

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRIKKALE ÇEVRE ŞARTLARINDA SICAKLIĞIN POLİKRİSTAL
FOTOVOLTAİK PANELİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

KÜBRA OVUZ

HAZİRAN - 2018

Fizik Anabilim Dalında Kübra OVUZ tarafından hazırlanan KIRIKKALE ÇEVRE ŞARTLARINDA SICAKLIĞIN POLİKİSTAL FOTOVOLTAİK PANELİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saffet NEZİR
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hakan GÜNGÜNEŞ _____
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN _____
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yasin Göktürk YILDIZ _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

KIRIKKALE İKLİM ŞARTLARINDA SICAKLIKLIĞIN POLİKRİSTAL FOTOVOLTAİK PANELİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

OVUZ, Kübra

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN

HAZİRAN 2018, 58 sayfa

Fotovoltaik panellerin verimleri; nem, tozlanma, sıcaklık, rüzgâr vb. çevre şartlarından etkilenmektedir. Bu çevre şartlarından en önemlisi sıcaklıktır. Bu tez çalışmasında; Kırıkkale meteorolojik çevre şartları altında, dış sıcaklığın silisyum tabanlı polikristal fotovoltaik panellerin enerji üretim verimleri üzerine etkisi teorik olarak incelenmiştir. Kırıkkale İl Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan 2017 yılı Aralık ve Temmuz aylarına ait veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik Hücre, Yenilenebilir Enerji, Sıcaklık Etkisi, Enerji Verimi, Fotovoltaik Modül Verimi, Yarı İletkenler, Polikristal Hücre, Nominal Uygulama Hücre Sıcaklığı

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF AMBIENT TEMPERATURE ON ENERGY EFFICIENCY OF POLYCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC PANELS IN KIRIKKALE CLIMATE CONDITIONS

OVUZ, Kübra

KırıkkaleUniversity

Graduate School of Natural andAppliedSciences

Department of Physics, Msc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kutalmış GÜVEN

JUL 2018, 58 pages

The energy efficiency of photovoltaic panels is seriously affected by environmental conditions such as humidity, dust, ambient temperature, wind etc. One of the most important of these environmental conditions is the ambient temperature. In this thesis; the effects of ambient temperature on energy efficiency of polycrystalline photovoltaic panels in Kırıkkale climate conditions has been theoretically investigated. The meteorological data taken from Turkish State Meteorological Service for December and July 2017 in Kırıkkale has been used in theoretical calculations.

Key Words: Photovoltaic Cell, Renewable Energy, Temperature Effect, Energy Efficiency, Photovoltaic Module Efficiency, Semiconductors, Polycrystalline Cell, Nominal Application Cell Temperature

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN' e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez dönemimde maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan her açıdan destek olan annem Mualla OVUZ'a ve babam Kamil OVUZ'a sonsuz teşekkürler ederim. Ayrıca her zaman yanımda olan ablam Yasemin GÖKTAŞ ve sevgili yeğenim Esila GÖKTAŞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca kuzenim Erdem Evren GÜNAYDIN'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji ve Yenilenebilir Enerjinin Türkiye İçin Önemi	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	5
2.1. Yarı İletkenler Teknolojisi ve Enerji Üretimi	5
2.1.1. Yarı İletkenlerin Genel Özellikleri.....	5
2.1.2. Yarı İletkenlerin Mekanizması.....	5
2.1.3. P ve N Tipi Yarı İletken Maddelerin Oluşturulmasında Kullanılan Katkılama Maddeleri.....	7
2.1.4. N (Negatif) Tipi Yarı İletkenin Oluşumu	7
2.1.5. P (Pozitif) Tipi Yarı İletkenin Oluşumu.....	9
2.2. Fotoelektrik Olayı	10
2.3. Termoelektrik.....	13
2.3.1. Seebeck Etkisi	14
2.3.2. Peltier Etkisi	15
2.3.3. Thomson Etkisi	17
2.4. Fotovoltaik Paneller	18

2.4.1. PV Hücreler.....	18
2.4.2. Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi	21
2.4.3. PV Hücrelerinin Çalışma Prensibi	22
2.4.4. Fotovoltaik Panellerin Yapısı ve Özellikleri.....	24
2.5. PV Hücrelerinin Çeşitleri.....	29
2.5.1. Monokristalin (Tek kristalin) PV Hücreler	29
2.5.2. İnce Film PV Hücreleri	30
2.5.3. Multi-Kristal (polikristal) Çoklu Kristalin PV Hücreler (mc-Si).....	30
2.5.4. Kristal Silikon PV Hücreler	32
2.5.5. Organik Güneş Pilleri.....	34
2.6. Fotovoltaik Panellerin Çevre Şartlarından Etkilenmeleri	35
2.6.1.Çevre Sıcaklığının ve Panellerin Yüzey Sıcaklığının Etkisi.....	35
2.6.2.Toz, Çamur, Kuş Dışkısı, Yaprak vb. Çevresel Durumların Etkisi	37
2.6.3.Nemin Etkisi	39
2.6.4.Kar ve Buz Etkisi	39
2.6.5.Rüzgâr Hızının PV Hücre Performansı Üzerine Etkisi.....	40
2.6.6.Gölgelenmenin PV Hücre Performansı Üzerine Etkisi.....	40
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	41
3.1. Kırıkkale İli Meteorolojik Sıcaklık Verileri.....	41
3.3.Kırıkkale İli İçin Sıcaklığa Bağlı Fotovoltaik Modül Verimi Hesaplaması	53
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
KAYNAKLAR	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1.Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (TEİAŞ, 2017)	2
1.2.Yıllık ortalama küresel güneş ışıma değeri, Avrupa (kwh\m ²).....	3
1.3.Yıllık ortalama küresel güneş ışıma değeri, Türkiye (kwh\m ²)	3
1.4.Kırıkkale ili yıllık ortalama güneş ışıma değerleri.....	4
2.1.Yarı iletkenlerin bant diyagramları (Yacobi, 2002)	6
2.2.N (negatif) tipi yarı iletkenin oluşumu.....	8
2.3.P (pozitif) tipi yarı iletkenin oluşumu	9
2.4.Fotoelektrik olay	11
2.5.Fotoelektrik olay ile ortaya çıkacağı düzeneğin diyagramıdır	11
2.6.Fotoakım ve potansiyel fark grafiği	13
2.7.Johann seebeck deney düzeneği.....	13
2.8.Termoelektrik enerji üretimi (Erdal vd., 2015).....	14
2.9.Sıcaklık farkına göre elektron hareketleri	15
2.10.Termoelektrik üretici iç yapısı.....	16
2.11.Fotovoltaiik hücrenin iç yapısı ve çalışma prensibi	18
2.12.Pv panel elektrik üretim diyagramı	20
2.13.FV hücre tek diyot iki dirençli eşdeğer devresi	21
2.14.Hücre, panel, dizi ve serinin oluşumu.....	22
2.15.Fotovoltaiik hücre diyagramı (Aslan H., 2003)	25
2.16.P ve N tipi katkılanma.....	26
2.17.Fotovoltaiik kesiti.....	27
2.18.Fotovoltaiik hücrenin tabakaları.....	28

2.19.PV Hücrelerin Çeşitleri	31
2.20.Tek ya da çok kristal silisyum hücrelerin üretilmesi	32
2.21.Fotovoltaik hücre verim grafiği	33
2.22.Organik güneş pili	34
2.23.Farklı sıcaklıklarda PV modülünün çıkış I-V özellikleri	36
2.24.Farklı sıcaklıklarda PV modülünün P-V özellikleri	36
2.25.Dünya toz haritası	38



ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

1.1. Kırıkkale Güneş Değerleri	4
3.1. Kırıkkale İline Ait Aralık 2017 Ayına Ait Gün/Saat Sıcaklık Değerleri	42
3.2. Kırıkkale İline Ait Temmuz 2017 Ayına Ait Gün/Saat Sıcaklık Değerleri	44
3.3. Günlük Güneşlenme Süresi	46
3.4. Günlük Toplam Global Güneş Radyasyonu	47
3.5. Günlük Güneşlenme Süresi (saat)	48
3.6. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı Yahşihan İlçesi Yıllık Güneş Doğuş- Batış Zamanları 2017 Yılı İçin	49
4.1. Teorik Hesaplamalarda Kullanılan Fotovoltaik Modüle Ait Elektriksel Veriler	54
4.2. Teorik Hesaplamalarda Kullanılan Fotovoltaik Modüle Ait Sıcaklık Özellikleri	55
4.3. Aralık 2017 Sıcaklık Değerlerine Göre Enerji Verim Değişimi (Günlük)	53
4.4. Temmuz 2017 Sıcaklık Değerlerine Göre Enerji Verim Değişimi (Günlük)	55

1. GİRİŞ

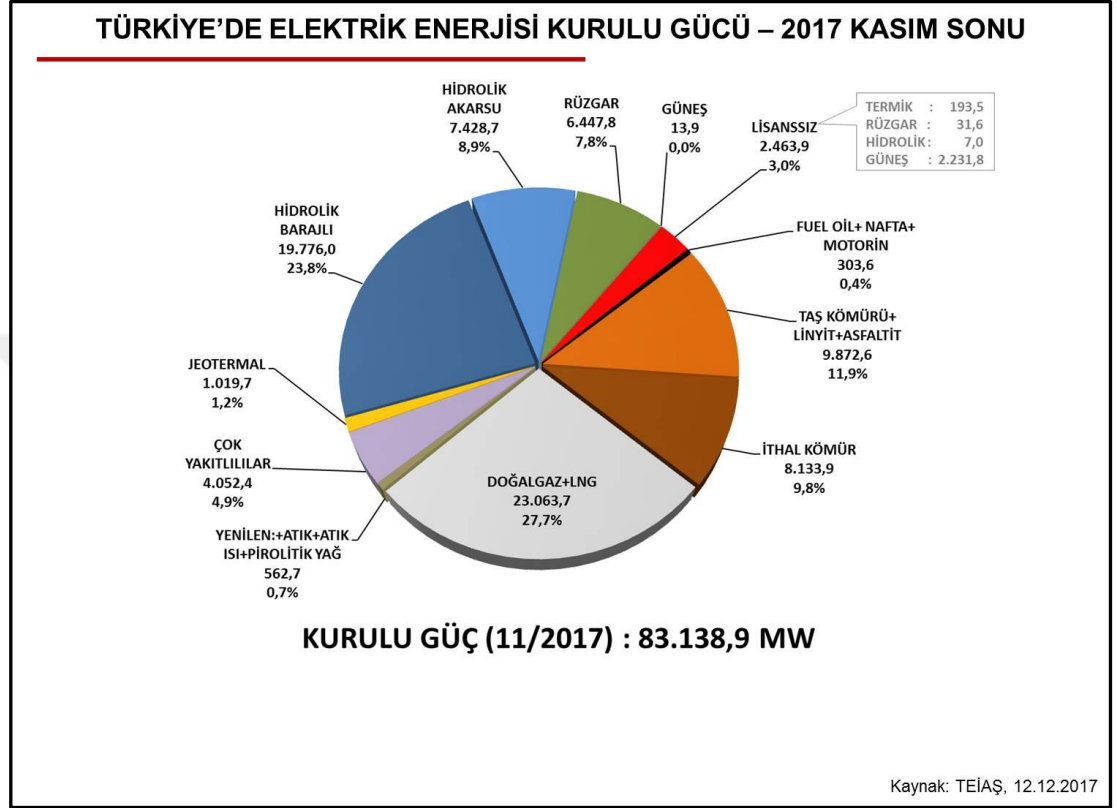
1.1. Enerji ve Yenilenebilir Enerjinin Türkiye İçin Önemi

Enerji, bugün sadece gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerin değil aynı zamanda “geri kalmış” olarak nitelendirilen ülkelerin de ilk gündemini oluşturmaktadır. Devletler, hükümetler enerjiyi ülkelerinin gelecekleri için vazgeçilmez olarak görmektedirler. Bu kapsamda; izledikleri politikalar ile “ülkelerindeki enerji kaynaklarını ortaya çıkarma”, “arz güvenliğini sağlama”, “dışa bağımlılığı yok etme” ve “üretilen teknolojiyi ihraç” etme konularında büyük çaba sarf etmektedirler [1].

Fosil yakıt olarak nitelendirilen kaynaklardan elde edilen enerji üretiminin çevreye verdiği zararların yanı sıra, bu kaynakların yakın gelecekte tükenecek olması sadece devletlerin değil insanlığın problemi olmaya başlamıştır. Dolayısıyla; son 50 yıl içerisinde farklı yöntemlerle elektrik enerjisi üretme çalışmaları yoğunlaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak nitelendirilebilecek olan, Güneş, Rüzgâr, Bio-Kütle, Jeotermal, Su Akımı (hidroelektrik santraller, dalga enerjisi vb.) gibi farklı kaynakları kullanarak enerji üretme çalışmaları yoğunlaşarak artmıştır. Neredeyse tüm yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar genellikle şu ana başlıklar altında toplanabilir; yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi (ve verimini arttırma) , üretilen enerjinin depolanması, üretilen enerjinin güvenliği ve üretilen enerjinin verimli bir şekilde kullanımı şeklindedir [1].

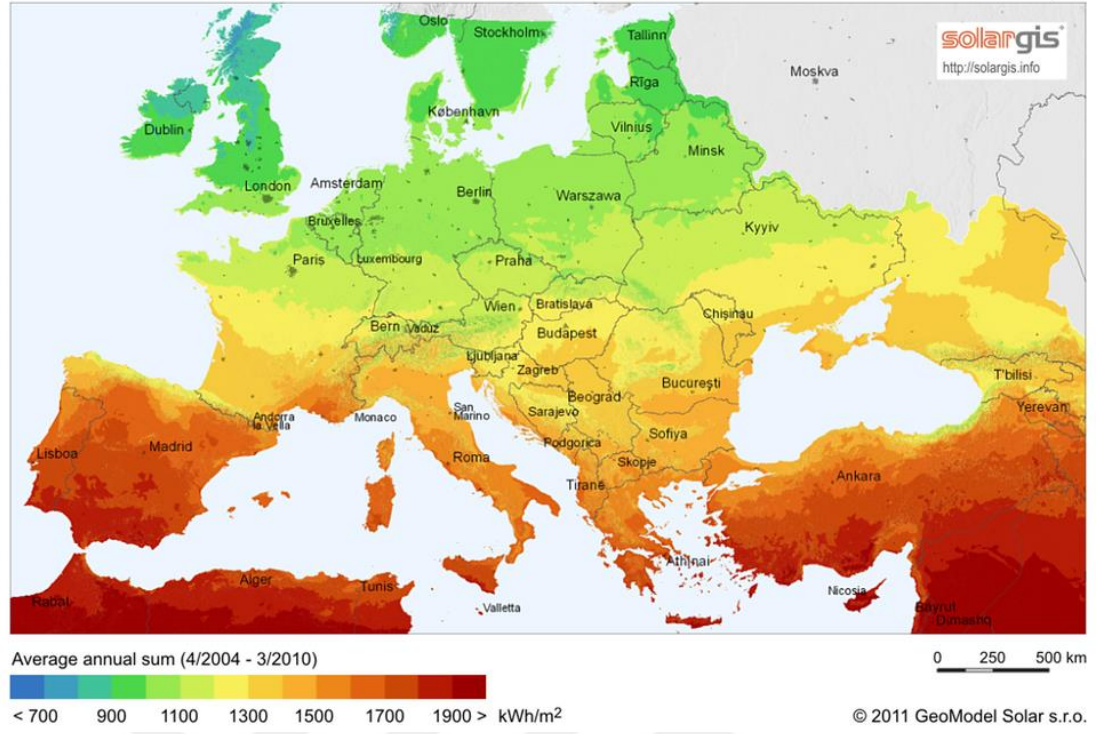
Ülkemizin cari açığı (ihracat-ithalat oranı) TÜİK 2017 verilerine göre %62,7 olarak gerçekleşmiştir. Bu cari açığımızın büyük bir bölümü ithal etmek zorunda olduğumuz doğalgaz ve petrolden (ve petrol ürünleri) kaynaklanmaktadır. İthal ettiğimiz doğalgazın, yaklaşık olarak %32,5 kısmı ile elektrik üretilmekte olup, kalan kısmının büyük bir çoğunluğu ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Üretim sürecinin önemli bir girdisi olan enerjide, Türkiye’imiz ciddi oranında dışa bağımlıdır. Türkiye’mizin, sadece 2016 yılında enerji ithalatına harcadığı miktar 27,2 Milyar Amerikan Doları olmuştur [1].

Ülkemiz, özellikle son yıllarda yenilenebilir enerji yatırımlarını arttırmış ve 2016 sonu itibariyle üretilen enerjinin %8,6'sını yenilenebilir enerji kaynaklarından (Jeotermal, Güneş, Rüzgâr ve Atık) elde etmiştir.

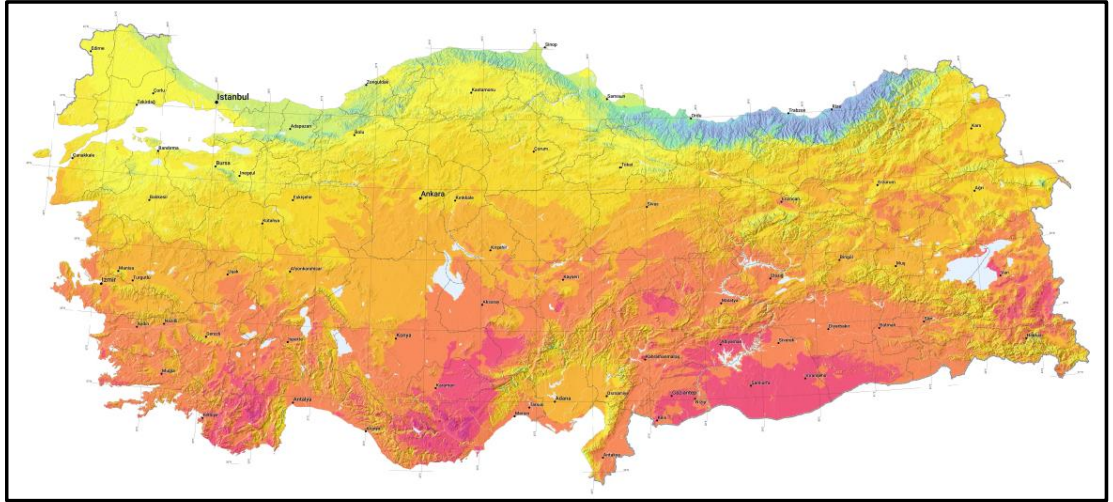


Şekil 1.1. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (TEİAŞ, 2017)

Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum itibariyle en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi Güneş'tir. Türkiye 26 - 45 derece Doğu Paralelleri (boylamları) / 36 - 42 derece Kuzey Paralelleri (enlemleri) arasında yer alır. Bu enlemlerde ekvatora yakınlığı sebebiyle güneş ışınları dike yakın ve güneşlenme süresi daha uzundur.



Şekil 1.2. Yıllık ortalama küresel güneş ışıma değeri, Avrupa (kwh/m²)



Şekil 1.3. Yıllık ortalama küresel güneş ışıma değeri, Türkiye (kwh/m²)



Şekil 1.4. Kırıkkale ili yıllık ortalama güneş ışıma değerleri

Çizelge 1.1. Kırıkkale Güneş Değerleri

PVOUT (Fotovoltaik Güç Potansiyeli)	1514 kWh/kWp / Yıl
GHI (Küresel Yatay Işıma)	1648 kWh/m ² / Yıl
DNI (Direk Normal Işıma)	1712 kWh/m ² / Yıl
DIF (Yayılan Yatay Işıma)	605 kWh/m ² / Yıl
GTI (Optimum Eğim Açısında Küresel Işıma Değeri)	1877 kWh/m ² / Yıl
OPTA (Paneller için Optimum Eğim Açısı)	32° / 180°
TEMP	11.6 °C
ELE	773 m

Ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli birçok Avrupa ülkesinden daha iyi durumdadır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirebilen sistemlerin başında Güneş Panelleri gelmektedir. Güneş panelleri yarıiletken teknolojileri ile üretilmektedirler.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Yarı İletkenler Teknolojisi ve Enerji Üretimi

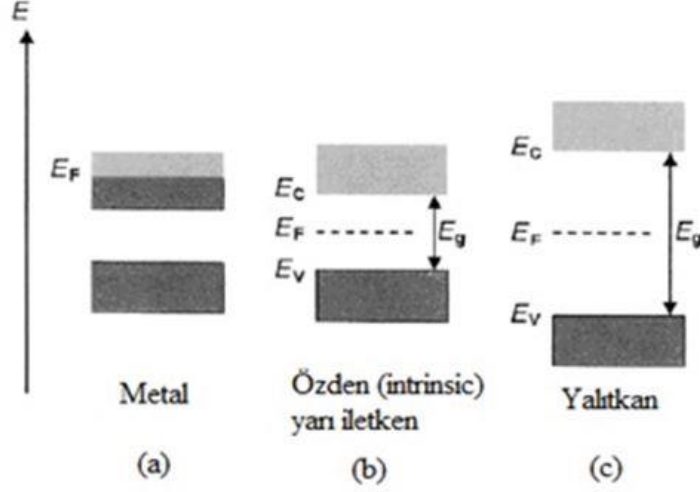
2.1.1. Yarı İletkenlerin Genel Özellikleri

Malzemeler elektriksel özelliklerine göre yalıtkan, yarı iletken ve iletken olarak üçe guruba ayrılır. Yarı iletkenlerin elektrik direnci 10^{-2} - $10^9 \Omega\text{cm}$ aralığında değişen malzemeler için kullanılır. En çok bilinen yarı iletken Silisyum (Si) olmakla beraber doğada bulunan birçok mineral (ZnS, Cu₂O, PbS vs.) yarı iletkenlerdir. Yarı iletkenler çeşitli kristal yapılarında ve değişik kimyasal bileşimlerde bulunabilirler. Elementel veya karbon nanotüpler ve GaAs'de olduğu gibi ikili bileşimler halinde de bulunabilirler [2].

