

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ PİLLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Öğretmeni Mustafa KARAMANAV

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU

Mayıs 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ PİLLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Öğretmeni Mustafa KARAMANAV

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

Bu tez 29 / 05 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Abdullah FERİKOĞLU
Jüri Başkanı

Yrd.Doç.Dr.Ali Fuat BOZ
Üye

Yrd.Doç.Dr.Yılmaz UYAROĞLU
Üye

ÖNSÖZ

Uygarlığın doğuşu, mağara adamının yaktığı ilk ateşle belirlenebilir ve gelişimi de enerjinin kullanımındaki artış ile bağdaştırılabilirse, insanlığın gelişimi ile kişi başına düşen enerji kullanımı arasında orantılı bir artış olduğu görülebilir.Tarih başlangıcından 1900'lü yıllara kadar, insanlığın kullandığı enerjinin, nüfus artışı ile hemen hemen orantılı olduğu görülmektedir.Ancak, 20.yüzyılda enerji kullanımı hızlı bir artış göstermiştir.Dünya, bilinen fosil yakıt kaynaklarının %0,1'i kadarını bile kullanıyor olsa, hesaplar sonucu elde edilen kullanım değerleri ile karşılaştırıldığında, bilinen tüm kaynakların 100 yıldan daha az bir zaman süresi içinde tükenmesi beklenmektedir.İşte bu araştırmalar sonucu mükemmel bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden yararlanma yolları araştırılmış ve güneş pillerinin üretimine geçilmiştir.Alternatif enerji kaynakları arasında güneş enerjisinden elektrik elde etmek; tehlikesiz ve sonsuz olması, çevre sorunlarına neden olmaması, temiz ve güvenilir olması, tükenme olasılığının az olması gibi nedenlerle, güneş enerjisi gittikçe daha çok önem kazanmaktadır.Güneş enerjisi dünyada kullanılmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında en umut verici olanlarından biridir.Rüzgar enerjisi kullanımı son 10 yılda yaklaşık %25 artarken, güneş pili kullanımı yaklaşık %300 oranında artmıştır.

Bu tez çalışmasında ve tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.Ayrıca çalışmalarımnda beni sabırla destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş Enerjisi.....	1
1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	4
BÖLÜM 2.	
GÜNEŞ PİLLERİ.....	6
2.1. Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi.....	6
2.2. Güneş Pillerinin Özellikleri.....	7
2.2.1. Maddenin yapısı ve yarı iletkenler.....	8
2.2.2. N tipi yarı iletken.....	11
2.2.3. P tipi yarı iletken.....	12
2.2.4. P-N kavşağı.....	13
2.2.5. Yarı iletkenlerin katkılanması.....	15
2.2.6. Güneş pili eşdeğer şeması.....	17
2.2.7. Fotovoltaik pil.....	20
2.3. Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi.....	21
2.3.1. Güneş pillerinin yapısı.....	22

2.4. Güneş Pili Çeşitleri.....	26
2.4.1. Selenyum güneş pili.....	26
2.4.2. Silisyum güneş pili.....	26
BÖLÜM 3.	
GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ.....	28
3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri.....	28
3.2. Monokristal Silisyum Güneş Pilleri.....	28
3.3. Semikristal(Yarıkristal) Silisyum Güneş Pilleri.....	29
3.4. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri.....	29
3.5. Polikristal Silisyum Güneş Pilleri.....	29
3.6. İnce Film Güneş Pilleri.....	29
3.7. Amorf Silisyum Güneş Pilleri.....	30
3.8. Bakır İndium Diselenoid Güneş Pilleri.....	30
3.9. Diğer Yapılar.....	31
BÖLÜM 4.	
GÜNEŞ PİLİ GÜÇ VERİMLİLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI.....	32
4.1. Güneş Pili Güç Verimlilikleri.....	32
4.2. Güneş Pili Kullanım Alanları.....	33
4.2.1. Dünyadaki güneş pili uygulamaları.....	35
4.2.2. Türkiye'deki güneş pili uygulamaları.....	36
4.2.3. Güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik analizi ve konvansiyonel enerji kaynaklarıyla maliyetlerin karşılaştırılması.....	36
4.2.4. Güneş pili uygulama örnekleri.....	38
4.2.5. Güneş pillerinin teknik ve ekonomik değerleri.....	41
BÖLÜM 5.	
GÜNEŞ PİLİNİN ÇALIŞMASINI ETKİLEYEN DIŞ FAKTÖRLER.....	44
5.1. Sıcaklığın Etkisi.....	44
5.2. Yüzey Parametresinin Etkisi.....	46
5.3. Spektral Etki.....	46

5.4. Foto Açısal Etki.....	47
5.4.1. Foto açısal etkinin deneysel yolla incelenmesi.....	48
5.4.1.1. Tek güneş pili ile yapılan deney.....	48
5.4.1.2. Seri bağlanmış iki tane güneş pili ile yapılan deney ...	51
5.4.1.3. Paralel bağlanmış iki tane güneş pili ile yapılan deney	53
5.4.1.4. Sonuç.....	56
BÖLÜM 6.	
GÜNEŞ PİLLERİ İLE İLGİLİ İSTATİSTİKSEL BİLGİLER	57
6.1. 1971-2001 Yılları Arasında Güneş Enerjisinden Faydalanarak Elektrik Enerjisi Üretmek Amacıyla Kurulan Tesislerin Toplam Kurulu Güç Değerleri.....	57
6.2. 1992-2003 Yılları Arası Toplam Fotovoltaik Güç Üretimindeki Değişim.....	58
6.3. 2003 Yılında Dünya Genelinde PV Üretimini Yüzdelerle Dağılımı	59
6.4. 1998-2003 Yılları Arası Dünya PV Üretimi (MW).....	60
6.5. Dünya Genelinde 1996-2005 Yılları Arasında Güneş Pili Çeşitlerinin Pazar Paylarındaki Değişim.....	60
6.6. Türkiye’de Yapılan Güneş Pili Uygulamaları.....	61
6.7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teşvik Edilmesi.....	62
6.8. Dünyadaki Güneş Pili Üreticileri Ve Üretim Teknolojileri.....	65
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
EKLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

W	: Watt
kW	: Kilowatt
MW	: Megawatt
kWh	: Kilowattsaat
Si	: Silisyum
Ge	: Germenyum
Ga	: Galyum
Cd	: Kadmiyum
Te	: Tellür
CuInSe	: Bakır indium selenoid
eV	: Elektron Volt
lm	: Lümen
hf	: Foton enerjisi
pv	: Fotovoltaik(photovoltaic)
% n	: Verim
nm	: Nanometre
Kcal	: Kilokalori
°K	: Kelvin
α	: Soğurma katsayısı
n_1, n_2	: Kırıcılık indisleri
k_1, k_2	: Yok olma katsayıları
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
AB	: Avrupa Birliği
TMMOB	: Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Türkiye'nin güneş enerjisi haritası.....	5
Şekil 2.1.	Silisyum ve germanyum yarıiletkenlerinin yapısı.....	9
Şekil 2.2.	Enerji bandları.....	10
Şekil 2.3.	Elektronların çekirdekten uzaklıklarına göre enerji seviyeleri....	11
Şekil 2.4.	N tipi yarıiletken.....	12
Şekil 2.5.	P tipi yarıiletken.....	13
Şekil 2.6.	P-N kavşağının oluşumu.....	13
Şekil 2.7.	P-N kavşağı ve iç akım.....	14
Şekil 2.8.	P-N kavşağında enerji bandı.....	15
Şekil 2.9.	Güneş pili.....	17
Şekil 2.10.	P-N kavşağının oluşturulması ve kavşağa düşen foton enerjisi ile iletkenlik temini.....	18
Şekil 2.11.	Güneş pili eşdeğer elektrik şeması.....	18
Şekil 2.12.	34 Watt'lık bir güneş pilinde akım gerilim eğrileri.....	19
Şekil 2.13.	Fotovoltaik pilin yapısı.....	20
Şekil 2.14.	Fotovoltaik pil eşdeğer elektrik devresi.....	21
Şekil 2.15.	Güneş pilinin yapısı.....	22
Şekil 2.16.	Tipik bir silisyum güneş pilinin önyüzü.....	23
Şekil 2.17.	Pillerden modül ve örgülerin yapılması.....	24
Şekil 2.18.	Güneş pili ile akünün şarj edilmesi.....	25
Şekil 2.19.	Selenyum güneş pilinin yapısı.....	26
Şekil 3.1.	Bakır indium diselenoid güneş pilleri.....	31
Şekil 4.1.	Güneş pilli enerji sistemi.....	34
Şekil 4.2.	EİE Didim şebekeye bağlı güneş pili sistemi.....	37
Şekil 4.3.	Solar I merkez alıcı güneş ısıl elektrik santrali (İspanya).....	38
Şekil 4.4.	Şebekeye elektrik veren güneş pili sistemi.....	39

Şekil 4.5.	Parabolik çanak güneş ısı elektrik santrali (İspanya).....	39
Şekil 4.6.	Çatısı güneş pili kaplı ev.....	40
Şekil 4.7.	Güneş pili ile sokak aydınlatması.....	40
Şekil 4.8.	Güneş pillerinin karayollarında kullanılması.....	41
Şekil 5.1.	Işığın geliş açısına bağlı olarak güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği.....	48
Şekil 5.2.	Güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği...	49
Şekil 5.3.	Güneş pili akımının açığa bağlı değişim grafiği.....	50
Şekil 5.4.	Güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği.....	50
Şekil 5.5.	İki adet seri bağlanmış güneş pilinin ışık açısının değişimiyle güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği.....	51
Şekil 5.6.	Seri bağlanmış iki güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği.....	52
Şekil 5.7.	Seri bağlanmış iki güneş pilinin akımının açığa bağlı değişim grafiği.....	52
Şekil 5.8.	Seri bağlanmış iki güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği....	53
Şekil 5.9.	İki adet paralel bağlanmış güneş pilinin ışık açısının değişimiyle güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği.....	54
Şekil 5.10.	Paralel bağlanmış iki güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği.....	55
Şekil 5.11.	Paralel bağlanmış iki güneş pilinin akımının açığa bağlı değişim grafiği.....	55
Şekil 5.12.	Paralel bağlanmış iki güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği.....	56
Şekil 6.1.	1971-2001 yılları arasında dünyadaki fotovoltaik gelişim.....	58
Şekil 6.2.	1992-2003 yılları arasında toplam fotovoltaik güç üretimindeki değişim.....	58
Şekil 6.3.	2003 yılında dünya genelinde PV üretim miktarı.....	59
Şekil 6.4.	2003 yılında dünya genelinde PV üretiminin yüzdelik dağılımı..	59

Şekil 6.5.	1996-2005 yılları arasındaki dünya genelinde silikon kristal güneş pillerindeki değişim.....	60
Şekil 6.6.	1996-2005 yılları arasındaki dünya genelinde ince film güneş pillerindeki değişim.....	61
Şekil 6.7.	Bazı enerji türlerinin toplumsal maliyetleri.....	64
Şekil A.1.	İki motorlu ,sürekli hareketli ,engel algılamalı, çalışmadığı zaman pillerini güneş pili ile şarj eden robot böcek devresi.....	71
Şekil B.1.	Güneş enerjisi ile çalışan robot böcek baskı devresi.....	72

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	4
Tablo 1.2.	Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	5
Tablo 4.1.	Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler.....	32
Tablo 4.2.	Güneş pili üretiminde kullanılan maddelerin dünya rezervleri ve üretimi.....	33
Tablo 4.3.	EİE Didim şebekeye bağlı güneş pili sisteminin özellikleri.....	37
Tablo 4.4.	Tek kristal silisyum güneş pili.....	41
Tablo 4.5.	Tek kristal silisyum güneş pillerinde hedeflenen değerler.....	41
Tablo 4.6.	Çok kristal silisyum güneş pili.....	42
Tablo 4.7.	Çok kristal silisyum güneş pillerinde hedeflenen değerler.....	42
Tablo 4.8.	Tek ince film güneş pili.....	42
Tablo 4.9.	Tek ince film güneş pillerinde hedeflenen değerler.....	42
Tablo 4.10.	Çoklu ince film güneş pilleri.....	43
Tablo 4.11.	Çoklu ince film güneş pillerinde hedeflenen değerler.....	43
Tablo 5.1.	Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi.....	44
Tablo 5.2.	GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi....	45
Tablo 5.3.	Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi	45
Tablo 5.4.	Germanyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi.....	45
Tablo 5.5.	Güneş piline ışığın spektral etkisi.....	47
Tablo 5.6.	Şekil 5.1'deki güneş piline ait ışık açısının değişimine bağlı olarak akım ve gerilim değişim değerleri.....	49
Tablo 5.7.	Şekil 5.5'teki seri bağlanmış iki güneş piline ait ışık açısının değişimine bağlı olarak akım ve gerilim değişim değerleri.....	51
Tablo 5.8.	Şekil 5.9'daki paralel bağlanmış iki güneş piline ait ışık açısının değişimine bağlı olarak akım ve gerilim değişim değerleri.....	54

Tablo 6.1.	1971-2001 yılları arasında dünyadaki fotovolttaik gelişim.....	57
Tablo 6.2.	1998-2003 yılları arası dünya PV üretimi (MW).....	60
Tablo 6.3.	EİE Didim şebekeye bağlı güneş pili sisteminin özellikleri.....	61
Tablo 6.4.	Türkiye'deki güneş pili uygulamalarından faydalanan kurumlar	62
Tablo 6.5.	AB toplam yenilenebilir enerji tüketimi içindeki kaynak türlerine göre dağılımı.....	62
Tablo 6.6.	AB toplam elektrik üretimi içindeki yenilenebilir enerjilerin kaynak türlerine göre dağılımı.....	63
Tablo 6.7.	Dünyadaki güneş pili üreticileri ve üretim teknolojileri.....	65

ÖZET

Anahtar Kelimeler:Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Dönüşüm, Güneş Pilleri

Bu çalışmada fotovoltaik olay ve güneş pillerinin ilkeleri incelenerek yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi hakkında istatistiksel bilgiler değerlendirilmiş, ayrıca güneş pilleriyle ilgili deneysel çalışma yapılmıştır.Tez yedi bölümden oluşmaktadır.

Tezin birinci kısmında güneş enerjisinin mahiyeti ve güneş ışınlarının dünyaya olan etkileri incelenmiştir.İkinci bölümde güneş pillerinin tarihsel gelişimi, maddesel yapısı, çalışma prensibi ve fotovoltaik dönüşüm ilkeleri üzerinde durulmuştur.Üçüncü bölümde güneş pillerinin çeşitleri açıklanmıştır.Dördüncü bölümde güneş pillerinin verimlilikleri anlatılarak kullanım alanları belirtilmiştir.Beşinci bölümde güneş pillerinin çalışmasını etkileyen dış faktörler üzerinde durulmuştur.Bu faktörlerden biri olan foto açısal etki deneysel çalışma yapılarak incelenmiştir.Yapılan bu deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak ışık açısına bağlı olarak güneş pilinin akım ve gerilim değişim grafikleri elde edilmiştir.Altıncı bölümde güneş pilleriyle ilgili önemli istatistiksel bilgiler derlenerek sunulmuştur.Son bölümde ise yenilenebilir enerji kullanımı, gelecek için alınan önlemler hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

SOLAR ENERGY AND SOLAR CELLS

SUMMARY

Key Words: Renewable energy, solar energy, photovoltaic transformation, solar cell

In this work photovoltaic effect together with principles of solar cells are investigated, statistical data about the solar energy as a renewable energy form is treated, and experimentation with solar cells are performed.

The first chapter provides a general treatment of the solar energy and the effects of sunlight to the earth. The second chapter includes historical development and operation principles of solar cells together with photovoltaic effect. The third chapter is about the variations of solar cells. The fourth chapter covers the efficiency of solar cells and their utility areas. The fifth chapter expresses the external factors influencing the operation of solar cells. One of these factors, namely photo angular effect is experimented and the data obtained are provided as graphics. In the six chapter some important statistical data are obtained and provided about the solar cells. An overall evaluation is made in the last chapter regarding the utility of renewable energy and the measures to be taken.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Güneş Enerjisi

Yaşamın kaynağı olan Güneş, doğal sistem enerjisinin büyük bir bölümünü sağlar. Çapı yaklaşık 1.4 milyon kilometre olup, iç çevresinde çok yoğun gazlar bulunur. Yeryüzünden yaklaşık 151.106 milyon km uzaklıktadır. Nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde, sürekli olarak Hidrojenin Helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Güneş merkezi füzyon reaksiyonu için uygun bir ortamdır. Bir reaksiyonun basit olarak tanımı; protonla bombardımana tutulan Hidrojen molekülü, Hidrojenin türevi olan Döteryuma dönüşür. Kararsız hale geçen iki Döteryum çekirdeği birleşerek daha ağır olan Helyuma dönüşür. Açıkta kalan iki proton ise reaksiyon zincirinin bu tanımına uygun olarak devam etmesini sağlar. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerji çok fazladır. Güneşin bu enerjiye sahip olabilmesi için saniyede 10-38 füzyon reaksiyonuna ihtiyaç duyduğu hesaplanmıştır. Bu da yaklaşık olarak saniyede 657 milyon ton Hidrojenin 653 ton Helyuma dönüşmesi demektir. Bu reaksiyonlar sonucu kaybolan kütle enerjiye dönüşür. Yaklaşık 10 milyar yıl sonra güneşteki Hidrojen yakıtı bitip reaksiyonların son bulması sonucu güneşin, çekim kuvveti etkisiyle büzüşüp beyaz cüce adı verilen ölü bir yıldızla dönüşebileceği tahmin ediliyor. Güneşte açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.104 kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1.395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışınımın değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ışınımı absorbe etmelerinin yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı 6000°K olarak kabul edilen ve bilinen en büyük siyah cisim olan güneşin yaydığı ışınımın yeryüzüne ulaşabilen miktarı %70 kadardır. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışınım değeri 1367 W/m² dir ve bu değer güneş sabiti olarak

alınır. Pratik olarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınım değeri 1000 W/m^2 olarak kabul edilmektedir [1].

Güneş merkezindeki sıcaklık milyonlarca dereceye ulaşırken, yayımlanan ışınımın spektrumunu belirleyen yüzey tabakasının (fotoser) sıcaklığı $6000 \text{ }^\circ\text{K}$ 'dir. Işınım, elektromagnetik özelliğe sahip olup gücün spektral dağılımı(birim dalga boyunda birim alana , birim zamana gelen enerji) sıcaklığın bir fonksiyonudur. Diğer yıldızlardan yeryüzüne elektromagnetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir ancak, yerkürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yerküreye gelen ışınımın büyükçe bir bölümü görünür bölgededir. Enerji taşıyan birimler gibi düşünülebilecek “fotonlar”, spektrumun görünür bölgesinin kırmızı yanında daha küçük enerji , mavi-mor yanında daha büyük enerji taşırlar. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlar. Dünyamıza güneşten gelen spektrumun, kırmızının ötesinde kalan kızılötesi ve morun ötesinde kalan morötesi bölgelerinde bulunan ışınımında toplam enerjiye önemli bir katkısı vardır. Güneşin gücü, yani bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji çok büyük olmasına rağmen yerküre atmosferinin dışına ulaşan tutar, yalnızca küçük bir bölümdür. Güneş ışınımı atmosferi geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısı oldukça çok olmasına karşın en önemli değişken , ışığın atmosferde aldığı yolun uzunluğudur. Genellikle güneş ışınımı değerlendirilirken atmosfer dışındaki seçilen nokta olarak ele alınıp buna hava kütle sıfırı (air mass 0) adı verilir. Havaküre dışında birim yüzeye gelen toplam güç, tüm spektrumun üzerinden entegre edilirse, ulaşılan değer 13267 W/m^2 olup bu değer “güneş değişmezi” olarak kullanılır, güneş ışınları havaküreyi geçerken spektrumları önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları havaküreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz moleküllerinin yanında aerosol ve toz zerreciklerine saçılarak yeryüzüne ancak havaküre dışındaki enerjinin %70'i ulaşır. Deniz seviyesinde açık bir havada optiksel hava-kütle; güneş ışınlarının aldığı gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Örneğin güneş tam tepedeyken bu değer, hava-kütle (air mass) olarak adı verilir. Yeryüzüne düşen güneş ışınları , doğrudan güneşten gelen ve havakürede saçıldıktan sonra difüzyona uğramış ışınların toplamıdır. Hava koşullarına bağlı olarak doğrudan güneşten gelen

ışınların, saçılmış ışına oranı değişir. Örneğin bulutlu bir günde güneş ışınlarının büyük bir bölümü, saçılmış ışınlardan oluşurken, bulutsuz güneşli bir günde güneş enerjisinin büyük bir bölümü doğrudan ışınlardan oluşacaktır. Doğrudan ve yayılmış ışınım toplamı, küresel ışınım olarak adlandırılır. Fotovoltaik sistemlerin seçiminde, güneş ışınım verileri çok büyük önem taşır.

Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanım, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir. Soğutma ise yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde verimli olmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan ısıl uygulamalar, düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak üçe ayrılır. Düşük sıcaklık uygulamaları, daha çok düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması için kullanılmaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılır. Genellikle bu tip toplayıcılarda, güneş ışınımının sürekli olabilmesi için güneşi izleyen mekanizmalara gerek vardır. 300 °C sıcaklık değerinin üzerine çıkabilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımı bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırılabilir.

İkinci bir uygulama türü ise güneş pilleri kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Üzerine düşen güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için bir akümülatöre gerek vardır.

Güneş pilleri, uzay programları için geliştirilmeye başlanmış; ancak sonraki yıllarda, bilinen yollarla elektrik üretiminin zor olduğu yada uzak olan deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, çiftlik evleri, dağ evleri gibi yerlerde de kullanılmaya başlanmıştır.

Güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanabilmek için, “Güneş Kuşağı” adı verilen, 45° kuzey-güney enlemleri arasında kalan bölgede yer almak gerekmektedir.

1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo-1.1.'de verilmiştir [2].

Tablo 1.1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli

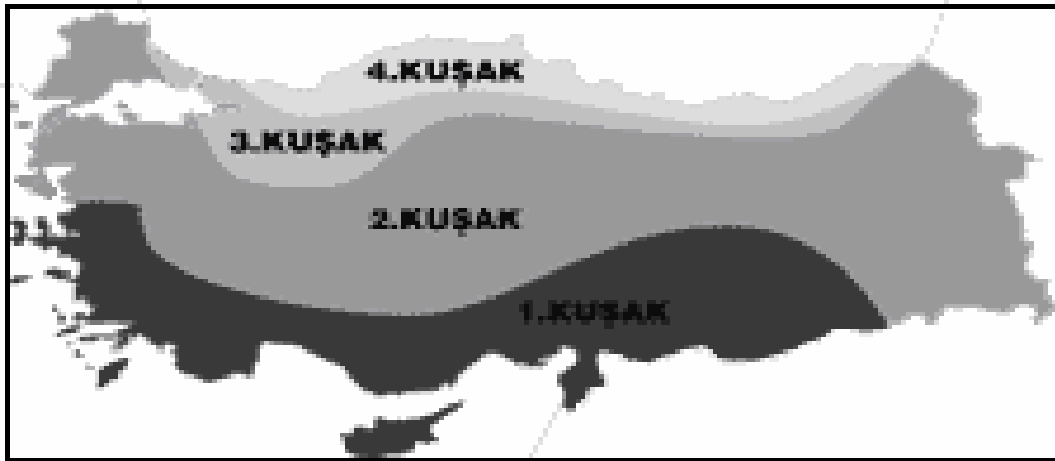
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo-1.2.'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (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

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Haritası

Türkiye'nin güneş ışınlarını alma potansiyeli Şekil.1.1.'de gösterilmiştir [3].Bu haritaya göre güney bölgelerimizin güneş alma açısı kuzey bölgelerimize göre daha fazla olduğu görülmektedir.Haritada gösterilen 1. kuşak güneş alma açısı en fazla olan kuşaktır. 1. kuşağı sırasıyla 2.kuşak, 3.kuşak ve 4.kuşak takip etmektedir. Burada 4.kuşak güneş alma açısı en düşük olan kuşaktır.

