

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PİLİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yasin ARDAĞ

Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik

Programı : Yüksek Lisans

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Sinan KIVRAK

HAZİRAN-2012

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 171050005 nolu öğrencisi Yasin ARDAĞ tarafından hazırlanan “Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sinan KIVRAK (PAÜ)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Orhan KARABULUT (PAÜ)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Selami KESLER (PAÜ)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/01/2013 tarih ve 02/18..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

:



Yasin ARDAĞ

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışması boyunca, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa TEMİZ'e, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sinan KIVRAK'a teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca yüksek lisans ders döneminde kendilerinden ders aldığım Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZEK'e, Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ'a, Yrd. Doç. Dr. Zekeriya GİRGİN'e, Yrd. Doç. Dr. Mahmut GÜNGÖR'e yardımlarından dolayı teşekkürü borç bilirim. Tez süresince yardımcı olup ilgilenen arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Haziran-2012

Yasin Ardağ

(Elektrik-Elektronik Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. GİRİŞ	1
1.1 Güneş Pillerinde Kullanılan Malzemeler	1
1.1.1 Kristal Silisyum Güneş Pilleri.....	2
1.1.1.1 Tek-kristal (Monokristal) Silisyum Güneş Pilleri	4
1.1.1.2 Yarı-kristal Silisyum Güneş Pilleri	7
1.1.1.3 Çok-kristal Silisyum Güneş Pilleri	7
1.1.2 İnce Film (Thin Film) Güneş Pilleri	10
1.1.2.1 Amorf Silisyum Güneş pilleri	13
1.1.2.1.1 Amorf Yapı	13
1.1.3 Bakır İndiyum Güneş Pilleri	18
1.1.4 Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri	20
1.1.5 Selenyum Güneş Pilleri.....	23
1.1.6 GaAs Güneş Pilleri.....	23
1.1.7 Ağartma Özellikli (Dye) Duyarlı Piller	24
1.2 Güneş Pillerinin Verimliliklerinin Tablosal Gösterimi	25
2. GÜNEŞ PİLİ KARAKTERİSTİKLERİ.....	28
2.1 Genel İnceleme.....	28
2.2 Sonuç ve Yorumlar.....	34
3. MAKSİMUM GÜÇ TAKİP SİTEMLERİ (MPPT)	35
3.1 Maksimum Güç Takip Sistemleri	35
3.2 Geleneksel MPPT Algoritmalarını İçeren Çalışmalar	38
3.3 PV Panel I-V Eğrisinin Maksimum Güç Noktalarının Tespiti	40
3.4 MPPT Algoritmaları.....	46
3.4.1 P&O Algoritması	46
3.4.2 İletkenlik Farkı Yöntemi	48
3.4.3 Sabit Gerilim Yöntemi	49
3.4.4 Sabit Akım Yöntemi	50
4. UYGULAMA BÖLÜMÜ.....	51
4.1 Giriş.....	51
4.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri	51
4.2.1 Kycero KS0 10W Polikristal Panel.....	51
4.2.2 10W Monokristal Panel	52
4.2.3 Siemens ST10 10W ince film panel.....	53
4.3 Reosta Olarak Yarıiletken Anahtarların Kullanılması	54
4.3.1 Mosfet	54
4.3.2 Opamplı DAC dizaynı	57
4.3.3 Transduser	58
4.4 Kurulan Genel Devre	60
4.5 Devrenin Çalışma Sistemi	65
4.6 Sonuç.....	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
5.1 Monokristal Panelin Ölçüm Sonuçları	68

5.2 Polikristal Panelin Ölçüm Sonuçları	69
5.3 İnce Film Ölçüm Sonuçları	70
5.4 240W Polikristal Panel Grafikleri	72
5.5 150 W Monokristal Panel Grafikleri	73
5.6 180W Monokristal Panel Grafikleri	74
5.7 120W Polikristal Panel grafikleri	75
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	80

KISALTMALAR

AM	: Air Mass
PV	: PhotoVoltaic
CIS	: Cupper Indium Selenium
STC	: Standart Test Condition
TCO	: Transparent Conductive Oxide
EVA	: Ethylene Vinyl Acetate
CdTe	: Kadmiyum Tellür
GaAs	: Galyum Arsenit
MPPT	: Maximum Power Point Tracking
CVT	: Sabit Voltaj Takipçileri
LCB	: Lineer Akım Güçlendiricileri
P&O	: Pertürbasyon ve Gözlem
UV	: Ultra Viyole
ITO	: Indium Tin Oxide
PU	: Per Units
EMI	: Elektro Magnetik Girişim
RFI	: Radyo Frekanslı Girişim
IncCond	: Incremental Conductance
DAC	: Digital Analog Konvertör
V	: Volt
A	: Amper
ADC	: Analog Digital Convertör

TABLO LİSTESİ

Tablolar

1.1 :Güneş pilleri verimlilikleri.....	25
4.1 : Kyocero KS10 polikristal panelin teknik özellikleri.....	52
4.2 : Monokristal panelin teknik özellikleri	53
4.3 : Siemens ST10 10W panel özellikleri.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

1.1 : Tipik bir kristal silisyum paneli	3
1.2 : Kristal silisyumun tabakaları	4
1.3 : Tek kristal silisyum panelleri.....	4
1.4 : Kristal silisyum panelleri	5
1.5 : Kristal silisyum güneş panelinin hava durumuna göre verimlilik şeması	5
1.6 : Tek kristal silisyum modülün 12V ve 24V'luk sistemde akım-gerilim eğrileri	6
1.7 : Çok kristalli silisyum Panelleri.....	8
1.8 : Çok kristalli silisyumun 12V-24V'luk sistemde akım-gerilim eğrileri.....	9
1.9 : Tek kristal ve çok kristal silisyumun üretim metotlarından çekme ve kesme yöntemi	9
1.10 : İnce film güneş pilinin panel yapısı	11
1.11 : İnce film güneş pili örnekleri.....	13
1.12 : Amorf güneş pillerinin yapısı	15
1.13 : Amorf Silisyum Panelleri	16
1.14 : Işığın farklı ışık dalga boylarından faydalanmak için oluşturulmuş ışık spektrumu	17
1.15 : Bakır indiyum güneş panelinin yapısı	18
1.16 : Bakır indiyum güneş pilleri	19
1.17 : CdTe güneş pilinin yapısı	20
1.18 : CdTe güneş panelleri	21
1.19 : CdTe malzemenin çökeltilmesi için kullanılan reaktörün şeması	22
1.20 : Selenyum Güneş Pilinin Yapısı	23
1.21 : GaAs paneller	24
1.22 : Çeşitli pili verimlilikleri ve yıllara göre değişimi	26
1.23 : Yarıiletken maddelerin bant genişliğine göre verimlilikleri	26
2.1 : PV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması	29
2.2 : PV pil panelin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiğinin yükle değişimi	30
2.3 : PV pilin I-V ve P-V karakteristikleri	31
2.4 : PV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün sıcaklıkla değişimi	32
2.5 : PV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün ışık şiddetiyle değişimi	33
2.6 : PV pilin maksimum çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim ve akımının karakteristikleri	34
3.1 : Fotovoltaik güç sisteminin blok diyagramı	36
3.2 : MPPT kontrollü şarj denetleyici sistemin blok diyagramı	37
3.3 : İdeal bir Fotovoltaik hücrenin I-V ve P-V karakteristikleri	41
3.4 : PV panele ait I-V ve P-V karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası	44
3.5 : PV panelin farklı ışınım altında I-V karakteristiği ve maksimum güç noktaları	45
3.6 : Üç farklı sıcaklık seviyesinde PV ye ait I-V karakteristiği	45

3.7 : P_{PV} - V_{PV} karakteristiğinde çalışma bölgeleri.....	47
3.8 : İletkenlik farkı yöntemi için blok şeması	49
3.9 : Sabit gerilim veya sabit akım MPPT yöntemi için blok şeması	49
4.1 : Kyocero KS10 Paneli.....	51
4.2 : Monokristal 10 W panel	52
4.3 : Deneyde kullanılan ince film siemens PV modülü.....	53
4.4 : Siemens ST akım-gerilim eğrileri.....	54
4.5 : Mosfetin yapısı ve devre sembolü	55
4.6 : Mosfetin Çalışma Bölgesi.....	57
4.7 : Opamp devresi	58
4.8 : Transducer devresi.....	60
4.9 : Kurulan devrenin baskı devre kartı.....	61
4.10 : Devrenin isis programında çizilen simülasyon devresi	62
4.11 : Devrenin ares programında çizilen baskı devresi	63
4.12 : Devrenin akış diyagramı	64
4.13 : Kurulan devrenin resimleri	66
5.1 : Monokristal panele ait I-V grafiği	68
5.2 : Monokristal panele ait P-V grafiği.....	69
5.3 : Polikristal panele ait I-V grafiği	70
5.4 : Polikristal panele ait P-V grafiği.....	70
5.5 : İnce filme ait I-V grafiği	71
5.6 : İnce filme ait P-V grafiği	71
5.7 : 240W Polikristal panelin I-V Grafiği.....	72
5.8 : 240W Polikristal panelin P-V grafiği.....	72
5.9 : 150W Monokristal panel I-V grafiği	73
5.10 : 150w Monokristal P-V grafiği	73
5.11 : 180w Monokristal panel I-V grafiği	74
5.12 : 180w Monokristal panel P-V grafiği	74
5.13 : 120W Polikristal panel I-V grafiği	75
5.14 : 120W Polikristal panel P-V grafiği.....	75

SEMBOL LİSTESİ

η	Doluluk Faktörü
n	n tipi malzeme
p	p tipi malzeme
k	Panelin maksimum güç noktasındaki kısa devre akım sabiti

ÖZET

GÜNEŞ PİLİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada; Güneş pillerinin yapıları incelenerek, 10W'lık üç adet panel üzerinde reosta ve yarı iletken anahtarlamalı mosfet ile MPPT teknikleri uygulanmış ve genel karakteristikleri çıkarılmıştır. Çıkan sonuçlar yorumlanmıştır. Tez beş bölümden oluşmaktadır.

Bölüm 1 de; Güneş pillerinin genel yapısı, üretimi ve kullanılan panel türleri hakkında genel bir bilgi verildi. Bölüm 2 de; Genel olarak güneş pillerinin karakteristikleri, akım, gerilim ve sıcaklıkla karakteristiklerinin değişimi gözlemlendi. Bölüm 3 te; Maksimum Güç Takip Sistemleri (MPPT), yapılan çalışmalar ve yöntemleri incelendi. Bölüm 4 te; Deneyde kullanılan malzemelerin tanıtımı, deneyin uygulama devresinin kurulumu ve ölçümler tamamlandı. Bölüm 5 te; Yapılan ölçümlerden panellerin karakteristikleri çıkarıldı ve sonuçlar değerlendirildi.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Pili (PV), Fotovoltaik Sistem, MPPT

SUMMARY

THE RESEARCH OF SOLAR CELL CHARACTERISTICS

In this work, by examining structure of solar cells, on the three pieces panel with 10W rheostat and semiconductor switching MPPT's technics had been applied and general characteristics have been released. All results was determined. Thesis is including 5 parts.

In first part; it is given information about general form of solar cells, production of solar cells and used panel types. In second part; it is determined that solar cells characteristic as a whole, current, voltage and also it is observed solar cells characteristics in term of change of temperature. In third part; MPPT, recent studies and ways of studies were analyzed. In fourth part; it is given that general information about the devices which are used in the experiment-testing and building of application system. Also measurements are finished. In fifth part; characteristics of panels are released by using measurements.

Key Words: Solar Energy, Solar Cells (PV), Photovoltaic System, MPPT

1. GİRİŞ

Dünyada yaklaşık enerji kullanımı her geçen gün artmaktadır. Buna karşılık bu enerji ihtiyacını karşılayan enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Yapılan araştırmalar, petrol, kömür, doğal gaz kaynaklarının 20-30 yıl sonra yetersiz kalacağını göstermektedir. Bu nedenle, insanlar yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgâr, su ve biokütle gibi) yönelmişlerdir. Bu alanda çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu çalışmamızda alternatif enerji kaynaklarından güneş pillerini inceleyeceğiz.

İlk yatırım maliyetinden sonra, bakım ihtiyacı sifıra yakın olan güneş pili sistemlerinin birim fiyatları dünya genelinde düşmeye başlamıştır. Bunun sonucunda, çok yakın bir gelecekte hem verim hem de maliyet olarak alternatif enerji olarak güneş pilleri sistemleri, diğer konvansiyonel sistemler ile aynı seviyeye gelecektir. Bu da alternatif enerji kaynaklarının kullanımı zamanla arttıracaktır. Sınırsız ve sorumsuzca enerji tüketiminin yerini, bilinçli, çevreye saygılı ve ihtiyacı karşılamaya yönelik enerji kullanımı alacaktır. Böyle bir ortamda da refah düzeyini, en fazla enerji tüketen yerine, en verimli enerji kullanan belirleyecektir.(Atik, Çakır, 2006)

1.1 Güneş Pillerinde Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken ürünlerdir. 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.

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Güneş pillerinin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir gündeki ışınım şiddeti maksimum 1000 W/m^2 civarındadır. AM (air mass)=hava kütlesi=1,5 iken, 1 m^2 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800-2600 kWh arasında değişir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 - %40 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.(Demir,2002)

Güneş panelinin sadece hücresinin veriminin çok iyi olması bir şey ifade etmez, aynı zamanda en dış yüzeyde bulunan camında veriminin yüksek olması gerekir. Cam yansıtmayan özel yüzeyi ile maksimum güneş ışığı soğurmalı ve geri yansıma değerinin çok düşük olması gerekir. Üreticiler kıvamına göre cam kullanılır ve genellikle bu cam 4 mm ya da 5 mm kalınlığındadır. Günümüzde üretilen ticari kullanımdaki güneş panelleri verimleri üretici firmaya göre %12 ile %30 arasında değişmektedir. Hücrelerinin ön yüzeylerinde bağlantı kontağı bulunan güneş paneli verimleri %15 ile %17 arasındadır. Hücrelerinin ön yüzeylerinde bağlantı kontağı bulunmayan, iki kontağı da arkasında bulunan hücrelerden yapılmış güneş panelleri verimleri %18 ile %20 ye kadar ulaşmıştır. Güneş paneli verimlilik çalışmaları, daha yüksek verimlere ulaşmak için tüm dünyada hiç durmadan devam etmektedir. Genellikle güneş panelleri mukavemet, rüzgâr dayanımı ve kolay montaj için alüminyum çerçeveli olarak üretilmektedir. -40°C ve +85°C dereceler arasında sorunsuzca çalışmakta olan güneş panellerinin korozyon ve UV ışınlarına karşı özel koruması vardır (www.dcdenergy.com)

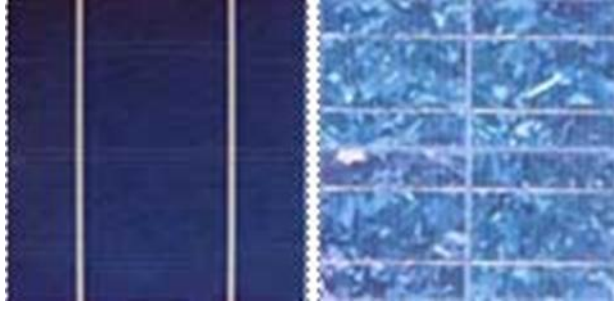
Çıkış gücünü artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü yada fotovoltaik modül (PV) adı verilir. Gerekirse bu modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, fotovoltaik bir dizi oluşturabilir.(Karamanav, 2007)

Güneş pili teknolojisi, kullanılan maddeler ve yapım türleri bakımından son derece farklıdır. Güneş pili yapımı için şu anda kullanılmakta olan ondan fazla maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde çalışılmaktadır.

Bu çalışmamızda çeşitli güneş panellerini inceleyip, bunların ayrı ayrı akım gerilim karakteristiklerini çıkaracağız. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak bu panellerinin çalıştığı maksimum gücü bulup en yüksek hangi verimlilikte kullanabileceğini öğrenecektir. Aşağıda pratikte kullanılan bazı güneş pili türleri anlatılmıştır.

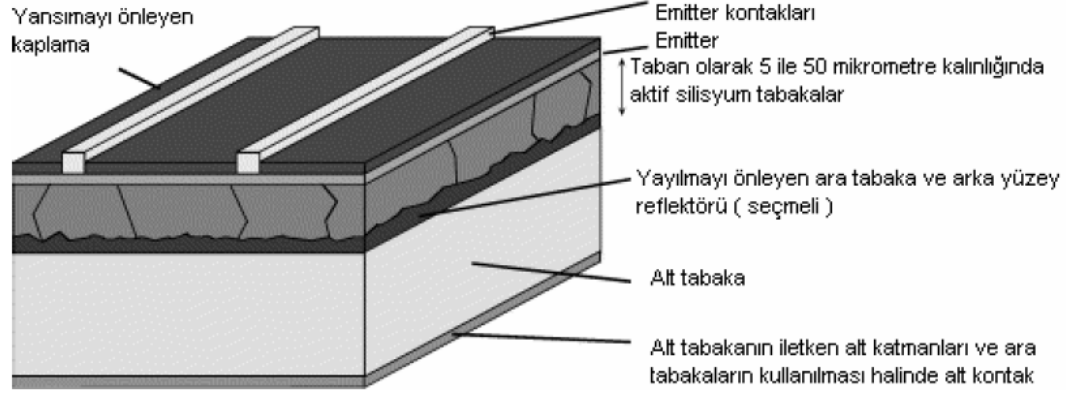
1.1.1 Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Silisyum, tipik olarak yarıiletken özelliği gösteren ve güneş pili yapımında en çok kullanılan bir maddedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojik üstünlüğü nedeniyle, hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir. Tek-kristal, yarı-kristal, şerit ve çok-kristal gibi değişik türleri vardır. Şekil 1.1' de tipik bir kristal silisyum paneli görülmektedir.



Şekil 1.1 : Tipik bir kristal silisyum paneli

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 (Ge) 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. Şekil 1. 2 de kristal silisyumun katmanlar şeklindeki yapısı görülmektedir. Klasik kristal yapılı güneş hücresinin 1m^2 'si için harcanacak olan kaliteli silisyum yaklaşık $0.5\text{--}1\text{ kg/m}^2$ iken 1m^2 'lik ince film için gerekli olan malzemeler CIS (Copper Indium Selenium) için : 7–20 gr molibdenyum, 1.5–4 gr bakır 3–9 gr indiyum, 7–20 gr selenyum ve 1–3 gr çinko dur.(www.dcdenergy.com)



Şekil 1.2 : Kristal Silisyumun tabakaları

1.1.1.1 Tek-kristal (Monokristal) Silisyum Güneş Pilleri

Monokristal güneş panelleri, atmosferden gelen belli dalga boyundaki güneş ışınlarını DC elektrik enerjisine çeviren modüllerdir. Monokristal yapıdaki güneş pilleri standart boyutlarda 100x100 mm, 125x125 mm veya 156x156 mm hücrelerden imal edilerek, üretildiği voltaj ve güç değerine göre 36–54–60 veya 72 seri hücre içerirler. Şebeke bağlantılı sistemler için, maksimum çalışma ve seri bağlanma voltajı panel etiketinden mutlaka kontrol edilmelidir. (700V, 1000V gibi) Aksi takdirde oluşturulacak ters yüksek voltajlar güneş paneline zarar verilebilir. (Karamanav,2007) Şekil 1.3’ te tek kristal silisyum panelleri görülmektedir.



Şekil 1.3 : Tek kristal silisyum panelleri

İlk ticari güneş pillerinde, Chrozalski kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapı silisyum kullanılmıştır. Fotovoltaik endüstride hala en çok kullanılan yöntemdir Halen geçerli 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 yapı silisyum parçası batırılır.

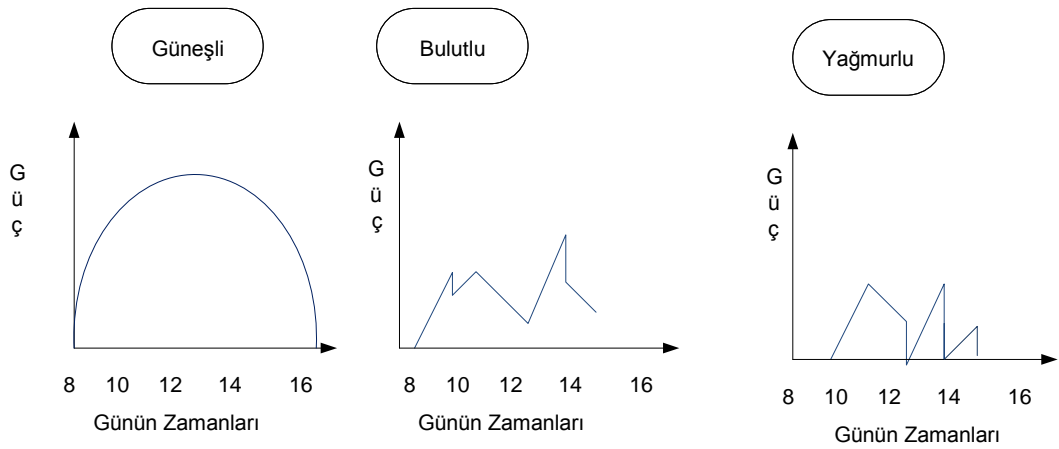
Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu işlem, iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak güneş pili şeklinde işlenir.

Verimleri %15-18 arasındadır, verimlerinin yüksek oluşundan dolayı uzun vadeli yatırımlar için idealdir. Laboratuvar ortamında %20'lik bir verime ulaşılmıştır. Maliyetini geri ödeme süresi 4-6 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %7 verim kaybı meydana gelir. Saf kristal gereksinimi yüzünden pahalıdır. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajıdır. (Karamanav, 2007)



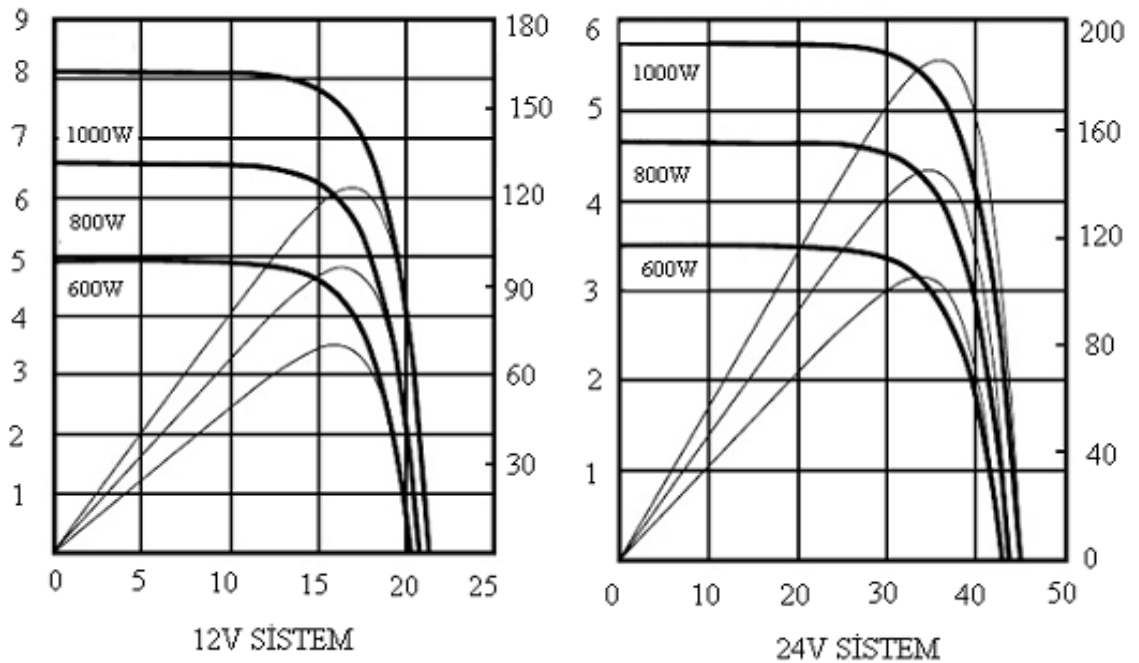
Şekil 1.4 : Kristal silisyum panelleri (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı, 2007)

Şekil 1.4 te piyasada kullanılan tek kristal silisyum panel görülmektedir.. Şekil 1.5' te de hava şartlarına göre verimlilik şeması görülmektedir.



Şekil 1.5 : Kristal silisyum güneş panelinin hava durumuna göre verimlilik şeması

Bir güneş panelinin verim performansı hücre verimi ile panel camı verimi toplamına eşittir. Bir güneş panelinin etiketindeki değerler her zaman STC (Standart Test Condition) standart test koşullarında ölçülmüş değerlerdir. Bu standart değerler; m^2 'ye 1000W ışınım düştüğü, güneş ışığı hava kütesinin (AM) 1,5 alındığı ve sıcaklığı 25 °C olan etiketteki değerlerdir. Yani güneş panelinin denendiği yerdeki bu değerler, STC değerlerinden iyi ya da daha kötü ise panelin Watt değerinin etikettekinden eksik ya da fazla çıkması oldukça normaldir. Etiket değerleri arasında kısa devre akımının yer almasının nedeni herhangi bir güneş panelinden alınabilecek en büyük akım kısa devre akımıdır. Bir güneş panelinin performansı hakkında en kolay ve en basit bilgi edinmenin yolu; seri bağlanacak bir ampermetre ile çok kısa süreli direk +, - uçları kısa devre edilerek ölçülen akım ile etiket değeri karşılaştırılarak değerlendirme yapılabilir.



Şekil 1.6 : Tek kristal silisyum modülün 12V ve 24V'luk sistemde akım-gerilim eğrileri

Kristal yapıdaki güneş panellerinde sistem voltajı 12V ya da 24V DC sistemi besleyecek şekilde üretilirler. 12V Sistemlerde voltaj 17V (V_{max}) - 22V (V_{oc}) arasında değişir, 24V Sistemlerde ise ortalama 33V (V_{max}) - 44V (V_{oc}) arasında değişir. Kurulacak solar sistem voltajı, çok çeşitli şekillerde ve geniş aralıklarda, belirlenecek güneş paneline göre seri ya da paralel bağlantılarla kolaylıkla

ayarlanabilir. (12–24–48–200 ya da 400V vb.) Şekil 1. 6’ da tek kristal silisyum modülün 12V ve 24V’luk sistemde akım-gerilim eğrileri görülmektedir.

Mono-Kristal güneş panellerinin renkleri oldukça koyu ve lacivert tonlardadır. Verimleri her zaman diğer tiplere göre %1 ile %3 arasında daha fazladır. Ömürleri diğer tiplere göre daha uzundur. En çok kullanılan güneş paneli tipidir ve 30, 60, 80, 90, 120, 160, 175 ve 200W standart güç modelleri en yaygın kullanılan modellerdir.130-140-150-185W değerleri gibi ara değerlerde de üretilmektedir. Laboratuvar koşullarında %24 verim sağlamasına rağmen ticari ürünlerde verim %16-17 civarındadır. Tekli kristaller üretmek uzun ve pahalı bir yöntem olduğu için bu yöntem genellikle fazla tercih edilmemektedir. Silisyum elektriksel ve optik özelliklerini uzun süre koruyabilmektedir. Bu da silisyumu güneş pilleri için uygun bir malzeme haline getirmiştir

1.1.1.2 Yarı-kristal Silisyum Güneş Pilleri

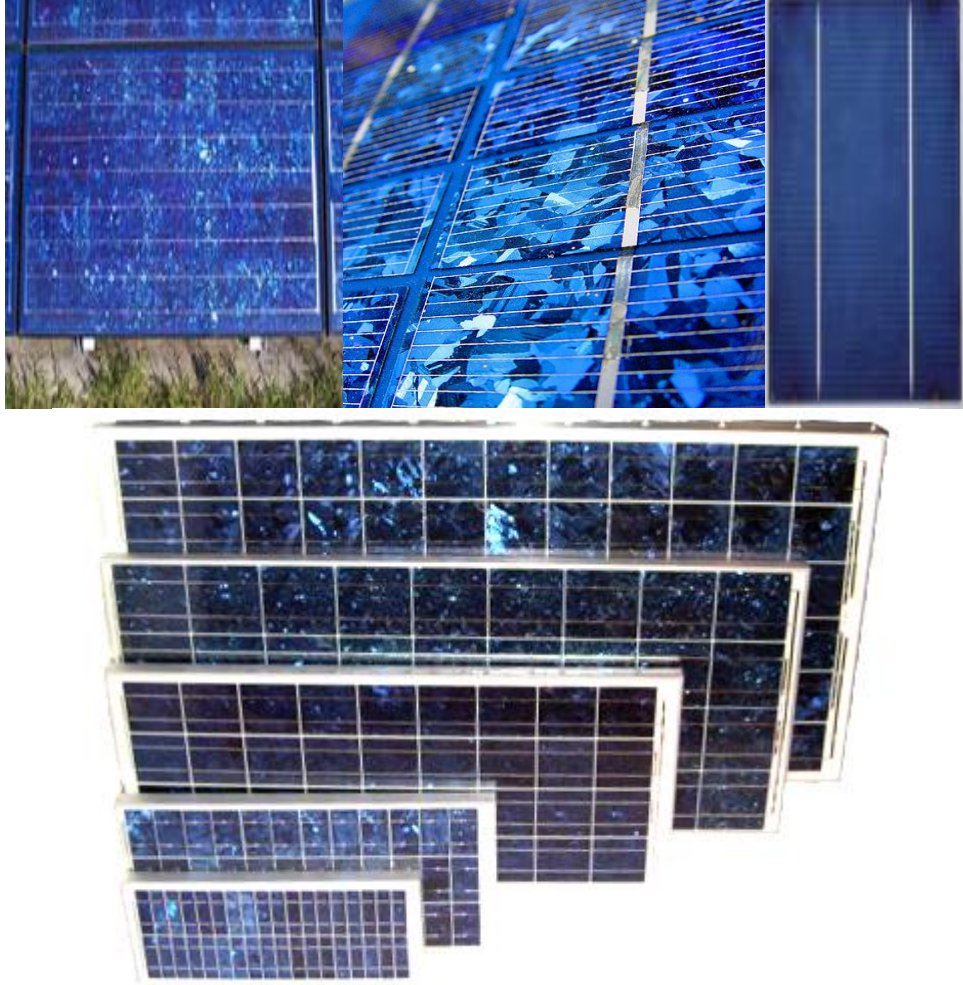
Yarı-kristal de denen bu tip piller, sıvı silisyumun soğutulması ile elde edilen kümelenmiş, küçük silisyum kristallerinden oluşur. Bu pillerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır.(Demir, 2002)

