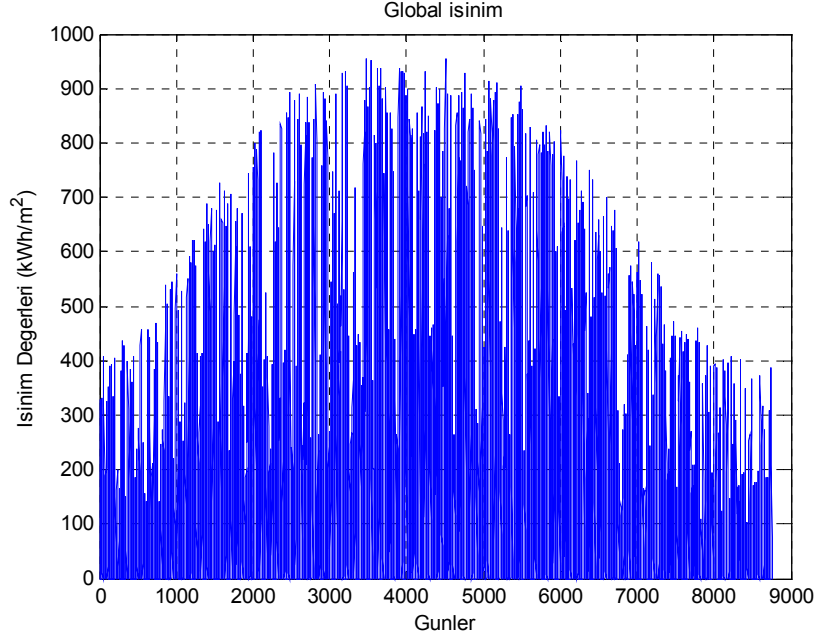
UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek yaygınlaşması ve buna ait çalışmaların artması nedeniyle bu çalışmada güneş enerjisinin kullanımına ait konular irdelenmiştir. Güneş enerjisinden en verimli çalışmanın yapılabilmesi için güneş panellerinin konumlandırılması analiz edilmiştir.

Uygulama çalışmasında İstanbul ile aynı enlemde bulunan Boston'a (ABD) ait ışınım verileri kullanılmıştır. EK A' da Boston'a ait 3 günlük ışınım verileri bulunmaktadır. Şekil 5.1 de atmosfer dışına gelen saatlik ışınım değerleri, Şekil 5.2 de ise Boston' a gelen global ışınım değerleri yer almaktadır.



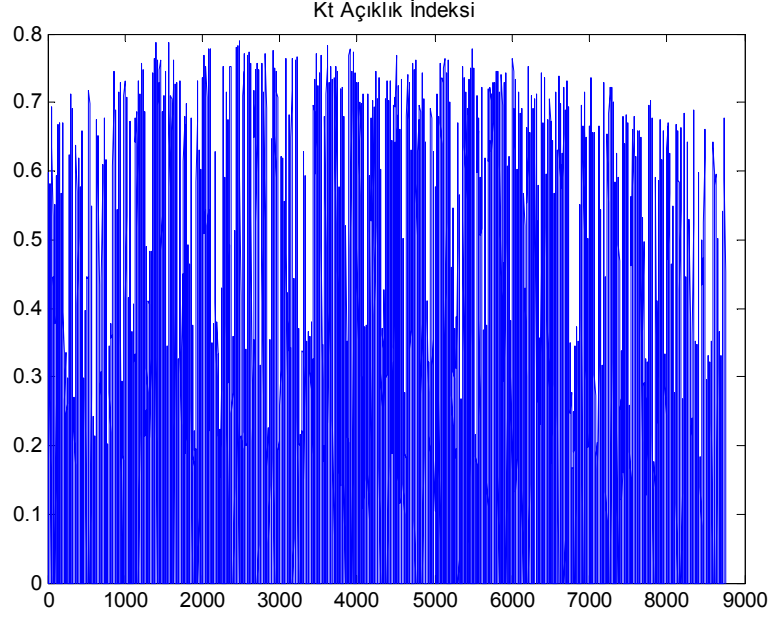
Şekil 5.1 Atmosfer dışına gelen ışınım



Şekil 5.2 Boston'a gelen global ışınım

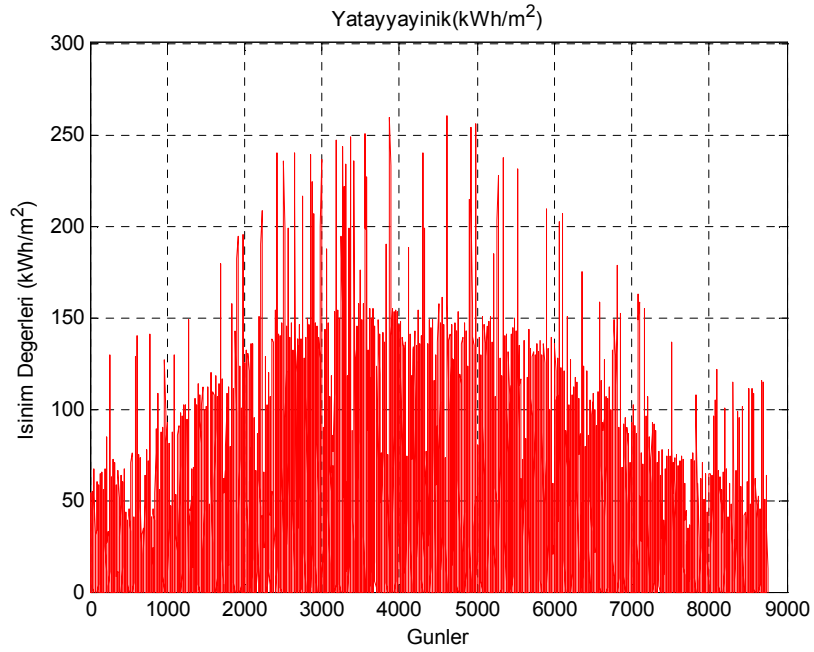
Açıklık indeksi, atmosferin güneş radyasyonunu geçirme değeri olarak tanımlanır. Yataya gelen global ışınım ve atmosfer dışına gelen ışınım miktarları oranlanarak açıklık indeksi hesaplanır.