Yarı iletkenlerin en önemli özelliği elektrik iletiminin sıcaklığa bağlı olmasıdır. Yarı iletkenlerde sıcaklık arttıkça özdirenç azalır ve elektrik iletimi artar. Metallerde yani iletken malzemelerde bu durumun tam tersi söz konusudur. Metallerde sıcaklık arttıkça özdirenç de artar ve elektrik iletimi azalır. Yarı iletkenlerde elektrik iletimi sıcaklığa ve malzemenin içerdiği safsızlığa bağlı olarak değişiklik gösterir. Enerji band aralığı da yarı iletkenler için bir diğer önemli parametredir. Bu değer 0 ve 4 eV arasında değişiklik gösterir. Enerji band aralığı elmas için 5,5 eV'a kadar çıkmaktadır.

2.1.2. Yarı İletkenlerin Mekanizması

Yarı iletkenlerin bant diyagramları yalıtkanların bant diyagramına benzerlik gösterir. Ancak yarı iletkenlerin yasak bant aralıkları daha küçüktür. Yasak bant aralıklarında taşıyıcı bulunmaz.



Şekil 2.1. Yarı iletkenlerin bant diyagramları (Yacobi, 2002)

Bir maddeyi elektriksel bakımdan iletken hale getirebilmek için dışarıdan bir enerji uygulanması gerekir. Bu enerji miktarı üç ayrı enerji bandının oluşmasını sağlar. Bunlar; iletkenlik bandı, yasak band ve valans bandıdır.

Bir atomun valans bandındaki elektron yörüngesinden koparak iletkenlik bandına geçmesi için bu iki band arasındaki yasak bandı geçmesi gerekir.

Yasak Band; Elektron bakımından boş bulunan ve valans bandındaki elektronların iletim bandına geçmesini zorlaştıran boşluktur.

İletim Bandı; Valans bandından kopan ve akım taşıyabilecek durumda olan elektronların bulunduğu bandıdır. Maddeler bu banda geçerek iletken hale gelir. Maddelerin elektriksel iletkenliği, atomların enerji seviyelerine bağlıdır. Elektronların serbest hale gelmesi için o maddeye farklı enerji seviyeleri uygulamak gerekmektedir. Bir atomun son yörüngesinde bulunan valans elektronunun serbest duruma geçmesi o maddenin iletken olması anlamına gelmektedir.

İletkenlerin; Valans bandı enerji seviyesiyle iletim bandı enerji seviyesi aynıdır. Bu nedenle iletkenlerde küçük bir enerji uygulanması valans elektronları serbest duruma geçirebilir.

Yarı iletkenlerin; Valans bandı ve iletim bandı arasında boşluk bandı vardır. Bu nedenle yarı iletkenlerin iletkenlik oluşturabilmesi için valans elektronlarına boşluk bandı kadar ek enerji uygulanmalıdır.

Yalıtkanlarda; Büyük bir boşluk bandı vardır. Bundan dolayı elektoronlar valans bandından iletim bandına geçebilmesi için çok yüksek enerjiye ihtiyaç vardır.

2.1.3. P ve N Tipi Yarı İletken Maddelerin Oluşturulmasında Kullanılan Katkılama Maddeleri

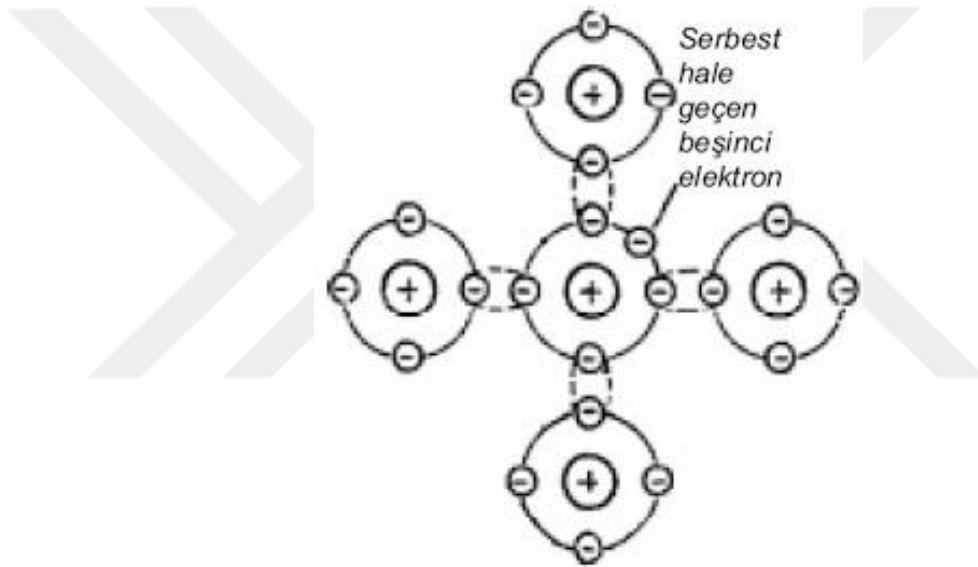
P ve N tipi yarı iletkenler germanyum ya da silisyuma belli oranlarda yabancı madde katılmasıyla oluşturulmaktadır. Son yörüngesinde (valans yörünge) 3 elektron bulunduran maddeler kullanıldığında P tipi bir yarı iletken oluşurken, 5 elektron bulunduran maddeler kullanıldığında ise N tipi yarı iletken elde edilmektedir.

2.1.4. N (Negatif) Tipi Yarı İletkenin Oluşumu

Yarı iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya

bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir.

Son yörüngesinde 4 elektron bulunduran silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık olarak 100 milyonda 1 oranında), son yörüngesinde 5 elektron bulunduran arsenik (ya da fosfor, antimuan) maddesi karıştırılırsa, arseniğin 4 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Bir elektron ise boşta kalır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi serbest hale geçen beşinci arsenik elektronu, kristal yapıdaki madde içinde dolaşır. Elektron yönünden zengin olan bu karışıma N tipi yarı iletken denir.



Şekil 2.2. N (negatif) tipi yarı iletkenin oluşumu

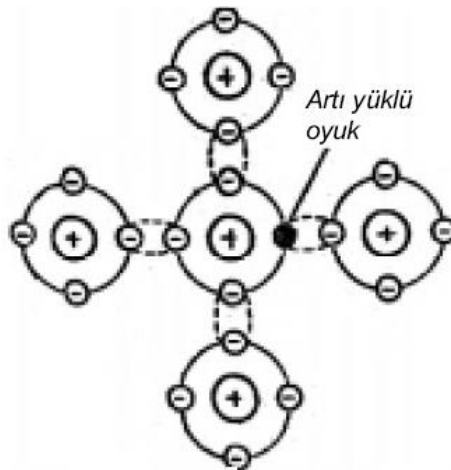
Kristal yapı içine katılan 5 elektronlu madde bir elektronunu yitirdiği için elektriksel olarak pozitif (+) yüklü iyon duruma geçer. Bu elektriksel durum basit olarak gösterilirken, çekirdek (+) yüklü, serbest halde dolaşan elektronlar ise (-) yüklü olarak ifade edilir.

N tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler elektron çoğalmasına neden olduklarından, bunlara verici (donör) adı verilir.

N tipi yarı iletken haline gelmiş olan maddenin serbest hale geçmiş elektronları çok olduğu için, bunlara “çoğunluk taşıyıcılar” denir. Yani N tipi maddede elektrik akımının taşınması işinde "çoğunluk" olan elektronlar görev yapar.

2.1.5. P (Pozitif) Tipi Yarı İletkenin Oluşumu

Son yörüngesinde 4 elektronu bulunan silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık 100 milyonda 1 oranında) son yörüngesinde üç elektron bulunan indiyum (ya da galyum, bor, alüminyum) karıştırılırsa, indiyumun üç elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Şekil 2.3 'de görüldüğü gibi silisyum ya da germanyumun elektronlarından birisi ise bağ yapacak indiyum elektronu bulamaz ve dışarıdan elektron kapmak ister. İşte elektron yönünden fakir olan bu karışım elektriksel olarak pozitif yüklü iyon kabul edilir. Elektrona ihtiyaç olan yer bir “oyuk (hole, delik, boşluk)” ile ifade edilir ve bu pozitif yüklü kabul edilir. Zira oyuk, her an “elektron çekmeye uygun” durumdadır. Oyuk yönünden zengin olan bu tip karışıma da P tipi madde denir. P tipi maddenin durumu basitçe gösterileceği zaman, çekirdek eksi (-) yüklü, oyuklar ise artı (+) yüklü olarak ifade edilir. P tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler (indiyum, galyum, bor) elektron azalmasına neden olduklarından, bunlara alıcı (akseptör) adı verilir [3].

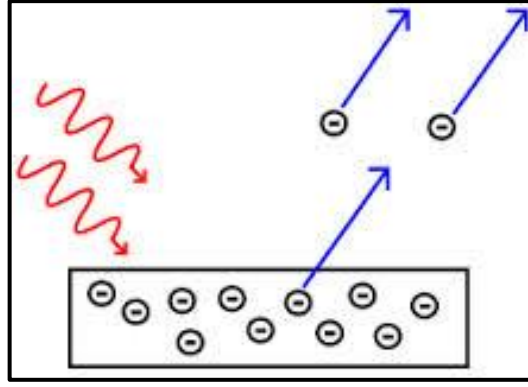


Şekil 2.3. P (pozitif) tipi yarı iletkenin oluşumu

P ya da N tipi ana malzemenin içersine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarı iletken eklemeler oluşturulur. N tipi yarı iletkende elektronlar, p tipi yarı iletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarı iletken eklemine güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur; ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron - hol çiftleri oluşturulur; ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.

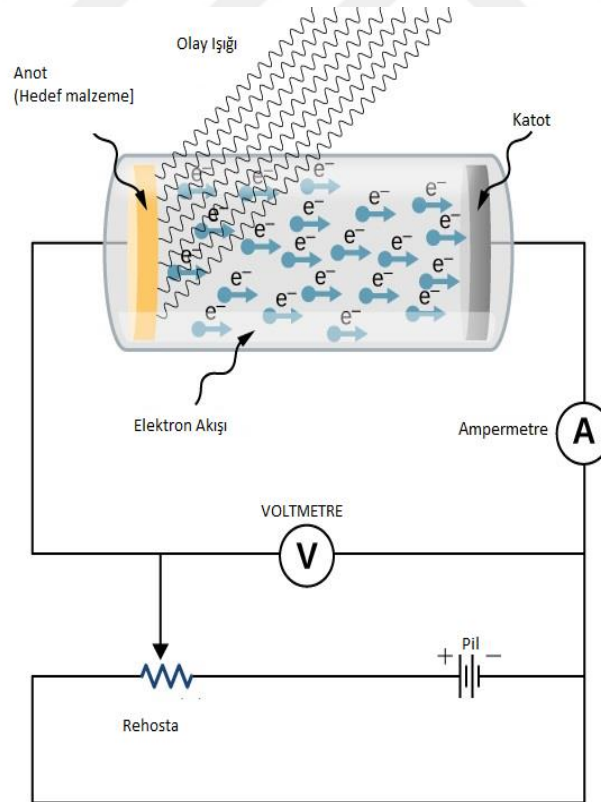
2.2. Fotoelektrik Olayı

Bir metal yüzeye düşen ışığın bu metal yüzeyinden elektron koparmasına fotoelektrik olay, kopan bu elektronlara da fotoelektron denir [4]. Yapılan deneyler ışığın taneciklerden oluştuğunu göstermiştir. Enerji taşıyan bu ışık taneciklerine foton denir [5].



Şekil 2.4. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay ışığın kuantumlu yapıda olduğunu gösteren önemli olaylardan biridir. Bu olay ilk kez Hertz tarafından gözlenmiş nicel açıklaması Einstein tarafından yapılmıştır.



Şekil 2.5. Fotoelektrik olay ile ortaya çıkacağı düzeneğin diyagramıdır

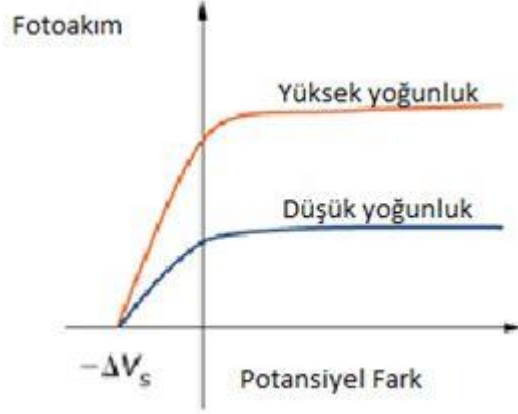
Şekil 2.5.'de fotoelektrik olay ile ortaya çıkacağı bir düzeneğin diyagramıdır. İçindeki hava boşaltılmış cam veya kuartz tüp içinde, bir bataryanın negatif ucuna bağlı E metal plakası ve aynı bataryanın pozitif ucuna bağlı C metal levhası vardır. Tüp karanlıkta iken devreden hiçbir akım geçmediği için sıfır ampermetre değeri gösterir. Fakat E plakası dalga boyu belirli bir dalga boyundan daha kısa olan bir ışıkla aydınlatılırsa, ampermetre, E ve C plakaları arasındaki boşlukta yük akışı olduğunu gösteren bir akımın devreden geçtiğini gösterir. Bu akım negatif levhadan (yayımlayıcı/emitör) yayımlanan ve pozitif levha (toplayıcı/kollektör) tarafından toplanan foto elektronlardan oluşur.

Şekil 2.5.'de, E ve C levhaları arasındaki potansiyel farkı ΔV nin fonksiyonu olarak fotoelektrik akımının iki ışık şiddeti için grafikleri görülmektedir. ΔV nin büyük değerlerinde akım bir maksimum değere erişmektedir. Ayrıca akım, beklendiği gibi ışığın şiddeti arttıkça büyümektedir. Son olarak ΔV negatif olduğunda yani E levhası pozitif, C levhası negatif olacak şekilde bataryanın uçları ters bağlandığında, yayımlanan foto elektronların çoğu şimdi negatif olan C plakası tarafından itildiğinden akım çok küçük bir değere düşer. Bu durumda yalnızca, kinetik enerjisi, e elektron yükü olmak üzere, $e\Delta V$ nin mutlak değerinden daha büyük olan foto elektronlar C levhasına ulaşabilirler.

ΔV , durdurma potansiyeli $-\Delta V_s$ ye eşit veya ondan daha negatif olduğunda, hiçbir fotoelektron C ye varamaz ve akım sıfır olur. Durdurma potansiyeli ışıma şiddetinden bağımsızdır. Foto elektronların maksimum kinetik enerjisi durdurma potansiyeline durdurma potansiyeline,

$$K_{max} = e\Delta V_s \quad (2.1)$$

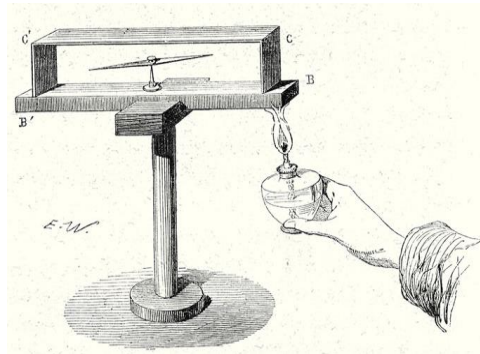
eşitliği ile bağlıdır [6].



Şekil 2.6. Fotoakım ve potansiyel fark grafiği

2.3. Termoelektrik

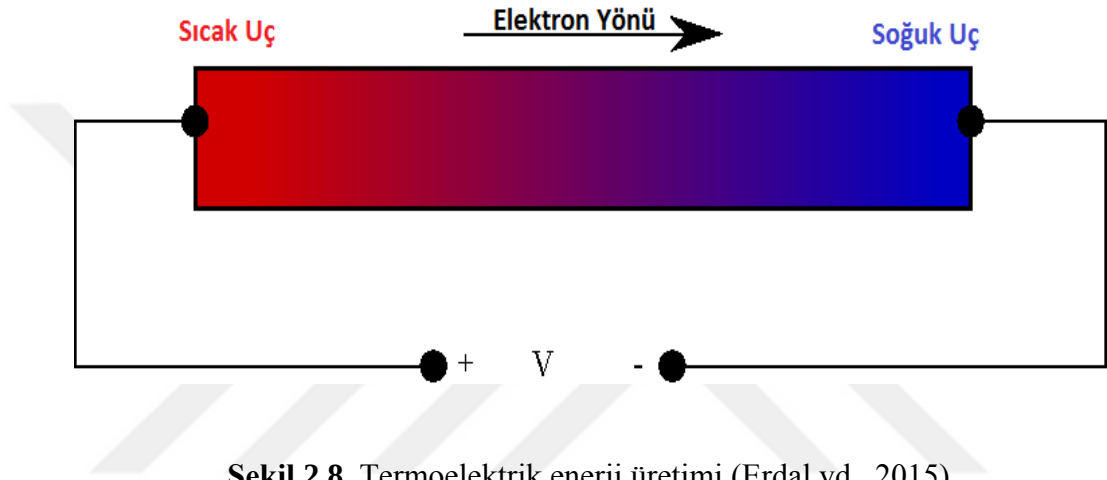
Termoelektrik, sıvı ve katı maddelerde ısı ile elektrik enerjisinin birbirine dönüşümüdür. Alman fizikçi Johann Seebeck tarafından gözlemlenmiştir. Seebeck, iki farklı metaller plakayı ki ucundan birbirine temas ettirerek bir devre kurmuş ve bu devreyi bir ucundan ısıtmıştır. Isının etkisiyle yakındaki bir mıknatısın hareket ettiğini fark etmiştir. Yani ısının etkisiyle bir elektrik akımı üretilmiş, üretilen elektrik akımında bir elektrik alana neden olarak mıknatıs hareket etmiştir. Termoelektrikte, 3 farklı etki vardır. Bunlar; Seebeck, Peltier ve Thomson etkileridir [7].



Şekil 2.7. Johann seebeck deney düzeneği

2.3.1. Seebeck Etkisi

Seebeck etkisi sıcaklık farklarının, bir potansiyel fark oluşturmaya doğrudan elektrik enerjisine dönüşümüdür. Farklı iki metal plaka uç noktalarından temas ettirilip bir ucundan ısıtıldığında, elektronlar kinetik enerjilerinin artması sonucu sıcak uçtan soğuk uca doğru hareket eder. Metallerdeki ısı iletkenliklerinin farklı olmasıyla da sıcak uç ile soğuk uç arasında potansiyel fark oluşur.



Şekil 2.8. Termoelektrik enerji üretimi (Erdal vd., 2015)

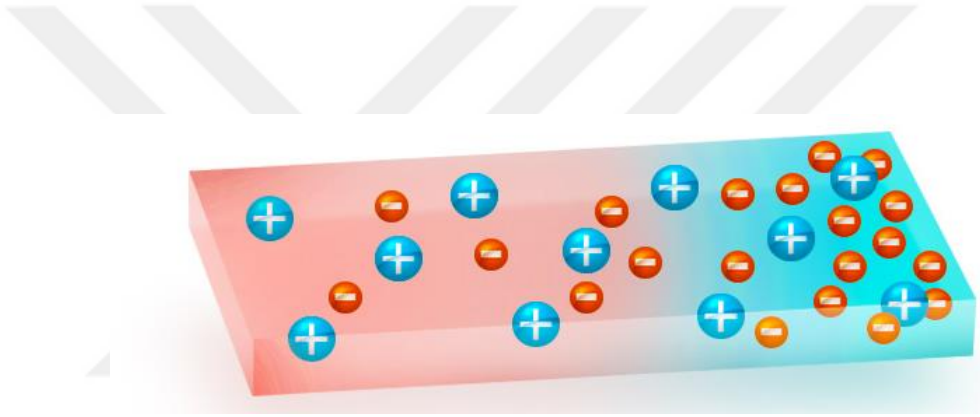
Burada termoelektrik modülün sağ tarafından ısıtılmaya başlandığında sıcaklık farkından dolayı madde indüklenir. Eğer devre bir yük (direnç) ile kapalı 30 devre haline getirilirse üretilen elektrik bu yük üzerinde harcanır. Burada termoelektrik materyal bir çeşit batarya gibi davranır, termoelektrik güç elektromotor kuvvete karşılık gelirken materyalin direnci ise bataryanın iç direncine karşılık gelmektedir. Termoelektrik enerji üretiminin başlıca üç avantajı vardır; bakım gerektirmez, atık ısının geri dönüşümüne imkân verir ve uzun süreli işletim sağlar. Termoelektrik jeneratörlerin genel olarak verimleri düşük olmasına rağmen, ısı makinelerinin kullanamadığı düşük sıcaklıktaki ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürdükleri, sessiz çalışmaları ve düşük maliyetli oldukları için elektrik üretme amaçlı kullanılabilir. TE jeneratörler hareketli parçalar içermezler, aşınmazlar ve sessiz çalışırlar. Küçük, hafif ve portatiflerdirler. Uzun ömürlüdürler ve bakım

gerektirmezler. Her pozisyonda ve yerçekimsiz ortamda çalışabilirler. Her formda, şekilde imalatları mümkündür. Yerde elektrik üretir ve doğaya zarar vermez.