1.1.1.3 Çok-kristal Silisyum Güneş Pilleri

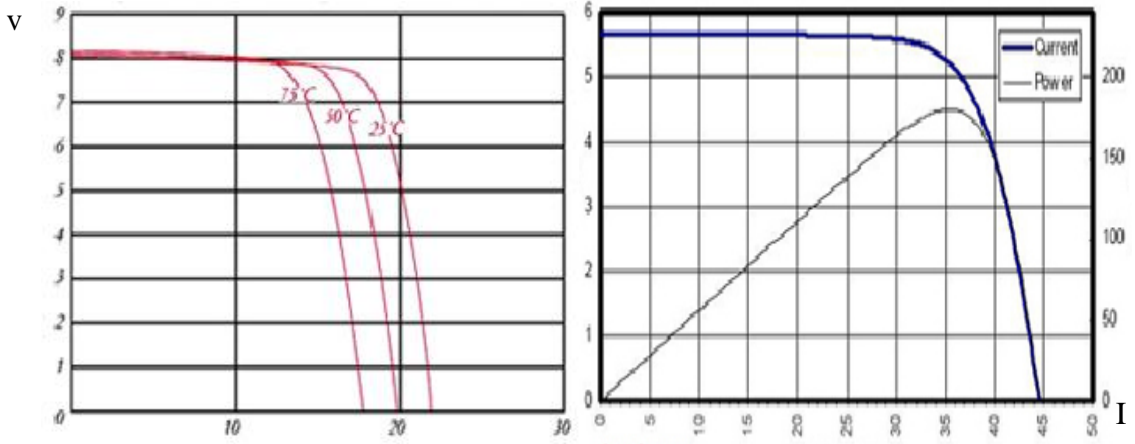
Çok kristalli malzemede damarların kristal yapılarının birbirilerine göre yönlenmeleri dışında elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri özdeştir. Damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Damarlarının arasındaki süreksizlik, özellikle elektriksel yük taşıyıcılarının aktarılmasında önemli ölçüde engelleyici rol oynar. Çok kristalli malzemenin elektriksel özelliklerinin küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olarak bozulması, elde edilebilecek verimliliğin tek kristalle karşılaştırıldığında küçük olmasına neden olur. Ancak çok kristalli silisyum üretim teknolojileri daha az enerji harcar ve üretimi daha kolaydır. Çok kristalli silisyumun güneş pili maliyeti önemli ölçüde düşüktür.(Demir,2002)

Çok kristalli silisyum güneş pillerinin üretimi daha çoktur. Bunun başlıca nedeni poli kristal üretiminin kolay ve ucuz olmasıdır Çok kristalli silisyumun üretilmesinde en çok kullanılan yöntem “dökme” yöntemidir. Çok kristalli silisyumda başlangıç malzemesi tek kristalli silisyumda olduğu gibi hazırlanır. Aranan saflık derecesi de

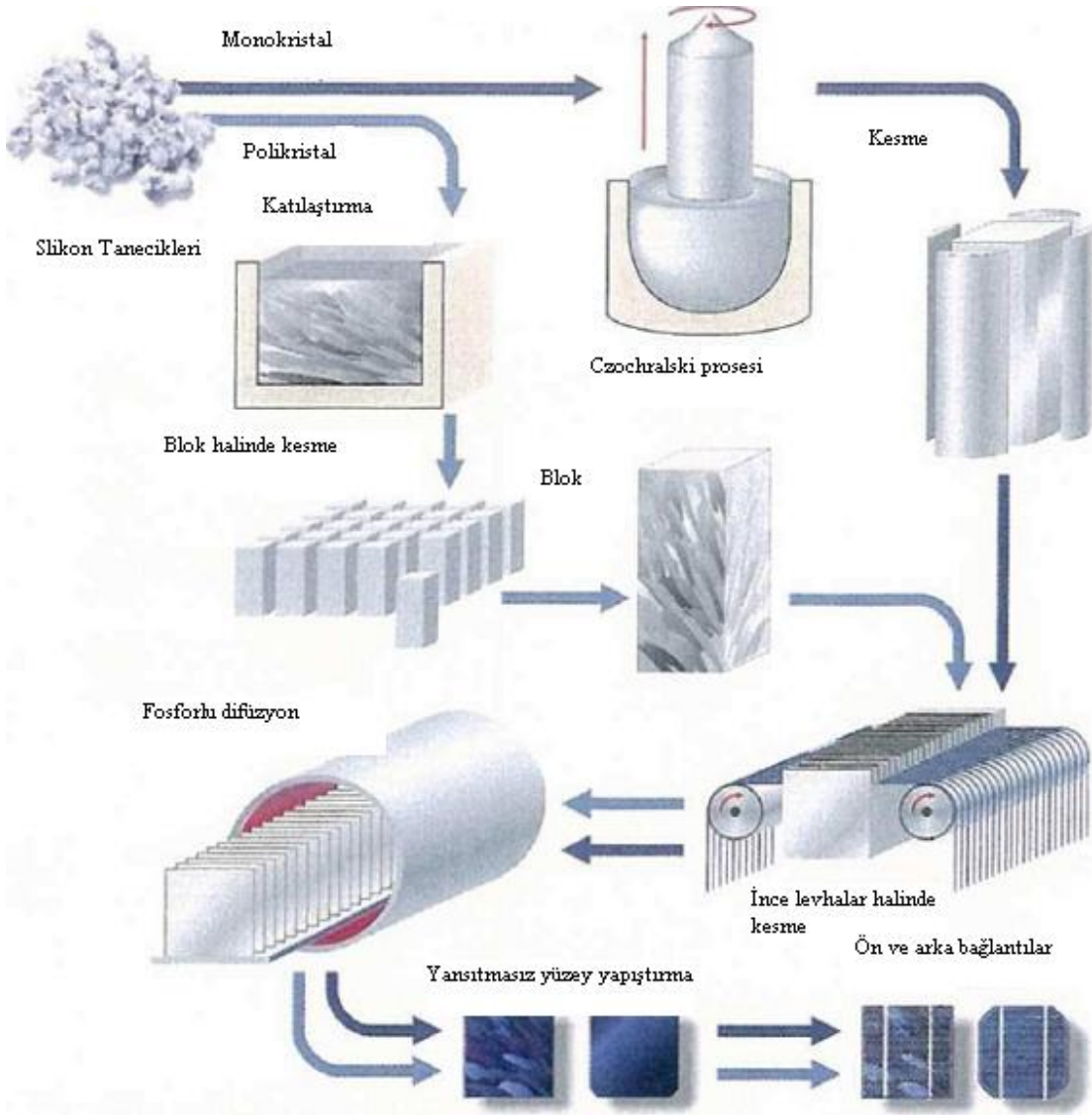
benzer basamakta olmalıdır. Erimiş yarıiletken kalitesindeki silisyum, kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır. Elde edilen bloklar daha sonra kare şeklinde kesilir. Bu teknoloji ile üretilen malzemelerden elde edilen güneş pilleri verimliliklerinin daha az olmasına rağmen, bu pillerde maliyetler önemli ölçüde aşağıya çekilebilmektedir. Şekil 1.7’ de çok kristal silisyum panelleri görülmektedir. Şekil 1.8’ de de çok kristal silisyum panellerinin 12V-24V sistemde akım-gerilim eğrileri görülmektedir.



Şekil 1.7 : Çok kristalli silisyum Panelleri



Şekil 1.8 : Çok kristalli silisyumun 12V-24V'luk sistemde akım-gerilim eğrileri



Şekil 1.9 : Tek kristal ve çok kristal silisyumun üretim metodlarından çekme ve kesme yöntemi (Kıvrak,2008)

Verimleri %12–15 arasındadır, kristal yapıları laboratuvar ortamında %16,2'lik bir verime ulaşmıştır. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2–4,5 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %14 verim kaybı meydana gelir. Üretim süreci mono kristale göre daha ucuzdur. Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır.

1.1.2 İnce Film (Thin Film) Güneş Pilleri

İnce filmin çok ince olması, hem ışığı geçiren kaplama malzemesi hem de enerji üreten ürün olarak kullanılmasını sağlar. Toplu üretime uygun olup farklı dalga boylarındaki ışıktan elektrik üretecek şekilde katmanlar şeklinde üretilir. Bu gün itibarı ile ince film yıllık olarak kristal silikon'dan %10–15 daha fazla enerji üretmektedir. Ayrıca 0.6µm kalınlığında %7 verimliliğinde amorf silikon ince film de üretilmektedir. İnce film güneş pilleri üç yol ile üretilir;

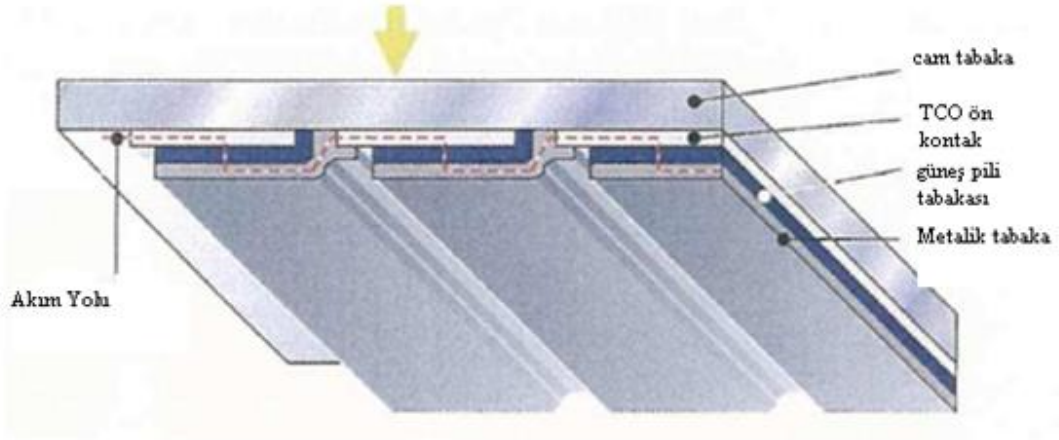
- a) Buharlı Çöküntü (Vapour Deposition),
- b) Püskürtmeli (Sputter Processes)
- c) Katot Tonlanması (Cathode Sputtering) (Kıvrak,2007)

İlk olarak ön alt malzeme (cam vs.) üzerine saydam oksit iletken (Transparent Conductive Oxide (TCO)) püskürtülür. Bu kontak malzeme şeritler şeklinde mekanik olarak ya da lazer ile kesilir. Daha sonra üstüne güneş hücresi tortulaştırılması (püskürtülmesi) yapılır. Tortulaştırılmış güneş hücresi katmanları alttaki iletken okside paralel olacak şekilde yeniden düzgünce kesilir. En son olarak da en alttaki metal iletken püskürtülmesi yapılır böylece bir birine seri bağlı hücre gurupları elde edilir. Şekil 1.10'da ince film güneş pilinin yapısı görülmektedir.

Üretimde Kullanılan Malzemeler;

- a) Amorf Silisyum (a-Si)
- b) Bakır İndiyum Diselenid (CIS)
- c) Kadmiyum Tellür (CdTe)

d) Electrolytic Baths. (Elektroliz Banyolu)



Şekil 1.10 : İnce film güneş pilinin panel yapısı

Özellikleri:

Teorik olarak $0.001\text{mm}=1\ \mu\text{m}$ kalınlıktaki ince film ışığın enerjiye dönüşmesi için yeterli olurken pratik olarak $5\ \mu\text{m}$ kadar incesi üretilmiş ve ticari olarak satılmaktadır

Polikristal ve mono kristal hücreler yabancı madde kirliliği açısından çok hassas olmasına karşın (on binde bir yabancı atoma müsaade edilir) ince filmin kirlilik toleransı onlara göre çok yüksektir.

Kristal silikon bir pilin üretiminde $1500\ ^\circ\text{C}$ ' ye kadar sıcaklığa ihtiyaç duyulurken ince film pil üretiminde çökelme (tortulaşma) sıcaklığı $200\ ^\circ\text{C} - 600\ ^\circ\text{C}$ arasındadır.

Kristal piller bir birine arka arkaya harici olarak lehimlenirken ince filmler daldırma ve kaplama esnasında tek parça olarak birbirleri ile birleştirilir. Piller yapım aşamasında (fabrikasyon esnasında) elektriksel olarak birbirinden ayrılır ya da birleştirilir.

Elektriksel bağlantılar fabrikasyon esnasında olukların lazer ya da mekanik olarak 0.5cm den 2cm ye kadar olan bantlar şeklinde birbirinden kesilmesi ile oluşturulur.

Sıcaklık artışı ile olan verim düşümü, diğer piller ile karşılaştırıldığında çok düşüktür, ayrıca pillerin uzun ve dar şeritler şeklinde olması yapısal olarak gölgelenmeden daha az etkilenmesini sağlamaktadır.

Örneğin bir yaprak, silikon bir hücrenin tamamını kaplarken ince film üzerinde birkaç hücrenin üzerinde olmasına rağmen tamamını kapatamadığı için modülün çalışmasını kristal silikon olana göre daha az etkileyecektir.

Bir ince filmi oluşturan malzemelerin %65'i (saydam kontaklar) kaplamadır. Kaplama malzemesi olarak kullanılan indiyumun fiyatı 100 \$/Kg dan 500 \$/Kg'a kadar değişebilmektedir. Buna rağmen indiyumun solar panele olan maliyeti %2'dir.

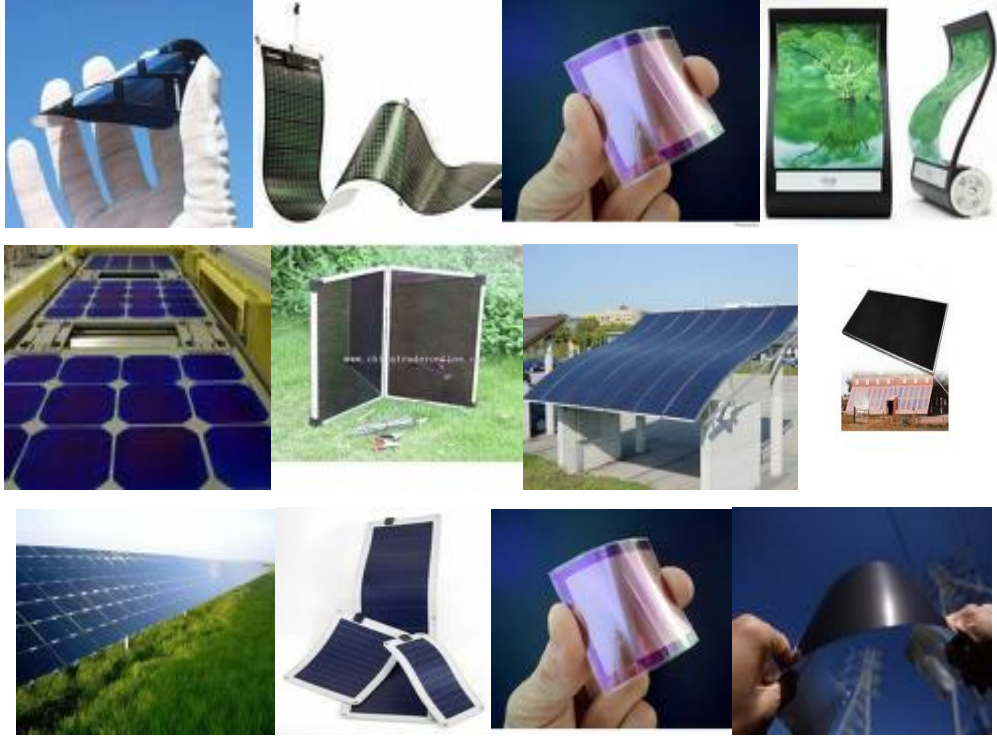
Kullanılan silisyum miktarında yaklaşık 100-200 kat azalma. Elde yapılan hücreler arası bağlantılar yerine tümleşik devre teknolojisi ile otomatik olarak yapılan ara bağlantılar.

Silisyum kristalleri ergitme için ihtiyaç duyulan yüksek enerji tüketimine gerek kalmamasıdır. (Kıvrak, 2007)

İnce film silisyum teknolojisi uzun bir süredir laboratuvar düzeyinde biliniyor ve dünya çapında yüzlerce araştırmancının konusunu oluşturuyordu. Fakat laboratuvarlarda elde edilen numunelerde gözlenen zamanla güneş ışığında bozulma olayının nedenleri anlaşılamiyor ve önlemleri bulunamıyordu. Ancak bu sorunlar da artık çözülmüş ve 1984 yılından beri geniş yüzeyli "İnce Film Silisyum" güneş pillerinin ticari olarak üretimine başlanmıştır.

Hücreler arasındaki aralıklar (yivler) geniş olursa PV'nin ışık geçirgenliği daha çok olur. Tipik Transparent Conductive Oxide (TCO) materyalleri, Çinkooksit (ZnO), kalay dioksit (SnO₂) ve İndiyum Kalay (InSn) içermektedir. TCO tabakası ince film üretiminde önemli bir maliyet faktörüdür. Oluşturulan dizi kaplama malzemesi EVA (Ethylene Vinyl Acetate) ile kaplandıktan sonra ikinci bir cam kaplama ile kaplanır. Bu teknikte, soğurucu özelliği daha iyi olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta (tek kristalin 1/500'ü kalınlığında) güneş pillerinin soğurma katsayısı, kristal silisyum güneş pillerinin katsayılarından daha fazladır. Dalga boyu 0.7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile soğurulabilirken, kristal silisyum da ise aynı radyasyonu soğurabilmek için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Ayrıca montaj kolaylığı nedeniyle işgücünün azalması, bu güneş pillerine avantaj sağlar. "İnce Film Silisyum" güneş pilleri cam, paslanmaz çelik veya plastikten bir düz yüzey üzerinde oluşturulan yaklaşık 1 mikron kalınlığında Silisyum Hidrojen alaşımı ince bir film tabakasından oluşur. Malzeme ve enerji gereksinimi mono kristal ve polikristal teknolojilerine

göre çok daha düşük olduğu gibi seri üretime son derece uygundur. Şekil 1.11’de çeşitli ince film güneş pilleri görülmektedir.



Şekil 1.11 : İnce film güneş pili örnekleri

İnce Film Silisyum güneş pillerinin bir avantajı da çok düşük ışık şiddetlerinde bile akım üretebilmesidir. Güneş pilli elektronik hesap makinelerinin flüoresan lâmba ışığının da bile çalışabildiği herkesin bildiği bir olaydır. İnce film silisyum güneş pilleri ışığın dalga boyu olarak mor renklere daha hassastır. İnce film tabanı olarak şeffaf plastik veya cam kullanıldığında mor ışıkları süzen, kırmızı ışıkları ileten saydam güneş pilleri elde edilmektedir.

Gelecekte saydam güneş pillerinin binalarda elektrik üretiminde kullanılması tasarlanmaktadır.

1.1.2.1 Amorf Silisyum Güneş pilleri

1.1.2.1.1 Amorf Yapı

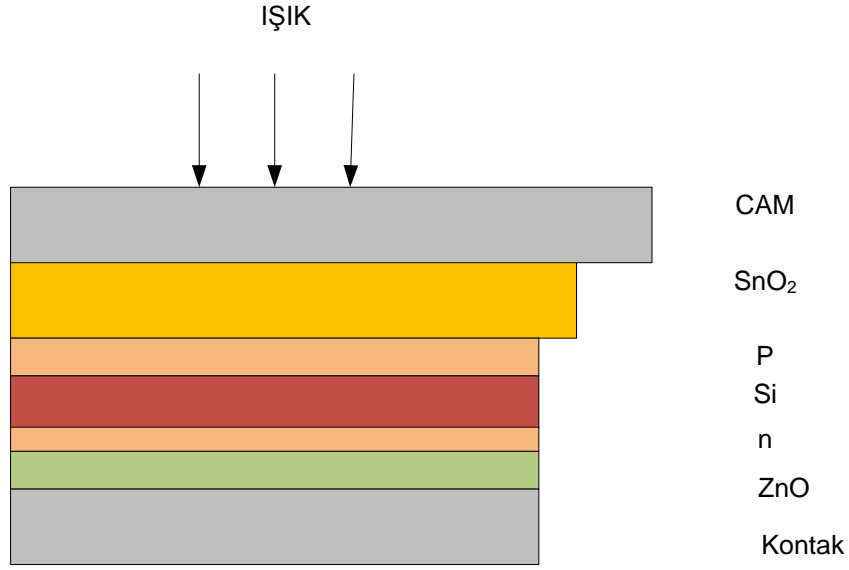
Katı madde atomlarını belli bir düzende bir arada tutan bir yapıdadır. Fakat amorf katıların yapısında atomların yerleri uzun mesafede periyodik bir düzende değildir. Amorf yapılara cam ve bazı plastik türleri örnek olarak verilebilir. Amorf yapılar bazen mükemmel yapılar olarak da tanımlanabilir. Bunun sebebi moleküllerinin (tıpkı bazı sıvı yapılarıdaki gibi) gelişmiş güzel biçimde düzenlenmiş olmasıdır. Örnek

olarak camı ele alırsak, camın kristal yapıya sahip olan kuartz kumu, ya da silisyum dioksitten oluşan basit bir yapıya sahip olduğunu görürüz. Kum eritildiğinde, kristalleşmesi önlemek için çabucak soğutulur ve cam adı verilen amorf katı şeklini alır. Amorf katılar, katı halden sıvı hale geçerlerken belirli bir ergime noktasında keskin bir faz geçişi gösterirler. Bundan ziyade ısıtıldıklarında yavaş yavaş ve yumuşak bir faz geçişi gösterirler. Amorf yapıların fiziksel özelliklerini herhangi bir eksen boyunca bütün yönlerde aynıdır. Bu nedenle izotropik bir yapıya sahip oldukları söylenebilir. (Yapıcı, Aslantaş, 2008)

1.1.2.1.2 Amorf Yarıiletkenler

Periyodik tablonun 6. grup elementlerinden olan Te, Se, S, O , 5. gruptan olan Bi, Sb, As, P elementleri ile 4. gruptan olan Si ve Ge elementlerini kapsayan muntazam dörtlü ve üçlü alaşımlar, ikili bileşikler ve elementler olmak üzere yarı iletken özelliklere sahip amorf maddeler vardır. Bunlar asıl katılanlar olmasına rağmen, bazı geçiş metal oksitleri amorf yarı iletken form oluşturabilirler ve diğer elementler de, yukarıda ismi geçen elementlerle bir arada bulunabilirler.

Amorf silisyumların taşıma özelliği düşük olduğu için ışıkla oluşan enerjinin taşınması içsel bir elektrik alanı ile mümkün olmaktadır. Üründe oluşan hatalar, üretilen enerjinin taşınmasını etkilemektedir. Şekil 1.12 de amorf silisyum güneş pillinin yapısı verilmektedir. Yüksek kapasiteli bir enerji alanı oluşturmak için pillerin ince olması gerekir. Bu boyut birkaç yüz nanometredir. Uygun ışık tutma yöntemleri kullanarak ince güneş pillerinden yüksek verimler sağlanabilir

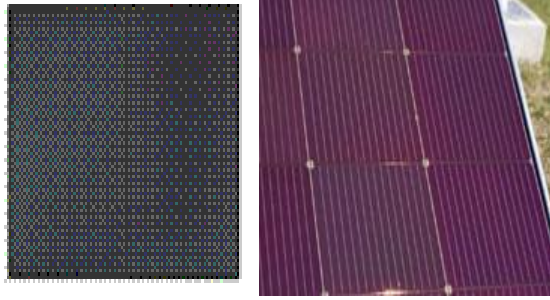


Şekil 1.12 : Amorf güneş pillerinin yapısı

Amorf silikon düzenli kristal bir yapıda olmayan düzensiz ağ bağlantısına sahiptir. Açık bağlar doyana kadar hidrojen soğurur. Hidrojenize edilmiş bu amorf silikon (a-Si- H) plazma reaktörünün içinde gazlaştırılmış Silanın (SiH₄) gaz fazında tortulaştırılması ile oluşturulur. Gazlaştırılmış silikon elektron buhar bombardımanı ile silane SiH₄ veya disilane Si₂H₆ formunda kullanılır. İşlem sıcaklığı düşüktür (200-250°C). Katkılandırma karışık gazlar ile yapılır. Örneğin p tipi malzeme için B₂H₆ n tipi malzeme için PB₃ kullanılır. Katkılandırılmış a-SiH'nin küçük difüzyon uzunluğundan dolayı p-n jonksiyonu yeterince elektrik üretmez. Bu yüzden i tipi katkılandırılmamış madde, katkılandırılmış n ve p tipi malzeme arasına yerleştirir. İletken Oksit (Transparent Conductive Oxide, TCO) ön kontak malzemesi olarak Kalay Oksit (SnO₂), İndium Tin Oxide (ITO) veya Çinko Oksit (ZnO) kullanılır. Altta kullanılan TCO ise yansıtıcı görevi görür.

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. Ancak bu piller, kısa zamanda bozunuma uğrayarak çıkış güçleri azalır. Soğurma katsayısı çok büyük olan amorf silisyum, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Amorf-silisyum malzemesini kristal silisyumdan ayıran özellik, silisyum atomlarının malzeme

içindeki düzenlerinin, birinci derece komşu atomların ötesinde gelişigüzel olmasıdır. Malzeme içerisindeki yapı taşlarının bu gelişigüzel dizilişi amorf-silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de, uygun yaklaşımlarla yarı iletken içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak elektriksel özellikler fotovoltaik çevirime uygun olan düzeyde tutulabilirler.(Karamanav,2007)



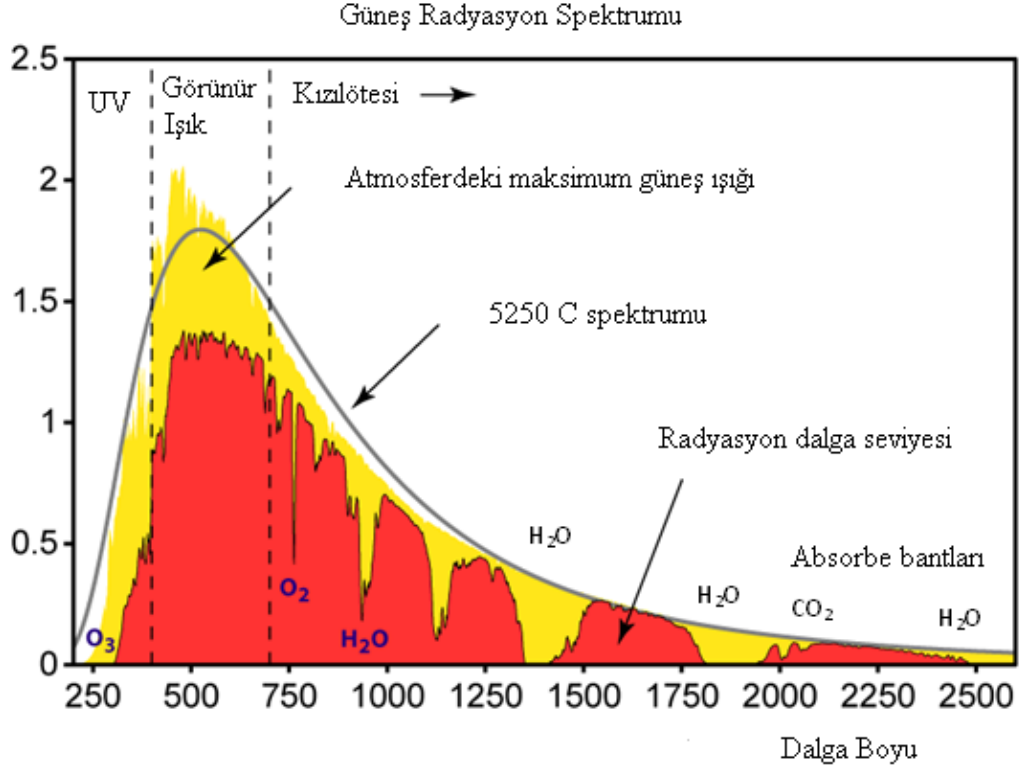
Şekil 1.13 : Amorf Silisyum Panelleri

Amorf silisyumlar kristal yapıya sahip değildir. Daha çok küçük elektronik aletlerde kullanılmaktadır. Gelecekte binaların dış cephesine entegre olarak kullanılacağı tahmin edilmektedir. Maliyetini geri ödeme süresi 1,5-3,5 yıl arasındadır, zaman içerisinde %21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır. Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmektedir fakat üretim süreci ucuz olduğu için firmalar bu hücre tipine de yönelmektedir.

Amorf silisyum için kullanılan en yaygın teknoloji “ışık boşalım (glow-discharge)” dir. Bu teknikte silane (SiH_4) gazı ve hidrojen karışımı bir çift elektrot arasından geçirilerek elektrotların işaretleri yüksek frekanslarda değiştirilir; bunun sonucu olarak SiH_4 parçalanarak kararsız SiH_3 kökünü oluşturur. İzleyen aşamada, kararsız SiH_3 elektrotlardan birine giderek bağlanır ve kararlı hale gelir, ardından hidrojen yüzeyden ayrılarak geride silisyumu bırakır; böylece yüzey silisyumla kaplanmış olur. Elektrot üzerinde büyüyen silisyum gazının içerisine boron ya da fosfor katılarak n ya da p tipi yapılabilir

Amorf silisyum 1980’li yıllarda ince film fotovoltaik alanının en gözde malzemesi olmuştu, 1982’de %10 verimlilik sınırı aşılmış ve 1987’de verimlilik %12,7'lere kadar çıkmıştır. Son yıllarda bu değer laboratuvar ortamında %15 değerinin üzerine çıkarılmıştır. Fakat amorf silisyum pillerinin güneş altında verimliliklerinin hızla

düşmesi bu tür pilleri büyük ölçekli güç üretiminde tasarım dışı bırakmıştır. 1980'lerin başında kararlı verimlilik değeri ancak %3,5 dolayında tutulurken, bu gün bu değerin %6-6,5 dolayında olduğu belirlenmektedir. Şekil 1.14' de farklı dalga boylarında ki güç dağılımı görülmektedir.



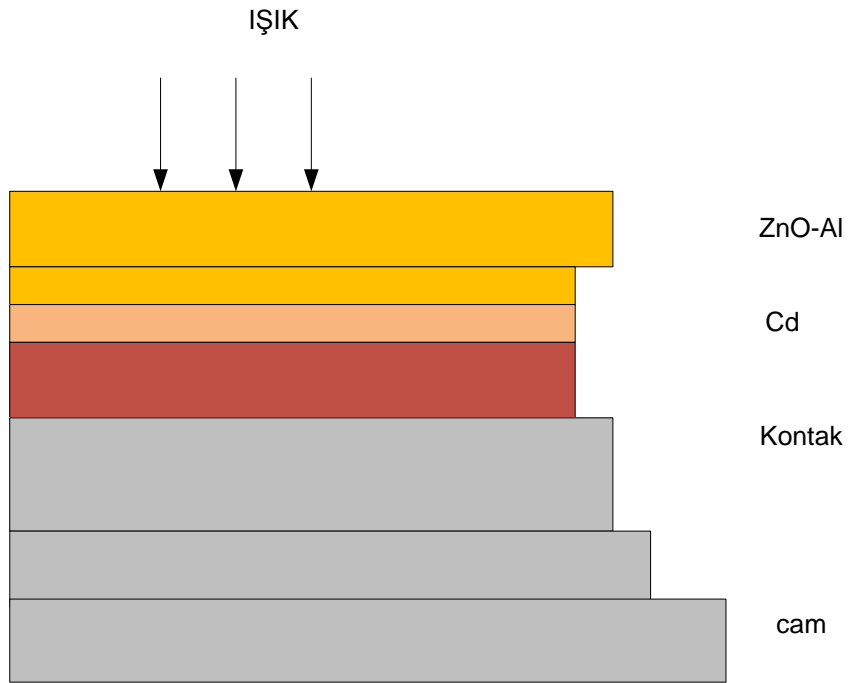
Şekil 1.14 : Işığın farklı ışık dalga boylarından faydalanmak için oluşturulmuş ışık spektrumu

Küçük ölçekli güç gerektiren uygulamada (saat pilleri, hesap makinesi vb.) amorf silisyum piller en gözde güç kaynaklarıdır. Yeni gelişimlerle bu piller büyük ölçekli güç gerektiren uygulamalarda da yerini almaktadır.