BÖLÜM 2. GÜNEŞ PİLLERİ

2.1. Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi

Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir.

1970'li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. petrol bunalımı"ni izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış

silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir [4].

2.2. Güneş Pillerinin Özellikleri

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları 100 cm^2 civarında, kalınlıkları özellikle en yaygın olan silisyum güneş pillerinde $0.2 - 0.4 \text{ mm}$ arasındadır [5].

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pillerin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir gündeki

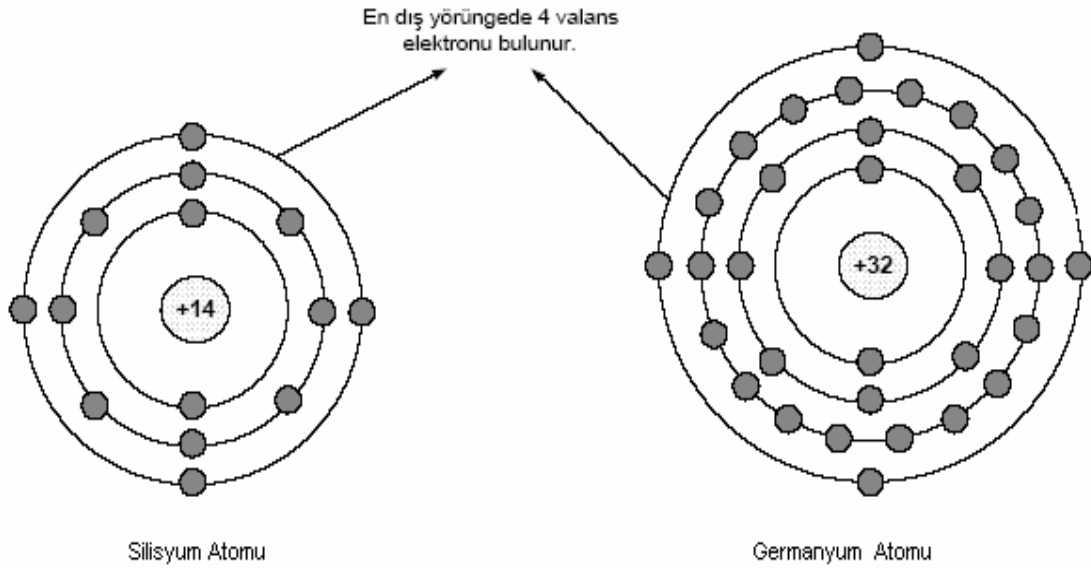
ışınım şiddeti maksimum 1000 W/M^2 civarındadır. Yöreye bağlı olarak 1m^2 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800-2600 KWh arasında değişir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 - %70 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü yada fotovoltaik modül adı verilir. Gerekirse bu modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, fotovoltaik bir dizi oluşturabilir.

2.2.1. Maddenin yapısı ve yarı iletkenler

Bilindiği gibi madde, pozitif yüklü çok ağır bir çekirdekle, onun etrafında belirli yörüngelerde dolanan elektronlardan meydana gelmiştir. Bu yükler, dış tesir yoksa birbirini dengeler. Elektronlar, yörüngelerinin bulunduğu yarıçapa, orantılı olarak potansiyel ve kinetik enerji taşırlar. En dış yörünge de maksimum 2, sonrakinde 8 ve üçüncüde 18 elektron bulunabilir. Elektronlar, ard arda gelen ve her biri belli sayıda elektron bulunduran enerji bandlarında bulunurlar. Dışarıdan enerji alan bir elektron bir üst seviyedeki banda çıkabilir. Daha düşük banda geçen elektron da dışarı enerji yayar. Son tabaka elektronlarına valans (denge) elektronları denir ve cisimlerin kimyasal bileşikler yapmalarını temin eder. Son tabakası dolmamış bir atomun, bir başka cisme ait komşu atomdan elektron kapmaya yatkınlığı vardır. İç tabaka elektronları ise çekirdeğe çok sıkı bağlıdırlar. Termik enerji verilirse, elektronun yörüngesi etrafında titreşimi arttırır.

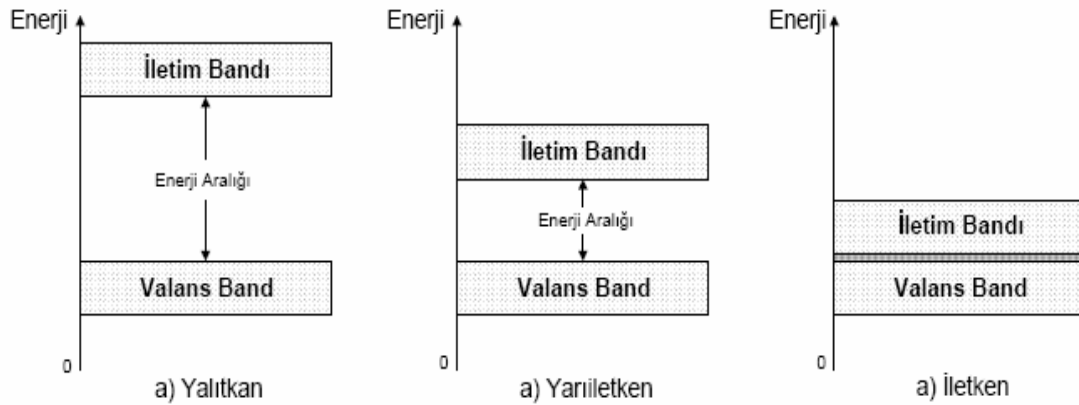
Elektron, yörüngesini muhafaza ettiği müddetçe ne enerji yayar, ne de absorbe eder. Bir elektron, uyarımla, atomu terk edecek enerji kazanıp ayrılabilir. Atom (+) iyon şekline geçer (Bkz. Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Silisyum ve Germanyum Yarı İletkenlerinin Yapısı

İzoleli atomda (gazlarda) elektronlar, belirli bir enerji bandını işgal ederler. Bir kristalin atomları, kristal içinde muntazam diziler halinde yer alırlar. Atomlar, birbirlerine çok yakındırlar ve elektronlar, birbirine yakın enerjileri temsil eden enerji bandları üzerinde bulunurlar. Örneğin; bir germanyum atomunda, tek bir atom ele alınırsa atom temel haldedir. Mutlak sıfır, sıcaklıkta, elektron minimum enerji seviyesine sahiptir.

Germanyum kristalinde ise, mutlak sıfır sıcaklıkta, temel seviyenin yerini valans bandı alır. Bundan sonra, hiçbir elektronun bulunmadığı yasak bölge ve sonra da yüksek enerjili iletkenlik bandı bulunur. Bu sıcaklıkta Ge kristalinde iletkenlik bandında hiçbir elektron bulunmaz, yani kristal ideal bir yalıtıcıdır. Yalıtıcı, yarıiletken, iletken maddelerin enerji bandları Şekil 2.2.'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Enerji Bandları

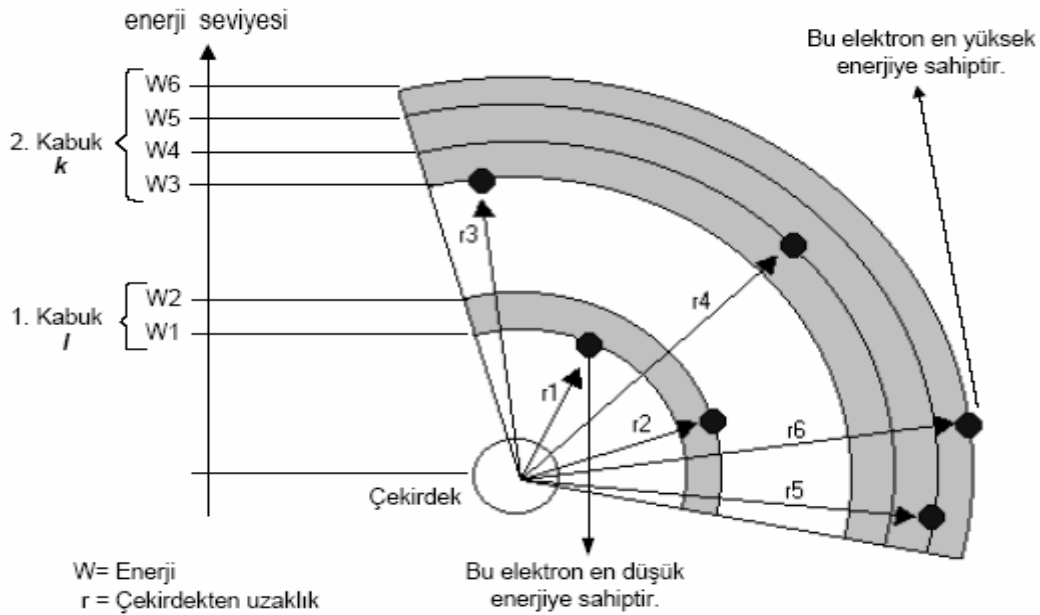
Ge kristalinin iletkenlik kazanabilmesi için, iletkenlik seviyesine elektron temin edilmelidir. Bunun için gerekli enerji 0.7 eV civarındadır. Fotoelektrik olay için E_g , kristalin soğurabileceği minimum enerjisini gösterir. Buna karşı, bir metalik kristalde yasak band yoktur, iletkenliği temin edecek, iletkenlik bandında çok sayıda elektron bulunur. Elmas için $E=7$ eV' luk enerji ile elektron yasak band geçilebilir. Bunun için malzemeye büyük elektrik voltajı uygulanması gerekir. Bu ise malzemeyi tahrip eder.

Yarı iletkenlerde, yasak bandı geçmek için (1 eV) yeterlidir, oda sıcaklığında kristal atomlarından birkaç tanesinin elektronları, iletkenlik bandına geçer ve iletkenliği sağlar. Geride bıraktığı boşluğa da başka bir elektron gelir ve o da iletkenliğe katılmış olur.

Bir kristal, ortak elektronla birbirine bağlı atomların düzgün olarak yerleşimiyle meydana gelmiştir. İyonik bağdan farklı olan bu birleşmeye “Kovalent” bağ denir. Valans elektronlar, kovalent bağ içinde, bir atomdakinden daha düşük enerji seviyesindedir. Kristali bozmak için, bu enerji farkı kadar enerji gerekir. Bu kristalin kararlılığını gösterir.

İki atomu birbirine bağlayan valans elektronların serbest hale geçmesi için gerekli enerji; metaller için sıfır, yalıtkanlar için birçok elektron volt, yarı iletkenler için

1eV civarındadır. Elektronların çekirdekten uzaklığa göre enerji seviyeleri Şekil 2.3.'te verilmiştir [6].

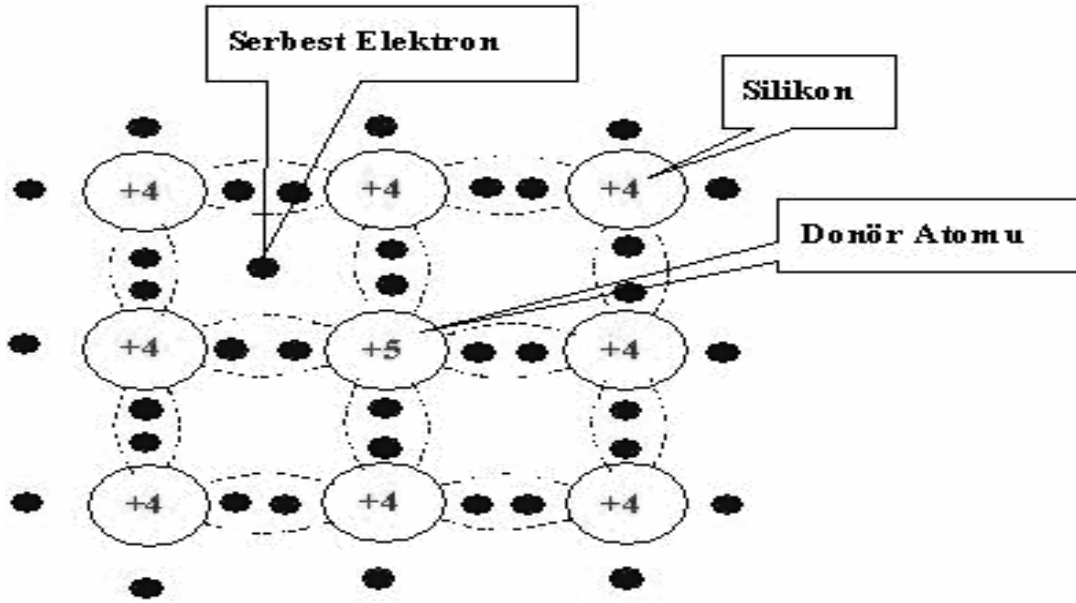


Şekil 2.3 Elektronların çekirdekten uzaklıklarına göre enerji seviyeleri

2.2.2. N tipi yarı iletken

İletkenlik tipini değiştirmek için Si ve Ge içine, periyodik cetvelin III ve V. grup elementleri ilave edilir. Bunlar boş valans elektronu bulundurlar (Arsenik, Bor, Fosfor, Antimuan gibi).

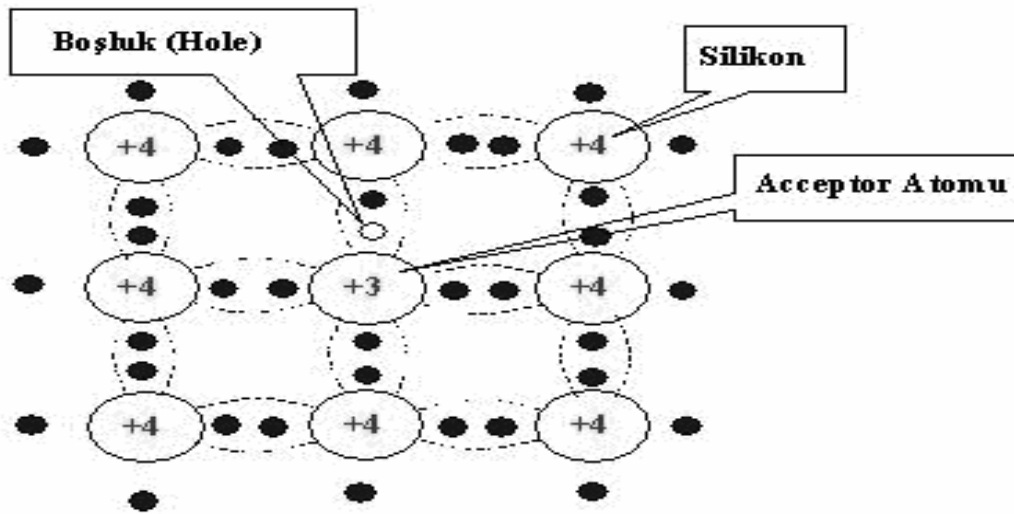
Ergimiş halde bulunan Ge'a (milyonda bir) arsenik ilave edilirse, her arsenik atomu, bir Ge atomu yerini alacak ve 4 elektronuyla kovalant bağ teşkil edilecek, 5. valans elektronu serbest kalıp iletkenliği temin edecektir. İletkenlik (-) yükü temin edildiği için N tipi yarı iletken ismini alır. Bu elektronlar, oda sıcaklığında, iletkenlik bandına ulaşır.



Şekil 2.4 N Tipi Yarı İletken

2.2.3. P tipi yarı iletken

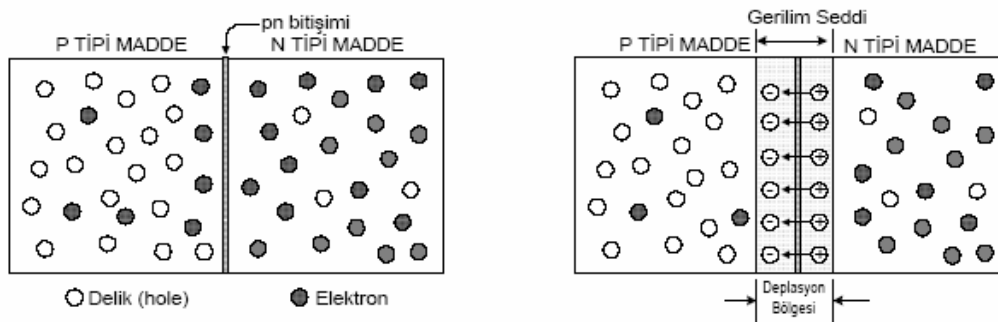
Ergimiş germanyuma, III. gruptan üç valans elektronu bulunduran elemanlar ilave edilerek yapılır (İndium, Galyum,vb). Katılma sırasında indium atomları kristal örgü içinde Ge atomunun yerini alır. Kovalent bağ için 3 elektron mevcuttur ve komşu atomdan bir elektron kaparak bağ oluşturur. Komşu atomda bir boşluk oluşmuştur. Bu ise elektron hareketine sebep olur. Bir yarı iletkenin kullanılabilme maksimum sıcaklığı, aktivasyon enerjisiyle artar. Kullanabilme maksimum frekansı, yük taşıyıcıların hareketliliği ile artar.



Şekil 2.5. P Tipi Yarı İletken

2.2.4 P – N kavşağı

Bir monokristal yarı iletkenliğinin P tipinden N tipine geçiş bölgesidir. Bu bölge kristalleşme sırasında oluşturulur. N bölgesinde, termik uyarımla azınlıkta olan boşluk ve çoğunlukta olan elektron yükleri ve (+) iyonize atomlar vardır (Bkz. Şekil 2.6).

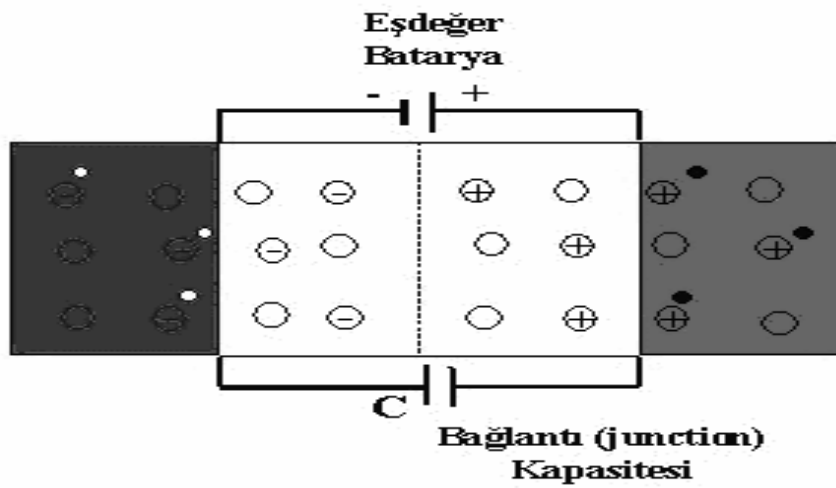


Şekil 2.6. P – N Kavşağının Oluşumu

P bölgesinde ise, negatif iyonize atom, termik uyarımla bulunabilen azınlık elektron ve çoğunluk elektron boşlukları vardır. İki eleman temasa geçirildiğinde, N bölgesindeki elektronlar (çoğunlukta) P tipi bölgeye hareket eder. P bölgesindeki elektron boşlukları da N bölgesine hareket eder. Böylece N tipi bölgedeki atomlar (+), P tipi bölgedeki atomlar (-) olarak iyonlaşmış olur. Bunlar,

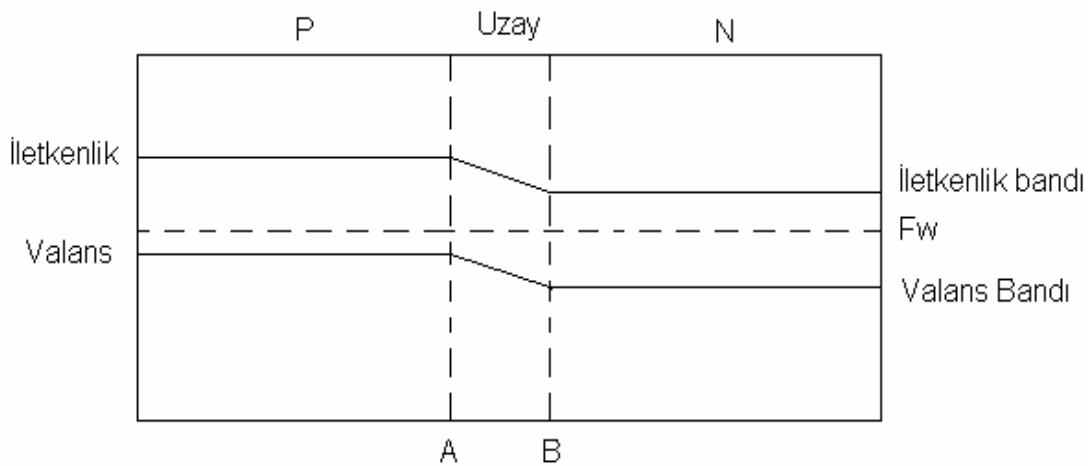
kristal içinde sabit yük merkezleri oluştururlar. Kavşağın her iki yüzünde iyonize olmuş atomlar, kristal içinde, yönü N'den P'ye doğru olan bir elektrik alan meydana getirirler.

Bu bölge geçiş bölgesidir ve serbest yükler yoktur. Kavşaktaki bu potansiyel farkı, P'den N'ye geçecek boşluklar ve N'den P'ye geçecek elektronlar için bir potansiyel duvarı teşkil eder. N'den ayrılacak bir elektron, arkasında kendini geri çağırarak bir boşluk bırakır ve önündeki P tipi bölgedeki (-) yükler elektronu püskürtür (Bkz. Şekil 2.7.) [7].



Şekil 2.7. P – N Kavşağı ve İç Akım

Özet olarak, P-N kavşağında meydana gelen elektrik alan, kavşak civarındaki elektronu, P'den N'ye doğru iter (N'deki elektronu geri püskürtür, P'deki elektronu N'ye iletir). Kavşağın enerji bandı, Şekil 2.8.'deki gibidir [8]. N bölgesinde, valans ve iletkenlik bandı enerjileri, P'dekilerden düşüktür.



Şekil 2.8. P – N Kavşağında Enerji Bandı

Enerjisi yeterli bir ışık demeti ($h.f > E_g$, h Planck sabiti, f frekans), P-N kavşağı üzerine düşürüldüğü zaman, foton elektronlarla karşılaşır enerji verebilir. Serbest elektronlar, valans elektronlarının ancak $1/10^4$ kadarı olduğundan, bu ihtimal zayıftır. Foton, muhtemel valans elektronu ile karşılaşır ve ona enerjisini bırakarak iletkenlik bandına çıkarır. Elektron, arkasında bir elektron boşluğu bırakır.