Oluşan bu potansiyel fark, metallerin ısı güçleri ile birleşme noktalarının sıcaklık farkına bağlı olarak değişmektedir. Isıl güçlerin, ölçülen sıcaklık değerlerinde etkin olarak sabit olduğu düşünülürse potansiyel fark;

$$V = (S_a - S_b) \times (T_2 - T_1) \quad (2.2)$$

olarak indirgenebilir. Yani potansiyel fark, ısı güçlerin farkı ile birleşme uçlarının sıcaklık farkının çarpımına bağlı olarak değişmektedir [8].

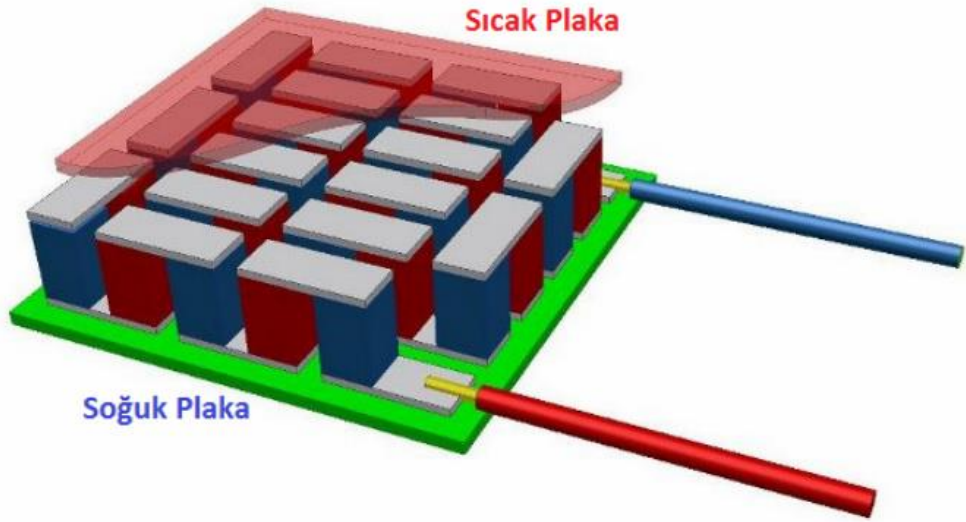


Şekil 2.9. Sıcaklık farkına göre elektron hareketleri

Benzer şekilde tek bir alüminyum çubuğu bir ucundan ısıtıp, diğer ucundan soğuttuğumuzda da elektronlar sıcak uçtan soğuk uca doğru hareket eder. Elektronların bu hareketi ile potansiyel fark oluşur.

2.3.2. Peltier Etkisi

1834 yılında Charles Peltier, termoelektrik etkinin çift yönlü olduğunu gözlemlemiştir. Seebeck etkisinin tersi şekilde bu sefer metallere elektrik akımı uyguladığında, metallere birisinin ısındığını diğerinin ise soğuduğunu keşfetmiştir.



Şekil 2.10. Termoelektrik üretici iç yapısı

Uçların hangisinin soğuyacağı hangisinin ısınacağı ise elektrik akımının yönüyle ilgilidir. Uygulanan akım ile elektronlar diğer uca hareket edecek ve sahip oldukları enerjilerini diğer uca taşımış olacaklar. Yani elektronların ayrıldığı yer soğuk uç, gittiği yer ise sıcak uç olacaktır.

Joule cinsinden;

$$I_{ısıtma} = I^2 (R_a + R_b) / 2 \quad (2.3)$$

eşitliği ile bulunur.

Yani meydana gelen ısıtma, uygulanan akıma ve metallerin elektriksel dirençlerine bağlıdır. Isı iletimi ise sıcaklık farkları ve ısı iletme kapasitelerine göre değişmektedir [9].

2.3.3. Thomson Etkisi

Seebeck ve Peltier etkileri arasındaki ilişkiyi verir. Bu iki etkinin birbirine tam ters olması dolayısıyla Seebeck eşitliğindeki α_{AB} ile Peltier eşitliğindeki π_{AB} arasında bir ilişki olduğu düşünülebilir. Beklenen bu ilişki Lord Kelvin tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\pi_{AB} = \alpha_{AB} \times T \quad (2.4)$$

T : Mutlak Sıcaklık (K)

Böyle bir devrede oluşan ısı hem elektrik akımına hem de sıcaklık gradyanına bağlıdır.

$$QT = \iota \times \Delta T \times I \quad (2.5)$$

ΔT : İletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı (K)

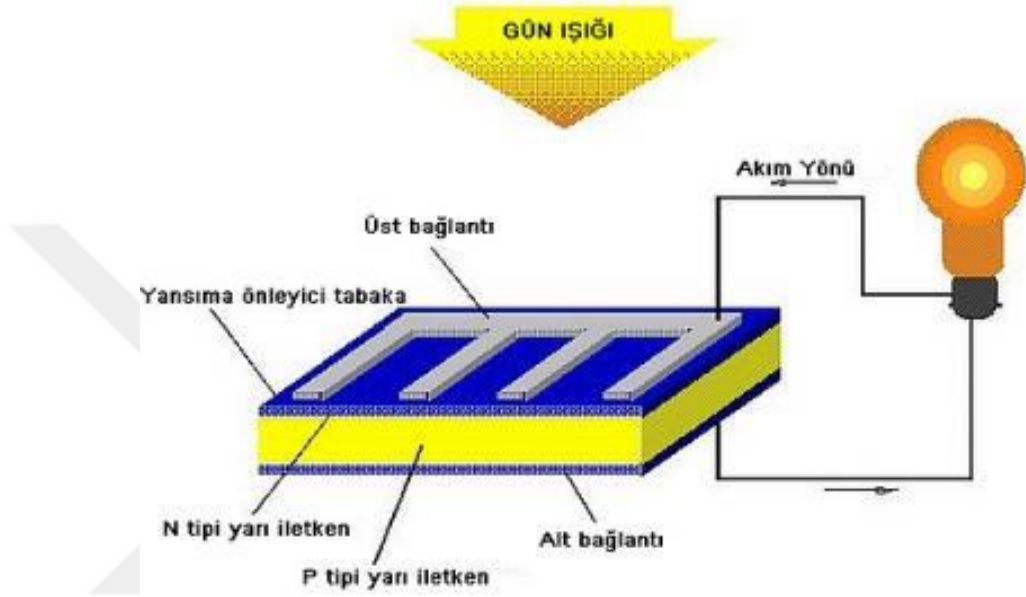
I : İletken üzerinden geçen akım şiddeti (A)

ι : Thomson katsayısı (V/K) [10].

W. Thomson 1851 yılında termoelektrik etkilerden üçüncüsünü keşfetmiştir. Peltier etkisiyle bağlantılı olan bu etki, Thomson etkisi olarak adlandırılmaktadır. İletken uçlarının farklı sıcaklıkta tutulduğu bir durumda uygulanan akım yönüne bağlı olarak enerjinin iletken üzerinde absorbe edilmesi veya soğutulması olayına Thomson etkisi denir. Ancak Thomson etkisinde bahsedilen iletken homojen bir iletkendir. Akım geçtiği sürece ısı gradyanı yani ısı değişimi meydana gelir. Yani sıcaklıkları farklı iki uçta akım taşındığında metal ya ısı emer ya da ısı verir. Thomson etkisinde tüm olay T1 ve T2 uç sıcaklıklarına, metalin cinsine akımın yönüne bağlı olarak değişir. Thomson etkisinin günümüzde doğrudan uygulama alanı bulunmamaktadır [7].

2.4. Fotovoltaik Paneller

2.4.1. PV Hücreler



Şekil 2.11. Fotovoltaik hücrenin iç yapısı ve çalışma prensibi

Işık malzemelerin yüzeyine çarptığında, foton enerjisini çoğunlukla ısıya dönüştürerek yansıtılabilir, iletebilir veya absorbe edilebilir. Bununla birlikte, bazı malzemeler, gelen fotonların enerjisini elektriğe çevirme özelliğine sahiptir. Fotonlar enerjilerini momentum ve enerji prensiplerinin korunmasına dayanan elektronlara verirler. Özgür elektronlar kristalin üzerinde hareket edebilirler. Buna fotovoltaik etki denir [11, 12] .

İletim bandı ile değerlik bandı arasında bir enerji bandı boşluğu olan bu malzemelere yarı iletkenler adı verilir. Valens bant, elektronların konakçı atomlara bağlandığı enerji seviyesindeyken, iletim bandı, harici bir kaynaktan alınan elektronların, artık konakçı atoma artık bağlı olmayan bir enerji kaynağıdır. Mutlak sıfır sıcaklıkta iletim bandında hiçbir elektron yoktur. Sıcaklık yükseldikçe, bazı elektronlar enerjiyi alır ve Valans

bandından iletim bandına yükselir ve bir enerji deliği çifti oluşturur (EHP). Olay fotonunun enerjisi, yarı iletkenin enerji bandı boşluğundan daha büyükse, foton enerjisi emilecek ve EHP üretilecektir. Foton enerjisi arasındaki farkın kalanı ve bant aralığı ısıya yayılır. Yarı iletkenler, doğrudan grup aralığı ve dolaylı bant aralığı yarı iletkenleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğrudan bir bant aralığı materyali, dolaylı bant boşluğu olanlardan birkaç kat daha ince olabilirken, aynı zamanda, önemli miktarda radyasyonun absorbe edebilir [11,12,13] .

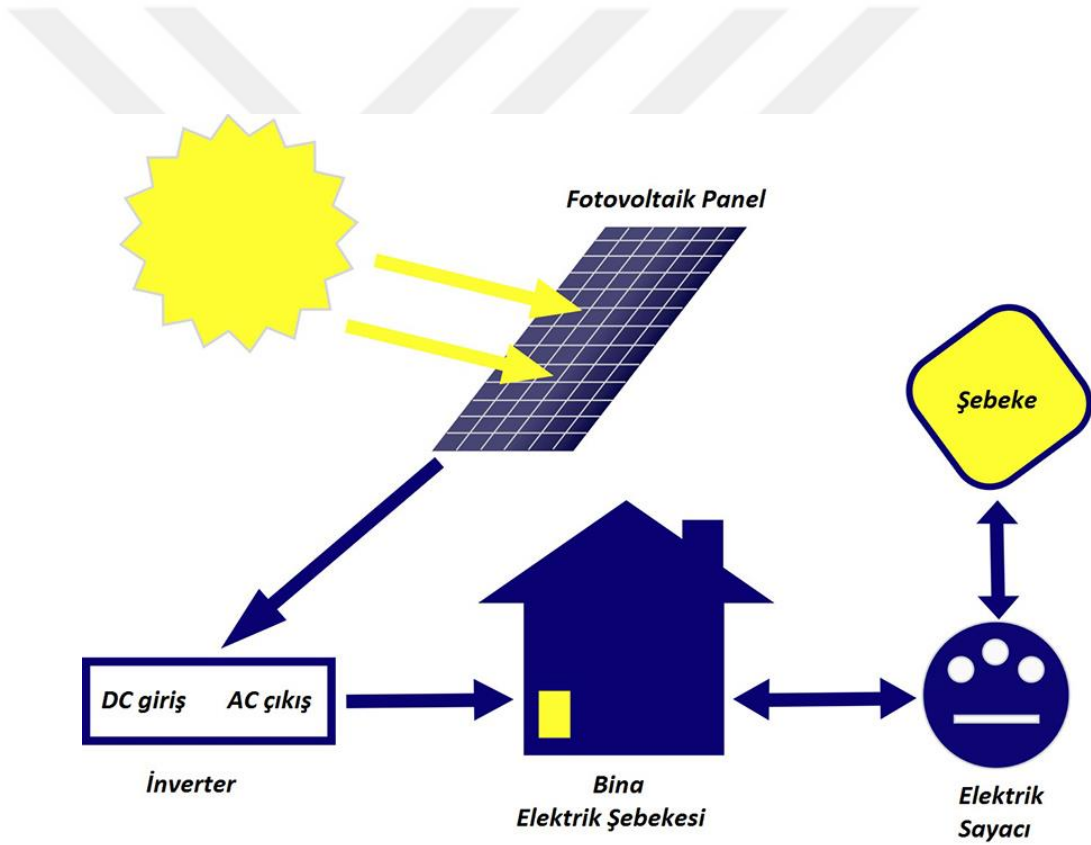
Serbest kalan elektronların sürüklenemediği yarı iletken malzemelerde bir elektrik alanı vardır. Bu elektriksel alanın neden olduğu kuvvet, elektronların, p tarafındaki delikler iken, birleşme noktasının n tarafına gitmesini sağlar. Bazı malzemeleri uyarıcı yoluyla eklemek elektrik alanını canlandırır. Daha fazla açıklık getirmek için, örneğin fosfor, elektronun silikon ve boruna elektron verirken, sırasıyla n tipi ve p tipi silikon oluşturan delikler ekler. Dış telden pana doğru n-bağlantı akımı, birleşim noktasında üretilen EHP'lerin sayısına bağlıdır; Bu akımın adı fotoğraf akımıdır. Fotoğraf akımını en üst düzeye çıkarmak için, birleşme noktasındaki veya difüzyon uzunluğunda absorbe edilen fotonların sayısı arttırılmalıdır[11,13].

PV hücresi olarak da adlandırılan güneş pili, voltaj üretebilen bir cihazdır. Bir ışık kaynağı üzerinde parladığında fark ne zaman güneş pili teller üzerinden bir devreye bağlanır, tel üzerinden elektrik akımı akar , sonuç olarak bir çalışma üretilecek Fransız bilim adamı Edmund Becquerel, ilk önce ışığı keşfetti bazı materyalleri kullanarak elektriğe dönüştürülebilir 1839, daha sonra 1876'da Adams ve Day selenyumun fotoğrafını fark etti. Birkaç yıl sonra, Amerikan Charles Frits icat etti. İlk güneş pili 1954 yılında Chapin, daha dolgun ve Pearson arttı Güneş pili verimliliği bazı kirlilikler ekleyerek yüzde 6'ya kadar silikon güneş pili daha sonra uzay programlarında ve 1970'lerde enerji krizi, güneş pili içinde daha fazla gelişmeye yol açtı teknolojiler. Güneş pilleri 1988 ve 2009, 35 MW'tan 11.5 GW'a yükseldi [11, 14] .

Mono-kristalin(tek kristalli), poli-kristal, amorf ve organik hücreler olmak üzere dört ana tip PV hücresi vardır. Nano PV ayrıca yeni tanıtılan bir tür güneş hücresidir. Güneş pilleri çoğunlukla bakır, kadmiyum sülsten üretilir. phide, gallium arsenide ve kadmiyum telluride vb. özel optik özellikleri sayesinde silikon üst pozisyonu tutar bu

malzemeler arasında tipik bir silikon PV hücresi üretir. 0,5 V DC'de 3 W'den az. PV hücrelerinin seri sonuçlara bağlanması PV modüllerinde birkaç ila 300 W arasında değişmektedir. Seri ve paralel diziler, 100 W ila kW arasında bir dizi ile PV dizileri yapabilir [13].

Yüzeylerine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere fotovoltaik enerji sistemi adı verilir. Piyasada yaygın olarak satılan fotovoltaik (PV) paneller güneş enerjisinin yaklaşık %15'ini elektriğe dönüştürebilmektedir. Sürdürülen çeşitli araştırmalarla %30-%40 verimlilikle güneş enerjisini elektriğe dönüştürebilen sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. 1 m²'lik ve %15 verimli çalışan bir güneş PV paneli, yaz günlerinde, açık havalarda yaklaşık 1 kWh elektrik üretir [15].

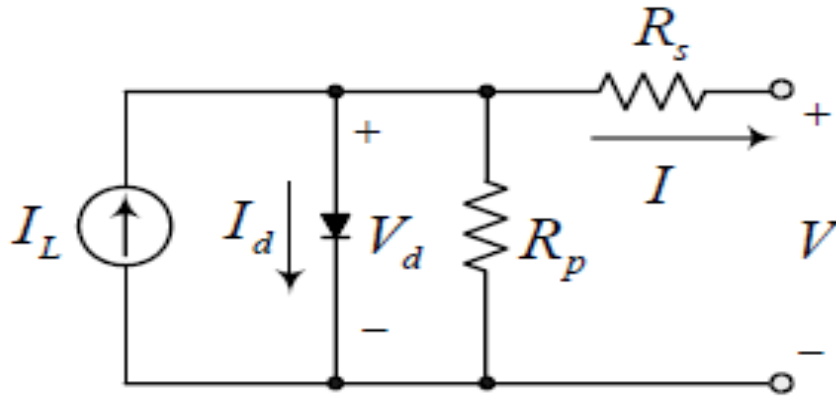


Şekil 2.12. Pv panel elektrik üretim diyagramı

2.4.2. Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi

Güneş pilleri p-n yarı iletkenlerinin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden oluşur. Karanlıkta FV hücre çıkış I-V karakteristiği diyot karakteristiğine çok benzer. Işığa maruz kaldığında fotonlar sayesinde elektron hareketi dolayısı ile akım sağlanır. FV hücreleri ihmallerin göz önüne alınmadığı durumda; Şekil 2.13'deki gibi bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç ile diyot ve oluşan yapıya seri bağlı bir direnç ile ifade edilirler [16].

Burada (I) çıkış akımını, (I_L) ışığın ürettiği akımı ve seri direnç (R_S), çıkış akımına karşı gösterilen iç direnci göstermektedir. R_S 'nin değeri PN birleşme yüzeyinin yapısına bağlıdır. Paralel direnç (R_P), sızıntı akımını ifade eder. İdeal bir fotovoltaik hücrede $R_S=0$ ve $R_P=\infty$ olduğu kabul edilir. 1 inçlik kaliteli bir fotovoltaik hücrede $R_S=0,05-0,10 \Omega$ ve $R_P=200-300 \Omega$ civarındadır. R_S üzerinde oluşan küçük bir artış, çıkış gerilimini kayda değer ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik çevirimin verimi R_S direncine duyarlıdır. Yük akımı sıfıra eşitken, hücre açık devre gerilimi (VOC) elde edilir [17].

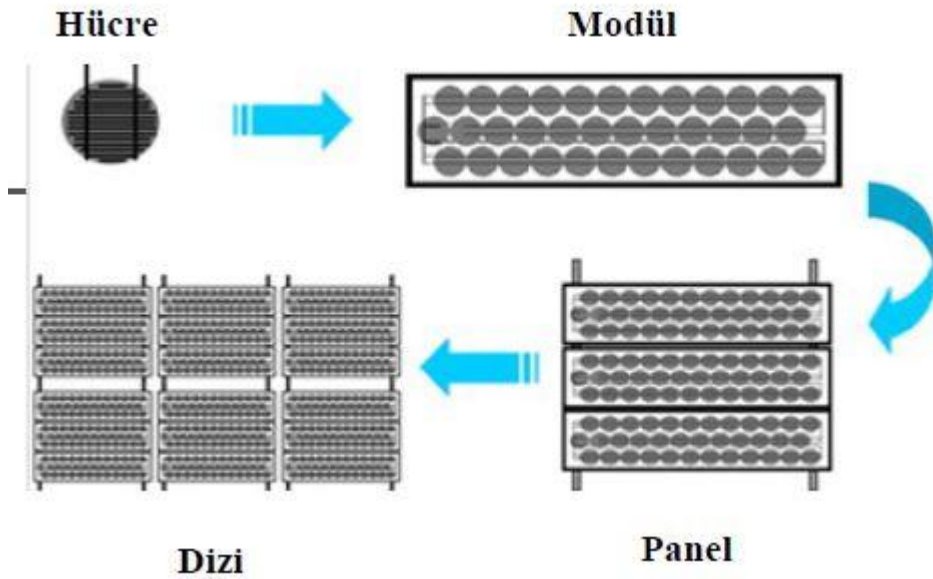


Şekil 2.13. FV hücre tek diyot iki dirençli eşdeğer devresi

2.4.3. PV Hücrelerinin Çalışma Prensibi

Yüzeyleri kare, dikdörtgen veya daire şeklinde olup alanları 60-160 civarında, kalınlıkları 0,2 veya 0,4 mm aralığındadır. Güneş panelleri yani fotovoltaiik paneller, birçok solar hücreden oluşur. Bu hücreler silikon adı verilen ve dünyamızda çokça bulunan elementlerden yapılır. Her bir hücre, aynen pillerde de olduğu gibi, elektrik akımı yaratmak için bir pozitif ve bir negatif katmandan oluşur.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaiik modül denir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan Megawatt'lara kadar güç üretmek için sistem oluşturulur [7].