Bu pillerin dezavantajı verimleri düşüktür, ilk çalışmasının 6-12. ayları arasında üretmiş olduğu enerjide bir düşüş görülür ve bu stabil oluncaya kadar devam eder (örneğin; ilk üretildiğinde verimi %5 olan bir ürünün birkaç ay sonra verimi %3'e düşer). Daha fazla verim ve güneş ışık spektrumunun çeşitli dalga boylarından faydalanmak için üst üste iki katman ya da üç katman birleştirilebilir. Örneğin germanyum karıştırılır (admixing germanium (a-SiGe)).

1.1.3 Bakır İndiyum Güneş Pilleri

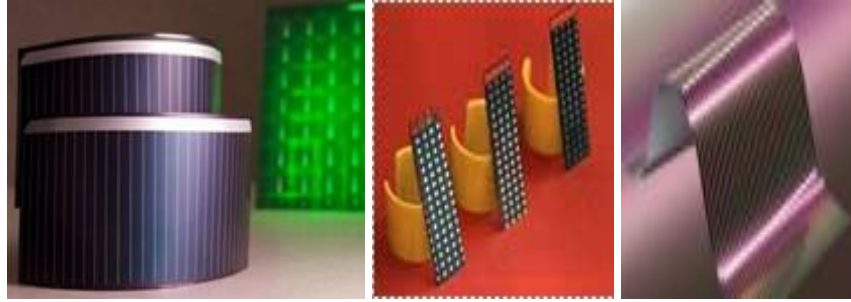
Periyodik tablonun I., III. ve VI. grup elementlerinin ikisinin ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyum dan yapılan üçlü bileşik yarıiletkenle başlayan bu grup CIS (Copper Indium Selenium) güneş pilleri olarak anılır. CdTe (Cadmium Tellur) 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. Şekil 1.15 de temel yapısı görülmektedir. (Karamanav,2007)



Şekil 1.15 : Bakır indiyum güneş panelinin yapısı

Ancak yarıiletkeni oluşturan element sayısı arttıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuardaki küçük alanlı pillerin verimliliği %18'e ulaşırken, 900 cm² 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

yarıiletken, CdS ile bir araya getirilerek hetero-eklem 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 5-10 Watt değerinde küçük modül üretimini ABD’de başlatmıştır. Bu ince film güneş pillerinde test altındaki uzun dönem modül verimlilikleri %10 değerinin altında kalmaktadır. Şekil 1.16’te ticari olarak kullanılan bakır indiyum güneş pilleri görülmektedir.



Şekil 1.16 : Bakır İndiyum güneş pilleri

Genellikle ince film şeklinde yapıya sahiptirler. Bakır ve indiyumla beraber galyum elementi de katılarak daha verimli ürünler oluşturulmaktadır.

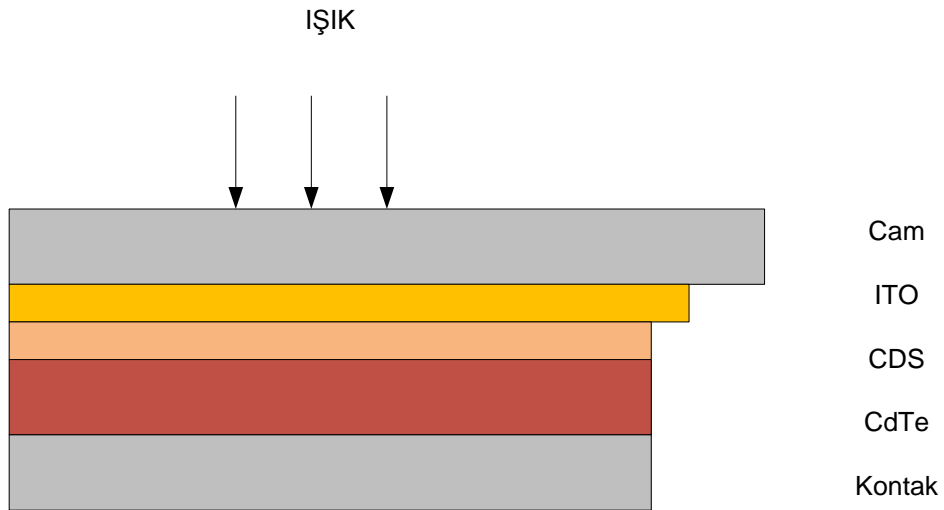
CIS lerde n tabakası olarak ince bir kadmiyum tabakası ve Çinko Sülfat (CdZn)S kullanır. Laboratuvar ortamında üretilen Cell (hücre) verimi %20 iken ticari olarak üretilen modüllerin verimi %8-10’dur. CIS bileşiği Galyum ve Sülfür ile alaşım oluşturur. Cell’in alt cam tabakası katot tozlanması yöntemi ile ince molibden ile kaplanır. Cell’in p tabakası üretimi üreticiden üreticiye değişmektedir biri; bakır, indium ve selenyum’un eş zamanlı 500°C to 600°C’de buharlaştırılması ile vakum odasında üretirken diğeri oda sıcaklığında her üç maddeyi ayrı ayrı püskürtüp 500 °C’de katılaştırarak CIS’i oluşturmaktadır.

Ön saydam kontak olarak Aluminium-Doped (alüminyum katkılı) Zinc Oxide (ZnO:Al) kullanılır. Bu n tipi yarıiletkeni üzerine püskürtme ile Zinc Oxide (i-ZnO) ara yüzey tabakası olarak yerleştirilir. n tipi Cadmium Sulphide (CdS) tampon tabakası CIS ve ZnO’nin kristal örgü çakışmasından kaynaklanan düşüşü engellemede kullanılır. Bu kimyasal banyo ile gerçekleştirilir. Amorf’un tersine CIS ışık etkileşimli azalmaya (bozulmaya) hassas değildir. Çinko Oksit tabakanın neme karşı iyi kaplanması gerekir.

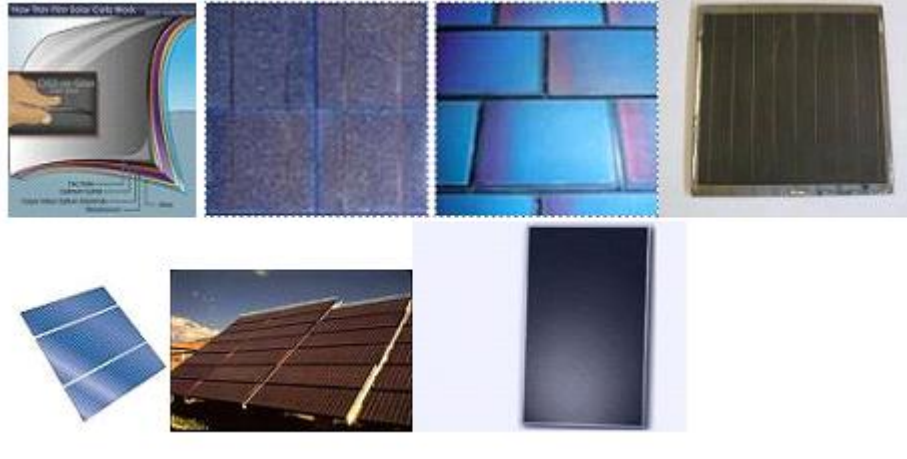
CIS, ince film teknolojisinde en verimli olan ince filmidir. Büyük çaplarda üretildiğinde kristal silisyumdan daha hesaplıya üretilecektir. CIS oldukça ince polimer filmler üzerine yapılabilmektedir. Bu ürünler esnekliğin önemli olduğu diğer alanlarda yaygın olarak kullanılabilir. Bakır şerit üzerine monte edilmiş olan CIS'ler ilerde çatı malzemesi olarak kullanılabilirlerdir.

1.1.4 Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri

Periyodik tablonun ikinci gurubunda bulunan Kadmiyum elementinin ve altıncı gurubunda bulunan Tellür elementini bir araya gelmesiyle oluşan II-VI yarıiletken birleşği Kadmiyum tellürün, CdTe, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı, $E_g=1,5V$ değeri ile güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretimine olanak tanınması, geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe birleşik yarı iletkeninin öne çıkmasının sağlamıştır. CdTe çoğunlukla kadmiyum sülfür, CdS, ile bir araya getirilerek heteroeklem diyod üretilir. Yasak enerji aralığı yaklaşık olarak 2,4eV olan CdS yarı iletkeni çok ince bir tabaka olarak uygulanır. Güneş ışınımının çoğunu geçiren CdS, hetero-eklem de “pencere görevi yapar” . (Karamanav, 2007)



Şekil 1.17 : CdTe güneş pilinin yapısı



Şekil 1.18 : CdTe güneş panelleri

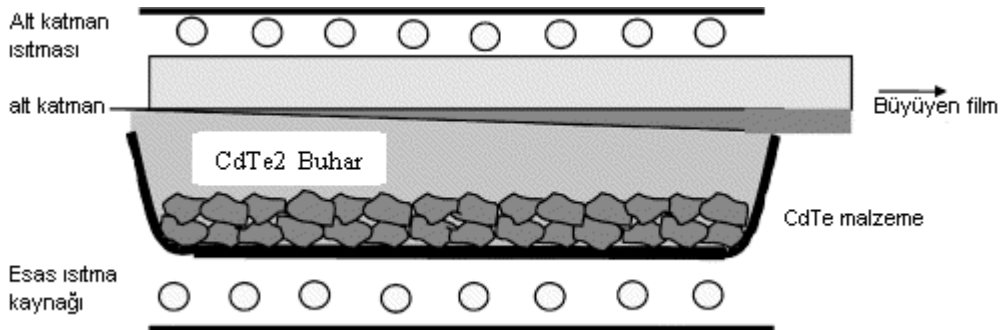
CdTe nin optik bant aralığı güneş enerjisi dönüşümü için en uygun olan aralıktır. Üretimi en kolay olan ince film üretimidir. CdTe güneş hücresi, cam bir yüzey üzerine saydam kontak TCO'nun (İndium Tin Oxide (ITO)) oluşturulması ile yapılır. Bu saydam kontak üzerine n tipi CdS pencere tabakası giydirilir. p tipi CdTe soğurucu tabaka çok ince yapılmış olan n tipi malzeme üzerine giydirilir. Yarıiletken tabakalar basit buharlaştırma yöntemi ile 600 °C'de ısıtılarak yapılır. 500 °C'de tutulan alt cam tabaka kısa bir süre buhara tabi tutularak yarı iletken malzeme ile kaplanır. Püskürtme işleminden sonra CdS ve CdTe tabakaları 400°C'de klorlu bir ortamda tavlansarak aktifleştirilir ve CdS-CdTe ikili tabakası yeniden kristalleştirir. Metal olan arka kontak püskürtme işlemi ile yapılır. Bu metalik kontak CdTe modüllerinde yaşlanmanın sebebidir ve bu ürünün en zayıf noktasıdır. Yeni nesil CdTe modüllerinde başlangıç verim azalması ya da indirgeme gözükmez. Şekil 1.17 de CdTe güneş pilinin yapısı şekil 1.18' de de piyasada kullanılan PV modülleri görülmektedir.

CdTe modül üretimi en düşük üretim maliyetine sahip ince film teknolojisidir. Yüksek miktarlarda üretimi maliyetleri çok daha düşürecektir. Ağır metal kadmiyumun, zararından dolayı çevresel olarak tartışılabilir olan CdTe üretimi modüllerin çevreye vereceği katkı hesaba katıldığında ihmal edilebilir. Zehirli olan Cd ve Te'e göre toksin (zehirli) olmayan sağlam yapıdaki CdTe ancak 1000°C ayrışacağından ve yangın durumunda daha düşük sıcaklıkta eriyen cam tarafından kaplanacağı için çevresel zararı düşüktür denilebilir. Ayrıca üreticiler geri dönüşüm için geri aldıkları modülleri yeniden üretebilmektedirler. CdTe ince film büyütmede üç teknoloji ortaya çıkmıştır.

Bunlardan birincisi olan yakın mesafeden buharlaştırma (Close Space Sublimation, CSS) yöntemi ile en yüksek kalitede CdTe malzeme üretilmektedir. Bu yöntemde sıcaklık farklılıkları çok az olan kaynak ve filmin büyüdüğü yüzey biri birine çok yakın tutularak malzemenin sublimasyon yoluyla büyümesi sağlanır.

İkinci CdTe büyütme yöntemi olan elektrotta biriktirim yönteminde ise, kadmiyum ve tellür iyonu taşıyan elektrolitten akım geçirilerek CdTe yarıiletkeninin katotta büyümesi sağlanır. Çok ucuz olan bu yöntemde büyüyen malzemenin denetimi CSS yönteminde olduğu kadar kolay değildir.

CdTe, ince film PV ürünler için ideale yakın bir malzemedir. Çünkü birkaç özelliği bir arada bulundurmaktadır. Optik bant aralığının, güneş enerjisi dönüşümü için çok uygun olduğu gibi ince film üretim yöntemleri de çok kolaydır. Bu nedenle büyük çaplı modüllerin üretimi için çalışmalar devam etmektedir. Laboratuvar bazında verimlilik % 16 üzerine çıkmıştır. Bileşiğin buharlaşması CdTe malzeme kullanıldığında daha kolay olmaktadır. Birkaç 100 °C de alt katman ısısı durağan hale gelmektedir. 450-600 °C alt katman ısısında yüksek kaliteli malzeme üretimi 1 µm/ dk' dan daha yüksek hızlarda yapılabilir. Bunun nedeni malzemenin hatalara ve çekirdek boyutlarına sağladığı toleranstır. Seri üretimlerde elektro üretim ve ekran baskı tekniklerini kullanılabilir. En iyi kaliteli malzeme ve en yüksek verimlilik kapalı alan sublimasyon (CSS) tekniği ile elde edilebilir. Bu yöntem ile üretim ısısındaki küçük farklar ince film üretimini dengede tutar. Şekil 1.19' da CdTe malzemenin çökeltilmesi için kullanılan reaktörün şematik gösterimi yer almaktadır.

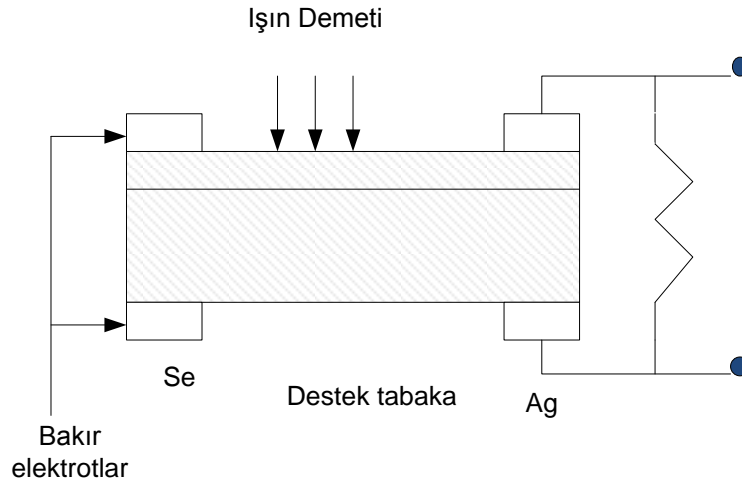


Şekil 1.19 : CdTe malzemenin çökeltilmesi için kullanılan reaktörün şeması

Seri yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Üretim maliyeti düşüktür. Özellikle büyük paneller için uygun bir türdür. Teknolojinin yaygınlaşmasının güneş pili maliyetini daha da aşağılara çekeceği tahmin edilmektedir. Deneysel çalışmalarda %16'lara ulaşan verimleri ticari ürünlerde %7-8 seviyelerindedir.

1.1.5 Selenyum Güneş Pilleri

Saf selenyum, alkali metallere veya Klor, İyod gibi halojenlerle karıştırılıp p tipi yarı iletken oluşturulur. Bu tabakanın üzerine iyi iletken ve yarı iletken / yarı geçirgen bir gümüş tabaka birkaç mikron kalınlığında kaplanarak p-n kavşağı oluşturulur. Şekil 1.20' de bir selenyum güneş pilinin yapısı görülmektedir. Temel selenyum, tellür ile önceden sarılmış demir alt tabakası birlikte eritilir. Bu pillerin 50 °C'nin üzerinde kullanılmamaları tavsiye olunur. (Yapıcı, Aslantaş, 2008)

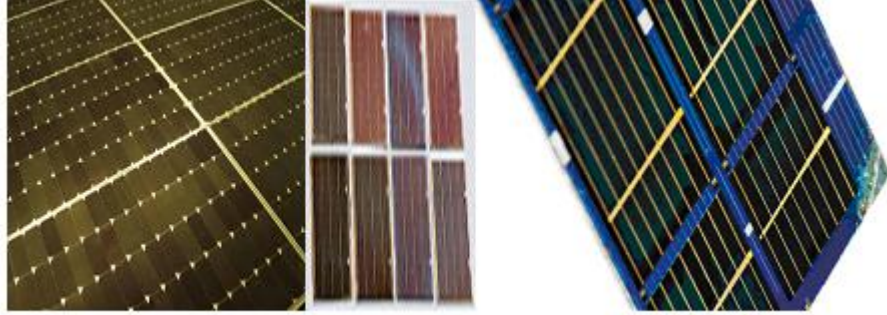


Şekil 1.20 : Selenyum Güneş Pilinin Yapısı (Karamanav, 2007)

1.1.6 GaAs Güneş Pilleri

GaAs, Galyum ve arsenikten oluşur. Bu iki ayrı elemanlar birleştiğinde, birlikte pek çok ilginç özellikleri gösteren bir bileşik oluştururlar. Bu özellikleri sıcaklık karşısında değişebilir. GaAs'in bir özelliği de doğrudan bant genişliğine sahip olmasıdır. Bundan dolayı da verimli ışık yayarlar. GaAs güneş hücresinin temel işlevi, elektrik için güneşin parlak ışık enerjisini dönüştürmektir. GaAs güneş pilleri %25-30 aralığında verim aralığına ulaşabilirler. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verimliliğe ulaşılmıştır. Bu da onların güneş ışığında iyi bir toplayıcılık yapması demektir. (Demircan, Alakavuk, 2008)

Kullanıldığı yerler arasında, hücresel telefonlar, uydu ve uydu iletişim, mikro ve nano ölçekli yarı iletkenler, radar sistemleri ve nano teknolojili güneş pilleri, uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 1.21’ de GaAs panel örnekleri görülmektedir.



Şekil 1.21 : GaAs paneller

1.1.7 Ağartma Özellikli (Dye) Duyarlı Piller

Nanokristal dye duyarlı güneş pilleri hızlı rejeneratif foto elektrokimyasal süreç mekanizmasına sahip pillerdir. Bu pillerin diğer pillerden temel farkı ışını yakalayan (Dye) sistemin diğer elemanlardan ayrı olmasıdır. Bu pillerde n tip yarı iletken (TiO₂) çalışmaya başlamak için TiO₂ malzemeye elektron enjeksiyonunu zorunlu kılar. Bu enjekte edilen elektron TCO cam yüzeye geçerek dışsal bir akım üretimine sebep olur. Bu nedenle dye redoks elektrolit haline dönüşür. Redoks elektrolit, dye molekülleri arasında akımın taşınmasını sağlar. Düşük rezistanslı elektron transferi için elektrot platinyumla kaplanarak redoks reaksiyonu için hızlandırıcı görevi yapar. Yan iletken yüzeydeki dye molekülleri verimli bir enjeksiyon ile % 90 enerji dönüşümü sağlar. Tek katmanlı Dye ortamı için ışık yakalama şansı düşük olduğundan foto akım verimliliği % 1’in altında olacaktır. Bu engel titanyum oksit elektrotların çok delikli bir yapı ile güçlendirilmesiyle 1000 kat fazla başarı elde edilecektir. 1999’lu yılların başlarında ORegan ve Grätzel yüksek verimlilikler içeren tebliğini sunduktan sonra yüksek alanlı ve düşük maliyetli güneş pilleri hedeflenerek bu alandaki çalışmalar hızlandırılmıştır. İlk deneysel başarılarından sonra, piyasaya sürülen ürünün ortaya çıkması 10 yıl almıştır. Bu kavramın temel avantajı organik bir yapıya sahip olmasıdır. Bunun anlamı TiO₂ yarıiletkenlerde güç karışımının olmayacağıdır. Böylelikle üretim ortamının çok steril olması gerekmeyecek, buna rağmen üretim verimliliği %7 - %11 arasında değişecektir ve

düşük maliyetli foto elektrokimyasal güneş enerjisi dönüşümü sağlanacaktır.. Öte yandan pil ömrü ciddi şekilde azalacağından birçok tehlikeli atık ortaya çıkacaktır.

Bu tür pillerin en önemli yanı, zaman içerisindeki duraklıkları ısı ve diğer çevre şartlarına duyarlı olmamasıdır. Zamana bağlı olarak güç kaybı azalmış olmasına rağmen uç şartlarda elektrolitin davranışı henüz bilinmemektedir. Bu tip pillerin başarılı bir şekilde piyasaya girebilmesi için elektrolitin hazırlanması dikkatle ele alınmalıdır. Sıvı olan elektrolitin jel halinde bir elektrolit ile değiştirilmesi için ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Katı veya polimer malzemenin kullanılması halinde elde edilen en iyi verimlilik % 1 civarındadır.

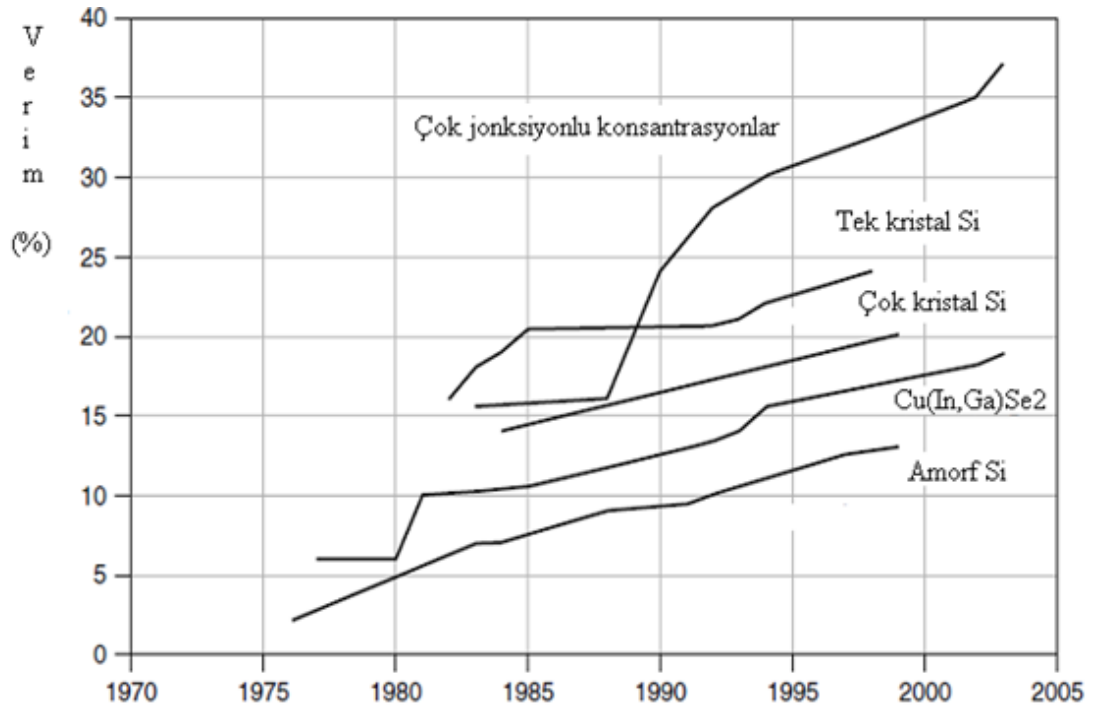
Bu tür pillerin elektronik aygıtlarda kullanılması için gerekli olan 400 °C sıcaklık gerçek bir engeldir. Bu ısı maliyet cam elektrot kullanımı ile hücrelerin şekli konusunda engeller de oluşturabilir.

1.2 Güneş Pillerinin Verimliliklerinin Tablosal Gösterimi

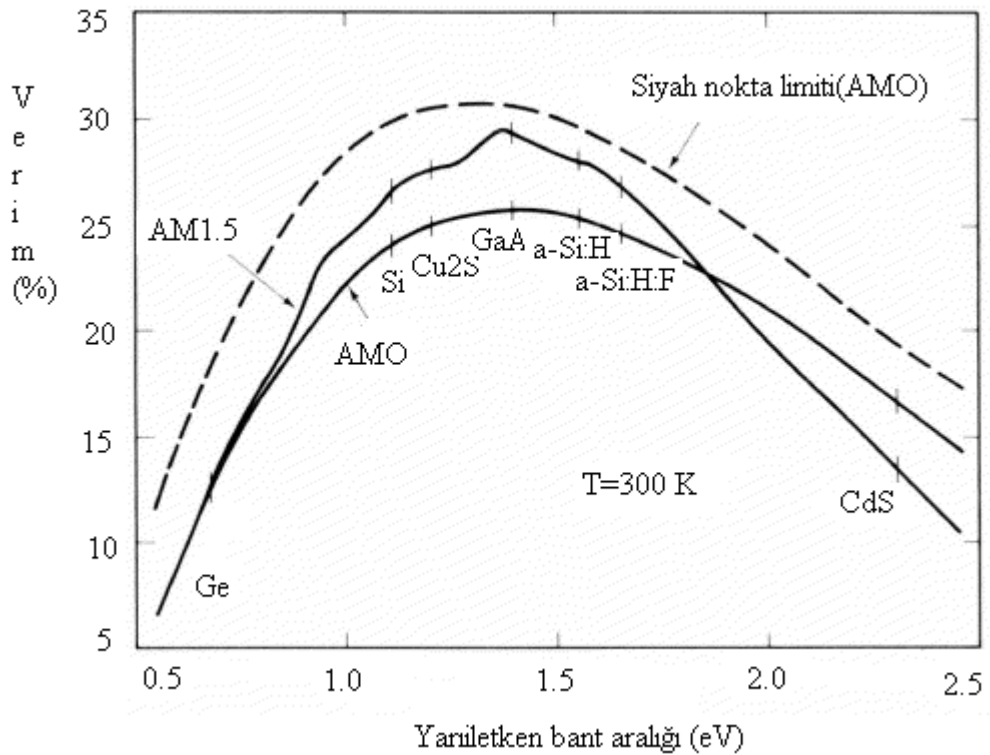
Tablo 1.1’de güneş pillerinin verimlilikleri görülmektedir.

Tablo 1.1 Güneş pilleri verimlilikleri(Özbalta, 2006)

Güneş Pilleri	Alan cm ²	Verimlilik (Laboratuar) %	Verimlilik (Kullanım) %
Tek Kristalli Silisyum	4.00	18-24	12-15
Çok Kristalli Silisyum	21.2	18.6	11-14
Amorf Silisyum	1	14.7	6-7
Kadmiyum Tellür	1	15.8	7-8
Bakır İndiyum di Selenid	0.4	17.7	14.1
GaAs	1	25-30	23.9
Dye (Ağartma Özellikli	1	11-14	7-11



Şekil 1.22 : Çeşitli pili verimlilikleri ve yıllara göre değişimi



Şekil 1.23 : Yarıiletken maddelerin bant genişliğine göre verimlilikleri (Ünal, 2006)

Buraya kadar PV malzemenin genel bir perspektifini çizdik. Silisyum hep önemli bir malzeme olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Kristal silisyumlar pazarı yönlendirmektedir. Ancak amorf silisyumlar da önemlidir. Silisyum güneş pilleri ciddi anlamda yarı iletken endüstrisine bağımlıdır. Kristal silisyumların blok ve şerit halinde üretildiği bilinmektedir. Kristal silisyum düşük maliyet için yüksek potansiyele sahiptir. Kristal ince film versiyonu ise daha yüksek potansiyele sahiptir. Çok düşük miktarlar kullanıldığı için, ince film malzeme üzerinde büyük umutlar beslenmektedir. Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellür ve Bakır İndiyum Diselenid, Galyum en çok ümit beslenen malzemedir.

Birçok yeni kavram ve malzeme henüz araştırma safhasındadır. Bunlardan bazıları önümüzdeki yıllarda daha yüksek verimlilikler ve düşük maliyetler sağlayabilir.

Dünya elektrik üretimine büyük bir katkının hedeflendiği PV sektörünün önünde daha çok uzun bir yol vardır. Öte yandan bu hedefe ulaşmak için çok değişik ve ümit veren malzeme ile kavramların oluşması bu hedefe ulaşmayı kolaylaştıracaktır.

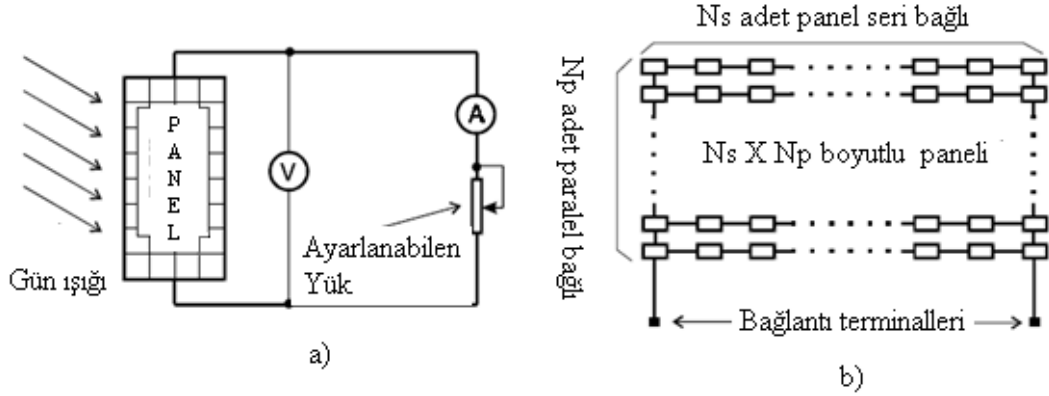
2. GÜNEŞ PİLİ KARAKTERİSTİKLERİ

2.1 Genel İnceleme

Fotovoltaik cihazlar yarı iletken malzemeler kullanarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler. Petrol ve diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarının maliyetlerinin giderek artması ve bu tip enerji kaynaklarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, birçok insan konvansiyonel güç üretim yöntemleri yerine, güneş enerjisi (başta PV sistemler olmak üzere) ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş ve günümüzde bu tip enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Bu gelişmelerin doğal bir sonucu olarak, ticari anlamda fotovoltaik enerji dönüşümüne olan ilgi ve buna bağlı olarak bu amaca yönelik cihazları üreten işletmelerin sayısı da artmıştır. Kullanımdaki bu artışa rağmen, fotovoltaik yöntemle elektrik üretimi, henüz büyük miktarlardaki elektrik üretimi için diğer yöntemlerle rekabet edebilecek düzeyde değildir. PV sistemin güç çıkışı; panel alanı, panel konfigürasyonu, panellerin yatay yüzeye yerleştirilme açıları, panel yüzeyine gelen ışınım şiddeti, panel karakteristikleri, panel/çevre sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu parametrelere ilave olarak, PV sistemin güç temin ettiği elektrikli cihazın iç direncine bağlı olarak da lineer olmayan bir değişim gösterir. PV sistem çıktısının yüke bağlı olarak büyük oranda değişim göstermesi, PV sistemlerin tasarım ve optimizasyon sürecinde yaşanan en önemli sorunlardan birisidir.