Olay A-B aralığında ise; elektron, oluşan elektrik alanla N bölgesine, boşluk da P bölgesine itilir. Olay kavşağa yakın N bölgesinde oluşmuşsa, boşluk yine P bölgesine götürülür. Kavşaktan uzakta oluşan elektron boşluk, zamanla birbirini bulacaktır. Sonuç olarak P tipi bölge (+), N tipi bölge (-) yüklenmiş ve bir potansiyel doğmuştur.

2.2.5. Yarı iletkenlerin katkılanması

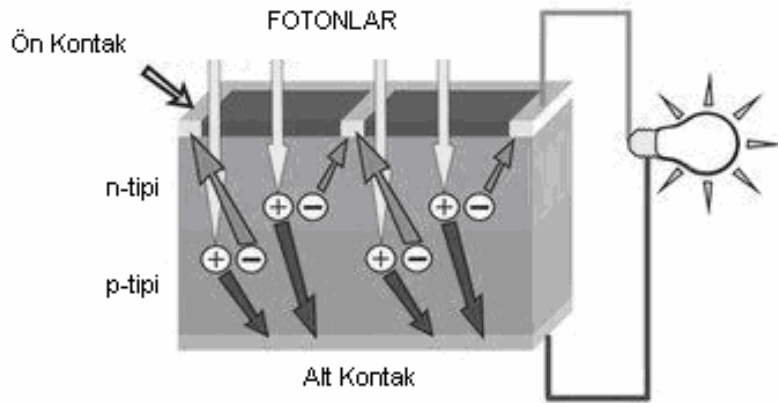
Yarı-iletkenin malzemenin içerisine, çok az tutarda uygun seçilmiş yabancı atom katkılanması ile yarı-iletkenin elektriksel özellikleri önemli ölçüde değiştirilebilir. Saf yarı-iletkenin yapısal özelliklerini bozmayacak tutarda ve denetimli bir biçimde yarı-iletken kristale yerleştirilen yabancı atomlara “safsızlık-atomları” ve bu işlemede “katkılama” adı verilir.

Katkılamayı daha iyi açıklamak için çoğunlukla kullanılan örnek silisyum kristalidir. Saf silisyum kristalinde her atom 14 elektrona sahip olmakla birlikte, en dış yörüngedeki dört elektron, komşu atomlarla olan ilişkileri belirler. Değerlik elektronları adını verdiğimiz bu dört elektronun her biri, en yakınındaki dört silisyum atomu ile bağ yaparak silisyum kristalindeki ana yapı taşı oluşturur. Ana yapı taşı, küpün merkezindeki bir silisyum atomu ve küpün birbirine komşu olmayan köşelerinde birer silisyum atomu yerleşmesi ile kurulur. Silisyum kristali bu yapı taşlarının yinelenerek uzayı doldurması ile oluşur.

Saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı beş olan fosfor atomu katkılanırsa, fosfor atomu, silisyum atomunun yerine oturup dört değerlik elektronu ile silisyum daha önce kristal içerisinde yaptığı bağları sağlar iken, fosforun beşinci değerlik elektronu açıkta kalacaktır. Fosfor atomuna çok zayıf olarak bağlı olan bu elektron çok küçük bir enerji ile atomundan ayrılarak silisyum kristalinin iletkenlik bandına çıkacaktır. Fosfor atomunda olduğu gibi, katıldığı kristal yapıya elektron veren safsızlık atomlarına verici denir. Bu şekilde katkılanmış yarı-iletkenlerde elektriksel yük, elektronlar ile, iletkenlik bandında taşınır ve bu nedenle bu yarı-iletkenler n-tipi olarak sınıflandırılır. Saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı üç olan boron atomu katkıladığımızı düşünelim . Silisyum atomunun yerini alan boron atomu, silisyum kristalindeki üç atomla bağ yaparken dördüncü atomla paylaşacağı elektronu olmadığı için, bir eksik bağ ortaya çıkacaktır. Değerlik bandının kıyı enerjisine yakın bulunan bu enerji düzeylerine çok küçük enerjilerle bile değerlik bandından elektronla doldurularak değerlik bandında boşluklar oluşacaktır. Bu şekilde katkılanmış yarı-iletkenlerde değerlik bandındaki boşlukların sayısı iletkenlik bandındaki serbest elektron sayısından daha çok olduğundan, çoğunluk taşıyıcıları artı yükleri gibi düşünülen boşluklardır. Boşlukların çoğunluk taşıyıcısı olduğu bu tür malzemelere p-tipi yarı-iletken adı verilir. Yarı iletken ister n-tipi isterse p-tipi olsun kendi içlerinden nötürdür. Yani dışarıya karşı herhangi net bir elektrik yükü göstermezler; ancak, dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında elektrik alana tepki veren çoğunluk taşıyıcılarıdır. N-tipi yarı-iletkendeki çoğunluk taşıyıcıları elektronlar ve azınlık taşıyıcıları boşluklar, p-tipi yarı iletkende rol değiştirirler. Elektronlar elektrik alan ile ters yönde hareket ederken, boşluklar elektrik alan doğrultusunda hareket ederler.

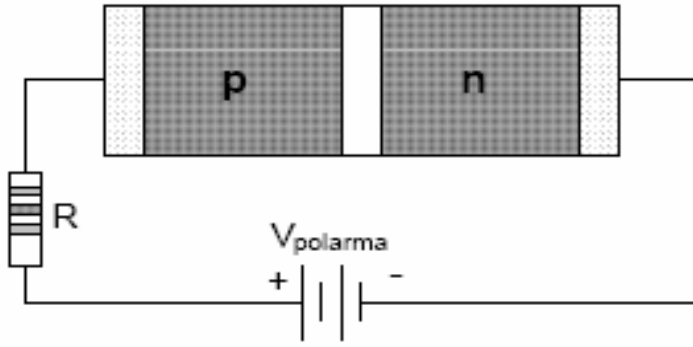
2.2.6. Güneş pili eşdeğer şeması

Bilindiği gibi, güneş pili bir yarı iletken düzendir. Çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlardan oluşan N tipi ile çoğunluk yük taşıyıcıları oyuklardan oluşan P tipi yarı iletken yan yana getirilir. Işık enerjisi bu birleşme noktasına düşürülürse dış devreden bir akım geçebilmektedir (Şekil 2.9).



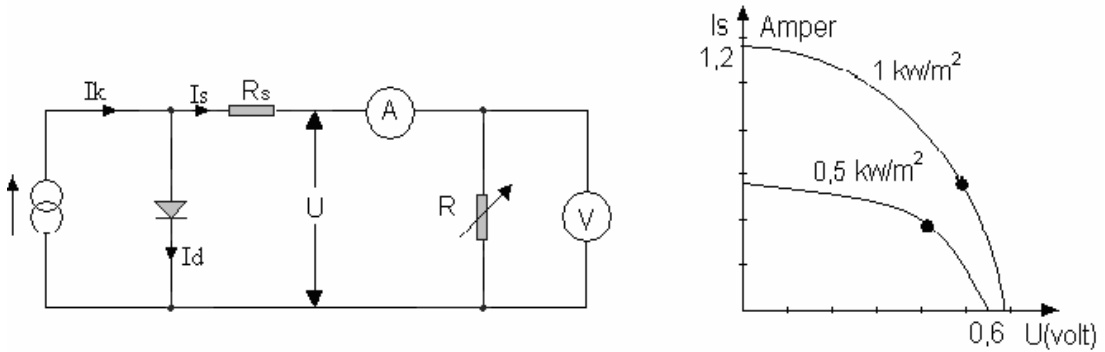
Şekil 2.9. Güneş Pili

P-N yarı iletken kavşağında, elektronlar P tipi bölgeye geçerek birleşme yüzeyine yakın bölgelerde boşluk yük taşıyıcıdaki elektron eksikliğini tamamlayıp (-) iyonlar oluştururken N tipi bölgede de (+) iyon duvarı oluşacaktır. Dış tesir olmazsa bu enerji duvarı akımın geçmesini önleyecektir. Işın demeti bu bölgeye düşerse, yük taşıyıcı elektronlar çok az oranlarda olduğundan, muhtemelen bir valans elektrona enerjisini bırakacak ve onu P tipi bölgeye doğru itecektir. Dış devre akımı ise P'den N'ye doğru olacaktır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. P – N Kavşağının Oluşturulması ve Kavşağa Düşen Foton Enerjisi ile İletkenlik Temini

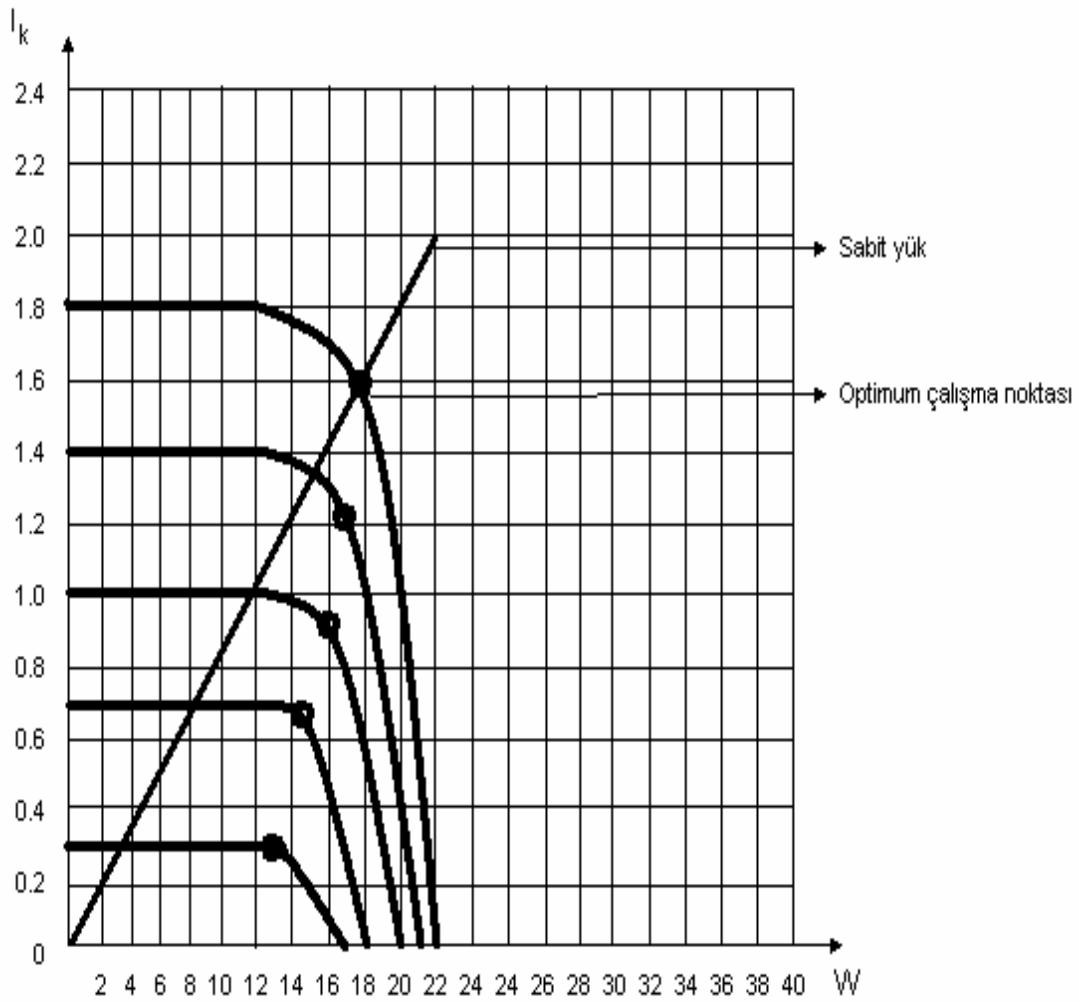
Bir güneş pilinde N tipi bölgede elektron üreten bir elektromotor kuvveti düşünülebilir. Şekil 2.11’de fiziksel eşdeğer devre görülmektedir. Devre elemanları bir elektromotor kuvvet, bir iç diyot ve bir iç direnç şeklinde sembolize edilebilir.



Şekil 2.11. Güneş Pili Eşdeğer Elektrik Şeması

Güneş pilleri, belli güneşlenme şartlarında, birim alan başına belirli bir akım ve voltaj üretirler. İstenen bir enerji için bir çok pili seri ve paralel olarak bağlamak gerekir. Böylece güneş panelleri oluşturulur. Şekil 2.11’de eşdeğer şeması verilen güneş pilinde dış devre akım şiddeti ve uçlardaki gerilim ölçülebilir. Ayarlanabilir bir dış dirençle, gerilim ve akım açık devreden kısa devreye kadar değiştirilerek Şekil 2.12’deki gerilim akım şiddeti eğrileri elde edilebilir. 1 cm²’lik pil güneşlenme alanı için ışınım şiddeti 0.5 – 1.0 kw/m² arasında değişirken, optimum çalışma noktaları ve sabit yük eğrisi bu şekilde gösterilmiştir.

Ölçümler 27°C sıcaklıkta yapılmış olup yüzey sıcaklığı arttıkça gerilim düşer. Akım şiddeti, güneş ışınım yoğunluğu ve pil ışınım alanı ile orantılı olarak değişir. Sıcaklığın voltaja tesiri $0.022 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$ oranında olmaktadır. Şekil 2.12'de 40 adet seri bağlanmış $10 \times 10 \text{ cm}$ ebadında pilin, 1 kw/m^2 ışınım şartlarında akım şiddeti gerilim karakteristiği değişik sıcaklıklar için verilmiştir.

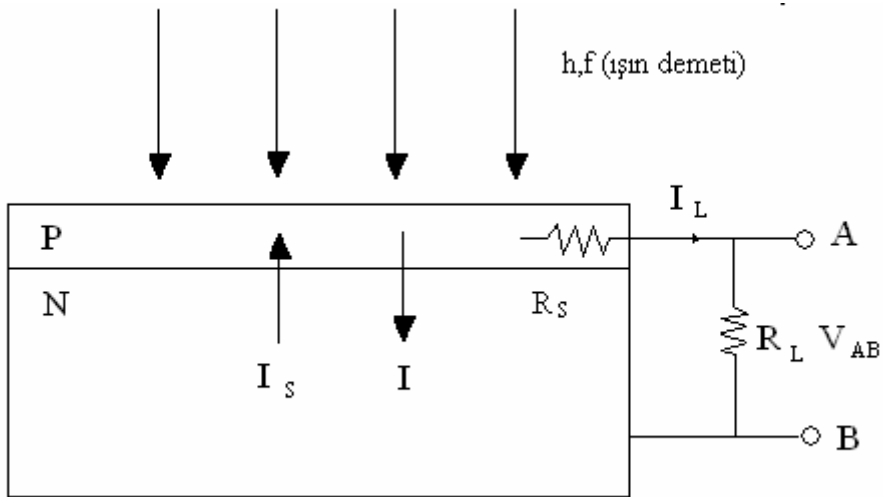


Şekil 2.12. 34 Wattlık Bir Güneş Pilinde Akım-Gerilim Eğrileri (Yüzey Sıcaklığı 27°C İçin)

2.2.7. Fotovoltaik pil

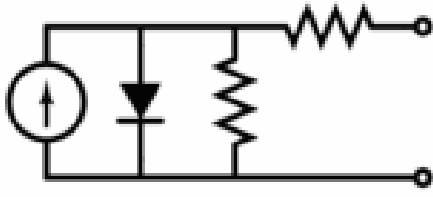
Şekil 2.13’de görüldüğü gibi, foton absorblanmasıyla yük taşıyıcılar çoğunlukta oldukları bölgelere sürüklenirler. Kavşaktan I_s akımı geçer ve N(-), P’de (+) yüklenmiş olur.

I_s akımı, kavşağın ileri yönde kutuplaşmasına ve kavşak potansiyel duvarının alçalmasına sebep olur. Dış devre açık ise (akım yoksa) P’den N’ye akım geçer ve kavşak potansiyel duvarı tekrar yükselir; P bölgesi (-), N bölgesi (+) yüklenir. Sonra tekrar foton absorblanarak olay devam eder. Bu durumda $I_s = I$ olur.



Şekil 2.13. Fotovoltaik Pilin Yapısı

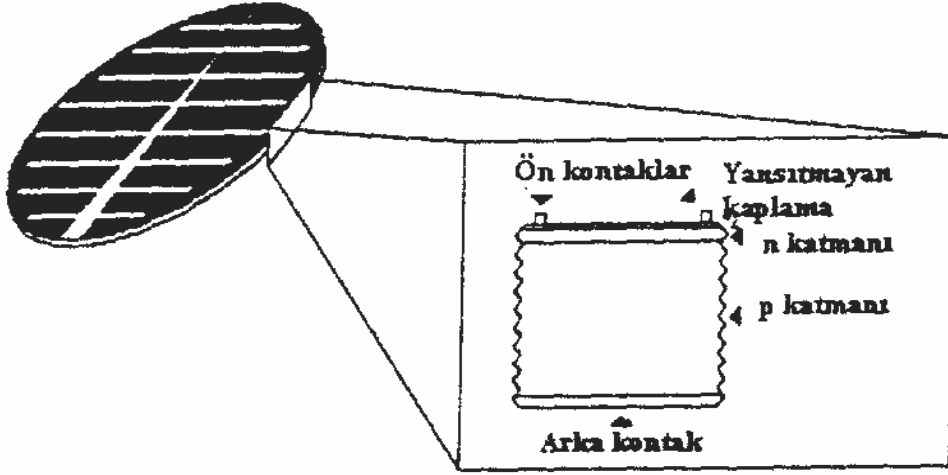
Dış devreden akım geçerse $I_s = I - I_L$ olacak şekilde dışarıya elektrik enerjisi alınır. Şekil 2.14 ‘de bu pilin elektrik eşdeğer devresi görülmektedir. En yüksek foton enerjisi yeşil ışık için $h.f = 2.5$ eV civarındadır. P-N kavşağındaki temas potansiyeli, elektronları daha yüksek potansiyele çıkaran batarya rolü oynamaktadır.



Şekil 2.14. Fotovoltaik Pil Eşdeğer Elektrik Devresi

2.3. Güneş Pillerinin Çalışma İlkeleri

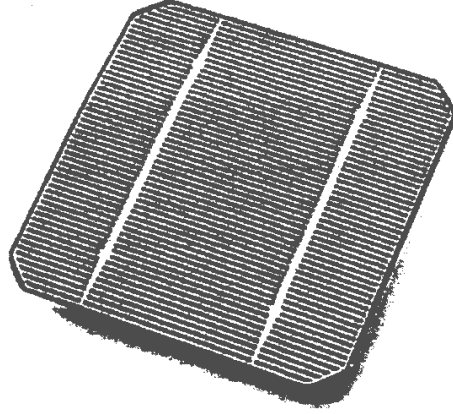
Başka malzemeler kullanılıyor olsa bile, günümüzde, pek çok güneş pili silisyumdan yapılmaktadır. Güneş pilinin üzerine güneş ışığı düştüğünde, silisyum atomunun son yörüngesindeki valans elektronu negatif yükler. Işık foton denilen enerji partiküllerinden oluşmuştur. Fotonları saf enerjiden oluşmuş bilardo toplarına benzemek olasıdır ve bunlar bir atoma çarptıklarında tüm atom enerjilenir ve en kolay kopabilecek durumda olan son yörüngedeki valans elektronu kopar. Serbest kalan bu elektronda, voltaj veya elektriksel basınç olarak isimlendirebileceğimiz potansiyel enerji ortaya çıkar. Bu enerji, bir aküyü şarj etmek veya bir elektrik motorunu çalıştırmak için kullanılabilir. Önemli olan nokta, bu serbest elektronları pil dışına alabilmektir. Üretim sırasında, pilin ön yüzeyine yakın yerde bir iç elektrostatik bölge oluşturularak, bu elektronun serbest duruma geçmesi sağlanır. Silisyum kristali içine diğer elementler yerleştirilmiştir. Bu elementlerin kristal içinde bulunması, kristalin elektriksel olarak dengede olmasını önler. Işıkla karşılaşan malzemedde, bu atomlar dengeyi bozar ve serbest elektronları diğer pile veya yüke gitmeleri için pilin yüzeyine doğru süpürürler. Milyonlarca foton pilin içine akarken, enerji kazanıp bir üst seviyeye çıkar, elektronlarda pil içindeki elektrostatik bölgeye ve oradan da pil dışına akarlar. İşte bu oluşan akış elektrik akımıdır.



Şekil 2.15. Güneş Pilinin Yapısı

2.3.1. Güneş pillerinin yapısı

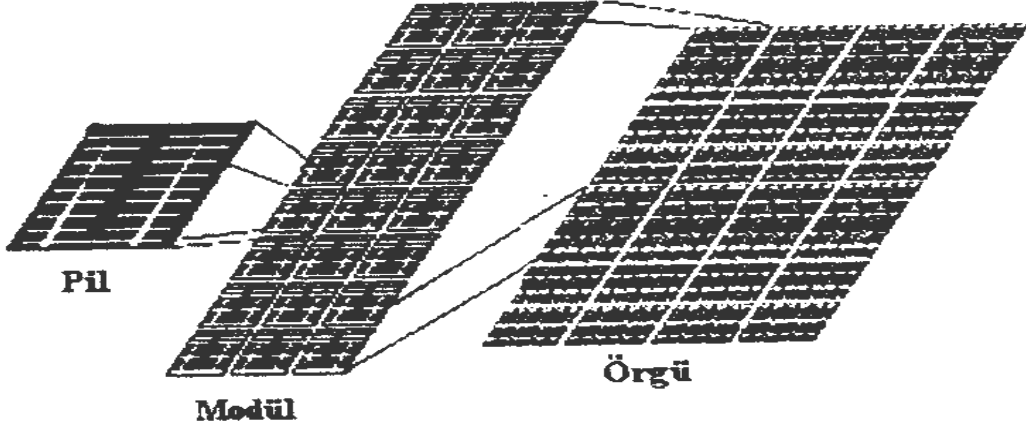
Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gramdan azdır. Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Kontakların altında 150 mm kalınlığında, yansıma özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ısınımın üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Bu kaplama tabakası, pil yüzeyinden olan yansımaları önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde dizayn edilmiştir. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı, iki farklı katman halindedir. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında, P-N kavşağı denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır [9].