Atmosfer dışına gelen ışınım ve yatay düzleme gelen global ışınım miktarları kullanılarak hesaplanan Şekil 5.3 deki K_t açıklık indeksi değerleri görülmektedir.



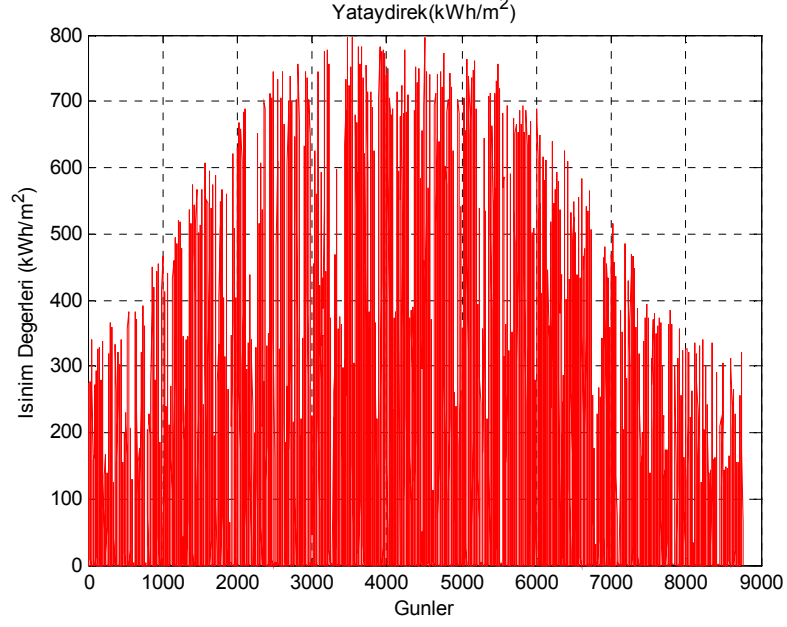
Şekil 5.3 Kt açıklık indeksi

H_t/H_0 ile K_t (Denklem 4.6) saatlik açıklık indeksi ilişkisinden ve Şekil 5.2 de görülen yataya gelen global ışınım değerlerinden Şekil 5.4 deki yataya gelen yayınlık ışınım değerleri elde edilebilir.



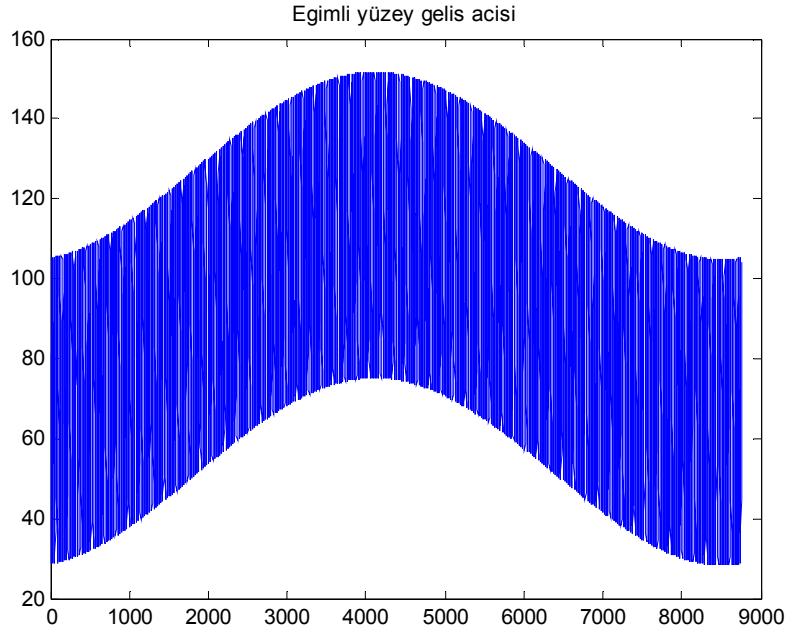
Şekil 5.4 Yataya gelen yayınlık ışınım

Yataya gelen global ışınım değerlerinden yataya gelen yayınlık ışınım değerlerini çıkararak Şekil 5.5 deki yataya gelen direkt ışınım miktarı hesaplanmıştır. EK B de ilgili Matlab kodları yer almaktadır.