Güneş pilinin elektrikli özelliklerini belirlemek için bu pilin akım ve geriliminin yükten nasıl etkilendiğini araştırmak gerekir. Bu amaçla Şekil 2.1 a' da verilen devre kullanılabilir. Bu şekilde, PV paneli seri bağlı bir ampermetre üzerinden ayarlanabilen bir yüke doğrudan bağlanmıştır. Günün belirli bir saatinde, gün ışığı ve ortam sıcaklığındaki değişimlerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilerek, yük açık konumdan uçlarının kısa devre olduğu konuma kadar ayarlanırken, ampermetre ve voltmetredeki değerler her yük kademesi için kaydedilip grafik olarak çizilirse, Şekil 2.2' de verilen Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği elde edilebilir.

Kaosun kontrol mühendisliği açısından istenmeyen bir davranış şekli olmasına rağmen, yerel olarak kararlı hale getiren yöntemlerle kabul edilebilir bir performans elde edilebilir. Kaosun kontrol mühendisliği açısından istenmeyen bir davranış şekli olmasına rağmen, yerel olarak kararlı hale getiren yöntemlerle kabul edilebilir bir performans elde edilebilir. Kaosun kontrol mühendisliği açısından istenmeyen bir davranış şekli olmasına rağmen, yerel olarak kararlı hale getiren yöntemlerle kabul edilebilir bir performans elde edilebilir.



Şekil 2.1 : a) PV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması. b) PV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan PV güneş pili paneli (Altaş,1998)

PV güneş pili paneli oluşturulurken, gerekli çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda (mesela N_s adet) pil seri bağlanırken, gerekli akımı elde edebilmek için de pillerin seri bağlanmasıyla meydana gelen yeterli sayıda (mesela N_p adet) kol paralel bağlanır. Bu durum Şekil 2.1 b de daha açık olarak verilmektedir. Dolayısıyla, Şekil 2.1 a' da verilen PV pil paneli ve bağlantı devresi kullanılarak yapılan ölçümler, bu PV pil panelinin akım ve gerilimini verir. Eğer panelin akımı I_{PANEL} , gerilimi de V_{PANEL} ile gösterilirse, paneli oluşturan her bir pilin akım ve gerilimi sırasıyla,

$$I_{pil} = \frac{I_{panel}}{N_p} \quad (2.1)$$

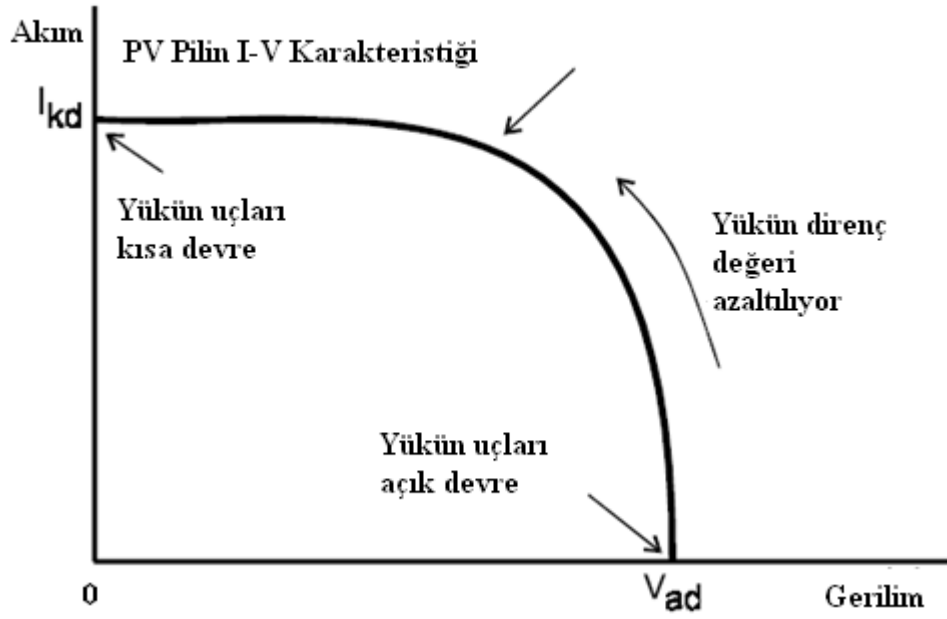
$$V_{pil} = \frac{V_{panel}}{N_s} \quad (2.2)$$

Bağıntıları kullanılarak belirlenebilir. Panelin çıkış gücü

$$P_{panel} = V_{panel} * I_{panel} \quad (2.3)$$

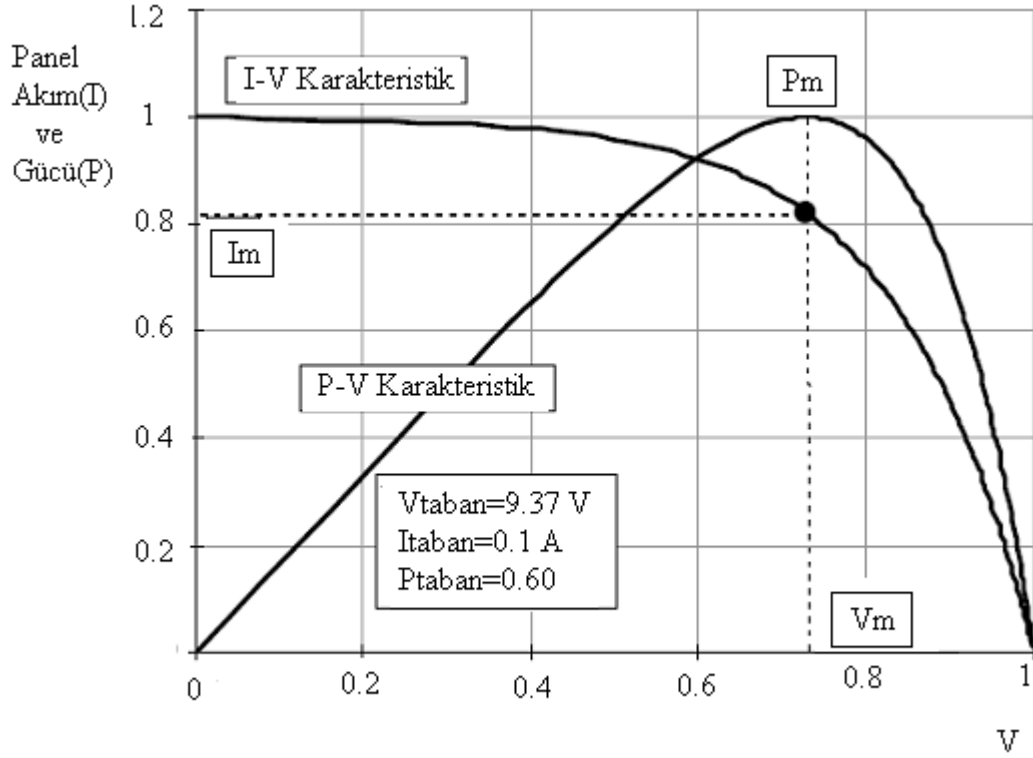
Olarak elde edilirken, bir tek pilin gücü de

$$P_{pil} = V_{pil} * I_{pil} \quad (2.4)$$



Şekil 2.2 : PV pil panelin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiğinin yükü değişimi (Altaş, 1998)

Gerek yukarıda verilen denklemlerden, gerekse Şekil 2.2' den anlaşılacağı gibi, bir PV panelin ya da güneş pilinin panelin akım ve gerilimden herhangi biri ya da her ikisi birden sıfırken, çıkış gücü de sıfırdır. Dolayısıyla çıkış gücünün değişimi Şekil 2.3' de görüldüğü gibi olur.

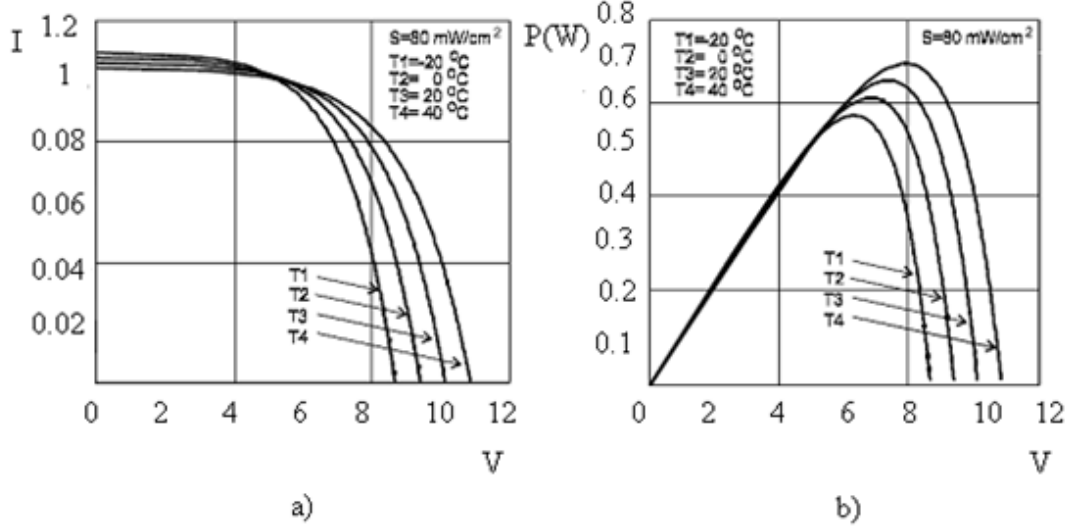


Şekil 2.3 : PV pilin I-V ve P-V karakteristikleri (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı, 2007)

Şekil 2,3'ten anlaşılacağı gibi çıkış gücü, akım ve gerilimin belirli değerlerinde maksimum olmaktadır. Birazdan açıklanacağı gibi bir PV güneş pili ya da panelinin maksimum çıkış gücü, üzerine gelen güneş ışığı seviyesi ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir. Dolayısıyla kurulan ve işletilen bir PV pil panelinden daha verimli bir şekilde faydalanmak için, o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum değerinde tutmak gerekir. PV pilin Şekil 2.3' te verilen I-V ve P-V karakteristikleri 20 oC'lik çalışma sıcaklığı ve 80 mW/cm² lik güneş ışığı şiddeti (güneş radyasyonu seviyesi) varken elde edilen karakteristiklerdir. Çalışma sıcaklığı ya da güneş ışığı şiddeti değiştikçe bu karakteristiklerin biçimleri aynı kalacak şekilde akım, gerilim ve dolayısıyla güç değerleri de değişir.

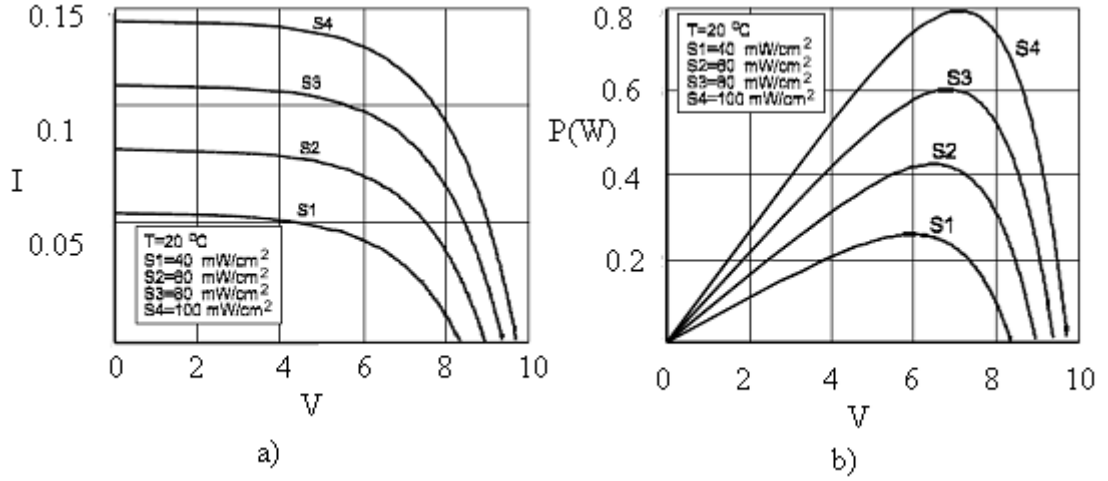
Çalışma sıcaklığındaki değişimlerin I-V ve P-V karakteristiklerini nasıl etkiledikleri Şekil 2.4 (a) ve (b) de, güneş ışığı şiddetindeki değişimlerin I-V ve P-V karakteristikleri nasıl etkiledikleri ise Şekil 2.5 (a) ve (b) de verilmiştir. Şekil 2.4 (a) dan görüleceği gibi, çalışma sıcaklığının artması PV pilin çıkış gerilimini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklığın artmasından akım da etkilenmektedir. Ancak sıcaklıktaki değişimin asıl etkisi pilin çıkış gerilimi üzerinde görülmektedir. Ortam sıcaklığının yüksek olması, pilin çalışma sıcaklığını da yükselteceğinden, güneş enerjisinin termik uygulamalarının aksine, PV piller için soğuk ortamlar daha uygundur. Benzer

etki, Şekil 2.4 b' de, PV pilin çıkış gücünde de görülmektedir. Gerilimdeki azalma doğrudan doğruya güce yansıdığından, çalışma sıcaklığındaki artış çıkış gücünü de olumsuz yönde etkiler.



Şekil 2.4 : PV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün sıcaklıkla değişimi (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı, 2007)

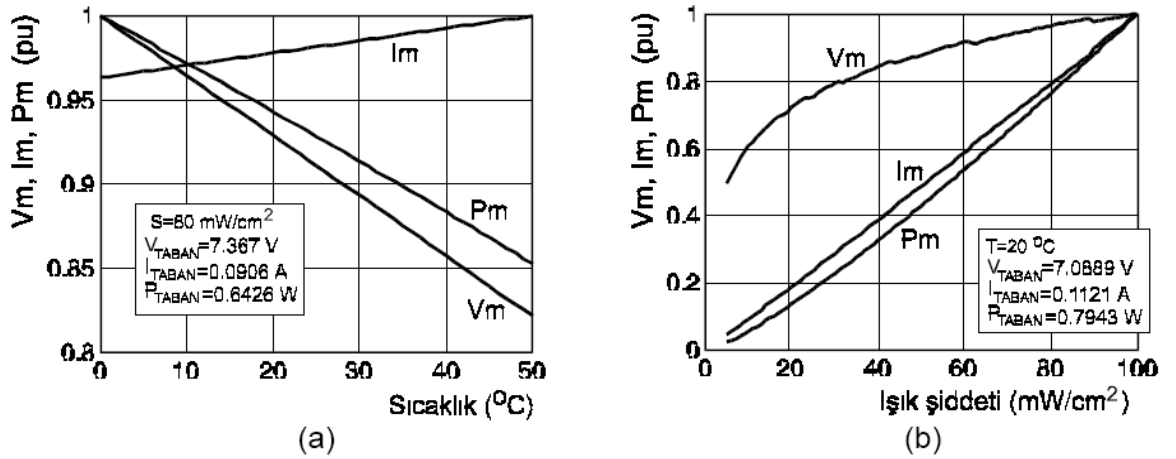
Güneş ışığı şiddetinde meydana gelen artışlar, Şekil 2.5 a' da verildiği gibi PV pilin çıkış akımını olumlu yönde etkilemektedir. Işık şiddetinin akımda meydana getirdiği bu artış, sıcaklığın meydana getirdiği artışa göre oldukça yüksektir. Işık şiddetindeki artış hem pil çıkış akımında hem de pil çıkış geriliminde bir artışa neden olmaktadır. Ancak gerilimdeki artış, akımdaki artışa göre daha küçüktür. Şekil 2.5 b' den de görüleceği gibi, ışık şiddeti arttıkça PV pilin çıkış gücü de artmaktadır. Güçteki bu artışın kaynağı, anlaşılacağı gibi hem akımdaki hem de gerilimdeki artıştan kaynaklanmaktadır



Şekil 2.5 : PV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün ışık şiddetiyle değişimi (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı, 2007)

Verilen bu karakteristikler incelendiğinde şu sonuca varmak mümkündür: PV güneş pillerinin performansı, ışık şiddeti yüksek sıcaklığı düşük ortamlarda daha iyidir. Bu sonuç Şekil 2.6' da verilen grafiklerden açıkça anlaşılmaktadır. Bu şekilde verilen grafikler, PV pil çıkış gücünün farklı çalışma sıcaklığı ve güneş ışığı şiddetleri için elde edilen maksimum değerleri ile bu maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerini temsil etmektedirler. Görüleceği gibi çalışma sıcaklığı arttıkça PV pilin maksimum çıkış gücü ve P-V karakteristiğinde bu güce karşılık düşen gerilimi azaltmaktadır. Benzer şekilde, ışık şiddeti, ya da güneş radyasyonu seviyesi arttıkça PV pilin maksimum çıkış gücü de artmaktadır. Ancak ışık şiddeti arttıkça, maksimum çıkış gücünün yanı sıra, hem bu güce karşılık gelen pil akımı hem de pil gerilimi artar. Şekil 2.6 a ve b' de PV pilin maksimum gücüne karşılık gelen akım değerlerinin sıcaklık ve ışık şiddetiyle arttığı görülmektedir. Sıcaklığın akımda meydana getirdiği bu artış oldukça az iken, ışık şiddetinin meydana getirdiği artış daha belirgindir. Maksimum çıkış gücü P_{max} ve bu güce karşılık gelen gerilim V_m ile akım I_m , Şekil 2.6' da birim değerler (per units - pu) türünden verilmiştir. Gerçek gerilim, akım ve güç değerleri, ilgili taban değerlere bölünerek bu pu değerler elde edilmişlerdir. Söz konusu taban değerler şekil üzerinde her bir büyüklük için ayrı ayrı verilmektedir. Bu pu değerleri gerçek değerlerine dönüştürmek için verilen ilgili taban değer ile çarpmak gerekir. Verilen bu eğriler PV pilin imalatında kullanılan yarıiletken malzemenin türüne, sıcaklık ve ışık şiddetindeki değişimlerin miktarına göre biraz değişebilirler. Ancak genel anlamda I-V ve P-V karakteristikler Şekil 2.4, 2.5 ve 2.6' da verilen özelliklere sahiptirler.

PV pil karakteristiklerinde, pil çıkış geriliminin artan sıcaklıklarda daha az olduğu görüldü. Bunun nedeni, sıcaklığın panel kayıplarını artırmasıdır. Sıcaklık arttıkça p-n birleşim noktası kayıpları da artar. Bu kayıplar pilde ısıya dönüştürülerek harcanır. Bu nedenle PV piller modellenirken, eşdeğer devrelerine seri-paralel dirençler eklenir. Eğer pil modelindeki seri direnç değeri yüksekse bu dirençte meydana gelen gerilim düşümü de yüksek olur ve pil çıkış gerilimi azalır. Pilin soğuk bir ortamda bulunması, ısınmasını azaltacağından, gerilimdeki düşüşü de azaltır. Pil çıkış akımındaki azalma ise, pil modelinde paralel bir dirençle temsil edilir.



Şekil 2.6 : PV pilin maksimum çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim ve akımının karakteristikleri (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı, 2007)

2.2 Sonuç ve Yorumlar

PV güneş pillerinin karakteristikleri incelendiğinde, akım-gerilim ya da güç-gerilim ilişkilerinin klasik doğru akım kaynaklarına benzemediği görülür. PV pillerin bu karakteristikleri doğrusallıktan oldukça uzaktır. Öyle ki, maksimum çıkış güçleri maksimum akım ve gerilim değerlerinde değil, akım-gerilim karakteristiğinin bir bölümü civarındadır. Ayrıca PV güneş pilleri sıcaklıktan olumsuz yönde etkilenmektedir. Sıcaklık arttıkça PV pilin çıkış gerilimi ve gücü azalmaktadır. Karakteristiklerin gösterdiği sonuçlara göre ışık şiddeti PV pillerin temel enerji kaynağını oluşturmaktadır. Dolayısıyla soğuk ve güneşli ortamlar PV güneş pilleri için en uygun ortamlardır.

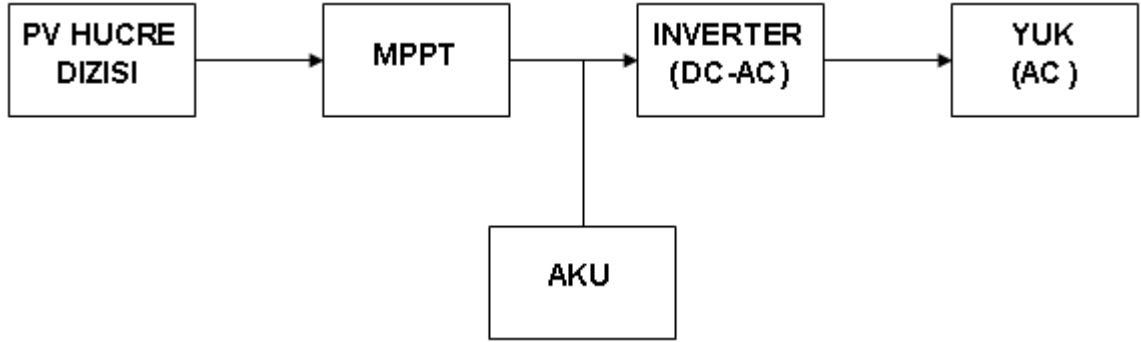
3. MAKSİMUM GÜÇ TAKİP SİTEMLERİ (MPPT)

3.1 Maksimum Güç Takip Sistemleri

Fotovoltaik sistemler genelde iki farklı çalışma durumuna sahiptir. Birinci çalışma durumunda; direkt yüke bağlı olarak yükü beslerken, ikinci çalışma durumunda; güneş panellerinden enerji elde edilemediği güneş ışınımının olmadığı zaman dilimlerinde sistemin enerji devamlılığının sağlanması için enerjinin depolanmasını sağlarlar. Elektrik enerjisinin depolanmasında yaygın olarak akümülatörler kullanılmaktadır. Fotovoltaik yapı direkt yükü beslediği birinci durumda yük gerilimlerinde, ihtiyaç fazlası enerjinin depolanmasında görev aldığı ikinci durumda ise akümülatör gerilimlerinde çalışmaya zorlandığından güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapılamamaktadır. Güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapabilmek için yapısında kontrol edilebilir bir DC-DC dönüştürücü barındıran sistemlere ihtiyaç duyulur. Panelleri, yük veya akümülatör gerilimlerinden bağımsız kılan bu kontrollü arabirime maksimum güç takip sistemine MPPT (Maksimum Power Point Tracker,) denir.

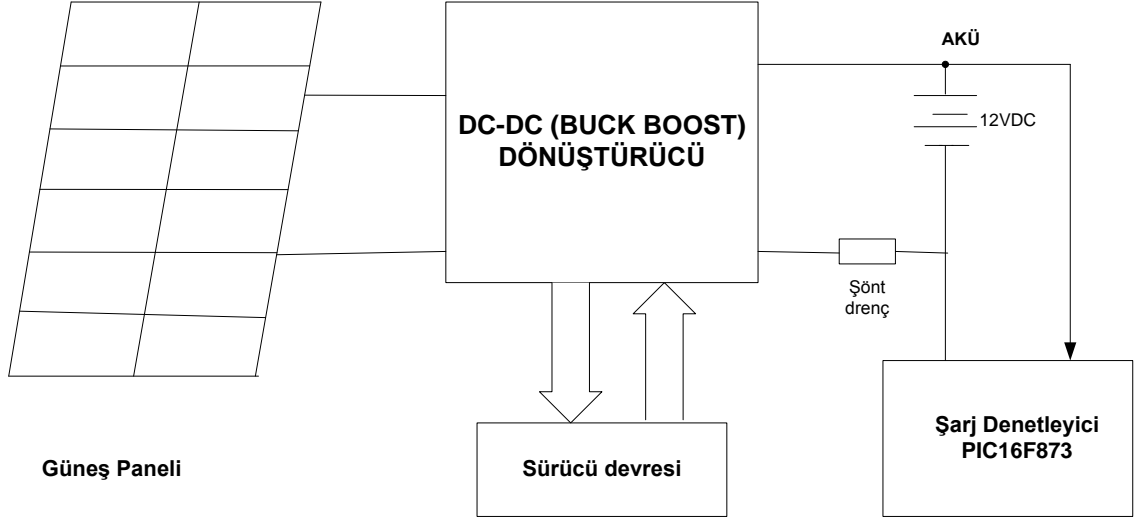
Maksimum güç takip sistemlerinin temel amacı, panel üzerine düşen ışınım seviyesinde panelden elde edilebilecek maksimum gücün yüke veya depolama sistemine aktarılmasıdır. PV güç sistemlerinde, elektrik enerjisinin istenen şartlarda sağlanması için güneş panellerinin yanında çeşitli farklı birimlere gerek duyulmaktadır. PV sistemi tasarlanırken, belli bir alana düşen ışık seviyesinin maksimum seviyede tutulması önemli olmakta, bu amaçla gerçekleştirilen sistemlerin başında güneş izleyici birimi yer almaktadır. Bu birimle, güneşin gün boyu doğudan batıya doğru olan hareketinin takip edilmesi amaçlanır. PV sistemlerde ele alınan diğer önemli bir nokta güneş paneli çalışma noktasının o anki şartlar için maksimum çıkış gücünün sağlanması yönünde ayarlanmasıdır. Sistemde güneş enerjisinin mevcut olmadığı anlarda enerjinin sağlanması amacıyla gerek duyulan akülerin şarj edilmesinin MPPT denetleyicisi vasıtasıyla sağlanması, sistem verimine oldukça olumlu ölçüde etki etmektedir. PV sistemlerde, panelden sağlanan

ve daha sonra kullanılmak amacıyla akülerde depolanan DC güç, inverter vasıtasıyla AC güce dönüştürülür. İnverterin dönüştürme veriminin yüksek tutulması, sistemin tümünün etkinliği değerlendirilirken ele alınan önemli bir faktör olduğundan bu birimin tasarım kriterleri hassas şekilde belirlenmelidir. Şekil 3.1' de blok diyagramı görülen sistem, güneş izleyici birimi, MPPT denetleyicisi ile kontrolü sağlanan akü şarj denetleyici ve gerilim kaynaklı inverterden oluşmaktadır. Sistemde güneş paneli, güneş izleyici yapı üzerine monte edilerek güneşin gün boyu takip



Şekil 3.1 : Fotovoltaik güç sisteminin blok diyagramı (Kangal, 2008)

edilmesi ve güneş ışınlarını dik şekilde alarak güneş ışığından maksimum seviyede faydalanılması amaçlanmıştır. MPPT sisteminin dijital olarak kontrol edilmesi ile güç noktası izleyici algoritmasının sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi ve oldukça güvenilir olması gerekir. Şekil 3.2'de MPPT kontrollü şarj denetleyici sistemin blok diyagramı görülmektedir. PV panel çıkışı ile aküler arasında güç akış kontrolünü sağlamak ve PV panelin, maksimum güç noktasının izlenmesi amacıyla Buck-Boost tipi DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır.



Şekil 3.2 : MPPT kontrollü şarj denetleyici sistemin blok diyagramı (Kulaksız, Akkaya, 2003)

Şekil 3.2 PV sisteminde yük olarak aküler bulunmakta, belirli atmosfer şartları için akü şarj akımı, PV çıkış gücüne ve akü gerilimine bağlı olmaktadır. Akü gerilimi, şarj düzeyine bağlı olarak arttığı zaman aşırı şarjın önlenmesi amacıyla sürekli olarak ölçülmektedir.

Fotovoltaik sistemlerin uygulamalarında, üç tip elektronik kontrol ünitesi kullanılmaktadır: Maksimum güç noktası takipçileri (MPPT), Sabit voltaj takipçileri (CVT) ve Lineer akım güçlendiricileri (LCB).

Maksimum güç noktası takibi ile panel takibi (panel tracking) birbirine çok karıştırılan ama temelden farklı olaylardır. Panel takibi mekanik bir sistemdir. MPPT, mekanik bir takip sistemi değildir. Akım ve gerilim optimizasyonu sağlayarak, panelin ürettiği gücün maksimizasyonunu sağlayan, elektriksel çalışma noktası değişken olan ve yüke göre maksimum güç üretebilen tamamıyla elektronik bir sistemdir. Panel takibinde, maksimum güneş ışığı için güneşi takip ederek çıkış maksimizasyonu sağlanırken, MPPT’ de, var olan ışığı kullanarak güç noktası maksimize edilmektedir.

MPPT’ nin çalışma mantığının anlaşılması için öncelikle geleneksel şarj kontrol ünitelerinin anlaşılması gerekmektedir. Klasik bir kontrolcü boş bataryayı şarj ederken, modülleri direkt olarak bataryaya bağlar. Bu işlem modülleri batarya geriliminde çalışmaya zorlar. Modülü direkt olarak bataryaya bağlamaktan ziyade, daha verimli olan MPPT sistemler, maksimum güç üretebileceği gerilim değerini

hesaplar. 20-80 KHz yüksek frekansta çalışan DC/DC Güç Converter' i olarak çalışırlar. PV panel çıkışındaki DC gerilimi alarak yüksek frekans AC' ye çevirir ve daha sonra istenen DC değerine çevirirler. Yüksek frekans aralığı sayesinde, çok yüksek verimli çeviriciler, küçük boyutlu elemanlarla tasarlanabilmektedir. Bu durum da fiziksel bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2 Geleneksel MPPT Algoritmalarını İçeren Çalışmalar

Literatürde sunulan birçok PV güç sisteminde maksimum güç noktası izleme (MPPT) metodu kullanılmıştır. Aşağıda geleneksel MPPT algoritmalarını içeren bazı önemli çalışmalar özet olarak verilmiştir.

Enslin ve Snyman (1991), geleneksel güneş paneli matematiksel modelini kullanan bir yöntem önermişlerdir. Bu yaklaşımda güneş paneli malzemesi ve üretim özellikleri hakkında detaylı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler kullanıcılara hazır şekilde sunulmadığından, matematiksel modelden elde edilen sonuçlar tam olarak doğru olmamakta ve nümerik yoldan elde edilen maksimum güç noktaları gerçek değerlerinden farklı olabilmektedir.

Hua ve Shen (1998), pertürbasyon ve gözlem (P&O), iletkenlik farkı ve gerilim geri beslemesi tekniklerini kullanan farklı maksimum güç noktası izleyicilerini incelemişlerdir. Metotlar, DSP tabanlı bir dönüştürücü sisteminde gerçekleştirilmiştir. Sistem ayrık zaman kontrolü ve PI kompanzator içermektedir. P&O ve IncCond metotlarında güç noktası izleme verimi %80'in üzerinde, gerilim geri beslemesi yöntemi için yaklaşık %65 düzeyinde, MPPT içermeyen direkt metotta ise %30'un altında bulunmuştur.