Şekil 2.16. Tipik Bir Silisyum Güneş Pili'nin Ön Yüzü

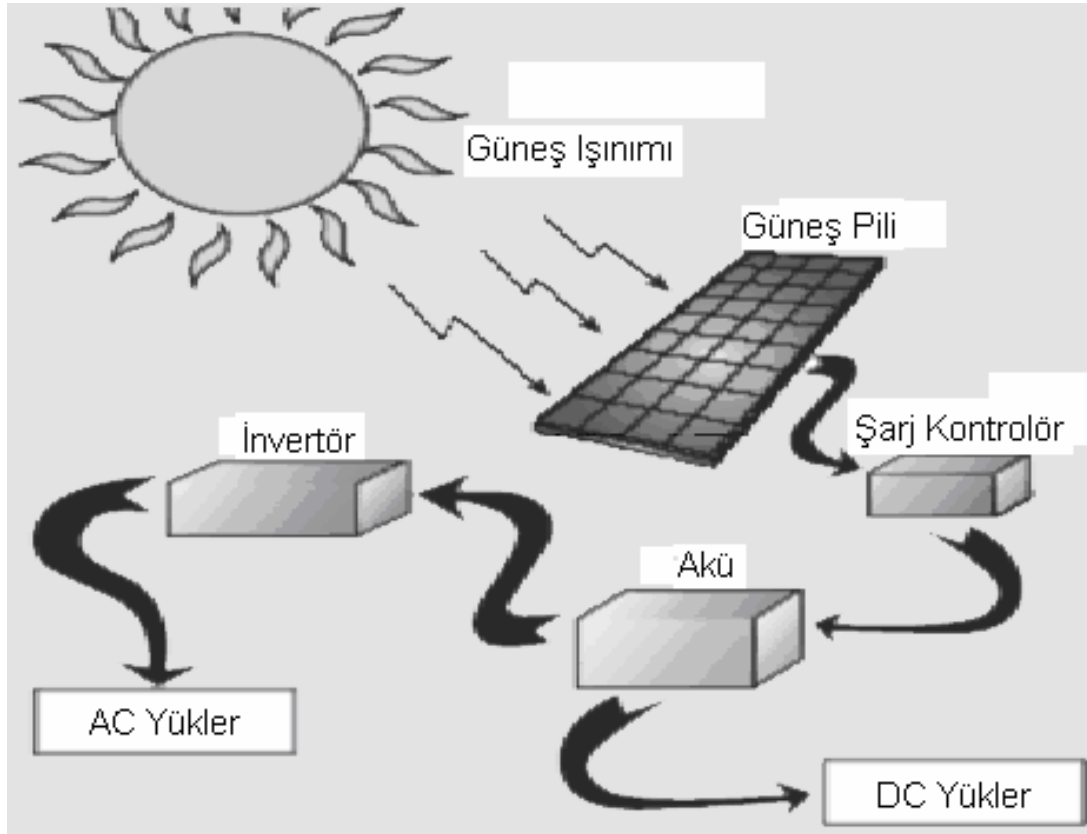
Üretilen piller, standart test koşullarında test edildikten sonra, tüketiciye sunulmaktadır. Ortam sıcaklığı 25°C ortalama ışınım şiddeti 1000 W/m^2 ve Hava-Kütle oranı 1,5 olarak test koşulları belirlenmiştir. Hava-kütle oranı, güneş ışınımının geçirilme oranını gösteren atmosfer kalınlığıdır. Güneşin tam tepede olduğu durumda, bu oran, 1 olarak alınır. Atmosfer tarafından emilen ışınımın oranına bağlı olarak, pilin üreteceği elektrik miktarı da değişeceğinden, bu oran önemli bir parametredir.

Tipik bir silisyum güneş pili, 0.5 volt kadar elektrik üretebilir. Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim değerini arttırmak olasıdır. Genellikle, 30-36 adet güneş pili, 15-17 voltluk bir çıkış gücü vermek için birlikte bağlanabilir, ki bu voltaj değeri de, 12 voltluk bir aküyü şarj etmek için yeterlidir. Farklı çıkış güçleri verecek şekilde imal edilmiş, farklı büyüklüklerde güneş pilleri bulmak olasıdır. Silisyum pillerin seri bağlanması ile modüller, modüllerin birbirine bağlanması ile örgüler oluşur (Bkz. Şekil 2.17). Her modül, paralel veya seri bağlanabilmesine olanak verecek şekilde, bağlantı kutusuyla birlikte dizayn edilir.



Şekil 2.17. Pillerden Modül ve Örgülerin Yapılması

Güneş pilinin kolayca kırılabilmesi ve ürettiği gerilimin çok düşük olması gibi, sakıncalarının giderilmesi gerekir. Pillerin birbirlerine bağlanması ile oluşan modüller koruyucu bir çerçeve içine alınmışlardır ve kullanılacak düzeyde gerilim üretirler. Modülde bulunan pil sayısı, çıkış gücünü belirler. Genellikle, 12 voltluk aküleri şarj etmek için 30-36 adet silisyum güneş pilinin bağlanması ile bir modül oluşsa bile, daha yüksek çıkış güçleri için daha büyük modüller yapılabilir. En basit sistem, bir modül ve buna bağlı bir akü veya elektrik motorundan oluşmuş bir sistemdir(Bkz. Şekil 2.18.) [9].



Şekil 2.18. Güneş pili ile akünün şarj edilmesi

Modüllerin fiziksel ve elektriksel olarak bir araya getirilmesi ile oluşan yapıya panel adı verilir. Bir modülden elde edilen gücü arttırmak için başvurulan bir yapılanma biçimidir. Bu şekilde, çıkış gücü, 12, 24, 48 V veya daha yüksek olabilir. Birden fazla panelin kullanıldığı bir sistemde, paneller, kontrol cihazına veya akü grubuna, birlikte bağlanabilecekleri gibi, her panel tek olarak da bağlanabilir. Bu durumda, bakım kolaylığı olacaktır.

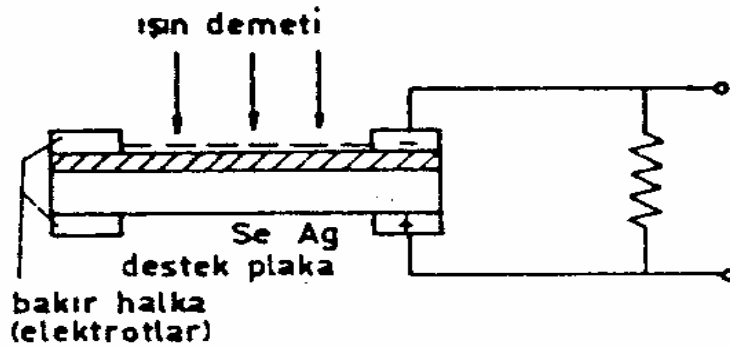
Sistemde kullanılan, fotovoltaik üreteçlerin tümünün oluşturduğu yapıya ise örgü denilmektedir. Örgünün çok büyük olduğu uygulamalarda, daha kolay yerleştirme ve çıkış kontrolü için sistem, alt-örgü gruplarına ayrılabilir. Örgü, bir modülden oluşabileceği gibi 100.000 veya daha fazla modülden de ulaşabilir.

2.4. Güneş Pili Çeşitleri

Bakır – bakır oksit ve gümüş yarı iletkenleri ile yapılan güneş pilleri, selenyum pilleri ve silisyum güneş pilleri en çok kullanılanlarıdır.

2.4.1. Selenyum güneş pili

Saf selenyum, alkali metallere veya klor, iyot gibi halojenlerle karıştırılıp P tipi yarı iletken oluşturulur. Bunun üzerine iyi iletken ve yarı iletken / yarı geçirgen bir gümüş tabaka birkaç mikron kalınlığında kaplanarak P-N kavşağı oluşturulur. Şekil 2.19’da bir selenyum güneş pilinin yapısı görülmektedir. Bu pillerin 50 °C’nin üzerinde kullanılmaları tavsiye olunur.



Şekil 2.19. Selenyum Güneş Pilinin Yapısı

2.4.2. Silisyum güneş pili

Uzay araştırmalarında kullanılan pillerin çoğu bu türdendir. Silisyum SiO_2 halindeki kumdan elde edilir. Küçük bir kristal özünüm, eritilmiş potaya daldırılır. Belli hızda döndürülerek potadan çıkarılırken soğuması temin edilir ve kristalin büyütülmesi ile güneş pili elde edilir. Eriyik içine P tipi yarı iletkenlik malzemeleri katılır. P tipi kristaller dilimler şeklinde kesilir. Sıcaklığı kontrol edilen P_2O_5 ‘li difüzyon fırınında N tipi yarı iletkenle 10^{-4} - 10^5 m. derinliğe kadar difüzyon temin edilerek P-N kavşağı oluşturulur.

Silisyum pilleri germanyumla yapılan pillere göre, daha büyük açık devre direnci sağlar. Buna karşı silisyumlu pillerin spektral cevabı daha azdır ve kızılötesi ışıklara kadar uzanmaz. Akkor ışık kaynağı kullanılması halinde, Ge uçlarındaki gerilim küçük olmasına rağmen daha büyük akım sağlar. Güneş ışınları için ise silisyum pil daha uygundur.

BÖLÜM 3. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ

Güneş pili teknolojisi, kullanılan maddeler ve yapım türleri açısından son derece zengindir. Güneş pili yapımı için şu anda kullanılmakta olan bir düzineden fazla maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde çalışılmaktadır. Belli başlı güneş pili türleri aşağıda anlatılmaktadır [10].

3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Silisyum yarı iletken özellikleri tipik olarak gösteren ve güneş pili yapımında en çok kullanılan bir maddedir ve uzun yıllarda bu konumunu koruyacak gibi görünmektedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojisinin üstünlüğü nedeniyle hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir.

3.2. Monokristal Silisyum Güneş Pilleri

İlk ticari güneş pillerinde, CHROZALSKÍ kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapılı silisyum kullanılmıştır. Fotovoltaik endüstride hala en çok kullanılan yöntem olan bu teknikte öncelikle ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra silisyum eriyiğe çekirdek denen tek kristal yapılı bir silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olur olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu, iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Verimleri %15 civarındadır. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajıdır.

3.3. Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Güneş Pilleri

Bu tip piller, sıvı silisyumun soğutulmasıyla elde edilen kümelenmiş küçük silisyum kristallerinden oluşur. Bu pillerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır.

3.4. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Çeşitli yöntemlerle (Efg, Dendritik ağ) elde edilen bu piller, halen geliştirme aşamasındadır. Verimleri laboratuvar şartlarında %13-14 arasındadır.

3.5. Polikristal Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller de ribbon silisyum teknolojisiyle yapılıp, yapıları polikristal özellik gösterir. Halen laboratuvar aşamasındaki bu pillerin verimleri %10'dur.

3.6. İnce Film Güneş Pilleri

Bu teknikte, absorban özelliği daha iyi olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta (tek kristalin 1-500'ü kalınlığında) güneş pilleri yapılır. Örneğin amorf silisyum güneş pillerinin absorpsiyon katsayısı kristal silisyum güneş pillerinin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0.7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile absorblanabilirken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu absorblamak için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapılı güneş pillerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı nedeniyle bir avantaj sağlar.

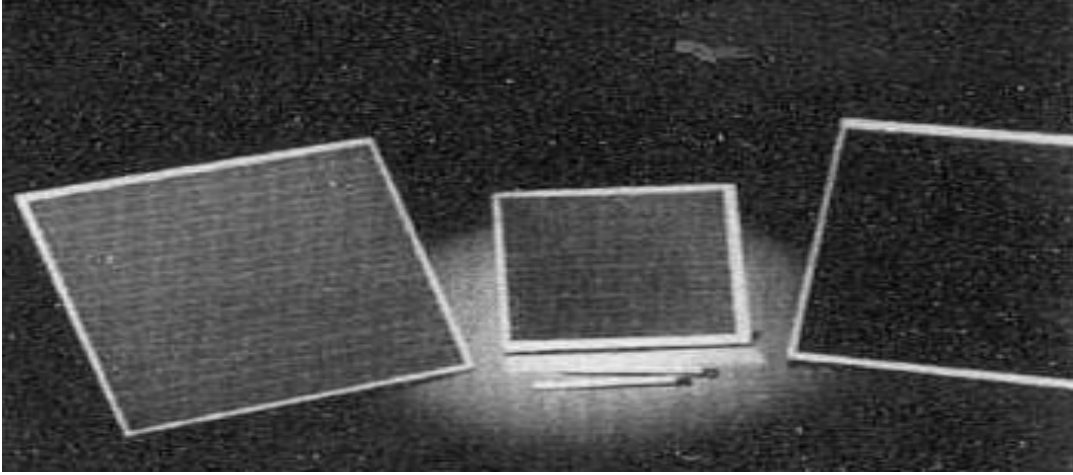
3.7. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silisyum güneş pilleri (a-Si), ince film güneş pili teknolojisinin en önde gelen örneğidir. İlk yapılan a-Si piller Schottky bariyer yapısında iken, daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. P-i-n yapısındaki pillerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır, bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Verimleri %5-8 arasındadır. Ancak bu piller, kısa zamanda bozunuma uğrayarak çıkışları azalır.

3.8. Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı gruptan elementlerin üçüncünün yada daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumunu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyum dan yapılan üçlü bileşik yarı-iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. CdTe güneş pillerine en yakın rakip olarak gözükmektedir. Bu gün CIS ince film güneş pillerinin çoğunluğu içerisinde Ga elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikler elde edilir. Ancak yarı-iletkeni oluşturan element sayısı artıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuardaki küçük alan pillerin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri ancak %15 dolayındadır. CIS pillerde uygulanan teknolojilerden iki tanesi öne çıkmıştır. Bunlardan birincisi, elementlerin eş zamanlı olarak vakumda buharlaştırılmasıdır. İkinci yöntem, herhangi bir yöntemle büyütülen bakır-indiyum ince film alaşımının uygun bir ortamda selenyumla tepkimeye sokulmasıdır (Selenizasyon). Her iki durumda da soğurucu olarak kullanılan CIS yarı-iletken, CdS ile bir araya getirilerek heteroeklem diyot oluşturulur. CdS tabakaların üretilmesinde ortaya çıkan yöntem CdTe tabakalarında olduğu gibi burada da kimyasal banyo yöntemidir. Metal elementlerin buharlaştırılmasının ardından selenizasyonu seçen ISET, Shell-Showa ve Siemens Solar gibi firmalardan Siemens Solar 5-10watt değerinde küçük modül üretiminde ABD başlamıştır. CIS tabakaların büyütülmesinde Stuttgart Üniversitesi (Almanya)

tarafından geliştirilen ve yine bir alman firması olan ZSW tarafından üretime hazır hale getirilen eş zamanlı olarak vakumda buharlaştırma yöntemi üretim yöntemlerinden birisidir. Bu ince film güneş pillerinde test altındaki uzun dönem modül verimlilikleri %10 değerinin altında kalmaktadır.



Şekil3.1. Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri

3.9. Diğer Yapılar

Bakır indiyum diselenoid (CuInSe_2) maddesinden yapılan ve verimleri %13 civarında olan piller halen gelişme aşamasındadır ve daha kararlı çıkışa sahip olduğu için absorban özelliği yüksek, verimleri de %12 civarındadır. Bu güne kadar elde edilen en yüksek verime (%24) galyum arsenitten yapılan piller ulaşmıştır. Bu madde ile çeşitli türde piller elde edilebilmekle birlikte, pahalı olduğu için pillerin, güneş spektrumunun daha büyük bir bölümünden yararlanabilmesi amacı ile denenen bir yöntem ise, birden fazla ince film yapısının üst üste konmasıyla elde edilen çok eklemlili film yapılarıdır. Bunların dışında, güneş ışınımının yüksek verimli pillerin üzerine optik olarak yoğunlaştıran sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde güneşin hareketini izleyen düzeneklerin yanı sıra, güneş ışığını kıran (mercek) ya da yansıtan (ayna) eleman kullanılır.

BÖLÜM 4. GÜNEŞ PİLİ GÜÇ VERİMLİLİKLERİ VE GÜNEŞ PİLİ KULLANIM ALANLARI

4.1. Güneş Pili Güç Verimlilikleri

Fotovoltaik güneş pillerinin sürekli gelişimlerine bağlı olarak verimliliklerinin özetlendiği çizgilerin geçerlilik süreleri oldukça kısa olmaktadır. Ancak, karşılaştırılmalı bir kaynak olması amacı ile Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan en yüksek verimlilikleri gösteren özet aşağıdaki tabloda verilmiştir [11].

Tablo 4.1. Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler

Fotovoltaik Pilin Cinsi	Alan (cm ²)	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4,00	24	UNSW, Sydney Avustralya
Çok kristalli Silisyum	21,2	17,4	ISE, Freiburg, Almanya
Amorf Silisyum	1	14,7	United Solar
Cu/In, Ga)Se ₂	0,4	17,7	NREL, USA
CdTe/CdS		15,8	USA
GaAS Tek kristal	1	23,9	K.Univ, Nijmegen Hollanda

Güneş pili yapımında kullanılan malzemenin rezerv durumları da oldukça önemli değişkenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Silisyum, doğada en çok bulunan element olması nedeni ile rezerv konusunda geleceğe yönelik bir sorun yoktur. Diğer seçenек malzemeleri oluşturan elementlerin rezerv durumları dünyadaki yıllık üretim ve 500MW güç üretimi için gerekli miktar Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Güneş pili yapımında kullanılan maddelerin dünya rezervleri ve üretimi

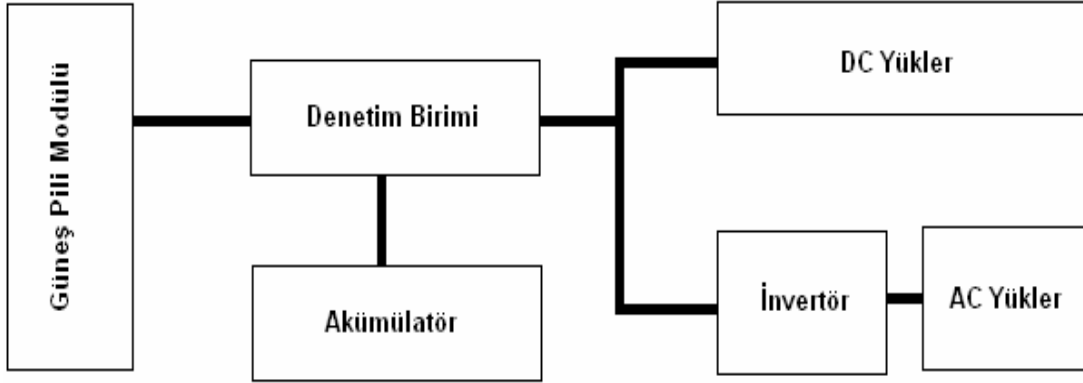
Element	Dünya Rezervleri	Dünya Yıllık Üretimi	500MW güç için gereken miktar Ton
CD	970 000	20 000	25
Te	39 000	404	28
In	5 700	180	25
Se	130 000	2000	60
Ga	1 000 000	35	5

4.2. Güneş Pili Kullanım Alanları

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler yada başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmalari da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı yada yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç

noktası izleyici cihazı bulunur. Aşağıda şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması verilmektedir [12].



Şekil 4.1. Güneş pili enerji sistemi

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir. Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi yada dışı aydınlatma
- Dağ evleri yada yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama yada ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri

- Deniz fenerleri
- İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma

4.2.1. Dünyadaki güneş pili uygulamaları

Gelişmekte olan ülkelerde kurulan sistemler genellikle evlerde ve kamu binalarında kurulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise; güvenlik, cadde ve tünel aydınlatması gibi daha özel uygulama alanları bulmaktadır. Dünyanın çeşitli yerlerinde 10.000'den fazla su pompaj sistemi kurulmuş ve başarıyla işletilmektedir. Güneş pili ile çalışan 2000 civarında aşı soğutucusu kullanılmaktadır.

Yukarıda saydığımız uygulamalar küçük güçlü ve şebekeden bağımsız uygulamalardır. Günümüzde gelişmiş ülkelerde giderek yaygınlaşan uygulama ise şebeke bağlantılı sistemlerdir. Bu tür sistemlerde güneş pilleri ile üretilen elektriğin fazlası elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur. Yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir. Depolama maliyetini ortadan kaldırdığı için bu sistemlerden üretilen enerji nispeten daha ucuzdur. Fakat konvansiyonel kaynaklarla karşılaştırıldığında halen pahalıdır.

Güneş pili pazarı yıllık %30 civarında bir hızla büyüme göstermektedir. 1997 yılında tahmini üretim 100 MW iken 1999 yılında 133 MW'a ulaşmıştır. Üretimin yaklaşık %90'lık kısmı sırasıyla ve yaklaşık eşit paylarla ABD, Japonya ve Avrupa ülkeleri tarafından yapılmakta, geri kalan %10 Hindistan, Cezayir, Brezilya gibi üçüncü ülkelerde gerçekleştirilmektedir. Güneş pillerinin dünyada kurulu gücü 1990-1995 yılları arasında her yıl yaklaşık %25 artmıştır. Bugün için dünyadaki kurulu gücün 800 MW'ın üzerinde olduğu bilinmektedir. Bu kapasite ile yılda 500 GWh elektrik enerjisi üretilmektedir [13].

4.2.2. Türkiye'deki güneş pili uygulamaları

Ülkemizde;

- Orman Bakanlığı orman gözetleme kuleleri, (175kW)
- Türk Telekom aktarma istasyonu,(135kW)
- Karayolları imdat telefonları
- EİE demonstrasyon uygulamaları ve çeşitli araştırma kurumlarında olmak üzere 350 kW civarında güneş pili kurulu gücü olduğu bilinmektedir.

4.2.3 Güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik analizi ve konvansiyonel enerji kaynaklarıyla maliyetlerin karşılaştırılması

Ekonomik açıdan güneş pillerinin ilk yatırım maliyeti yüksek kabul edilmektedir. Birim enerji maliyeti 25-40 cent/kWh civarında değişmektedir. Uygulamada fotovoltaiik elektriğin kullanımı, elektrik dağıtım sisteminin, yani şebekenin erişemediği yerlerde ekonomik olabilmektedir. Gelişmiş ülkelerde elektrik şebekesine bağlı PV sistemlere yönelim artmıştır. Henüz fosil kaynaklı santrallarda üretilen enerjiye göre pahalı enerji üreten sistemler olmasına rağmen temiz ve bakımsız sistemler olmaları ve akü gerektirmemeleri yönünden cazip sistemlerdir.

Son yıllarda akü masraflarının yüksek olmasından ve elektrifikasyonun büyük ölçüde sağlanmasından dolayı şebeke bağlantılı sistemlere yönelim artmıştır. Teknolojiyi izlemek açısından, 2 Haziran 1998' de ülkemizde ilk kez EİE İdaresi Genel Müdürlüğü Didim Güneş ve Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezinde 4.8 kW'lık, Ankara'da da 1.2 kW'lık şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri kurulmuştur. Günlük üretilen ortalama enerji; bir kW'lık sistem için 5 kWh civarındadır. Aşağıda EİE Didim'de kurulan şebekeye bağlı güneş pili sistemi Şekil 4.2'de ve bu sistemin özelliklerini gösteren Tablo 4.3'te yer almaktadır.