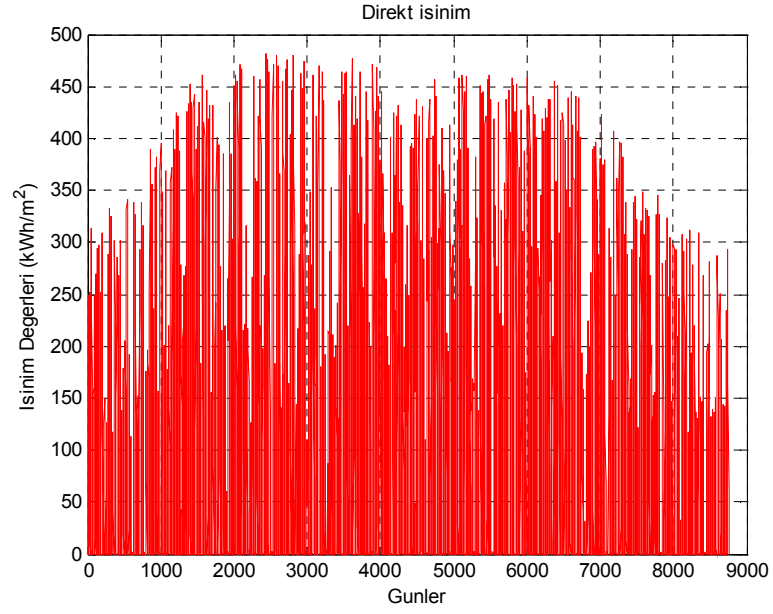
Şekil 5.5 Yataya gelen direkt ışınım

Yeryüzünde eğik düzleme gelen güneş ışınımını bulabilmek için öncelikle Denklem 4.7 ye göre eğimli yüzey için Şekil 5.6 da yer alan geliş açısı hesaplanır.



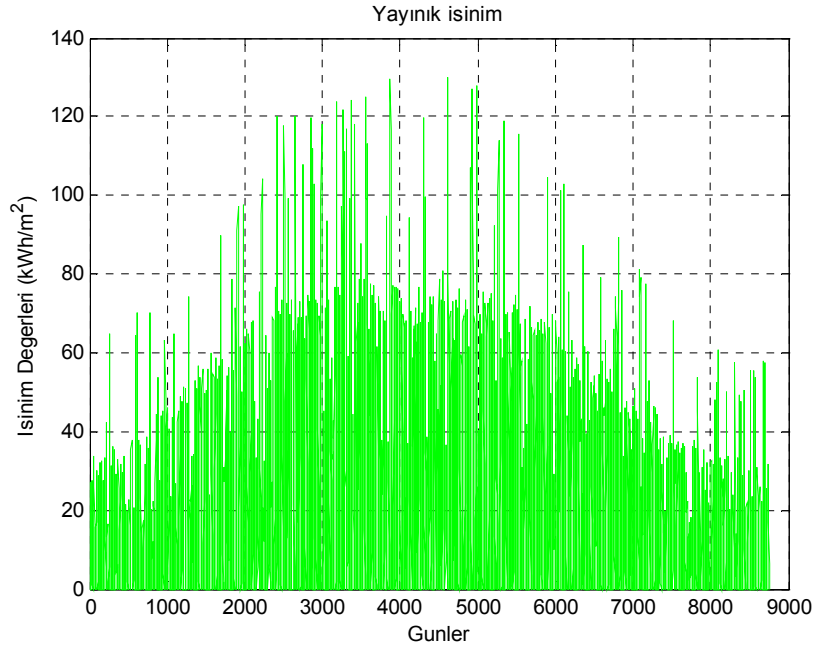
Şekil 5.6 Eğimli yüzey geliş açısı

Yataya gelen direkt ışınım ve geliş açısının kosinüsünden (denklem 4.8) Şekil 5.7 deki eğimli yüzeye gelen direkt ışınım elde edilir.



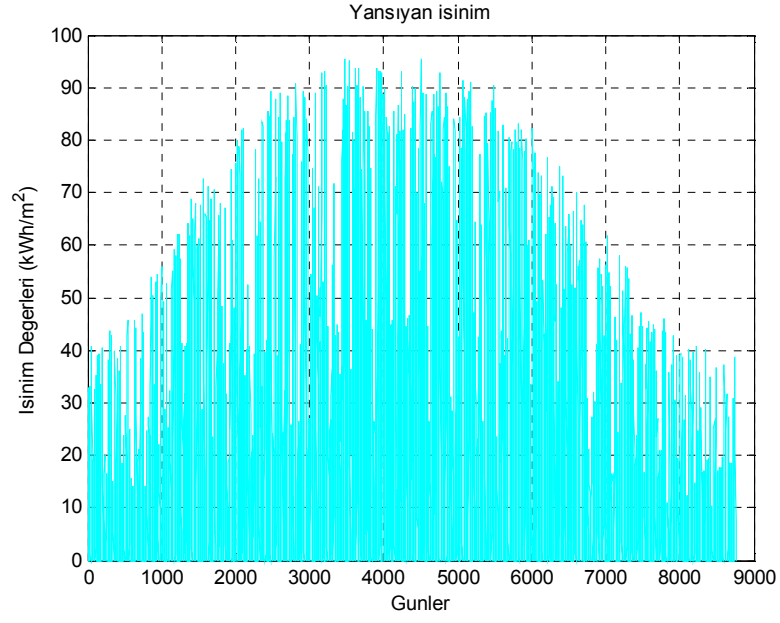
5.7 Eğimli yüzeye gelen direkt ışınım

Şekil 5.8 deki eğimli yüzeye gelen yayınlık ışınımı elde etmek için (denklem 4.9) yataya gelen yayınlık ışınım ve eğim açısının kosinüs değerleri kullanılır.



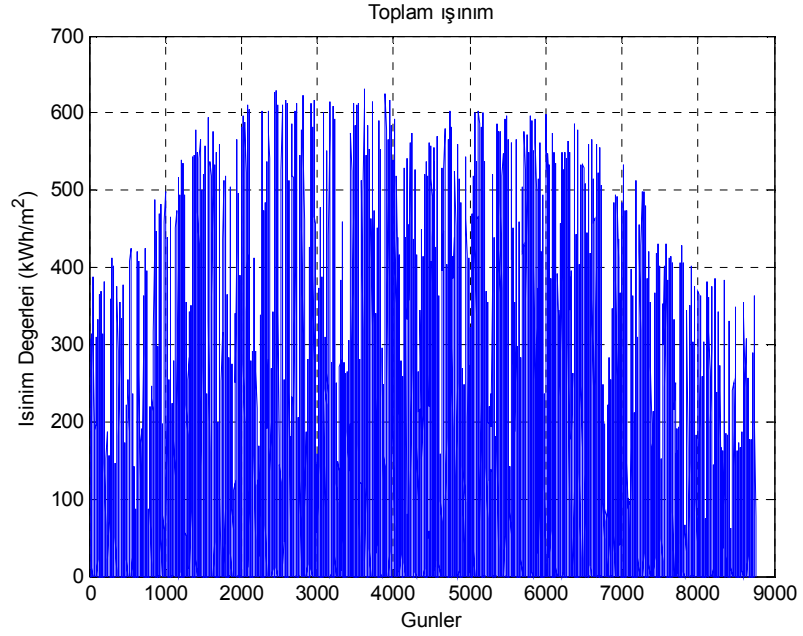
Şekil 5.8 Eğimli yüzeye gelen yayınlık ışınım

Eğimli yzeye gelen yansyan ışınım Şekil 5.9, yataya gelen global ışınım, eğimli yzeye gelme açısı ve yzeye yansıtma katsayısına bağlıdır. (denklem 4.10)



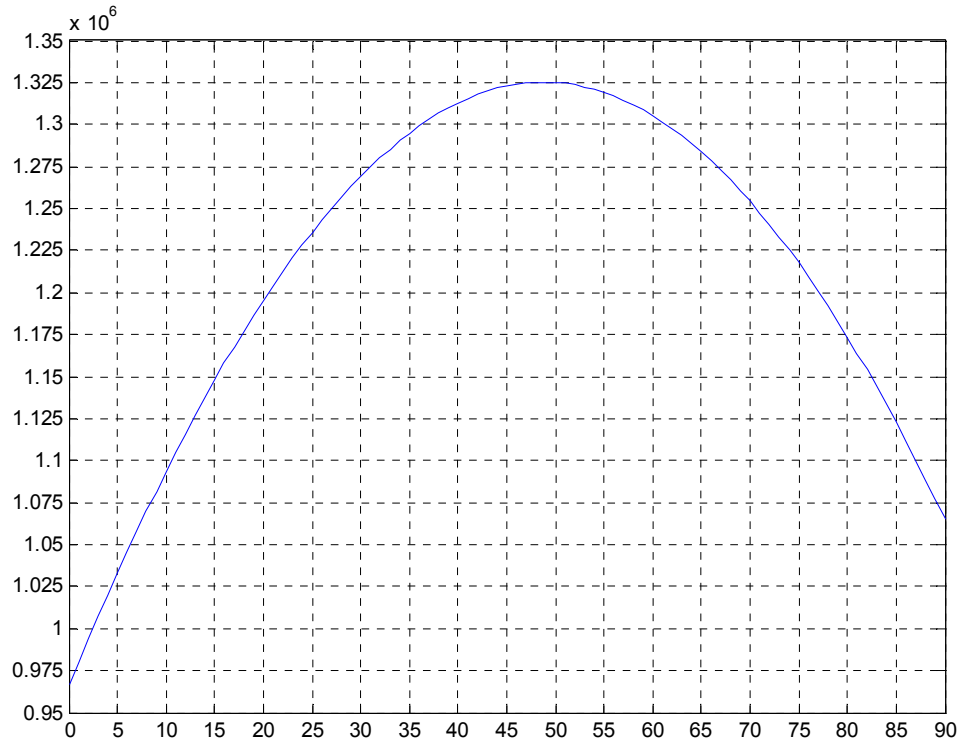
Şekil 5.9 Eğimli yzeye gelen yansyan ışınım

Şekil 5.10 da yer alan eğimli yzeye gelen toplam ışınım, eğimli yzeye gelen direkt, yaynık ve yansyan ışınımın toplamıdır.



Şekil 5.10 Eğimli yzeye gelen toplam ışınım

Panel eğim açısının 0 dan 90 dereceye kadar artırılması durumunda elde edilecek yıllık toplam ışı nım miktarı Şekil 5.11 ve Çizelge 5.1 deki değerlerle elde edilmiştir. Şekil 5.12 de eğim açısı 0 dereceden 90 dereceye kadar arttırıldığında ışı nım miktarı 967 kWh/m^2 değerinden artmakta ve bu artış bir maksimum değere kadar devam etmektedir. Daha sonra açının artmasıyla ışı nım azalma göstermektedir. En büyük ışı nım 49° lik eğim açısında elde edilmiştir. Buradan Boston da sabit konumlandırılacak güneş panelleri için yıllık maksimum ışı nım değerleri panel eğim açısının 49° derece olması halinde sağlandığı tespit edilmiş olmaktadır.



Şekil 5.11 Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışı nım miktarının değ işimi-1

Çizelge 5.1 Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışınım miktarının değişimi-1

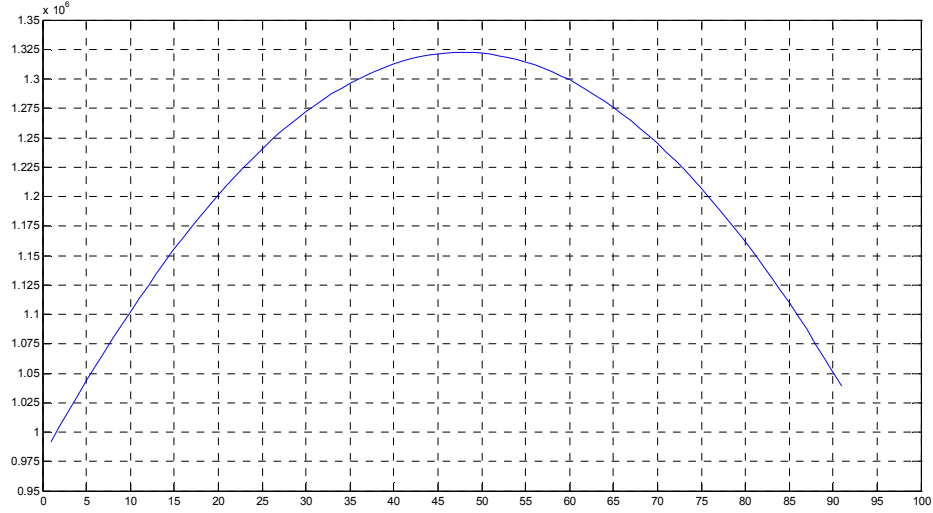
Eğim Açısı (°)	Toplam Işınım (Wh/m ²)	Eğim Açısı (°)	Toplam Işınım (Wh/m ²)	Eğim Açısı (°)	Toplam Işınım (Wh/m ²)
0	966640	15	1147600	30	1269100
1	980320	16	1157700	31	1274900
2	993790	17	1167500	32	1280300
3	1007000	18	1177000	33	1285500
4	1020100	19	1186200	34	1290300
5	1032900	20	1195200	35	1294900
6	1045400	21	1203900	36	1299100
7	1057800	22	1212300	37	1303000
8	1069900	23	1220400	38	1306600
9	1081700	24	1228300	39	1309900
10	1093400	25	1235800	40	1312800
11	1104700	26	1243100	41	1315500
12	1115800	27	1250000	42	1317800
13	1126700	28	1256700	43	1319900
14	1137300	29	1263100	44	1321600

Eğim Açısı	Toplam Işınım	Eğim Açısı	Toplam Işınım	Eğim Açısı	Toplam Işınım
45	1322900	60	1305400	75	1217600
46	1324000	61	1301600	76	1209400
47	1324700	62	1297600	77	1200900
48	1325200	63	1293300	78	1192100
49	1325300	64	1288700	79	1183000
50	1325000	65	1283700	80	1173600
51	1324500	66	1278400	81	1164000
52	1323700	67	1272900	82	1154100
53	1322500	68	1267000	83	1144000
54	1321000	69	1260800	84	1133500
55	1319200	70	1254400	85	1122900
56	1317000	71	1247600	86	1111900
57	1314600	72	1240500	87	1100700
58	1311800	73	1233200	88	1089300
59	1308800	74	1225500	89	1077600
				90	1065600

Benzer şekilde ülkemizde farklı enlemlerde bulunan şehirlerin Boston ile aynı ışınımı alması durumunda panel eğim açısındaki değişim aşağıdaki çizelgelerde ve şekillerde verilmiştir.

Ülkemizin yer aldığı 36°- 42° kuzey enlemleri için bu hesaplamalar yapılmıştır. 42° Boston ile yaklaşık aynı sonucu verecektir.

Enlem açısı 39° için yıllık toplam ışınım miktarı MATLAB programıyla elde edilmiştir.

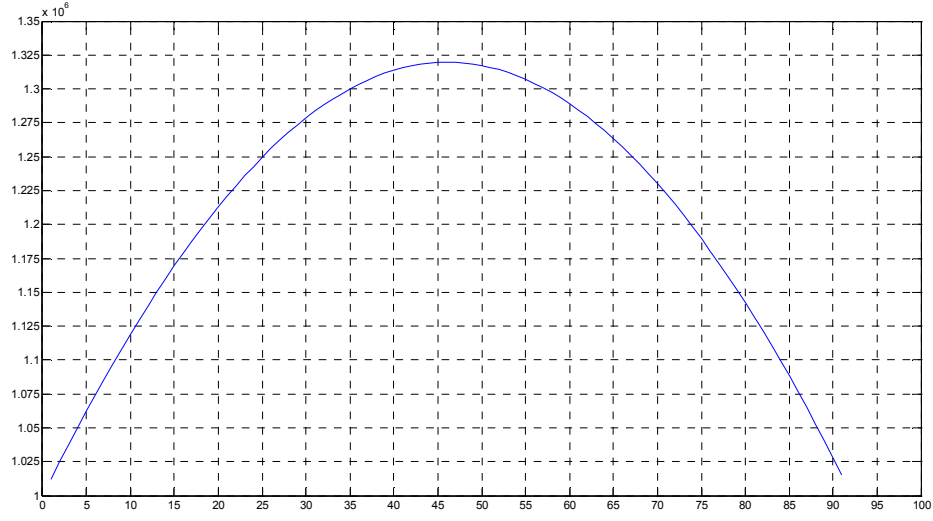


Şekil 5.12 Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışınım miktarının değişimi-2

Çizelge 5.2 Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışınım miktarının değişimi-2

Eğim açısı	Toplam ışınım
40	1315000
41	1317000
42	1318700
43	1320100
44	1321200
45	1321900
46	1322300
47	1322400
48	1322200
49	1321700
50	1320800
51	1319700
52	1318200
53	1316400
54	1314200

Enlem açısı 36° için yıllık toplam ışı nım miktarı MATLAB programıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.13 Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışı nım miktarının değ işimi-3

5.1 Panel eğim açısı ile yıllık toplam ışı nım miktarının değ işimi-3

Eğim açısı	Toplam ışı nım
38	1311600
39	1313700
40	1315500
41	1317000
42	1318100
43	1319000
44	1319500
45	1319700
46	1319600
47	1319100
48	1318400
49	1317300
50	1315900
51	1314200
52	1312200

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, hayat kalitesini iyilestiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktörlerden birisidir. Kuşkusuz enerji denilince akla gelen enerji türlerinin başında elektrik enerjisi gelmektedir.

Son yıllarda artan enerji ihtiyacına bağlı olarak fosil yakıtlarla enerji üretilmesi, çevre sorunlarının da artmasına neden olmuştur. Ayrıca fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenecek olması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi oldukça arttırmıştır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, biokütle, jeotermal, hidrolik ve güneş enerjisi olarak sayılabilir. Bu çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı insanlığın geleceği açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Güneş enerjisi diğer alternatif enerji kaynaklarının temelini oluşturmakla birlikte tükenmez bir enerji kaynağıdır. Gelecekte de diğer enerji türlerine alternatif olacaktır. Güneş enerjisi sistemlerinin avantajları; çevre kirliliğine sebep olmaması, neredeyse dünyanın her yerinde kullanılabilmesi ve bakım maliyetlerinin düşük olması olarak sayılabilir, ancak günümüzde kurulum maliyetlerinin yüksek olması en büyük dezavantajdır. Teknolojideki ilerlemelere paralel olarak yakın bir gelecekte kurulum maliyeti de düşecektir.

Güneş enerjisinden çok çeşitli yollarla yararlanmak mümkündür. Bu yollardan biri de güneş panelleri kullanarak üzerine düşen güneş ışığı sonucunda elektrik enerjisi üretmektir. Güneş ışığından elektrik elde etmek için sabit eğim açılı sistemler ya da

güneş takip sistemleri kullanılır. Sabit sistemler, yataya göre belirli bir eğim açısında konumlandırılır. Bu eğim açısı, bölgenin coğrafik konumuna ve mevsimlere göre değişir. Bölgede yıllık olarak optimum eğim açısı hesaplanarak güneş ışığından elde edilen enerji miktarı maksimize edilir. Bu sabit konumlandırılan sistemlerin kurulum maliyeti güneş takip sistemlerine göre çok daha düşüktür.

Bu çalışmada bir yıl boyunca yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınım verileri MATLAB kodlarıyla kullanılarak, İstanbul ile aynı enlemde bulunan, Boston (ABD) için yataya gelen global ışınım miktarının bileşenlerine ayrılması, eğik düzleme gelen ışınım miktarı ve bunun yanında sabit paneller için optimum eğim açısı hesaplanmıştır.

Bu hesaplama yapılırken öncelikle Boston'a ait atmosfer dışına gelen ışınım ve global ışınım verileri alınmıştır. Bu veriler yardımıyla açıklık indeksi değerleri elde edilmiştir. Daha sonra Boston'a gelen global ışınım değerleri direkt ışınım ve yayınık ışınım olmak üzere bileşenlerine ayrılmıştır.

Eğik düzleme gelen ışınım değerlerinin ayrıştırılmasında yatay düzlem için bulunan direkt ve yayınık ışınım değerleri kullanılarak direkt ışınım, yayınık ışınım ve bunların yanında yansıyan ışınım da hesaplanmıştır. Yansıyan ışınımın bulunmasında yüzey yansıtma katsayısı ortalama bir değer alınmıştır.

Son olarak 1 yıl için alınan bu veriler yardımı ile eğim açısı 0° ve 90° arasında değiştirilmiştir. Buna göre hesaplanan geliş açısı değerleri bulunarak yıllık toplam ışınım değerinin maksimum olduğu optimum açı değeri 49° olarak belirlenmiştir.

Sonraki çalışmalarda optimum açı değerleri hesaplanarak ülkemiz için optimum açı haritası çıkartılabilir. Buna göre sabit konumlandırılacak panellerin yerleşimi bu haritaya göre yapılabilir. Ancak önerilen açı haritasını çıkarabilmek için Türkiye'nin geneline yayılmış pekçok ölçüm noktasından yüksek çözünürlüklü güneş ışınım verilerinin uzun süreli olarak toplanması gerekmektedir. Dolayısı ile bu amaç doğrultusunda gerekli olan teknik altyapı oluşturulmalıdır. Elde edilecek bu veriler doğrultusunda aylık ve mevsimlik optimum açı değerleri hesaplanıp, yıllık uygulama ile karşılaştırılabilir. Işınım verileri yanında rüzgâr, sıcaklık... vb. değerler de hesaba katılarak, çevresel etkileri de dikkate alan bir optimizasyon çalışması yapılabilir. Uygulamalardaki farklılıklara göre enerji ve güç açısından sistem optimize edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] H.M.S. Hussein, G.E. Ahmad ve H.H. El-Ghetany, (2004), Performance evaluation of photovoltaic modules at different tilt angles and orientations, *Energy Conversion and Management* 45: 2441–2452
- [2] Murat Kacira, Mehmet Simsek, Yunus Babur, Sedat Demirkol, (2004), Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey, *Renewable Energy* 29: 1265–1275
- [3] Koray Ulgen, (2006), Optimum Tilt Angle for Solar Collectors, *Energy Sources, Part A*, 28: 1171–1180,
- [4] Huseyin Gunerhan ve Arif Hepbasli, (2007), Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications, *Building and Environment* 42: 779–783
- [5] Kılıç, A.ve Öztürk A. (1983), Güneş Enerjisi KİPAŞ Dağıtımçılık Çağaloğlu İstanbul
- [6] Karamanav, M., (2007), ‘Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri’ Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, Sakarya
- [7] Volker Quaschnig (2005), *Understanding Renewable Energy Systems*, Earthscan London
- [8] Kılıç, A., (1982), ‘Direkt Güneş Işınımı Tayini İçin Yeni Bir Method’, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, İstanbul
- [9] Thekaekara, M.P., (1977), *Solar Radiation Measurement, Techniques and Instrumentation*, Solar Energy Engineering, 37-59, Academic Press
- [10] Engin R., (1995), Güneş Pilleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları No:3, 151 s.
- [11] Enarun, D., (1987), ‘Bina Tasarım Aşamasında Hacim İçindeki Doğal Işık Dağılımını Belirlemek İçin Bir Model’, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, İstanbul
- [12] Batman, M.A., (2001), ‘Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi artırıcı yeni bir yöntem’, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, İstanbul
- [13] Polatkan D.S. (2009), Güneş elektriğinde Türkiye için öncelikler www.enerjienergy.com, 05.01.2011

- [14] Türkiye Mühendisler ve Mimarlar Odaları Birliği, www.tmmob.org.tr 10.02.2011
- [15] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, www.eie.gov.tr 15.03.2011
- [16] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, www.eie.gov.tr 17.03.2011
- [17] Nakir İ., (2007), 'PV panellerinde GTS ve MGTS kullanarak verimliliğin artırılması' Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, İstanbul
- [18] Spring, K.H.,(1965), 'Direct generation of electricity' Academic Press
- [19] Messenger, R. ve Ventre, J., (2000), "Photovoltaic systems engineering", CRC Press, New York. ISBN: 0-8493-2017-8
- [20] Fahrenbruch, A.L. ve Bube, R.T., (1983), "Fundamentals of Solar Cells", Academic Press
- [21] Markvart, T., (1994), "Solar electricity", John Wiley & Sons Inc.. New York. ISBN: 0-471-94161-1.
- [22] Araujo, R.G., Kruter S., Onnekin K. ve Quaschnig V. (2001), "Photovoltaic Energy Systems", Technische Universität Berlin, Berlin
- [23] Görçelioğlu, E. (1987), 'Güneş açıları ve bunların feyzaj düzenlemelerindeki önemi' İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul
- [24] Ruckstuhl, C., vd. (2008), Aerosol and cloud effects on solar brightening and the recent rapid warming
- [25] Robinson, N. (1966), Solar Radiation, Elsevier Pub. Co. London
- [26] Solar Engineerin of termal process, 1980, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication Madison Wisconsin
- [27] Duffie, J.A. and Beckman, (1980), W.A., Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons
- [28] Tanrıöven, M.,(2011), Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri Ders Notları
- [29] Deriş, Neşe, (1979), Güneş enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Teknik, İstanbul, 12-37s, 42-43s.
- [30] Ay, S. (2008), Mühendisler, Ekonomistler ve İşletmeler için Elektrik Enerjisi Ekonomisi, 1. Baskı, İstanbul

BOSTON'A AİT ÖRNEK VERİLER

				Atm Dışı		Global					
90	1	1	1	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	2	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	3	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	4	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	5	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	6	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	7	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	8	83	990	19	G5	0	G4	19	G5
90	1	1	9	256	1415	115	G5	207	G5	77	G5
90	1	1	10	423	1415	108	G4	42	G4	95	G5
90	1	1	11	535	1415	237	G5	236	G5	148	G5
90	1	1	12	586	1415	306	G5	425	G5	130	G5
90	1	1	13	572	1415	328	G5	467	G5	139	G5
90	1	1	14	494	1415	295	G5	615	G5	81	G5
90	1	1	15	357	1415	127	G5	129	G5	95	G5
90	1	1	16	171	1415	79	G5	413	G4	29	G5
90	1	1	17	38	377	9	G5	43	G4	4	G5
90	1	1	18	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	19	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	20	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	21	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	22	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	23	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	1	24	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	1	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	2	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	3	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	4	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	5	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	6	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	7	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	8	83	990	26	G5	33	G5	23	G5
90	1	2	9	257	1415	131	G5	461	G5	48	G5

90	1	2	10	423	1415	222	G5	350	G5	117	G5
90	1	2	11	537	1415	219	G5	239	G5	129	G5
90	1	2	12	588	1415	238	G5	120	G5	188	G5
90	1	2	13	574	1415	333	G5	502	G5	129	G5
90	1	2	14	496	1415	238	G4	452	G4	79	G5
90	1	2	15	360	1415	200	G5	612	G4	45	G5
90	1	2	16	174	1415	82	G5	453	G4	26	G5
90	1	2	17	41	377	11	G5	53	G4	5	G5
90	1	2	18	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	19	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	20	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	21	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	22	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	23	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	2	24	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	1	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	2	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	3	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	4	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	5	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	6	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	7	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	8	83	967	28	G5	116	G4	18	G5
90	1	3	9	257	1415	95	G5	267	G4	47	G5
90	1	3	10	424	1415	282	G4	748	G4	58	G5
90	1	3	11	538	1415	360	G4	820	G4	48	G5
90	1	3	12	590	1415	409	G4	857	G4	51	G5
90	1	3	13	577	1415	390	G4	833	G4	50	G5
90	1	3	14	499	1415	317	G4	770	G4	45	G5
90	1	3	15	363	1415	194	G5	545	G4	54	G5
90	1	3	16	177	1415	79	G5	396	G4	29	G5
90	1	3	17	44	401	9	G5	6	G5	8	G5
90	1	3	18	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	19	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	20	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	21	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	22	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	23	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	24	0	0	0	?0	0	?0	0	?0

YATAY DÜZLEME GELEN IŞINIM MİKTARLARI

```
for i=1:8760
    if atm(i)==0;
        Kt(i)=0;
    else
        Kt(i)=bostonglobal(i)/atm(i);%açıklık indeksi
    end
end
F=1:1:8760;

    for i=1:8760
        if Kt(i)<=0.22;
            F(i)=1-0.09.*Kt(i);
        elseif 0.22<Kt(i)<=0.8;
            F(i)=0.9511-0.1604.*Kt(i)+4.388.*(Kt(i))^2-16.638.*(Kt(i))^3+12.336.*(Kt(i))^4;
        else 0.8<Kt(i);
            F(i)=0.165;
        end
    end

F=transpose(F);
yatayyayinik=F.*bostonglobal;%yayınık ışınım hesabı
yataydirek=bostonglobal-yatayyayinik;%direk ışınım hesabı

figure(1)
plot(yatayyayinik,'r')
title('yatayyayinik(kWh/m^2)')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (kWh/m^2)')
```



```
figure(2)
plot(yataydirek,'r')
title('yataydirek(kWh/m^2)')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (kWh/m^2)')
```

```
figure(3)
plot(bostonglobal)
title('global isinim')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (kWh/m^2)')
```

```
figure(4)
plot(atm)
title('Atmosfer Disi isinim degerleri (kWI/m^2)')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (direkt ve yayinik)(kWI/m^2)')
```

EĞİK DÜZLEME GELEN IŞINIM MİKTARLARI

```
enlem=42.35;
azimut=0;
ro=0.2;      %üzey yansima katsayisi

for beta=0:1:90

G1=(sind(deklinasyon).*sind(enlem).*cosd(beta));
G2=(sind(deklinasyon).*cosd(enlem).*sind(beta).*cosd(azimut));
G3=(cosd(deklinasyon).*cosd(enlem).*cosd(beta).*cosd(hourangle));
G4=(cosd(deklinasyon).*sind(enlem).*sind(beta).*cosd(azimut).*cosd(hourangle));
G5=(cosd(deklinasyon).*sind(beta).*sind(azimut).*sind(hourangle));

gelis=acosd(G1-G2+G3+G4+G5);

    HB=yataydirek.*cosd(gelis);
    Rd=(1+cosd(beta))/2;
    HD=Rd.*yatayyayinik;
    HR= bostonglobal.*ro.*((1-cosd(beta))/2);

    HT=HB+HR+HD;

    YHT=0;
    YHD=0;
    YHB=0;
    YHR=0;
    for i=1:8760
        YHD=YHD+HD(i);
        YHB=YHB+HB(i);
        YHR=YHR+HR(i);
        YHT=YHT+HT(i);
    end
    YHT
```

```
figure(1)
plot(HT,'b')
title('Toplam ışınlm')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (kWh/m^2)')

figure(2)
plot(HB,'r')
title('Direkt isinim')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (kWh/m^2)')

figure(3)
plot(HD,'g')
title('Yayıllı isinim')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (kWh/m^2)')

figure(4)
plot(HR,'c')
title('Yansıyan isinim')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (kWh/m^2)')
end
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali AJDER
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.03.1985 Eskişehir
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : aliajder@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Eskişehir Gazi Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-...	YTU	Araştırma Görevlisi