Brambilla ve ark. (1999) tarafından önerilen ve daha sonra çok sayıda araştırmacı tarafından geliştirilen bir MPPT yöntemi olan iletkenlik farkı yönteminin hızlı değişen atmosferik şartlarda iyi performans verdiği belirtilmiştir. Ancak daha karmaşık bir algoritmaya sahip olması, bu yöntemin dezavantajıdır. Çalışmada, P&O algoritmasının genel olarak yavaş olduğu ve bazı durumlarda algoritmada değişen ortam şartlarında maksimum güç noktasına yaklaşma yerine uzaklaşmalar olduğu belirtilmiştir. Bu durum Hussein (1995) tarafından da açık şekilde gösterilmiştir.

Ikegami ve ark. (2001), PV panellerin eşdeğer devre parametrelerinin bulunması ve PV sistemin en uygun çalışmasına uygulanması hakkında bir metot sunmuşlardır.

Eşdeğer parametreler, ölçüm değerleri kullanılarak eğri uydurma metoduyla hesaplanmıştır. Model parametreleri kullanılarak yeni bir MPPT yöntemi gösterilmiş, çalışmada diğer MPPT metotlarına göre karşılaştırmalar simülasyon ortamında yapılmıştır.

Kunlun ve ark. (2001), farklı ışık şiddeti ve sıcaklık şartları altında PV paneller ile su pompalama yükleri arasında uyum sağlamak amacıyla basit bir MPPT yöntemi sunmuşlardır. Sistem PV paneller, MPPT denetleyici ve bir motor-pompa yükünden oluşmaktadır. MPPT denetleyici; akım ve gerilim sensörleri, mikro denetleyici birimi ve PWM kontrolünden oluşmuştur. Güç geri besleme kontrolü ile PV panel, maksimum güçte çalışacak şekilde kontrol edilmekte böylece pompalanan su miktarı mümkün olduğunca artırılmaktadır. Çalışmada güç kontrolü, gücün gerilime göre türevinin sıfır olduğu nokta sürekli taranarak yapılmaktadır.

Masoum ve ark. (2002), nümerik hesaplamalara dayalı olarak yapılan gerilim (VMPPT) ve akım (IMPPT) yaklaşımları olmak üzere PV sistemler için iki adet basit, hızlı ve güvenilir MPPT yöntemi incelemiştir. izleyici, mikroişlemci ile kontrol edilmiş, gerilim ve akım ölçümleri online şekilde yapılarak VMPTT ve IMPPT algoritmaları gerçekleştirilmiştir. Yöntemin temel avantajı, referans PV panel kullanımını elimine ederek daha verimli, ucuz ve güvenilir bir PV sistemin oluşturulmasıdır.

Noguchi ve ark. (2002) tarafından önerilen bir MPPT yöntemi, PV panellerin çalışma akımının kısa devre akımı ile lineer bir orantıya sahip olduğu mantığına dayanmaktadır. PV panellerin açık devre gerilimini kullanan yöntem ise (Enslin ve ark. 1997) maksimum güç noktasındaki çalışma geriliminin açık devre gerilimi ile orantılı olarak değiştiği varsayımına dayanmaktadır.

Kulaksız ve Akkaya (2003), maksimum güç noktası izleyicili bir PV güç sisteminin mikro denetleyici tabanlı kontrolünü sunmuşlardır. Sistemde güneş paneline gelen ışık miktarından maksimum seviyede faydalanmak amacıyla güneş izleyici sistem gerçekleştirilmiş, panellerden alınan enerji P&O algoritmasıyla çalışan maksimum güç noktası izleyici üzerinden akülerde depolanmıştır. DC formdaki bu enerji, seçilmiş harmoniklerin elimine edildiği darbe genişlik modülasyonu (SHE-PWM) metoduyla kontrolü sağlanan bir gerilim beslemeli inverter ile AC forma dönüştürülmüştür.

Santos ve Antunes (2003), P&O algoritmasını kullanan gerçek zamanlı bir maksimum güç noktası izleyici gerçekleştirerek PV sistemin enerji dönüşüm veriminin artırılmasını hedeflemişlerdir. MPPT algoritması, PV panel gerilim ve akım bilgisi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve gerilim yükseltici (boost) dönüştürücünün bağıl iletim süresi, darbe genişlik modülasyonu metoduyla kontrol edilmiştir. Yöntemin temel avantajları güneş paneli karakteristiklerinin bilinmesini gerektirmemesi ve referans PV panel kullanımına gerek olmamasıdır.

Heng ve ark. (2005), şebekeden bağımsız bir PV su pompalama sistemi için akü depolaması içermeyen yeni bir hibrid MPPT kontrol stratejisi önermişlerdir. Kontrol işlemi, iki adımda gerçekleştirilmekte; ilk adımda hızın artırılması ya da azaltılması belirlenmekte, sonraki adımda ise hız komutu için değişme miktarı seçilmektedir. Çalışmada, temel olarak MPPT stratejisi sabit gerilim yöntemiyle kontrol edilmekte, referans gerilim ise çok kriterli yeni bir metotla periyodik şekilde güncellenmektedir.

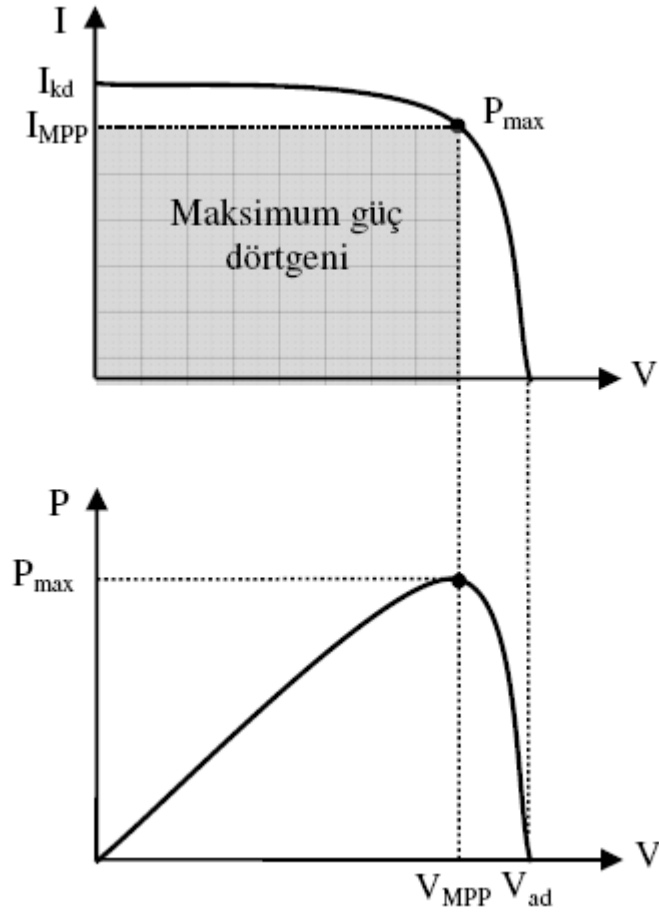
Salas ve ark. (2005), sadece PV akım değerini kullanarak herhangi bir sıcaklık ve ışık şiddeti seviyesinde PV paneller için MPPT işlemini yerine getiren bir algoritma önermişlerdir. Gerilim düşürücü (buck) tip dönüştürücü içeren 100W gücünde bir prototip sistem, mikro denetleyici ile geliştirilmiş, sistemde yük olarak akü ve direnç kullanılmıştır. Sistemin benzer çalışmalara göre temel avantajı PV panellerle ilgili tek bir parametrenin ölçülmesinin yeterli olmasıdır.

Tariq ve Asghar (2006), mikro denetleyici tabanlı bir maksimum güç noktası izleyici sunmuşlar, P&O ve maksimum güç noktası gerilimi (VMPP) olmak üzere iki algoritma gerçekleştirmişlerdir. Özellikle hızlı değişen atmosferik şartlarda P&O algoritmasında önemli enerji kayıplarının olduğu, buna karşılık VMPP algoritmasında maksimum güç noktası etrafında salanımlar oluşmadan daha hızlı bir izlemenin gerçekleştirilebildiği gösterilmiştir. Bu yöntemde referans bir güneş pili kullanılarak açık devre gerilimi ölçülmüş, bu gerilimin belli bir yüzdesinin maksimum güç noktasına karşılık geldiği düşünülerek referans gerilim bulunmuştur. (Kulaksız, 2007)

3.3 PV Panel I-V Eğrisinin Maksimum Güç Noktalarının Tespiti

Bir fotovoltajik hücrenin, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi karakteristik akım-gerilim eğrisinde yüke bağlı olarak herhangi bir noktada çalıştırılması mümkündür. Eğrideki

iki önemli nokta, fotovoltaik hücrenin elektriksel performansını belirlemekte de kullanılan iki parametre olan açık devre gerilimi V_{ad} ve kısa devre akımı I_{kd} dir. Kısa devre akımı, çıkış uçları kısa devre edilerek ve tam aydınlatma altında uç akımı ölçülerek belirlenir. Düşük seviyedeki diyot akımı ile toprağa doğru olan sızıntı akımı, sıfır uç gerilimi altında ihmal edildiğinde ölçülen kısa devre akımı, I_L fotovoltaik akımını verir. Kısa devre akımı(I_{kd}), aydınlatma seviyesi ile orantılı iken, açık devre gerilimi (V_{ad}), aydınlatma seviyesinin logaritması ile doğru orantılıdır.



Şekil 3.3 : İdeal bir Fotovoltaik hücrenin I-V ve P-V karakteristikleri

Maksimum hücre gerilimi ise, açık devre gerilimi durumunda elde edilir. Kısa devre ve açık devre şartlarında güç sıfırdır. Fotovoltaik hücre, maksimum gerilim noktası V_{MPP} ve maksimum akım noktasında I_{MPP} maksimum güç üretir. Şekil 3.3'te görülen taralı alanın ($I_{MPP} \times V_{MPP}$) maksimuma ulaştığı durumda maksimum güç şartı oluşur. Şekildeki maksimum güç dörtgeni, maksimum güç noktasında üretilen güce eşittir. Doluluk faktörü η_d I-V eğrisinin karesel olmasıyla alakalı bir ölçüttür ve (3.1) denklemi ile gösterilir.

$$h = \frac{I_{MPP} V_{MPP}}{I_{kd} V_{ad}} \quad (3.1)$$

Pratik uygulamalarda, sistem yükü veya sistem yük direnci kullanım amacına yönelik olarak sistemde kullanılan malzemenin cinsine ve fiziği yapısına bağlı olarak lineer veya lineer olmayan bir değişim gösterebilir. Genelde yük direnci fotovoltaik sistemlerin su pompası uygulamaları dışında kalan uygulamalarda lineer bir değişim gösterir ve yaygın bir uygulama alanı söz konusudur. V_m - I_m eğrisini en iyi yakınsayan yük lineer I-V eğrisi nümerik yaklaşımla tespit edilmiş ve optimize edilmiş yük çalışma eğrisi Şekil 3.4'de gösterilmekte olup, sanki-lineer bölgede iki eğri arasındaki uyum nümerik yaklaşımın doğruluğunun bir göstergesidir.

PV panel üzerine gelen güneş ışınımının maksimum olabilmesi için panel düzleminin ışınlarla dik bir şekilde güneşi takip etmesi gerekir. Ancak, pratik uygulamalarda güneşi takip eden sistemlerin yapımı zor ve pahalı olduğundan, sabit yüzeylerin uygulaması daha yaygındır. Bu tür yüzeylerin efektif bir şekilde çalışmaları için tespit edilen kullanım süreci ve sezonu bazında optimum bir eğim ve azimut açısıyla yerleştirmeleri gerekmektedir. Birçok güneş enerjisi sistemleri için yıllık bazda eğim açısı optimizasyonu yeterli olabilmesine karşın, PV sistemlerde elektrik enerjisi çıktısını arttırabilmek için aylık bazda eğim açısı optimizasyonuna ihtiyaç söz konusudur.

Güneş panellerinin I-V karakteristiği üzerine gelen ışınımına bağlı olarak her ısıtım değeri için farklılık gösterir. Bu durumda her bir farklı I-V karakteristiği için farklı maksimum güç noktaları söz konusudur. Maksimum güç noktasını değişken kılan bir diğer faktör ise sıcaklıktır.

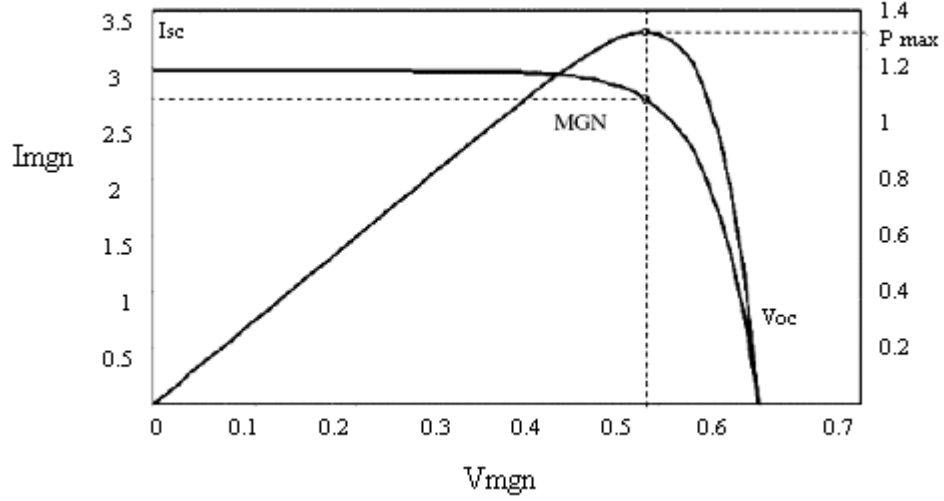
Sıcaklık artışı güneş panellerinin çalışmalarını olumsuz etkilemekte ve verimlerini düşürmektedir. Akım-gerilim karakteristiklerine dikkat edilirse ışınımın akım üzerinde, sıcaklığın ise gerilim üzerinde etkin olduğunu söylenebilir (Salas, 2006).

Maksimum güç takibi yapan sistemler (MGTS), güneşten gelen ışınım ve sıcaklık gibi faktörler nedeniyle maksimum güç noktası değiştiğinden, panelden maksimum verimin alınabilmesi için maksimum güç noktasının daima takip edilmesini sağlayan ve fotovoltaik sistemi bu noktada çalıştıran bir elektronik devredir. Güneş takip sistemi gibi mekanik bir yapıya sahip değildirler; ancak güneş takip sistemleri ile birlikte kullanılabilirler. MGTS'ler güneş panellerinin sürekli maksimum güç

noktasında çalışmasını sağlayarak maksimum güç aktarımını sağladıkları gibi, her zaman maksimum güç aktarımı sağladığından ihtiyaç duyulan aynı enerji miktarı için kullanılacak olan güneş panellerinin sayısının azalmasına yol açarak maliyetlerin de azalmasını sağlamaktadırlar.

Güneş izleyicilerin, PV paneli mekaniksel olarak güneşi izleyecek şekilde hareket ettirmesi, panelden maksimum güç alınmasını garanti etmez. Bu şart için PV panelin, verilen çalışma şartları altında maksimum güç noktasına (MPP) karşılık gelen belirli bir seviyede çalıştırılması gerekir. PV panellerden yüke sürekli olarak maksimum enerji transferinin sağlanması, maksimum güç noktası izleyiciler (MPPT) ile mümkündür.

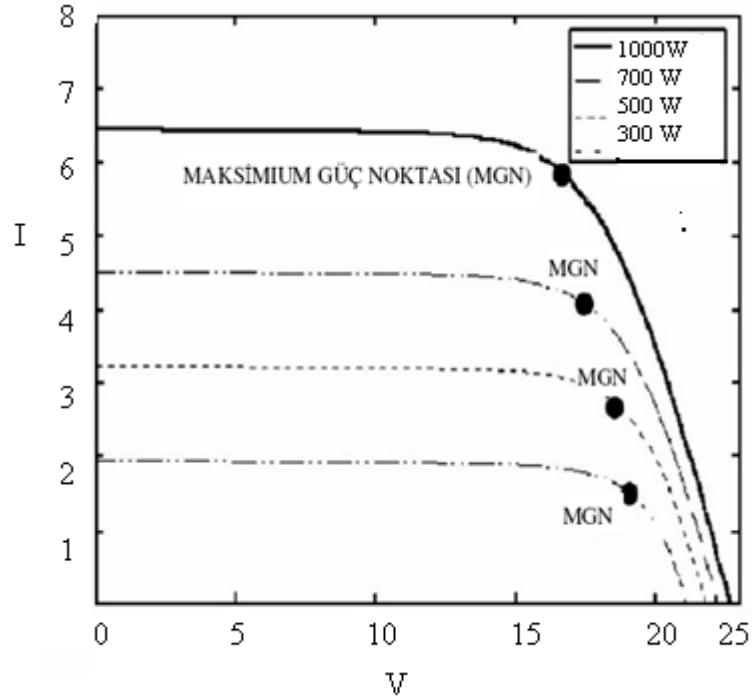
PV panellerden çekilen gücün; ışık şiddeti, sıcaklık gibi çalışma şartlarından bağımsız olarak maksimum yapılabilmesi için uygun bir kontrol algoritmasının gerçekleştirilmesi gerekir. Yüke sağlanan gücün maksimum yapılması amacıyla PV panellerden çekilen akım veya PV panel uçlarındaki gerilim, maksimum güç noktası civarında sabit tutulur. Bunun için, DC-DC dönüştürücü veya inverter gibi güç elektroniği dönüştürücüleri MPPT algoritmaları ile kontrol edilmelidir. Literatürde gerçekleştirilen MPPT yöntemleri, online ve offline yöntemler olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Online yöntemler genel olarak; PV panellerden sağlanan gücün hesaplanması, önceki güç değeriyle karşılaştırılması ve gerçek maksimum güç noktasına doğru referans sinyalin ayarlanması şeklinde gerçekleştirilir. Referans sinyal, güç elektroniği dönüştürücüsü kullanılıyor ise anahtarlama elemanı için iletim süresi, inverter kullanılıyor ise frekans ve modülasyon faktörü olabilir. Offline yöntemler ise PV paneller hakkında önceden detaylı bir bilgiye sahip olunması ve ışık şiddeti, PV panel sıcaklığı, PV panellerin kısa devre akımı veya açık devre gerilimi gibi parametrelerin ölçülmesini gerektirir. Şekil 3.4'te bir güneş paneline ait akım-gerilim ve panele ait güç-gerilim karakteristiği üzerinde maksimum güç noktası (MGN) gösterilmiştir. (Volker, 2005).



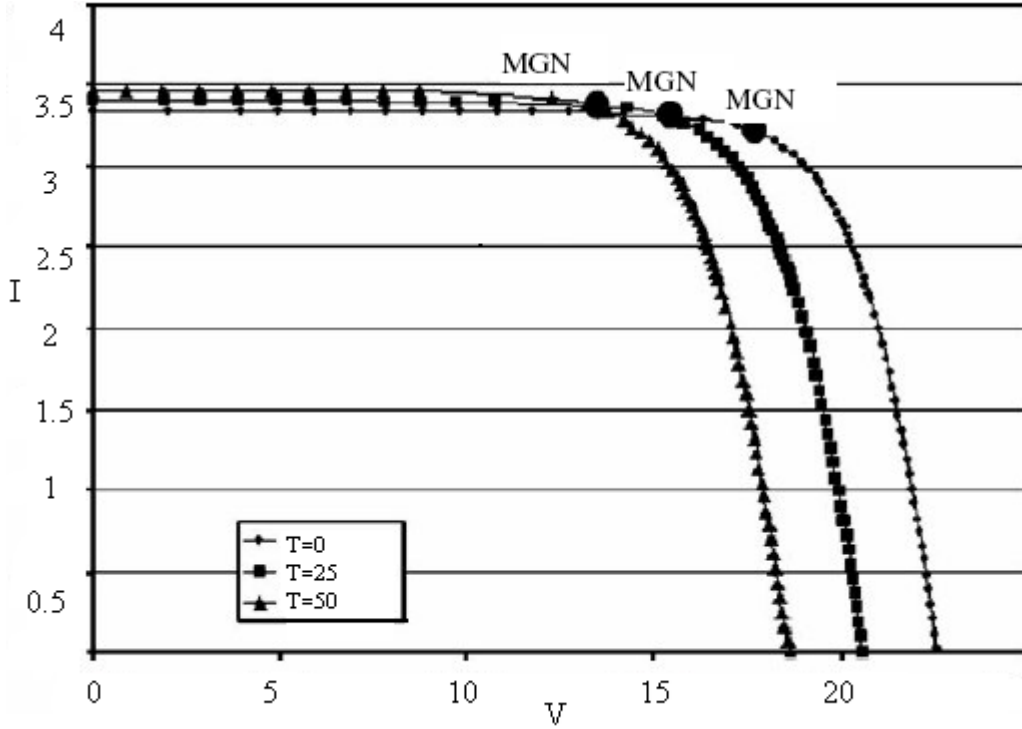
Şekil 3.4 : PV panele ait I-V ve P-V karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası (Nakir, 2007)

Şekilden de görüldüğü gibi bir fotovoltaik panelden belirli bir akım-gerilim noktasında maksimum güç alınabilmektedir. Bir PV panele ait maksimum güç noktası, güneşten gelen ışınım, ortam sıcaklığı vb. gibi şartlara bağlı olduğundan bu nokta değişkendir. Şekil 3.5’de örnek bir PV panelin farklı ışınımlar altında I-V karakteristiği üzerinde maksimum güç noktaları gösterilmiştir (Salas vd. 2006).

Güneş panellerinin I-V karakteristiği üzerine gelen ısıyıma bağlı olarak her ısıyıım değeri için farklılık gösterir. Bu durumda her bir farklı I-V karakteristiği için farklı maksimum güç noktaları söz konusudur.



Şekil 3.5 : PV panelin farklı ışınımlar altında I–V karakteristiği ve maksimum güç noktaları (Nakir, 2007)



Şekil 3.6 : Üç farklı sıcaklık seviyesinde PV ye ait I-V karakteristiği (Nakir, 2007)

Şekil 3.6’da farklı sıcaklık seviyelerinde panele ait akım-gerilim karakteristiği ve bu karakteristik üzerinde maksimum güç noktaları gösterilmiştir.

Günümüzde birçok MPPT denetim tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikler “dolaylı denetim” ve “doğrudan denetim” olarak iki grupta ele alınabilir. Dolaylı denetim tekniğinde PV çıkış gerçek gücü sürekli olarak hesaplanmaz. Burada referans denetim sinyalinin oluşturulması işlemi PV hücre özelliğine bağlı olarak belirli aralıklarla yada örnekleme hücresi yardımı ile modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışınım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerlerinin okunması ile yapılır. Doğrudan denetim tekniği ile oluşturulan sistemler sürekli olarak PV çıkış gücünü okuyarak gerçek MPPT noktasına ulaşmayı sağlayacak dönüştürücü referans sinyalini oluşturur. Dolaylı denetim yöntemleri hızlı olmalarına karşın PV panel bağımlıdırlar ve gerçek MPPT yapamazlar. Doğrudan yöntemler ise daha yavaş ancak PV panellerden bağımsızdırlar. Bu çalışmada doğrudan ve dolaylı yöntem birlikte kullanılarak sistem hızı ve verimi artırılmıştır.

MPPT ve gerilimin uygun seviyelere getirilmesi için kullanılan güç dönüştürücüleri, zorlamalı anahtarlama ve akım ile gerilimdeki ani değişimler nedeniyle

elektromanyetik girişim (EMI) ve radyo frekanslı girişim (RFI) oluşumuna neden olurlar. Bu durumu önlemek amacıyla birçok EMI azaltma yöntemleri geliştirilmiştir. Gürültü yalıtım ve bastırma yöntemleri ile yumuşak anahtarlama tekniklerinin kullanılması bunlardan bir kaçıdır. Yumuşak anahtarlama tekniklerinin uygulanması kontrol ve güç devresinin gerçekleştirilmesini zorlaştırdığı gibi gücün yükseltilmesine fazla bir katkı da sağlamazlar. Ayrıca bu yöntemler devre yapısında değişiklik gerektirmektedirler. Sayılan bu olumsuzlukları aşmak amacıyla faz kaydırmalı sıralı çeviriciler geliştirilmiştir. Sıralı çeviriciler ile devre yapısında değişiklik yapmadan EMI seviyesi azaltılmakta ve sürekli iletim kipinde bir enerji akışı sağlayabilmektedir. Ancak bu yapılar ile yükün az olduğu durumlarda verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Bu çalışmada verimin yükseltilmesi amacı ile düşük yüklerde tek çevirici yüksek yüklerde ise ikili sıralı çevirici ile çalışılarak verimin yükseltilmesi sağlanmıştır. Ayrıca frekans dengelemesi yapılarak giriş ve çıkış frekans etkisinden taviz verilmemiştir

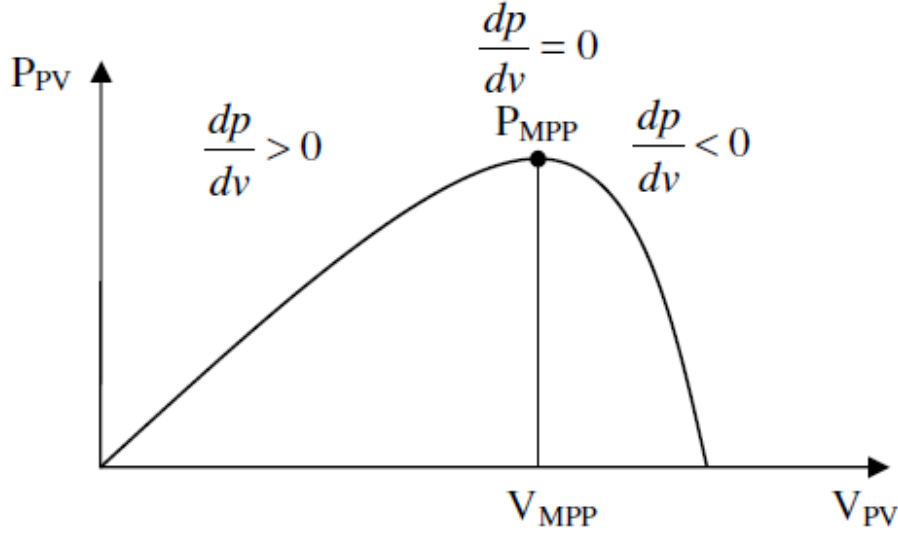
3.4 MPPT Algoritmaları

- Pertürbasyon ve gözlem (P&O) algoritması,
- İletkenlik farkı (Incremental Conductance, IncCond) algoritması;online olarak gerçekleştirilen yöntemlerdir.
- Sabit gerilim yöntemi,
- Sabit akım yöntemi; offline olarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.4.1 P&O Algoritması

Kullanılan en yaygın MPPT algoritmalarından biri olan P&O algoritması, PV panellerin çalışma noktasının değiştirilmesi sonucunda meydana gelecek olan değişimin gözlenmesi ve böylece maksimum güç noktasına doğru sonraki değişimin belirlenmesi prensibine dayanır. P&O algoritması basit yapısı ve kolay şekilde gerçekleştirilebilmesinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Kulaksız ve Akkaya 2003, Santos ve Antunes 2003, Xuejun 2004, Tan ve ark. 2005). Bu metotta, Şekil 3.7’de görüldüğü gibi PV panellerin çıkış gerilimi izlenir, eğer $dp/dv > 0$ olarak bulunursa, çalışma noktası maksimum güç noktasının solundadır. Bu durumda P&O

algoritması, PV panel referans gerilimini maksimum güç noktasına doğru artırır. Eger $dp/dv < 0$ ise, çalışma noktası maksimum güç noktasının sağındadır ve PV panelin referans gerilimi azaltılır. (Xuejun, 2004).



Şekil 3.7 : P_{PV} - V_{PV} karakteristiğinde çalışma bölgeleri

Burada PV panel çıkış akımı, kontrol değişkeni olarak kullanılmaktadır. İlk olarak V_{PV} panel gerilimi ve I_{PV} panel akımı ölçülür ve panellerin çıkış gücü hesaplanır. Eğer PV panel akımındaki artışla birlikte PV panel çıkış gücü artıyor ise, referans akımı bir adım büyüklüğü kadar artırılır. Aksi halde, yani PV panel çıkış gücü akım azalırken artıyor ise referans akım bir adım büyüklüğü azaltılır. Eğer panellerin çıkış gücü, akımdaki artışla birlikte azalıyor ise, referans akımı bir adım büyüklüğü azaltılır. Aksi halde, yani PV panel akımı azalırken çıkış gücü de azalıyor ise referans akım bir adım büyüklüğü kadar artırılır. P&O algoritmasında güç artıyorsa, izleme sonraki çevrimde aynı yönde devam eder. Aksi durumda ters yönde devam eder, yani eğim işareti değişir. Bu nedenle bu algoritma “tepe-tırmanma” algoritması olarak da bilinir. Böylece, farklı ışık şiddeti ve sıcaklık değerleri için PV panellerin çalışma noktası maksimum güç noktasına doğru taşınabilir (Xuejun, 2004).

P&O algoritmasının dezavantajlarından birisi maksimum güç noktası etrafında salınımlar oluşturmasıdır. Salınımlar, kontrol edilen parametre için kullanılan adım büyüklüğünün azaltılmasıyla minimize edilebilir. Ancak daha düşük adım büyüklüğü maksimum güç noktası izlemeyi yavaşlatabilir. Bu problem için çözüm yollarından birisi, değişken bir adım büyüklüğünün kullanılmasıdır. Geliştirilmiş P&O

algoritması olarak adlandırılan bu yöntemde maksimum güç noktası etrafında adım büyüklüğü küçültülür (Hua ve Lin 2001, Xiao ve Dunford 2004).

