

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

**FARKLI PV TEKNOLOJİLERİNİN GERÇEK ORTAM VERİLERİ KULLANILARAK
MODELLENMESİ VE İSTANBUL ŞARTLARINDA OPTİMUM EĞİM
AÇILARININ BELİRLENMESİ**

RAMAZAN AYAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALı
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MUĞDEŞEM TANRIÖVEN**

İSTANBUL, 2012

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün **2012-04-02-YL01** numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Günümüzde fosil kaynakların hızla tükenmesi, bu kaynakların çevreye yaydığı sera gazlarının etkisiyle hava kirliliğinin artması, küresel ısınmanın fazla derecede hissedilmesi, çevreye karşı duyarlılığın artması ve enerji fiyatlarının hızlı yükselişi yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı giderek artırmaktadır. Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan güneş enerjisi potansiyeli konusunda önemli bir coğrafi konuma sahiptir. Bu potansiyeli değerlendirmek için ülkemizde güneş santralleri kurmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasıyla, güncel bir konu olan güneş santrallerini maksimum verimlilikte çalıştırmak amacıyla optimum panel eğim açısını belirlemek üzere bir model oluşturulacak ve İstanbul için örnek eğim açısı çalışması yapılacaktır.

Çalışmalarım sırasında desteğini benden esirgemeyen çok değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN'e, çalışmalarımın her aşamasında özverili bir şekilde bana destek olan ve yol gösteren Sayın Arş. Gör. İsmail NAKİR'e ve bu tez çalışmam boyunca bana yardımlarını esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma gönülden teşekkür ediyorum. Ayrıca bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan ve her zaman destekleriyle yanımda olan aileme teşekkür borç bilirim.

Mayıs, 2012

Ramazan AYAZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
GÜNEŞ ENERJİSİ	5
2.1 Dünyanın Güneş Enerji Potansiyeli	7
2.2 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	8
BÖLÜM 3	
FOTOVOLTAİK GÜNEŞ SİSTEMLERİ	11
3.1 Fotovoltaik Hücrenin Genel Yapısı	11
3.2 PV Teknolojileri ve Kullanılan Malzemeler	14
3.2.1 Kristal Silikon Teknolojisi	14
3.2.1.1 Mono-Kristal Silikon Güneş Pilleri.....	14
3.2.1.2 Poli-Kristal Silikon Güneş Pilleri.....	14
3.2.2 İnce Film (Thin Film) Teknolojisi	15
3.2.2.1 Amorf Silikon(a-Si) Güneş Pilleri	15
3.2.2.2 Kadmiyum Tellür(CdTe) Güneş Pilleri	15
3.2.2.3 Bakır İndiyum Diselenid(CuInSe ₂) Güneş Pilleri	15

3.3	PV'nin Elektriksel Modelleri	16
3.3.1	PV Tek Diyot Modeli	16
3.3.2	PV Çift Diyot Modeli	18
3.4	PV'nin Elektriksel Karakteristikleri	18
3.5	Işınım Ölçerler	22
3.5.1	Piranometre	23
3.5.2	Gölgelenmiş Piranometre	23
3.5.3	Pirheliometre	24
3.5.4	Albedometre	25
BÖLÜM 4		
	UYGULAMA ÇALIŞMASI	26
4.1	Ölçüm Platformunun Oluşturulması	27
4.2	Eğimli Yüzeyle Gelen Global Işınımın Bulunması	29
4.3	Fotovoltaik Model	33
4.4	Fotovoltaik Modelin Doğrulanması	36
4.5	İstanbul İçin Yıllık Optimum Eğim Açısının Bulunması	39
BÖLÜM 5		
	SONUÇ VE ÖNERİLER	43
	KAYNAKLAR	45
EK-A		
	YATAY YÜZEYE GELEN GLOBAL İŞINIMIN AYRIŞTIRILMASI VE EĞİMLİ YÜZEYE GELEN GLOBAL İŞINIMIN ELDE EDİLMESİ	48
EK-B		
	PANEL KATOLOG BİLGİLERİ	50
	B-1 Mono Kristal Silikon Güneş Paneli	50
	B-2 Poli Kristal Silikon Güneş Paneli	51
	B-3 İnce Film Güneş Paneli	52
EK-C		
	İSTANBUL'A AİT ÖRNEK YILLIK VERİLER	53
	ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGE LİSTESİ

G	Işınım
G_s	Standart şartlardaki ışınım
h	Saat açısı
I	PV akımı
I_d	Diyot akımı
I_D	Yatay yüzeye gelen direkt ışınım
I_{fv}	Fotovoltaik akım
I_G	Yatay yüzeye gelen toplam ışınım
I_{MP}	Maksimum güç noktasındaki akım
I_{MPS}	Standart şartlarda maksimum güç noktasındaki akım
I_0	Diyot doyma akımı
I_{SC}	Kısa devre akımı
I_{Rp}	Paralel dirençten akan akım
I_{SCS}	Standart şartlarda kısa devre akımı
I_T	Eğimli yüzeye gelen toplam ışınım
I_Y	Yatay yüzeye gelen yayınık ışınım
k	Boltzmann gaz sabiti
k_r	Rüzgâr katsayısı
N_p	PV paneldeki paralel kol sayısı
N_s	PV paneldeki seri kol sayısı
q	Elektron yükü
R_B	Direkt ışınım eğim faktörü
R_p	Paralel direnç
R_s	Yarı iletken iç direnci

T	Dış ortam sıcaklığı
T_c	Hücre sıcaklığı
T_s	Standart şartlardaki hücre sıcaklığı
V	PV gerilimi
V_{MP}	Maksimum güç noktasındaki gerilim
V_{MPS}	Standart şartlarda maksimum güç noktasındaki gerilim
V_{OC}	Açık devre gerilimi
V_{OCS}	Standart şartlarda açık devre gerilimi
W	Rüzgâr hızı
β	Panel eğim açısı
δ	Deklinasyon açısı
ρ	Yüzey yansıtma katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

A	Akım
a-Si	Amorf Silikon
°C	Santigrat derece
CdTe	Kadmiyum Tellür
CuInSe ₂	Bakır İndiyum Diselenid
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GW	Giga watt
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
K	Kelvin
kW	Kilo watt
kWh	Kilo watt saat
m ²	Metrekare
MPP	Maximum Power Point
nm	Nano metre
PSO	Particle Swarm Optimization
PV	Photovoltaic
P&O	Perturbation and Observation
SiO ₂	Silisyumdioksit
V	Volt
W	Watt
Wh	Waat saat
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
µm	Mikro metre

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Yeryüzüne gelen yıllık ortalama güneş radyasyonu(W/m^2)[13] 6
Şekil 2. 2	Dünyanın güneşe olan uzaklığı[14] 6
Şekil 2. 3	Güneşten gelen ışıınım dağılımı[15]..... 7
Şekil 2. 4	Dünyada güneş enerjisi kurulu gücünün yıllara bağlı değişimi[16] 8
Şekil 2. 5	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası[15] 10
Şekil 3. 1	PV hücre yapısı 12
Şekil 3. 2	PV hücrelerin paralel bağlanması..... 12
Şekil 3. 3	PV hücrelerin seri bağlanması..... 13
Şekil 3. 4	N_p tane koldan ve her kolun da N_s tane modülden oluştuğu PV panel 13
Şekil 3. 5	Fotovoltaik yapılar 14
Şekil 3. 6	Farklı güneş panellerinin üretebilecekleri enerji miktarları[15] 16
Şekil 3. 7	PV tek diyot eşdeğer devresi..... 17
Şekil 3. 8	PV çift diyot eşdeğer devresi..... 18
Şekil 3. 9	Fotovoltaik hücre I-V karakteristiği 19
Şekil 3. 10	PV hücre güç-gerilim (P-V) karakteristiği 20
Şekil 3. 11	Özdeş PV hücrelerin seri ve paralel bağlanması durumunda I-V karakteristikleri a) paralel bağlı b) seri bağlı..... 20
Şekil 3. 12	PV hücrenin sabit sıcaklıkta I-V karakteristiğinin ışıınımla değişimi 21
Şekil 3. 13	PV hücrenin sabit güneş ışıınımında I-V karakteristiğinin sıcaklıkla değişimi 21
Şekil 3. 14	Herhangi bir yüzeye gelen farklı ışıınımlar..... 22
Şekil 3. 15	Piranometre ve içyapısı[29] 23
Şekil 3. 16	Gölgelenmiş piranometre 24
Şekil 3. 17	Güneş takip sistemine monte edilmiş pirheliometre 24
Şekil 3. 18	Albedometre 25
Şekil 4. 1	YTÜ Elektrik Elektronik Fakültesinin uydu görüntüsü 26
Şekil 4. 2	Farklı teknolojilere ait PV panellerin belli bir açıda konumlandırıldığı plarform 27
Şekil 4. 3	Yatay ve eğimli yüzeye gelen global ışıınımı ölçme düzeneği 28
Şekil 4. 4	ışıınım, rüzgar, akım ve gerilim ölçü düzeneği 28
Şekil 4. 5	Hava ölçüm istasyonu 29
Şekil 4. 6	Eğimli yüzeye gelen ışıınımın gerçek ortam şartlarında ölçülen değerle karşılaştırılması..... 30
Şekil 4. 7	İstanbul'da yatay yüzeye gelen global ışıınım 31

Şekil 4. 8	İstanbul’da yatay yüzeye gelen direkt ışınım	32
Şekil 4. 9	İstanbul’da yatay yüzeye gelen yayınlık ışınım	33
Şekil 4. 10	Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli	34
Şekil 4. 11	PV modele ait Simulink bloğu	35
Şekil 4. 12	PV panel bloğuna ait alt blok gösterimi	36
Şekil 4. 13	Monokristal silikon panele ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	37
Şekil 4. 14	Polikristal silikon panele panele ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 4. 15	İnce film teknolojisine sahip panele ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	39
Şekil 4. 16	P&O algoritması Stateflow şeması.....	40

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Dünya'nın çeşitli bölgelerindeki yıllık ortalama güneş enerjisi miktarı[11] 8
Çizelge 2. 2	Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı[15]..... 9
Çizelge 3. 1	Farklı güneş modüllerine ait hücre verimleri 16
Çizelge 4. 1	Monokristal silikon panelin her bir açıda ürettiği elektrik enerjisi 41
Çizelge 4. 2	İnce film teknolojisine sahip panelin her bir açıda ürettiği elektrik enerjisi 41

FARKLI PV TEKNOLOJİLERİNİN GERÇEK ORTAM VERİLERİ KULLANILARAK MODELLENMESİ VE İSTANBUL ŞARTLARINDA OPTİMUM EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ

Ramazan AYAZ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

Ülkemiz, Avrupa’da en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ikinci ülke konumundadır. Buna rağmen, ülkemiz bu potansiyelini kullanma konusunda diğer birçok Avrupa ülkesinden geride kalmıştır. Ancak son yıllarda yapılan düzenlemelerle ülkemizde de güneş enerjisinden elektrik üretimi yönüyle yararlanma yoluna gidilmektedir. Bunun için günümüzde Enerji Bakanlığı tarafından güneş santrallerinin kurulması teşvik edilmekte ve lisanssız olarak 500 kW'a kadar elektrik üretimine izin verilmektedir.

Fotovoltaik(PV) güneş enerji santrallerinde kullanılan PV yapıların verimleri, her bir PV teknolojisi için farklılık arz etmektedir. Ancak kurulum ve işletme maliyetleri ve sistem uyumluluklarına göre güneş santralleri farklı teknolojilere sahip PV modüllerden oluşturulabilmektedir.

PV ‘lerin enerji çıktısını etkileyen en önemli faktörler ışıınım ve sıcaklıktır. Mevcut PV teknolojilerinin modellenmesinde laboratuvar şartlarında (1000 W/m^2 ışıınım, 25°C sıcaklık) alınan veriler kullanılmaktadır. Ancak kurulacak olan bir güneş santralinde dış ortam şartları oldukça değişkendir. Dolayısıyla bir santralin enerji çıktısının hesaplanabilmesi için her iki faktör ele alınmalıdır.

Kurulacak güneş santrallerinde yıllık üretilebilecek elektrik enerjinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Yıllık maksimum enerjinin tahmin edilebilmesi için PV, dış ortam şartları

ve PV yapıların yatayla yaptığı eğim açısının bilinmesi gerekir. PV yapıların enerji çıktısı sadece ışıma bağlı değildir. Ayrıca her bir PV teknolojinin sıcaklık faktöründen etkilenme oranı farklıdır. Bu durumda bir güneş santrali çalışmasında uygun konumlandırma için her bir faktörün (PV teknolojisi, ışıma, sıcaklık ve rüzgar) dikkate alınarak panellerin optimum eğim açısının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasıyla, farklı PV teknolojileriyle üretilmiş fotovoltaik panellerin (mono-kristal silikon, poli-kristal silikon ve ince film) gerçek ortam şartlarına göre Matlab/Simulink ortamında PV modeli oluşturulmuş ve oluşturulan modelde her bir panel teknolojisi için ışıma, sıcaklık vb. dikkate alınarak panellerin İstanbul için optimum eğim açısı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PV Model, Matlab/Simulink, Eğim açısı, PV teknolojileri

**MODELING OF THE DIFFERENT PV TECHNOLOGIES USING REAL
ENVIRONMENTAL DATUM AND DETERMINATION OF OPTIMUM TILT
ANGLES FOR ISTANBUL**

Ramazan AYAZ

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

Our country has a position of having second highest potential of solar energy in Europe. However, Turkey is falling behind of many of European countries in terms using its potential. Nevertheless, due to the new regulations put in place in last years, benefiting from solar energy has begun to be chosen in Turkey as well, for producing electricity. That is why, today, Energy Ministry of Turkey encourages setting up Solar Power Plants and it is permitted to produce electricity up to 500kW without licence.

The efficiency of PV structures used in photovoltaic Solar Power Plants are differing for each PV technology. However, solar power plants can be builded up from PV modules having different technologies considering establishment and operating costs and systemic compatibility.

The most important factors that affect energy output of PVs are radiation and temperature. The data used in modelling of existing PV Technologies are obtained under laboratory conditions((1000 W/m² radiation, 25°C temperature). However, outer environmental conditions are considerably varying in solar power plants. Accordingly, both factors must be evaluated to calculate an energy output of a solar power plant.

The annual energy production of solar power plants must be predicted. To do so, PV, outer environmental conditions and PV structures' tilt angle with horizontal axis must be known. The energy output of PV arrays are not dependent solely upon radiation.

Additionally, the response rate of each PV technology to temperature factor is different. In these circumstances, for appropriate positioning in a practice of solar power plant, optimum tilt angle of solar panels must be determined considering each factor (PV technology, radiation, temperature, etc).

With this thesis, PV model of photovoltaic panels which are of different PV technologies(mono-crystal silicon, poly-crystal silicon and thin film) are created in Matlab/Simulink according to real outer environmental conditions and optimum tilt angle of each panel technology is determined for city of İstanbul considering radiation, temperature etc. variables.

Anahtar Kelimeler: PV Model, Matlab/Simulink, Tilt Angle, PV technologies

1.1 Literatür Özeti

I.H. Altas ve A.M. Sharaf'ın yaptıkları çalışmada, fotovoltaik pilleri Matlab/Simulink ortamında modelleyerek genel amaçlı bir model geliştirmişlerdir. Yaptıkları modelde, ışınlam ve sıcaklık değişimlerinin panelin çıkış akım ve gerilimi üzerine olan etkisini belirledikleri bazı katsayılarla ifade etmişlerdir[1].

A. Loteta ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Enel fotovoltaik laboratuvarında PV modüllerin bir yıllık ölçülen değerleri ile Enel araştırma laboratuvarında geliştirilen elektriksel bir modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elektriksel model literatürde mevcut kullanılan birçok matematiksel ve fiziksel modellerle karşılaştırılmış ve sonuç olarak birçok model düşük ışınlam koşullarında hatalı çalışırken, uygulanan yeni modelden daha iyi sonuçlar elde edildiği ve yeni modelin enerji ölçümünde daha hassas olduğu belirtilmiştir[2].

Huan-Liang Tsai ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, PV hücre, modül ve diziler için Matlab/Simulink ortamında genelleştirilmiş bir model geliştirmişlerdir. Farklı koşullarda I-V ve P-V karakteristiklerini incelemek için model girdileri olarak ışınlam ve hücre sıcaklığını kullanmışlardır. Ayrıca bu model simulink blok kütüphanesine benzer şekilde tasarlamışlardır. Bu model fotovoltaik güç sistemlerinin simülasyonu, analizi ve optimizasyonu için kolaylık sağlamaktadır[3].

Weidong Xiao ve arkadaşları, basitleştirilmiş tek diyot eş değer modelini dikkate alarak bilgisayar simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Bu modelde çevresel değişimlere göre (ışınlam ve sıcaklık) PV hücrenin çıkış özelliklerini göstermişlerdir. Modelde kullanılan

parametreler minimum model hatası ve sıcaklık etkisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Farklı malzemelerden yapılmış PV paneller simülasyonlarla test edilerek ürün kataloğundaki verilerle karşılaştırması yapılmıştır[4].

Tyson DenHerder ışıınım ve sıcaklığa bağılı olarak oluşturduğı liner olmayan PV akım modelinde sonuçları elde etmek için sayısal methotlar kullanmıştır. Bu sayısal methotların çözümünü iterasyon yöntemleriyle sağlamıştır. Yaptığı çalışmada eşdeğer devredeki paralel direnç, R_p , sonsuz kabul edilmiştir[5].

Ramos Hernanz ve arkadaşları yapılan önceki çalışmalarını esas alarak oluşturdukları modellerin I-V ve P-V eğrilerini hesaplayarak sonuçlarını birbiriyle karşılaştırmışlardır. Ayrıca her bir model için maksimum güç noktasını hesaplamışlar ve modeli ticari bir PV panelin, deneysel verileriyle doğrulaması yapılmıştır[6].

Armando Bellini ve arkadaşları hiçbir sayısal methot kullanmadan sadece üretici firma kataloğunda bulunan veriler kullanılarak bir PV modül modeli geliştirilmiştir. Bu model [4]'teki modelde verilen gerilim değişimini ışıınının bir fonksiyonu olarak ele almaktadır. Ayrıca gerçek ortam şartları dikkate alınarak simülasyon sonuçları elde edilmiş ve modelin doğruluğı gösterilmiştir[7].

H. Gunerhan ve A. Hepbasli yaptıkları çalışmada, bina uygulamalarında kullanılan güneş kolektörlerinin optimum eğim açısını İzmir için ölçülen deneysel verileri kullanarak belirlemişlerdir. İzmir'de güneş kolektörlerinin maksimum ışıınımı alması için güney yönüne doğru konumlandırılması gerektiğini söylemişlerdir. Güneş kolektörlerinin verimliliğı arttırmak için mümkünse aylık ortalama eğim açısıyla konumlandırılması ve ayda bir kez eğim açısının ayarlanması gerektiğini belirtmişlerdir[8].

M. Kacira ve arkadaşları Şanlıurfa için yaptıkları eğim açısı çalışmasında, iki eksenli güneş takip sistemli bir panel ile sabit konumlandırılmış panelin karşılaştırmasını yapmışlardır. PV panellerin yıl boyunca aylık optimum eğim açılarının en düşük Haziran ayında 13° , en yüksek ise Aralık ayında 61° olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca aylık konumlandırılmış panellerin yıllık enlem açısına göre konumlandırılmış panellere göre sırasıyla %1,1 ve %3,9 daha fazla güneş ışıınımı aldığını söylemişlerdir[9].

Q. Zhao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, PV panellerin optimum eğim açısını matematiksel yöntemler kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Kısa ve uzun süreli

analizleri dikkate almışlardır. Optimum eğim açısı günlük belirlenerek elde edilen enerji aylık konumlandırılarak elde edilen enerjiden daha fazla olduğunu söylemişlerdir. Günlük güneş radyasyonu tahmini için iki farklı method önermişler ve günlük ortalama radyasyon dağılımı tahminini vermek için bu methodları karşılaştırmışlardır[10].

1.2 Tezin Amacı

Güneş santrallerinde PV paneller hareketli ve sabit olmak üzere iki şekilde konumlandırılmaktadır. Hareketli sistemlerde güneş takip edici gibi hareketli mekanizmaların bulunması, mekanik bağlantıların çok olması ve bu hareketli sistemin arızalanma olasılığının yüksek olmasından dolayı kurulum ve işletme maliyetleri yüksektir.

Sabit panellere sahip güneş santrallerinde ise panellerin konumlandırma açısı kurulum öncesinde çok iyi bir şekilde hesaplanmalıdır. Çünkü bu sistemlerde hareketli sistemlerde olduğu gibi güneş takip edilmemekte ve böylece yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi paneller tarafından tam olarak alınamamaktadır. Bu durumda en uygun eğim açısının belirlenmesi santralin yıllık enerji çıktısını önemli oranda arttırmaktadır.

Bu çalışmada, gerçek ortam şartlarına göre güneş santrallerinde maksimum enerji çıktısı için her bir faktörü (ışınım, sıcaklık ve rüzgar) dikkate alıp farklı teknolojilerle üretilmiş PV panellerin Matlab/Simulink ortamında birer modelleri oluşturularak bu çalışmanın yapıldığı İstanbul için her bir teknolojiye özel optimum eğim açısı belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda optimum eğim açısı çoğunlukla olarak güneş kolektörleri için hesaplanmıştır. Sıcaklığın güneş kolektörleri üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığından yapılan bu çalışmalarda sadece güneş ışıınımı dikkate alınarak optimum eğim açısı bulunmuştur. Bu durumda fotovoltaiik güneş panellerine negatif yönde etkiyen sıcaklık faktörü tam olarak değerlendirilemediğinden bu çalışmalarda bulunan eğim açısı PV paneller için optimum eğim açısı değildir.

Fotovoltaik sistemler için optimum eğim açısının tespiti PSO, Neural Network vb. metotlarla yapılan yaklaşımlarla sağlanmaya çalışılmıştır. Literatürde yapılmış olan PV modellerin hemen hemen hepsinde oluşturulan modelin çıktıları, bu panelin ya katalog değerleriyle ya da laboratuvar ortamında elde edilen çıkış değerleriyle karşılaştırılmıştır.

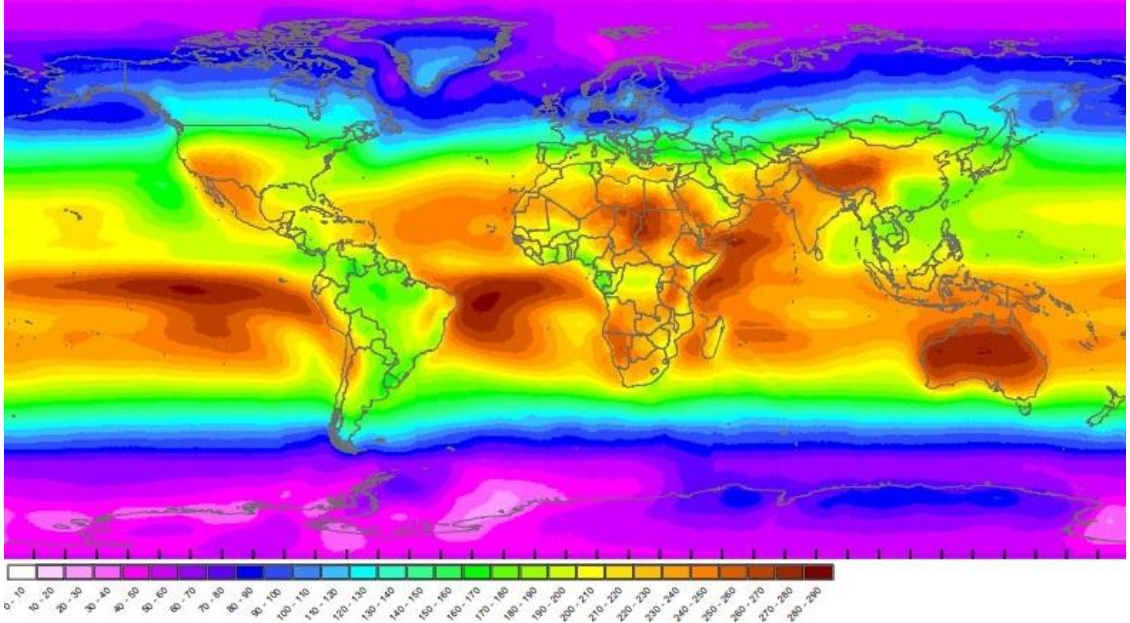
Bu çalışma sonucunda, gerçek ortam şartlarını dikkate alan bir model oluşturularak sıcaklık faktörü tam olarak değerlendirilecek ve PV panelin İstanbul için optimum eğim açısı yıllık, mevsimsel ya da aylık olarak hesaplanabilecektir. Yapılacak çalışma bir hesaplama yöntemine dayanacağından, ısıtım ve sıcaklık verilerine sahip olunan herhangi bir bölgeye uygulanabilecektir.

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİSİ

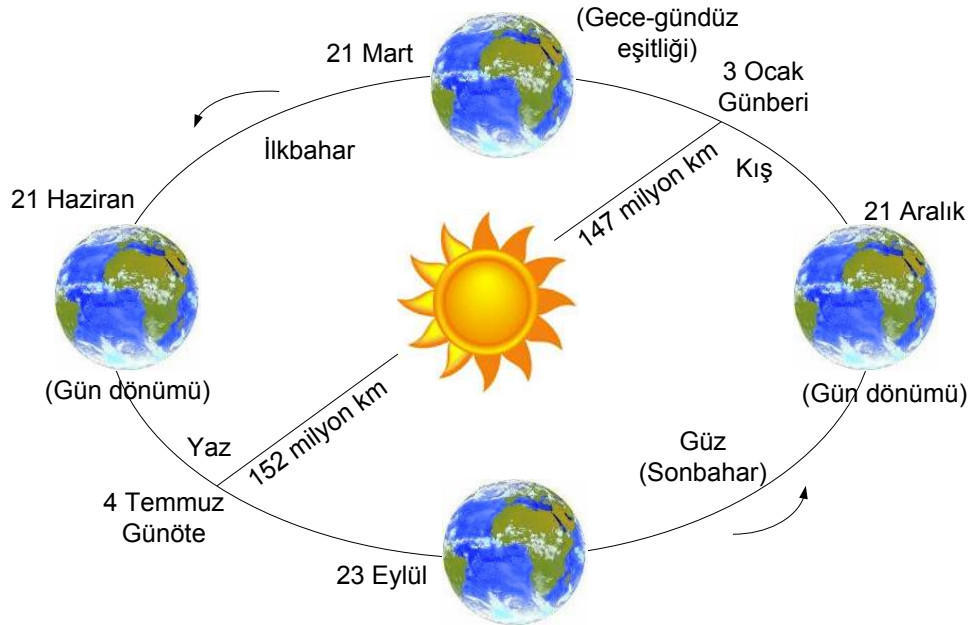
Güneş enerjisi, güneşin yapısındaki hidrojen gazlarının helyuma dönüşmesi sonucunda meydana gelen füzyon reaksiyonları neticesinde ortaya çıkan ısıma enerjisidir[11]. Yeryüzündeki hemen hemen bütün enerjinin kaynağı güneş enerjisidir. Kullanmakta olduğumuz rüzgar enerjisi, biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve fosil yakıtlardan elde edilen birçok enerji güneş enerjisinin bir ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Dünya yüzeyine her saatte ulaşan enerji miktarı tüm dünya nüfusunun tükettiği enerji miktarından daha fazladır.

Dünya yörünge eksenine gelen güneş ışıınımı yaklaşık $1366,1 \text{ W/m}^2$ 'dir. Atmosfer yüzeyinden yeryüzüne ulaşan ışıınım şiddeti, bulutlara, hava kirliliğine, ilgili yerin enlemine ve yılın farklı zamanlarına göre değişim gösterebilmektedir. Yeryüzüne ulaşan güneş ışıınımı değeri $0\text{-}1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişmektedir[12]. Şekil 2. 1'de yeryüzüne gelen yıllık ortalama güneş radyasyonu haritası verilmiştir.



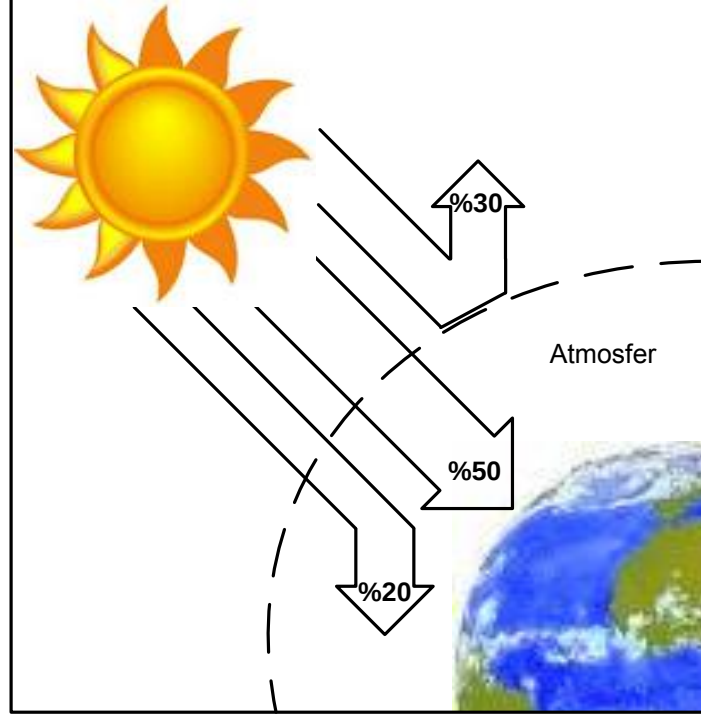
Şekil 2. 1 Yeryüzüne gelen yıllık ortalama güneş radyasyonu(W/m²)[13]

Dünyanın eliptik yörüngesinden dolayı dünya ile güneş arasındaki mesafeye bağlı olarak yeryüzüne gelen ışınlam şiddeti değişim göstermektedir. Işınlam şiddeti Ocak ayında en yüksek değerinde olurken, Temmuz ayında ise en düşük değerde olmaktadır. Şekil 2. 2’de dünyanın güneşe olan uzaklığındaki değişimi görülmektedir.



Şekil 2. 2 Dünyanın güneşe olan uzaklığı[14]

Atmosfer yüzeyine gelen güneş ışınımının yaklaşık %30'u atmosfer tarafından geri yansıtılır. Güneş ışınımının %20'si atmosfer ve bulutlarda soğurulur ve geriye kalan %50'si atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır[15].



Şekil 2. 3 Güneşten gelen ışı nım dağılımı[15]

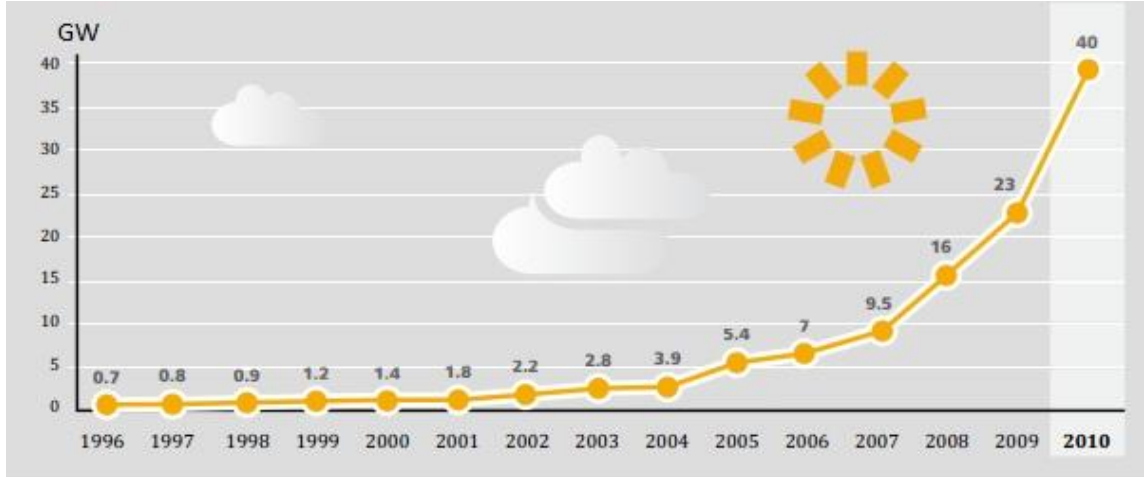
2.1 Dünyanın Güneş Enerji Potansiyeli

Fosil yakıtların giderek azalması, petrol fiyatlarındaki artış, küresel ısınma vb. etkenler tüm dünyada güneş enerjisi kullanımı son yıllarda giderek arttırmaktadır. Dünyada güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu yer ekvatorun 35° Kuzey ve Güney enlemleri arasında kalan bölgede yer almaktadır. Bu bölge “Dünya Güneş Kuşağı” olarak bilinmektedir[11]. Bu bölge yılda ortalama 2000-3500 saat arasında değişen güneşlenme süresine ve 3500-7000 Wh/m²/gün arasında değişen güneş potansiyeline sahiptir. Dünya’nın çeşitli bölgelerinde yatay yüzeye gelen yıllık güneş enerjisi miktarları Çizelge 2. 1’de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Dünya'nın çeşitli bölgelerindeki yıllık ortalama güneş enerjisi miktarı[11]

Bölge	kWh/m ²
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator (Çöl Bölgeleri)	2200

Dünyada PV kurulu gücü Şekil 2. 4'te görüldüğü üzere 2009 yılına kadar 23 GW iken bu değer 2010 yılında 40 GW'a ulaşmıştır. Bu güneş enerjisi kurulu gücünün yaklaşık %44'ü (17,3 GW) Almanya'da yer almaktadır. Almanya'yı 3,8 GW'la İspanya, 3,6 GW'la Japonya ve 3,5 GW'la İtalya takip etmektedir[16].



Şekil 2. 4 Dünyada güneş enerjisi kurulu gücünün yıllara bağlı değişimi[16]

Güneş enerjisinin ısıtma, soğutma vb. birçok alanda kullanımı giderek artmaktadır. 30 yıl içerisinde dünya enerji ihtiyacının %26'sı PV sistemlerden elde edileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca 2020'li yıllarda güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarıyla rekabet edebilecek konuma gelmesi düşünülmektedir[17].

2.2 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

36°-42° Kuzey enlemleri arasında yer alan ülkemiz güneş potansiyeli açısından birçok ülkeden daha iyi bir konuma sahiptir. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından 1966-

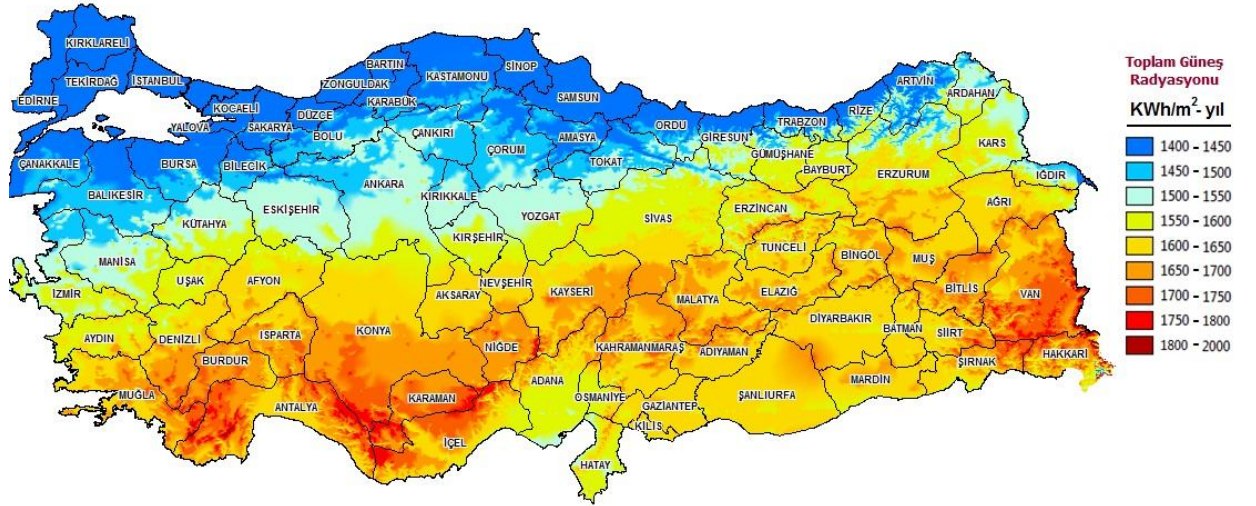
1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süreleri ve ısıtım verilerinden faydalanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre ülkemizin günlük güneşlenme süresi 7,2 saat iken yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saattir. Günlük toplam ısıtım şiddeti 3,6 kWh/m² iken yıllık ortalama ısıtım şiddeti 1311 kWh/m² olduğu belirlenmiştir[15].

Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 2. 2'de ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 2. 5'de verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı[15]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/ Yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ancak bu çalışma sonucunda elde edilen değerlerin Türkiye'nin gerçek güneş enerjisi potansiyelinin altında olduğu tespit edilmiştir. 1992 yılından bu yana daha sağlıklı ölçümler yapılmakta ve bu ölçümler neticesinde ülkemizin gerçek güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerinden %20-25 daha fazla olacağı beklenmektedir[15].



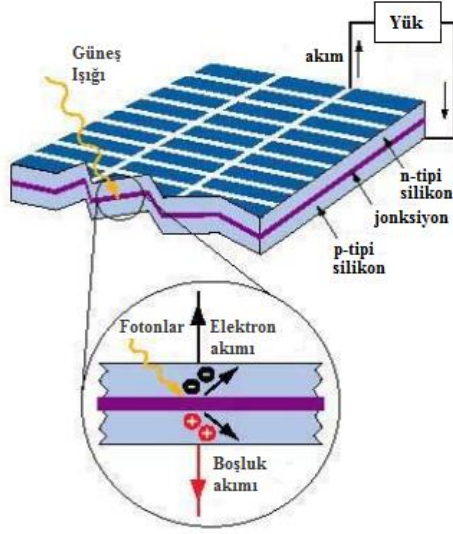
Şekil 2. 5 Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası[15]

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ SİSTEMLERİ

Fotovoltaik (PV) sistem, güneş ışığını hiçbir yardımcı ekipmana ihtiyaç duymadan fotovoltaik etki sayesinde elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Fotovoltaik etki, bir cisim veya bir madde üzerindeki farklı iki yapının ortak temas bölgesine bir ışık kaynağından ışık düşürülerek serbest kalan elektronların oluşturduğu elektriksel potansiyeldir.

3.1 Fotovoltaik Hücrenin Genel Yapısı

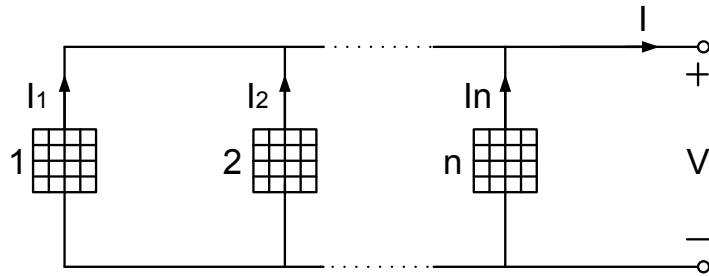
Fotovoltaik hücreler silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür vb. yarı iletken malzemelerden yapılmış yüzeylerine gelen güneş ışığını kullanarak elektrik enerjisi üreten yapılardır. Silisyum, fotovoltaik hücrelerde en çok kullanılan yarı iletken malzemedir[18]. Fotovoltaik hücreler diyot yapısında olduğu gibi p ve n tipi malzemelerden oluşan tabakalı bir yapıya sahiptir. Bu tabakalar arasında kalan bölge (jonksiyon) tarafından güneş ışınları emilerek foton enerjisi yarı iletken malzemenin atomundaki elektronlara aktarılarak elektronların serbest kalması sağlanır. Tabakalar arasına iletken yardımıyla yük bağlanarak doğru akım elde edilmiş olur. Şekil 3. 1’de PV hücre yapısı verilmiştir. PV hücreler dikdörtgen ve dairesel yapılarda üretilmektedir.



Şekil 3. 1 PV hücre yapısı

Bir fotovoltaiik hücrenin verebileceği gerilim ortalama 0,5-0,6 V, genelde akım 2-2,5 A ve çıkış gücü de yaklaşık 1 W kadardır.

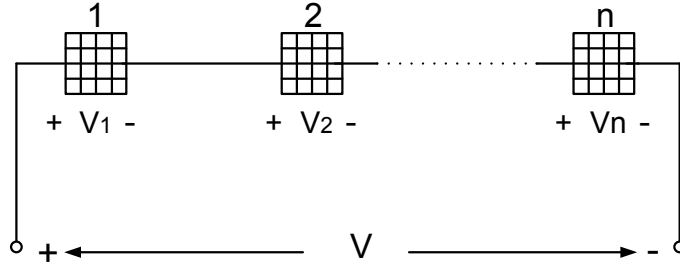
PV çıkış gücünü artırmak için PV hücrelerin seri/paralel olarak birbirine bağlanmasıyla PV modüller elde edilir. Fotovoltaiik hücrelerin paralel bağlanması ile PV modülün üretebileceği akım artar.



Şekil 3. 2 PV hücrelerin paralel bağlanması

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3.1)$$

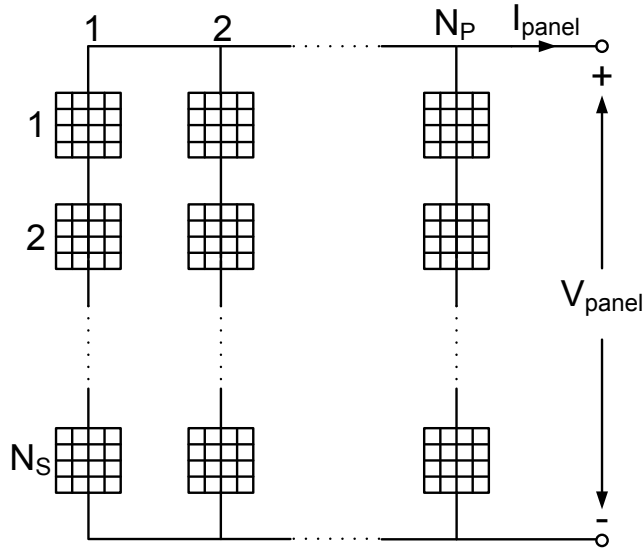
PV hücreler seri bağlanarak PV modülün gerilimi artar.



Şekil 3. 3 PV hücrelerin seri bağlanması

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (3.2)$$

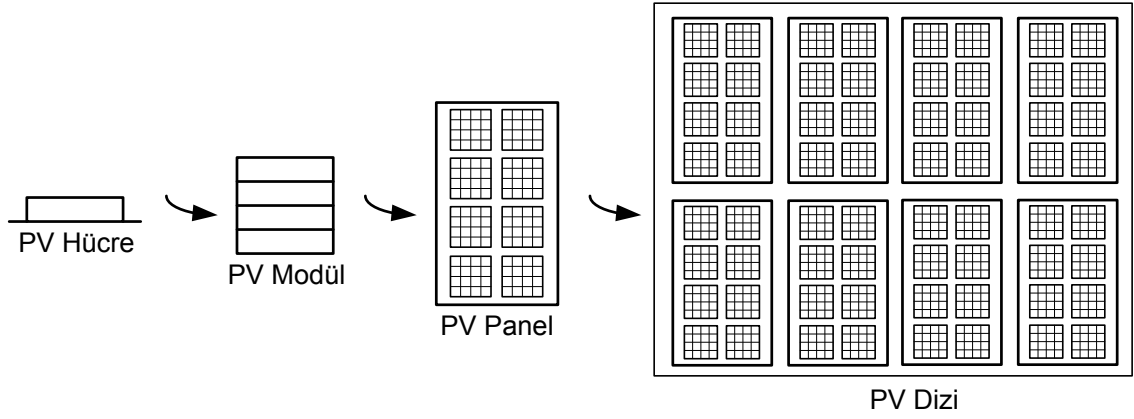
Yüksek güç elde etmek için PV modüller de seri/paralel bağlanarak bağlanarak fotovoltaik paneller elde edilir. Şekil 3. 4'te N_p tane koldan ve her kolun da N_s tane modülden oluştuğu PV panelin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3. 4 N_p tane koldan ve her kolun da N_s tane modülden oluştuğu PV panel

Bir kaç PV panelin bir araya gelmesiyle de fotovoltaik diziler meydana gelir. PV paneller üzerlerindeki hücreleri ve elektriksel bağlantıları dış etkenlere karşı korumak ve bu PV modüllerin uzun ömürlü olabilmesini sağlamak için kapsüllenir ve etrafları metal bir çerçeveye kaplanarak kullanılır.

Fotovoltaik hücrelerden fotovoltaik dizilere kadar olan PV yapılar Şekil 3. 5'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 5 Fotovoltaik yapılar

3.2 PV Teknolojileri ve Kullanılan Malzemeler

PV verimlerini etkileyen en önemli unsurlardan biri yapılarında kullanılan malzemelerdir. Günümüzde fotovoltaik yapılarda en çok kullanılan yarı iletken malzeme silisyumdur. Ancak ilerleyen teknoloji ve yapılan araştırmalar silisyuma alternatif farklı teknolojilerin ve malzemelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu teknolojilerin başında kristal silikon teknolojisi ve ince film teknolojisi gelmektedir.

3.2.1 Kristal Silikon Teknolojisi

Kristal silikon güneş pillerinin günümüzde en çok kullanılan yarı iletken malzeme olmasının sebebi, kuartz kumdan (SiO_2) yüksek sıcaklıkta belirli kimyasal reaksiyonlar neticesinde kristal silikon malzemenin elde edilebilir olmasıdır[18].

3.2.1.1 Mono-Kristal Silikon Güneş Pilleri

Tek kristal tabakalardan üretilen güneş pilleri laboratuvar şartlarında her ne kadar %24 verime sahip olsalarda, ticari olarak üretilen PV panellerde ise yaklaşık %15 verim elde edilmiştir[19].

3.2.1.2 Poli-Kristal Silikon Güneş Pilleri

Poli kristal silikon güneş pillerinin üretim teknikleri ve üretim maliyetleri mono kristal silikon güneş pillerine göre daha düşüktür. Ancak malzeme kalitesi mono kristal yapıya

göre kötüdür. Elektriksel özellikleri mono kristal hücrelerle aynıdır. Ticari ürünlerde poli kristal silikon hücrelerin verimi %14-19 arasında değişmektedir[20].

3.2.2 İnce Film (Thin Film) Teknolojisi

İnce film güneş hücreleri, yarı iletken malzemenin katı bir yüzeye uygulanmış tabakalarından oluşur. İnce film hücreler silikon tabakası yönüyle karşılaştırıldığında her bir hücre için gerekli olan yarı iletken malzeme miktarı diğer teknolojilere göre önemli ölçüde azdır. Dolayısıyla PV hücrelerin üretim maliyetleri de kristal silikon yapılarla karşılaştırıldığında önemli oranda azdır. İnce film teknolojisinde kullanılan belli başlı yarı iletken malzemeler: Amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum diselenid (CuInSe₂)'dir.

3.2.2.1 Amorf Silikon(a-Si) Güneş Pilleri

Amorf silikon ilk geliştirilen ince film teknolojilerinden biridir[21]. Bu malzemeler kristal bir yapı göstermezler. Silisyum atomları malzeme içerisinde gelişi güzel dağınık bir şekilde yerleşmişlerdir. Dayanaklı PV hücrelerde %13 verim elde edilmişken, modül verimleri %6-8 arasında değişmektedir[22].

3.2.2.2 Kadmiyum Tellür(CdTe) Güneş Pilleri

Kadmiyum elementi ile tellür elementinin birleşmesiyle oluşmuş bir yarı iletken malzemedir. Üretimi kolay bir malzemedir. Deneysel çalışmalarda hücre verimi yaklaşık %16 olsa da ticari ürünlerde bu verim %10 seviyelerindedir. Kadmiyum Tellür'ün ağır metal ve kansorejen bir element oluşu kullanımında engeller oluşturmaktadır[23].

3.2.2.3 Bakır İndiyum Diselenid(CuInSe₂) Güneş Pilleri

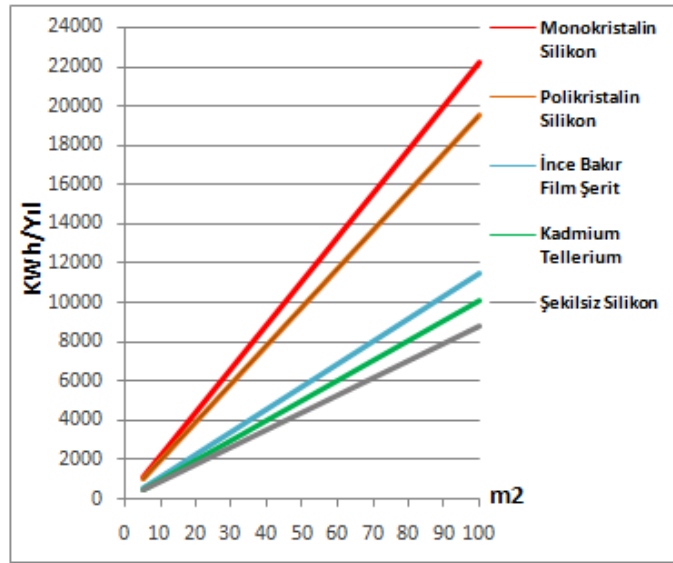
Bakır indiyum elementine galyum elementi eklenerek elde edilen yarı iletken malzeme ince film teknolojisine sahip güneş pilleri arasında en yüksek verime sahip yapıdır. Hücre verimleri yaklaşık %20 iken, modül verimleri %13 seviyelerindedir[21].

Çizelge 3. 1'de yukarıda bahsedilen tüm güneş pillerine ait hücre verimleri verilmiştir.

Çizelge 3. 1 Farklı güneş modüllerine ait hücre verimleri

Teknoloji	Kristal Silikon		İnce Film		
	Mono	Poli	Amorf Silisyum(a-Si)	Kadmiyum Tellür(CdTe)	Bakır İndiyum Diselenid(CuInSe ₂)
Hücre Verimi	%15-24	%14-19	%6-13	%10-16	%13-20

Şekil 3. 6'da farklı güneş pillerinin farklı boyutlarda olması durumunda üretebilecekleri enerji miktarı verilmiştir.



Şekil 3. 6 Farklı güneş panellerinin üretebilecekleri enerji miktarları[15]

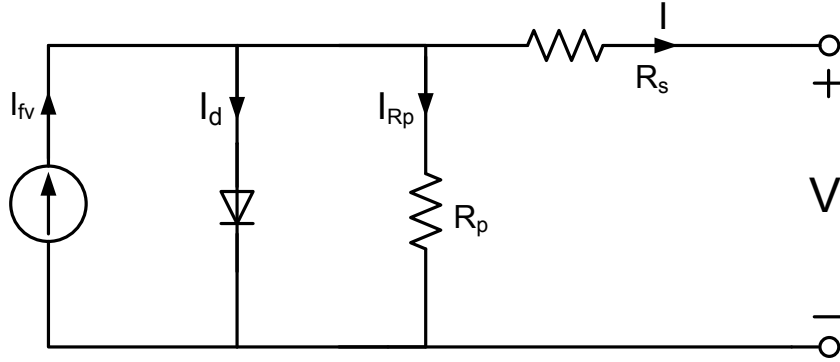
3.3 PV'nin Elektriksel Modelleri

Fotovoltaik hücrelerin davranışlarını belirlemek ve karakteristiklerini incelemek için elektriksel özellikleri bilinen devre elemanları ile modellenmesi gerekmektedir. Literatürde en çok kullanılan elektriksel modeller tek diyotlu model ve iki diyotlu modeldir.

3.3.1 PV Tek Diyot Modeli

Tek diyot modeli PV'ler için kullanılan en basit elektriksel devre modelidir. Şekil 3. 7'de PV tek diyot eşdeğer modeli verilmiştir. Burada, ışıma bağlı olarak fotonlar tarafından üretilen elektrik akımı bir akım kaynağı (I_{fv}) ile PV hücresi de yarı iletken yapıda olan

bir diyot ile modellenmiştir. R_s , yarı iletken iç direnci ve bağlantı noktalarındaki direnci temsil eden seri direnç, R_p ise kaçak akımları temsil eden paralel dirençtir[18].



Şekil 3. 7 PV tek diyot eşdeğer devresi

Bu devrede Kirchhoff'un akımlar yasası uygulanırsa,

$$I_{fv} - I_d - I_{Rp} - I = 0 \quad (3.3)$$

$$I_d = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{k \cdot T}} - 1 \right) \quad (3.4)$$

$$I_{Rp} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (3.5)$$

$$I = I_{fv} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (3.6)$$

Burada,

V PV gerilimi(V)

I PV akımı(A)

I_d diyot akımı(A)

I_{Rp} paralel dirençten akan akım(A)

I_0 diyot doyma akımı(A)

k Boltzmann gaz sabiti($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)

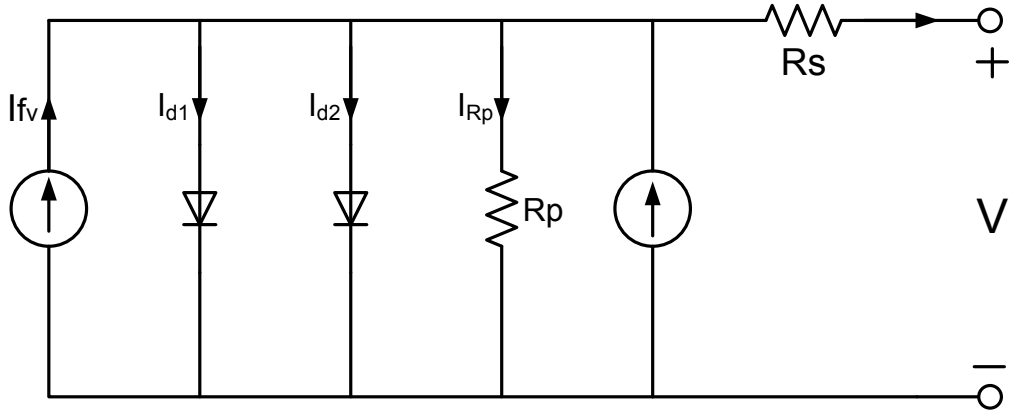
q elektron yükü($1,602 \times 10^{-19}$ J/V)

T hücre sıcaklığı(K)'dır.

Denklem (3.6) matematiksel olarak çözümlenerek çıkış akımını ve gerilimini bulmak oldukça zordur. Bu nedenle Newton-Raphson Yöntemi gibi farklı iterasyon yöntemleri kullanılarak sonuca gidilebilir. Ayrıca çözümü kolaylaştırmak için seri ve paralel dirençlerin ihmal edildiği basitleştirilmiş eşdeğer devre de kullanılabilir[24].

3.3.2 PV Çift Diyot Modeli

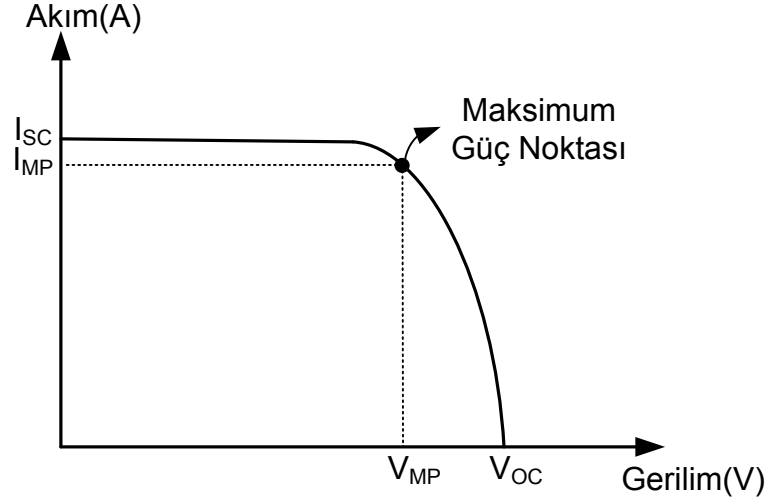
İki diyotlu eşdeğer devre, PV'nin negatif gerilimlerde arıza durumlarını gösterebilmektedir. Şekil 3. 8'de PV iki diyot eşdeğer devresi verilmiştir. Buradaki ikinci akım kaynağı güneş pilinin negatif gerilimdeki arıza durumunu modellemektedir[18].



Şekil 3. 8 PV çift diyot eşdeğer devresi

3.4 PV'nin Elektriksel Karakteristikleri

Bir PV hücrenin elektriksel özellikleri bu hücrenin I-V (akım-gerilim) karakteristiği ile temsil edilir[25]. Bir PV hücrenin akım-gerilim karakteristiği Şekil 3. 9'da verilmiştir.

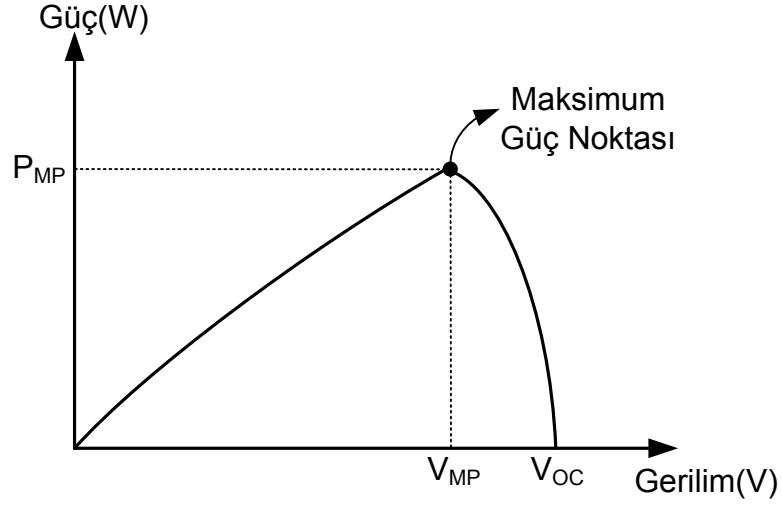


Şekil 3. 9 Fotovoltaik hücre I-V karakteristiği

Bir PV hücreye ayarlanabilir bir yük bağladığımızda ve sabit bir ışınım ve sıcaklık altında bu yük değerini minimumdan (yük uçları kısa devre yapılarak) maksimum değerine (yük uçları açık devre yapılarak) kadar değiştirirken her bir durum için fotovoltaik hücrenin akım ve gerilimi değişimi ölçülür. Her bir durum için akım değerine karşılık gerilim değeri çizildiğinde PV hücrenin I-V karakteristiği elde edilmiş olur.

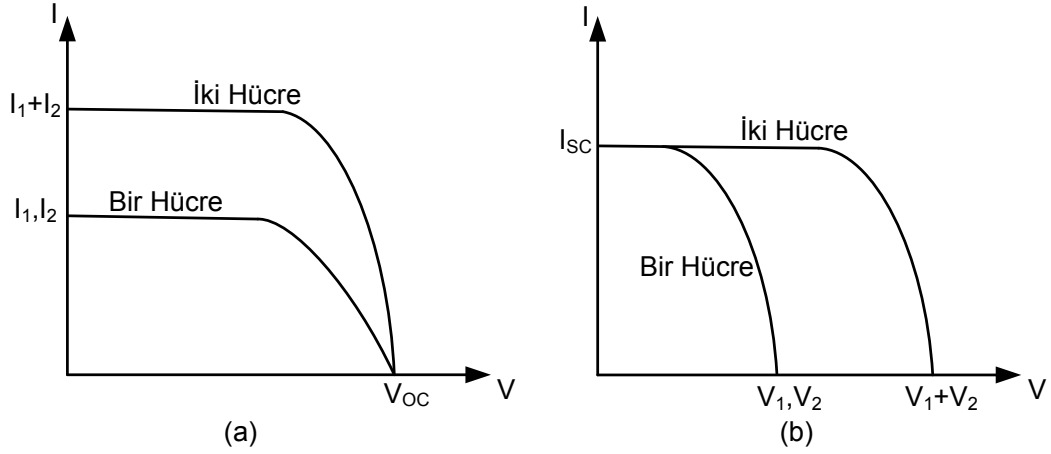
Fotovoltaik hücrenin kısa devre gerilimi sıfır olduğunda kısa devre akımı I_{SC} yaklaşık olarak fotoakıma I_{FV} 'ye eşittir. PV hücre akımı sıfır olduğunda PV hücre açık devre durumundandır. Bu durumda hücre gerilimi açık devre gerilimine V_{OC} 'ye eşittir[16]. Burada PV hücre ilk durumda sabit akım kaynağı gibi son durumda ise sabit gerilim kaynağı gibi çalışır.

PV hücreler belirli akım I_{MP} (maksimum güçteki akım) ve gerilimde V_{MP} (maksimum güçteki gerilim) maksimum güç üretirler. Bu nokta Maksimum Güç Noktası (Maximum Power Point, MPP) olarak adlandırılır. Şekil 3. 10'da bu nokta PV P-V karakteristiği üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3. 10 PV hücre güç-gerilim (P-V) karakteristiği

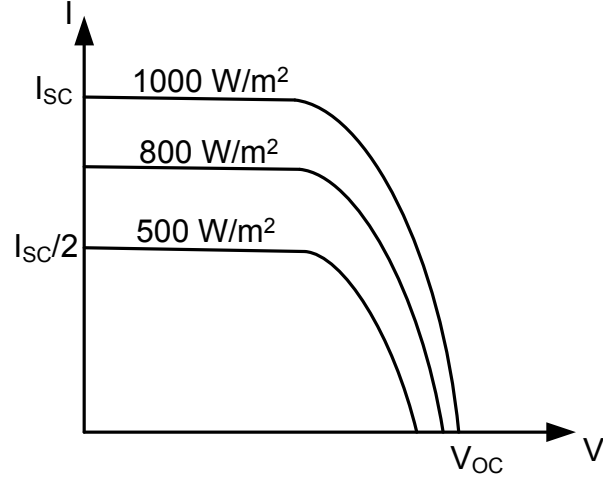
Fotovoltaik hücreler birbirlerine seri ya da paralel bağlanabilir. Şekil 3. 11’da özdeş PV hücrelerin seri ya da paralel bağlanması durumunda I-V karakteristiklerindeki değişim görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi PV hücrelerin paralel bağlanması durumunda gerilim aynı kalırken akım değeri iki katına çıkmaktadır. Aynı şekilde PV hücrelerin seri bağlanması durumunda da akım aynı değerde kalırken gerilim iki katına çıkmaktadır.



Şekil 3. 11 Özdeş PV hücrelerin seri ve paralel bağlanması durumunda I-V karakteristikleri a) paralel bağlı b) seri bağlı

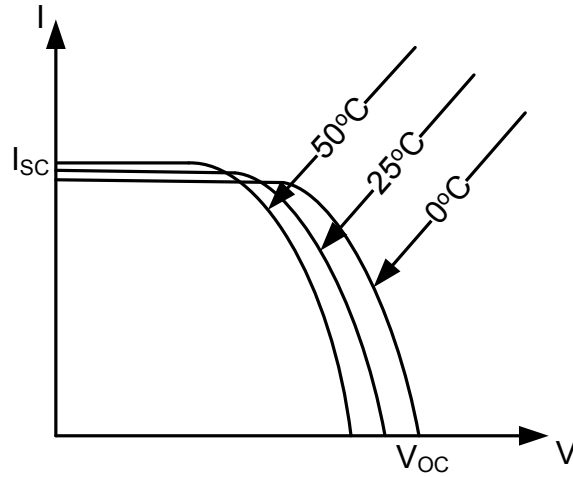
PV hücrenin çıkış gücünü etkileyen en önemli faktörler ışıınım ve sıcaklıktır. Şekil 3. 12’de ışıınının fotovoltaik hücrenin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Güneş ışıınımı, güneş radyasyonu ya da güneş yoğunluğu olarak da bilinir ve birimi

W/m^2 'dir[25]. Güneş ışınımı arttıkça hücrenin kısa devre akımı lineer olarak artış göstermektedir.



Şekil 3. 12 PV hücrenin sabit sıcaklıkta I-V karakteristiğinin ışınlımla değişimi

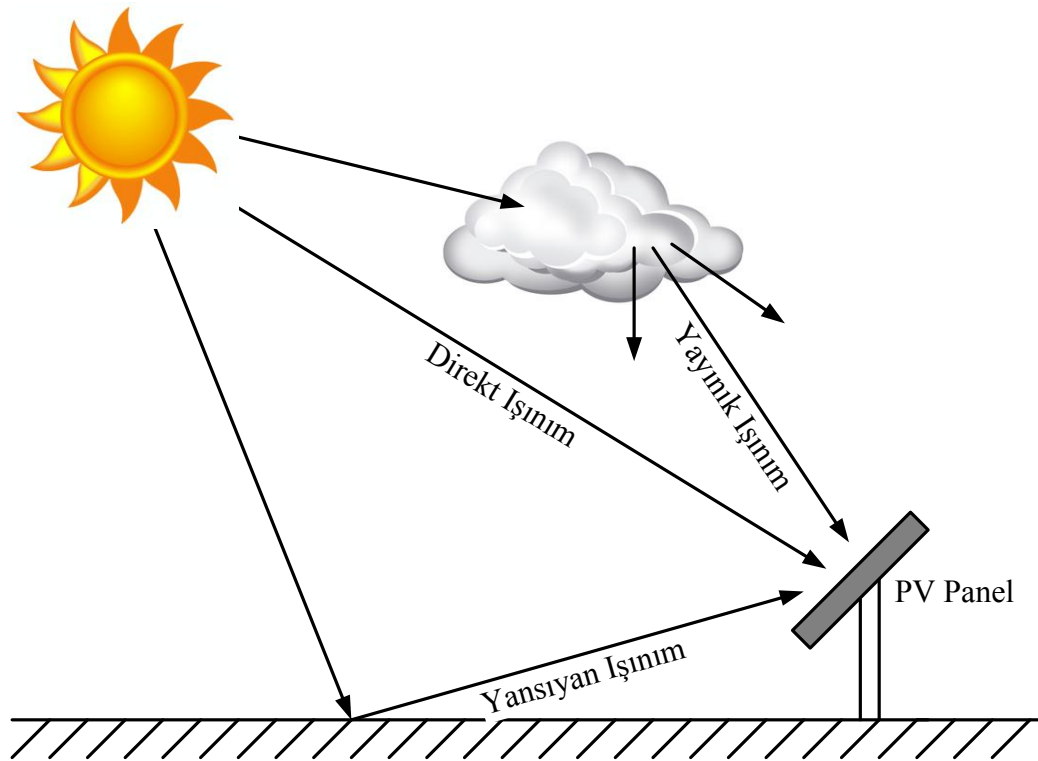
Şekil 3. 13'de hücre sıcaklığının fotovoltaiik hücrenin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Hücre sıcaklığındaki artış temel olarak açık devre geriliminin lineer olarak azalmasına, kısa devre akımının ise az da olsa artmasına neden olur. Böylece hücre sıcaklığındaki artış PV hücrenin veriminin düşmesine neden olur[26].



Şekil 3. 13 PV hücrenin sabit güneş ışınlımında I-V karakteristiğinin sıcaklıkla değişimi

3.5 Işınım Ölçerler

Yeryüzüne gelen güneş enerjisi miktarı birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi miktarının belirlenmesi için güneş ışınımı bileşenlerinin bilinmesi gerekir[27]. Yeryüzüne gelen güneş ışınımı direkt ışınım, yayınlık ışınım ve yansıyan ışınım olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Şekil 3. 14’de herhangi bir eğimli yüzeye gelen ışınımın gösterilmiştir. Bu ışınımlardan yararlanarak birçok fotovoltaik enerji çalışması yapılmaktadır.

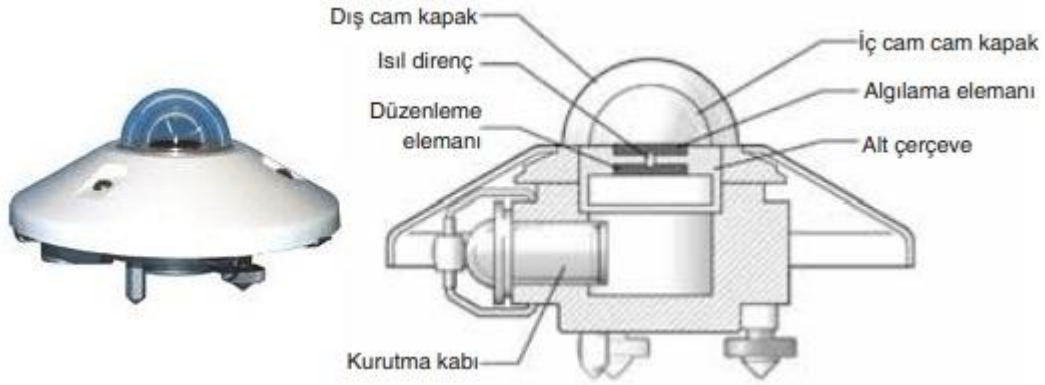


Şekil 3. 14 Herhangi bir yüzeye gelen farklı ışınımın

Direkt ışınım güneşten doğrudan yeryüzüne gelen ışıdır. Güneşli bir günde yeryüzüne gelen toplam güneş ışınımının %80’ini direkt ışınım oluşturmaktadır[28]. Güneşten gelen ışınımın gökyüzündeki bulutlardan, su buharından ve diğer gazlardan dolayı bir kısmı yutulduktan sonra yeryüzüne ulaşan ışınım yayınlık ışınıdır. Kapalı bir havada yeryüzüne gelen gelen yayınlık ışınım direkt ışınımdan daha fazladır. Yansıyan güneş ışınımı ise etraftaki binalardan, ağaçlardan, duvarlardan vb. yerlerden yansıyarak gelen ışıdır. Yansıyan ışınım ölçümden daha çok hesaplanarak bulunmaktadır[28]. Güneş ışınımı ölçümünde kullanılan cihazlar aşağıda özetlenmiştir.

3.5.1 Piranometre

Yeryüzüne gelen 0,3-3 μm spektral aralığındaki global güneş ışınımını ölçmek için kullanılır. Piranometreler ısılpil, gövde ve iç ve dış cam kapaktan oluşurlar. Şekil 3. 15’de bir piranometre ve yapısı verilmiştir.



Şekil 3. 15 Piranometre ve içyapısı[29]

Siyaha boyanmış ısılpil 300-50000 nm arasındaki tüm ışınimleri soğurabilir ancak üzerindeki cam kapak 300-3000 nm arasındaki ışınımın geçmesine izin verir. Piranometrelerle ışınım ölçümü termal rezistans, termoelektrik ve fotoelektrik olmak üzere üç farklı yolla yapılmaktadır[29]. Termal rezistanslı yapılarda sıcaklıkla değişen direnç değerine göre güneş ışınımı ölçülür. Termoelektrikli yapılarda ısılpil üzerine düşen ışınım ısılpilin sıcaklığını artırır ve buna bağlı olarak sıcaklıkla doğru orantılı olarak bir gerilim üretirler. Bu gerilime bağlı olarak güneş ışınımı hesaplanabilmektedir. Fotoelektrikli yapılarda ise güneş ışınımına bağlı olarak fotoelektrik malzeme yardımıyla üretilen gerilimle güneş ışınımı ölçülmüş olur.

3.5.2 Gölgelemiş Piranometre

Gölgelemiş piranometreler normal bir piranometreyle aynı yapıda olup sadece yayınık ışınımı ölçmek için kullanılan ölçü cihazlarıdır. Normal bir piranometrenin önüne bir halka veya top konularak güneşten gelecek direkt ışınımın piranometre tarafından algılanması önlenmiş olur. Şekil 3. 16’da gölgelemiş bir piranometre örneği verilmiştir.



Şekil 3. 16 Gölgelemiş piranometre

3.5.3 Pirheliometre

Güneş takip sistemi yardımıyla 0,2-4 μm spektral aralığındaki direkt güneş ışınımını ölçmek için kullanılır. Güneş takip sistemi yardımıyla sürekli güneşi izleyerek üzerindeki sensöre sadece güneşten dik doğrultuda gelen ışınların düşmesi sağlanır. İçerisindeki ısılpil yardımıyla sıcaklık değişimine göre üretilen gerilime bağlı olarak güneş radyasyonu ölçülür. Şekil 3. 17’de güneş takip sistemine monte edilmiş pirheliometre görülmektedir.



Şekil 3. 17 Güneş takip sistemine monte edilmiş pirheliometre

3.5.4 Albedometre

Global ışınlımla yansıyan ışınlımı birlikte    meye yarayan cihazdır. Yapı olarak piranometre ile tamamen aynı yapıya sahiptirler. Albedometreler mevcut bir piranometrenin alt kısmına yansıyan ışınlımı    mek için ters olarak ikinci bir piranometrenin yerleştirilmesi ile meydana gelmişlerdir. Şekil 3. 18’de örnek bir albedometre gösterilmiştir.



Şekil 3. 18 Albedometre

BÖLÜM 4

UYGULAMA ÇALIŞMASI

Uygulama çalışması, 41,028 kuzey enleminde bulunan Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Davutpaşa Kampüsü içerisindeki Elektrik Elektronik Fakültesi binasının çatı katında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4. 1’de uygulama çalışmasının yapıldığı Elektrik Elektronik Fakültesi binasının uydu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. 1 YTÜ Elektrik Elektronik Fakültesinin uydu görüntüsü

Bu çalışmada ilk olarak yatay yüzeye gelen global ışınlam istenilen açıdaki eğimli bir yüzeye gelen global ışınlamaya dönüştürülmüştür[30]. Hesaplanan bu eğimli yüzeydeki global ışınlam değerleri ölçülen gerçek verilerle karşılaştırılarak [30]’deki çalışmanın doğruluğu ispatlanmıştır. Daha sonra Matlab/Simulink ortamında PV modeli oluşturulmuştur. PV modelin giriş değişkenleri eğimli yüzeydeki ışınlam, sıcaklık ve rüzgar iken, çıkış değişkenleri ise akım ve gerilim parametreleridir. Çatı katına kurulan platform yardımıyla gerçek ortam şartlarında üç farklı PV teknolojisine (mono kristal

silikon, poli kristal silikon ve ince film) ait akım ve gerilim değerleri ölçölmüştür. Gerçek ortam şartları ile PV modelin çıkış parametreleri karşılaştırılarak PV modelin doğruluğu ispatlanmıştır.

İstanbul için bir yıllık yatay yüzeye gelen global ışınım kullanılarak sıcaklık ve rüzgar verileriyle birlikte modele uygulanmış ve İstanbul için yıllık, mevsimsel ve aylık optimum eğim açıları her bir PV teknolojisi için belirlenmiştir.

4.1 Ölçüm Platformunun Oluşturulması

Yapılan çalışmada, hesaplamaların ve oluşturulan PV modelin doğruluğunu göstermek için elde edilen değerler gerçek ortam şartlarıyla karşılaştırılmıştır. Üç farklı teknolojiye ait PV panellerin gerçek ortam şartlarında akım ve gerilim değerlerini ölçmek için paneller Şekil 4. 2’de gösterildiği şekilde bir araya getirilmiş ve platform üzerine belli bir açıda konumlandırılmıştır.



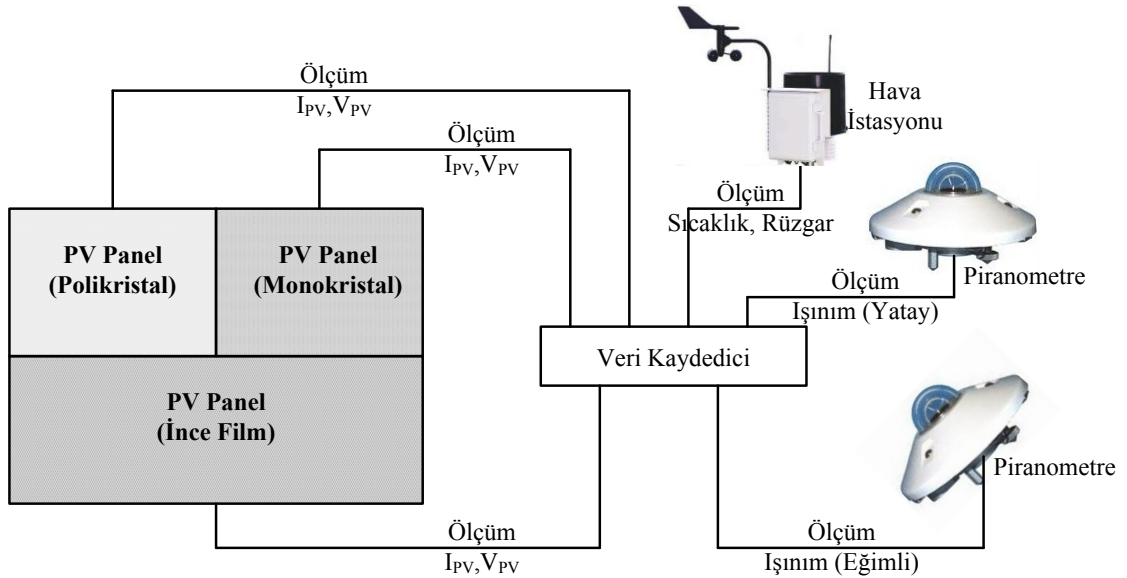
Şekil 4. 2 Farklı teknolojilere ait PV panellerin belli bir açıda konumlandırıldığı plarform

Yatay ve eğimli yüzeye gelen global ışınımı ölçmek için iki ayrı piranometre kullanılmıştır. Ölçüm düzeneği Şekil 4. 3'te verilmiştir.



Şekil 4. 3 Yatay ve eğimli yüzeye gelen global ışınımı ölçme düzeneği

Işınım, rüzgâr ve üç farklı PV'nin akım ve gerilim değerlerinin ölçümüne ilişkin şematik gösterim Şekil 4. 4'te verilmiştir.



Şekil 4. 4 Işınım, rüzgar, akım ve gerilim ölçü düzeneği

Oluşturulan PV modelin giriş parametreleri olan sıcaklık ve rüzgar verilerinin ölçümü için Şekil 4. 5'teki hava ölçüm istasyonu kullanılmıştır.



Şekil 4. 5 Hava ölçüm istasyonu

4.2 Eğimli Yüzeye Gelen Global Işınımın Bulunması

Yeryüzüne gelen ışınım yeryüzünün güneşle olan mesafesine, ilgili yerin enlem ve boylamına, güneş açlarına, su buharı ve toz partikülleri gibi birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yatay yüzeye gelen ışınımı eğimli yüzeye çevirecek matematiksel ifadede bütün bu etkenler dikkate alınmalıdır.

Yatay yüzeye gelen ışınımın eğimli yüzeye dönüştürülebilmesi için öncelikli olarak yatay yüzeye gelen ışınımın direkt ve yayınık ışınım olmak üzere bileşenlerine ayrılması gerekir[31]. Ek A'da yatay yüzeye gelen toplam ışınımın bileşenlerine ayrılmasına ilişkin matlab kodları verilmiştir[30]. Direkt ve yayınık ışınımaya ayrıştırılan global ışınım denklem (4.1) ve (4.2) yardımıyla eğimli yüzeye gelen toplam ışınımaya dönüştürülmüş olur[31].

$$R_B = \frac{\cos(e - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) + \sin(e - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(e) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) + \sin(e) \cdot \sin(\delta)} \quad (4.1)$$

$$I_T = I_D \cdot R_B + I_Y \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + I_G \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (4.2)$$

R_B direkt ışınım eğim faktörü

β panel eğim açısı

δ deklinasyon açısı

h saat açısı

I_G yatay yüzeye gelen toplam ışıınım

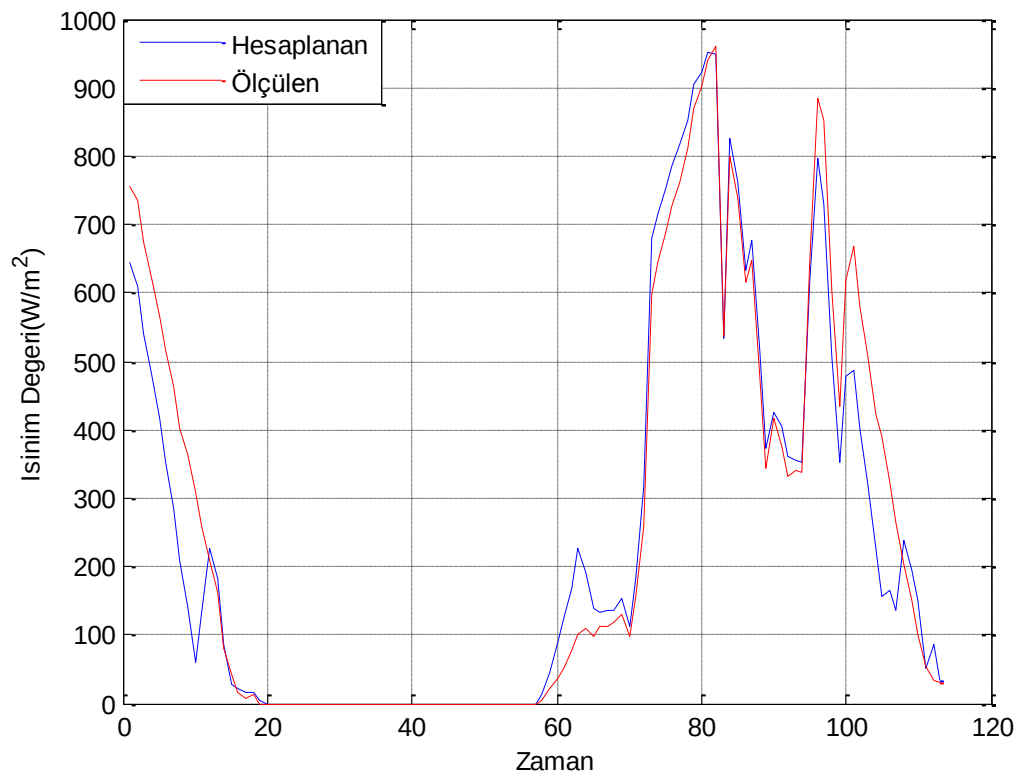
I_T eğimli yüzeye gelen toplam ışıınım

I_D yatay yüzeye gelen direkt ışıınım

I_Y yatay yüzeye gelen yayıınık ışıınım

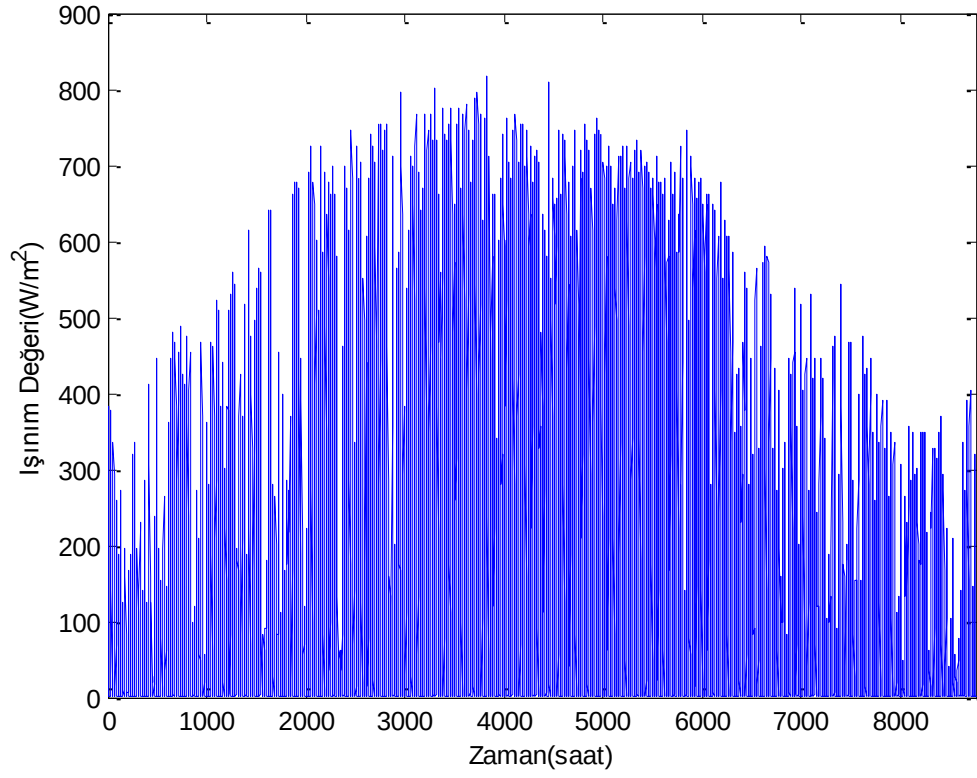
ρ yüzey yansııtma katsayısı

Kullanılan matematiksel ifadelerle hesaplanan eğimli yüzeydeki ışıınım değeri Şekil 4. 3'teki piranometreler yardımıyla gerçek ortam şartlarında ölçülen ışıınım değeriyle karşılaştırmış ve bu karşılaştıırma sonucu Şekil 4. 6'da verilmiştir.



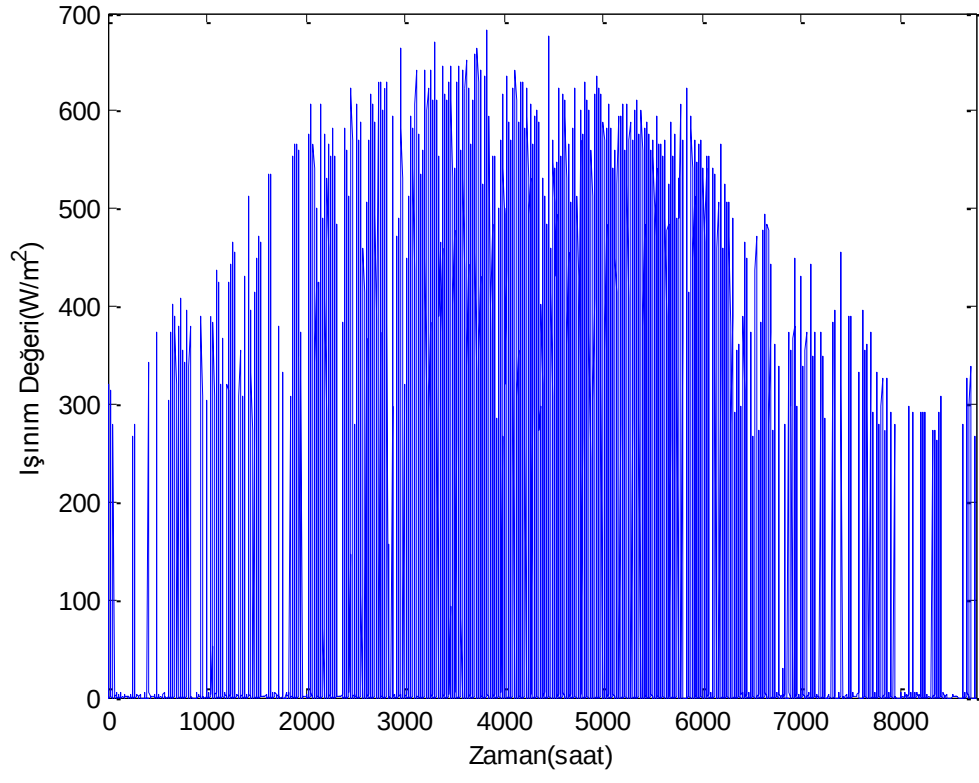
Şekil 4. 6 Eğimli yüzeye gelen ışıınımın gerçek ortam şartlarında ölçülen değeriyle karşılaştıırılması

İstanbul'da yatay yüzeye gelen yıllık global ışıınım değışıimi Şekil 4. 7'de verilmiştir.

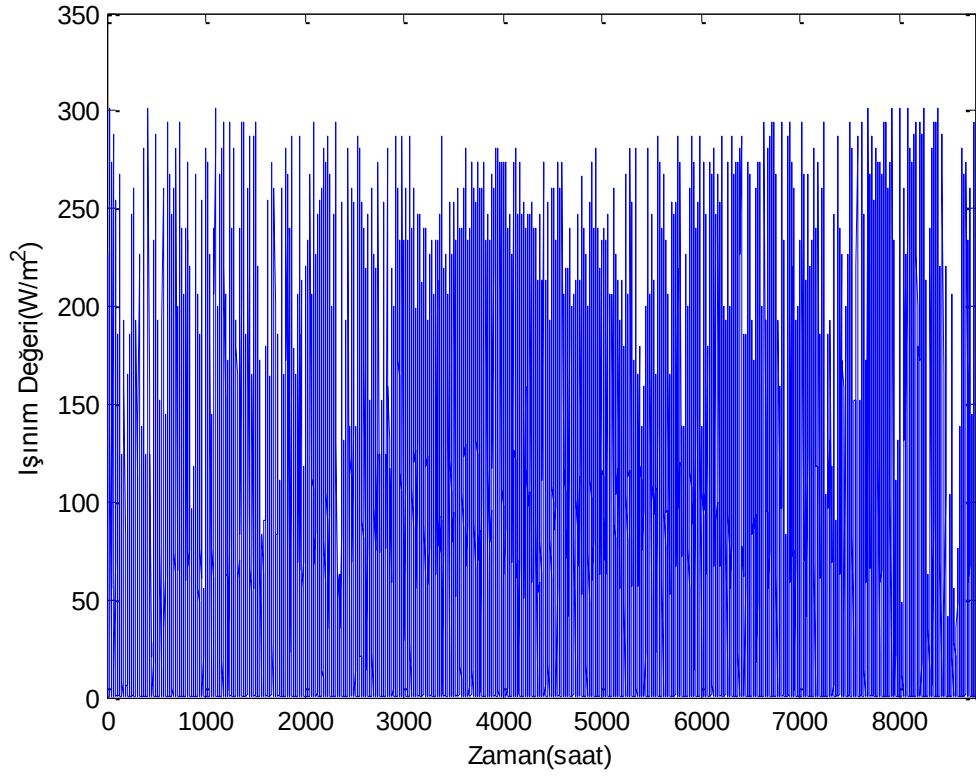


Şekil 4. 7 İstanbul’da yatay yüzeye gelen global ışınım

İstanbul’da yatay yüzeye gelen global ışınım Ek A’da[30] verilen Matlab kodları yardımıyla direkt ve yayınık bileşenlerine ayrılmıştır. Şekil 4. 8 ve Şekil 4. 9’da sırasıyla direkt ve yayınık ışıınımlar verilmiştir.



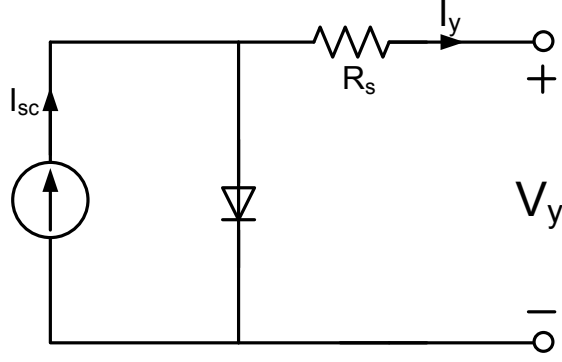
Şekil 4. 8 İstanbul'da yatay yüzeye gelen direkt ışınım



Şekil 4. 9 İstanbul’da yatay yüzeye gelen yayınlık ışınım

4.3 Fotovoltaik Model

PV modelin oluşturulmasında [32]’de yapılan çalışma dikkate alınmıştır. Modelde Şekil 4.10’da verilen basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli dikkate alınarak PV akımı gerilimin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Sadece üretici firma katalog değerleri kullanılarak modelleme yapılmıştır. Oluşturulan modelde giriş parametreleri ışınım, sıcaklık ve rüzgar hızı, çıkış parametreleri ise PV akımı, gerilimi ve gücüdür.



Şekil 4. 10 Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli

$$I_y = I_{sc} \cdot \left[1 - K_1 \cdot \left(e^{\left(\frac{V_y}{K_2 \cdot V_{oc}} \right)} - 1 \right) \right] \quad (4.3)$$

$$K_1 = \left(1 - \frac{I_{MP}}{I_{sc}} \right) \cdot e^{\left(\frac{-V_{MP}}{K_2 \cdot V_{oc}} \right)} \quad (4.4)$$

$$K_2 = \frac{\left(\frac{V_{MP}}{V_{oc}} - 1 \right)}{\ln \left(1 - \frac{I_{MP}}{I_{sc}} \right)} \quad (4.5)$$

Burada K_1 ve K_2 katsayıları aşağıdaki panel parametrelerine göre değişmektedir.

I_{sc} kısa devre akımı

I_{MP} maksimum güç noktasındaki akım

V_{oc} açık devre gerilimi

V_{MP} maksimum güç noktasındaki gerilim

Bu parametrelerin ışınlama ve/veya sıcaklığa bağlı değişimleri aşağıda verilmiştir.

$$I_{sc}(G, T_c) = I_{scs} \cdot \frac{G}{G_s} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_c - T_s)] \quad (4.6)$$

$$I_{MP}(G, T_c) = I_{MPS} \cdot \frac{G}{G_s} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_c - T_s)] \quad (4.7)$$

$$V_{oc}(T_c) = V_{ocs} + \beta \cdot (T_c - T_s) \quad (4.8)$$

$$V_{MP}(T_c) = V_{MPS} + \beta \cdot (T_c - T_s) \quad (4.9)$$

I_{SCS} , I_{MPS} , V_{OCS} ve V_{MPS} parametreleri standart test şartlarında tanımlanan ve üretici firma katoloğunda verilen değerlerdir. G ve T_C sırasıyla ışıınım ve hücre sıcaklığını ifade etmektedir. Standart test şartlarında $G_s = 1000 \text{ W/m}^2$ ve $T_s = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. α ve β ise sırasıyla akım sıcaklık katsayısı ve gerilim sıcaklık katsayısını göstermektedir.

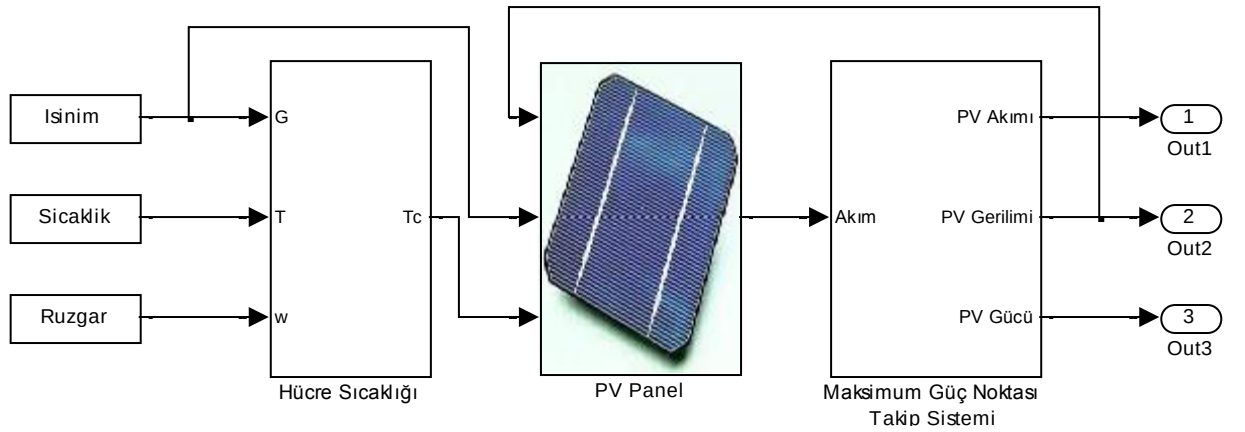
Hücre sıcaklığı dış ortam sıcaklığına eşit olmayacağından ortam sıcaklığı, ışıınım ve rüzgar değişimleri dikkate alınarak PV hücre sıcaklığına dönüştürülmüştür.

$$T_C = 1,14 \cdot (T - T_s) + 0,0175 \cdot (G - 300) - k_r \cdot w + 30 \quad (4.10)$$

T dış ortam sıcaklığı($^\circ\text{C}$)

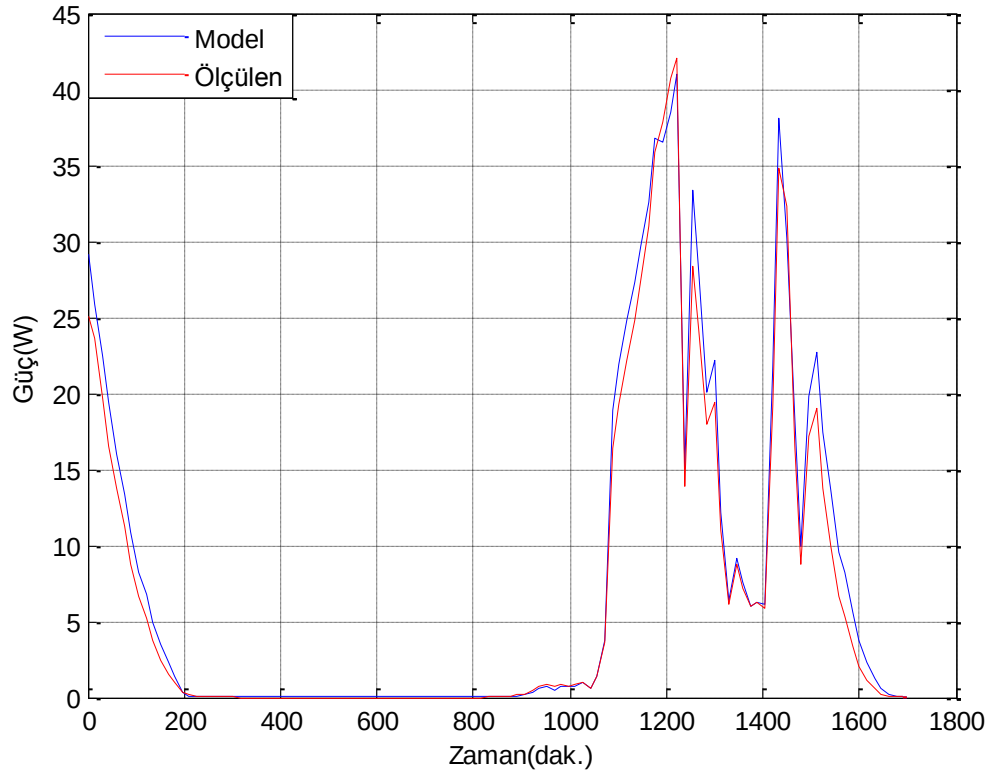
w rüzgar hızı(m/s)

k_r katsayısı her bir PV teknolojisi için değişim göstermektedir. Bu çalışmada monokristal için $k = 1,509$, polikristal için $k = 1,468$ ve ince film için $k = 1,450$ değerleri seçilmiştir[33]. PV modele ait Simulink bloğu Şekil 4. 11'de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan her bir PV panele ait katalog bilgileri Ek B'de verilmiştir.



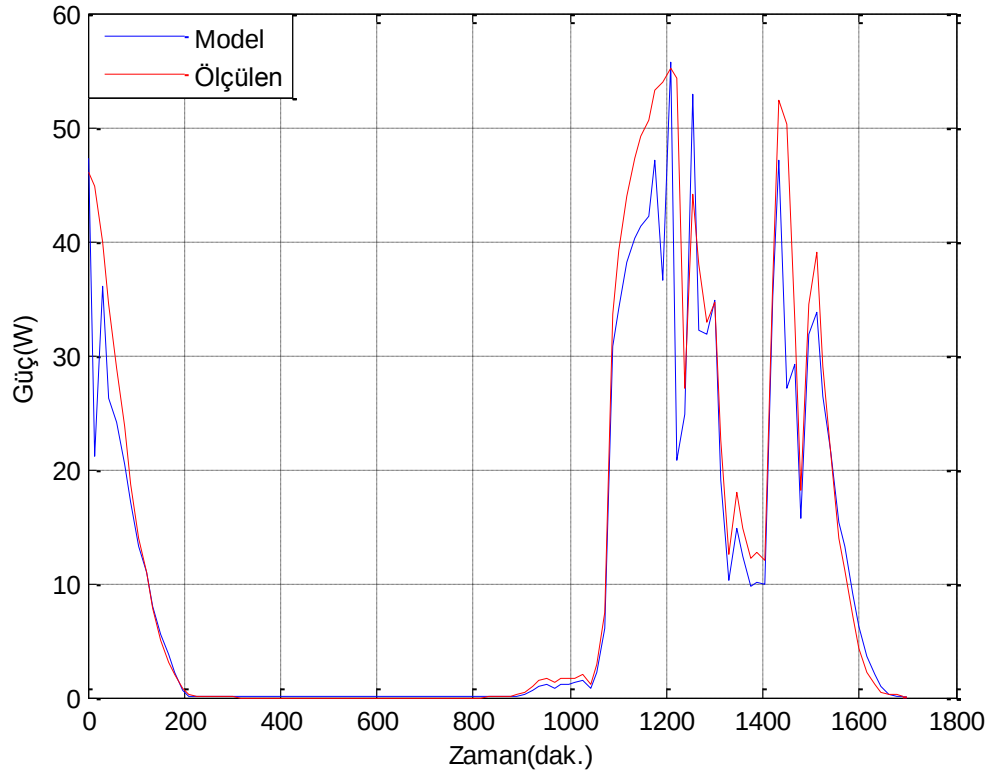
Şekil 4. 11 PV modele ait Simulink bloğu

PV panel bloğuna ait alt blok şeması Şekil 4. 12'de verilmiştir.



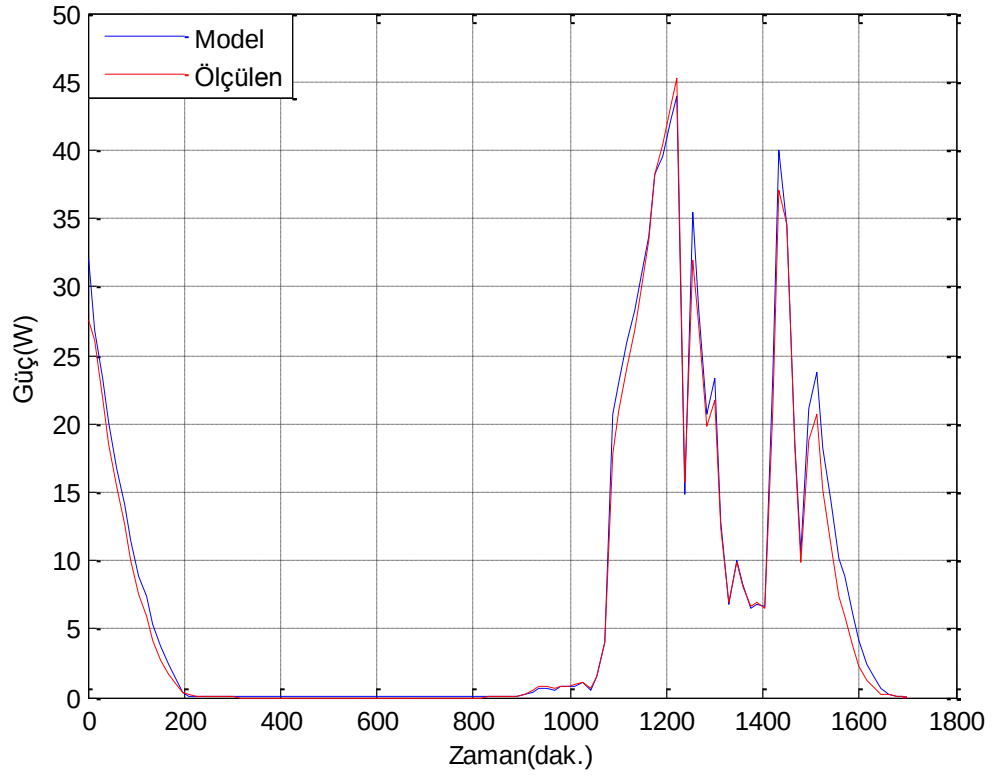
Şekil 4. 13 Monokristal silikon panele ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Polikristal silikon teknolojisine sahip panele ait güç karşılaştırması Şekil 4. 14'te verilmiştir.



Şekil 4. 14 Polikristal silikon panele panele ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

İnce film teknolojisine sahip panele ait güç karşılaştırması Şekil 4. 15'te verilmiştir.



Şekil 4. 15 İnce film teknolojisine sahip panele ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

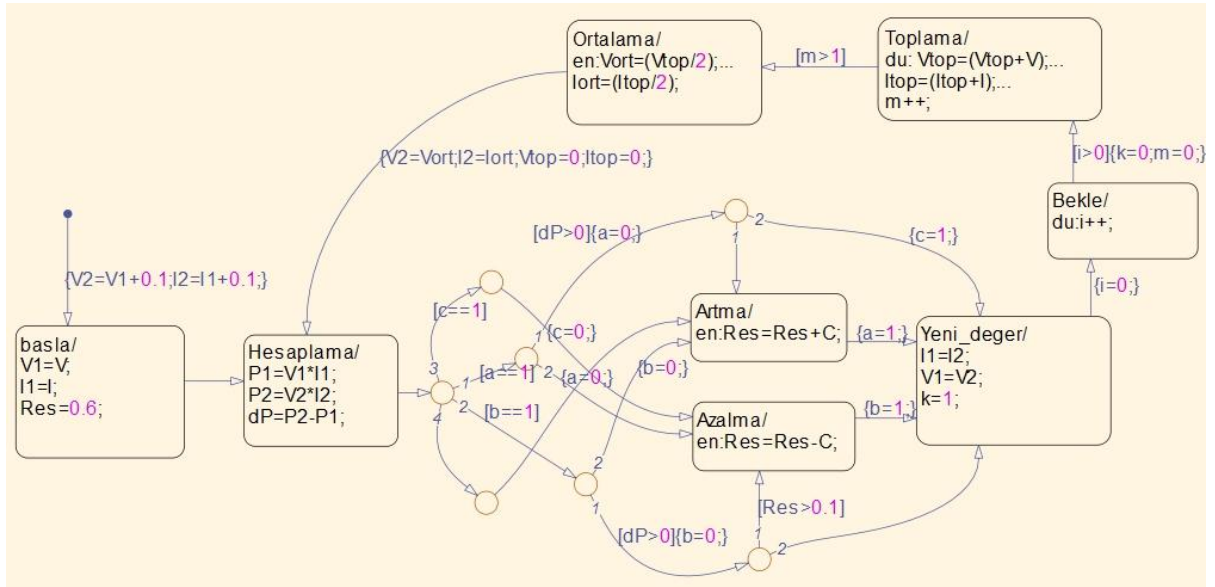
Karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında oluşturulan PV model, monokristal silikon ve ince film teknolojisine sahip PV panellerde polikristal silikon teknolojisine sahip panele göre daha başarılı bir sonuç vermiştir. Bu nedenle polikristal silikon panel için eğim açısı hesabı yapılmamıştır.

4.5 İstanbul İçin Yıllık Optimum Eğim Açısının Bulunması

İstanbul için yıllık optimum eğim açısının tespit edilmesinde kullanılan yatay yüzeye gelen ışınlam, sıcaklık ve rüzgar hızı verileri İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nden temin edilmiştir. Kullanılan bu parametreler 2006 yılına ait saatlik verilerdir.

Eğim açısının hesaplanmasında öncelikli olarak yatay yüzeye gelen yıllık global ışınlam değerleri Ek A'da[30] verilen Matlab kodları yardımıyla istenilen açıdaki yüzeye gelen global ışınlama dönüştürülmüştür. Eğimli yüzeye gelen ışınlam, sıcaklık ve rüzgar hızı verileri Matlab/Simulink ortamında oluşturulan PV modele girilerek PV modelin güç ve

enerji çıktısı bulunmuştur. PV panellerden elde edilen maksimum güç ışınlım ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Bir güneş santralinde PV paneller sürekli maksimum güç noktasında çalıştırılacağından bu etki oluşturulan modellerde değişken bir direnç yardımıyla dikkate alınmıştır. Matlab/Stateflow’da oluşturulan P&O algoritmasıyla değişken direnç kontrol edilmiştir[34]. Şekil 4. 16’da P&O algoritmasının Stateflow şeması verilmiştir.



Şekil 4. 16 P&O algoritması Stateflow şeması

PV modellerden elde edilen enerji çıktısı ilgili yerin enlem açısı dikkate alınarak farklı açılar için tekrarlanmıştır. Simülasyonlar sonucunda panelin her bir açıda yıllık üretebileceği toplam elektrik enerjisi bulunmuştur. Yapılan tüm bu işlemler farklı PV teknolojileri için tekrarlanarak her bir panelin ilgili açıda ürettiği yıllık elektrik enerjisi miktarları bulunmuştur. Yıllık elektrik enerjisi üretiminin maksimum olduğu açı ilgili PV panelin yıllık optimum eğim açısı olarak belirlenmiştir.

Monokristal silikon panelin ilgili açılarda ürettiği yıllık elektrik enerjisi Çizelge 4. 1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Monokristal silikon panelin her bir açıda ürettiği elektrik enerjisi

Eğim Açısı	Enerji(Wh)	Eğim Açısı	Enerji(Wh)	Eğim Açısı	Enerji(Wh)	Eğim Açısı	Enerji(Wh)
20	55445,63	29	56055,97	38	55366,40	47	53661,46
21	55942,14	30	55101,18	39	54592,93	48	53542,74
22	55180,59	31	55360,68	40	54849,92	49	53198,00
23	56055,09	32	55178,39	41	54584,90	50	53146,29
24	55722,33	33	55707,81	42	54985,33	51	53114,36
25	56362,13	34	55063,79	43	54468,76	52	52543,77
26	56483,94	35	56277,24	44	54695,36	53	52473,49
27	55810,82	36	55850,90	45	54502,54	54	51260,21
28	54862,00	37	55291,73	46	54529,80	55	50861,13

İnce film teknolojisine sahip panelin ilgili açılarda ürettiği yıllık elektrik enerjisi Çizelge 4. 2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 İnce film teknolojisine sahip panelin her bir açıda ürettiği elektrik enerjisi

Eğim Açısı	Enerji(Wh)	Eğim Açısı	Enerji(Wh)	Eğim Açısı	Enerji(Wh)	Eğim Açısı	Enerji(Wh)
20	60520,95	29	60963,55	38	61589,71	47	58801,96
21	62012,93	30	61706,47	39	59566,37	48	59351,20
22	63071,07	31	61309,95	40	60419,78	49	58080,45
23	62280,39	32	62041,15	41	59448,21	50	58086,63
24	62342,13	33	61860,93	42	60506,07	51	58190,51
25	62449,26	34	60578,85	43	59980,58	52	57038,34
26	62233,83	35	60566,00	44	59770,19	53	58379,78
27	62120,73	36	61999,18	45	59994,71	54	57111,89
28	62406,69	37	60406,74	46	59156,03	55	55984,87

Maksimum enerji çıktılarına bakıldığında monokristal silikon panelin yıllık optimum eğim açısı 26° olurken, ince film teknolojisine sahip panelin yıllık optimum eğim açısı 22° olarak belirlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kurulacak bir fotovoltaik güneş santralinden maksimum enerji çıktısı elde etmek için PV panellerin konumlandırılacakları eğim açısı ön bir çalışmayla tespit edilmelidir. Panel eğim açısının belirlenmesinde panel üzerine gelen ışıınımın maksimize edilmesi yeterli bir kriter değildir. Ancak literatürde var olan tüm optimum açı çalışmaları genelde bu kritere göre yapılmıştır. Bu tez çalışmasında ise maksimum enerji çıktısı için her bir etken (PV teknolojisi, ışıınım, sıcaklık, rüzgar vb.) dikkate alınarak farklı teknolojilere sahip panellerin optimum eğim açıları belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada yatay yüzeye gelen global ışıınım değerleri kullanılarak istenilen açıdaki eğimli yüzeye gelen global ışıınım değeri hesaplanmıştır. Gerçek ortam şartlarında piranometre ile ölçülen eğimli yüzeydeki ışıınım değerleri hesaplanan değerler ile karşılaştırarak yapılan matematiksel hesabın doğruluğu ispatlanmıştır. ışıınım, sıcaklık ve rüzgar verileri dikkate alınarak farklı teknolojiler(monokristal silikon, polikristal silikon ve ince film) için Matlab/Simulink ortamında PV modeller oluşturulmuştur. Farklı teknolojilere ait PV paneller herhangi bir açıda konumlandırılarak panel üzerine düşen ışıınım, dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve panellerin akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Hücre sıcaklığı ışıınım, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Eğimli yüzeye gelen ışıınım ve hücre sıcaklığı PV modele girilerek modelden ilgili panelin akım, gerilim ve güç değerleri hesaplanmıştır. Modelden elde edilen panel gücü ile gerçek ortam şartlarında ölçülen panel gücü karşılaştırılarak modelin doğruluğu gösterilmiştir. Bu işlemler her bir farklı PV model için tekrarlanmıştır.

Çalışmanın yapıldığı İstanbul'un optimum eğim açısını belirlemek için bir yıllık yatay yüzeye gelen global ışıınım değeri, sıcaklık ve rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Yıllık yatay yüzeye gelen global ışıınım değeri her bir açıdaki eğimli yüzeye gelen global ışıınıma dönüştürölerek tek tek her açı için simölasyon çalıştırılmış ve ilgili açı için enerji çıktısı kaydedilmiştir. Farklı PV modeller için aynı işlemler yapılarak yıllık maksimum enerjiler elde edilmiştir. Yıllık maksimum enerjinin elde edildiğı açı ilgili PV teknolojisinin optimum yıllık eğim açısıdır.

Monokristal silikon panel için hücre sıcaklığı dikkate alınmadan sadece ışıınım verileri kullanılarak İstanbul için yıllık optimum eğim açısı 38° hesaplanırken, sıcaklık dikkate alınarak yapılan bu çalışmada yıllık optimum eğim açısı 26° olarak belirlenmiştir. Ayrıca ince film teknolojisine sahip panel için yıllık optimum eğim açısı 22° olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, optimum eğim açısının hesaplanmasında ışıınının maksimize edilmesi yeterli bir kriter olmadığı bu nedenle PV panellere negatif yönde etkiyen hücre sıcaklığının da dikkate alınması gereken önemli bir etken olduğu görölmüştür. Ayrıca kullanılan PV teknolojisine bağılı olarak optimum eğim açısının farklılık gösterdiği görölmüştür. Ek olarak, İstanbul için fiyat-performans açısından polikristal silikon panel teknolojisi kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Sonraki çalışmalarda, PV panellerin mevsimsel ya da aylık optimum eğim açıları belirlenebilir. Ülkemizde belirli noktaların yatay yüzeye gelen global ışıınım değerleri kullanılarak yıllık, mevsimsel ya da aylık optimum eğim açısı haritası çıkartılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Altas, I. H. ve Sharaf A. M., (2007). "A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment", ICCEP '07. , 21-23 May 2007, Capri.
- [2] Loteta, A., Ferrara, W., Bellia, G., Aleo, F., Gigliucci, G. ve Tina, G.M., (2011) "Energy Rating of Photovoltaic Systems – Comparison Between Measurement and Model", ICCEP, 14-16 June 2011, Catania.
- [3] Tsai, H. L., Tu, C. S. ve Su, Y. J., (2008). "Development of Generalized Photovoltaic Model Using Matlab/Simulink", WCECS, 22-24 October 2008, San Francisco.
- [4] Xiao, W., Dunford, W. G. ve Capel, A., (2004). "A Novel Modeling Method for Photovoltaic Cells", IEEE Power Electronics Specialists Conference, 20-25 June 2004, Aachen.
- [5] DenHender, T., (2006). Design and Simulation of PV Super System Simulink, Senior Project, California Polytechnic State University Electrical Engineering Department, California.
- [6] Ramos Hernanz, J. A., Campayo Martín, J. J., Zamora Belver, I., Larrañaga Lesaka, J., Zulueta Guerrero, E. ve Puelles Pérez, E. (2010). "Modelling of Photovoltaic Module", International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICRE PQ'10), 23-25 March 2010, Granada
- [7] Bellini, A., Bifaretti, S., ve Cornaro, C., (2009). "Simplified Model of a Photovoltaic Module", Applied Electronics, 9-10 September 2009, Pilsen.
- [8] Gunerhan, H. ve Hepbasli, A., (2007). "Determination of The Optimum Tilt Angle of Solar Collectors For Building Applications", Building and Environment, Volume 42, Issue 2, Pages 779–783.
- [9] Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y. ve Demirkol, S., (2004). "Determining Optimum Tilt Angles and Orientations of Photovoltaic Panels in Sanliurfa, Turkey", Renewable Energy, Volume 29, Issue 8, Pages 1265–1275.
- [10] Zhao, Q., Wang, P. ve Goel, L., (2010). "Optimal PV Panel Tilt Angle Based on Solar Radiation Prediction", Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 14-17 June 2010, Singapore.

- [11] Ural, E., (2006). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türkiye Çevre Vakfı Yayınları, 175, Ankara.
- [12] Photovoltaic Education Network, www.pveducation.org, 12 Mart 2012.
- [13] Solar Energy Services for Professionals, www.soda-is.com, 2 Nisan 2012.
- [14] Dünyanın Şekli Hareketleri ve Sonuçları, www.cografyadersanesi.blogcu.com, 28 Mayıs 2012.
- [15] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, www.eie.gov.tr, 14 Mart 2012.
- [16] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2011 Global Status Report, 2011.
- [17] Türk Mühendis ve Mimar Odaları, www.tmmob.org.tr, 5 Nisan 2012.
- [18] Quaschnig, V., (2005). Understanding Renewable Energy Systems, Earthscan, UK and USA.
- [19] Demircan, N. ve Alakavuk, Z., (2008). "Fotovoltaik Prensipleriyle Elektrik Enerjisi Üretimi", UTES'2008, 17-19 Aralık 2008, İstanbul.
- [20] Parida, B., Iniyar, S. ve Goic, R., (2011). "A Review of Solar Photovoltaic Technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 3, Pages 1625–1636.
- [21] El Chaar, L., Lamont, L. A. ve El Zein, N., (2011). "Review of Photovoltaic Technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 5, Pages 2165–2175.
- [22] Goetzberger, A., Hebling, C. ve Schock, H. W., (2003). "Photovoltaic Materials, History, Status and Outlook", Materials Science and Engineering R, Volume 40, Issue 1, Pages 1–46.
- [23] Vikipedi Özgür Ansiklopedi, Güneş Pili, tr.wikipedia.org, 3 Nisan 2012.
- [24] Kılıç, I. M., (2007). Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [25] Tanrıöven, M., (2012), Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri Ders Notları.
- [26] Kalogirou, S. A., (2009). Solar Energy Engineering Processes and Systems, Academic Press, USA.
- [27] Yıldırım, T., Çimen, M. A., Engin, Ş. N. ve Tırıs, M. (2010). "Güneş Enerjisi Potansiyeli Belirleme Ölçümleri", Solar Future, 11-12 Şubat 2010, İstanbul.
- [28] Bulut, H., Işıker, Y., Aktacir, M. A. ve Yeşilata, B., (2010). "Güneş Enerjisi Uygulamalarının Potansiyelini Belirlemek İçin Toplam, Direkt ve Yayıllı Güneş Işınım Şiddetlerinin Anlık Ölçümü", UDUSİS 2010, 24-26 Mayıs 2010, Diyarbakır.
- [29] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, www.mgm.gov.tr, 15 Nisan 2012.
- [30] Ajder, A., (2011). Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [31] Duffie, J. A. ve Beckman, W. A., (1980). Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Wisconsin.
- [32] Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V. ve Cornaro, C., (2009). "Simplified Model of A Photovoltaic Module", Applied Electronics, 9-10 September 2009, Rome.
- [33] TamizhMani, G., Ji, L., Tang, Y. ve Petacci L., (2003). "Photovoltaic Module Thermal/Wind Performance: Long-Term Monitoring and Model Development for Energy Rating", NCPV and Solar Program Review Meeting, June 2003, NREL.
- [34] Salas, V., Olias, E., Barrado, A. ve Lazaro, A., (2006). "Review of The Maximum Power Point Tracking Algorithms For Stand-Alone Photovoltaic Systems", Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 90, Issue 11, Pages 1555–1578.

**YATAY YÜZEYE GELEN GLOBAL IŞINIMIN AYRIŞTIRILMASI VE EĞİMLİ
YÜZEYE GELEN GLOBAL IŞINIMIN ELDE EDİLMESİ**

```
for i=1:8760
    if atm(i)==0;
        Kt(i)=0;
    else
        Kt(i)=istanbulglobal(i)/atm(i);
    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.*istanbulglobal;
yataydirek=istanbulglobal-yatayyayinik;
enlem=41.028;
```

```

ro=0.2;
beta=30;

Rb=(cosd(enlem-beta).*cosd(deklinasyon).*cosd(hourangle)+sind(enlem-
beta).*sind(deklinasyon))./(cosd(enlem).*cosd(deklinasyon).*cosd(hourangle)+sind(enl
em).*sind(deklinasyon));

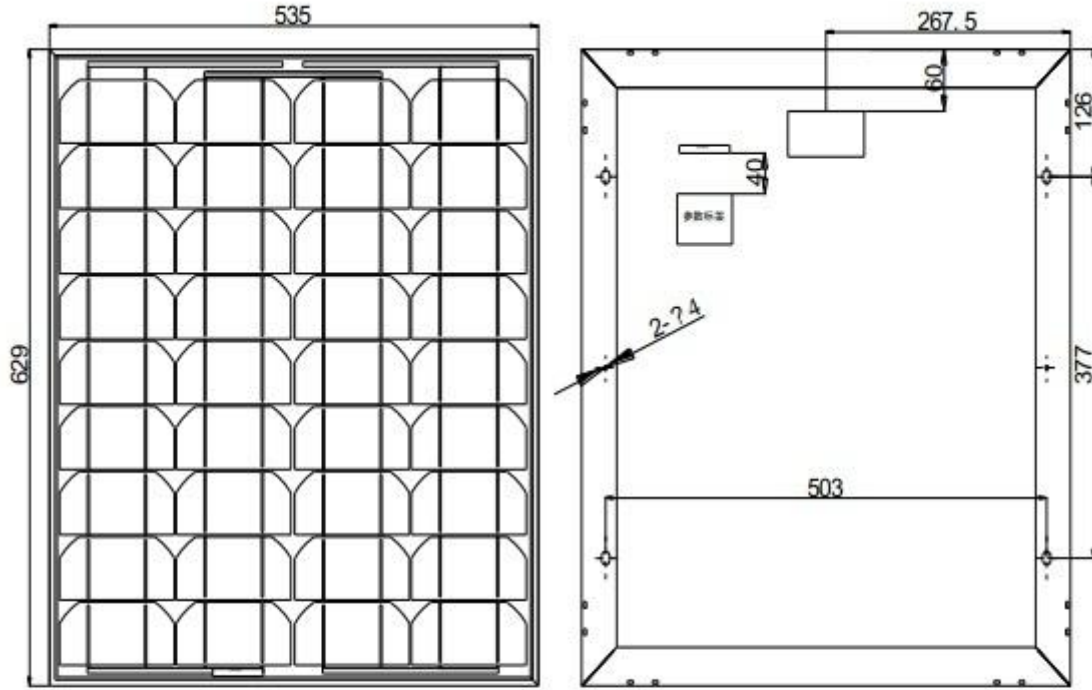
It=yataydirek.*Rb+yatayyayinik.*((1+cosd(beta))./2)+istanbulglobal.*ro.*((1-
cosd(beta))./2);

plot(It,'b')
figure(1)akim
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 (kWh/m^2)')
grid on
xlabel('Gunler')
ylabel('Isinim Degerleri (direkt ve yayinik)(kWh/m^2)')

```

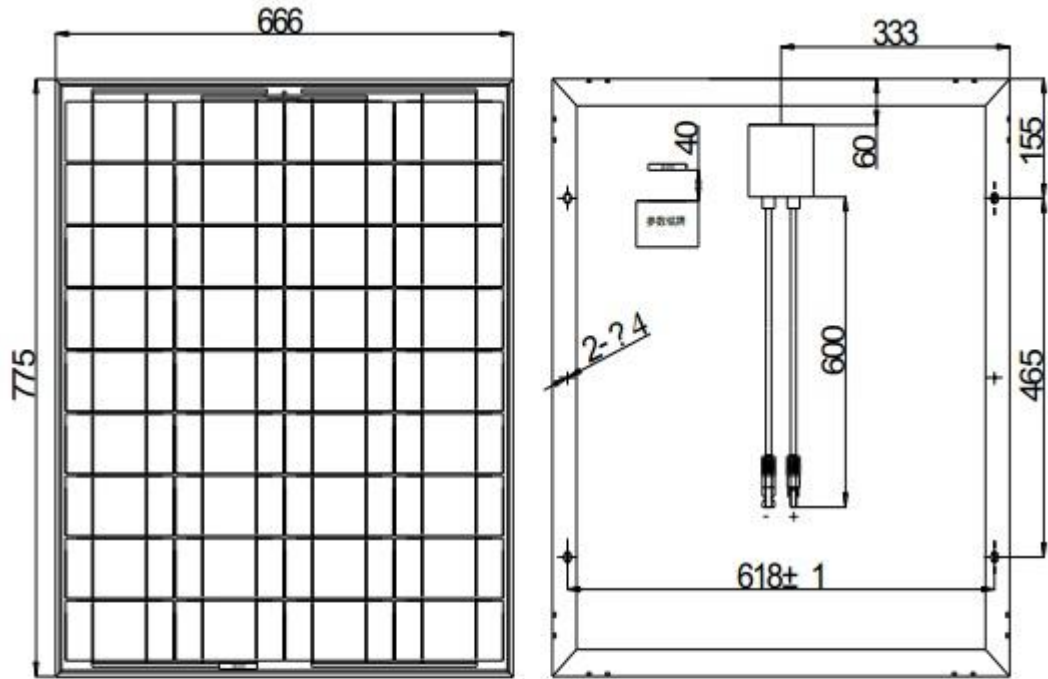

PANEL KATALOG BİLGİLERİ

B-1 Mono Kristal Silikon Güneş Paneli



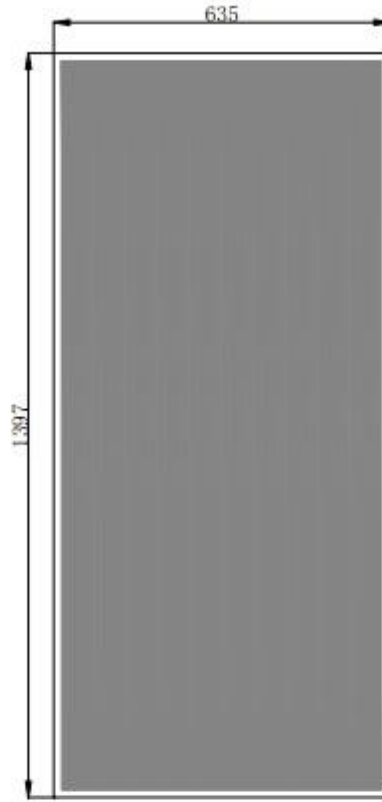
Data Sheet	
Peak Power	50 W
Number of Cell	36 Pcs
Short Circuit Current(Isc)	3.14 A
Open Circuit Voltage(Voc)	21.4 V
Maximum Power Current(Imp)	2.88 A
Maximum Power Voltage(Vmp)	17.4 V
Dimension	629×535×28mm
Weight	4.3kg

B-2 Poli Kristal Silikon Güneş Paneli



Data Sheet	
Peak Power	60 W
Number of Cell	36 Pcs
Short Circuit Current (Isc)	3.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.70 V
Maximum Power Current (Imp)	3.41 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	17.60 V
Dimension	775 × 666 × 48 mm

B-3 İnce Film Güneş Paneli



Data Sheet	
Peak Power	55 W
Short Circuit Current(Isc)	1.57A
Open Circuit Voltage(Voc)	61.44V
Maximum Power Current(Imp)	1.21A
Maximum PowerVoltage(Vmp)	45.45V
Dimension	1397×635×6mm
Module Net Weight	16kg

İSTANBUL'A AİT ÖRNEK YILLIK VERİLER

Ay	Gün	Saat	Işınım (W/m ²)	Atmosfer Dışı Işınım (W/m ²)	Sıcaklık	Rüzgar
1	1	0	0	0	5,80	2,6
1	1	1	0	0	5,80	2,5
1	1	2	0	0	5,90	3,5
1	1	3	0	0	5,40	2,1
1	1	4	0	0	5,10	1,8
1	1	5	0	0	5,10	3,5
1	1	6	0	0	5,00	3,6
1	1	7	6,978	990	5,10	2,4
1	1	8	97,692	1415	7,00	2,8
1	1	9	209,340	1415	9,20	3,2
1	1	10	314,010	1415	10,80	3,2
1	1	11	362,856	1415	11,40	2,5
1	1	12	383,790	1415	12,30	2,2
1	1	13	348,900	1415	12,00	4
1	1	14	230,274	1415	11,80	3
1	1	15	139,560	1415	11,20	2,4

1	1	16	23,260	377	9,80	1,2
1	1	17	0	0	8,80	1,1
1	1	18	0	0	6,80	1,4
1	1	19	0	0	6,80	2,6
1	1	20	0	0	6,70	1,9
1	1	21	0	0	6,30	1,5
1	1	22	0	0	6,40	3,4
1	1	23	0	0	6,80	2,1
1	2	0	0	0	6,80	0,8
1	2	1	0	0	6,80	1,8
1	2	2	0	0	7,00	2,9
1	2	3	0	0	6,90	3,2
1	2	4	0	0	6,60	2,7
1	2	5	0	0	6,10	2,8
1	2	6	0	0	6,90	2,6
1	2	7	10,467	990	7,20	2,7
1	2	8	83,736	1415	8,20	5,4
1	2	9	181,428	1415	11,50	5,3
1	2	10	307,032	1415	12,80	4,5
1	2	11	362,856	1415	14,00	6
1	2	12	376,812	1415	14,20	3,1
1	2	13	334,944	1415	14,40	3
1	2	14	258,186	1415	13,50	4
1	2	15	139,560	1415	13,10	3,6
1	2	16	23,260	377	11,30	2,6
1	2	17	0	0	11,30	2,9

1	2	18	0	0	11,00	1,2
1	2	19	0	0	10,90	3,3
1	2	20	0	0	11,70	1,2
1	2	21	0	0	11,50	3,1
1	2	22	0	0	11,50	1,8
1	2	23	0	0	11,10	3,2

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ramazan AYAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 04.06.1985/Çayeli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ayaz@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Rize Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010-...	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

- Ayaz, R.**, Nakir, İ., Durusu, A., Akca, H., Tanrioven M., “A Comparison of Metrobus System and Trolleybus System Considering Energy Costs and CO2 Emission: A Case Study for Istanbul”, SET2011, 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies, (2011)