Şekil 4.2. EİE Didim şebekeye bağlı güneş pili sistemi

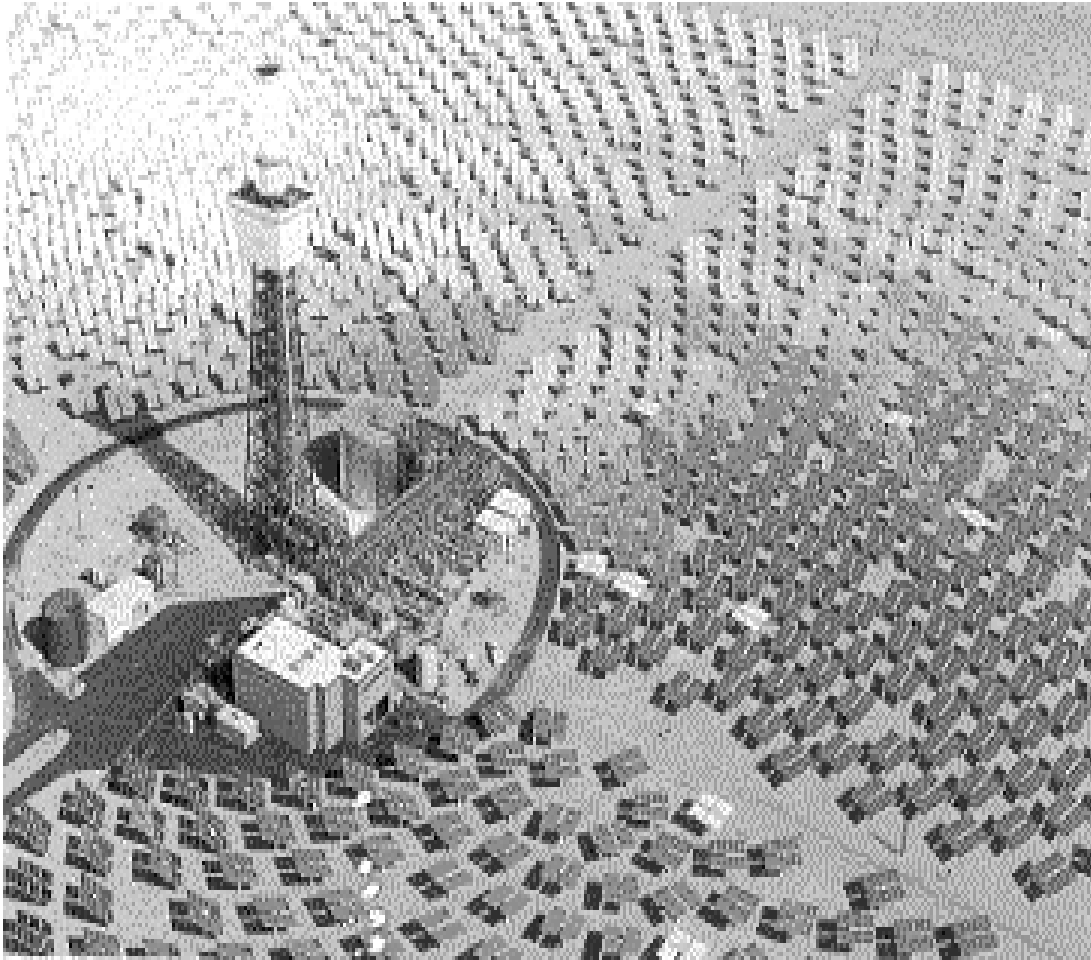
Tablo 4.3. EİE Didim şebekeye bağlı güneş pili sisteminin özellikleri

Toplam Güç	4,8 kWp (90 adet)
Ortalama Yıllık Üretim	5600 kWh
Günlük üretim	15-18 kWh
İnvertör	ASP Top Class Grid III/4000
Nominal ac güç	3500 W
Nominal dc Gerilim	96 V
Başlama Eşik değeri	25 W
Giriş gerilim Aralığı	72-145 V dc
Çıkış Gerilimi	195-256 V ac
Çıkış Frekansı	50 Hz
Maksimum Verim	% 94

Güneş pili üretiminde, gelişen teknoloji ile maliyetlerde geçmişe göre çok hızlı bir azalma görülmektedir. Bu alanda yapılacak Ar-Ge yatırımları, devletlerin bu çalışmalarını desteklemeleri ile geliştirilecek teknikler sonucu, fiyatların daha da düşeceği öngörülmektedir. Bugün güneş pillerinin fiyatları 5-6 \$/W'dır. Yıllık güneş pili piyasasının 500 milyon ABD doları ve güneş pili üretim kapasitesinin yıllık 50

MW olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakamlar, dnyadaki enerji kullanımı göz önüne alındığında küçük görünse de, gerek bu alandaki teknolojik gelişmeler, gerekse kullanım alanlarının giderek çeşitlenmesi ve çevre dostu bir enerji üretimi niteliği olması, bu alanda hızlı gelişmelerin beklendiğine işaretler olarak ortaya çıkmaktadır [13].

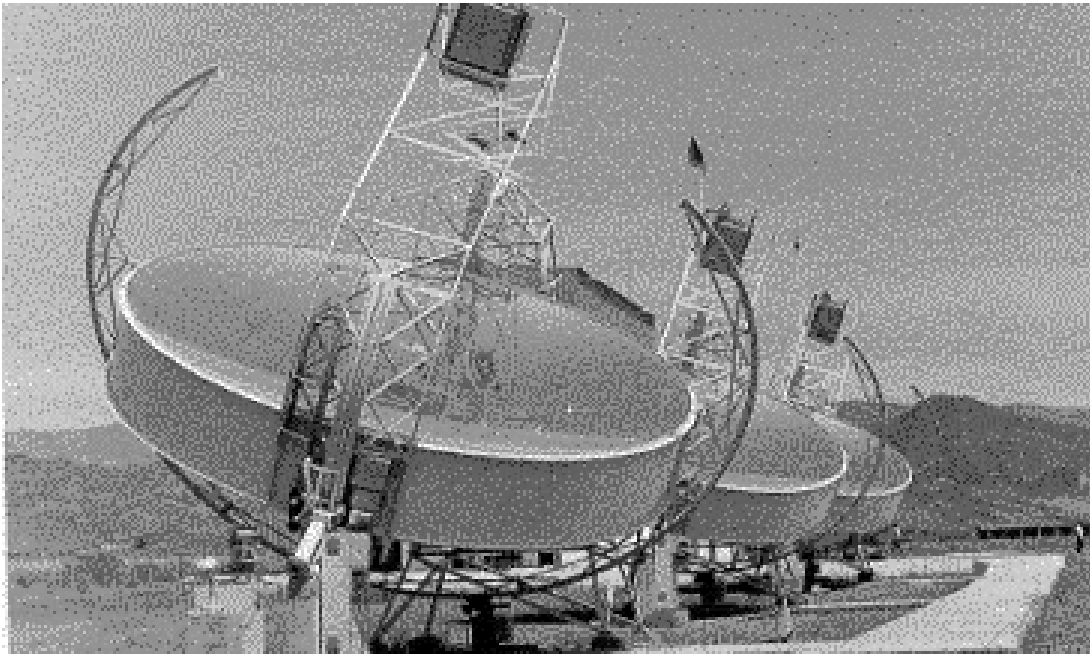
4.2.4. Güneş pili uygulama örnekleri



Şekil 4.3. Solar I Merkezi Alıcı Güneş Isıl Elektrik Santrali (İspanya) [14]



Şekil 4.4. Şebekeye Elektrik Veren Güneş Pili (PV) Sistemi [15]



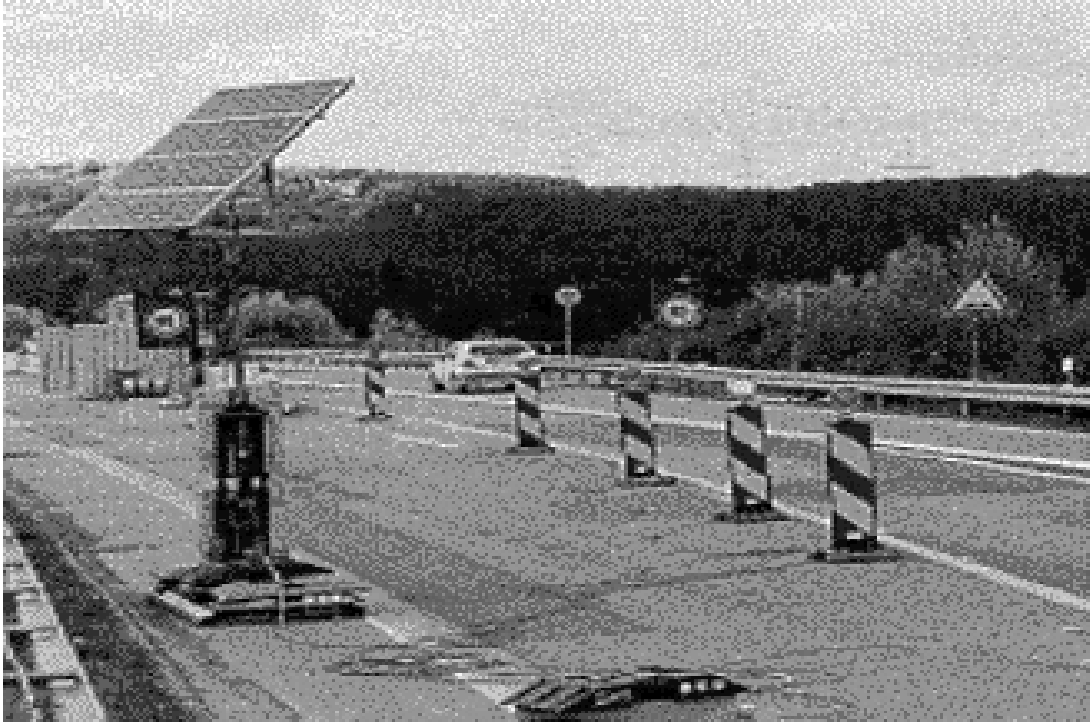
Şekil 4.5. Parabolik Çanak Güneş Isıl Elektrik Santrali (İspanya) [14]



Şekil 4.6. Çatısı Güneş Pili Kaplı Ev [15]



Şekil 4.7. Güneş Pilleri ile Sokak Aydınlatması [15]



Şekil 4.8. Güneş Pillerinin Karayollarında Kullanımı [15]

4.2.5. Güneş pillerinin teknik ve ekonomik değerleri

Tablo 4.4. Tek kristal silisyum güneş pili

Kullanılan Malzemeler	Metal, cam
Dünya yıllık üretim kapasitesi	15 MW
Endüstri büyüme hızı	%20
Kurulu güç	100 MW
Tipik sistem boyutu	5 MW
Sistem verimi	% 12
Sistem ömrü	20 yıl
İlk yatırım maliyeti	5000 –6000 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	10 \$/kW
Enerji maliyeti	0.29 \$/kWh

Tablo 4.5. Tek kristal silisyum güneş pillerinde hedeflenen değerler

Sistem verimi	% 15
İlk yatırım maliyeti	1400-1600 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	5 \$/kW
Enerji maliyeti	0.07-0.14 \$/kWh

Tablo 4.6. Çok kristal silisyum güneş pili

Kullanılan Malzemeler	Metal, cam, çeşitli pil malzemeleri
Dünya yıllık üretim kapasitesi	20 MW
Endüstri büyüme hızı	% 30
Kurulu güç	50 MW
Tipik sistem boyutu	5 MW
Sistem verimi	% 10
Sistem ömrü	20 yıl
İlk yatırım maliyeti	5000 –6000 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	10 \$/kW
Enerji maliyeti	0.29 \$/kW

Tablo 4.7. Çok kristal silisyum güneş pillerinde hedeflenen değerler

Sistem verimi	% 13
İlk yatırım maliyeti	1300-1500 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	5 \$/kW
Enerji maliyeti	0.06-0.12 \$/kWh

Tablo 4.8. Tek ince film güneş pili

Dünya yıllık üretim kapasitesi	25 MW
Endüstri büyüme hızı	%10
Kurulu güç	30 MW
Tipik sistem boyutu	5 MW
Sistem verimi	% 4
Sistem ömrü	20 yıl
İlk yatırım maliyeti	5000 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	30 \$/kW
Enerji maliyeti	0.25 \$/kWh

Tablo 4.9. Tek ince film güneş pillerinde hedeflenen değerler

Sistem verimi	% 8
İlk yatırım maliyeti	1150-1400 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	15 \$/kW
Enerji maliyeti	0.05-0.10 \$/kWh

Tablo 4.10. Çoklu ince film güneş pilleri

Kullanılan Malzemeler	Metal, cam
Dünya yıllık üretim kapasitesi	5 MW
Endüstri büyüme hızı	%30
Kurulu güç	1 MW
Sistem verimi	% 7
Sistem ömrü	20 yıl
İlk yatırım maliyeti	5000 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	15 \$/kW
Enerji maliyeti	0.24 \$/kW

Tablo 4.11. Çoklu ince film güneş pillerinde hedeflenen değerler

Sistem verimi	% 10
İlk yatırım maliyeti	1150-1400 \$/ kW
Yıllık bakım ve işletme maliyeti	10 \$/kW
Enerji maliyeti	0.05-0.10 \$/kWh

BÖLÜM 5. GÜNEŞ PİLİNİN ÇALIŞMASINI ETKİLEYEN DIŞ FAKTÖRLER

5.1. Sıcaklığın Etkisi

Güneş pillerinin çalışmasında sıcaklığın önemli bir etkisi vardır. Güneş pillerinin kısa devre akımı sıcaklığın düzgün bir şekilde artmasıyla yükselme eğilimi gösterir. Yarıiletken enerji bant aralıkları genellikle sıcaklıkla azaldığından açık devre voltajı ve dolum faktörü azalır. Enerji bant aralığı oda sıcaklığında lineer olarak değişme gösterirken düşük sıcaklıklarda ise doğrusal olmayan bir değişme gösterir.

Tablo 5.1. Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi

Malzeme	T=300°K	T=0°K
Si	1.12 eV	1.17 eV
Ge	0.67 eV	0.75 eV
PbS	0.37 eV	0.29 eV
PbTe	0.29 eV	0.19 eV
InSb	0.16 eV	0.23 eV
GaSb	0.69 eV	0.79 eV

Tablo 5.2. GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi

T (°K)	eV	V	%η
273	1.4345	1.047	29.51
300	1.4245	0.989	27.73
323	1.4120	0.940	26.19
353	1.3981	0.875	25.14
373	1.3887	0.830	22.75

Tablo 5.3. Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi

T (°K)	eV	V	%η
273	1.1312	0.750	26.83
300	1.1245	0.699	24.67
323	1.1185	0.654	22.80
353	1.1104	0.595	20.33
373	1.1048	0.555	18.67

Tablo 5.4. Germenyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi

T (°K)	eV	V	%η
273	0.67366	0.302	13.88
300	0.66339	0.248	10.60
323	0.65444	0.201	7.89
353	0.64253	0.139	4.62
373	0.63446	0.099	2.79

5.2. Yüzey Parametresinin Etkisi

Işığın yansımalarını azaltmada kullanılan yaklaşımlardan biri de özel yapılı yüzeylerdir. Özel yapılı yüzeyler ve silisyum ince tabakaların kullanımı artmaktadır. Silisyum tabakaların yüzeylerinde küçük piramitler seçici dağlama yöntemi kullanılarak elde edilirler. Bu piramitlerin yüzeylerinden yansıyan ışık, diğer piramitlerden de yansıyarak pilin içine girer.

Güneş pillerinde anti yansıtıcı kaplama kullanılmasıyla yansıma kayıpları azaltılmış olur. Işığın yüzeye düştüğü her noktadaki toplam yansıma, silisyuma dik gelen ışıkta olduğu gibidir. Yüzeydeki toplam yansıma %0.33 ile %11 seviyeleri arasındadır. Yüzeyleri piramitleştirme tekniği kullanılarak yansımayı önleyici kaplama olmaksızın yüksek performanslar elde edilebilir.

5.3. Spektral Etki

Monokromatik ışık, yarıiletken içinde elektron-oyuk çiftinin oluşmasına neden olur. Elektron –oyuk oluşumunun uzaysal dağılımı;

$G=(1-R)\alpha\theta^{-\alpha x}$ ile ifade edilir.

Burada θ ; gelen ışığın foton açısını, R ; yansıma katsayısını, α ise soğurma katsayısını gösterir. Kısa dalga boyları için α büyük bir değerdedir ve ışık yarıiletken malzeme içinde çabucak soğurur. Hücrelerde fotonların bütün enerjileri kullanılmaz. Görünür dalga boylarında verim en yüksektir, kızılötesi bölgelerde ise en düşüktür. (Bkz Tablo 5.5)

Tablo 5.5. Güneş piline ışık spektral etkisi

RENK	DALGABOYU(nm)	VOLT
MOR	410	3.11
MAVİ	470	3.34
YEŞİL	520	3.52
SARI	590	3.44
TURUNCU	650	3.22
KIRMIZI	725	3.20

5.4. Foto Açısal Etki

Yarıiletken malzemeden yapılmış olan güneş piline gelen fotonlar, yüzeye çarpınca ışığın bir kısmı yüzey tarafından yansıtılırken, geriye kalan diğer kısmı yarıiletken tarafından soğurulur. Yansıma katsayısı;

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2 + k_1^2}{(n_2 + n_1)^2 + k_2^2} \quad \text{ile hesaplanır.}$$

Fotonların yarıiletken güneş pili tarafından yutulması ve yansıtılmasından sonra ışığın şiddeti zayıflayarak geçer ve geçen bu kısım ise;

$$T = \frac{(1 - R)^2 \cdot e^{-\alpha x}}{(1 - R)^2 \cdot e^{-2\alpha x}} \quad \text{şeklinde verilir [16].}$$

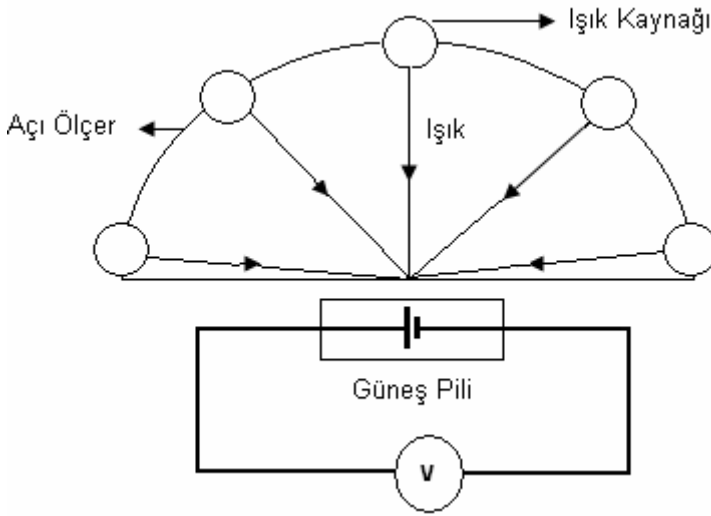
5.4.1. Foto açılal etkinin deneysel yolla incelenmesi

Güneş pillerinin çalışmasını etkileyen dış faktörlerden biriside foto-açılal etkidir. Bu çalışmada karanlık bir ortamda güneş pili sabit tutularak ışık kaynağı 0° - 180° arasında hareket ettirilerek çeşitli açılalardaki akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Deneş önce tek bir güneş pili ile gerçekleştirilmiştir.Daha sonra iki adet güneş pili ile seri ve paralel olarak bağlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

5.4.1.1. Tek güneş pili ile yapılan deneş

Deneşde kullanılan güneş pili monokristal yapıdır.Maksimum çıkış voltajı 3.6V, maksimum çekilebilecek akım ise 60 mA dir.Deneşde150W'lık (yaklaşık 2025Lümen) lamba kullanılmıştır.Deneş 21°C sıcaklıkta yapılmıştır ($T=21^{\circ}\text{C}$).

Deneş düzeneğı Şekil 5.1'de görölmektedir.



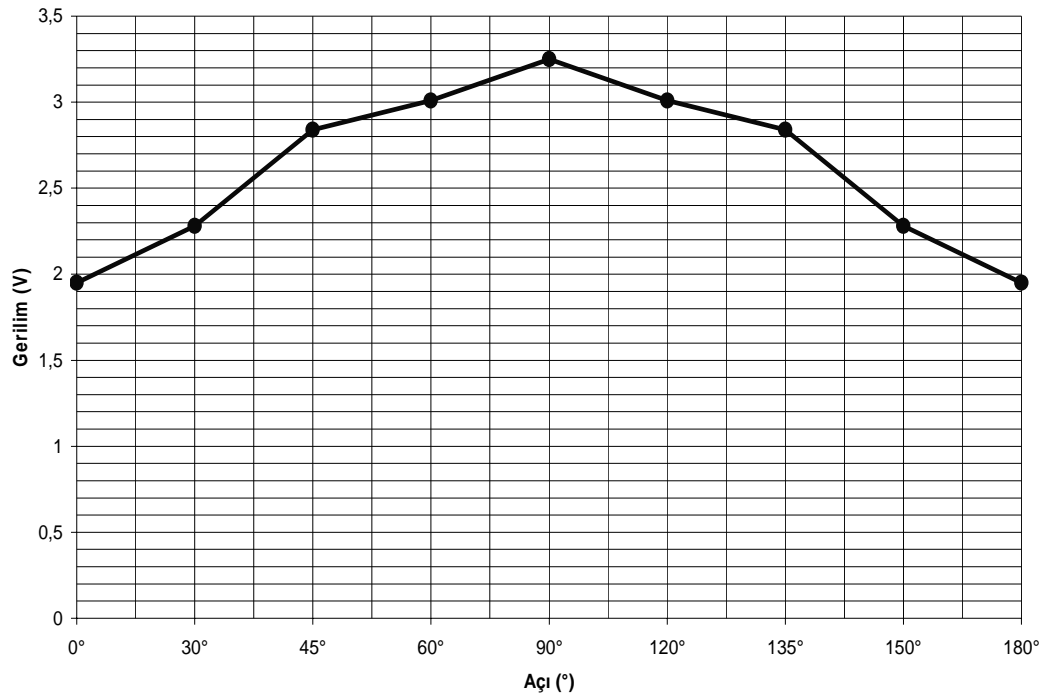
Şekil 5.1. Işığın geliş açısına bağılı olarak güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesinde kullanılan deneş düzeneğı

Tek güneş pili ile yapılan deneşde ışık açısının 0° ile 180° arasında değıştirilerek güneş pilinin akım ve gerilim değerlerindeki değışimler ölçülmüştür.Bu ölçümler Tablo 5.6'da görölmektedir.

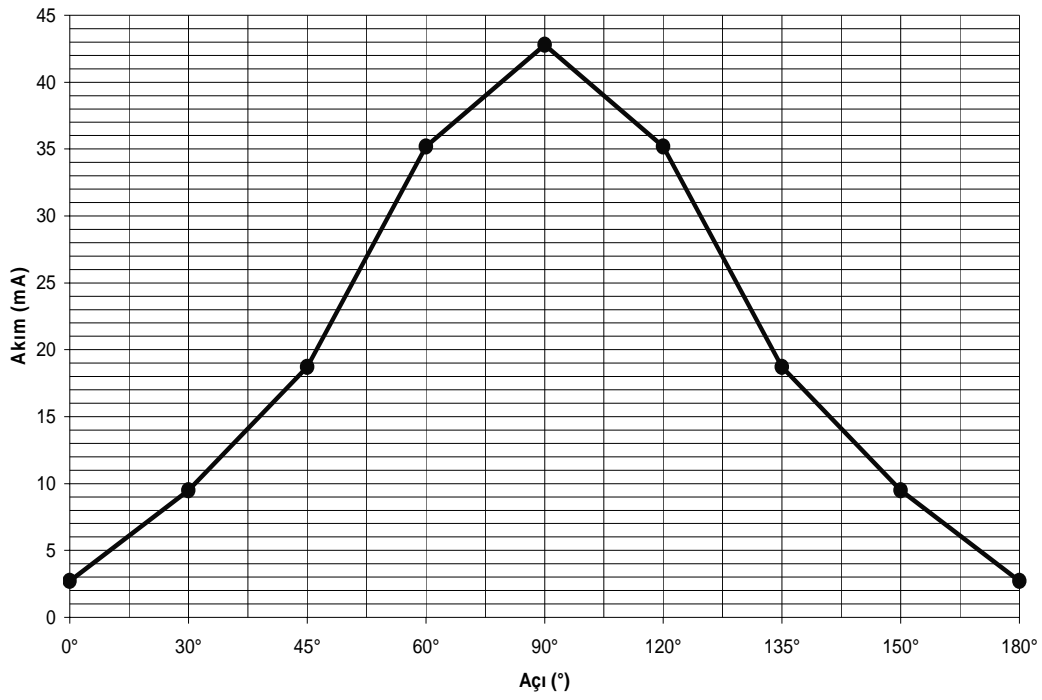
Tablo 5.6. Şekil 5.1'deki güneş piline ait ışık açısının değişimine bağlı olarak akım ve gerilim değişim değerleri

AÇI	AKIM(mA)	GERİLİM(V)
0°	2,7	1,95
30°	9,5	2,28
45°	18,7	2,84
60°	35,2	3,01
90°	42,8	3,25
120°	35,2	3,01
135°	18,7	2,84
150°	9,5	2,28
180°	2,7	1,95

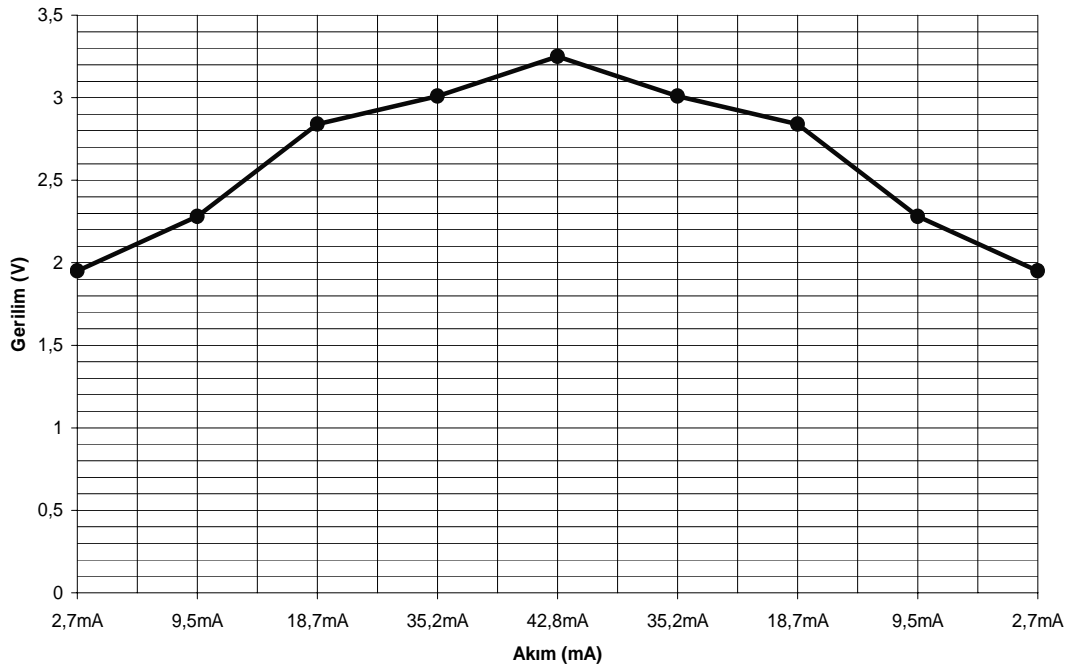
Tablo 5.6'daki ölçüm değerlerine bağlı olarak; güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği, güneş pili akımının açığa bağlı değişim grafiği ile güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği çizilebilir.



Şekil 5.2. Güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği



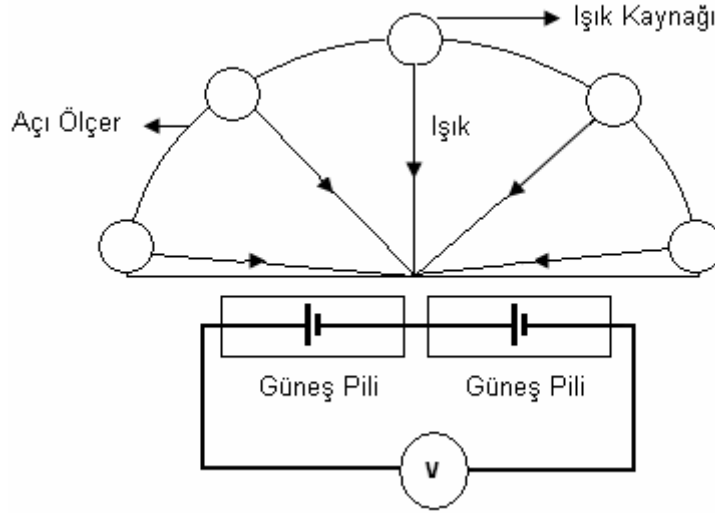
Şekil 5.3. Güneş pili akımının açığa bağlı değişim grafiği



Şekil 5.4. Güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği

5.4.1.2. Seri bağlanmış iki tane güneş piliyle yapılan deney

Deneyde monokristal yapılı, maksimum çıkış voltajı 3.6V, maksimum çekilebilecek akım ise 60 mA olan iki adet güneş pili seri bağlanarak kullanılmıştır. Deneyde 150W'lık (yaklaşık 2025 Lümen) lamba kullanılmıştır. Deney 21°C sıcaklıkta yapılmıştır (T=21°C). Deney düzeneği Şekil 5.5'te görülmektedir.



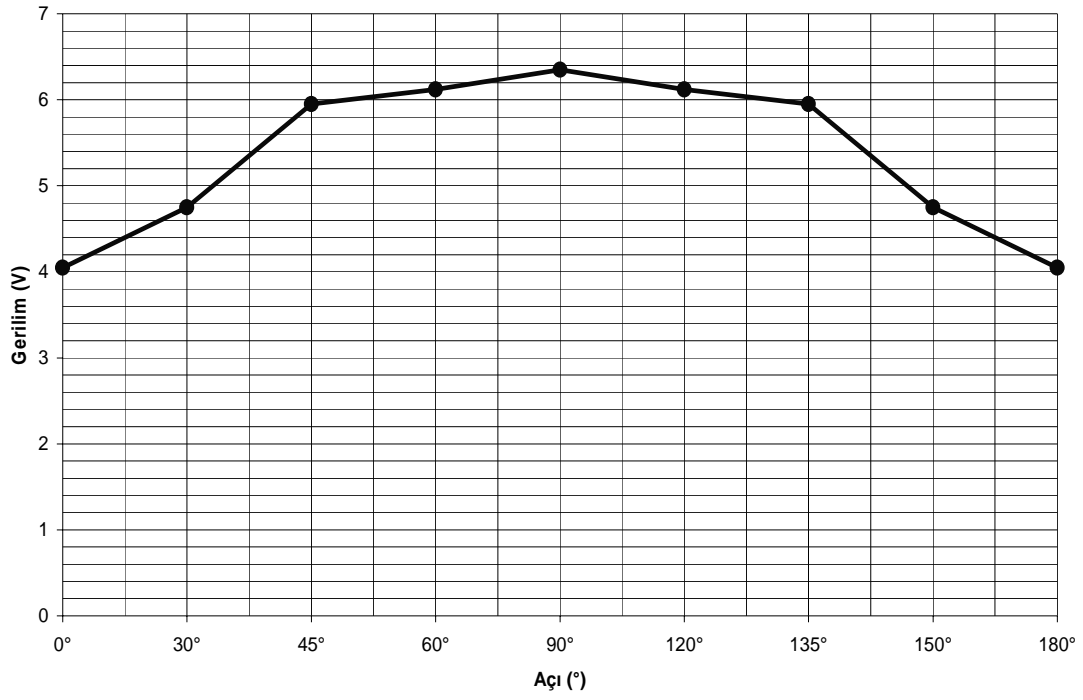
Şekil 5.5. İki adet seri bağlanmış güneş pilinin ışık açısının değişimiyle güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği

İki adet güneş pili seri bağlanarak yapılan deneyde ışık açısının değişimiyle güneş pilinin akım ve gerilim değerlerindeki değişimler ölçülmüştür. Ölçülen değerler Tablo 5.7'de görülmektedir.

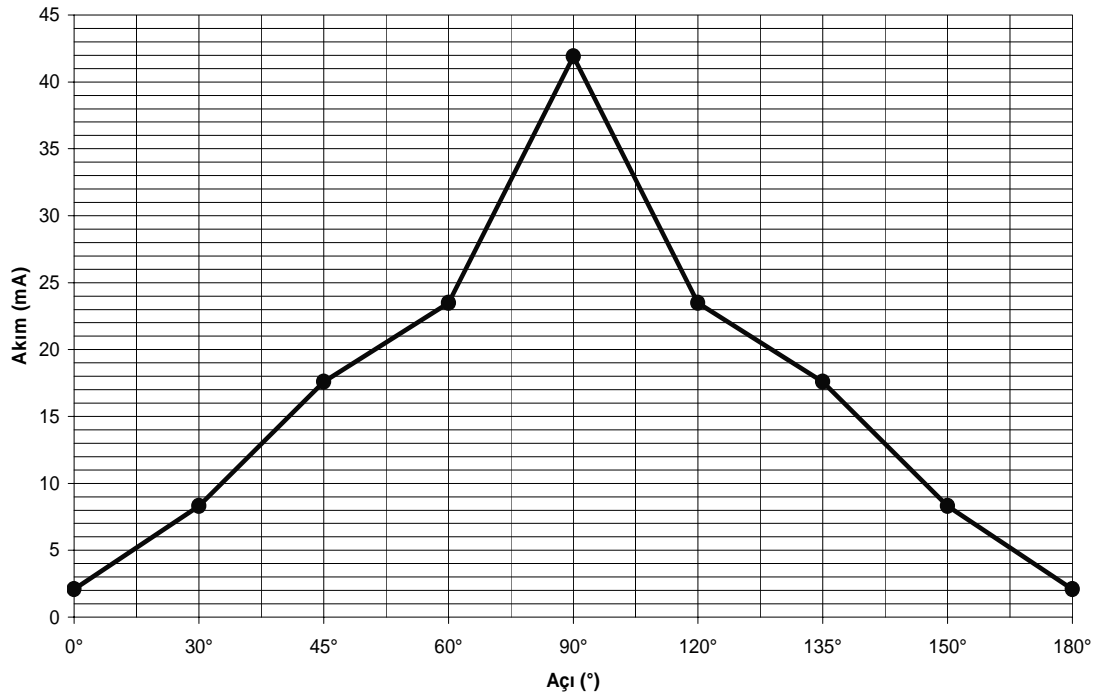
Tablo 5.7 Şekil 5.5'teki seri bağlanmış iki güneş piline ait ışık açısının değişimine bağlı olarak akım ve gerilim değişim değerleri

AÇI	AKIM(mA)	GERİLİM(V)
0°	2,1	4,05
30°	8,3	4,75
45°	17,6	5,95
60°	23,5	6,12
90°	41,9	6,35
120°	23,5	6,12
135°	17,6	5,95
150°	8,3	4,75
180°	2,1	4,05

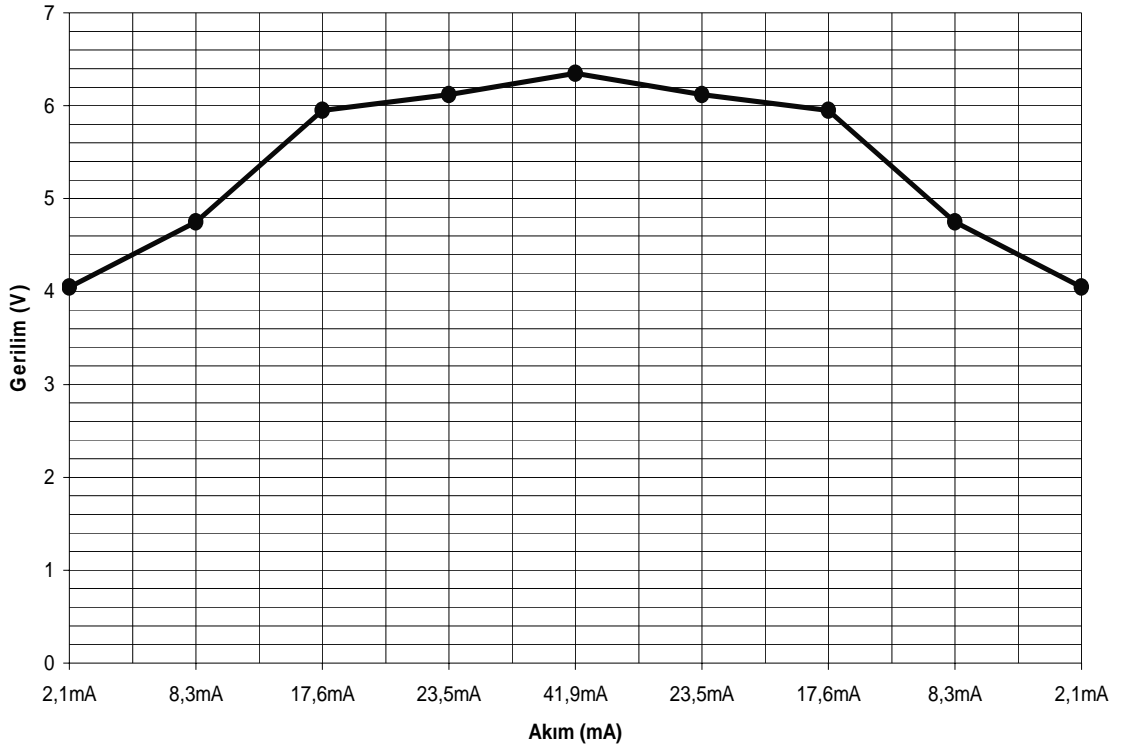
Tablo 5.7'deki ölçüm değerlerine bağlı olarak; güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği, güneş pili akımının açığa bağlı değişim grafiği ile güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği çizilebilir.



Şekil 5.6. Seri bağlanmış iki güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği



Şekil 5.7. Seri bağlanmış iki güneş pilinin akımının açığa bağlı değişim grafiği

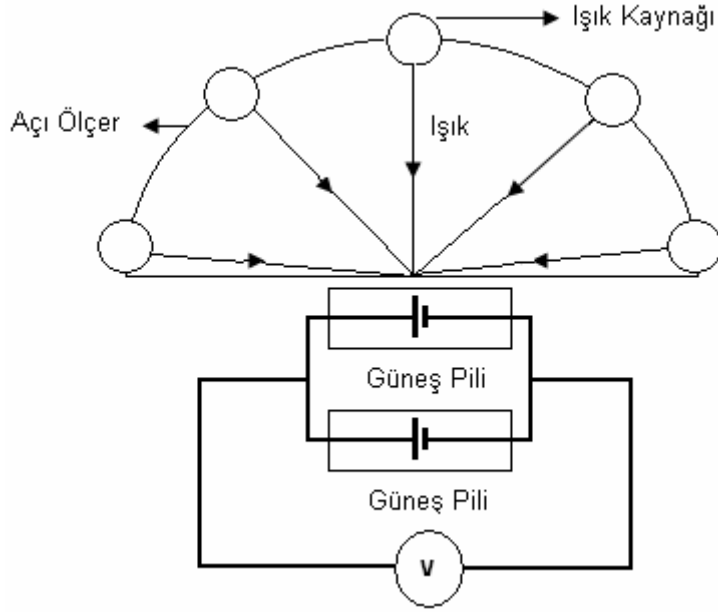


Şekil 5.8. Seri bağlanmış iki güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği

5.4.1.3. Paralel bağlanmış iki tane güneş piliyle yapılan deney

Deneyde monokristal yapılı, maksimum çıkış voltajı 3.6V, maksimum çekilebilecek akım ise 60 mA olan iki adet güneş pili paralel bağlanarak kullanılmıştır. Deneyde 150W'lık (yaklaşık 2025 Lümen) lamba kullanılmıştır. Deney 21°C sıcaklıkta yapılmıştır ($T=21^{\circ}\text{C}$). Deney düzeneği Şekil 5.9'da görülmektedir.

İki adet güneş pili paralel bağlanarak yapılan deneyde ışık açısının değişimiyle güneş pilinin akım ve gerilim değerlerindeki değişimler ölçülmüştür. Ölçülen değerler Tablo 5.8'de görülmektedir.

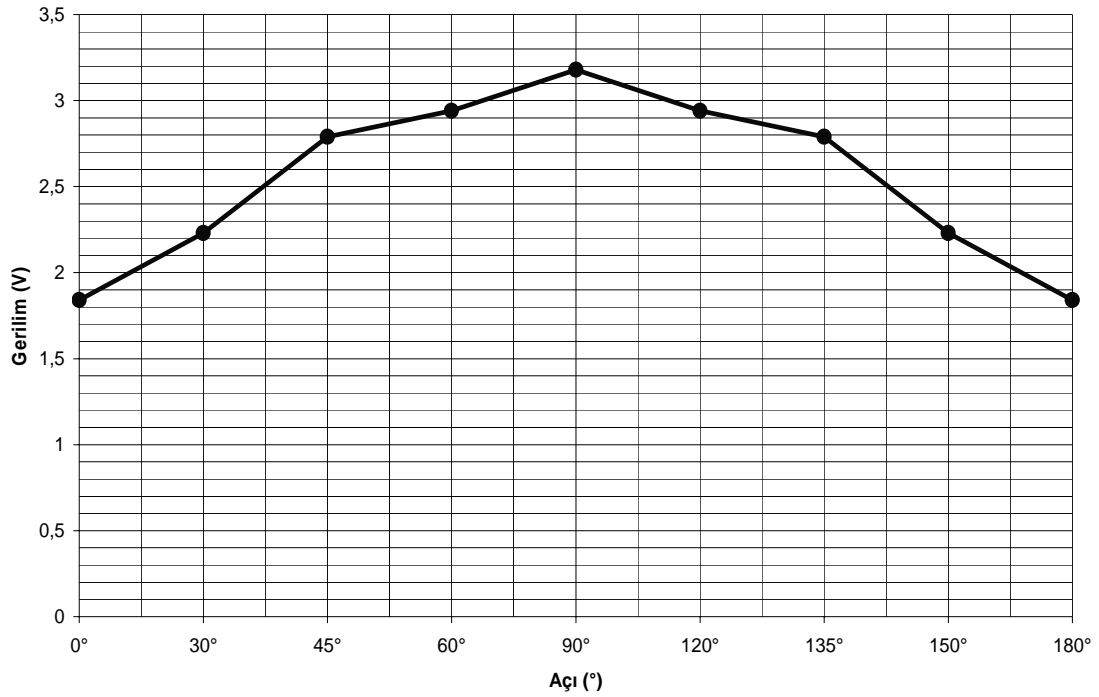


Şekil 5.9. İki adet paralel bağlanmış güneş pilinin ışık açısının değişimiyle güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği

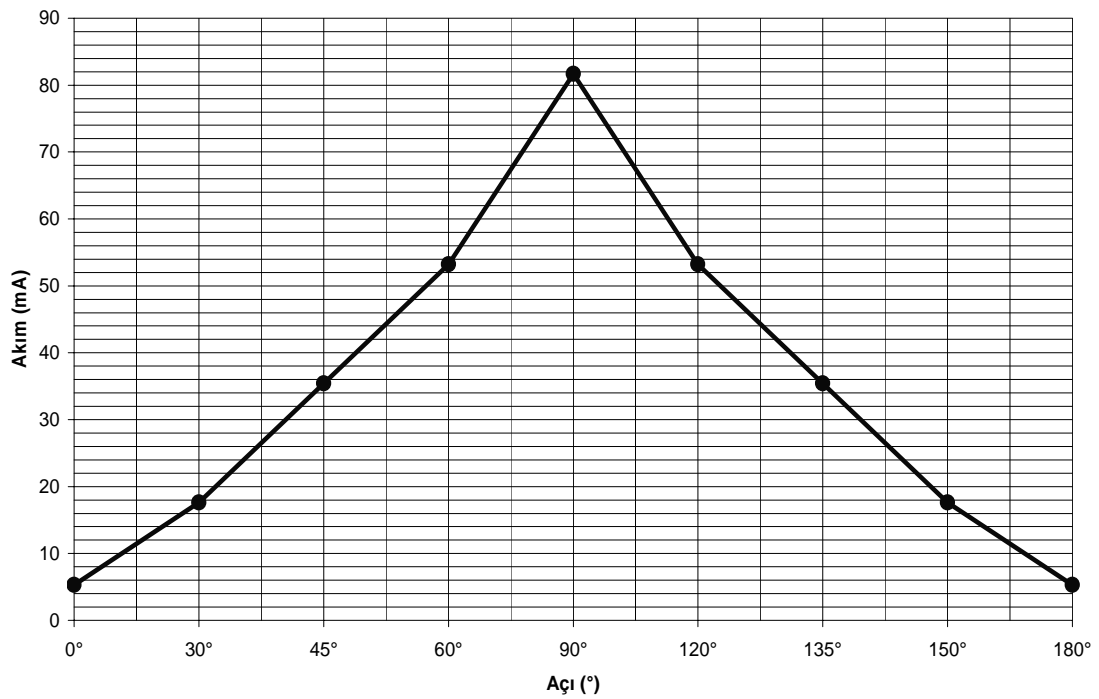
Tablo 5.8. Şekil 5.9'daki paralel bağlanmış iki güneş piline ait ışık açısının değişimine bağlı olarak akım ve gerilim değişim değerleri

AÇI	AKIM(mA)	GERİLİM(V)
0°	5,3	1,84
30°	17,6	2,23
45°	35,4	2,79
60°	53,2	2,94
90°	81,7	3,18
120°	53,2	2,94
135°	35,4	2,79
150°	17,6	2,23
180°	5,3	1,84

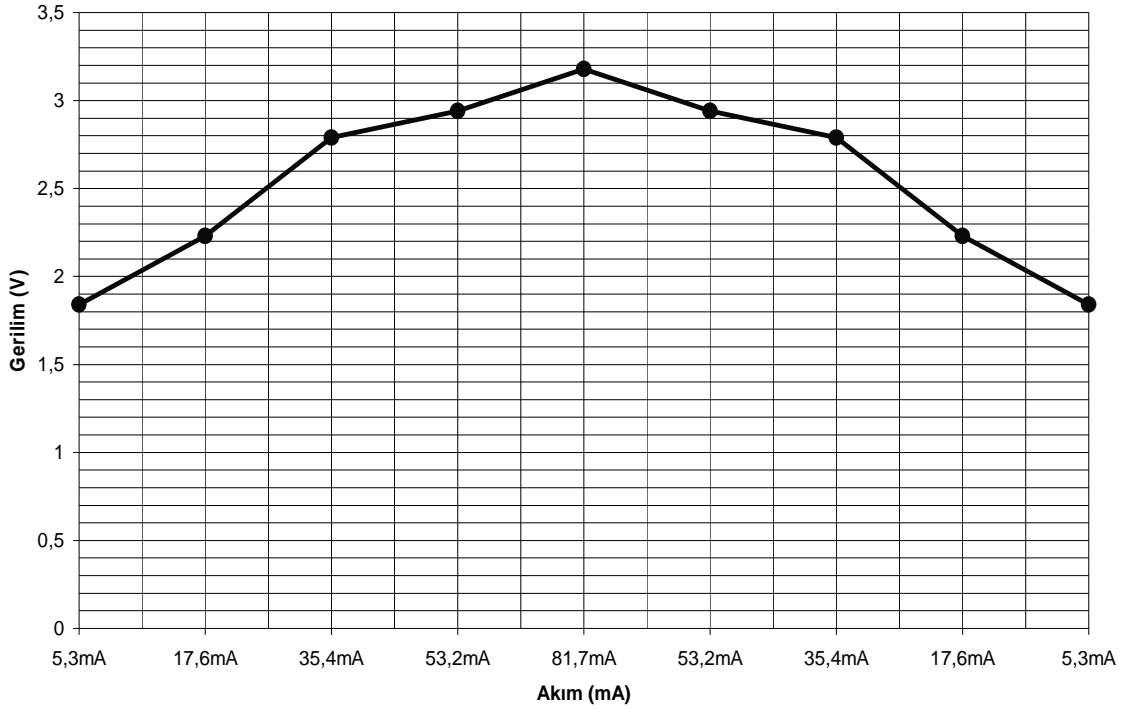
Tablo 5.8'deki ölçüm değerlerine bağlı olarak; güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği, güneş pili akımının açığa bağlı değişim grafiği ile güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği çizilebilir.



Şekil 5.10. Paralel bağlanmış iki güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği



Şekil 5.11. Paralel bağlanmış iki güneş pilinin akımının açığa bağlı değişim grafiği



Şekil 5.12. Paralel bağlanmış iki güneş pilinin akım-gerilim değişim grafiği

5.4.1.4 Sonuç

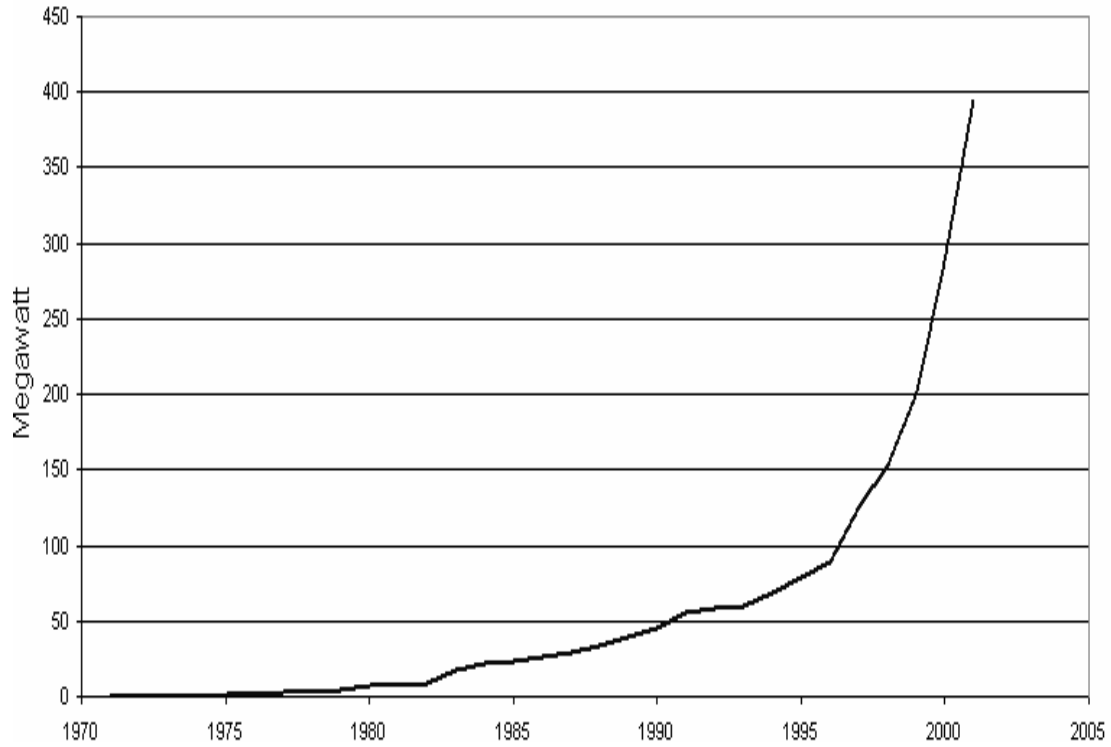
Yapılan deneyde güneş pillerinin çalışmasını etkileyen dış faktörlerden birisi olan foto-açısasal etki incelenmiştir. Sabit ışık kaynağı altında (150W,yaklaşık 2025Lümen),sabit sıcaklıkta($T=21^{\circ}\text{C}$), ışık kaynağı 0° - 180° arasında hareket ettirilerek, güneş pilinin akım ve gerilim değerlerindeki değişim ölçülmüştür.Ölçülen değerlere bağlı olarak güneş pilinin akım ve gerilimindeki değişim grafikleri çizilmiştir.Ayrıca bu deney; güneş pillerini seri ve paralel olarak bağlayarak tekrarlanmıştır.Yapılan ölçüm ve çizilen grafiklere göre, güneş pilinden en iyi verimi alabilmek için ışık kaynağının açısının 90° olması gerektiği görülmektedir.Işık açısı 0° ve 180° olduğunda güneş pilinin verimi minimum düzeydedir.Güneş pilleri seri bağlandığında , akımda bir değişim gözlenmezken, gerilim değeri yaklaşık iki katına çıktığı gözlenmiştir.Güneş pilleri paralel bağlandığında ise gerilimde bir değişim gözlenmezken, akım değeri yaklaşık iki katına çıkmıştır.

BÖLÜM 6. GÜNEŞ PİLLERİ İLE İLGİLİ İSTATİSTİKSEL BİLGİLER

6.1. 1971-2001 Yılları Arasında Güneş Enerjisinden Faydalanarak Elektrik Enerjisi Üretmek Amacıyla Kurulan Tesislerin Toplam Kurulu Güç Değerleri

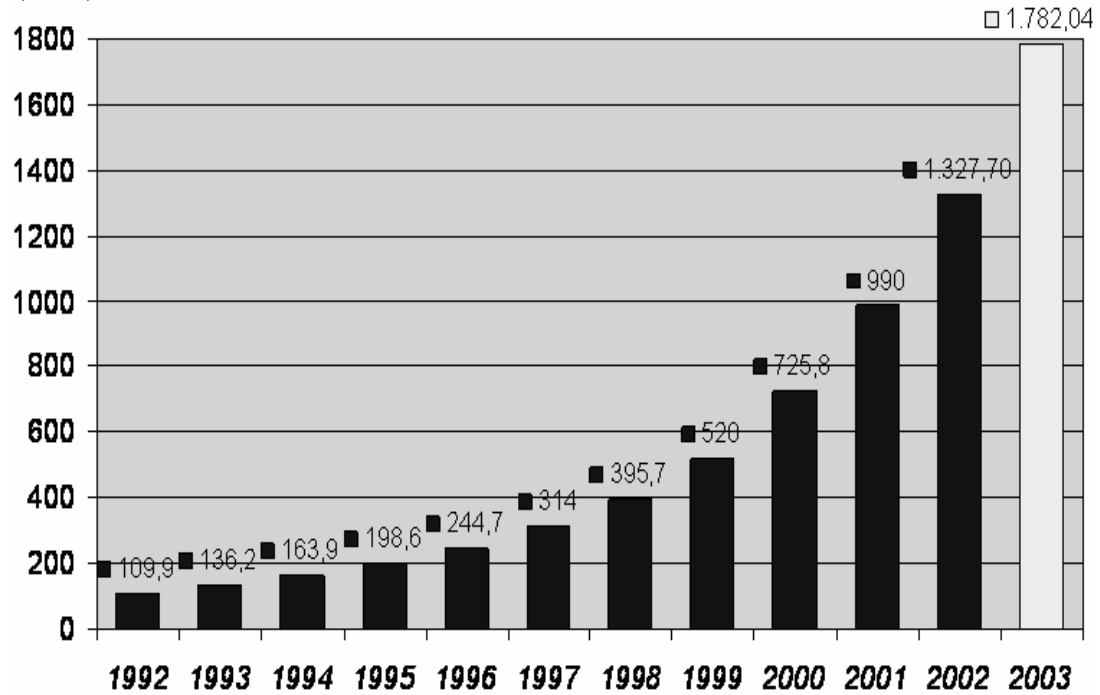
Tablo 6.1. 1971-2001 yılları arasında dünyadaki fotovoltaik gelişim

Yıllar	Yıllık Üretim(MW)	Kümülatif Üretim(MW)
1971	0.1	0.1
1975	1.8	1.9
1976	2	3.9
1977	2.2	6.1
1978	2.5	8.6
1979	4	12.6
1980	7	19.6
1981	8	27.6
1982	9	36.6
1983	17	53.6
1984	22	75.6
1985	23	98.6
1986	26	124.6
1987	29	153.6
1988	34	187.6
1989	40	227.6
1990	46	273.6
1991	55	328.6
1992	58	386.6
1993	60	446.6
1994	69	515.6
1995	79	594.6
1996	89	683.6
1997	126	809.6
1998	153	962.6
1999	201	1163.6
2000	288	1451.6
2001	395	1846.6



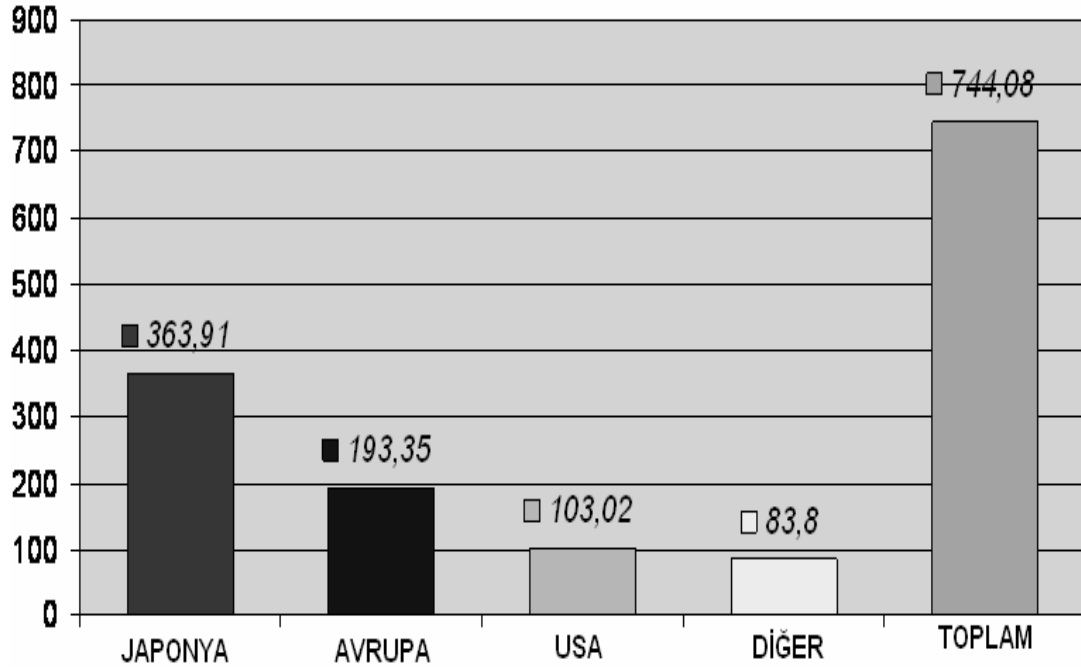
Şekil 6.1. 1971-2001 yılları arasındaki dünyadaki fotovoltaik gelişim grafiği [18]

6.2. 1992-2003 Yılları Arası Toplam Fotovoltaik Güç Üretimindeki Değişim (MW)

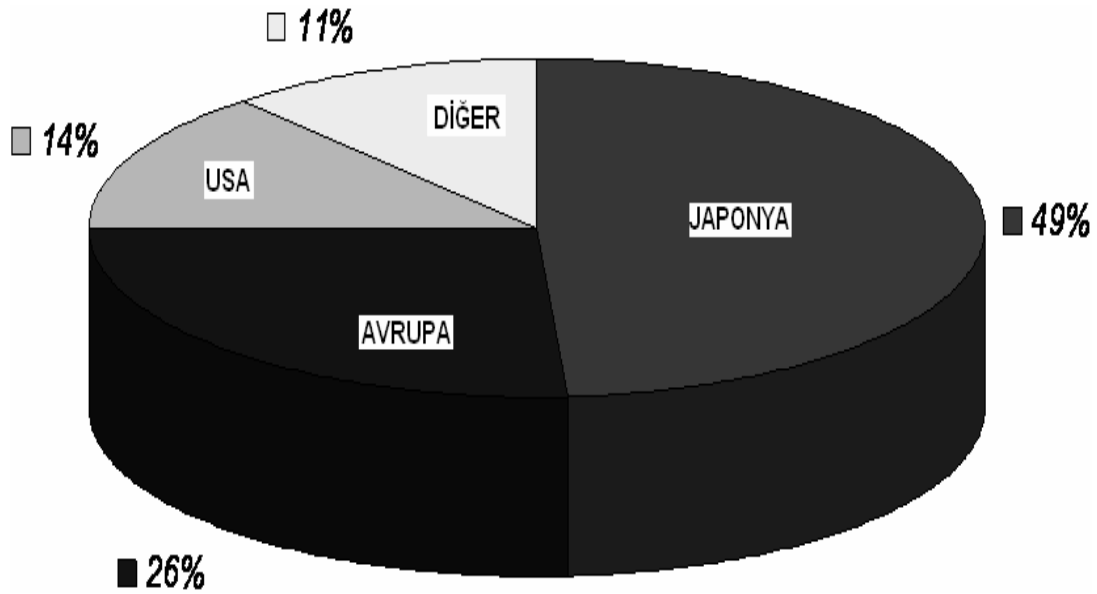


Şekil 6.2. 1992-2003 yılları arası toplam fotovoltaik güç üretimindeki değişim(MW) [19]

6.3. 2003 Yılında Dünya Geneline PV Üretim Miktarı (MW)



Şekil 6.3. 2003 yılında dünya genelinde pv üretim miktarı (MW) [20]



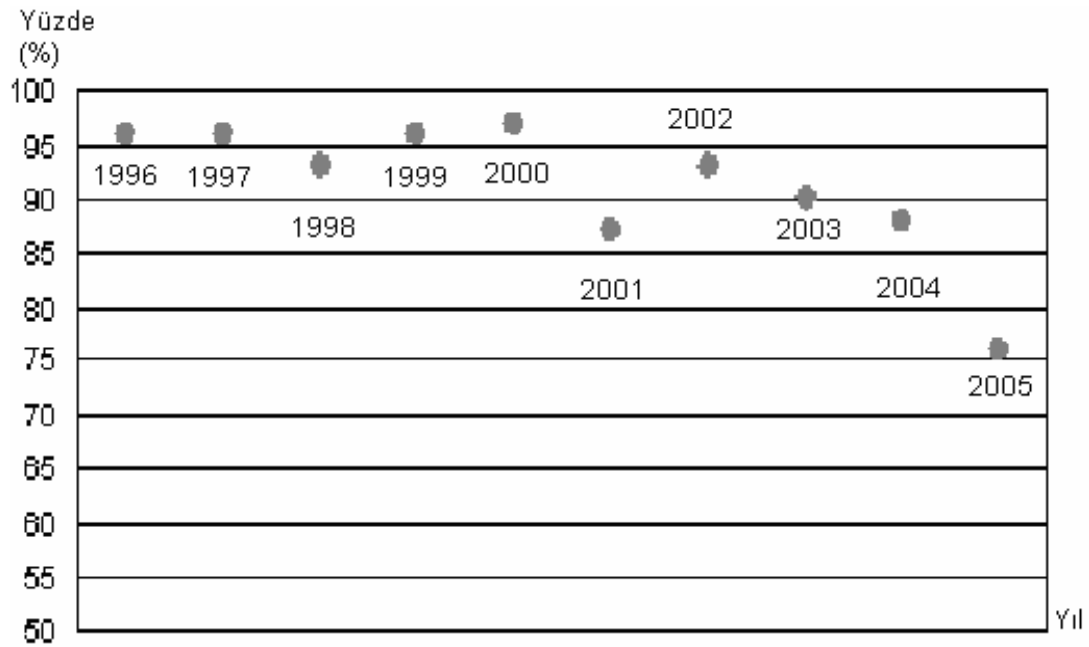
Şekil 6.4. 2003 yılında dünya genelinde pv üretiminin yüzdeleri dağılımı [21]

6.4. 1998-2003 Yılları Arası Dünya PV Üretimi (MW)

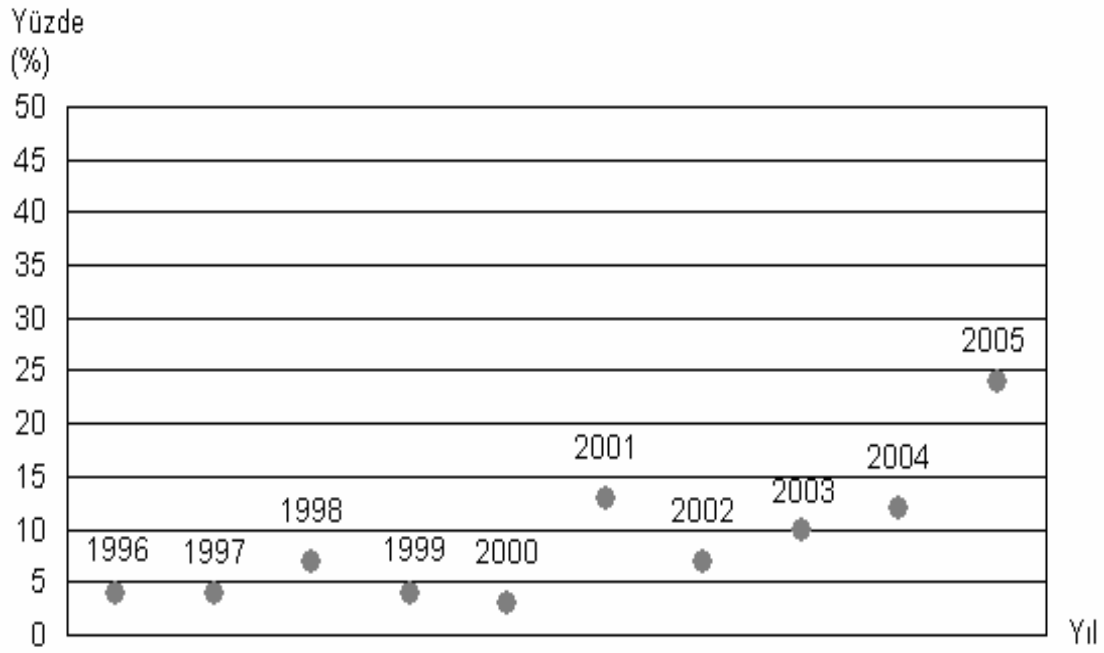
Tablo 6.2 1998-2003 yılları arası dünya PV üretimi (MW) [22]

BÖLGE	1998	1999	2000	2001	2002	2003
JAPONYA	49.00	80.00	128.60	171.22	251.07	363.91
AVRUPA	33.50	40.00	60.66	86.38	135.05	193.35
USA	53.70	60.80	74.97	100.32	120.60	103.02
DİĞER	18.70	20.50	23.42	32.62	55.05	83.80
Toplam	154.90	201.30	287.65	390.54	561.77	744.08

6.5. Dünya Genelinde 1996-2005 Yılları Arasında Güneş Pili Çeşitlerinin Pazar Paylarındaki Değişim



Şekil 6.5. 1996-2005 yılları arasındaki dünya genelinde silikon kristal güneş pillerindeki değişim [23]



Şekil 6.6 1996-2005 yılları arasındaki dünya genelinde ince film güneş pillerindeki değişim [23]

6.6. Türkiye’de Yapılan Güneş Pili Uygulamaları

Teknolojiyi izlemek açısından, 2 Haziran 1998’ de ülkemizde ilk kez EİE İdaresi Genel Müdürlüğü Didim Güneş ve Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezinde 4.8 kW’lık, Ankara’da da 1.2 kW’lık şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri kurulmuştur. Günlük üretilen ortalama enerji; bir kW’lık sistem için 5 kWh civarındadır. Aşağıda EİE Didim’de kurulan şebekeye bağlı güneş pili sisteminin özelliklerini gösteren Tablo 6.3’te yer almaktadır.

Tablo 6.3 EİE Didim şebekeye bağlı güneş pili sisteminin özellikleri

Toplam Güç	4,8 kWp (90 adet)
Ortalama Yıllık Üretim	5600 kWh
Günlük üretim	15-18 kWh
İnvertör	ASP Top Class Grid III/4000
Nominal ac güç	3500 W
Nominal dc Gerilim	96 V
Başlama Eşik değeri	25 W
Giriş gerilim Aralığı	72-145 V dc
Çıkış Gerilimi	195-256 V ac
Çıkış Frekansı	50 Hz
Maksimum Verim	% 94

Ayrıca ülkemizde birçok kurum ve kuruluşta güneş pili uygulamalarından faydalanılmaktadır (Bkz. Tablo 6.4).

Tablo 6.4 Türkiye’deki güneş pili uygulamalarından faydalanan kurumlar

Kurum	Üretilen güç
Orman Bakanlığı (Gözetleme istasyonları)	175 kW
Türk Telekom (Aktarma istasyonları)	135 kW
Karayolları imdat telefonları	150 kW
EİE demonstrasyon uygulamaları ve çeşitli araştırma kurumlarında	350 kW

6.7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teşvik Edilmesi

Avrupa Birliği, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimine arz güvenliği ve çeşitliliği, çevrenin korunması ve sosyal ve ekonomik bütünleşmenin sağlanması nedenleriyle büyük önem vermektedir. Mevcut durumda AB toplam enerji tüketiminin ortalama olarak %6’sını yenilenebilir kaynaklardan sağlamaktadır. Bu oran İngiltere’de 1.4, İsveç’te %28 dir.

Tablo 6.5. AB toplam yenilenebilir enerji tüketimi içindeki kaynak türlerine göre dağılımı

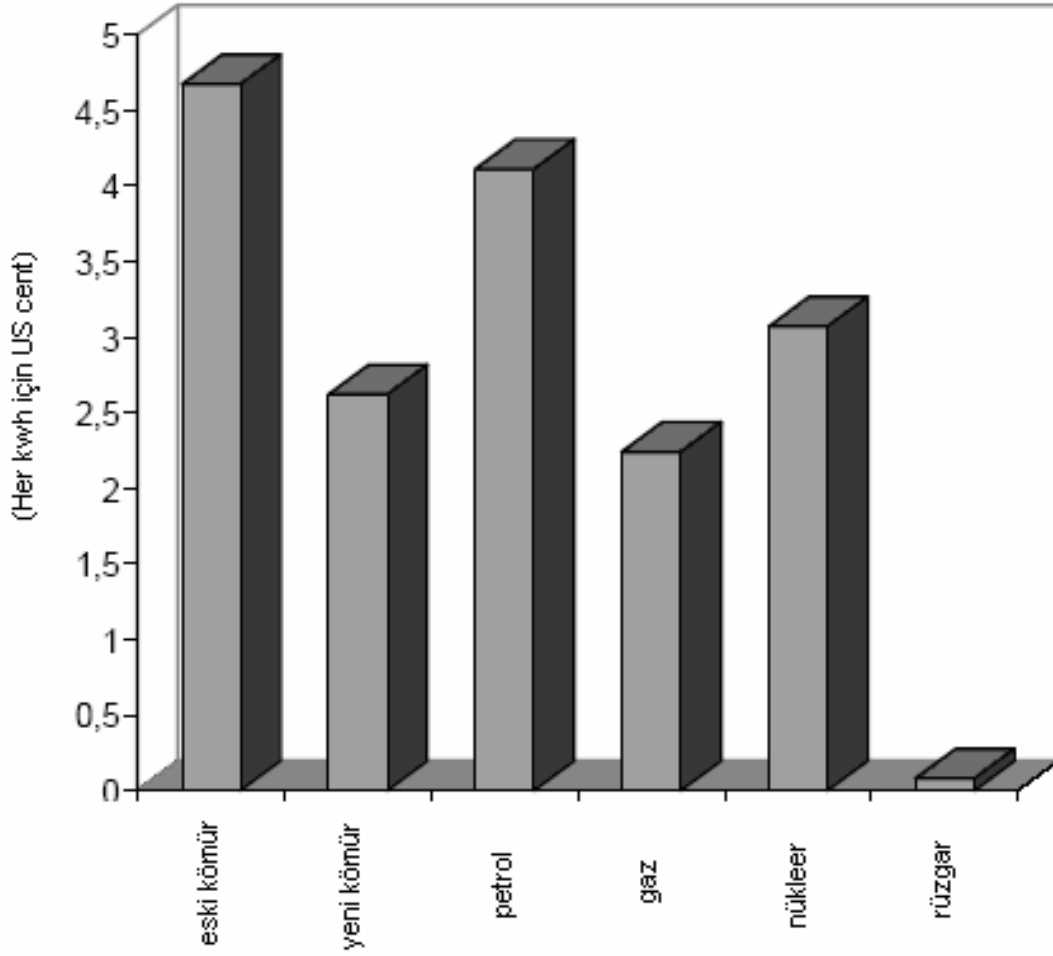
Kaynak	Oran
Hidrolik	30.8
Rüzgar	1.2
Güneş	0.4
Jeotermal	3.5
Biokütle	63.6
Diğerleri	0.4

Tablo 6.6. AB toplam elektrik üretimi içindeki yenilenebilir enerjilerin kaynak türlerine göre dağılımı

Kaynak	Oran
Hidrolik	86.6
Rüzgar	3.2
Jeotermal	1.2
Biokütle	9.0

AB genel enerji tüketimi içindeki ortalama yenilenebilir enerji oranını 2010 yılında %12 değerine çıkarmayı hedeflemektedir. Yenilenebilir enerjilerden elektrik üretiminin payı % 14 olup bu oranın %22'ye yükseltilmesi AB öncelikleri arasındadır. Bu konuda en düşük orana sahip ülke Belçika (%1.1) en yüksek orana sahip ülke ise %22 ile Avusturya'dır.

Yenilenebilir elektrik üretiminde önemli artış sağlayacak çatının oluşturulması amaçlanmakta ve bunu sağlamak için Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin iç elektrik piyasasının yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini teşvik eden 27.09.2001 tarih 2001\77\EC sayılı Direktifi L 283 sayı ve 27.10.2001 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanmıştır. Direktif rüzgar, hidrolik güneş, jeotermal, dalga, biokütle ve biogaz enerjileri gibi fosil olamayan yenilenebilir enerji türlerini göz önüne almaktadır. Orta dönemde yenilenebilir enerjilerden üretilen elektriğin pazar payının artırılması için tüm üye ülkelerden yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğe ilişkin ulusal hedeflerin saptanması istenmektedir. Hedeflere ulaşılmasında gerekli olursa, Komisyon Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'ne zorunlu hedefler de dahil olmak üzere teklifler götürecektir. Üye ülkeler yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini ulusal hedeflere uygun şekilde artırılmasına ilişkin destek sistemleri geliştireceklerdir. Gerektiğinde destek düzenlemeleri konusunda çerçeve oluşturulacaktır.



Şekil 6.7. Bazı enerji türlerinin toplumsal maliyetleri [24]

Yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin yasal bir çerçeve oluşturulacaktır. Üye ülkeler yenilenebilirlerin desteklenmesi için yeşil sertifika, yatırım yardımı, vergi muafiyeti veya indirimi, vergi iadesi ve doğrudan fiyat desteklemesi gibi ulusal düzeydeki çeşitli düzenlemeler yapacaklardır. Bu düzenlemeler AB çerçevesinin işler duruma geçmesine kadar, direktifin amacına ulaşmasında önemli role sahiptirler. Destek düzenlemelerinin yeterli bir geçiş dönemi sonrasında gelişmekte olan iç elektrik piyasasına uyarlanması gerekmektedir.

6.8. Dünyadaki Güneş Pili Üreticileri Ve Üretim Teknolojileri

Tablo 6.7 Dünyadaki güneş pili üreticileri ve üretim teknolojileri [25]

ÜRETİCİ FİRMA ADI	ÜRETİCİ ÜLKE	ÜRETİM TEKNOLOJİSİ
Al-Afandi Solar Wafers and Cells Factory	Suudi Arabistan	Çok kristalli silikon
<u>Bharat Electronics Limited</u>	Hindistan	Tek kristalli silikon
<u>Bharat Heavy Electricals Limited (BHEL)</u>	Hindistan	Tek kristalli silikon Kristalize silikon
<u>Big Sun Energy Technology</u>	Tayvan	Kristalize silikon
<u>Boading Yingli</u>	Çin	Kristalize silikon
<u>BP Solar</u>	USA	Tek kristalli ve çok kristalli silikon
<u>Canon Inc E Business Division</u>	Japonya	Amorf silikon ince film
<u>Canrom Photovoltaics Inc</u>	Kanada	Çok kristalli silikon
<u>Central Electronics Limited (CEL)</u>	Hindistan	Çok kristalli silikon
<u>Energy Conversion Devices Inc (ECD Ovonic)</u>	USA	Amorf silikon ince film
<u>Energy Photovoltaics Inc (EPV)</u>	USA	Amorf silikon ve indium diselenoid ince film
<u>EniTecnologie</u>	İtalya	Tek kristalli ve çok kristalli silikon
<u>Ersol</u>	Almanya	Çok kristalli silikon
<u>E-Ton Solar Technology</u>	Tayvan	Tek kristalli ve çok kristalli silikon
<u>Evergreen Solar Inc</u>	USA	Ribbon kristal silikon
<u>First Solar LLC</u>	USA	Kadmiyum tellürüid
<u>Free Energy Europe</u>	Fransa	Amorf silikon ince film
<u>Fuji Electric Co Ltd</u>	Japonya	Amorf silikon
<u>GE Energy (Solar Division)</u>	USA	Çok kristalli silikon
<u>Gintech Energy</u>	Tayvan	Kristal silikon
<u>Heliodomi S.A.</u>	Yunanistan	Amorf silikon ince film
<u>Heliodinâmica</u>	Brezilya	Kristal silikon
<u>Helios Technology srl</u>	İtalya	Tek kristalli silikon
<u>Huamei PV Company</u>	Çin	Tek kristalli silikon
<u>ICP Solar Technologies Inc</u>	Kanada	Amorf silikon ince film
<u>Iowa Thin Film Technologies</u>	USA	Amorf silikon ince film plastik yüzey üzerine
<u>Isofotón SA</u>	İspanya	Tek kristalli silikon
<u>Kaifeng Solar Cell Factory</u>	Çin	Tek kristalli silikon
<u>Kaneka Corporation</u>	Japonya	Amorf silikon ince film
<u>Kvazar JSC</u>	Ukrayna	Tek kristalli ve çok kristalli silikon
<u>Kyocera Corporation (Solar Energy Division)</u>	Japonya	Çoklu kristalize silikon
<u>Kyocera Solar Inc., (US Division)</u>	USA	Çoklu kristalize silikon
<u>Maharishi Solar Technology Pvt. Ltd</u>	Hindistan	Çoklu kristalize silikon

<u>Matsushita Battery Industrial Company (MBI)</u>	Japonya	Kristalize silikon, kadmiyum tellürüid ince film
<u>Matsushita Seiko Co Ltd</u>	Japonya	Tek kristalize silikon
<u>Microsolpower India P Ltd</u>	Hindistan	Tek kristalize silikon
<u>Mitsubishi Electric Corporation</u>	Japonya	Çoklu kristalize silikon
<u>Mitsubishi Heavy Industries (Power Systems Division)</u>	Japonya	Amorf silikon ince film
<u>Moser Baer Photovoltaic</u>	Hindistan	Kristalize silikon
<u>Motech Industries Inc</u>	Hindistan	Çoklu kristalize silikon
<u>Neo Solar Power Corp.</u>	Hindistan	Kristalize silikon
<u>Ningbo Solar Energy Power Co</u>	Çin	Tek kristalize silikon
<u>Pentafour Solec Technology Limited (licensee of Solec International)</u>	Hindistan	Tek kristalize silikon
<u>Photon Semiconductor & Energy Co., Ltd.</u>	Kore	Kristalize silikon
<u>Photovoltech NV SA</u>	Belçika	Çoklu kristalize silikon
<u>Photowatt International SA (part of ATS Automation)</u>	Fransa	Çoklu kristalize silikon
<u>Q-Cells AG</u>	Almanya	Çoklu kristalize silikon
<u>RWE Schott Solar</u>	Almanya	Tek kristalize silikon , çoklu kristalize silikon ve Amorf silikon ince film
<u>Sanyo Electric Co Ltd Soft Energy Co., Business HQ</u>	Japonya	Amorf silikon /tek kristalize hibrid silikon
<u>Sharp Corporation (Photovoltaics Division)</u>	Japonya	Tek kristalli ve çok kristalli silikon
<u>Sharp Solar Systems Division, USA</u>	USA	Tek kristalli ve çok kristalli silikon
<u>Shell Solar</u>	USA	Tek kristalli ve çok kristalli silikon ve bakır indiyum diselenoid ince film
<u>Shenzhen Topray Solar Co Ltd</u>	Çin	Amorf silikon ince film
<u>Sinonar Corporation</u>	Tayvan	Amorf silikon ince film
<u>Solar Power Industries</u>	USA	Çoklu kristalize silikon
<u>SolarWorld AG</u>	Almanya	Kristalize silikon
<u>Solar Cells (formerly Koncar Solar Cells)</u>	Hırvatistan	Amorf silikon ince film
<u>Solartec s.r.o.</u>	Çek Cumhuriyeti	Tek kristalize silikon
<u>Solar Wind Europe S.L.</u>	İspanya	Tek kristalize silikon
<u>Solec International Inc (part of Sanyo)</u>	USA	Tek kristalize silikon
<u>Solems SA</u>	Fransa	Amorf silikon ince film
<u>Solmecs (Israel) Ltd</u>	İsrail	Tek kristalize silikon
<u>Solterra Fotovoltaico SA</u>	İsviçre	Tek kristalize silikon
<u>SunPower Corporation</u>	USA	Tek kristalize silikon
<u>Suntech Power Co., Ltd</u>	Çin	Çoklu kristalize silikon
<u>Sunways AG</u>	Almanya	Çoklu kristalize silikon
<u>TATA/BP Solar (JV between BP Solar/TATA)</u>	Hindistan	Tek kristalize silikon

<u>TerraSolar Inc</u>	USA	Amorf silikon ince film
<u>Tianjin Jinneng Solar Cell Co.,Ltd</u>	Çin	Amorf silikon ince film, tek kristalli ve çok kristalli silikon
<u>Udhaya Semiconductors Ltd</u>	Hindistan	Kristalize silikon
<u>United Solar Ovonix</u>	USA	Amorf silikon ince film
<u>Usha India Ltd</u>	Hindistan	Kristalize silikon
<u>VHF-Technologies SA</u>	İsviçre	Amorf silikon ince film
<u>Viva Solar Inc</u>	Kanada	Tek kristalize silikon
<u>West Bengal Electronics Industry Development Corporation Limited (Webel SL Solar)</u>	Hindistan	Tek kristalize silikon
<u>Würth Solar</u>	Almanya	Bakır indiyum diselenoid ince film
<u>Yunnan Semiconductor</u>	Çin	Tek kristalize silikon

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin, çeşitli ülkelerde kişi başına tüketimini ortaya koyan sıralamada, kişi başına 18.117 kWh enerji tüketen Kanada ilk sırada gelmektedir. Sonuncu sırada, kişi başına 24 kWh enerji tüketimi ile Etiyopya bulunmaktadır. Bu sıralamada, Türkiye’de kişi başına tüketilen elektrik enerjisinin, dünya ortalamasının yarısına, komşumuz Yunanistan’ın tüketiminin ise üçte birine eşit olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisi talebiyle ilgili yapılan çalışmalarda, 2010 yılında, Türkiye’nin talebinin karşılanabilmesi için 60 GW kurulu güç kapasitesine gerek olacağı, TMMOB Fizik Mühendisleri Odası tarafından 1996 yılında yayınlanan Nükleer Enerji Raporu’nda belirtilmektedir. Ülkenin enerji gereksiniminin karşılanmasıyla ilgili politikalar belirlenirken; dışa en az bağımlı, temiz ve yenilenebilir kaynaklardan yararlanılmasına öncelik verilmesi, kurulacak tesislerin çevre etkilerinin mutlaka dikkate alınması, bunların insan sağlığına ve çevreye verecekleri zararlar ve bu zararların giderilmesi maliyetlerinin değerlendirilmesi gerekir.

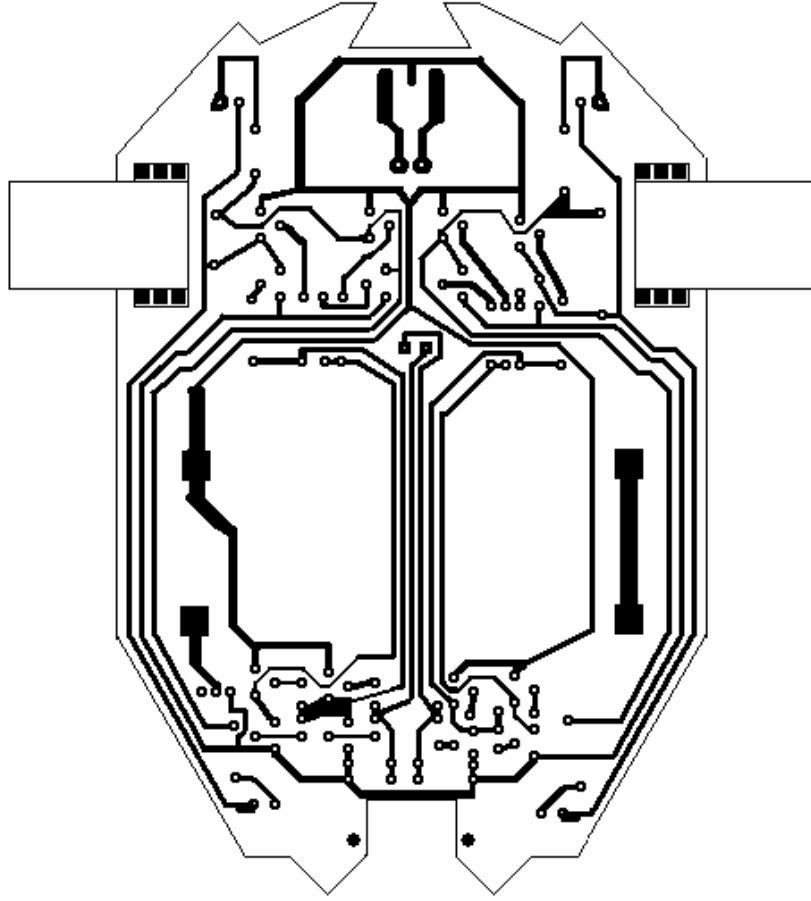
Avrupa Parlamentosunun Türkiye’nin aday üyeliği ile ilgili karara onay verdiği oturumda, çok yankı getirmeyen bir rapor daha yayınlanmıştır. Söz konusu raporda, Türkiye’nin, 1. derecede deprem kuşağı üzerinde bulunduğuna dikkat çekilerek, elektrik darboğazı için düşünülen nükleer santrallerin devreye sokulmaması uyarısında bulunulmuştur. AB, Çernobil faciasından hemen sonra, nükleer enerjiye karşı olduğunu belirterek, geri teknoloji ile yapılan ve deprem kuşağında bulunan santrallerin hemen kapatılması üzerine görüş birliğine varmıştır. Elektrik enerjisi, pek çok Avrupa ülkesinde nükleer enerjiyle karşılanmakta olduğundan (Fransa’da %70’ten; Belçika, İspanya, Finlandiya ve İsveç’te %30’dan; İngiltere ve Almanya’da ise %17’den fazlası bu yolla üretilmektedir) bu enerjiden kademeli olarak vazgeçilmesi planlanmaktadır. Aday veya aday adaylıkları kabul edilen, birçok eski doğu bloğu ülkesindeki santrallerin geri Sovyet teknolojisi ile yapılmış olmasına

dikkat çekilerek, öncelikle bu santrallerin kapatılması istenmektedir. Örneğin, Bulgaristan'dan, tam üyelik görüşmelerinden önce Türkiye sınırından 150 km uzaktaki, Kozloduy Santralının kesin kapatılma tarihini vermesi istenmiştir. AB ülkelerinde, nükleer enerji konusunda yeni yatırım yapılması istenmediği gibi, güvenlik önlemlerinin en üst düzeyde olması ve deprem bölgesinde santral yapılmaması için baskı uygulanmaktadır. Belçika, ardı kesilmeyen bu uyarılara dayanamayarak, 4. derece deprem bölgesinde olmasına karşılık, santrallerinden birini kapatacağını açıklamıştır. Deprem bölgesi olmamasına karşılık, İsveç, 12 santralından birini kapatmıştır. AB, özellikle gelişmiş teknolojiye sahip olmayan yeni üyelerine veya üye adaylarına, bu konuda esneklik göstermemektedir. Bulgaristan'ın söz edilen santral için kapatma tarihi olarak 2002 yılını vermesinin ardından, Slovakya ve Ukrayna ile yapılan görüşmelerde, Sovyet teknolojisi ile yapılan santrallerini kapatmaları istenmiştir. Slovakya 2008, Ukrayna ise 2010 yılında santralleri kapatacaklarını bildirmişlerdir. AB, bu ülkelere kapatılma sırasında kullanılmak amacıyla maddi yardım sözü vermiştir.

1-11 Aralık 1997 tarihlerinde, Japonya/Kyoto'da yapılan ve 150 ülkeden gelen delegelerin katıldığı "Küresel Isınma" başlıklı toplantıda, imzalanan ortak bildirgeye göre, gelişmiş ülkeler, 2008-2012 yılları arasında, atmosfere salacakları sera gazı düzeylerini, 1990 yılı değerlerinin %5 altına indirmiş olacaklardır. Türkiye, söz konusu toplantıya bakan düzeyinde katılan ülkelere olup, gelişmiş ülkeler sınıfına sokulduğundan, belirtilen tarihlere kadar, sera gazı atımını azaltmış olması gerekmektedir. Çevre bilincinin, ortak bir dünya bilincine dönüşmekte olduğu günümüzde, bu kararlara uymamanız ambargo, dış ülkelere yapılan ihracatlara kota getirilmesi gibi ekonomik yaptırımlara neden olabilecektir. Gerek enerji sıkıntısı, gerekse çevre kaygısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına bir an önce gereken önem verilerek geç kalınmadan, devlet ve özel sektör bazında yatırımlara girilmesi gerekmektedir. Alternatif enerji kaynaklarının caydırıcı olabilecek özellikleri, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşudur; ancak, karşılaştırma yapılırken dikkat edilecek değerler, çevre ve uzun vadede çözülen enerji sıkıntısı olmalıdır.

Ülkemizde, yenilenebilir kaynaklar açısından iyi bir potansiyel bulunmaktadır. Son birkaç yıla kadar, bu konu, daha çok üniversitelerin araştırma konusu olarak kalmışken, günümüzde, giderek yaygınlık kazanmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de çevre bilincinin kazanılmaya başlanması ve yaşanmakta olan enerji darboğazı nedeniyle, alternatif enerji kaynakları daha bilinçli kullanılmaya başlanmıştır; ancak, pek çok konuda olduğu gibi, alternatif enerji kaynakları konusunda da, gerekli düzenlemelerin yapılmasında gecikilmiştir.

Ek-B:Güneş Enerjisi İle Çalışan Robot Böcek Baskı Devresi Ve Çalışması



Şekil B.1 Güneş enerjisi ile çalışan robot böcek baskı devresi

Bu devrede güneş pili ile birlikte 2 adet şarjlı pil kullanılmıştır.Devre çalışmadığı zaman güneş pili, şarjlı pilleri şarj etmektedir.Devrede kullanılan duyargalar sayesinde herhangi bir engele çarpıldığında engel algılanarak hareket yönünün değişmesi sağlanmaktadır.Duyargalar transistörlerin kesim veya iletim durumlarını değiştirir.Transistörlerin kesim-iletim durumları motorların ileri-geri yönde dönmesini sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/gunespilleri/giris.html>
- [2] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>
- [3] <http://www.sunpowerltd.com/pages/tr/activities/solar.asp>
- [4] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/pvilke.html>
- [5] [http://myo.mersin.edu.tr/UZAK/TP/Bilgisayar/bp-109\(temel-elk\)/te-08.pdf](http://myo.mersin.edu.tr/UZAK/TP/Bilgisayar/bp-109(temel-elk)/te-08.pdf)
- [6] <http://www.akmtele.com/teknik/TemelEln/TemEln02.asp>
- [7] YILDIRIM, Bülent – AKKOYUNLU Tamer – SEZER Ahmet, Bir Binanın Güneş Pili Destekli Güneş Kollektörleriyle Isıtılması, S.D.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Isparta, 1995
- [8] ÇITIROĞLU, Ahmet, Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Makale, Mühendis ve Makine, Cilt: 41, Sayı: 485.
- [9] http://www.ezincmetal.com/tr/urunler_gunes_pilleri.php
- [10] GÜNKAYA, Erkan, Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, S.D.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, ISPARTA – 2001
- [11] www.youthforhab.org.trtryayinlarenerjigunespillergunes%20pili%20verimlilikleri.html

- [12] <http://www.gunder.org.tr/documents/gunespilleri.pdf>
- [13] <http://www.eurosolar.org.tr/sunumlar/EIE2002.pdf>
- [14] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/yogunlastiricilar.html>
- [15] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunespv.html>
- [16] Erel Ş. BAYRAK, M. Saltık, M. Kaymak “Güneş Pillerinin Çalışmasında Foto Açısal Etki ve Optimal Verimin Sağlanması” Elektrik Enerjisi ve Teknolojisi Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 1994
- [17] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/guneskollektor.html>
- [18] http://www.earth-policy.org/Updates/Update12_data.htm
- [19] http://www.epia.org03DataFiguresPPTStat_World_04_02.ppt
- [20] <http://www.epia.org03DataFiguresPPT256,1,Slayt 1>
- [21] http://www.epia.org03DataFiguresPPTStat_World_01_04.ppt
- [22] http://www.epia.org03DataFiguresPPTStat_World_01_01.ppt
- [23] <http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/solarreport/solar.html>
- [24] <http://www.eurosolar.org.tr/sunumlar/2sarigermedokumanlari.pdf>

[25] <http://www.solarbuzz.com/solarindex/Materialssuppliers.htm>

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa KARAMANAV, 12.09.1981 tarihinde Afyon'un Sandıklı ilçesinin Selçik köyünde doğdu.1983 yılında Eskişehir'de yaşamaya başladı. İlkokulu; Millizafer İlköğretim okulunda, ortaokulu; Melahatünügür İlköğretim Okulunda, liseyi ise Yunus Emre E.M.L'de tamamladı.1999 yılında Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi, Elektronik Öğretmenliğini kazandı. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.2004 yılında Erzincan'ın Üzümlü ilçesinde Üzümlü Çok Programlı Lisesi'nde öğretmenlik görevine başladı.Burada iki yıl görev yaptı.2006 yılında Erzincan Fatih Teknik ve E.M.L'ne tayin oldu.Halen bu okulda görev yapmaktadır.