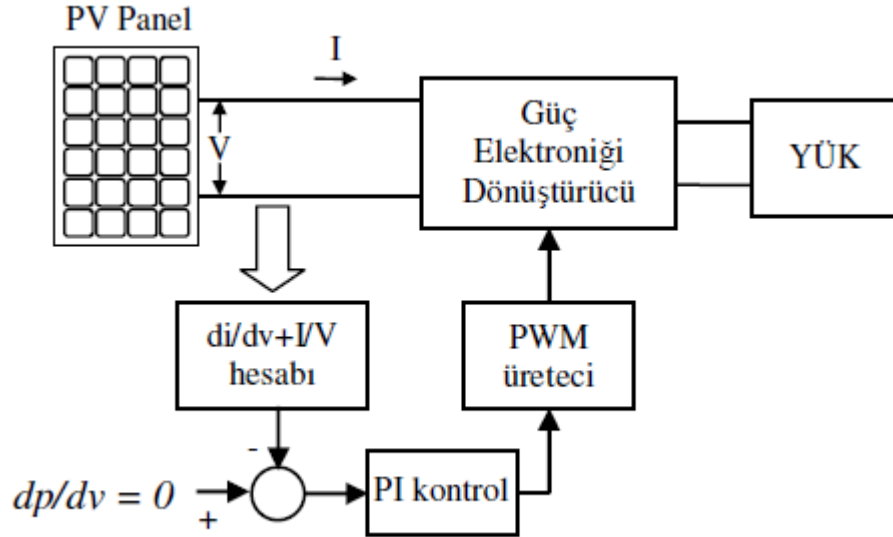
3.4.2 İletkenlik Farkı Yöntemi

Şekil 3.8’te blok şeması verilen iletkenlik farkı yöntemi, maksimum güç noktasında gücün, gerilim veya akıma göre türevinin sıfır olması prensibini kullanır. Maksimum güç noktasının sol tarafında güç, gerilimle doğru orantılı ($dp/dv > 0$), sağ tarafında ise gerilimle ters orantılı olarak değişir ($dp/dv < 0$). Maksimum güç noktasında ise $dp/dv = 0$ şartı sağlanır. Bu şartlar kullanılarak PV panellerin akım ve gerilimlerine bağlı olarak aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\frac{dp}{dv} = \frac{d(iv)}{dv} = 1 + \frac{vdi}{dv} \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{v} \frac{dp}{dv} = \frac{1}{v} + \frac{di}{dv} \quad (3.3)$$

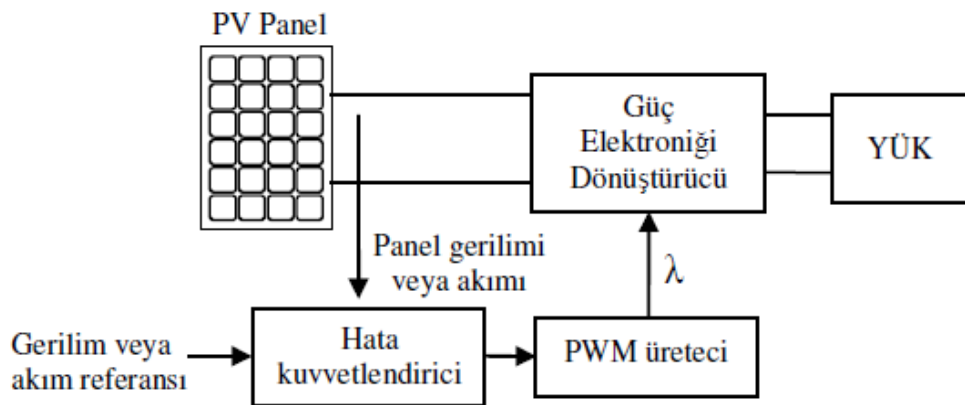
Böylece PV panellerin uç gerilimi, iletkenlik farkı ve ani iletkenlik değerleri (sırasıyla di/dv ve I/V) ölçülerek ve yukarıdaki denklemlerde yerine konularak maksimum güç noktasına göre ayarlanabilir. İletkenlik farkı yönteminin akış diyagramı Şekil 3.8’de verilmiştir (Hussein ve ark. 1995). Öncelikle di/dv ile $-I/V$ karşılaştırılır ve bu kontrolün sonucuna göre kontrol referans sinyali V_{ref} , panelin gerilimi maksimum güç noktasına doğru kaydırılacak şekilde ayarlanır. Maksimum güç noktasında $di / dv = -I / V$ olduğundan her hangi bir ayara gerek duyulmaz ve referans değişmediğinden çalışma noktası maksimum güç noktasında kalır. Parametreler çevrimin sonunda saklanır. Paneller maksimum güç noktasında çalışırken, her hangi bir denetleme gereksiniminin olup olmadığını belirlemek için iki farklı durum daha kontrol edilir. Bunun için, atmosferik şartlarda bir değişimin olup olmadığı ($di \neq 0$) işlemiyle kontrol edilir. Böylece PV panellerin uç gerilimi, iletkenlik farkı ve ani iletkenlik değerleri (sırasıyla di/dv ve I/V) ölçülerek ve yukarıdaki denklemlerde yerine konularak maksimum güç noktasına göre ayarlanabilir. (Hussein ve ark. 1995).



Şekil 3.8 : İletkenlik farkı yöntemi için blok şeması (Kulaksız, 2007)

3.4.3 Sabit Gerilim Yöntemi

Sabit gerilim yöntemi, PV panellerden maksimum gücün elde edildiği çalışma noktasının açık devre geriliminin sabit bir yüzdesine karşılık gelmesi prensibine dayanır (Masoum ve ark. 2002). Bu yöntemde PV panellerin akımı kısa bir süre sıfır yapılarak panellerin açık devre gerilimi ölçülür. Alternatif olarak panellerin açık devre geriliminin ölçülmesi için ek bir PV panel de kullanılabilir (Abu Tariq ve Asghar 2006). Sabit gerilim yöntemini kullanan MPPT algoritması için blok sema Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 : Sabit gerilim veya sabit akım MPPT yöntemi için blok şeması (Kulaksız, 2007)

3.4.4 Sabit Akım Yöntemi

Sabit akım yöntemi, sabit gerilim yönteminde olduğu gibi farklı ortam şartlarında maksimum güç noktasının yaklaşık olarak kısa devre akımıyla orantılı olması prensibine dayanır (Mutoh ve ark. 2002, Noguchi ve ark. 2002). Kısa devre akımı, PV paneller kısa bir süre için kısa devre edilerek ölçülür. PV panellerin maksimum güç noktasındaki akımı, k sabitine bağlı olarak kısa devre akımı ile orantılı olarak değişir.

$$I_{MPP} = k \cdot I_{kd} \quad (3.5)$$

Kısa devre akımı anlık olarak belirlenir ve sistemde referans akım (I_{ref}) maksimum güç noktasındaki akıma (I_{MPP}) eşitlenecek şekilde akım kontrollü güç dönüştürücüsü ile kontrol işlemi gerçekleştirilir ve sabit gerilim yöntemine benzer şekilde çalışma sağlanır. (Özdemir, 2007)

4. UYGULAMA BÖLÜMÜ

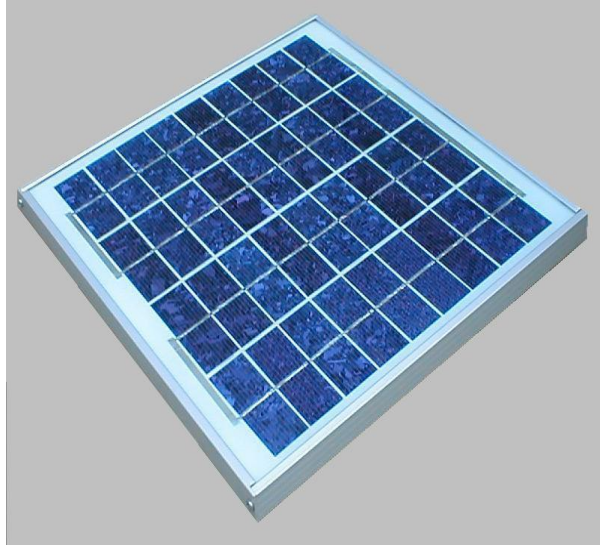
4.1 Giriş

Bu bölümde üç tip 10W PV panel karakteristikleri incelenecektir. İnceleme yöntemimizde yarıiletkenlerin lineer bölgede anahtarlanması ile PV modüllerin maksimum güç noktasının bulunması metodu gerçekleştirilecektir.

Kısa devre, açık devre voltajları ve bu değerlere göre MPPT (Maksimum Power Point Tracker-Maksimum güç noktası izleyicileri) lerinin hesaplanması reosta yardımıyla bulunacaktır.

4.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri

4.2.1 Kyocero KS0 10W Polikristal Panel



Şekil 4.1 : Kyocero KS10 Paneli

Kullandığımız panelin şekli aşağıda Şekil 4.1 de görülmektedir. Polikristal panelin teknik özellikleri Tablo 4.1 de açıklanmıştır.

Tablo 4.1 : Kyocero KS10 Polikristal panelin teknik özellikleri

Elektriksel Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Maksimum Güç	10 Watts	Uzunluk	304 mm
Maksimum güç Voltajı	16.9 Volt	Genişlik	352 mm
Maksimum güç akımı	0,6 A	Derinlik	22mm
Açık devre voltajı	21,5 Volt	Ağırlık	1,9 kg
Kısa devre akımı	0,62 A		

4.2.2 10W Monokristal Panel

Ölçümlerimizde kullandığımız monokristal 10W'lık panel Şekil 4.2 de görülmektedir.



Şekil 4.2 : Monokristal 10 W panel

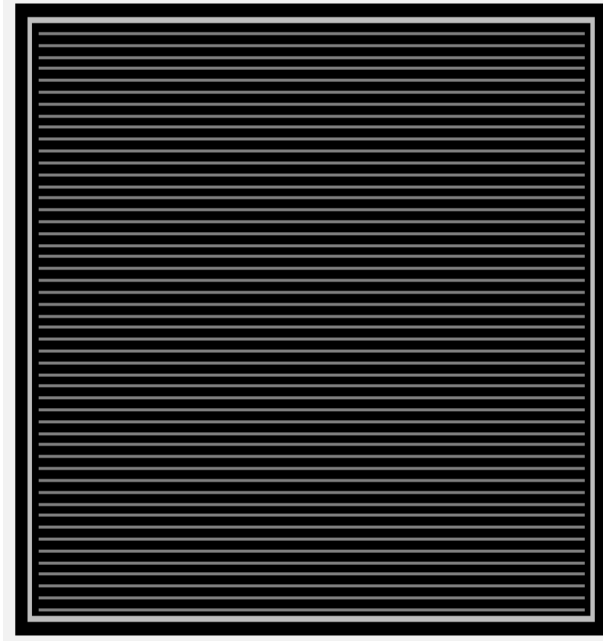
Monokristal panelin teknik özellikleri Tablo 4.2 de görülmektedir.

Tablo 4.2 Monokristal panelin teknik özellikleri

Elektriksel Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Maksimum Güç	10 Watt	Uzunluk	443 mm
Maksimum güç Voltajı	17 Volt	Genişlik	289 mm
Maksimum güç akımı	0,588 A	Derinlik	225mm
Açık devre voltajı	21,0 Volt	Ağırlık	2,3 kg
Kısa devre akımı	0,64 A		

4.2.3 Siemens ST10 10W ince film panel

Deneyde kullandığımız ince film panel Şekil 4.3 te görülmektedir

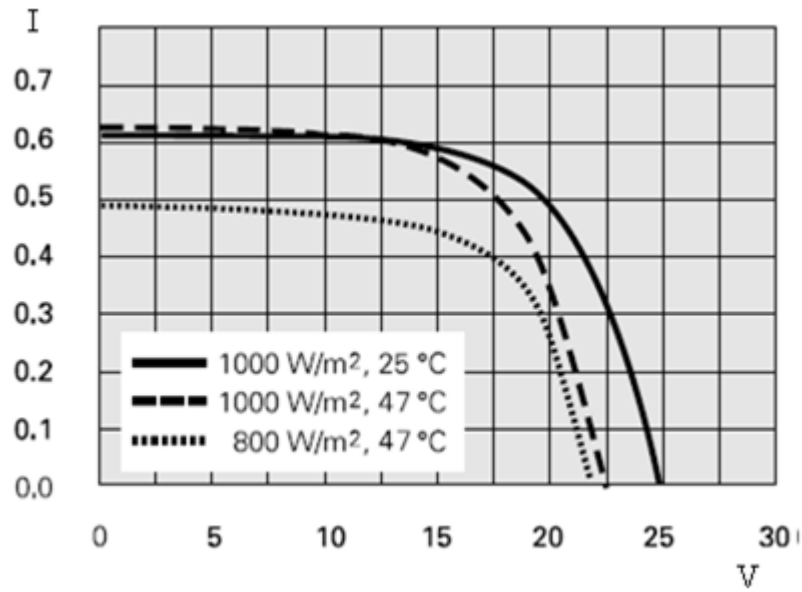


Şekil 4.3 : Deneyde kullanılan ince film siemens PV modülü

Tablo 4.3 : Siemens ST10 10W panel özellikleri

Siemens Solar Modüle ST10 Özellikleri			
Elektriksel Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Maksimum Güç (P_{max})	10W	Uzunluk	387 mm
Maksimum akım (I_{MPP})	0.53A	Genişlik	328 mm
Maksimum voltaj (V_{MPP})	18V	Derinlik	36 mm
Açık devre voltajı (V_{oc})	0.61A	Ağırlık	5.2kg
Kısa devre akımı (I_{sc})	25V		

Tablo 4.3 te Siemes ST10 marka panelin teknik özellikleri belirtilmiştir. Şekil 4.4 te de akım-gerilim karakteristik eğrileri görülüyor



Şekil 4.4 : Siemens ST akım-gerilim eğrileri

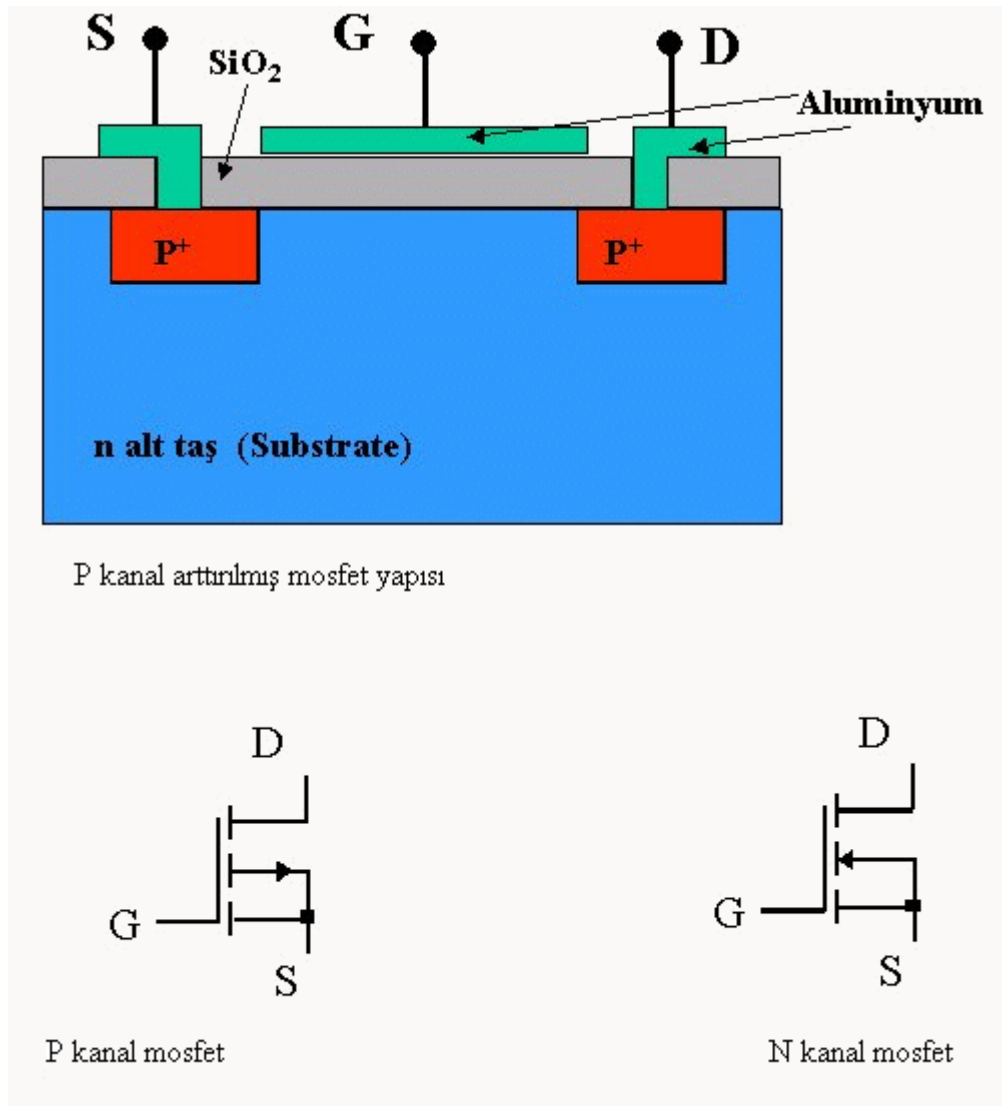
4.3 Reosta Olarak Yarıiletken Anahtarların Kullanılması

4.3.1 Mosfet

Mosfet'in anlamı, Metal Oksit Alan Etkili Transistör (Metal Oxide Field Effect Transistor) ya da Geçidi Yalıtılmış Alan etkili Transistör (Isolated Gate Field Effect Transistor) dür. Kısaca, MOSFET, IGFET ya da Surface Field Effect Transistör de denir.

Mosfet, Jfet' e pek çok yönden benzerlik gösterir. JFET' de Gate Source ters polarmalanmış bir pn oluşturmaktadır. MOSFET' de böyle değildir. MOSFET' de

gate öyle oluşturulmuştur ki drain ile source arasındaki bölge üzerine silikon dioksit ve onun üzerine de gate elektrodu (metal plaka) konularak yapılmıştır. Böylece gate metal elektrodu ile drain ve source arasına bir yalıtkan konulmuş olur. Buradaki yalıtkan silikon dioksit dir. Bütün oksitler iyi birer yalıtandır. Oksitlenmiş kontaklardan elektrik akımı geçmez ve biz de oksitlenmiş yerleri temizleriz. Metal oksit ve yarı iletken ile bir Gate oluşturur ve MOSFET adının oluşmasını sağlar. Bu nedenle gate gerilimine JFET' de olduğu gibi bir sınırlandırma konulmamıştır. Tabi bu teoriktir. Gate yalıtkanı o kadar incedir ki eğer bir koruma yoksa vücudumuzdaki gerilim bile bu yalıtkanı delmeye yeter. Ayrıca bu yalıtkan yüzünden gate akımı neredeyse hiç yoktur ve giriş empedansı çok yüksektir. Tipik olarak gate akımı 10^{-14} A (0,01piko amper) ve 10^{14} ohm (10.000 Giga ohm) dur.



Şekil 4.5 : Mosfetin yapısı ve devre sembolü

Yukarda belirttiğimiz gibi gate geriliminin sınırlı olmaması ayrıca MOSFET' de iki durumda çalışma olanağı sağlar. Bunlar "Arttırılmış (Enhancement) ve "Azaltıcı – (Depletion) çalışma şekilleridir.

Enhancement tipi bir MOSFET' in iç yapısı ve sembolleri aşağıdaki Şekil 4.5 te görülmektedir.

Yaptığımız devrede; paralel tetiklenebilmesi, ikinci kırılma bölgesinden etkilenmemesi, düşük akımda tetiklenebilmesi, az güç harcaması ve hızlı anahtarlanabilmesinden dolayı yarıiletken bir anahtar olarak kullanılabilen mosfet kullanılacaktır. Mosfetlerin eşik voltajı 2-4V arasındadır. Drain akımı I_D , G-S arasındaki voltaj karakteristiği ve V_{GSN} geniş bir alanda lineerdir. Mosfetlerin V_{DS} ile I_{DS} karakteristiği üç bölgede incelenir.

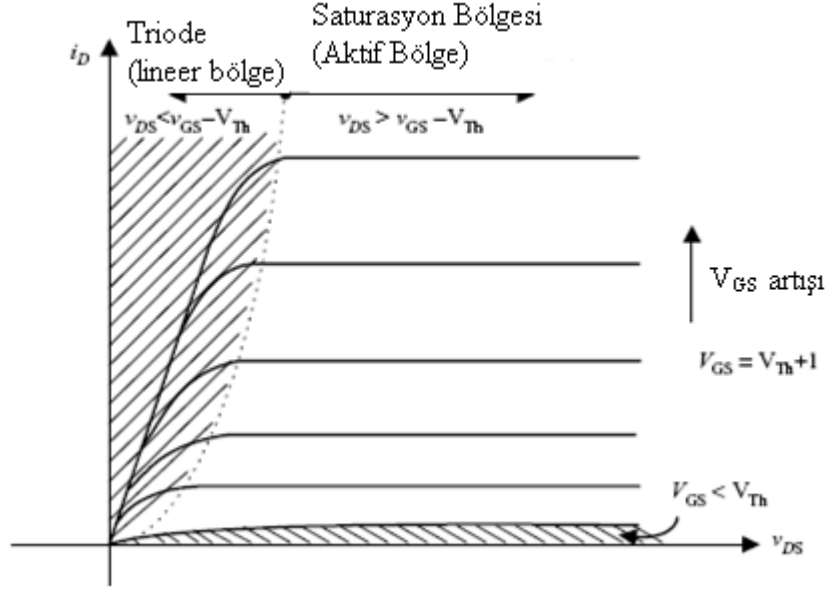
Triode bölgesi,

Saturasyon bölgesi

Kesim bölgesi

Anahtarlama olarak kullanıldığında kesim ve triode bölgesi kullanılır. Kuvvetlendirici olarak kullanıldığında saturasyon bölgesi kullanılır. Şekil 4.6 da mosfetin çalışma eğrisi görülmektedir.

Kaosun kontrol mühendisliği açısından istenmeyen bir davranış şekli olmasına rağmen, yerel olarak kararlı hale getiren yöntemlerle kabul edilebilir bir performans elde edilebilir.

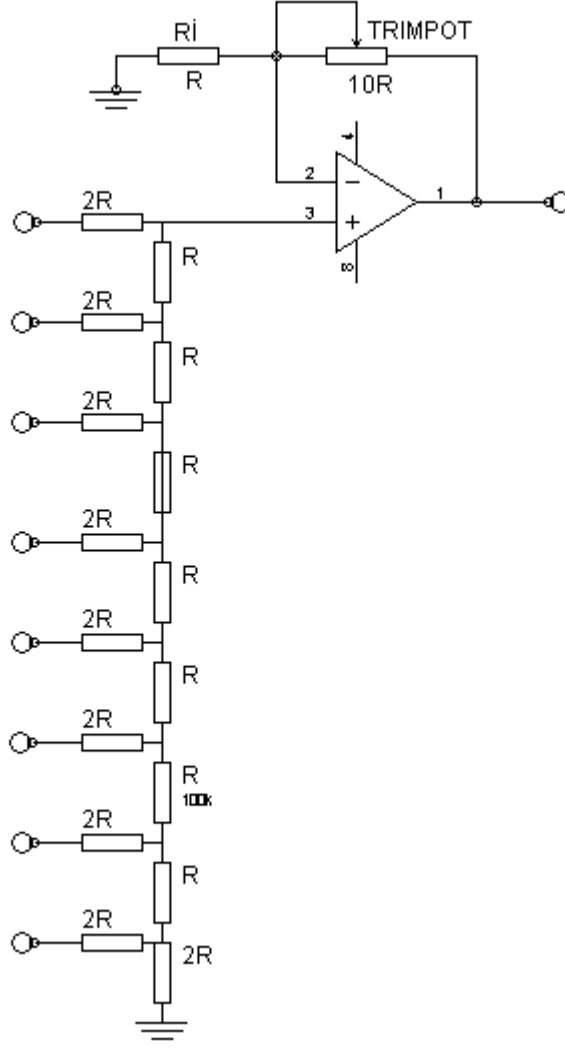


Şekil 4.6 : Mosfetin Çalışma Bölgesi

4.3.2 Opamplı DAC dizaynı

Mosfetin sürülebilmesi için dışarı çıkış akımına sahip bir opampın leader merdiven tipi direnç devresiyle birleştirilmesi gerekmektedir. Hızlı opampların kullanılması avantajdır.

Triode bölgesinde R_{DS} direnci sabittir. R_{DS} - I_D arasındaki değişimle orantılıdır. Mosfetin sürücü devresi opampla oluşturulmuş bir DAC (Digital Analog Konvertör) vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu devre ile açık devre voltaj yöntemi, kısa devre yöntemi ve mosfetin linear bölgede tetiklenme yöntemleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.7 de DAC devresinin çizimi görülmektedir.



Şekil 4.7 : Opamp devresi

4.3.3 Transduser

Fiziksel ortam değişikliklerini (ısı, ışık, basınç, ses, vb.) bizim yerimize algılayan cihazlara “sensör”, algıladığı bilgiyi elektrik enerjisine çeviren cihazlara transduser denir. Sensörlerden alınan veriler elektrik sinyaline dönüştürüldükten sonra elektronik devreler tarafından yorumlanarak mekanik aletlere kumanda edilebilir. Aslında, sensör ve transduserleri kesin çizgilerle birbirinden ayırmak biraz zordur. Şöyle ki; mikrofona sesi algılayan bir sensördür. Öte yandan, ses dalgalarını, içindeki bobin aracılığıyla elektrik akımına dönüştürdüğü için bir transduserdir. Bu yüzden bu iki kelimeyi eş anlamlı kabul edebiliriz.

Transduser genellikle sensörden alınan sinyallerin işlenip iyileştiği kısım olarak tanımlanabilir. Fakat bu iki kavram iç içe girmiş bir şekilde zaman zaman kullanılmaktadır. Her sensör bir transduser değildir, fakat her transduser bir sensör

içerir. Yani transdüser algılama işinin sonucunu iş edindiklerinden önlerinde mutlaka bir sensör bulunur. Kimi transdüserlerde sensör ayrı bir öğe değil beraber halde bulunur. Bu türden durumlarda sensör yerine sadece transdüser kullanılır. Transdüserlerde sensörlerde olduğu gibi algılanan nicelik analog olarak ifade edilir. Transdüserler, farklı enerjiler arasında dönüşüm yapan elemanlardır.

Elektriksel Devrelerde Kullanımı:

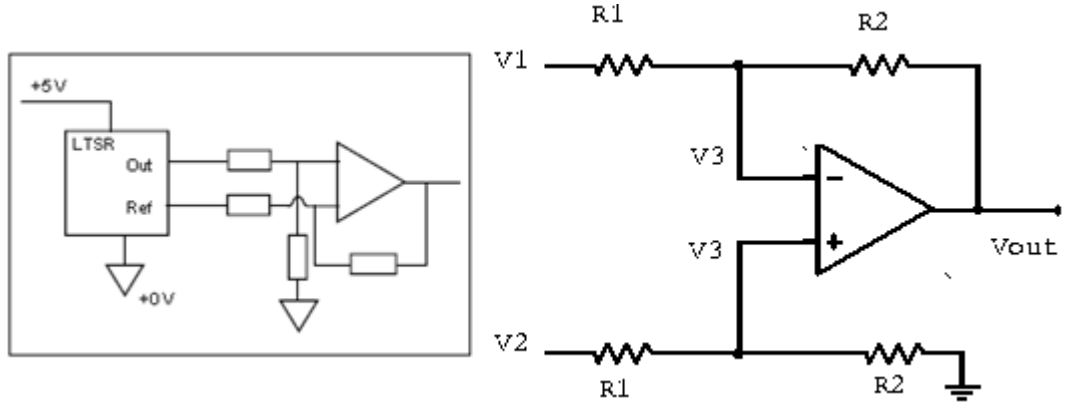
Elektriksel açıdan transdüser, herhangi bir fiziksel büyüklüğü elektriksel işarete dönüştüren eleman olarak tanımlanabilir. Çok çeşitli tipleri vardır. Bunların bir kısmı; herhangi bir sıvıdaki konsantrasyonunun ölçümü (sıvı veya gazdaki akış hızı ölçümü) mekanik hız (ivme-dönme, basınç ve kuvvet ölçümü) sıcaklık, ses şiddeti ve frekans ölçümü yapan transdüserler şeklinde özetlenebilir. Kontrol ve ölçme alanında transdüser kullanmadan bir iş yapmak mümkün değildir. Transdüserlerin tasarımları kolay, fakat yapım ve kalibrasyonları zordur. Transdüserler, özellikle elektronik cihazların önemli bir elemanıdır. Çeşitli fiziksel büyüklükleri elektriksel işaretlere çeviren transdüserler daha çok tercih edilir. Çünkü elektriksel işaretlerin ölçülmesi, işlenmesi ve bir yerden başka bir yere iletilmeleri kolaydır. Transdüser çıkışında elde edilen elektriksel işaret analog, dijital veya modülasyonlu olabilir.(Megep,2012)

Transdüser Çeşitleri:

Transdüserler in bir kısmı pasif birer eleman olup, çalışmalarını için dışarıdan uygun bir enerjinin verilmesi gerekir. Fotodirenç, termistör, strain gage, transistör mikrofön ve diferansiyel transformatör gibi transdüserler bu sınıfa girer. Diğer bir kısım transdüserler ise ölçülecek olan büyüklük ile uyarılır. Çalışmaları için dışarıdan herhangi bir enerjinin uygulanmasına gerek yoktur. Bunlara örnek olarak; ısıl çift, fotovoltajik ve piezoelektrik gibi transdüserler verilebilir. Transdüserler kendinden uyarımlı ve dışarıdan uyarımlı olarak temel iki sınıfa ayrılabilir. Uygulama alanlarına göre de sınıflandırılabilirler. Aralarında kesin bir ayırım yapmak mümkün değildir.

5V ile beslenen birinci uçlarında herhangi bir akım akmadığında 2,5V çıkış veren,25A akım aktığında bu voltajı 3,25 volta yükselten lem transduserin akım aralığı 0-25A arasındadır. Akımı 0-0,625Voltluk çıkış gerilimi olarak vermektedir. Kullandığımız micro controller 10 bit ADC (Analog digital konvertör) ye sahip olduğundan dolayı $5V/1024=0,0488$ adımla hareket eder.0-0,625 arasını 128 örnekleme alıyoruz. $25A/128=0,19A$ lik aralıklarla okuma yapabilir.

25A'lık yüksek amperajlı sistemlerde 0,2A'lık bir akım uygun bir adım aralığı iken 10W'lık panelde çalıştığımızdan dolayı bizim için büyük bir aralıktır.