Şekil 2.14. Hücre, panel, dizi ve serinin oluşumu

FV hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen

güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm arasındadır. Güneş hücreleri FV ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur [18].

Oluşan bu gerilim, güneş hücrelerinin üretildiği malzemeye göre değişkenlik gösterir [19].

Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını arttırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerinde birleştirilir. Bu yapıya „güneş hücresi modülü“ ya da FV modül“ adı verilir. şekil 2.14 ‘ de bu modüllerin oluşum aşaması gösterilmiştir. Birbirlerine seri ya da paralel bağlanan modüller, ihtiyaca veya uygulama yapacak alanın büyüklüğüne göre farklı güçlerde sistemleri oluştururlar [18].

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler ve doğrultucu diyotlar gibi FV hücreler de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında FV hücre yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir [18].

Bir PV hücresinin çalışma prensibi klasik p-n jonksiyonlu diyot ile çok benzerdir. Işık jonksiyon tarafından absorbe edilince, absorbe edilmiş foton enerjisi malzemenin elektron yapısına aktarılır ve jonksiyon civarında oluşan boşluk bölgesinde ayrışan yük, taşıyıcıların oluşmasına neden olur [20]. Jonksiyon bölgesindeki elektrik yükü taşıyıcıları bir potansiyel oluşturur ve harici bir devre üzerinde akım sirkülasyonu olur.

Foto akımlarını toplamak için jonksiyonun her iki tarafına metal kontaklar yerleştirilmiştir. Hücrenin ön yüzü, yansıtmayı minimum seviyede tutacak ve mümkün mertebe çok miktarda ışığı yutacak anti yansıtıcı bir kaplama ile kaplıdır. Ayrıca mekanik koruma için en dış yüzeyi koruyucu bir cam ile kaplı olup, bu cam saydam bir yapıştırıcı ile sisteme tutturulmuştur. Tipik olarak bir PV hücre $25\text{-}30 \text{ cm}^2$ lik kare bir alana sahip olup, yaklaşık 1W’lık güç üretir. Yüksek güçler elde edebilmek için birçok PV hücre seri ve paralel olarak bağlanır ve büyük bir alana sahip bir modül elde

edilir. Seri-paralel modül bağlantıları ile arzu edilen güç seviyesi elde edilmiş olur. Hücrelerin seri bağlanmasıyla modül gerilimi artırılır. Modüllerin paralel bağlanmasıyla, modülün sağlayacağı akımın miktarı ayarlanır. Modüllerin seri-paralel bağlanmasıyla, istenilen güç seviyesi elde edilmiş olur.

2.4.4. Fotovoltaik Panellerin Yapısı ve Özellikleri

Fotovoltaik paneller sıkıştırılmış iki ayrı ince yarı iletken malzemeden oluşan kristallerin içinden güneş ışınlarının geçmesi sonucunda alt ve üst yarı iletkenler arasında elektrik akımı meydana getirerek elektrik üretir. Görünüm olarak dikdörtgen, kare ve daire şeklinde olup kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm'dir. Bu teknolojiye, güneş ışınları fotovoltaik panel yüzeyine çarpması sonucu güneş ışınlarını kullanarak elektrik enerjisine dönüştürür. Güneş ışınları 3 parçadan oluşur. Bunlar güneş ışınları, foton ve güneş enerjisidir. Güneş ışınlarından gelen fotonlar belirli miktarda enerji taşıyarak hücredeki elektronlara geçirerek güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürmüş olur [21].

2.4.4.1. Alüminyum Çerçevesiz ve Camlı Modüller

Panel cam bir tabaka ve pilleri çevresel etkilerden koruyacak bir filmle kaplanmış PV pillerinden oluşur. En çok kullanılan modül tiplerindendir.

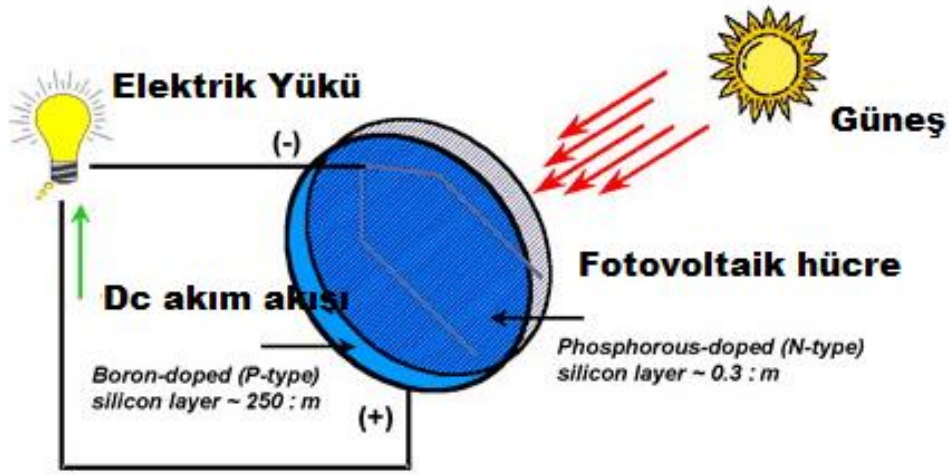
2.4.4.2. Çerçevesiz Modüller

Oldukça yüksek etkinliğe sahip monokristal silikon PV pillerinden yapılırlar ve iki tabaka optik filmle kaplanırlar. Genellikle trafik ikaz ışıkları gibi sistemlerde kullanılır.

2.4.4.3. Metal Tabanlı Modüller

Özel yapışkan ve yalıtım yapan kaplama ile kaplanmış paslanmaz çelik, metal üzerine ya da alüminyum alaşım üzerine oturtulur [22].

Güneş pillerinin yapıları basitçe bir p ve n eklemden oluşan diyotlara benzer. Fotoelektrik olay prensibine dayanarak pilden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar eklemden harekete geçer ve bir elektrik akımı oluşturur. Bu akım doğru akımdır.



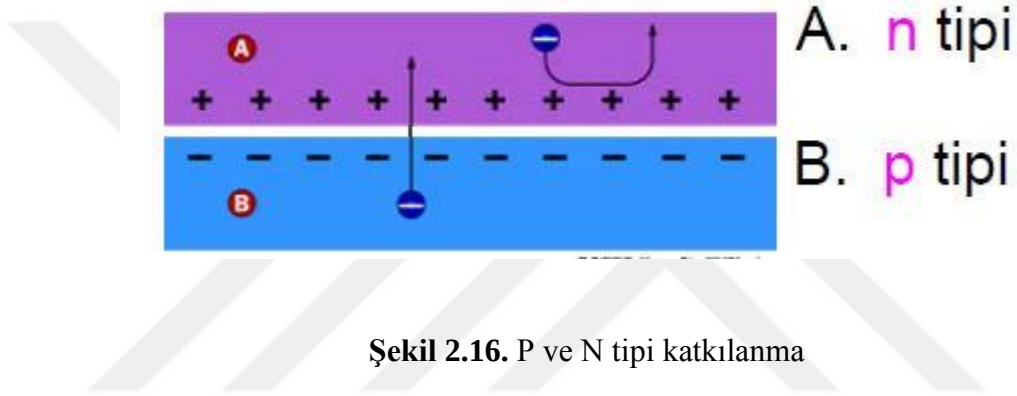
Bir Fotovoltaik Hücre Diyagramı

Şekil 2.15. Fotovoltaik hücre diyagramı (Aslan H., 2003)

Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarı iletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılabilirmeleri için n ya da p tipi katkılanmaları gerekir.

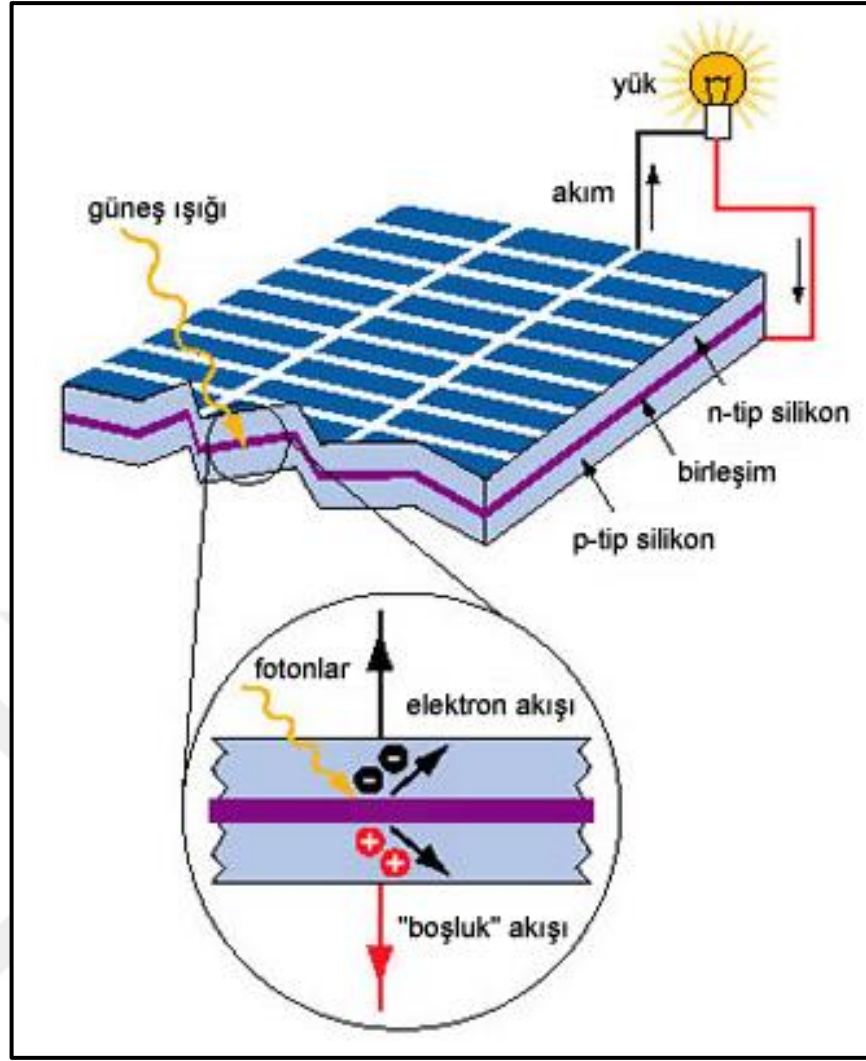
Katkılanma saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Örneğin silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için

eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element eklenir. Periyodik cetvelin 5. grubundan bir elemente örnek olarak fosforu verebiliriz. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğundan fosfor bir fazla elektronunu kristal yapıya verir. Bu nedenle 5. grup elementlerine verici ya da n tipi katkı maddesi denir. Silisyumdan p tipi silisyum elde etmek için ise eriyiğine periyodik cetvelin 3. grup elementi eklenir. Bu eklenen elementin son yörüngesinde 3 elektron vardır. Bu nedenle kristal yapıda bir adet elektron eksikliği oluşur. Bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir. Bu nedenle de p tipi maddelere de alıcı adı verilir.



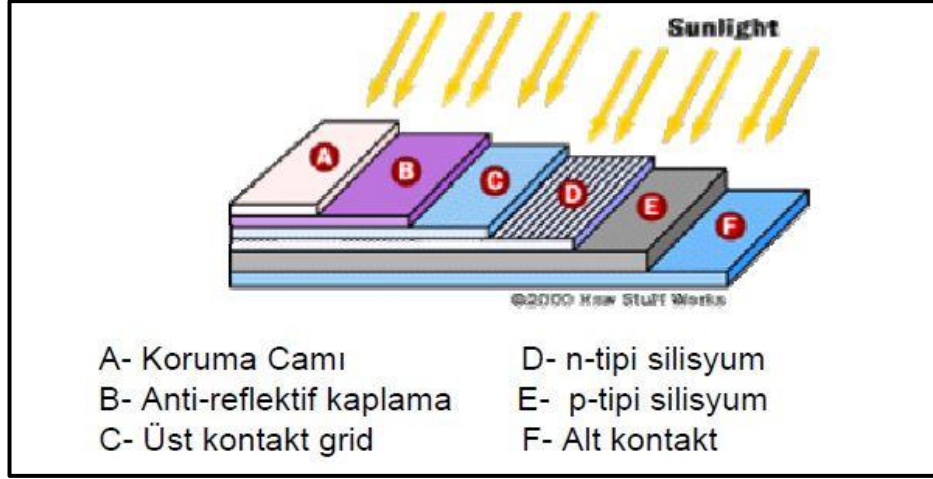
Şekil 2.16. P ve N tipi katkılanma

Yarı iletken eklemler oluşturulduktan sonra güneş ışınlarından gelen fotonlar, sayesinde n tipinden kopan elektronlar p tipine doğru hareket eder. Bu olay her iki tarafta yük dengesi oluşuncaya kadar devam eder. Bunların elektron azlığı (hol veya delik) ve diğerindeki (yük sağlayan) fazlalığı, bu bölgenin her iki tarafında bir elektrik alanının oluşmasına yol açar. Yarıiletken tarafından emilen ışık akısının fotonları, yarıiletken parçanın iki tarafında ayrı ayrı toplanan elektron-hol çiftlerini oluşturur. Bunun sonucunda, eklemin aydınlanan yüzüyle ve buraya düşen ışığın yoğunluğuyla orantılı bir elektrik akımı meydana gelir.



Şekil 2.17. Fotovoltaik kesiti

PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir.



Şekil 2.18. Fotovoltaik hücrenin tabakaları

Hücrelerin üst tabakaları yansımayı önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Güneş hücreleri son derece kırılkan olduğu için böyle bir koruma, çatlama ve kırılmaları önlemek açısından gereklidir. Yansıma önleyici anti reflektif kaplamanın koyulmasının sebebi de güneşten gelen ışığın yansıtmadan soğurulmasını sağlamaktır. Böylece güneş ışınlarından elde edilen verim daha da artar [7].

Bilindiği gibi fotovoltaik piller diğer adı ile Güneş pilleri kendi yüzeylerine gelen güneşin ışığını elektrik enerjisine dönüştürmeye yarayan donanımlardır. Farklı geometrik yapılar sahip biçimlerde şekillendirilebilen Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayanarak çalışıyorlar. Güneş ışığını alır almaz bir elektrik geriliminin oluşmasına zemin hazırlarlar. İhtiyaç duyulan güç oranına göre birbirine bağlı olan modüller seri bağlantı ya da paralel bağlantı şeklinde bağlanabilmektedir. Güneş pilleri üzerlerine düşen ışığın yüzde yirmiye varan oranındaki potansiyeli elektriğe çevirebilirler, elde edilen gücü artırmak için çok sayıda Güneş pilleri birbirlerine bağlanırlar. Bu bağlantı şekilleri ve seri ya da paralel olabilir. Modern teknoloji çağında kullanılan fotovoltaik hücre yapıları doğrultucu diyot transistörler gibi Güneş pilleri de yarı iletken elementlerden yapılmaktadırlar. Yarı iletken elementler istenildiğinde iletken olabilmekte istenildiğinde yalıtkan hale getirilebilmektedir.

Bu şekilde Elektrik akımını geçirmek veya kesmek mümkün olmaktadır. Yarı iletken madde yapımında galyum silisyum kadmiyum gibi elementler kullanılmaktadır. N tipi yarı iletkenler ve P tipi yarı iletkenler olmak üzere iki kısımda incelenebilen yarı iletkenler transistörlerde PNP NPN şeklinde bir araya getirilerek farklı görevlerde kullanılabilirler. Fotovoltaik hücreler istenilen seviyede akım ve gerilim elde etmek için ihtiyaca göre Seri ve paralel bağlantı gerçekleştirilebilir. Güneş Enerji sistemlerinin en önemli yapılarından birisi güneş panelleridir ve güneş panellerinden elde ettiği elektrik enerjisini depolamak üzere akümülatörler kullanılır. Şu ana kadar elde edilen enerji doğru akım DC elektrik enerjisidir. Evlerde bu elektrik enerjisini 220 volt AC akıma dönüştürmek için invertör elemanına ihtiyaç duyulur [23].

2.5. PV Hücrelerinin Çeşitleri

2.5.1. Monokristalin (Tek kristalin) PV Hücreler

Kalite ve verimlilik açısından mono kristalin güneş pilleri yüksek verimli mono kristalin hücrelerden oluşmuşlardır. Güneş pilinin mono kristalin olması demek tüm hücrenin sadece kristalinden oluşması ve materyalin atomal yapısının homojen olması demektir. Doğada bulunan tüm kristalin bileşimler aslında polikristalindir, sadece elmas neredeyse mükemmel mono kristalin özelliğe sahiptir [19]. Monokristal çubukların kesilmesiyle elde edilirler. En önemli avantajları yüksek verimlilikleridir. Verimlilikleri %13-%16 civarındadır [24]. (%20 kadar). Bu tip hücreler üretim proseslerinin zahmetli olması nedeniyle pahalıdır. Monokristal hücreler genellikle değişmeyen mavi renkleri ile ayırt edilirler. Dünya çapında %8-10 oranında kullanılırlar [25].

Monokristalin güneş pillerinde malzemenin atomik yapısı homojendir. Monokristalin güneş pilleri verimlilik kapasitesi diğerlerine göre en yüksek olan (%20) güneş pili çeşididir.

Monokristalin güneş pillerinin üretimleri teknik açısından daha zor olduğundan ve daha çok zaman aldığından dolayı bu tip güneş pillerinin fiyatları da verimlilik kapasiteleri gibi diğer güneş pili çeşitlerinden daha yüksektir. Ancak uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğünde monokristalin güneş pilleri dayanıklılık ve verim açısından daha iyi bir seçenek olacaktır [26].

2.5.2. İnce Film PV Hücreleri

Işığı daha iyi soğuran, buna karşılık sadece 1 mikron kalınlığında olan malzeme seçildiğinden, ince film PV hücrelerin maliyetleri daha düşüktür [20].

İnce Film güneş hücreleri güneş ısınları emici özelliktedir. Kristal güneş panellerine oranla düşük verimlidir. Düşük veriminden ötürü yüksek güç üretebilmeleri için büyük alanlara ihtiyaç duymaktadır. %7 ile % 11 arasında verimlilik değerlerine sahiptirler [24].

Genel olarak kullanılan malzemeler ;

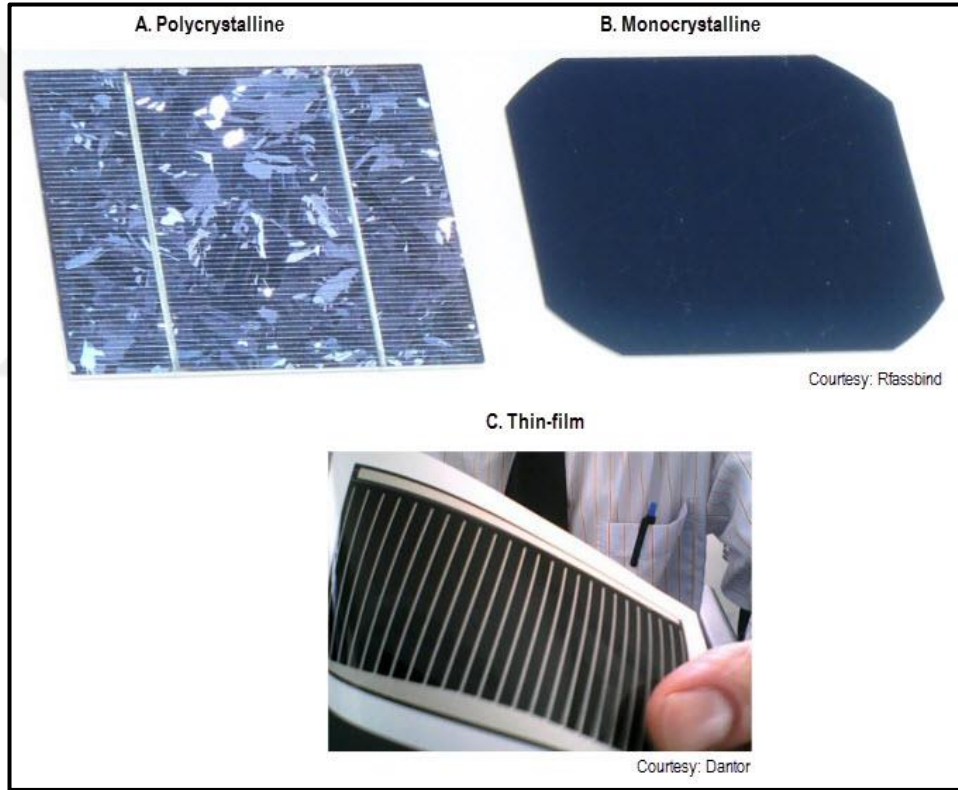
- amorf silicon (a-Si, düzensiz formdaki silikon)
- kadmiyum tellür (CdTe)
- bakır indiyum selenid (CIS)
- bakır indiyum galyum diselenid (CIGS)'dir [20].

2.5.3. Multi-Kristal (polikristal) Çoklu Kristalin PV Hücreler (mc-Si)

Üretim ekipmanlarına kolay ulaşılabilir olmasına rağmen enerji verimliliği monokristalin güneş hücreleri göre daha düşüktür. Monokristal saflığında üretilmemekte olup, heterojen yapısından ötürü polikristal adını almaktadır. Verimlilikleri %11-%16 değerlerindedir [25]. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çok kristal (Polikristal) Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verimleri de daha düşük olmaktadır. Verimleri, laboratuvar şartlarında %21, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

Polikristalin güneş pillerinde malzeme birçok monokristalden oluşur ve atomik yapı homojen değildir. Polikristalin güneş pillerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık %16 olup monokristalin güneş pillerine göre daha düşük, CIS güneş pillerine göre ise daha yüksektir.

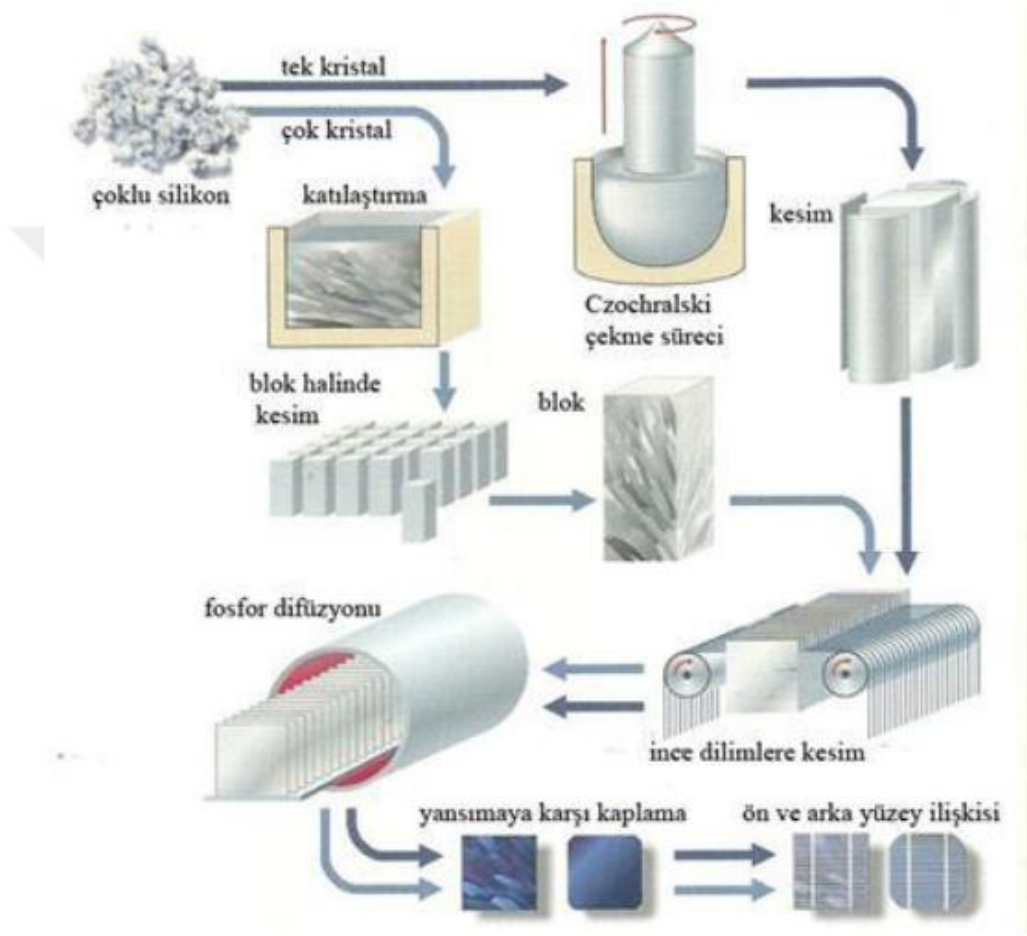
Polikristalin güneş pillerinin maliyeti monokristalin güneş pillerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için bu tip güneş pilleri en sık üretilen güneş pilleridir [26].



Şekil 2.19. PV Hücrelerin Çeşitleri

2.5.4. Kristal Silikon PV Hücreler

Genel olarak, üretilen güneş pillerinin %95'i silikondan yapılır. Silikon yeryüzünde oksijenden sonra en fazla bulunan elementtir. Şekil 2.20'de görüldüğü gibi, iki farklı şekilde işlenerek tek ya da çok kristal hale getirilebilir [27].

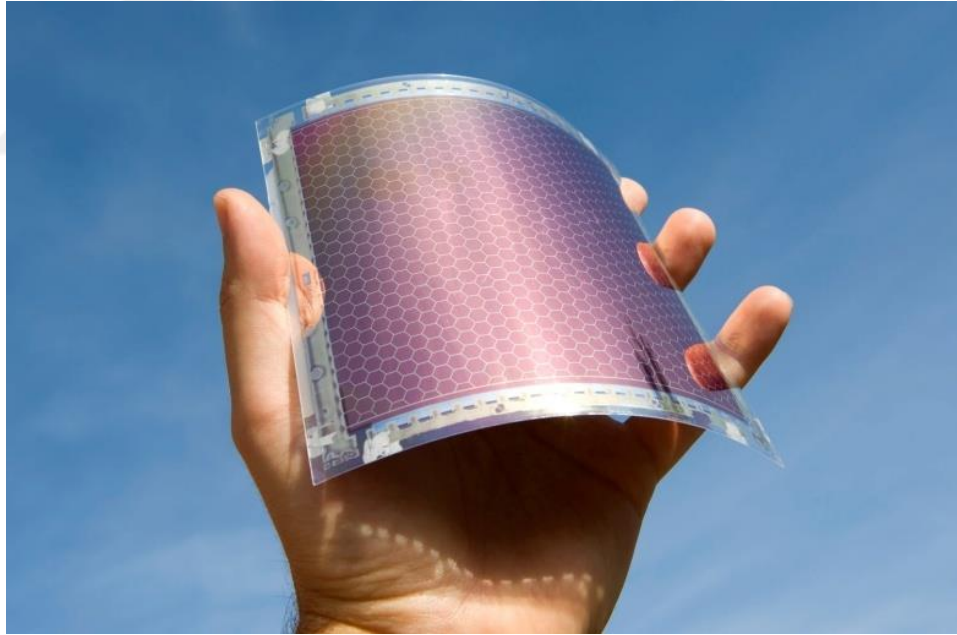


Şekil 2.20. Tek ya da çok kristal silisyum hücrelerin üretilmesi

Güneş enerjisi solar FV uygulamalarında kullanılacak silisyumun kirlilik oranı milyarda bir mertebelerinde olmalıdır. Bu yüzden hammadde halindeki silisyum kimyasal işlemlerle saflaştırıldıktan sonra, silisyumun gaz formundaki hidrojen klorit ile (hidroklorik asit) reaksiyona girmesi sonucu, hidrojen ve 31 °C'da buharlaşan

2.5.5. Organik Güneş Pilleri

Organik güneş pilleri karbon bazlı polimerlerden ve küçük moleküllerden oluşurlar. Hücre üzerine gelen güneş enerjisini organik tabaka tarafından emerek, elektrik enerjisine dönüştürürler. Organik güneş pilleri fikri, kolaylıkla üretilebilen ve geniş alanlarda işlenebilen düşük maliyetli organik ve polimer fotovolataik malzemelerin gelişimi ile ortaya çıkmıştır. Bazı organik malzemeler ile güneş pili verimlerinde başarılı sonuçların elde edilmiş olması ve organik donör ve akseptör moleküller arasında yüksek verimli yük transfer proseslerinin ortaya konması son yıllarda organik güneş pilleri üzerine araştırmaların yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Güneş pillerinde kullanılan organik malzemeler iletken polimerleri, boyaları, pigmentleri ve sıvı kristalleri içermektedir. Bunların içerisinde iletken polimerler, foto fiziksel özellikleri en iyi bilinen ve çalışılan malzemelerdir [28].



Şekil 2.22. Organik güneş pili

2.6. Fotovoltaik Panellerin Çevre Şartlarından Etkilenmeleri

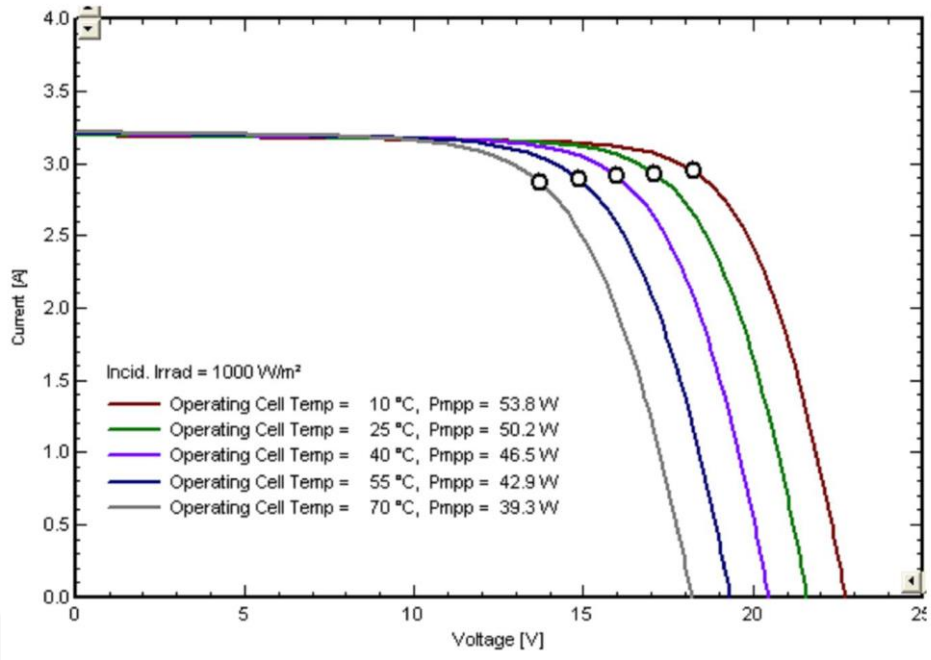
Güneş panellerinin çevre şartlarından etkilenmeleri üzerine birçok çalışma yapılmış ve bazı çözüm önerileri sunulmuştur. Güneş panellerinin enerji üretimini direk olarak etki eden çevresel faktörler şunlardır (önem sırası gözetilmemiştir).

2.6.1.Çevre Sıcaklığının ve Panellerin Yüzey Sıcaklığının Etkisi

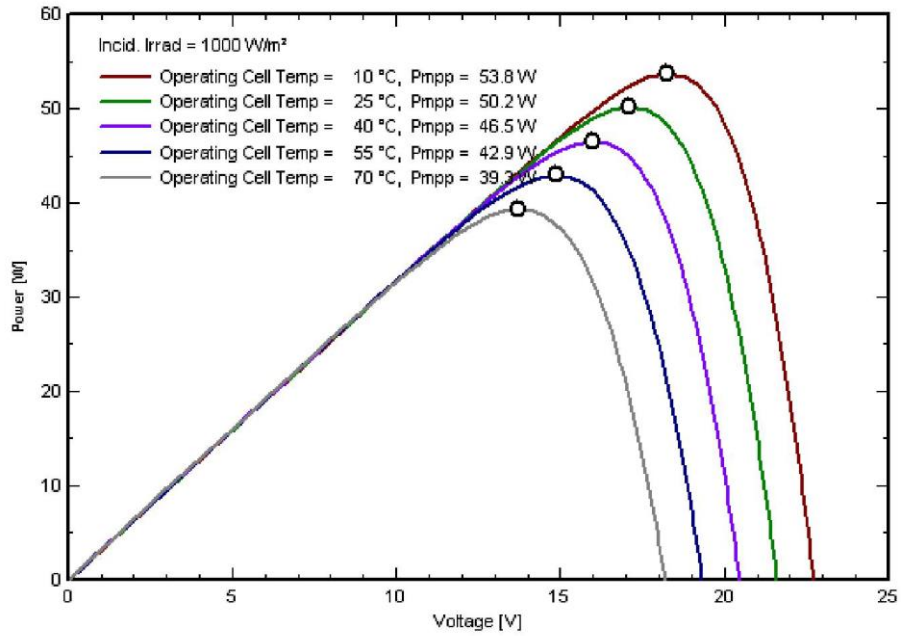
Yapılan çalışmalarda, farklı PV (photovoltaic – Fotovoltaik) panellerde ortam sıcaklığının ve dolayısıyla panel yüzeyindeki sıcaklığın, panelin enerji üretimine etki eden en önemli etkenlerden birisi olduğu vurgulanmıştır. [29,30] Farklı PV sistemlerinde (mono-Si, poly-Si ve a-Si) sıcaklığın güneş panellerindeki enerji üretimi ile lineer bir ilişkiye sahip olduğu ve belirli bir kritik sıcaklığa kadar üretilen enerjinin arttığı, fakat kritik sıcaklıktan (T_c) sonra ise azalmaya başladığı gözlemlenmiştir [31]. Günlük ışıma miktarının 500W/m^2 üzerinde olan yerlerde (Kırıkkale için bu değer 4000W/m^2) sıcaklık etkisinin daha fazla olabileceği matematiksel korelasyonlarla açıklanmaya çalışılmıştır [32,33]. Bazı araştırmacılar güneş panellerinin yüzeylerindeki 10°C (Santigrat derece)'lik bir artışın, güneş panelindeki enerji üretimini %0,45 değerinde azalttığını belirtmişlerdir [34,35]. Bir diğer çalışmada ise; su soğutmalı sistem entegre edilen bir güneş panelinin, su soğutma ile sıcaklığının 20°C 'ye düşürülmesi ile veriminin %9 - %12 arasında arttığı gözlemlenmiştir [36,37].

Güneş ışıınımla elektrik üreten panellerin aşırı ısınması durumunda performanslarının düştüğü gözlenmiştir. Yapılan deneylerde görülmüştür ki her 10°C sıcaklık artışında PV panelin performansı %1 düşmektedir. Bu sorunun panelin arka yüzeyinin havalandırılması ile de çözülebileceği önerilmektedir [23].

Güneş hücreleri sıcaklık değişimlerinde değişmektedir. Sıcaklık değişimi hücrelerden güç çıkışını etkileyecektir. Voltaj büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır ve sıcaklıkta bir artış gerilimin azaltabilir.



Şekil 2.23. Farklı sıcaklıklarda PV modülünün çıkış I-V özellikleri



Şekil 2.24. Farklı sıcaklıklarda PV modülünün P-V özellikleri

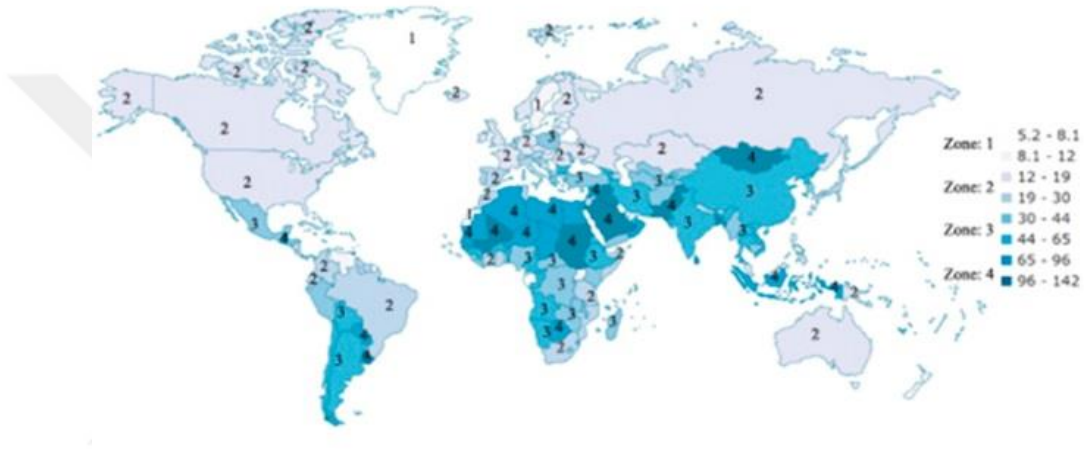
Şekil 2.23'de sabit radyasyonda PV modülünün I-V karakteristiği üzerindeki sıcaklığın etkisini göstermektedir. Düşen sıcaklıkla, PV akımı biraz azalır fakat PV gerilimi açıkça artar. Şekil 2.24'de gösterildiği gibi, fotovoltaik modülün çıkış gücü sıcaklık ile azalmaktadır [38].

2.6.2.Toz, Çamur, Kuş Dışkısı, Yaprak vb. Çevresel Durumların Etkisi

Güneş panellerindeki bir diğer önemli çevresel etken ise panel yüzeyinin toz, çamur, kuş dışkısı, yaprak vb kirlenmesidir (toz, çamur veya kuş dışkısı vb.). Özellikle güneş panellerinin yerleştirildiği bölgenin coğrafi konumu, panel yüzeylerinin kirlenmesi sonucu enerji verimliliğini yüksek oranda etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda; panel yüzeylerinin özellikle tozdan kirlenmesi yüzünden verimlerinin %4 ile %32 aralığında etkilendiği rapor edilmiştir. Bu konuda ilk çalışma 1942 yılında güneş ışınları ile su ısıtma sistemine sahip bir düzenek üzerinde yapılmış ve tozun (güneş panelinin yüzeyindeki kirliliğin) verimi %4,7 azalttığı gözlemlenmiştir. Yarı-iletken teknolojinin ilerlemesi ve güneş panellerinin kullanımı arttıkça çalışmalarda artmıştır. Riyad yakınlarındaki bir güneş köyünde yapılan çalışmada ise 8 ay boyunca temizlik yapılmayan bir panelin veriminin %32 azaldığı gözlemlenmiştir [31]. Bir diğer ilginç çalışmada ise Kuveyt şehrinde sadece 6 gün içerisinde panellerdeki verimin %17 azaldığı rapor edilmiştir [39]. Son yıllarda yapılan bir başka çalışmada ise; toz birikiminin, panelin elektrik karakteristiğini olumsuz yönde değiştirdiğini ortaya koymuştur. Aynı çalışmada; panel yüzeyinde 20 gr/m²'lik bir toz birikiminin panelin kapalı devre akımını %15 - % 20, açık devre gerilimini %2 - % 6 ve verimliliğini ise %15 - % 35 arasında düşürdüğünü ifade etmiştir [40].

Bir başka çalışmada ise; araştırmacılar, panellerin yüzeyindeki toz birikiminin %15 düzeyinde verim kaybına sebep olduğunu ve sadece panellerin yüzeylerindeki birikimin değil aynı zamanda panellerin yerleştirildiği coğrafi konumda atmosferdeki tozlarında güneş ışınlarının saçılmasına sebep olduğunu ve bu yüzden güneş panellerindeki verimleri düşürdüğünü ifade etmişlerdir [41].

Bir güneş panelinin yüzeyine düşecek bir yaprak veya kuş dışkısının panelin elektrik karakteristiğine etkisi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Dorobantu ve çalışma arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada [42]. Panel üzerindeki bir kuş dışkısının termal kameralar ile incelenmesi sonucunda panelin ilgili bölgesinde panel sıcaklığını 100 °C arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bu artışın panelin verimini olumsuz etkileyeceği belirtilmiştir.



Şekil 2.25. Dünya toz haritası

Dünya toz haritası incelendiğinde; Türkiye 3. Kuşakta yer aldığı görülebilir. Bu durum ülkemizde özellikle güneş enerjisi santralleri kurulumunda, uzun yıllar verim alınabilmesi ve yatırımların daha ekonomik olmasını sağlamak için dikkate alınması gereken önemli bir etkidir.

Toz, çap olarak 500 nm'den daha küçük olan katı parçacıklar olarak tanımlanır. Bakteriler ve mantarlar gibi dakika polenleri ve kıyafetlerden, halılardan ve kumaşlardan ayrılan mikro fiberler de yüzeylere yerleştiğinde toz olarak bilinir. Toz birikmesi çeşitli çevresel ve hava koşullarının bir fonksiyonudur. Yaya ve araç aktiviteleri, volkanik patlamalar, kirlilik ve rüzgâr, tozu kaldırabilir ve atmosfere dağıtabilir [43].

Toz çökeltme esas olarak çevre şartlarına (sahaya özgü faktörler, çevresel özellikler ve hava koşulları) ve ayrıca toz özelliklerine (kimyasal özellikler, boyut, şekil, ağırlık vb.) Dayanır. Yüzey kalitesi, eğim açısı, nem ve rüzgâr hızı da toz yerleşimini etkiler [43,44].

2.6.3.Nemin Etkisi

Nem, havadaki su buharı oranı olarak tanımlanmaktadır. Güneş panellerinin çalışma prensibi; güneşten gelen elektromanyetik ışımanın paneldeki yarı-iletken malzemenin fotoelektrik özelliği göstererek gelen ışımanın elektrik enerjisine dönüşmesi şeklindedir. Güneş ışınlarının panele ulaşana kadar çevresel şartlardan etkilenmesi demek panellerdeki verimin değişmesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla panellerin yerleştirildiği bölgedeki nem de panellerin verimini değiştirebilecek bir başka etkidir. Bu konudaki çalışmalar incelendiğinde; özellikle sahil bölgelerinde nem değerindeki dalgalanmaların farklı panel tiplerinde (monokristalin-si, polikristalin-Si ve Amorphus-Si) enerji üretiminde küçük de olsa dalgalanmalara sebep olduğu gösterilmiştir [45]. Bir başka çalışmada ise; laboratuvar ortamında, sıcaklık sabit tutularak farklı nem değerlerinde bir güneş panelinin açık devre gerilimi, kapalı devre akımı ve ürettiği enerji ölçülmüş ve %25’lik bir nem değerinde ürettiği enerji 47.538 wattsaat ölçülürken, %55’lik nem değerinde ise 30.681 wattsaat olarak ölçülmüştür [46]. Özellikle, göl kenarı, deniz kenarı gibi bölgelerde güneş panellerinin verimlerinde nemin bir etken olduğu düşünülebilir.

2.6.4.Kar ve Buz Etkisi

Güneş panellerinin yerleştirildiği bölgenin coğrafi konumuna göre karşılaşılan bir diğer önemli çevresel etken kar ve buzdur. Bu çevresel etkenin güneş panellerinin verimine etkileri; panellerin yerleştirildiği mekanik aksama binen ekstra yük, güneş ışınlarının saçılarak dağılması ve güneş panellerinin yüzeylerinin kaplanması şeklinde özetlenebilir. Bu konu ile ilgili olarak diğer çevresel etkenlere nazaran çok fazla

çalışma yapılmamıştır. Fakat coğrafi konuma göre çok önemli bir etken olabilmektedir. Konu ile ilgili olarak yapılan ilklerden birisi olan çalışmada [47]. 30° eğim ile yerleştirilmiş olan bir panelin üzerindeki kar birikintisinin kalınlığı 2,54 cm (1 inch) üzerinde olursa enerji kaybı %45, 2,54 cm (1 inch) altında olursa enerji kaybı %11 ve 40° eğim ile yerleştirilmiş olan bir panel için ise; kar birikintisinin kalınlığı 2,54 cm (1 inch) üzerinde olursa enerji kaybı %26, 2,54 cm (1 inch) altında olursa enerji kaybı %5 olarak bulunmuştur. Konu ile ilgili olarak yapılan bir diğer çalışmada; panelin yerleştirilme eğiminin yüksek olması karın yüzeye tutulmasını nispeten azaltmış olsa da yüzeydeki cam malzemeye kar tanelerinin yapışma eğiliminin yüksek olduğu belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada laboratuvar ortamında yapılan denemelerde 900'lik bir eğimin bile çok düşük sıcaklıklarda kar tanelerinin yapışmasını engellemediğini göstermiştir [48].

2.6.5.Rüzgâr Hızının PV Hücre Performansı Üzerine Etkisi

Daha önce belirtildiği gibi, PV hücre performansı hücre sıcaklığına keskin bir şekilde duyarlıdır. PV hücre sıcaklığı, hava değişkenleri (ortam sıcaklığı, rüzgâr, vb.), Güneş ışınlaması, hücre materyali ve sisteme bağlı özellikler (cam kapak geçirgenliği, plaka emme, vb.) Gibi farklı parametrelerin bir fonksiyonudur [49].

2.6.6.Gölgelenmenin PV Hücre Performansı Üzerine Etkisi

Fotovoltaik panellerin gölgede kalması modül verimliliğini etkilemektedir. Gölgeye neden olan etkenler çatıdaki antenler, ormanlık araziler, ağaç dallar dağlar ,yüksek binalar gibi çevresel etkenlerdir. Hücre üzerindeki küçük de olsa bir gölgelenme verimliliğe önemli ölçüde etkiler. Bir hücredeki gölgelenme diğer dizelerde ki hücrelerin performansını da önemli ölçüde etkiler. Dış etkenlerden kaynaklan gölgelenmenin yanı sıra aynı dizede ki modül sırası öndeki modül sırası tarafından gölgelenebilir bu da verimliliğe etki eder [18]. Bu nedenle PV modülün güneş ışınını aldığı güney cephesinde gölge oluşturacak herhangi bir engel bulunmamasına dikkat edilmelidir [23].

3. ARAşTIRMA BULGULARI

3.1. Kırıkkale İli Meteorolojik Sıcaklık Verileri

Bu tez çalışmasında kullanılan Kırıkkale iline ait Aralık ve Temmuz 2017 ayları için, gün/saat sıcaklık değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir (izelge 3.1 ve izelge 3.2) Bu veriler Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kırıkkale-İli 17135 numaralı istasyondan alınmıştır.



Çizelge 3.1. Kırıkkale İline Ait Aralık 2017 Ayına Ait Gün/Saat Sıcaklık Değerleri (°C)

Gün/Saat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1.5	1.2	1.3	0.6	0.6	1.5	1.0	2.2	3.8	6.7	8.9	11.0	11.2	12.2	10.7	9.2	8.1	6.5	5.8	5.1	4.1	3.5	3.0	2.2
2	2.0	1.6	1.2	1.4	0.7	0.3	0.4	1.7	2.9	5.4	6.4	9.2	11.0	12.1	10.0	8.9	7.2	6.1	5.7	5.1	4.7	3.8	3.6	2.9
3	2.1	1.9	1.2	1.4	0.9	0.3	0.7	2.8	4.7	8.0	10.0	11.7	12.1	13.1	11.2	9.8	8.4	7.5	6.7	6.2	5.3	4.6	3.7	3.3
4	3.1	3.0	3.0	2.9	2.5	2.1	2.5	3.0	5.5	8.2	10.2	12.2	13.9	12.1	11.8	10.9	11.0	10.3	9.9	9.8	8.9	9.1	9.0	9.0
5	7.5	7.9	9.3	7.9	6.5	6.2	6.1	6.2	6.7	5.6	4.6	5.3	5.2	5.2	4.8	4.4	4.1	3.8	3.9	3.3	2.8	2.5	2.0	0.9
6	0.9	1.0	1.0	1.0	1.3	0.8	1.2	1.6	2.0	2.8	3.1	3.5	3.8	3.7	2.8	1.3	0.7	0.3	-0.3	-0.4	-1.2	-1.7	-2.5	-3.3
7	-3.3	-2.4	-1.7	-1.3	-1.7	-1.6	-1.4	0.0	1.2	2.8	4.4	4.8	4.6	3.8	3.6	3.5	3.5	3.3	3.4	3.3	3.4	3.2	2.9	2.6
8	2.0	1.2	0.5	0.0	-0.4	-0.6	-0.4	1.4	2.7	4.2	5.1	6.2	6.8	6.8	5.9	4.3	3.6	2.8	2.7	2.2	1.4	0.0	-0.6	-1.2
9	-0.9	-1.7	-2.4	-2.4	-2.4	-2.7	-2.3	0.2	2.7	4.2	4.6	6.1	7.3	8.2	8.0	6.3	4.6	3.9	1.9	1.9	1.3	0.4	0.1	0.2
10	-0.5	0.7	2.8	1.9	2.0	2.4	3.1	5.2	6.4	7.8	9.6	10.9	12.3	11.3	11.4	11.1	10.6	10.5	9.8	9.7	8.7	8.3	7.7	7.3
11	6.7	6.6	6.5	5.9	5.7	6.0	5.9	7.6	8.7	10.1	11.3	11.8	13.8	14.3	12.8	10.5	9.5	8.2	6.5	4.5	3.7	3.0	2.3	2.0
12	1.4	1.4	1.2	0.4	0.4	0.6	0.0	1.9	5.3	7.0	8.3	9.9	11.7	11.8	10.7	9.2	7.1	6.1	5.2	4.5	4.0	3.0	2.4	2.0
13	1.9	1.8	1.3	1.2	1.3	1.0	0.9	1.8	2.3	3.5	4.5	7.7	10.4	11.3	10.5	8.4	5.9	5.1	4.0	3.5	2.6	1.7	1.6	1.1
14	1.2	1.3	0.3	0.8	1.7	0.6	0.8	2.3	5.6	7.4	7.1	7.3	7.9	8.5	7.8	6.7	5.0	4.0	2.9	2.0	1.3	0.9	0.2	0.2
15	0.4	0.4	0.6	0.5	0.2	0.3	0.2	0.3	0.8	1.8	1.9	2.5	3.9	4.3	4.0	3.4	3.4	3.1	2.8	2.7	2.7	2.5	2.2	1.3
16	0.3	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.3	0.6	1.3	2.6	3.5	5.5	7.2	7.1	6.5	5.0	4.3	3.4	3.0	3.1	3.0	3.1	2.8	2.7
17	2.2	1.7	1.8	1.9	2.1	2.5	3.0	3.6	4.8	7.3	9.6	11.0	12.6	12.5	12.0	10.9	9.3	8.1	7.9	9.9	10.1	9.9	9.8	9.1
18	9.2	9.2	8.9	8.3	8.6	8.5	8.7	8.9	9.0	10.0	9.7	9.3	10.1	10.4	9.8	9.0	8.7	8.7	8.7	8.0	8.0	7.2	7.0	6.7
19	6.7	6.5	6.1	5.7	5.1	5.3	4.1	4.7	5.5	7.5	10.1	10.2	10.3	10.1	9.5	8.8	7.4	6.7	6.1	5.5	5.3	4.9	5.1	4.8
20	5.1	4.7	5.0	4.8	5.1	4.9	5.1	5.8	6.9	7.8	8.7	9.0	9.1	8.6	8.4	7.4	7.2	6.8	6.5	6.2	5.9	5.4	5.3	5.2
21	5.4	5.5	5.4	5.1	4.9	4.6	4.7	4.8	5.2	5.5	5.9	6.4	6.9	6.8	6.6	6.2	5.5	5.3	5.1	5.0	4.9	5.0	4.6	4.6

Çizelge 3.1. (Devam) Kırıkkale İline Ait Aralık 2017 Ayına Ait Gün/Saat Sıcaklık Değerleri (°C)

Gün/Saat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
22	4.7	4.8	4.7	4.7	4.9	4.8	4.9	5.0	5.5	6.2	6.2	6.6	6.7	6.3	6.3	5.7	5.4	5.1	4.7	4.6	4.7	4.2	4.2	4.1
23	4.2	4.0	3.5	3.8	3.5	3.2	3.6	4.1	5.4	7.9	7.9	6.6	6.4	4.9	3.7	3.5	3.0	2.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
24	0.2	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.2	0.6	1.3	2.2	2.1	2.5	2.5	2.5	1.9	1.4	0.3	-0.3	-0.8	-1.5	-2.1	-2.6	-2.5	-3.0
25	-3.4	-4.0	-4.1	-4.6	-4.7	-5.0	-5.3	-3.2	-1.4	0.2	1.6	2.0	3.6	3.3	2.7	1.1	0.3	0.2	-0.2	-0.5	-1.2	-2.4	-3.6	-3.8
26	-4.1	-4.4	-5.0	-5.0	-5.0	-4.8	-3.9	-2.7	-1.9	-1.3	-1.6	-1.6	-2.0	-1.9	-2.0	-1.9	-1.9	-2.1	-2.1	-2.2	-2.6	-2.7	-3.4	-3.5
27	-3.8	-3.9	-3.9	-4.2	-4.3	-4.3	-4.6	-4.7	-4.5	-3.8	-3.6	-3.2	-2.6	-2.6	-2.1	-2.4	-2.3	-2.6	-2.8	-3.2	-4.1	-4.3	-4.4	-4.7
28	-5.0	-5.3	-5.2	-5.5	-5.7	-6.0	-5.9	-6.0	-5.5	-4.7	-4.0	-3.3	-1.7	-2.2	-2.2	-2.3	-2.2	-1.9	-1.9	-2.0	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2
29	-2.2	-2.5	-2.5	-2.2	-2.5	-2.7	-2.9	-2.9	-2.7	-1.8	-1.4	-0.3	0.3	0.9	1.3	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.5	-0.5	-0.2
30	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.5	-0.2	0.6	1.9	3.5	6.2	9.0	8.6	9.3	9.3	7.6	6.7	5.3	5.1	5.4	6.6	6.2	5.5	5.3
31	5.4	5.6	5.3	4.5	3.5	3.3	3.6	4.4	4.9	6.0	7.3	7.9	8.5	8.2	7.7	7.2	6.8	6.3	6.1	5.7	5.4	4.7	3.9	

Çizelge 3.2. Kırıkkale İline Ait Temmuz 2017 Ayına Ait Gün/Saat Sıcaklık Değerleri (°C)

Gün/Saat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	23.3	22.5	20.7	20.5	23.8	25.3	28.1	29.2	30.6	32.0	32.8	33.3	34.4	34.7	34.7	34.3	33.8	32.3	30.1	28.3	27.0	25.9	25.1	22.6
2	21.0	20.4	18.8	18.5	20.2	23.5	26.9	28.6	30.7	31.9	33.3	34.7	36.2	36.4	37.9	38.3	37.5	35.4	31.4	29.5	26.8	25.0	23.5	22.4
3	20.2	20.1	18.7	18.3	20.3	22.9	26.2	29.3	31.9	35.2	37.3	38.0	38.4	38.6	39.9	40.1	39.2	36.8	33.3	31.6	28.5	27.3	25.4	24.2
4	23.7	23.2	23.8	23.1	23.8	26.3	28.7	30.7	31.7	33.0	33.2	33.5	34.1	32.6	31.4	29.8	27.7	24.5	23.1	21.6	21.0	20.8	20.5	20.3
5	19.8	19.3	19.5	19.5	19.8	20.4	21.5	23.7	25.1	25.6	27.1	27.4	28.4	29.3	29.2	28.9	28.0	26.3	24.1	21.7	20.1	19.0	18.6	18.0
6	17.4	16.6	16.0	15.4	17.1	18.8	19.8	20.4	21.6	23.5	24.7	25.2	26.6	26.5	26.8	27.0	26.2	24.3	22.0	20.4	19.3	18.4	17.9	17.3
7	16.5	15.7	14.7	14.0	15.6	18.0	20.3	21.3	22.9	24.5	25.8	26.9	27.8	27.4	28.4	28.1	27.2	25.5	24.1	22.9	21.6	20.5	19.0	17.7
8	17.4	17.2	15.7	15.6	17.1	19.3	20.7	21.3	22.6	23.9	24.7	26.2	27.0	27.4	28.0	27.7	27.7	26.6	24.9	23.9	22.2	21.2	20.3	19.0
9	17.5	16.7	15.6	15.0	16.6	18.5	20.4	22.1	23.9	25.7	26.8	28.5	29.6	30.2	30.8	30.7	30.3	29.0	27.0	26.1	25.1	23.3	22.3	20.4
10	19.4	18.7	17.9	17.4	19.1	21.1	23.5	25.0	26.7	27.8	29.2	30.2	30.3	31.0	30.9	30.8	30.3	29.3	27.5	26.1	24.6	23.5	22.1	21.5
11	19.9	19.2	18.2	17.9	19.5	21.6	23.5	25.1	27.1	29.0	30.2	30.7	31.9	32.8	32.3	32.4	31.8	30.5	28.5	26.8	25.8	24.6	23.5	21.7
12	20.5	19.7	19.2	18.3	19.5	21.8	23.9	26.3	28.2	29.9	30.6	32.1	33.4	34.1	34.2	34.0	33.1	31.4	29.5	27.6	27.0	25.6	22.9	21.6
13	19.9	19.5	18.9	18.2	19.3	21.9	24.4	27.2	28.4	30.2	32.0	33.3	33.9	34.1	34.5	34.4	34.1	32.3	30.6	29.3	27.2	25.5	23.0	22.2
14	21.3	19.6	19.1	18.9	19.2	22.6	25.4	28.1	29.5	31.4	31.6	31.9	33.8	33.9	33.8	33.1	31.6	30.2	28.3	26.8	26.0	24.9	23.6	22.7
15	21.7	20.3	19.8	18.9	20.1	22.4	24.1	26.6	28.1	29.7	30.8	32.0	33.3	34.1	34.0	33.7	33.0	29.5	24.9	25.1	22.8	22.5	20.9	20.6
16	20.0	21.0	19.5	19.4	20.0	21.7	23.3	25.6	26.8	28.7	30.5	31.9	32.0	33.4	33.9	34.5	32.0	28.1	26.8	25.1	22.7	21.2	20.8	20.7
17	20.5	20.0	19.8	19.3	20.7	22.2	24.0	26.5	28.2	29.7	30.9	32.5	33.6	34.6	35.3	35.4	34.5	32.8	31.2	29.5	28.6	27.3	25.6	24.3
18	23.4	22.4	22.0	21.3	22.4	24.3	26.0	28.0	29.7	31.2	32.7	34.1	35.4	36.9	35.7	35.4	34.2	32.5	28.4	26.4	25.5	24.4	24.2	23.8
19	23.0	22.6	22.4	22.2	22.5	23.0	23.7	26.8	26.6	28.5	29.6	29.3	30.1	30.4	30.4	29.7	29.9	28.1	26.2	24.5	23.8	22.7	22.1	21.5
20	20.7	20.0	19.6	19.3	20.1	21.4	22.8	23.8	25.1	26.5	27.9	29.4	30.7	30.1	30.1	30.6	30.2	28.9	26.9	25.1	23.7	22.6	22.0	21.4

Çizelge 3.2. (Devam) Kırıkkale İline Ait Temmuz 2017 Ayına Ait Gün/Saat Sıcaklık Değerleri (°C)

Gün/Saat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
21	20.8	19.7	18.9	18.4	19.8	21.6	23.6	25.1	26.7	28.8	29.8	31.3	32.1	32.5	32.7	32.3	31.7	30.4	28.8	27.6	26.2	25.3	24.4	23.1
22	22.1	21.1	20.7	20.2	21.3	24.1	25.0	27.0	29.2	28.9	29.5	32.1	32.7	32.7	27.9	25.1	27.0	26.5	25.6	24.9	24.4	24.2	22.5	21.8
23	20.4	19.5	18.8	18.5	19.9	22.4	23.5	25.0	27.2	27.9	29.0	30.1	30.7	31.6	31.1	31.0	30.7	29.3	27.8	26.4	25.3	24.1	23.2	22.1
24	21.0	20.2	19.3	18.7	19.7	22.1	23.7	25.4	26.9	28.2	28.9	29.5	30.6	31.0	31.2	30.9	30.1	28.7	27.1	25.6	24.6	23.4	22.4	21.8
25	20.1	18.9	18.8	18.1	18.8	21.4	23.1	25.3	26.8	28.3	29.8	32.0	32.7	33.2	33.8	33.5	32.9	31.4	29.1	26.7	25.8	24.3	22.0	22.7
26	21.3	20.7	19.9	19.3	20.2	22.4	26.1	28.6	30.9	32.1	33.5	35.3	36.7	37.6	37.9	37.4	36.3	34.0	31.4	30.0	27.8	26.3	24.6	23.6
27	22.4	22.3	21.1	20.1	21.4	23.6	28.4	30.8	33.0	34.5	35.7	36.9	37.5	38.1	38.8	38.3	37.8	35.3	32.1	30.9	29.5	28.1	27.8	27.2
28	25.8	24.5	23.5	23.4	23.8	25.5	26.2	27.5	28.7	29.0	29.2	30.2	30.1	31.2	29.0	27.8	25.6	24.9	24.6	24.2	23.4	22.4	21.5	20.5
29	19.4	18.6	17.2	16.7	17.9	19.7	22.1	23.0	24.1	26.0	27.0	27.0	29.1	29.9	29.5	29.9	29.2	27.6	26.5	24.8	23.5	22.5	21.8	20.9
30	20.0	19.3	18.6	18.0	18.8	21.1	22.7	24.1	25.2	26.8	27.3	28.7	29.2	29.9	30.1	30.0	29.4	28.1	26.6	24.4	22.6	21.2	20.2	19.5
31	18.3	17.6	16.7	16.2	17.5	19.7	21.7	23.3	24.1	25.5	26.9	28.9	29.4	30.3	30.3	29.8	28.0	25.8	24.1	22.4	21.1	20.0	19.5	19.1

Çizelge 3.3. Kırıkkale İline Ait Günlük Güneşlenme Süresi (Saat)

Gün/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0.6	9.0	4.2	8.5	6.9	8.0	13.5	12.2	10.4	1.4	8.2	5.8
2	0.0	9.2	3.9	9.6	5.9	7.7	12.6	12.9	10.8	0.0	8.0	4.6
3	0.0	9.2	6.9	11.9	9.6	12.9	12.4	10.3	11.1	5.6	7.9	6.1
4	0.1	0.0	4.2	10.8	9.4	8.8	12.1	3.0	8.4	4.4	4.7	5.2
5	0.0	0.8	9.8	6.9	9.6	9.9	7.9	6.3	9.0	7.9	0.0	0.0
6	7.3	4.3	9.7	4.0	5.1	8.8	12.3	7.0	3.7	7.6	0.6	2.7
7	0.0	7.2	8.6	5.2	5.9	13.8	9.1	8.1	11.0	7.9	5.6	3.8
8	0.0	0.0	8.1	1.7	6.7	11.6	10.8	10.9	10.8	3.2	8.0	6.5
9	0.1	7.0	6.9	4.8	5.5	10.9	12.7	11.6	9.5	0.3	4.4	5.9
10	1.5	5.4	0.0	8.4	8.8	8.0	10.1	11.0	10.1	5.2	7.7	6.0
11	8.1	0.5	1.9	7.2	11.3	7.8	10.7	10.7	10.0	5.6	7.3	6.2
12	1.9	1.9	0.0	2.8	10.9	11.3	10.4	7.2	10.3	7.6	5.3	6.7
13	8.6	2.3	0.4	0.0	8.3	13.6	8.4	8.6	9.2	6.3	1.7	3.6
14	6.0	4.7	0.0	9.9	11.5	8.0	10.6	7.4	7.9	6.3	6.0	2.5
15	6.3	0.0	0.9	8.5	6.2	5.1	8.6	8.7	7.5	6.1	7.6	1.6
16	1.8	7.4	3.1	9.2	10.1	11.6	8.6	7.2	9.4	4.1	7.8	3.5
17	3.7	8.6	1.2	9.4	3.8	11.3	9.1	6.7	9.5	7.5	7.9	0.8
18	0.1	9.1	9.0	2.2	9.5	5.6	11.3	4.1	8.5	7.9	5.8	0.2
19	0.0	8.3	5.0	11.6	1.2	0.9	3.3	5.1	7.2	8.1	4.0	1.1
20	0.0	9.0	8.9	9.0	4.4	0.9	7.5	9.9	1.3	7.9	1.2	1.4
21	3.9	3.5	6.1	0.0	5.7	1.5	12.7	8.8	2.3	8.4	0.0	0.0
22	5.6	0.3	11.0	1.0	4.6	8.7	8.7	7.6	1.7	8.1	5.6	0.0
23	5.1	0.6	10.8	3.7	7.2	11.4	11.8	9.3	3.0	7.4	0.0	0.6
24	1.8	9.5	11.3	4.4	12.5	12.3	10.2	8.7	3.7	3.9	1.6	0.5
25	0.0	9.5	10.8	12.8	12.7	13.8	5.9	9.8	2.7	0.0	7.7	7.4
26	4.1	0.7	10.3	12.8	2.9	9.8	11.2	8.7	4.6	4.2	7.3	0.0
27	6.9	6.2	4.4	12.8	6.7	11.0	9.1	6.3	4.7	4.6	2.4	0.0
28	2.2	6.6	11.2	9.6	4.7	12.2	8.5	8.2	2.8	3.0	0.0	0.4
29	6.1		10.8	12.8	11.4	13.6	7.2	9.0	5.7	0.0	5.7	0.0
30	5.0		7.7	11.7	6.5	10.2	6.5	8.0	4.0	0.8	7.5	4.6
31	8.7		2.1		4.1		10.7	6.4		6.5		0.1

Çizelge 3.4. Kırıkkale İline Ait Günlük Toplam Küresel Güneş Radyasyonu
(kWSaat/m²)

Gün/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	203.7	514.8	250.6	449.3	427.5	508.4	722.9	638.2	577.1	150.7	322.7	198.6
2	237.3	520.4	244.6	487.7	388.9	488.0	636.5	574.7	532.7	18.0	315.0	179.9
3	290.4	524.6	321.5	599.2	590.7	710.6	623.3	537.4	571.3	143.8	311.1	194.7
4	266.9	336.2	252.6	564.2	594.3	503.3	592.3	249.8	566.1	50.5	220.3	172.4
5	235.6	326.9	445.6	342.9	602.3	511.3	562.0	431.4	501.5	356.8	49.6	33.9
6	409.8	464.5	435.1	315.9	369.1	502.3	583.2	370.5	205.4	183.1	107.3	127.0
7	240.6	423.9	331.3	314.8	431.9	725.8	524.8	416.6	430.0	342.3	231.8	97.8
8	32.7	297.2	391.2	201.9	491.6	646.0	656.9	624.8	534.3	159.2	280.3	193.5
9	105.7	422.5	312.0	342.1	297.7	630.0	723.9	596.1	469.5	29.3	200.0	159.3
10	256.2	487.1	74.2	410.1	530.0	594.3	631.4	549.1	489.6	250.6	251.1	212.8
11	433.1	311.2	208.8	620.5	639.7	460.1	713.2	590.6	491.2	202.4	252.1	199.3
12	336.4	359.1	96.5	250.1	522.1	606.3	420.5	326.1	502.1	286.4	229.5	194.1
13	478.0	413.3	12.1	118.9	379.2	727.5	271.3	470.9	370.0	152.2	137.6	121.8
14	423.8	486.1	113.0	556.7	642.0	440.1	592.5	379.9	435.6	110.6	216.2	128.1
15	403.5	333.9	187.3	513.1	480.5	447.7	549.8	323.3	456.3	235.5	231.4	82.5
16	350.9	575.8	247.4	512.4	596.7	550.9	562.7	420.3	425.6	198.0	244.1	124.3
17	407.1	477.0	135.8	526.4	383.1	682.5	526.2	470.9	379.8	346.9	248.4	100.8
18	305.1	608.2	499.7	265.6	596.7	435.5	656.8	442.4	430.9	347.4	185.8	46.7
19	307.4	581.0	274.4	539.4	233.7	234.8	329.9	364.7	370.0	334.5	155.1	100.7
20	284.7	615.3	469.6	527.5	376.4	249.1	443.1	510.8	53.1	324.0	94.6	112.1
21	384.9	398.7	339.8	29.2		222.0	688.3	503.0	217.4	349.0	46.7	63.4
22	390.5	405.3	537.4	247.0		359.8	463.8	279.1	188.4	338.8	224.3	38.5
23	422.4	333.3	528.9	248.7		695.7	636.7	486.8	283.9	276.7	25.4	62.9
24	353.6	400.0	548.2	295.9		727.5	670.6	479.2	177.7	230.1	134.4	102.2
25	293.3	386.3	512.9	687.3		651.6	354.6	588.4	362.1	80.4	231.4	244.0
26	402.9	131.5	491.2	602.3	162.8	407.3	624.6	574.7	256.2	104.0	208.4	55.7
27	549.1	276.7	278.0	675.1	488.1	642.4	466.3	435.1	430.4	170.3	136.2	66.0
28	351.7	324.7	533.9	498.5	350.7	610.3	564.1	461.5	242.4	196.5	48.4	101.6
29	365.0		462.1	671.7	671.1	731.7	477.0	530.8	356.9	19.0	216.7	78.9
30	418.5		431.1	620.8	357.4	386.9	398.1	483.6	118.5	39.3	232.3	163.8
31	517.5		244.3		291.2		590.6	477.3		176.1		88.1

Çizelge 3.5. Kırıkkale İline Ait Günlük Güneşlenme Süresi (saat)

Gün/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0.6	9.0	4.2	8.5	6.9	8.0	13.5	12.2	10.4	1.4	8.2	5.8
2	0.0	9.2	3.9	9.6	5.9	7.7	12.6	12.9	10.8	0.0	8.0	4.6
3	0.0	9.2	6.9	11.9	9.6	12.9	12.4	10.3	11.1	5.6	7.9	6.1
4	0.1	0.0	4.2	10.8	9.4	8.8	12.1	3.0	8.4	4.4	4.7	5.2
5	0.0	0.8	9.8	6.9	9.6	9.9	7.9	6.3	9.0	7.9	0.0	0.0
6	7.3	4.3	9.7	4.0	5.1	8.8	12.3	7.0	3.7	7.6	0.6	2.7
7	0.0	7.2	8.6	5.2	5.9	13.8	9.1	8.1	11.0	7.9	5.6	3.8
8	0.0	0.0	8.1	1.7	6.7	11.6	10.8	10.9	10.8	3.2	8.0	6.5
9	0.1	7.0	6.9	4.8	5.5	10.9	12.7	11.6	9.5	0.3	4.4	5.9
10	1.5	5.4	0.0	8.4	8.8	8.0	10.1	11.0	10.1	5.2	7.7	6.0
11	8.1	0.5	1.9	7.2	11.3	7.8	10.7	10.7	10.0	5.6	7.3	6.2
12	1.9	1.9	0.0	2.8	10.9	11.3	10.4	7.2	10.3	7.6	5.3	6.7
13	8.6	2.3	0.4	0.0	8.3	13.6	8.4	8.6	9.2	6.3	1.7	3.6
14	6.0	4.7	0.0	9.9	11.5	8.0	10.6	7.4	7.9	6.3	6.0	2.5
15	6.3	0.0	0.9	8.5	6.2	5.1	8.6	8.7	7.5	6.1	7.6	1.6
16	1.8	7.4	3.1	9.2	10.1	11.6	8.6	7.2	9.4	4.1	7.8	3.5
17	3.7	8.6	1.2	9.4	3.8	11.3	9.1	6.7	9.5	7.5	7.9	0.8
18	0.1	9.1	9.0	2.2	9.5	5.6	11.3	4.1	8.5	7.9	5.8	0.2
19	0.0	8.3	5.0	11.6	1.2	0.9	3.3	5.1	7.2	8.1	4.0	1.1
20	0.0	9.0	8.9	9.0	4.4	0.9	7.5	9.9	1.3	7.9	1.2	1.4
21	3.9	3.5	6.1	0.0	5.7	1.5	12.7	8.8	2.3	8.4	0.0	0.0
22	5.6	0.3	11.0	1.0	4.6	8.7	8.7	7.6	1.7	8.1	5.6	0.0
23	5.1	0.6	10.8	3.7	7.2	11.4	11.8	9.3	3.0	7.4	0.0	0.6
24	1.8	9.5	11.3	4.4	12.5	12.3	10.2	8.7	3.7	3.9	1.6	0.5
25	0.0	9.5	10.8	12.8	12.7	13.8	5.9	9.8	2.7	0.0	7.7	7.4
26	4.1	0.7	10.3	12.8	2.9	9.8	11.2	8.7	4.6	4.2	7.3	0.0
27	6.9	6.2	4.4	12.8	6.7	11.0	9.1	6.3	4.7	4.6	2.4	0.0
28	2.2	6.6	11.2	9.6	4.7	12.2	8.5	8.2	2.8	3.0	0.0	0.4
29	6.1		10.8	12.8	11.4	13.6	7.2	9.0	5.7	0.0	5.7	0.0
30	5.0		7.7	11.7	6.5	10.2	6.5	8.0	4.0	0.8	7.5	4.6
31	8.7		2.1		4.1		10.7	6.4		6.5		0.1

Çizelge 3.6. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı Kırıkkale İli Yahşihan İlçesi
Yıllık Güneş Doğuş- Batış Zamanları 2017 Yılı İçin

Günler	Ocak	Ocak	Şubat	Şubat	Mart	Mart	Nisan	Nisan	Mayıs	Mayıs	Haziran	Haziran	Temmuz	Temmuz	Ağustos	Ağustos	Eylül	Eylül	Ekim	Ekim	Kasım	Kasım	Aralık	Aralık
	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.		Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.	Gün. Doğ.	Gün. Bat.
	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.	Sa. Dak.
1	7:04	16:36	6:51	17:09	6:15	17:42	5:26	18:15	4:42	18:45	4:16	19:13	4:18	19:23	4:41	19:03	5:10	18:21	5:39	17:32	6:11	16:48	6:45	16:26
2	7:04	16:36	6:50	17:10	6:14	17:44	5:25	18:16	4:41	18:46	4:15	19:13	4:18	19:22	4:42	19:02	5:11	18:20	5:40	17:31	6:12	16:47	6:46	16:26
3	7:04	16:37	6:49	17:11	6:12	17:45	5:23	18:17	4:40	18:47	4:15	19:14	4:19	19:22	4:43	19:01	5:12	18:18	5:41	17:29	6:14	16:46	6:47	16:26
4	7:04	16:38	6:48	17:12	6:11	17:46	5:21	18:18	4:39	18:48	4:15	19:15	4:19	19:22	4:44	19:00	5:13	18:17	5:42	17:28	6:15	16:45	6:48	16:25
5	7:04	16:39	6:47	17:14	6:09	17:47	5:20	18:19	4:38	18:49	4:14	19:15	4:20	19:22	4:45	18:59	5:14	18:15	5:43	17:26	6:16	16:43	6:49	16:25
6	7:04	16:40	6:46	17:15	6:08	17:48	5:18	18:20	4:37	18:50	4:14	19:16	4:20	19:21	4:46	18:58	5:15	18:13	5:44	17:24	6:17	16:42	6:49	16:25
7	7:04	16:41	6:45	17:16	6:06	17:49	5:17	18:21	4:35	18:51	4:14	19:17	4:21	19:21	4:47	18:57	5:16	18:12	5:45	17:23	6:18	16:41	6:50	16:25
8	7:04	16:42	6:44	17:17	6:05	17:50	5:15	18:22	4:34	18:52	4:14	19:17	4:22	19:21	4:48	18:56	5:17	18:10	5:46	17:21	6:19	16:40	6:51	16:25
9	7:04	16:43	6:43	17:18	6:03	17:51	5:14	18:23	4:33	18:53	4:14	19:18	4:22	19:20	4:49	18:54	5:18	18:09	5:47	17:20	6:20	16:39	6:52	16:25
10	7:04	16:44	6:42	17:20	6:02	17:52	5:12	18:24	4:32	18:54	4:13	19:18	4:23	19:20	4:50	18:53	5:19	18:07	5:48	17:18	6:22	16:38	6:53	16:25
11	7:03	16:45	6:41	17:21	6:00	17:53	5:10	18:25	4:31	18:55	4:13	19:19	4:24	19:20	4:50	18:52	5:20	18:05	5:49	17:17	6:23	16:38	6:54	16:25
12	7:03	16:46	6:40	17:22	5:58	17:54	5:09	18:26	4:30	18:56	4:13	19:19	4:24	19:19	4:51	18:50	5:21	18:04	5:50	17:15	6:24	16:37	6:54	16:26
13	7:03	16:47	6:39	17:23	5:57	17:55	5:07	18:27	4:29	18:57	4:13	19:20	4:25	19:19	4:52	18:49	5:22	18:02	5:51	17:14	6:25	16:36	6:55	16:26
14	7:03	16:48	6:37	17:24	5:55	17:56	5:06	18:28	4:28	18:58	4:13	19:20	4:26	19:18	4:53	18:48	5:22	18:00	5:52	17:12	6:26	16:35	6:56	16:26
15	7:02	16:49	6:36	17:25	5:54	17:57	5:04	18:29	4:27	18:59	4:13	19:20	4:27	19:18	4:54	18:46	5:23	17:59	5:53	17:11	6:27	16:34	6:57	16:26
16	7:02	16:50	6:35	17:27	5:52	17:58	5:03	18:30	4:26	19:00	4:13	19:21	4:27	19:17	4:55	18:45	5:24	17:57	5:54	17:09	6:28	16:33	6:57	16:27

Çizelge 3.6. (Devam) Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı Kırıkkale İli
Yahşihan İlçesi Yıllık Güneş Doğuş- Batış Zamanları 2017 Yılı İçin

17	7:01	16:51	6:34	17:28	5:50	17:59	5:01	18:31	4:25	19:00	4:13	19:21	4:28	19:16	4:56	18:44	5:25	17:55	5:55	17:08	6:30	16:33	6:58	16:27
18	7:01	16:52	6:32	17:29	5:49	18:00	5:00	18:32	4:25	19:01	4:14	19:21	4:29	19:16	4:57	18:42	5:26	17:54	5:56	17:06	6:31	16:32	6:59	16:27
19	7:01	16:53	6:31	17:30	5:47	18:01	4:59	18:33	4:24	19:02	4:14	19:22	4:30	19:15	4:58	18:41	5:27	17:52	5:57	17:05	6:32	16:31	6:59	16:28
20	7:00	16:55	6:30	17:31	5:46	18:03	4:57	18:34	4:23	19:03	4:14	19:22	4:31	19:14	4:59	18:39	5:28	17:50	5:58	17:03	6:33	16:31	7:00	16:28
21	6:59	16:56	6:28	17:32	5:44	18:04	4:56	18:35	4:22	19:04	4:14	19:22	4:31	19:14	5:00	18:38	5:29	17:49	5:59	17:02	6:34	16:30	7:00	16:29
22	6:59	16:57	6:27	17:34	5:42	18:05	4:54	18:36	4:22	19:05	4:14	19:22	4:32	19:13	5:01	18:37	5:30	17:47	6:00	17:01	6:35	16:29	7:01	16:29
23	6:58	16:58	6:25	17:35	5:41	18:06	4:53	18:37	4:21	19:06	4:15	19:22	4:33	19:12	5:02	18:35	5:31	17:45	6:01	16:59	6:36	16:29	7:01	16:30
24	6:58	16:59	6:24	17:36	5:39	18:07	4:52	18:38	4:20	19:07	4:15	19:23	4:34	19:11	5:03	18:34	5:32	17:44	6:02	16:58	6:37	16:28	7:02	16:30
25	6:57	17:00	6:23	17:37	5:37	18:08	4:50	18:39	4:20	19:07	4:15	19:23	4:35	19:10	5:04	18:32	5:33	17:42	6:03	16:57	6:38	16:28	7:02	16:31
26	6:56	17:02	6:21	17:38	5:36	18:09	4:49	18:40	4:19	19:08	4:16	19:23	4:36	19:09	5:05	18:31	5:34	17:41	6:05	16:55	6:40	16:28	7:02	16:32
27	6:55	17:03	6:20	17:39	5:34	18:10	4:48	18:41	4:18	19:09	4:16	19:23	4:37	19:08	5:06	18:29	5:35	17:39	6:06	16:54	6:41	16:27	7:03	16:32
28	6:55	17:04	6:18	17:40	5:33	18:11	4:46	18:42	4:18	19:10	4:16	19:23	4:37	19:08	5:07	18:28	5:36	17:37	6:07	16:53	6:42	16:27	7:03	16:33
29	6:54	17:05	6:17	17:41	5:31	18:12	4:45	18:43	4:17	19:11	4:17	19:23	4:38	19:07	5:07	18:26	5:37	17:36	6:08	16:52	6:43	16:26	7:03	16:34
30	6:53	17:06			5:29	18:13	4:44	18:44	4:17	19:11	4:17	19:23	4:39	19:06	5:08	18:24	5:38	17:34	6:09	16:50	6:44	16:26	7:03	16:35
31	6:52	17:08			5:28	18:14			4:16	19:12			4:40	19:05	5:09	18:23		6:10	16:49		7:04			16:35

3.2. Çalışma Sıcaklığı Fonksiyonu Olarak PV Modül Verimliliği

Güneş pili güç dönüşüm verimliliği aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\eta_c = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{max} \times V_{max}}{I(t) \times A_c} \quad (3.1.)$$

T_{max} ve V_{max} , güneş enerjisine karşılık gelen maksimum güç için akım ve voltaj olduğunda yoğunluğu ($I(t)$) ve AC güneş pilinin alanıdır. PV hücre sıcaklığını (T_c), hava durumu değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade eden korelasyonlardır. Bu bölümde ortam sıcaklığı (T_a), güneş radyasyonu ($I(t)$) vb. ele alınacaktır.

Bir PV hücresinin / modülünün elektriksel verimliliği üzerindeki sıcaklık etkisinin, temelin kullanılmasıyla elde edilebilir.

Temel olarak, formda bir ilişkiye yol açar:

$$\eta_c = \eta_{Tref} [1 - \beta_{ref}(T_c - T_{ref}) + \gamma \log_{10}^{I(t)}] \quad (3.2)$$

Burada η_{Tref} , modülün referans sıcaklığında, T_{ref} 'de ve güneş enerjisindeki elektriksel verimliliğidir. 1000W / m² radyasyon. Sıcaklık katsayısı, β_{ref} ve solar radyasyon katsayısı, γ , kristalin silikon için, sırasıyla, yaklaşık 0.0045K ve 0.12'lik değerlere sahip esas olarak malzeme özellikleridir.

η_{Tref} ve β_{ref} miktarları normalde PV üreticisi tarafından verilir. Ancak, Belirli bir güneş ışıması akışı için sıcaklıklar modülün elektrik çıktısının iki farklı ölçüldüğü flaş testlerinden elde edilebilir. Gerçek değeri, Sıcaklık katsayısı, özellikle, sadece PV malzemesine değil, aynı zamanda T_{ref} 'a da bağlıdır. Verilmiş oranına göre;

$$\beta_{ref} = \frac{1}{T_0 - T_{ref}} \quad (3.3.)$$

Burada T_0 , PV modülünün elektrik verimliliğinin sıfıra düştüğü (yüksek) sıcaklıktır. Kristalin silikon güneş pilleri için bu sıcaklık 270°C ' dir. Kararlı durum güç dengesi, hücre sıcaklığını belirler. Giriş, emilen aydınlıktır. Kısmen yararlı elektriksel çıkışa dönüştürülen güç ve geri kalanı çevredir. Konveksiyon, karasal, düz plaka uygulamalarında ısı yayılımı için ana mekanizmadır. Ve radyasyon, ısı dağıtımını ikinci derece değildir, mekanizmasıdır. Ortak bir basitleştirme hücre-çevre sıcaklığı düşüşünün ısınım ile doğrusal olarak arttığını varsaymaktadır. Katsayı, modül kurulumuna, rüzgar hızına, ortam nemine ve benzerlerine bağlıdır. Bir modül tipini karakterize etmek için değer kullanılır. Bu bilgi Nominal İşletim Hücresinde bulunur. Hücre sıcaklığı olarak tanımlanan sıcaklık ($NOCT$), açık devre altında ölçüldüğünde Ortam sıcaklığı 20°C , ısınım $0.8\text{ kW} / \text{m}^2$ ve rüzgar hızı $1\text{ m} / \text{s}$ 'dir. T_{NOCT} değerleri genellikle yaklaşık 45°C .

Ortam sıcaklığı ve ısınımdaki değişiklikler için hücre sıcaklığı (in 0°C cinsinden) tahmin edilebilir.

$$T_c = T_a + \frac{T_{NOCT}-20}{0.8\text{ kW/m}^2} \times I(t) \quad (3.4)$$

Eğer denklemde (3.3.) denklem ve (3.4) denklem varsa, önemli denklem elde edeceğiz (3.5):

$$\eta_c = \eta_{ref} \left[1 - \beta_{ref} \times \left[T_a - T_{ref} + (T_{NOCT} - 20) \times \frac{I(t)}{I(t)_{NOCT}} \right] + \gamma \log_{10}^{I(t)} \right] \times 100 \quad (3.5)$$

Genellikle $T_{ref} = 25^{\circ}\text{C}$, ortalama $\eta_{ref} = \% 12$ ve ortalama $\beta_{ref} = 0.0045\text{K}$ olarak alınır.

3.3.Kırıkkale İli İçin Sıcaklığa Bağlı Fotovoltaik Modül Verimi Hesaplaması

Yukarıda belirtilen;

$$\eta_c = \eta_{ref} \left[1 - \beta_{ref} \times \left[T_a - T_{ref} + (T_{NOCT} - 20) \times \frac{I(t)}{I(t)_{NOCT}} \right] + \gamma \log_{10}^{I(t)} \right] \times 100$$

formülü kullanılarak çizelge 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6 'da değerler yerlerine konulmuştur. Bunlar sonucunda elde edilen Kırıkkale İli için Temmuz ve Aralık aylarına ait sıcaklığın polikristal fotovoltaik panelin enerji verimliliği hesaplar Çizelge 3.1 , 3.2 , 3.3 , 3.4 , 3.5 ve 3.6'da verilmiştir.

Hesaplamalarda; ilgili gün için sıcaklık ortalaması, ilgili ayın gün doğumu ve batımı arasındaki saatler dikkate alınmıştır. Kırıkkale İli için günlük global ışıma değeri ilgili istasyondan alınan güneşlenme süresine bölünerek hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Kırıkkale İli için Aralık ve Temmuz ayları çevresel sıcaklığın polikristal fotovoltaiik panellerin enerji verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bu sonuçlar elde edilirken kullanılan veriler Orman ve Su İşleri Bakanlığı Kırıkkale İl Meteoroloji Müdürlüğü 2017 yılı 17135 nolu istasyondan alınmıştır.

Hesaplamalar, Alfasolar Marka, ASE60P model ve aşağıdaki teknik özelliklere sahip Fotovoltaiik Panel fabrika değerleri kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen verilere göre; Kırıkkale İli içerisinde 2017 Aralık ayında çevre şartlarına bağlı olarak; modüllerin verimlilikleri ortalama %2,65 azalırken; 2017 Temmuz ayında ortalama % 12,55 azalmıştır. Kırıkkale ili için güneş enerjisi hesaplamalarında çevre sıcaklığının etkisi dikkate alınmalıdır.

Çizelge 4.1. Teorik Hesaplamalarda Kullanılan Fotovoltaiik Modüle Ait Elektriksel Veriler

Maksimum Güç P_{max}	270
Modül Verimi %	16,39
Maksimum Güç Noktası Akımı I_{mmp} (A)	8,34
Kısa Devre Akımı I_{sc} (A)	8,87
Maksimum Güç Noktası Voltajı V_{mmp} (V)	32,23
Açık Devre Voltajı V_{oc} (V)	38,23

Çizelge 4.2. Teorik Hesaplamalarda Kullanılan Fotovoltaik Modüle Ait Sıcaklık Özellikleri

Konu	Açıklama
Nominal Hücre Sıcaklığı	45 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı (%/°C)	-0,04 % / °C
Sıcaklık Katsayısı βV_{oc} (%/°C)	-0,33 % / °C
Sıcaklık Katsayısı P_{max} (%/°C)	-0,45 % / °C
Sıcaklık Katsayısı βV_{mpp} (%/°C)	-0,45 % / °C

Çizelge 4.3. Kırıkkale İli için Aralık 2017 Sıcaklık Değerlerine Göre Enerji Verim Değişimi (Günlük)

Gün (Aralık 2017)	Sıcaklık Ortalaması (°C)	Güneşlenme Süresi (Saat)	Global Işıma (kwh/m ²)	Global Işıma Saatlik Ortalama (kwh/m ²)	n _c	n _{ref}	β _{ref}	T _{ref}	T _{NOCT}	I _{NOCT}	γ	Yüzde Değişim	Yüzde Kayıp/Kazanç
1	7,63	5,80	1,986	0,3424	15,9571	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	97,4182	-2,5818
2	6,78	4,60	1,799	0,3911	16,0211	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	97,8089	-2,1911
3	8,33	6,10	1,947	0,3192	15,8984	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	97,0600	-2,9400
4	9,30	5,20	1,724	0,3315	15,8311	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	96,6491	-3,3509
5	5,17	0,00	0,339	Hava Kapalı – Güneşlenme Süresi 0 (sıfır) Ölçüldüğü İçin Hesaplamaya dahil edilmemiştir.									
6	2,23	2,70	1,27	0,4704	16,3308	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	99,6997	-0,3003
7	2,84	3,80	0,978	0,2574	16,2618	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	99,2787	-0,7213
8	4,12	6,50	1,935	0,2977	16,1992	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	98,8964	-1,1036
9	4,48	5,90	1,593	0,2700	16,1526	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	98,6120	-1,3880
10	9,18	6,00	2,128	0,3547	15,8440	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	96,7278	-3,2722
11	10,38	6,20	1,993	0,3215	15,7488	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	96,1462	-3,8538
12	7,42	6,70	1,941	0,2897	15,9512	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	97,3820	-2,6180
13	6,03	3,60	1,218	0,3383	16,0742	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	98,1331	-1,8669
14	5,87	2,50	1,281	0,5124	16,0392	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	97,9197	-2,0803
15	2,47	1,60	0,825	0,5156	16,2878	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	99,4370	-0,5630
16	3,94	3,50	1,243	0,3551	16,2304	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	99,0869	-0,9131
17	8,73	0,80	1,008	1,2600	14,8746	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	90,8094	-9,1906
18	9,36	0,20	0,467	2,3350	12,8783	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	78,6223	-21,3777
19	7,91	1,10	1,007	0,9155	15,4557	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	94,3573	-5,6427
20	7,57	1,40	1,121	0,8007	15,6309	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	95,4267	-4,5733
21	5,82	0,00	0,634	Hava Kapalı – Güneşlenme Süresi 0 (sıfır) Ölçüldüğü İçin Hesaplamaya dahil edilmemiştir.									
22	5,83	0,00	0,385	Hava Kapalı – Güneşlenme Süresi 0 (sıfır) Ölçüldüğü İçin Hesaplamaya dahil edilmemiştir.									
23	4,94	0,60	0,629	1,0483	15,4840	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	94,5301	-5,4699
24	1,43	0,50	1,022	2,0440	14,0192	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	85,5870	-14,4130
25	0,43	7,40	2,44	0,3297	16,4848	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	100,6398	0,6398
26	-2,07	0,00	0,557	Hava Kapalı – Güneşlenme Süresi 0 (sıfır) Ölçüldüğü İçin Hesaplamaya dahil edilmemiştir.									
27	-3,25	0,00	0,66	Hava Kapalı – Güneşlenme Süresi 0 (sıfır) Ölçüldüğü İçin Hesaplamaya dahil edilmemiştir.									

Çizelge 4.3. (Devam) Kırıkkale İli için Aralık 2017 Sıcaklık Değerlerine Göre Enerji Verim Değişimi (Günlük)

Gün (Aralık 2017)	Sıcaklık Ortalaması (°C)	Güneşlenme Süresi (Saat)	Global Işıma (kwh/m ²)	Global Işıma Saatlik Ortalama (kwh/m ²)	n _c	n _{ref}	β _{ref}	T _{ref}	T _{NOCT}	I _{NOCT}	γ	Yüzde Değişim	Yüzde Kayıp/Kazanç
28	-3,49	0,40	1,016	2,5400	13,4251	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	81,9605	-18,0395
29	-0,73	0,00	0,789	Hava Kapalı – Güneşlenme Süresi 0 (sıfır) Ölçüldüğü İçin Hesaplamaya dahil edilmemiştir.									
30	5,65	4,60	1,638	0,3561	16,1046	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	98,3187	-1,6813
31	6,57	0,10	0,881	8,8100	-0,6971	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	-4,2559	-104,2559

Çizelge 4.4. Kırıkkale İli için Temmuz 2017 Sıcaklık Değerlerine Göre Enerji Verim Değişimi (Günlük)

Gün (Temmuz 2017)	Sıcaklık Ortalaması (°C)	Güneşlenme Süresi (Saat)	Global Işıma (kwh/m ²)	Global Işıma Saatlik Ortalama (kwh/m ²)	n _c	n _{ref}	β _{ref}	T _{ref}	T _{NOCT}	I _{NOCT}	γ	Yüzde Değişim	Yüzde Kayıp/Kazanç
1	31,11	13,50	7,229	0,5355	14,1633	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	86,4669	-13,5331
2	32,03	12,60	6,365	0,5052	14,1156	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	86,1761	-13,8239
3	33,69	12,40	6,233	0,5027	13,9946	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	85,4373	-14,5627
4	29,11	12,10	5,923	0,4895	14,3400	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,5456	-12,4544
5	25,41	7,90	5,62	0,7114	14,4207	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	88,0385	-11,9615
6	23,18	12,30	5,832	0,4741	14,7849	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	90,2617	-9,7383
7	24,17	9,10	5,248	0,5767	14,6430	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	89,3956	-10,6044
8	24,31	10,80	6,569	0,6082	14,6052	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	89,1649	-10,8351
9	26,01	12,70	7,239	0,5700	14,5126	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	88,5992	-11,4008
10	27,43	10,10	6,314	0,6251	14,3602	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,6694	-12,3306
11	28,36	10,70	7,132	0,6665	14,2510	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,0024	-12,9976
12	29,35	10,40	4,205	0,4043	14,3550	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,6374	-12,3626
13	29,99	8,40	2,713	0,3230	14,3032	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,3210	-12,6790
14	29,45	10,60	5,925	0,5590	14,2679	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,1057	-12,8943
15	28,84	8,60	5,498	0,6393	14,2426	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	86,9514	-13,0486
16	28,39	8,60	5,627	0,6543	14,2606	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,0610	-12,9390
17	30,10	9,10	5,262	0,5782	14,2045	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	86,7188	-13,2812
18	30,83	11,30	6,568	0,5812	14,1481	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	86,3745	-13,6255
19	27,46	3,30	3,299	0,9997	13,8960	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	84,8349	-15,1651
20	26,85	7,50	4,431	0,5908	14,4335	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	88,1167	-11,8833
21	28,43	12,70	6,883	0,5420	14,3563	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,6450	-12,3550
22	27,47	8,70	4,638	0,5331	14,4331	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	88,1140	-11,8860
23	27,73	11,80	6,367	0,5396	14,4096	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,9706	-12,0294
24	27,48	10,20	6,706	0,6575	14,3252	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,4552	-12,5448
25	28,68	5,90	3,546	0,6010	14,2901	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,2411	-12,7589

Çizelge 4.4. (Devam) Kırıkkale İli için Temmuz 2017 Sıcaklık Değerlerine Göre Enerji Verim Değişimi (Günlük)

Gün (Aralık 2017)	Sıcaklık Ortalaması (°C)	Güneşlenme Süresi (Saat)	Global Işıma (kwh/m ²)	Global Işıma Saatlik Ortalama (kwh/m ²)	n _c	n _{ref}	β _{ref}	T _{ref}	T _{NOCT}	I _{NOCT}	γ	Yüzde Değişim	Yüzde Kayıp/Kazanç
26	31,90	11,20	6,246	0,5577	14,0883	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	86,0093	-13,9907
27	33,32	9,10	4,663	0,5124	14,0157	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	85,5662	-14,4338
28	27,34	8,50	5,641	0,6636	14,3286	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	87,4760	-12,5240
29	25,83	7,20	4,77	0,6625	14,4412	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	88,1638	-11,8362
30	26,40	6,50	3,981	0,6125	14,4475	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	88,2022	-11,7978
31	25,48	10,70	5,906	0,5520	14,5658	16,3800	0,0045	25,0000	45,0000	0,8000	0,1200	88,9244	-11,0756

KAYNAKLAR

- [1] K.Güven, S.Taştan. “Süperhidrofobik Kaplama Yapılan Güneş Panellerinde Verim Kaybının Araştırılması”, Kırıkkale Üniversitesi BAP Projesi. Proje No: 2018/37 (2018).
- [2] Yu, P.Y. ve Cardona, M., (1996). Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties, Third Edition, Springer Book Co., Berlin
- [3] Anonim , <https://kimyasimya.blogspot.com> (Erişim tarihi : 26.06.2018)
- [4] Anonim, solimpeksgunespaneli.com (Erişim tarihi: 22.06.2018)
- [5] Anonim , www.fizikbilimi.gen.tr (Erişim tarihi : 10.06.2018)
- [6] Anonim , www.nkfu.com (Erişim tarihi : 9.06.2018)
- [7] Anonim , www.shunttech.com (Erişim tarihi: 7.06.2018)
- [8] Yavuz ATEŞ , <http://slideplayer.biz.tr> (Erişim tarihi : 5.06.2018)
- [9] Hyun Sik Kim, Zachary Gibbs, Yinglu Tang, Heng Wang, and G. J. Snyder “Characterization of Lorenz number with Seebeck coefficient measurement” *apl Materials* 2015.
- [10] Sertaç BOZKURT, termoelektrik etki ile fotovoltaiik panellerin soğutulması ve performansının incelenmesi Yüksek lisans tezi.Ege üniversitesi İzmir 2017.
- [11] Goetzberger A, Hebling C, Schock HW. Photovoltaic materials: history, status and outlook. *Materials Science and Engineering R: Reports* 40(1);1–46, 2003
- [12] Messenger, RA, Ventre, J. Photovoltaic systems engineering. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 2004.
- [13] Razykov TM, Ferekides CS, Morel D, Stefanakos E, Ullal HS, Upadhyaya HM. Solar photovoltaic electricity: current status and future prospects. *Solar Energy* 85(8);1580–608,2011
- [14] Jager-Waldau A. Progress in chalcopyrite compound semiconductor research for photovoltaic applications and transfer of results into actual solar cell production. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2011;95(6):1509–17.
- [15] Murat Ünlü , Sabri Çamur , Birol Arifoğlu VI. yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu , Ekim 2011, Kayseri

- [16] Teo HG, Lee PS, Hawlader MNA. "An active cooling system for photovoltaic Modules". Appl Energy 90;309–15,2012
- [17] Anonim , www.teknoraysolar.com (Erişim tarihi: 2.06.2018)
- [18] Maral Demir, dış duvara sonradan tespit edilen fotovoltaiik panellerin performansının deneysel olarak değerlendirilmesi Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Mayıs 2015.
- [19] Sick, F., Erge, T. (1996). Photovoltaics In Buildings: a design handbook for architects and engineers, London: James & James (Science Publishers)
- [20] Anonim, Robotiksistem.com (Erişim tarihi: 1.06.2018)
- [21] Tamer arkıt, Pv panellerin yapısı ve panellerden elektrik üretimine sıcaklığın etkisi. Elektrik mühendisliği, Temmuz 2016. sayı457, sayfa65.
- [22] Anonim , www.elektrikde.com (Erişim tarihi: 30.05.2018)
- [23] Anonim, gunesenerjisiapanelleri.net (Erişim tarihi: 28.05.2018)
- [24] Anonim , www.enerjimag.com (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [25] Anonim, urila.tripod (Erişim tarihi : 25.05.2018)
- [26] Sariciftci ve Heeger , [Science](http://www.sciencedirect.com). 258(5087);1474-6, 1992.
- [27] The German Solar Energy Society Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide For Installing, Architects and Engineers London: Sterling, VA: Earthscan, 2008.
- [28] Krauter SCW. "Enhanced integrated solar home system." Proc. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conf., Paris, 2004
- [29] M. C. Hottel and B. B. Woertz, "Performance of flat plate solar heat collectors," ASME Trans., 64;91-104, 1942
- [30] A. Salim, F. Huraib, and N. Eugenio, " PV power-study of system options and optimization," in Proceedings of the 8th European PV Solar Energy Conference, Florence, Italy, 1988.
- [31] F. Wakim, "Introduction of PV power generation to Kuwait," Kuwait Institute for Scientific Researchers, Kuwait City, 1981.
- [32] Jennings, C., "Outdoor versus rated photovoltaic module performance." In: Proceedings of 19th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, LA, 1257–1260, 1987

- [33] Zhu L, Raman AP, Fan S. "Radiative cooling of solar absorbers using a visibly transparent photonic crystal thermal blackbody". *Proc Natl Acad Sci* 112 (40);12282–7,2015
- [34] Debra H. "An investigation on energy performance assessment of a photovoltaic solar wall under buoyancy-induced and fan-assisted ventilation system". *Appl Energy* 191; 55–74, 2017
- [35] Krauter SCW. "Development of an integrated solar home system." *SEMS* 82;119-3,2004
- [36] Krauter SCW. "Enhanced integrated solar home system." *Proc. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conf., Paris, 2004*
- [37] M. C. Hottel and B. B. Woertz, "Performance of flat plate solar heat collectors," *ASME Trans.*, 64;91-104, 1942.
- [38] Qiang F. and Nan. T. A Complex-Method-Based PSO Algorithm for the Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System, in *Information Technology and Computer Science (ITCS)*, Second Int Conference on, 134-137,2010
- [39] Saad Mekhilef, Fardila Mohd Zaihidee, Mehdi Seyedmahmoudian, Ben Horan. "Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65;1267–1278,2016
- [40] Kaldellis JK, Kokala A. "Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal." *Energy* 35;4862–9,2010
- [41] L. Dorobantu, M.O. Popescu, Cl. Popescu, A. Craciunescu. "The effect of surface impurities on photovoltaic panels". *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11) Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 13th to 15th April, 2011*
- [42] Xueyan Li, Theodore Putra Prawiradiraja, Dilip Battul, "The Role of Humidity in Energy Output of Solar Panels in Coastal Regions" *Journal of Engineering Technology (JET)* 2;1,2013
- [43] Mani M, Pillai R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: research status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(9);3124–31,2010

- [44] Kaldellis JK, Kapsali M. Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements. *Energy* 36(8);5154–61,2011
- [45] Manoj Kumar Panjwani, Dr. Ghous Bukshsh Narejo, “Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell (photovoltaic)” *International Journal of Engineering Research and General Science* 2;2091-2730,2014
- [46] Ross, M.M.D., “Snow and ice accumulation on photovoltaic arrays: An assessment of the TN conseil passive melting technology” EDRL 95-68 (TR), Energy Diversification Research Laboratory, CANMET. Natural Resources Canada, Varennes, September. 1995.
- [47] B.P. Jelle, “The challenge of removing snow downfall on photovoltaic solar cell roofs in order to maximize solar energy efficiency – Research opportunities for the future”, *Energy and Buildings*, 67;334-351, 2013
- [48] Anonim, www.elektrikport.com (Erişim tarihi: 24.05.2018)
- [49] Zagury F, Goutail F. Spectral analysis of extinguished sunlight. *New Astronomy* 8(6);537–48134-137,2003