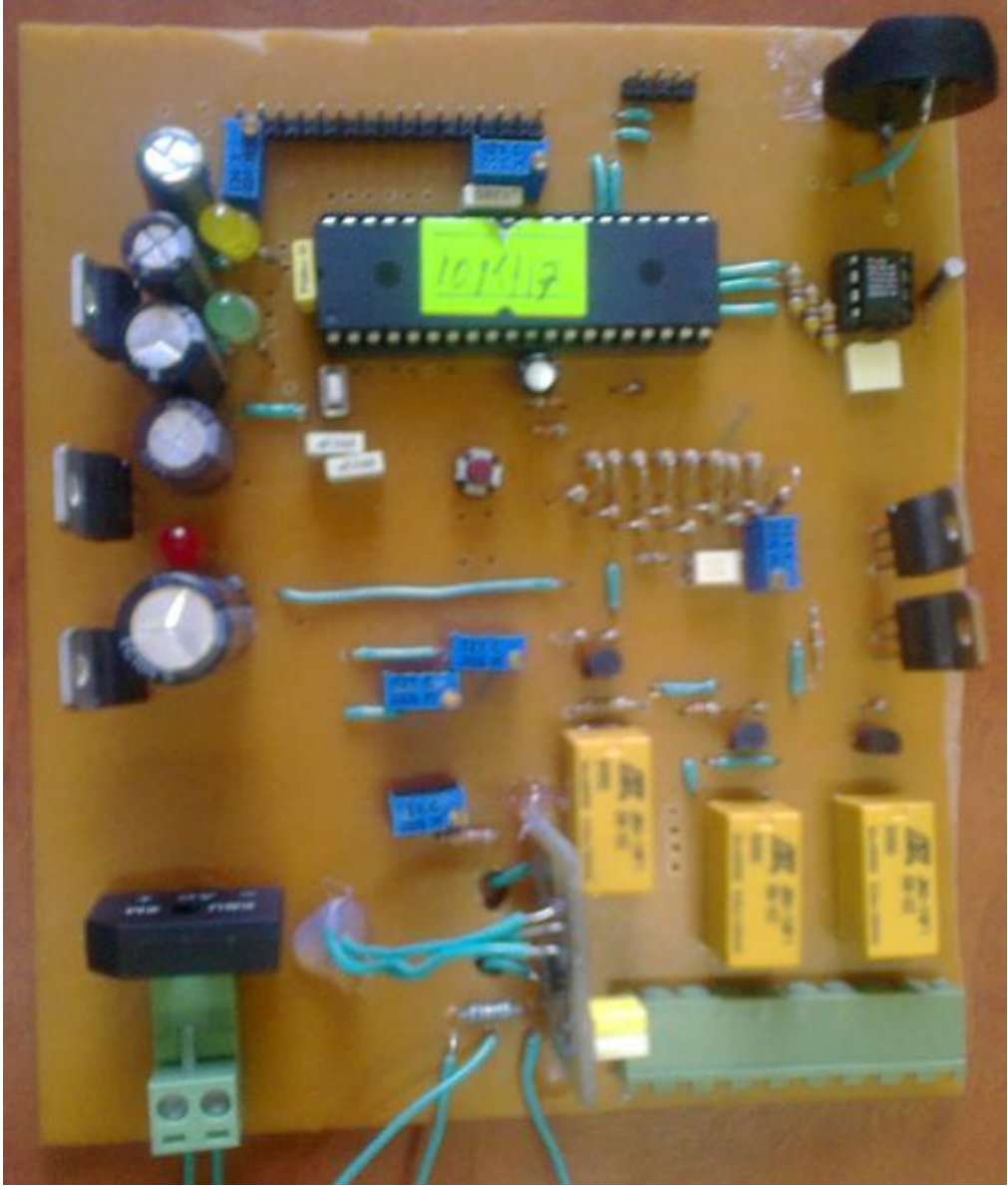


Şekil 4.8 : Transducer devresi

Şekil 4.8'de transducer kuvvetlendirme devresi görülmektedir.

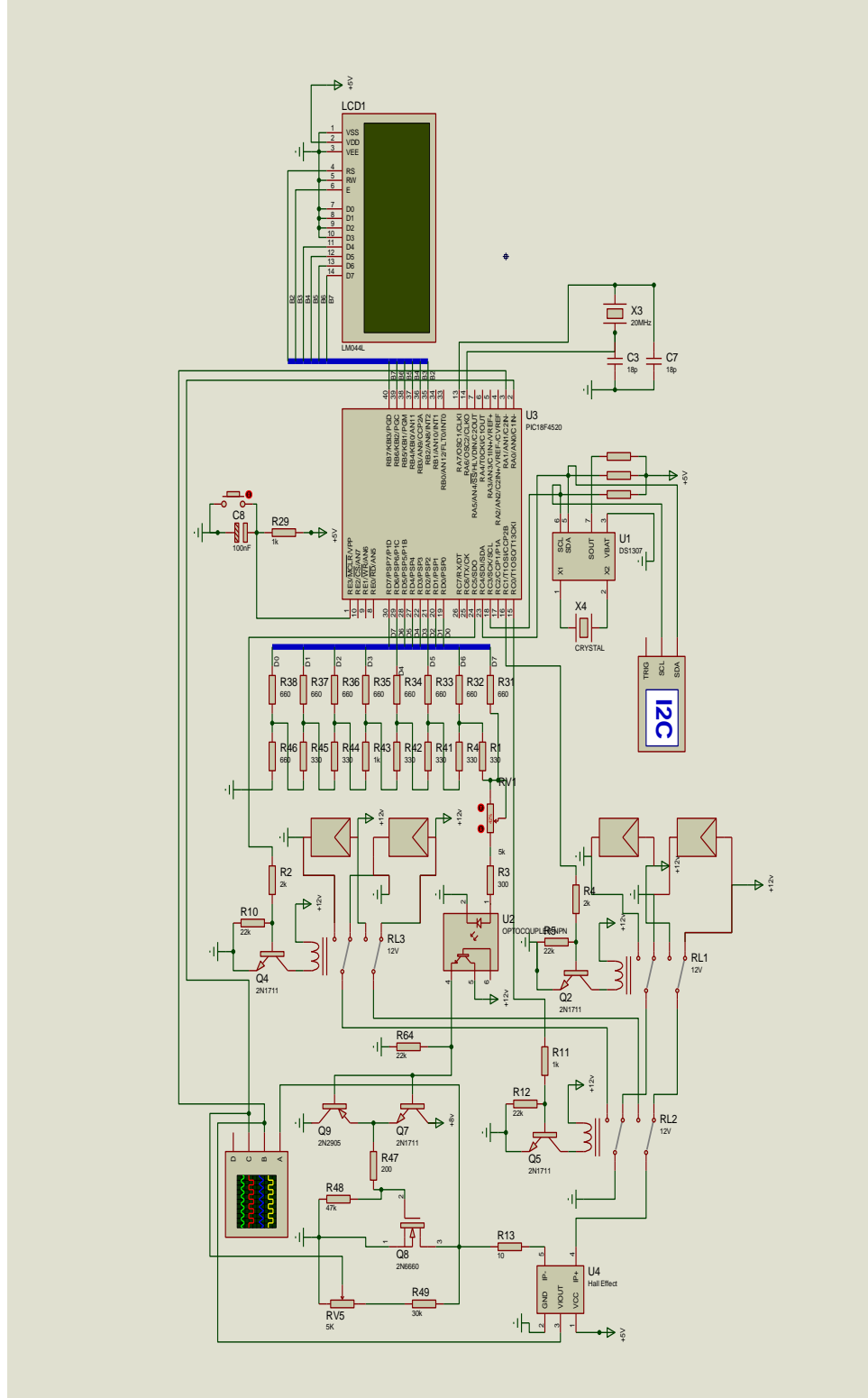
4.4 Kurulan Genel Devre

Şekil 4.9 da MPPT kontrolü yapan devrenin baskı devresi görülmektedir. Pic 18F4520 kullanarak tasarlanmıştır. Akım okuyucu bölümünde Allegro ACS712 model transducer kullandık.30A'e kadar okuma sağlaması yüksek akımlı okumalarda avantajdır.



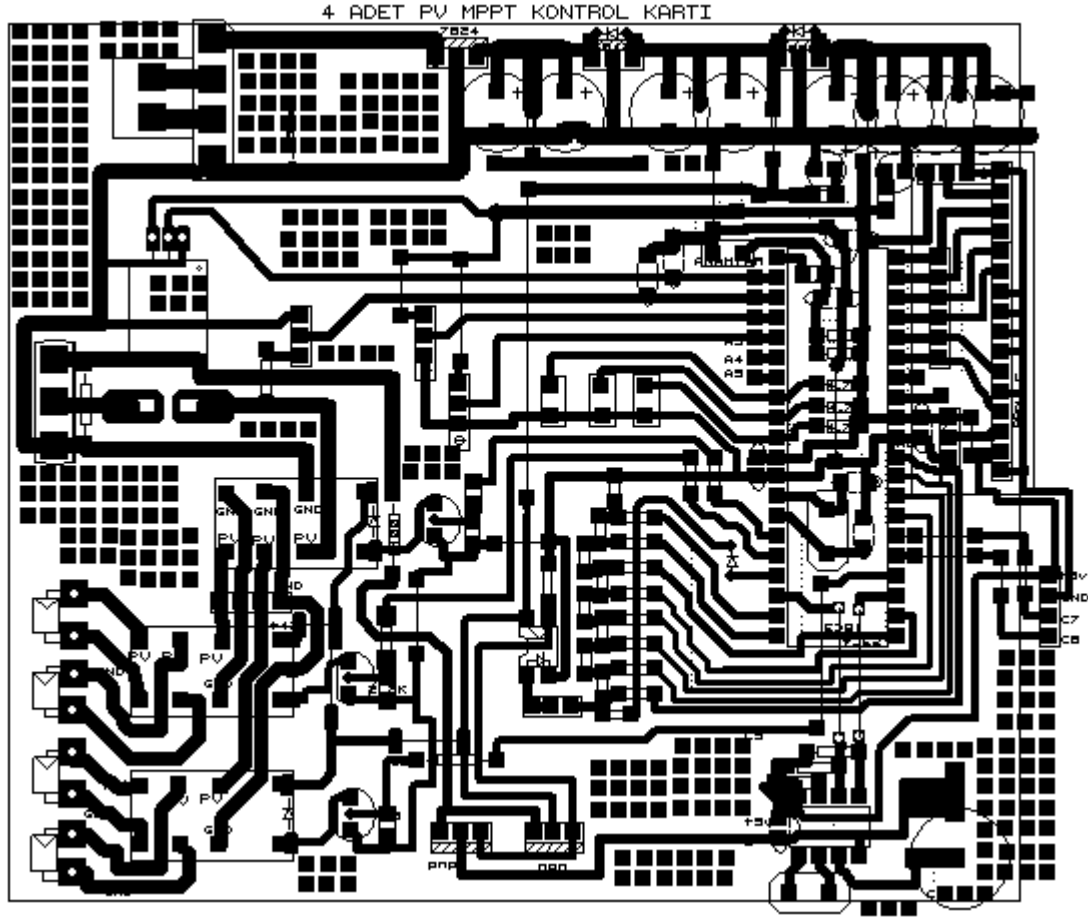
Şekil 4.9 : Kurulan devrenin baskı devre kartı

Sistemimizde mosfetin lineer bölgesi 3V-6V arasında mevcut DAC devresi 0-256 arasındaki adımları merdiven şeklinde mosfete uygulamaktadır. Devre mosfetin lineer bölgesinden faydalanarak ON durumundan OFF durumuna kadar bütün değerlerini hesaplamaktadır. Güç değerleri içindeki en büyük gücü maksimum güç olarak bize vermektedir.Devrenin isis programında çizilen simülasyon devresi Şekil 4.10 daki gibidir.



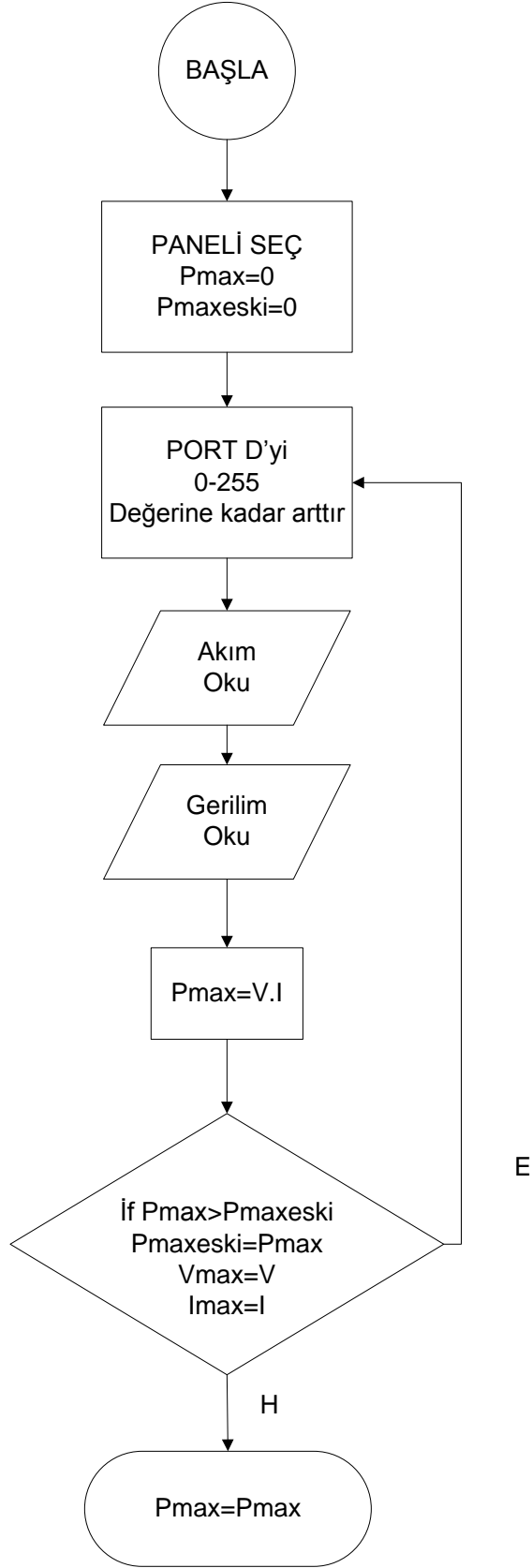
Şekil 4.10 : Devrenin isis programında çizilen simülasyon devresi

Ares programında çizilen baskı devre şeması da şekil 4.11 deki gibidir.



Şekil 4.11 : Devrenin ares programında çizilen baskı devresi

Kurulan devrenin işleyişini anlatan pic yazılımının blok diyagramı şekil 4.12 de görülmektedir. Pic 18f4520'nin yazılımı çalışmaya başladığında hangi paneli okumak istiyorsak o panel ile alakalı röleleri on konumuna getirerek panel seçimi sağlanır. Daha sonra pic'in port D kısmı 0-255 arasında değerini arttırarak her değer için ayrı ayrı akım ve gerilimleri ölçer. Gücü elde etmek için $P=V.I$ formülünü kullanarak her kademedeki akım ve gerilim değerlerini çarparak güç elde eder. Bulduğu her yeni güç değerini bir önceki eski değerle karşılaştırır. Son bulunan P değeri en yüksek değerini buluncaya kadar pic port D deki değerler artmaya devam eder.en son Pmax değeri bulunduğunda işlemi sonlandırır. Lcd ekranında maksimum P değerini gösterir.



Şekil 4.12 : Devrenin akış diyagramı

4.5 Devrenin Çalışma Sistemi

Yapılan bu devre ile aynı anda dört adet panele ait akım, gerilim, güç değerleri; günün her saati manuel yada bilgisayar kontrollü olarak bulunabilir. Ayrıca lineer bölge karakteristiği ile de gerçek MPP(Maksimum Power Point) noktası elde edilebilir.

Sistemimizde pic 18f45202nin çıkışlarındaki dijital bilgi dac yardımı ile analog bilgiye dönüşür. Mosfetin lineer bölgesi 0-5 arasında mevcut DAC devresi 0-256 arasındaki adımları merdiven şeklinde mosfete uygulamaktadır. Mosfetin lineer bölgesinde anahtarlardan faydalanarak mosfeti reosta olarak kullanmamıza olanak sağlar. Röleler yardımıyla istediğimiz panellerdeki akım, gerilim ve güç değerlerini on durumundan of durumuna kadar bütün değerlerini hesaplamaktadır. İstersek aynı anda dört paneli okuma imkanına sahibiz. Devredeki Acs712 hall sensör ile akım değerlerini 32A'e kadar okuyabiliyoruz. Gerilim değerlerini potansiyometre ile okuyoruz. Yazılan pic yazılımı ile bulmuş olduğumuz akım ve gerilim değerlerini çarparak P_{max} değerine ulaşmaya kadar okuma işlemini devam ettiriyoruz. Güç değerleri içindeki en büyük gücü maksimum güç (P_{max}) olarak bize vermektedir. Bu da bize ölçüm yaptığımız panelin en yüksek çalışma gücünü bulmamızı sağlıyor. Bu ölçümleri manuel olarak yapabildiğimiz gibi; istersek günün her saati bilgisayar kontrollü olarak micro saniyeler bazında ölçüm hassasiyetiyle yapabilmekteyiz. Şekil 4.12 de ölçüm yaptığımız sistem görülmektedir. Burada ölçümleri manuel olarak reosta yardımıyla yaptık.



Şekil 4.13 : Kurulan devrenin resimleri

4.6 Sonuç

Her bir panel için reosta değerlerini kademeli olarak değiştirerek akım, gerilim, güç değerlerini ölçtük. Her panele ait I-V ve P-V karakteristiklerini çıkardık.Bilgisayar kontrollü yaptığımız ölçümlerde de aynı anda dört adet paneli bilgisayara bağlayarak otomatik olarak değerlerimizi bulduk.Bulduğumuz sonuçlar bir sonraki bölümde verilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Monokristal Panelin Ölçüm Sonuçları

Ölçümün yapıldığı andaki;

Ortam sıcaklığı $T= 12\text{ C}^{\circ}$,

Işınım değeri $S=445\text{ W/m}^2$ dir.

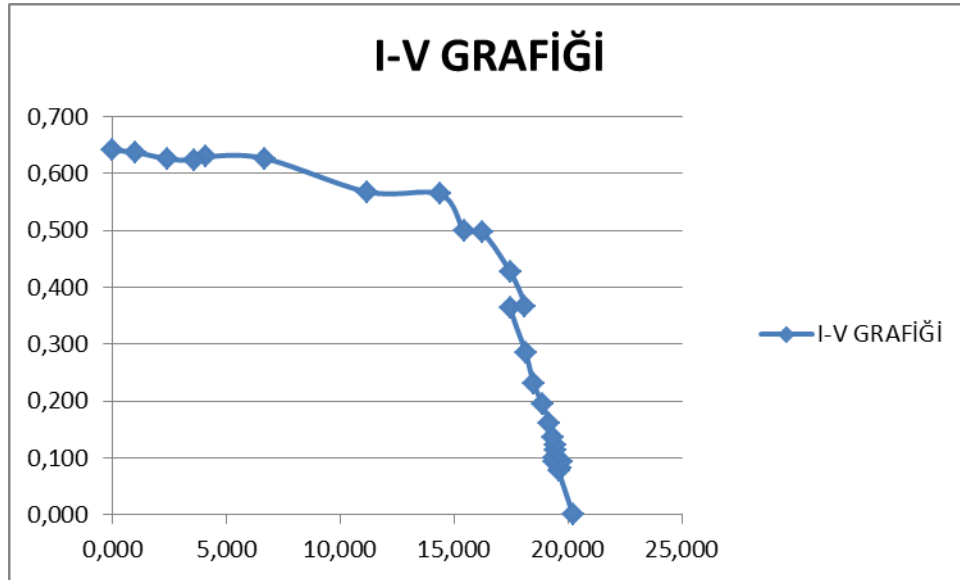
Bulduğumuz sonuçlarda;

Kısa devre akımı $I_{kd}=0,641\text{ A}$,

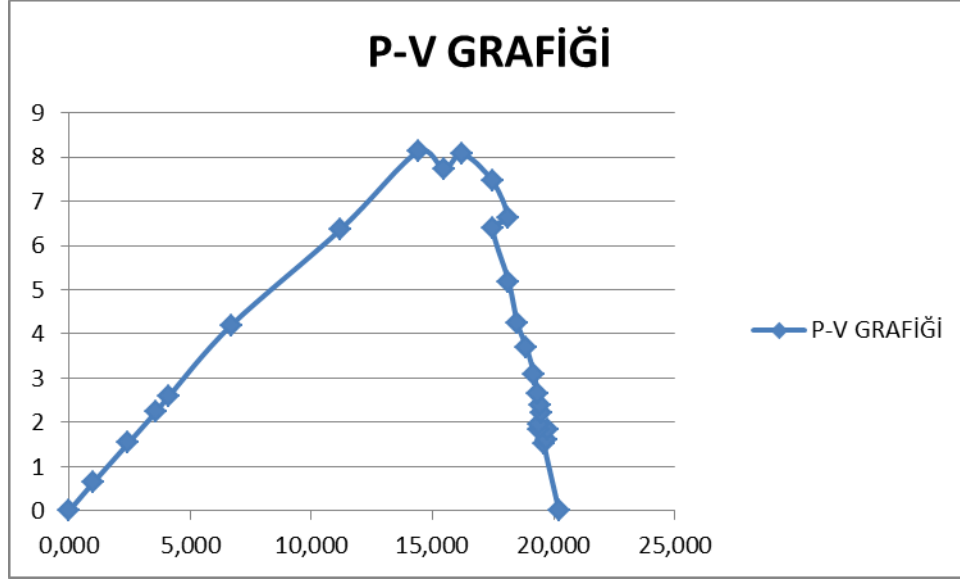
Açık devre gerilimi $V_{oc}=20,220\text{ V}$,

Maksimum panel gücü $P_{max}=8\text{W}$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.1 de monokristal panele ait I-V grafiği, Şekil 5.2 de P-V grafiği görülmektedir.



Şekil 5.1 : Monokristal panele ait I-V grafiği



Şekil 5.2 : Monokristal panele ait P-V grafiği

5.2 Polikristal Panelin Ölçüm Sonuçları

Ölçümün yapıldığı andaki

ortam sıcaklığı $T=12\text{ C}^{\circ}$

Işınım değeri $S=420\text{ W/m}^2$ dir.

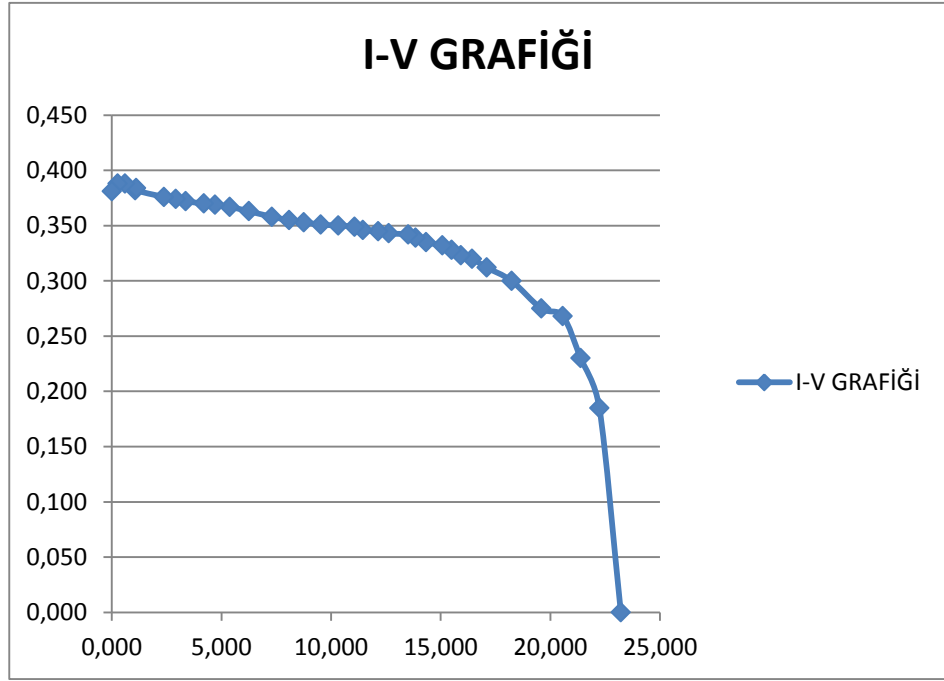
Bulduğumuz sonuçlarda

Kısa devre akımı $I_{kd}=0,381\text{ A}$,

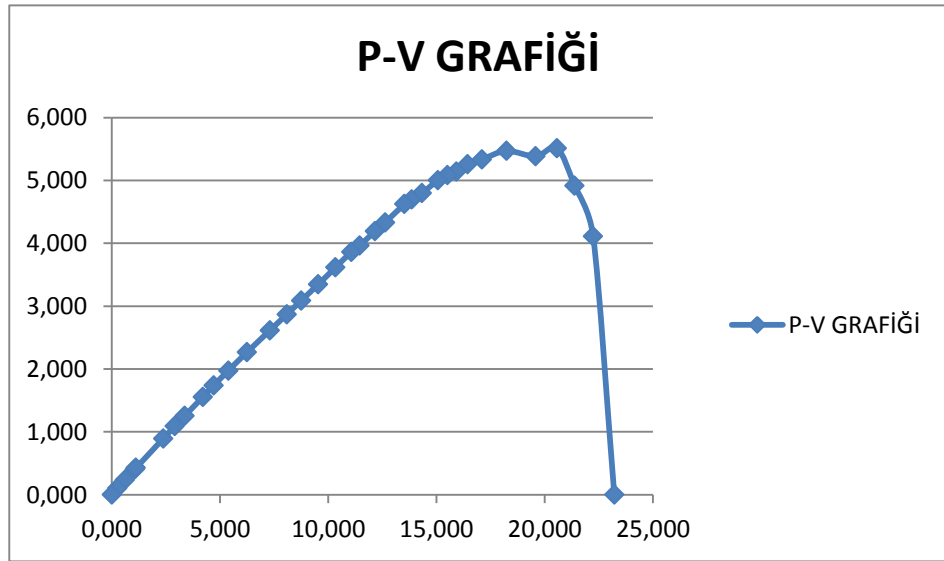
Açık devre gerilimi $V_{oc}=23,212\text{ V}$,

Maksimum panel gücü $P_{max}=5,5\text{ W}$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.3 te I-V grafiği,şekil 5.4 te de P-V grafiği görülmektedir.



Şekil 5.3 : Polikristal panele ait I-V grafiği



Şekil 5.4 : Polikristal panele ait P-V grafiği

5.3 İnce Film Ölçüm Sonuçları

Ölçümün yapıldığı andaki;

Ortam sıcaklığı $T=12\text{ C}^{\circ}$,

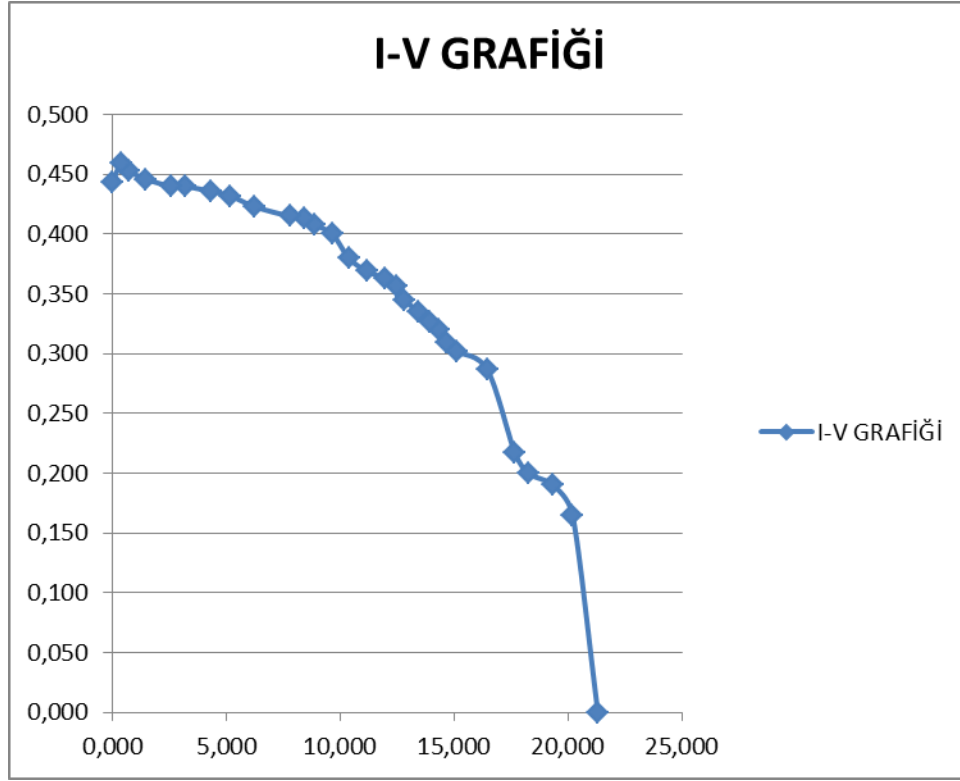
Işınım değeri $S=406\text{ W/m}^2$ dir.

Yapılan ölçümlerde;

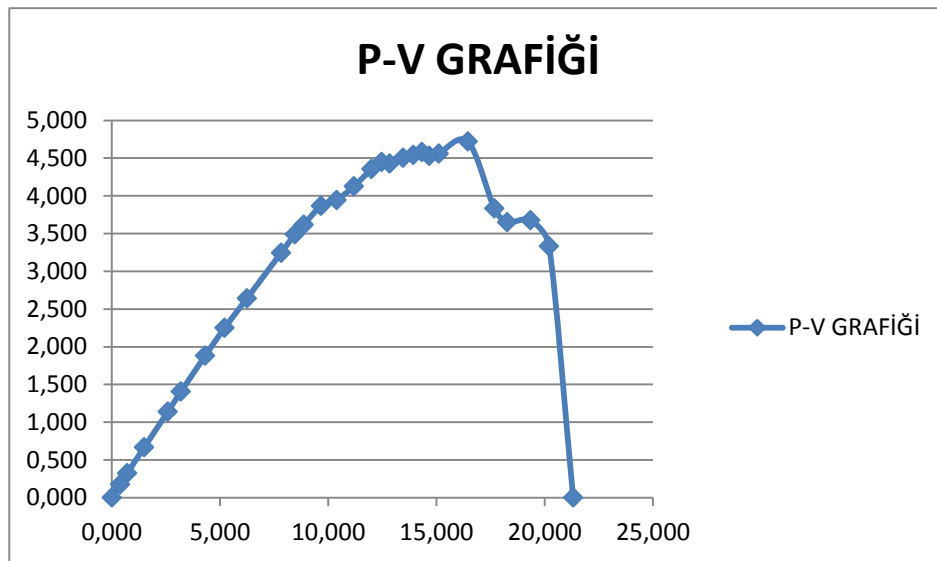
Kısa devre akımı $I_{kd}=0,443$ A,

Açık devre gerilimi $V_{oc}=21,310$ V,

Maksimum panel gücü $P_{max}=4,7$ W olarak bulunmuştur. Şekil 5.5 te ince filme ait I-V grafiği, Şekil 5.6 da da P-V grafiği görülmektedir.



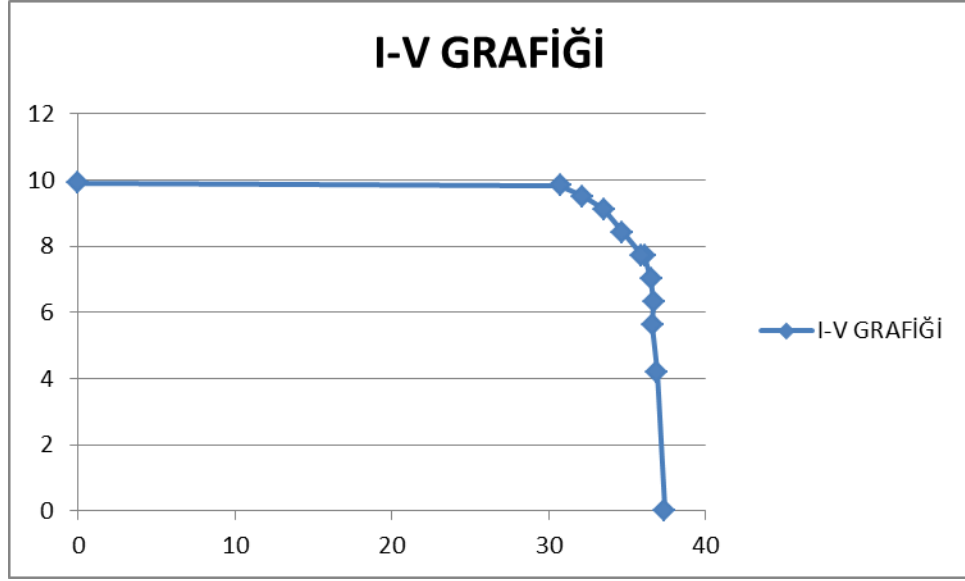
Şekil 5.5 : İnce filme ait I-V grafiği



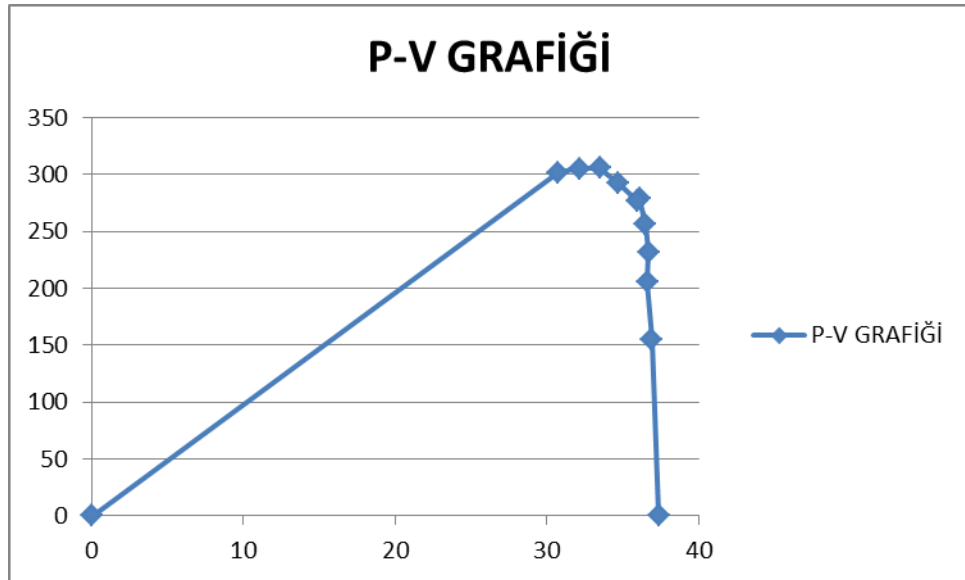
Şekil 5.6 : İnce filme ait P-V grafiği

Buraya kadar olan ölçümler reosta yardımıyla manuel olarak yapılmıştır. Ölçümlerdeki kırılmalar reosta ile manuel olarak yapılan ölçümlerdeki hassasiyetten kaynaklanmaktadır. Bundan sonraki verilen sonuçlar da otomatik olarak bilgisayar kontrollü olarak yapılmıştır.

5.4 240W Polikristal Panel Grafikleri



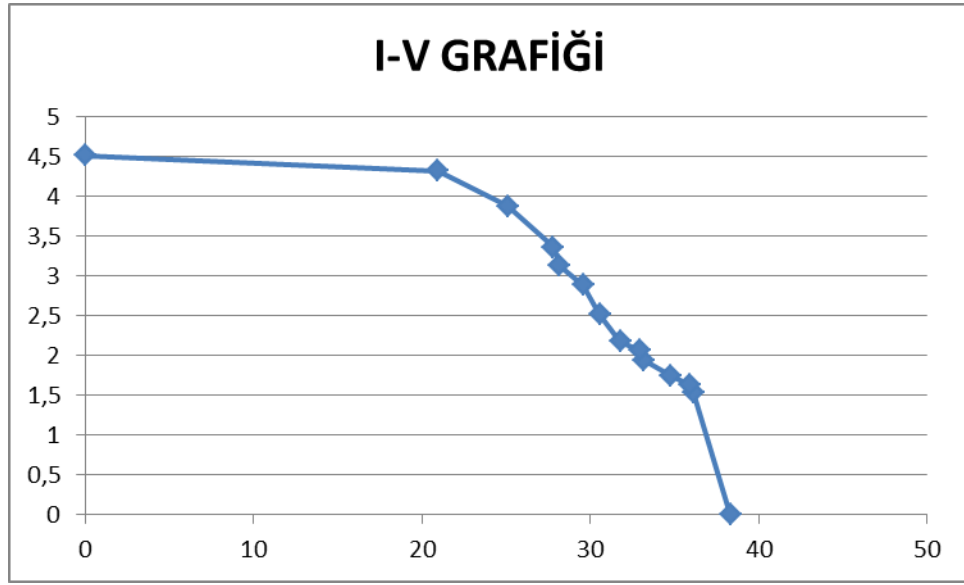
Şekil 5.7 : 240W Polikristal panelin I-V Grafiği



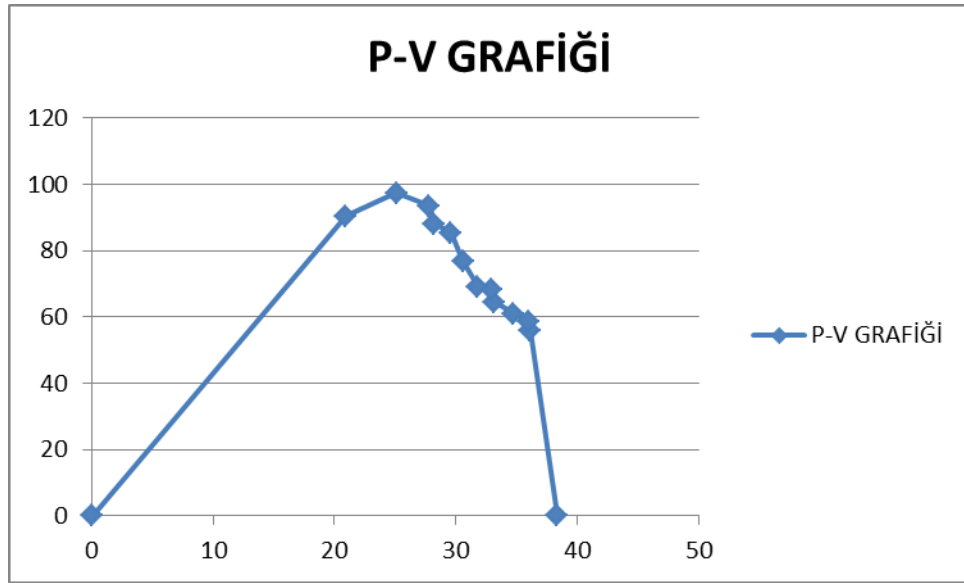
Şekil 5.8 : 240W Polikristal panelin P-V grafiği

Şekil 5.7 de 240W polikristal panelin I-V grafiği,şekil 5.8 de de P-V grafiği görülmektedir.

5.5 150 W Monokristal Panel Grafikleri



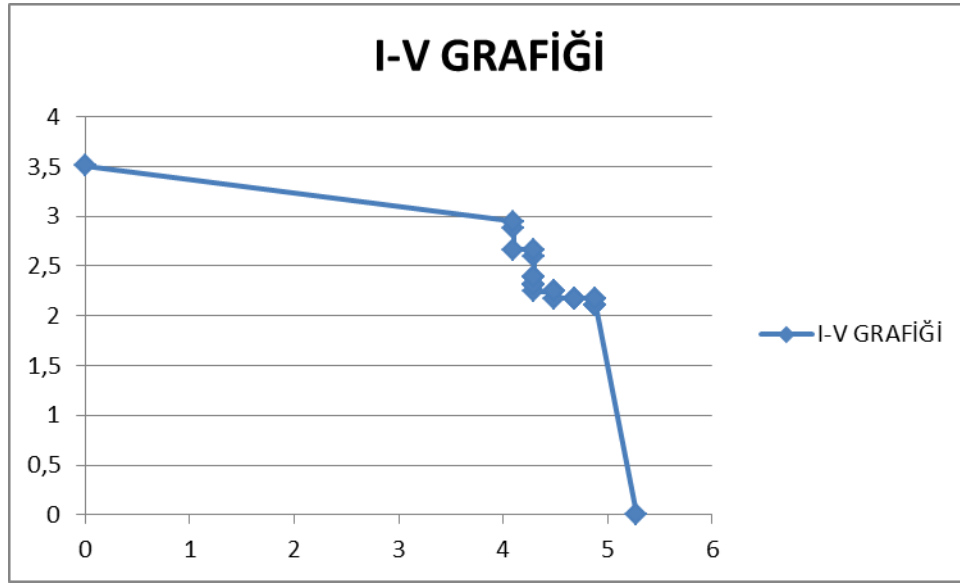
Şekil 5.9 : 150W Monokristal panel I-V grafiği



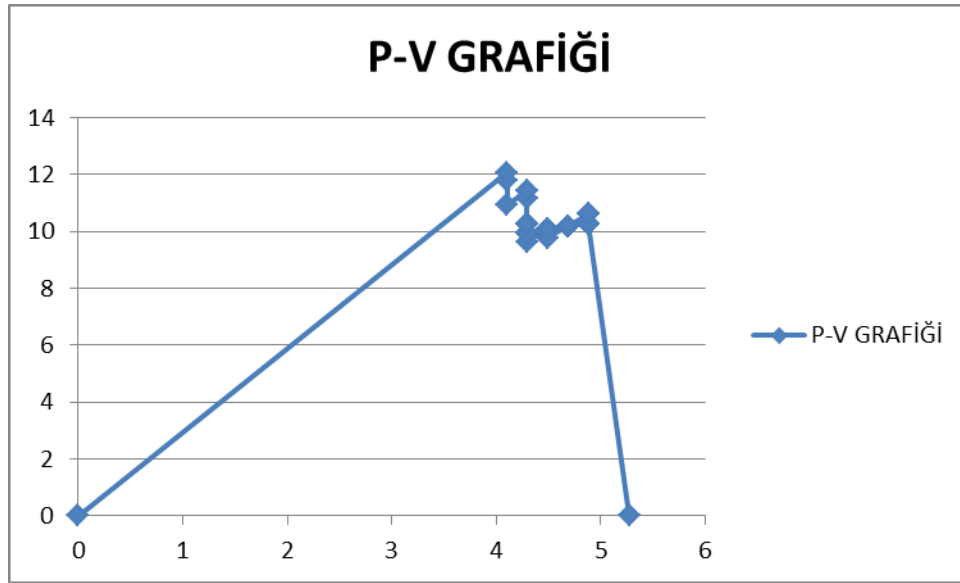
Şekil 5.10 : 150w Monokristal P-V grafiği

Şekil 5.9 da 150W monokristal panelin I-V grafiği,şekil 5.10 da da P-V grafiği görükmektedir.

5.6 180W Monokristal Panel Grafikleri



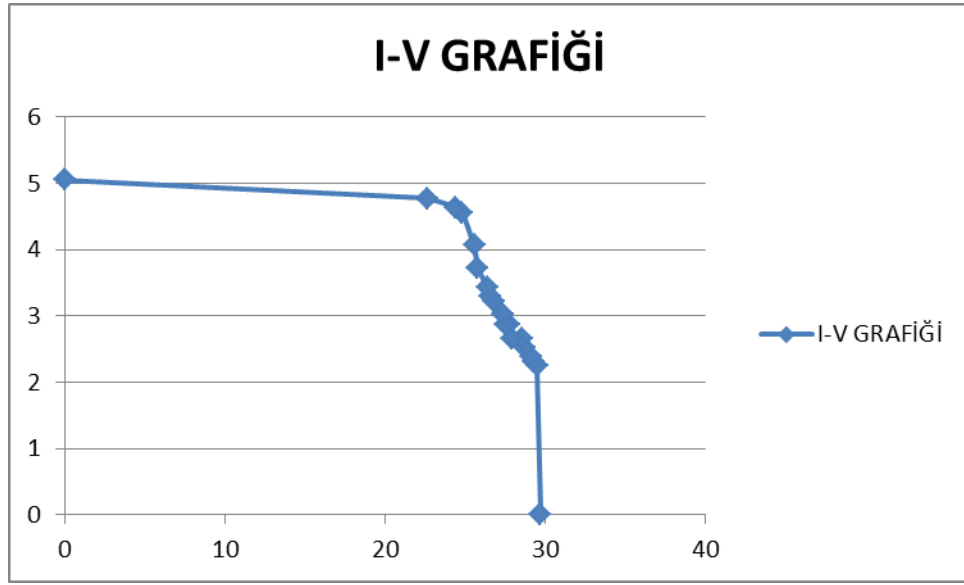
Şekil 5.11 : 180w Monokristal panel I-V grafiği



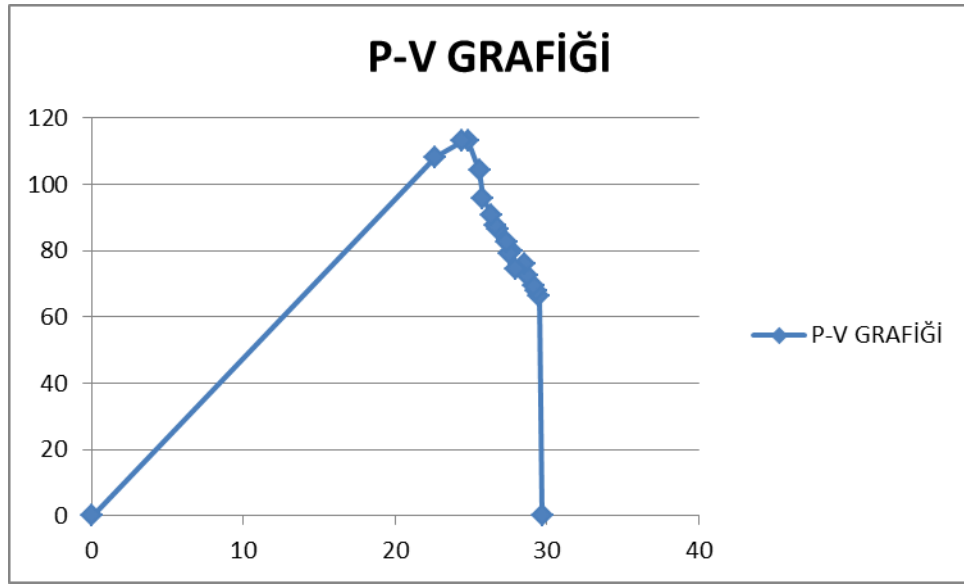
Şekil 5.12 : 180w Monokristal panel P-V grafiği

Şekil 5.11 de 180W monokristal panelin I-V grafiği,şekil 5.12 de de P-V grafiği görülmektedir.Bu panel ölçüm esnasında fiziksel hasara uğradığı için sonuçlar diğer grafikler gibi olmamıştır.

5.7 120W Polikristal Panel grafikleri



Şekil 5.13 : 120W Polikristal panel I-V grafiği



Şekil 5.14 : 120W Polikristal panel P-V grafiği

Yapmış olduğumuz bu çalışmada piyasadan temin edebildiğimiz üç adet 10W lık panel, 1 adet 240W polikristal panel, 1 adet 150W monokristal panel, 1 adet 120W polikristal panel kullanarak kurduğumuz pic kontrollü devre ile mosfetin anahtarlama özelliğinden faydalanarak her panele ait karakteristikleri çıkardık. Bu ölçümleri 10W lık panellerde manuel olarak, diğer panellerde otomatik olarak yaptık. Kurduğumuz bu devre ile günün her saati otomatik olarak bilgisayar kontrollü

daha hassas ölçümler yapabiliriz. Elde edilen sonuçlardan faydalanarak, panelin en iyi çalıştığı ortam şartlarını belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Altaş, İ.**, 1998, Fotovoltaik güneş pilleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik, 3e, Bileşim Yayıncılık, İstanbul, sayı 47, s.66-71
- Atik K, Çakır H**, 2006, Doğrudan bağlantılı fotovoltaik soğutma sistemi, Makine Teknolojileri Dergisi, Mart, s. 33-37
- Boyle, G.**, Solar photovoltaics, Renewable Energy, Elsevier Press, Dallas, Usa, chapter3, s.90-136
- Chen, Y. Smedley, K. Member S.**, 2004, A cost effective single stage inverter with maximum power point tracking, IEEE transactions on power electronics, vol 19, No:5
- Chutinon, A. Kherani, N. Zukotysnski, S.**, 2009, High efficiency photonic crystal solar cell architecture, Optics Express, vol 17, no:11
- Demir O**, Güneş Pilleri, Seminer, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2002
- Demircan, N. Alakavuk, Z.**, 2008, Fotovoltaik prensibiyle güneş enerjisinden elektrik üretimi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES 2008, s.415-422
- Deniz, E.**, Bir dağ evinde şebekeden bağımsız bir güneş enerjisi sisteminin kuruluş aşamaları, Akademi Mühendislik Danışmanlık, Muğla, <http://www.akademimuhendislik.net>
- Durgun, O.**, 1989, Motorlarda benzin-etil alkol izopropanol karışımlarının kullanımı, İkinci Yanma Sempozyumu, 18-20 Eylül, İstanbul Bildiriler Kitabı, s.325-335
- Earthsacan**, 2008 Photovoltaic systems, Dgs Press, Berlin
- Fet Karakteristikleri**, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Elektronik Laboratuvarı I.
- Fıratöğlu, A. Yeşilata, B.**, 2003, Maksimum güç noktalı izleyicili fotovoltaik sistemlerin optimum dizayn ve çalışma koşullarının araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi cilt5, sayı:1, s.147-158.
- Fıratöğlu, Z. Yeşilata, B.**, 2003, Lineer elektriksel yüke bağılı pv panellerin optimizasyonu ve bölgesel uygulanabilirliğinin araştırılması, Havacılık ve Uzay teknolojileri dergisi, cilt1, s.65-72.
- Green, M. Emery, K. Hishikawa. Y, Warta, W.**, 2008, Solar cell efficiency tables, Progress in photovoltaics research and applications, s.61-67
- Işiker, Y. Yeşilata, B. Bulut, H.**, 2006, Fotovoltaik panel gücüne etki eden çalışma parametrelerinin araştırılması, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

- Kangal, H.**, 2008, Fotovoltaik sistem analizi ve labview tabanlı mppt simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Karamanav, M.**, 2007, Güneş enerjisi ve güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- Kıncay, O. Bekiroğlu, N. Yumurtacı, Z.**, Güneş Pilleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 1.bölüm s.1-36.
- Kulaksız, A.**, 2007, Maksimum güç noktası izleyicili ve uvm inverterli fotovoltaik sistemin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, s.189
- Kulaksız, A. Akkaya, R.**, 2003, Maksimum fotovoltaik güç sisteminin mikro denetleyicili tabanlı kontrolü, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 3-4 Ekim, Kayseri
- Megep ,2012**, Sensörler, Transdüserler, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Ankara
- Merkvert, T. Castaner L.**, 2005, Solar cells materials, Elsevier Press, Barcelona, Spain, s,569
- Nakir, İ.**, 2007, Fotovoltaik güneş panellerinde gts ve mgts kullanılarak verimliliğin artırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Özbalta G.**, 2006 Fotovoltaik teknolojisi ile bina kabuğunun değişen işlevleri ve yüzeyleri, Anadolu Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Eskişehir
- Özdemir, Ş.**, 2007, Fotovoltaik sistemler için mikro denetleyicili en yüksek güç noktasını izleyen bir konvertörün gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öz, S.**, Güneş pili sistemleri, yasal ve teknik sorunlar, EİE idaresi genel müdürlüğü
- Photovoltaics** basic, planning and installing photovoltaic systems a guide for installers, architects and engineers. <http://www.solarwatt.de/>
- Poortmans, J. Arkhipov, V.**, 2005, thin film solar cells, Wiley Express, England, s,504
- Poshuma, N. Janssens, T. Keischaver, E. Choulet, P. Loozen, X. Ma, Y. John, J.**, 2008, development high efficiency fz sikon solar cells, Pvsec press, Valencia, Spains, s,1-14
- Su, Ş.**, 2001, Bildiriler Kitabı, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, MMO yayın no, E/2001/275
- Şen, Z.**, 2005, Solar energy Fundamentals and modeling techniques, Springer Press, İstanbul, Turkey
- Turan, R.**, 2007, Photovoltaics an efficient way for solar energy conversion, Department of physic METU.
- Turan, R.**, Solar cell studies of Metu and monocrystals for third generation solar cells, Department of physics micro and nanotechnology program
- Url-1** < <http://www.dcdenergy.com>>, 12.06.2012
- Url-2**<<http://www.yegm.gov.tr>, 12.06.2012
- Url-3**<<http://www.akademimuhendislik.net>, 12.06.2012

- Ünal, O.**, 2006, Güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yapıcı, C., Aslantaş, N.**, 2008, Amorf malzemeler, Sakarya üniversitesi Mühendislik Fakültesi metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Dergisi, s.1-10.
- Zafer, C. İçli, S.**, 2008, Boya ve titanyum esaslı güneş pili modül tasarımı, üretimi ve kararlılık testleri, Ege Üniversitesi Yayınları, s.1-24

EKLER

EK 1 10W'lık Panel Ölçüm Sonuçları

MONOKRİSTAL			WPOLİKRİSTAL			THİN FİLM		
V	I	P	V	I	P	V	I	P
20,220	0,000	0	20,690	0,000	0,000	21,310	0,000	0,000
19,600	0,077	1,5092	19,580	0,275	5,385	20,200	0,165	3,333
19,700	0,082	1,6154	18,230	0,300	5,469	19,345	0,190	3,676
19,740	0,093	1,83582	17,100	0,312	5,335	18,260	0,200	3,652
19,400	0,094	1,8236	16,430	0,320	5,258	17,670	0,217	3,834
19,400	0,100	1,94	15,920	0,323	5,142	16,450	0,287	4,721
19,480	0,113	2,20124	15,500	0,328	5,084	15,100	0,302	4,560
19,450	0,123	2,39235	15,070	0,332	5,003	14,660	0,309	4,530
19,330	0,137	2,64821	14,330	0,335	4,801	14,320	0,320	4,582
19,200	0,160	3,072	13,850	0,339	4,695	13,930	0,326	4,541
18,880	0,195	3,6816	13,520	0,342	4,624	13,450	0,335	4,506
18,500	0,230	4,255	12,630	0,343	4,332	12,830	0,345	4,426
18,140	0,286	5,18804	12,150	0,345	4,192	12,460	0,357	4,448
17,490	0,366	6,40134	11,450	0,346	3,962	12,000	0,363	4,356
18,100	0,365	6,6065	11,070	0,349	3,863	11,180	0,369	4,125
17,470	0,427	7,45969	10,330	0,350	3,616	10,380	0,380	3,944
16,240	0,500	8,12	9,530	0,351	3,345	9,670	0,400	3,868
15,460	0,497	7,68362	8,750	0,353	3,089	8,870	0,408	3,619
14,400	0,568	8,1792	8,080	0,355	2,868	8,450	0,413	3,490
11,200	0,564	6,3168	7,300	0,358	2,613	7,820	0,415	3,245
6,700	0,633	4,2411	6,244	0,363	2,267	6,248	0,423	2,643
4,120	0,630	2,5956	5,380	0,367	1,974	5,206	0,432	2,249
3,610	0,624	2,25264	4,707	0,369	1,737	4,311	0,436	1,880
2,450	0,626	1,5337	4,200	0,370	1,554	3,191	0,440	1,404
0,995	0,638	0,63481	3,371	0,372	1,254	2,590	0,440	1,140
0,000	0,641	0	2,915	0,374	1,090	1,499	0,446	0,669
			2,377	0,376	0,894	0,717	0,453	0,325
			1,059	0,382	0,405	0,380	0,459	0,174
			1,112	0,384	0,427	0,000	0,443	0,000
			0,605	0,388	0,235			

EK 2 240W,150W,180W,120W'lık Panel Ölçüm Sonuçları

Zaman	PANEL1					PANEL 2				
	Voc	Isc	Vmax	Imax	Pmax	Voc2	Isc2	Vmax2	Imax2	Pmax2
17:31	33,398	1,403	36,523	7,716	28,184	39,65	2,104	26,757	1,613	43,174
17:28	33,203	7,015	0	9,821	28,582	39,65	2,244	26,562	1,753	46,586
17:23	33,398	1,052	36,914	7,015	25,896	39,84	2,315	25	2,385	59,63
17:22	33,398	7,015	34,57	7,716	26,677	39,84	2,244	25,976	1,964	51,06
17:30	33,203	7,015	35,937	7,015	25,211	39,65	2,104	26,171	1,894	49,573
17:29	33,203	7,015	35,156	7,015	24,663	39,65	2,104	25,585	1,964	50,258
17:21	33,398	7,015	36,523	6,313	23,06	39,84	2,244	25,976	1,964	51,06
17:13	33,007	7,015	36,718	6,313	23,183	39,84	2,525	25,781	2,385	61,494
17:17	33,203	7,015	34,96	7,716	26,979	39,84	2,385	26,562	1,824	48,45
16:45	33,203	0	35,937	9,821	35,296	40,23	3,788	25,585	2,595	66,413
17:26	33,203	1,403	36,718	5,612	20,607	39,65	2,244	27,343	1,543	42,202
17:07	32,812	0	27,929	9,12	25,471	39,65	2,455	18,945	2,525	47,847
17:05	32,812	0	31,445	9,821	30,884	39,65	2,455	18,945	2,525	47,847
17:06	32,812	0	31,445	9,821	30,884	39,65	2,455	0	2,525	47,847
17:15	33,007	7,015	30,078	9,821	29,541	39,65	2,385	26,953	1,683	45,38
17:14	33,007	7,015	36,328	7,71	28,034	39,65	2,385	25,195	2,315	58,329
17:25	33,203	0	29,882	8,418	25,156	39,65	2,174	25,976	2,174	56,493
17:27	33,203	7,015	29,101	9,821	28,582	39,65	2,174	25,39	2,174	55,218
17:16	33,203	7,015	31,64	9,12	28,856	39,84	2,525	26,953	1,753	47,271
17:20	33,398	0	36,718	6,313	23,183	39,65	2,174	27,148	1,543	41,9
17:12	33,007	0	36,132	7,015	25,348	39,84	2,385	26,562	1,753	46,586
17:32	33,398	7,015	35,742	6,313	22,567	39,84	2,034	26,56	1,683	44,723
17:08	33,007	7,0153	36,914	7,716	28,486	39,65	2,455	26,757	1,613	43,174
17:18	33,398	0	35,156	7,716	27,129	39,84	2,385	25,585	2,385	61,028
17:19	33,398	7,015	36,523	6,313	23,06	39,84	2,315	27,148	1,613	43,805
17:09	33,007	7,0153	36,914	7,716	28,486	39,65	2,525	25,585	2,385	61,028
17:24	33,398	0	36,328	7,015	25,485	39,84	2,174	26,953	1,613	43,489
17:10	33,007	0	36,523	7,015	25,622	39,84	2,525	26,757	1,824	48,806
17:11	33,007	0	36,718	6,313	23,183	39,84	2,595	26,953	1,753	47,217
16:50	33,203	0	26,757	0	33,911	40,23	3,718	21,679	3,718	80,608
16:51	33,203	0	26,757	1,192	33,911	40,43	3,718	21,093	3,718	78,429
16:48	33,203	7,015	36,914	9,821	36,255	40,43	3,648	25,585	2,665	68,208
16:49	33,203	0	31,835	1,332	42,434	40,23	3,577	25,195	2,946	74,237
16:46	33,203	7,015	36,718	9,821	36,063	0	3,718	25	2,876	71,907
16:47	33,203	7,015	37,304	9,821	36,639	40,43	3,648	25,585	2,665	68,208

Zaman	PANEL 3					PANEL 4				
	Voc3	Isc3	Vmax3	Imax3	Pmax3	Voc4	Isc4	Vmax4	Imax4	Pmax4
17:31	30,078	2,455	4,296	2,104	9,043	18,55	3,297	29,687	0	62,48
17:28	30,078	2,455	4,296	2,174	9,344	18,36	3,227	29,296	2,244	65,769
17:23	30,273	2,665	4,296	2,174	9,344	18,55	3,507	29,492	2,315	68,276
17:22	30,273	2,736	4,882	2,385	11,646	18,55	3,507	29,492	2,315	68,276
17:30	30,078	2,595	0	2,174	8,07	18,16	3,227	29,101	2,315	67,372
17:29	30,078	2,595	4,687	2,385	11,18	18,16	3,227	29,101	2,315	67,372
17:21	30,078	2,665	5,273	2,174	11,468	18,36	3,577	29,296	2,385	69,879
17:13	30,078	2,946	4,296	2,244	9,646	18,16	3,718	28,71	2,525	72,51
17:17	30,078	2,876	4,101	2,244	9,207	18,75	3,788	28,515	2,665	76,018
16:45	29,687	4,419	4,101	2,946	12,085	41,02	3,718	25,781	2,665	68,728
17:26	30,078	2,665	4,492	2,104	9,454	18,55	3,367	27,539	2,806	77,279
17:07	29,687	3,016	4,492	2,104	9,454	18,55	4,068	27,734	2,876	79,772
17:05	29,687	3,086	4,296	2,174	9,344	18,36	3,928	27,539	2,876	79,21
17:06	29,687	3,086	4,296	2,174	9,344	18,36	3,928	27,539	2,876	79,21
17:15	30,078	2,876	4,687	2,104	9,865	18,55	3,718	27,929	2,946	82,293
17:14	30,078	2,946	4,882	2,385	11,646	18,55	3,718	27,929	2,946	82,293
17:25	30,078	2,736	4,296	2,174	9,344	18,55	3,437	27,343	2,946	80,567
17:27	30,078	2,525	4,882	0	10,276	18,36	3,156	26,757	2,946	78,841
17:16	30,078	2,876	4,492	2,174	9,769	18,75	3,718	27,539	3,017	83,074
17:20	30,078	2,946	4,492	2,315	10,399	18,55	3,577	27,343	3,086	84,404
17:12	30,078	2,946	4,882	2,315	11,304	18,36	3,788	26,562	3,227	85,719
17:32	30,273	2,595	4,101	2,244	9,207	18,75	3,227	22,656	3,227	73,113
17:08	29,882	3,016	4,882	2,244	10,961	17,97	3,858	26,171	3,297	86,294
17:18	30,078	2,946	4,296	2,385	10,249	18,75	3,648	27,539	3,437	94,666
17:19	30,078	2,946	4,492	2,315	10,399	18,75	3,718	26,171	3,437	89,967
17:09	29,882	3,016	4,687	2,244	10,523	18,55	3,788	25,585	3,437	87,952
17:24	30,273	2,806	4,296	2,315	9,947	18,55	3,437	25,585	3,437	87,952
17:10	29,882	2,876	4,296	2,174	9,344	18,36	3,858	24,414	3,718	90,775
17:11	30,078	2,946	4,882	2,31	11,304	18,36	3,858	0	3,858	81,389
16:50	29,687	4,41	4,687	2,595	12,167	18,36	5,963	27,734	4,068	112,85
16:51	29,687	4,349	4,687	2,665	12,496	18,36	5,963	26,757	4,489	120,14
16:48	29,687	4,419	4,296	2,665	11,454	18,36	5,892	26,367	4,56	120,23
16:49	29,687	3,367	4,296	3,507	15,072	18,36	5,892	25,976	4,63	120,28
16:46	29,687	4,349	4,296	2,665	11,454	18,16	5,963	25,781	4,77	122,99
16:47	29,687	4,209	4,882	2,876	14,044	18,16	5,892	24,804	5,051	125,29

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Yasin ARDAĞ
Doğum Yeri ve Tarihi : 01.06.1979
Adres : Deliktaş Mah. 1975 Sk. No:13 DENİZLİ
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi