



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Jibril Abdella ISMAEL

Danışman
Doç. Dr. Lütfü NAMLI

SAMSUN
2022

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Jibril Abdella ISMAEL
Referans No:10443238

Danışman
Doç.Dr. Lütfü NAMLI

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Jibril Abdella Ismael tarafından, **Doç. Dr. Lütfü NAMLI** danışmanlığında hazırlanan **“Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Artırılması Yöntemlerinin İncelenmesi”** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 28.1.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Doç. Dr. Mustafa ÖZBEY Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. Lütfü NAMLI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Bilal SUNGUR Samsun Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

04 /01/ 2022

Jibril Abdella ISMAEL

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 03.01.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 5

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza

04 /01/ 2022

Doç. Dr. Lütfü NAMLI

ÖZET

FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Jibril Abdella ISMAEL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Ocak/2022
Danışman: Doç. Dr. Lütfü NAMLI

İnsan nüfusunun hızla artması ve fosil yakıtların tükenmesi ile yenilenebilir enerjiye olan talep her zamankinden daha fazla artmaktadır. Yenilenebilir enerji, rüzgar, hidrolik ve güneş enerjisini içermektedir. Bunlar arasında maliyetinin düşük olması ve kurulumunun daha kolay olması nedeniyle güneş enerjisi önemli bir yer tutmaktadır. Ancak güneş enerjisi ile ilgili sorun, beklendiği kadar verimli olmamasıdır. Şu ana kadar güneş enerjisinin verimliliği %15-22 arasındadır. Bu, büyük enerji talebini karşılayamayacakları anlamına gelir. Bu sorunu çözmek için fotovoltaik panellerin verimini artırmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, güneş panellerinin temel malzemeleri, yarı iletkenlerin sınıflandırılması, güneş teknolojilerinin türleri, güneş panellerinin nesilleri ve çeşitleri, fotovoltaik sistemleri ve bileşenleri tanıttıldıktan sonra, fotovoltaik panellerin verimini artırmak için çeşitli yöntemler sunulmaktadır. Fotovoltaik panelin veriminin artırılması için sıcaklığı düşürmek ve güneş ışınımının absorpsiyonunu artırmak gerekir. Bunun için dört farklı malzeme kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu malzemeler doğal zeytinyağı kremi, hindistan cevizi yağı, beyaz şeffaf film ve koyu kahverengi şeffaf filmdir. Deneyler sırasında iki farklı panel kullanılmıştır. Biri referans olarak kaplamasız olarak kullanılmış, diğeri ise yukarıdaki malzemelerle kaplanmıştır. Her bir durum için farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Doğal zeytinyağlı krem ile kaplı güneş panelinde sıcaklık kaplamasız panele göre yaklaşık %11 artarken, voltaj yaklaşık %2 azalmaktadır. Hindistan cevizi yağı ile kaplı güneş panelinde sıcaklık kaplamasız panele göre yaklaşık %17 azalırken, voltaj hemen hemen aynı kalmaktadır. Koyu kahverengi şeffaf film ile kaplı güneş panelinde sıcaklık kaplamasız panele göre yaklaşık %7 artarken, voltaj yaklaşık %2 düşmektedir. Şeffaf film ile kaplı güneş panelinde sıcaklık kaplamasız panele göre yaklaşık %1.5 artarken, voltaj neredeyse değişmemektedir. Bu kaplama malzemeleri arasında hindistan cevizi yağının, güneş panellerinin sıcaklığını düşürmek ve güneş ışınımının absorpsiyonunu artırmak için en iyi seçenek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güneş Panelleri, Fotovoltaik Piller, Güneş Enerjisi, Yarı İletkenler, Silisyum, Kaplamalar

ABSTRACT

INVESTIGATION OF METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANELS

Jibril Abdella ISMAEL

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Master Thesis, January/2022

Supervisor: Assoc. Prof. Lütfü NAMLI

With the rapid increase in the human population and the depletion of fossil fuels, the demand for renewable energy is increasing more than ever. Renewable energy includes wind, hydraulic and solar energy. Among these, solar energy has an important place due to its low cost and easier installation. But the problem with solar power is that it's not as efficient as one might expect. So far, the efficiency of solar energy is between 15-22%. This means that they cannot meet the huge energy demand. To solve this problem, various methods have been developed to increase the efficiency of photovoltaic panels.

In this study, after introducing the basic materials of solar panels, classification of semiconductors, types of solar technologies, generations and types of solar panels, photovoltaic systems and components, various methods are presented to increase the efficiency of photovoltaic panels. In order to increase the efficiency of the photovoltaic panel, it is necessary to lower the temperature and increase the absorption of solar radiation. For this purpose, experiments were carried out using four different materials. These materials are natural olive oil cream, coconut oil, white transparent film and dark brown transparent film. Two different panels were used during the experiments. One is used uncoated as a reference, and the other is coated with the above materials. Different results were obtained for each case.

In the solar panel covered with natural olive oil cream, the temperature increases by approximately 11% compared to the uncoated panel, while the voltage decreases by approximately 2%. The temperature of the solar panel covered with coconut oil decreases by about 17% compared to the uncoated panel, while the voltage remains almost the same. In the solar panel covered with dark brown transparent film, the temperature increases by approximately 7% compared to the uncoated panel, while the voltage decreases by approximately 2%. While the temperature in the solar panel covered with transparent film increases by about 1.5% compared to the uncoated panel, the voltage almost does not change. Among these coating materials, it was determined that coconut oil is the best choice for reducing the temperature of solar panels and increasing the absorption of solar radiation.

Keywords: Solar Panels, Photovoltaic Cells, Solar Energy, Semi-conductors, Silicon, Coatings

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İlk önce bu çalışmada beni yardım eden Rabbime sonsuz şükürler olsun. Ondan sonra tez çalışmada bana yön gösteren Doç. Dr. Lütfü NAMLI teşekkür ederim. Ayrıca deney yapılışında bana el uzatan Araştırma Görevlisi Fevzi ŞAHİN teşekkür etmek istiyorum.

Eğitim boyunca bana teşvik eden ve maddi yardımı uzatan babam Abdella Ismael ve kardeşim Mustafa Abdella teşekkür ederim.

Jibril Abdella ISMAEL

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması	3
1.1.1. Soğutma	3
1.1.2. Temizleme	4
1.1.3. Yansıma Önleyici	5
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Yarı İletken ve Güneş Teknolojileri	7
2.1.1. İletkenliğe Bağlı Olarak Malzemelerin Bölünmesi	7
2.1.1.1. İzolatörler	7
2.1.1.2. İletkenler	8
2.1.1.3. Yarı iletkenler.....	8
2.1.2. Yarı İletkenlerin Sınıflandırılması	10
2.1.2.1. İç Yarı İletkenler	10
2.1.2.2. Dışsal Yarı İletkenler	10
2.1.3. Yarı İletkenin Temelleri.....	13
2.1.3.1. Doping.....	13
2.1.3.2. Fermi Seviyesi.....	13
2.1.3.3. P–n Kavşağı	13
2.2. Güneş Enerjisi Teknolojileri	14
2.2.1. Fotovoltaikler.....	14
2.2.2. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP)	15
2.2.2.1. Parabolik Oluk Sistemi	16
2.2.2.2. Merkez Alıcı Kulesi	18
2.2.2.3. Lineer (Doğrusal) Fresnel Reflektör	18
2.2.2.4. Parabolik Çanakları.....	19
2.2.3. Güneş Enerjisiyle Isıtma ve Soğutma.....	19
2.3. Fotovoltaik ve Güneş Pili	20
2.3.1. Güneş Pilin Çalışma Prensibi	21
2.3.2. Güneş Piliinin Temel Parametreleri ve Elektriksel Karakterizasyonu	21

2.3.2.1. Kısa Devre Akımı	22
2.3.2.2. Açık Devre Gerilimi (V_{OC})	22
2.3.2.3. Maksimum Güç (P_M).....	22
2.3.2.4. Dolu Faktörü	23
2.3.2.5. Güneş Panelin Verimliliği.....	23
2.3.3. Güneş Pillerinin Nesli	23
2.3.3.1. Birinci Nesil	23
2.3.3.2. İkinci Nesil.....	23
2.3.3.3. Üçüncü Nesil.....	24
2.3.4. Güneş Pili Çeşitleri	24
2.3.4.1. Kristalli Silisyum Güneş Pilleri	24
2.3.4.2. İnce Film Güneş Pilleri	25
2.3.4.3. Yeni Ortaya Çıkan Güneş Pilleri.....	26
2.4. Fotovoltaik Sistemleri ve Bileşenleri	28
2.4.1. Fotovoltaik (FV) Modül ve FV Dizisi	28
2.4.2. FV Sistemleri	28
2.4.2.1. Şebeke Bağlı FV Sistemi (Grid-Tied).....	28
2.4.2.2. Şebekeden Bağımsız Sistemi (Off-Grid)	29
2.4.3. FV Sistem Bileşenleri	30
2.5. Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Artırılması Yöntemleri.....	30
2.5.1. Soğutma	30
2.5.1.1. Hava Bazlı Soğutma.....	32
2.5.1.2. Sıvı Bazlı Soğutma.....	33
2.5.1.3. Faz Değiştiren Malzeme (PCM)	33
2.5.1.4. Soğutucu (Heat Sink)	34
2.5.1.5. Işınım Soğutma (Radiative Cooling)	34
2.5.1.6. Nano-Sıvı Bazlı Soğutma.....	35
2.5.1.7. Termoelektrik (Peltier) Soğutma.....	35
2.5.1.8. Spektrum Filtresi Soğutması (Optik Işın Serpme).....	36
2.5.2. Toz Giderme veya Temizleme.....	37
2.5.3. Yansıma Önleyici Kaplama	38
2.5.4. Güneş İzci (Solar Tracker).....	39
2.5.5. Arka Yüzey Pasivasyonu	40
2.5.6. Gölgeden Uzak Durmak	41
2.5.7. Şeffaf ve En İyi FV Malzemelerinin Seçilmesi	42
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	43

3.1. Doğal Zeytinyağlı Krem İçin Deney	43
3.2. Hindistan Cevizi Yağı İçin Deney.....	45
3.3. Koyu Kahverengi Şeffaf Film İçin Deney	46
3.4. Beyaz Şeffaf Film İçin Deney	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Doğal Zeytinyağlı Krem İçin Deney Bulguları	49
4.2. Hindistan Cevizi Yağı İçin Deney Bulguları	51
4.3. Koyu Kahverengi Şeffaf Film İçin Deney Bulguları	54
4.4. Beyaz Şeffaf Film İçin Deney Bulguları	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
E	Enerji
Si	Silisyum
Ge	Germanyum
GaAs	Galyum Arsenid
InP	İndiyum Fosfit
CdTe	Kadmiyum Tellürit
<i>CIGS</i>	Bakır İndiyum Galyum Selenit
PbS	Kurşun Sülfür
PbTe	Kurşun Tellür
SnS	Kalay Sülfür
Eu	Öropyum
Mn	Manganez
SbSI	Antimon Sülfüyodür
AgGaS ₂	Galyum Gümüş Disülfür
CuInSe ₂	Bakır İndiyum Diselenid
ZnSiP ₂	Çinko Silisyum Fosfit

KISALTAMALAR

FV	Fotovoltaik
CSP	Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi
FF	Dolum Faktörü
STC	Standart Test Koşulları
PCM	Faz Değiştiren Malzeme
HS29	Hidrojen Sülfat
CQD	Karbon Kuantum Noktaları
ARC	Yansıma Önleyici Kaplama
Isc	Kısa Devre Akım
Voc	Açık Devre Voltaj

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bant şeması (Tiwari vd, 2016).....	7
Şekil 2.2. Farklı türdeki malzemelerin enerji şeması (Laube, tarih yok).....	8
Şekil 2.3. Ortak yarı iletken malzemeler (Khattak, 2019)	9
Şekil 2.4. P tipi yarı iletkenler	11
Şekil 2.5. N-tipi yarı iletkenler	12
Şekil 2.6. Yarı iletkenlerin sınıflandırılması	12
Şekil 2.7. Yarı-iletken için fermi seviyesi (Nave, tarih yok)	13
Şekil 2.8. P-N eklem, p-tabak ve n-tabak (engineering, 2018).....	14
Şekil 2.9. Güneş enerjisi teknolojileri.....	14
Şekil 2.10. Fotovoltaik panelleri.....	15
Şekil 2.11. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin çalışma prensibi	16
Şekil 2.12. Parabolik oluk sistemi ve çalışma şeması.....	17
Şekil 2.13. Merkez alıcı kulesi (Dixit, 2020).....	18
Şekil 2.14. Doğrusal fresnel reflektör	18
Şekil 2.15. Parabolik tabakları	19
Şekil 2.16. Güneş enerjisiyle ısıtma ve soğutma teknolojisi.....	20
Şekil 2.17. Güneş pili veya fotovoltaik hücre.....	20
Şekil 2.18. Fotovoltaik pillerin çalışma şeması (engineering, 2018).....	21
Şekil 2.19. a-polikristal silisyum FV hücresi, b-monokristalin silisyum FV hücresi	25
Şekil 2.20. İnce film güneş pili	26
Şekil 2.21. a-amorf ince film güneş pili, b- kadmiyum tellürden yapılmış ince filmi dizisi..	26
Şekil 2.22. Güneş pillerin çeşitleri.....	27
Şekil 2.23. Fotovoltaik hücre, modülü ve dızı (Kıncay, Bekiroğlu, & Yumurtacı).....	28
Şekil 2.24. Şebeke bağlı fotovoltaik sistemi	29
Şekil 2.25. Şebekden bağımsız fotovoltaik sistemi.....	29
Şekil 2.26. Fotovoltaik sistemi ve bireysel bileşenleri (Kunz, 2021)	30

Şekil 2.27. Fotovoltaik panellerin soğutma yöntemleri	31
Şekil 2.28. Doğal ve cebri konveksiyonlu hava soğutma	32
Şekil 2.29. Yaygın olarak kullanılan PCM ve erime sıcaklığı (Dwivedi vd , 2020).....	33
Şekil 2.30. Isı eşanjörü FV Panel modeli (W. G. Anderson, 2008)	34
Şekil 2.31. Işınım soğutma sistemi için temel çalışma prensipleri ve enerji akışı. P_{rad} , yayılan termal radyasyondur, P_{atm} , emilen atmosferik radyasyondur, $P_{non-rad}$, ortam ile radyasyonsuz ısı alışverişidir ve P_{sun} , emilen güneş radyasyonudur. (Salman Ahmad vd, 2021)	35
Şekil 2.32. T.E. ile F.V hücrenin şeması modülü (Dwivedi vd, 2020)	36
Şekil 2.33. Optik filtre olarak bir sıvı kullanan F.V hücrenin taslağı.....	37
Şekil 2.34. Yüzey yansımaya karşı çeyrek dalga boyu yansımaya önleyici kaplamanın kullanılması.....	39
Şekil 2.35. Güneş izcinin farklı türleri	40
Şekil 2.36. SCHOTT Solar'da geliştirilen bir PERC hücrenin şeması	41
Şekil 2.37. Güneş pili üzerinde gölgenin etkisi	41
Şekil 2.38. Şeffaf iletken oksitler.....	42
Şekil 3.1. Doğal zeytinyağlı el ve vücut kremi	43
Şekil 3.2. Doğal zeytinyağlı el ve vücut kremi için deney düzeneği	44
Şekil 3.3. Hindistan cevizi yağı	45
Şekil 3.4. Hindistan cevizi yağı için deney düzeneği.....	45
Şekil 3.5. Koyu kahverengi şeffaf film	46
Şekil 3.6. Koyu kahverengi film için deney düzeneği	47
Şekil 3.7. Beyaz şeffaf film.....	48
Şekil 3.8. Beyaz film için deney düzeneği.....	48
Şekil 4.1. Doğal zeytinyağlı krem için sıcaklık ve voltaj değerlerinin değişimi	50
Şekil 4.2. Hindistan cevizi yağı için sıcaklık ve voltaj değerlerinin değişimi	53
Şekil 4.3. Koyu kahverengi şeffaf film için sıcaklık ve voltaj değerlerinin değişimi.....	55
Şekil 4.4. Beyaz şeffaf film için sıcaklık ve voltaj değerlerinin değişimi	58

TABLULAR DİZİNİ

Table 4.1. Doğal zeytinyağlı krem için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri (Ölçüm Başlama saat 15:45).....	49
Tablo 4.2. Hindistan cevizi yağı için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri	51
Tablo 4.3. Koyu kahverengi şeffaf film için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri (Ölçüm Başlama Saat 10:23)	54
Tablo 4.4. Beyaz şeffaf film için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri (Ölçüm başlama saat 13:30).....	56



1. GİRİŞ

Küresel iklim değışikliği artarken, güneş enerjisi büyük ilgi görmektedir. Zehirli gazlar yayan fosil yakıtların aksine, güneş enerjisi teknolojileri, onları çevre dostu yapan enerji üretmek için güneş fotonlarını kullanırlar. Ayrıca bu fosil yakıtların tükenmesi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması acil bir gereklilik haline gelmiştir. (Aribisala, 2013)

Güneş teknolojilerinin temel malzemeleri yarı iletkenlerdir. Yarı iletkenler, hem iletken hem de yalıtkan özelliği olan malzeme türüdür. Enerji bant aralığı yalıtkindan daha küçük, iletkenden daha büyüktür. Bu nedenle değerlik bandından iletken bandına tüm elektronların akışına ne izin verirler ne de tamamen hareketini engellerler. Aksine, elektronların değerlik bandından iletken bandına kısmi hareketi vardır.

Güneş teknolojilerinde yarıiletkenin seçilmesinin temel nedeni, yalıtkan ve iletken özelliklerine sahip oldukları için güneş fotonlarını absorbe etmeleri ve elektriğe dönüşmeleridir. Güneş teknolojilerinin üretiminde yaygın olarak kullanılan yarı iletkenler silikondur. (Tiwari, Tiwari, & Shyam, 2016)

Fotovoltaik hücre, güneş ışınımını fotovoltaik etkiler kullanarak elektrik enerjisine dönüştüren güneş teknolojilerinden biridir. Monokriline, poli kristal ve ince film iyi bilinen fotovoltaik tiplerdir.

Monokristal fotovoltaikler, erimiş silikonlardan çekilen silindirik külçeden yapılmış tek ve sürekli kristaldir. Üretim süreci pahalı ve emek yoğun olmasına rağmen diğer fotovoltaik tiplere göre daha yüksek verimliliğe sahiptir.

Poli-kristalli fotovoltaikler, küçük erimiş silikon tanelerinden yapılmış çok kristallidir. Üretim süreci daha ucuzdur ancak verimliliği daha düşüktür.

İnce film güneş pilleri, ikinci nesil güneş pilleri olarak kabul edilir. Bir ince film güneş pili, cam, plastik veya metal gibi bir destekleyici malzeme üzerine silikon, kadmiyum veya bakır gibi bir veya daha fazla ince PV malzemesi tabakasının yerleştirilmesiyle yapılır. Mono ve poli-kristal fotovoltiğe göre ince filmi verimliliği düşüktür. (Energy, 2015)

Güneş pillerinin verimini artırmak için birçok uygulama vardır. Bunler arasında; soğutma, temizleme, yansıma önleyici kaplama, güneş izleme mekanizması iyi bilinen tekniklerdir.

Bu çalışmanın amacı, ÷lkemde (Etyopya'da) özellikle kırsal kesimde elektrik sıkıntısı yaşanmasıdır. Kentsel alanlarda bile elektrik çoğu zaman kesilir. İnsanlar ihtiyaçlarını karşılamak için güneş panelleri kullanırlar. Ancak bu güneş panelleri sadece evleri aydınlatmak için kullanılır. Üstelik kısa ömürlüdürler. Birkaç yıl sonra çalışmazlar. Bu sorunları çözmek için güneş panellerinin (pillerinin) verimliliğinin artırılması yöntemleri bu çalışmada ele alınmıştır.

Bu çalışmada, güneş pillerinin temel malzemeleri, yarı iletkenlerin sınıflandırılması, güneş teknolojilerinin türleri, güneş pillerinin nesilleri ve çeşitleri, fotovoltaik sistemleri ve bileşenleri ele alındıktan sonra, fotovoltaik panellerin verimini artırmak için çeşitli yöntemlerin incelenmesi hedeflenmiştir. Fotovoltaik panellerin verimlerinin artması için sıcaklığı düşürmek ve güneş ışınımının absorpsiyonunu artırmak gerekmektedir. Bunun için dört farklı kaplama malzemesi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu kaplama malzemeleri doğal zeytinyağı kremi, hindistan cevizi yağı, beyaz şeffaf film ve koyu kahverengi şeffaf filmidir. Deneylerde iki farklı güneş paneli kullanılmıştır. Biri referans olarak kaplanmamış, diğeri ise yukarıda sıralanan malzemelerle kaplanmıştır. Her bir deney için sıcaklık ve voltaj (gerilim) değerleri ölç÷lmüştür.

1.1. Literatür Araştırması

Tez çalışmasının bu kısmında, fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması yöntemleri üzerine yapılan benzer çalışmalar, literatür tarayarak belirlenmiştir ve bu çalışmaların içerikleri özetlenmiştir. Güneş panellerinin verimlerinin artırılması dönük aşağıda sıralana üç farklı yöntem için literatür araştırması yapılmıştır. Bu yöntemler; soğutma, temizleme ve yansıma önleyici şeklindedir.

1.1.1. Soğutma

Soğutma yöntemleri kullanılarak güneş pilinin veriminin artırılmasına yönelik birçok deney yapılmıştır. Bu deneyler arasında birkaç tanesi aşağıda sıralanmıştır:

Abdo vd. 2020, güneş panellerinin soğutulmasında tuzlu su ile doymuş aktif alüminanın rolü üzerine deney yapmışlardır. Deneyler üç farklı tasarım ve işletim yönü kullanılarak yapılmıştır: İç kanat konfigürasyonlarının kullanımı (1. aşama), farklı tuzluluklarda tuzlu su ile (2. aşama) ve dış deliğinin soğutma performansı üzerindeki etkisi (3. aşama). Her bir aşamayı test etmek için gerekli aşamaları/kriterleri karşılamak için farklı iç ve dış konfigürasyonlara sahip uygun kutular tasarlanmıştır. Deneylerini şu şekilde tamamlamışlardır:

Soğutmasız panellerle karşılaştırıldığında, önerilen yeni dahili konfigürasyon, panelin sıcaklığını sırasıyla 800 ve 1000 W/m² güneş radyasyonu yoğunluklarında 12 ve 14 °C azaltmıştır. Tuzlu suyun etkisi saf su ile aynıdır. Böylece güneş panelinin soğutulması için tuzlu su kullanılabilir. Aktifleştirilmiş alümina tabletleri, daha yüksek tuzluluklarda daha yüksek bozulma oranı göstermiştir. Bu nedenle 35 PPT'nin üzerinde kullanılması önerilmez. Dış delikler, dairesel olanlara kıyasla dikdörtgen yuvalarla yaklaşık 3–4 °C'lik soğutma etkisinde bir artış göstermiştir. (Abdo, vd, 2020)

Rajvikram & Sivasankar 2019, PCM-HS29 ve ısı emici kullanarak güneş fotovoltaik panelinde en iyi ısı absorpsiyon ve yayılım metodolojisinin belirlenmesi için deney yapmışlardır. Standart çıkış gücünü ölçmek için bir FV paneli soğutulmadan bırakılmıştır. Diğer FV panele ısı emici takılmıştır. Isı emici ise seçilen PCM malzemesi ile doldurulmuştur. Sonuçta, PCM HS29'un sıcaklıkta geçici bir değişiklik yaratabildiğini ve ısı emici malzeme ise güneş PV panelindeki ısıyı dağıtıp sıcaklığı düşürdüğünü göstermiştir. PCM-HS29 malzemesi ve yerleşik bir kanatlı ısı emici malzemesinin kullanılması, panelin sıcaklığını yönetmek ve elektrik çıkışını maksimum ölçüde artırmak için uygun ve ekonomik bir yöntemdir. (Rajvikram & Sivasankar, 2019)

Grafen Nanopartiküller (GNP) nanoakışkanları, mikro boyutlu kanallar aracılığıyla düz bir güneş panelinde ana soğutma ortamı olarak da denenmiştir. Bu çalışma, GNP nanoakışkanlarının soğutma, 1.11 L/dk akış hızında akan su soğutmasına karşılaştırınca yaklaşık %42 ile ölçülen en yüksek etkili verimliliği gösterdiği bulunmuştur. (Moh, Ting, & Lau, 2019)

Abdo vd 2020, yaptığı çalışmada farklı konfigürasyonlara sahip hidrojel boncuklar, güneş panelleri için sabit/pasif bir arka yüzey soğutucusu olarak test etmişlerdir. Yataklar, katmanlar/sıralar olarak düzenlenmiş hidrojel küreler ile oluşturulmuştur. Dört konfigürasyon test edilmiştir ve soğutulmamış sistemle karşılaştırılmıştır. Test edilen dört konfigürasyon, 1 sıra yatak, 2 sıra yatak, kanatlı 2 sıra yatak ve kanatlı 3 sıra yataktır. Deneyle sırasında en yüksek 1000 W/m^2 , ortalama 800 W/m^2 ve en düşük 600 W/m^2 radyasyonu temsil etmek için üç ışınım (radyasyon) değeri kullanılmıştır. Sonuçlar, hidrojel yatağının farklı ışınım yoğunluklarında panelin sıcaklığını etkili bir şekilde azalttığını göstermiştir. Üç sıra kanatlı yatak en iyi ısıl performansı göstermiştir. Sırasıyla 600 ve 1000 W/m^2 'lik ışınım yoğunluklarında 9 ve $9.6 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında bir sıcaklık düşürme aralığı elde edilmiştir. Kanatlı 3 sıra yatak kullanılarak 1000 W/m^2 'de tahmini verimlilik %7,2 artmıştır. (Abdo, Scott, Benedi , & Abdelrahman, 2020)

1.1.2. Temizleme

Güneş panelinin verimliliğinin artmasında temizliğin rolü büyüktür. Güneş panellerini temizlemenin üç yöntemi vardır: elektrostatik yöntem, mekanik yöntem ve kaplama yöntemi. (Syafiqa vd, 2017)

Elektrostatik yöntem, güneş paneli camının altına takılan kum tutmaz levhadan oluşur. Bu levha da paralel elektrotlardan oluşmaktadır. Bir panelden aşağıya doğru hareket eden kum tanecikleri cihazda parmak arası hareket yaratır ve bu sayede panel yüzeyinden toz tanecikleri uzaklaştırılır. (Özçelik & Güğül, 2020)

Mekanik toz giderme yöntemi, ultrasonik sürüş, üfleme, fırçalama ve titreşim gibi çeşitli yöntemleri içerir. Mekanik titreşimler, güneş panellerine piezoseramik aktüatörler ekleyerek toz parçacıklarını giderebilir. Bu nedenle güneş panellerinin verimi 95'e kadar çıkmaktadır. Üfleme yöntemi, güneş pilini rüzgâr enerjisi ile temizler. Etkili temizleme avantajına sahiptir, ancak aynı zamanda yüksek enerji tüketimi, düşük verimlilik ve üfleminin bakımının zorluğu gibi dezavantajları da vardır. (Saravanan ve Darvekar, 2018)

Süperhidrofilik ve süperhidrofobik kaplamalar, güneş panelinin temizlenmesi ve verimliliğinin artırılması için iyi bilinen kaplama yöntemleridir. Süperhidrofobik, suyu iten bir malzeme türüdür. Süperhidrofilik ise suyu çeken malzeme türüdür. Bu yöntem güneş paneline uygulandığında, yağmurlu zamanlarda toz ve diğer partiküller güneş panelinden su ile birlikte aşağı yuvarlanır. Böylece panel verimi düşüren partiküllerden temizlenir. (Mozumdera vd, 2018)

1.1.3. Yansıma Önleyici

Yansıma önleyici uygulanması gibi hücrelerden yansımaları azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yansıma önleyiciler güneş pillerinin kapak camları için vazgeçilmezdir. İlk yansıma önleyici 1964'te geliştirilmiştir ve bugün piyasadaki FV panellerinin %70'inden fazlasının kapak camı veya güneş pili üzerinde bir yansıma önleyicisi vardır. (Sarkına, Ekren, & Sağlam, 2020)

Joshi vd, 2019, yeni bir sol-jel sentezi yaklaşımı kullanarak yüksek performanslı çok işlevli (geniş bant yansıma önleyici ve süperhidrofilik/buğulanma önleyici) bir kaplama bildirmişlerdir. 6° den küçük su temas açısında, hibrit bir sol ile kaplanmış çok işlevli film, güneş ve görünür bölgedeki geçirgenlikte sırasıyla %5.2 ve %6.4 gelişme gösterir. Kaplama filmi kalınlığı ve morfolojisi incelenmiştir ve hipotez, yansıma önleyici fenomenin teorik yönleriyle tam olarak uyumludur. Ayrıca filmin hızlanan hava koşullarındaki kararlılığını ASTM-G155 standardına göre incelediler ve çok iyi performans gösterdiler. Geliştirilen filmler, yansıma önleyici ve hidrofilik tipte kaplamanın gerekli olduğu çeşitli optik uygulamalarda daha fazla potansiyele sahiptir. (Joshi vd, 2019)

Lv vd. 2021, karbon kuantum noktaları (CQD) ve silika çerçeve arasında bulunan kovalent bağı kullanarak, güneş paneli laminasyonu için cam üzerinde gözenekli ve şeffaf ancak ışıldayan bir yansıma önleyici silika tabakası üretmek için basit ve uyumlu bir yöntem tasarlamışlar. Daha sonra CQD'lerin gözenekli silika matrisine sabitleme etkilerini kanıtlamak için optik ve yapısal karakterizasyonlar yapılmıştır. Güneş panelinin en üst kısmında yer alan aşağı kaydırmalı CQD'lerle oluşturulan yansıma önleyici silika tabakası da herhangi bir zayıflama olmaksızın UV emilimi sağlamıştır. Spesifik olarak, yalnızca yansıma önleyici gözenekli silika kaplama kullanan panel ile karşılaştırıldığında, CQD bağlantılı gözenekli silika tabakası ile kaplanmış güneş panelinin akımı ve verimliliği sırasıyla 90 mA ve %0.18 oranında iyileştirmiştir. Daha önce cam ve EVA tarafından bloke edilen güneş

spektrumunun UV kısmının optimum dönüşümünü sağlayarak kristal Si güneş paneline daha fazla güç çıkışı sağlamıştır. (Lv, ve diğerleri, 2021)

TiO₂ ve SiO₂ bazlı ARC (yansımaya önleyici kaplama), ince filmlerin fiziksel kalınlığı, her iki malzemenin kırılma indisi, termal tavlama ve mikro yapının gelişimi dikkate alınarak optik ve mekanik özelliklerin iyileştirilme amacı için tasarlanmıştır. Oda sıcaklığında hazırlanan yansımaya önleyici kaplama numuneleri, 400 ile 750 nm arasında bir geniş bant yansımaya önleyici yanıt sergilemiştir ve %3'ten daha düşük yansımaya değerleri elde etmiştir. Böylece cam alt tabakadan daha iyi performans göstermiştir. Oda sıcaklığındaki numuneler, tüm katmanlar için homojen kalınlıklarda mikroyapısal olarak amorfudur. Yansımaya önleyici kaplamanın 400, 500 ve 600 °C'de ısıl tavlama hem yüzey hem de tane boyutunda değişiklikler üretmiştir ve TiO₂ tabakasında anataz fazının oluşumunu indüklemiştir. ARC-400 numunesi düşük yansımaya değerleri sergilerken, daha yüksek sıcaklıklarda (ARC-500 ve ARC-600) tavlama numuneleri, indirgenmiş bir optik davranış göstermiştir. Bu, termal genişleme katsayısındaki farklılıklar nedeniyle çok katmanlı sistemdeki hasara bağlanmıştır. Yansımaya önleyici özelliklerin yanı sıra, ARC-400 numunesi en iyi mekanik özellikleri sergilemiştir. Referans ile karşılaştırıldığında, sırasıyla yaklaşık %47 ve %58 oranında artan sertlik ve Young modülü gözlemlenmiştir. Ayrıca, ARC-400 numunesi, Hf³/E² oranında %25'lik bir artış göstermiştir ve böylece plastik deformasyona karşı geliştirilmiş bir dirence işaret etmiştir. Tavlamanın neden olduğu plastik deformasyona karşı artan direnç, erozyona karşı direnci artıran ve böylece fotovoltaik panellerde kullanılan yansımaya önleyici kaplamaların ömrünü artıran önemli bir parametre olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak, 400 °C'de sonradan tavlama işlemine sahip yansımaya önleyici kaplamalar, geliştirilmiş mekanik özellikler (genişletilmiş dayanıklılık) ve daha geniş bir dalga boyu aralığında geliştirilmiş toplama yetenekleri (artan verimlilik) gibi iki tamamlayıcı yönü birleştirmektedir. (Zambrano, ve diğerleri, 2021)

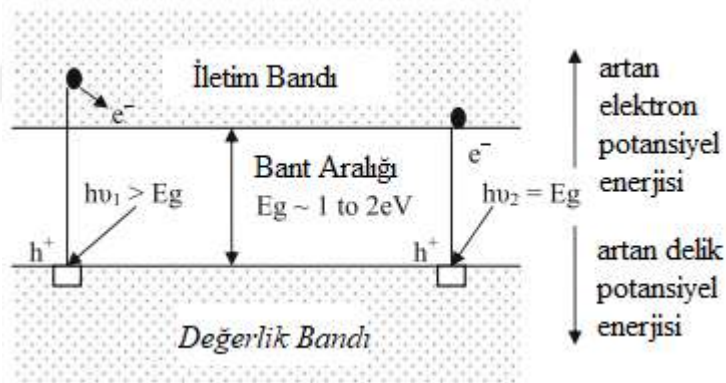
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yarı İletken ve Güneş Teknolojileri

2.1.1. İletkenliğe Bağlı Olarak Malzemelerin Bölünmesi

Elektronikte kullanılan malzemeyi iyi anlamak için iletim bandı, değerlik bandı ve enerji aralığı hakkında biraz bilgi sahibi olmak çok önemlidir.

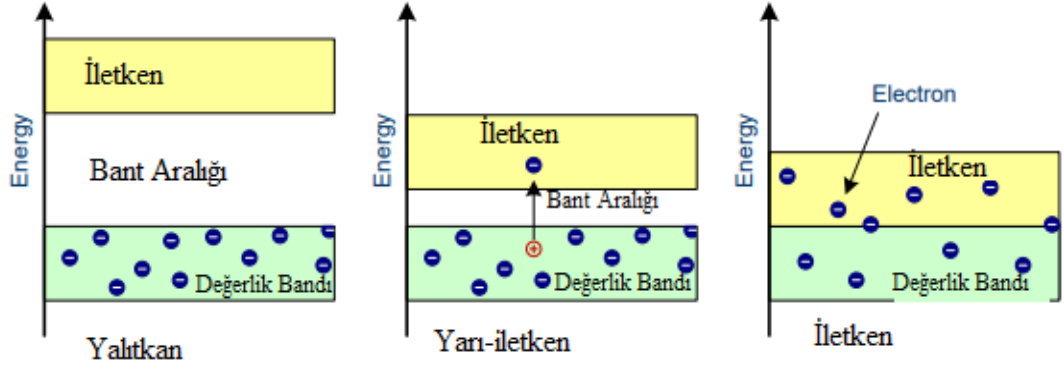
İletim bandı, elektronların uyarıldığında değerlik bandından yukarı sıçrayabildiği elektron orbitallerinin bandıdır. Elektronlar bu yörüngelerdeyken malzeme içinde serbestçe hareket etmek için yeterli enerjiye sahiptirler. Elektronların bu hareketi bir elektrik akımı yaratır. Değerlik bandı ise elektronların fiilen işgal ettiği herhangi bir spesifik materyalin atomunun en dıştaki elektron yörüngesidir. Değerlik bandının en yüksek enerji dolu durumu ile iletim bandının en düşük dolu olmayan durumu arasındaki enerji farkına bant aralığı denir. Bu da bir malzemenin elektriksel iletkenliğinin göstergesidir. Geniş bir bant aralığı, değerlik elektronlarını iletim bandına uyarmak için çok fazla enerji gerektiği anlamına gelir. (Dharan vd, 2018)



Şekil 2.1. Bant Şeması (Tiwari vd, 2016)

2.1.1.1. İzolatörler

Yalıtkanlar, normal şartlarda elektrik akımını iletmeyen malzeme türüdür. Çoğunlukla iyi yalıtkan malzemeler, tek bir elementten ziyade bileşiktir. Yüksek bir dirence sahiptir. Değerlik bantlarında bulunan elektronlar, ana atomlarına çok sıkı bir şekilde bağlanır. Bu nedenle, onları çekirdek çekimlerinden uzaklaştırmak için çok büyük bir elektrik alanı gereklidir. Bu, normal koşullarda yalıtkanların serbest elektrik yük taşıyıcıları olmadığı anlamına gelir. Enerji bandı açısından, yalıtkanlar tam değerlik ve boş iletim bandına sahiptir. Değerlik ve iletim bantları arasındaki enerji bant aralığı çok büyüktür. (Khattak, 2019)



Şekil 2.2. Farklı türdeki malzemelerin enerji şeması (Laube, tarih yok)

Bir elektrik akımı oluşturmak için elektronları değerlik bandından iletkenlik bantlarına taşımak için büyük miktarda enerji gerekir. Yalıtkan malzemede değerlik bandındaki elektronlar iletkenlik bandına ulaşamadığı için akımın oluşması mümkün değildir. Bu nedenle yalıtkan yani iletken olmayan malzemelerdir.

2.1.1.2. İletkenler

İletkenler, serbestçe hareket eden elektronlara sahip malzemelerdir. Değerlik bandında çok sayıda elektrona sahip olmaları ve enerjiyi emdiklerinde elektronların uyarılması ve iletim bandına atlamasıyla karakterize edilir. Bant aralığı üst üste bindikçe elektronlar serbestçe hareket eder ve bu da elektrik akımı oluşumuna neden olur. Yukarıda Şekil 3.2’de görüleceği gibi, elektronlar değerlik bandından iletim bandına serbestçe hareket ederler. Metaller, özellikle Altın (Au), bakır (Cu), gümüş (Ag) gibi tek elementler yüksek iletkenliğe sahiptir. (Khattak, 2019)

2.1.1.3. Yarı iletkenler

Yarı iletkenler, iletken ve iyi yalıtkan özelliği olan malzemelerdir. Küçük bant aralığına sahip oldukları için ne tüm elektronlar değerlik bandından iletken bandına geçerler ne de tamamen hareket etmeleri yasaklanır. Bunun yerine, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi kısmen değerlik bandından iletkenler bandına geçerler. Bu şekilde iletkenlerin ve yalıtkanların özelliklerini birleştirirler. Bir yarı iletken, Si veya Ge gibi tek bir elementten, GaAs, InP veya CdTe gibi bir bileşikten veya $\text{Si}_x\text{Ge}_{(1-x)}$ veya $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ gibi bir alaşımdan olabilir; burada x belirli bir elemanın kesridir ve 0 ile 1 arasında değişir.

		13 Al Aluminium 26.982	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.065
29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.96
	48 Cd Cadmium 112.441	49 In Indium 114.818		51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60

Şekil 2.3. Ortak yarı iletken malzemeler (Khattak, 2019)

Yukarıdaki tablodan yarı iletkenleri temel, ikili bileşikler, oksitler, katmanlı, organik yarı iletkenler, manyetik ve diğer çeşitli yarı iletkenler olarak ayırabiliriz:

- Elemental yarı iletkenler - Tek elementte bulunan yarı iletkenlerdir. En iyi bilinen temel yarı iletkenler şunlardır: Silisyum ve Germanyum.
- İkili bileşikler - Grup III ve V, grup IV ve VI gibi farklı periyodik tablo gruplarının elementlerinden oluşturulur. Örneğin Galyum Arsenid (GaAs), kurşun sülfür (PbS), PbTe ve kalay sülfür (SnS), ikili bileşik yarı iletkenlerdir.
- Oksitler - Oksijen (O₂)- Bakır oksit (CuO) ve çinko oksit (ZnO) içeren bileşiklerdir.
- Katmanlı yarı iletkenler - Kurşun iyodür (PbI₂), molibden disülfür (MoS₂) ve galyum selenit (GaSe) gibi yarı iletken bileşiklerdir. Katmanlı kristal yapıları ile karakterize edilir.
- Organik yarı iletkenler - Poliasetilen [(CH₂)_n] ve polidiasetilen gibi birçok organik bileşik yarı iletkenidir. Organik yarı iletkenler henüz hiçbir şekilde elektronik cihazlarda kullanılmasa da, gelecekteki uygulamalar için büyük umut vaat ediyor.
- Manyetik yarı iletkenler - Öropyum (Eu) ve manganez (Mn) gibi manyetik iyonlar içeren birçok bileşik, ilginç yarı iletken ve manyetik özelliklere sahiptir. Bu manyetik yarı iletkenlerin örnekleri arasında EuS ve Cd_{1-x}Mn_xTe gibi alaşımlar bulunur.
- Diğer çeşitli yarı iletkenler - Yukarıdaki kategorilere girmeyen birçok yarı iletken vardır. Örneğin, SbSI, düşük sıcaklıklarda ferroelektriklik özelliği sergileyen bir yarı iletkenidir. (Yu & Cardona, 2010)

2.1.2. Yarı İletkenlerin Sınıflandırılması

Yukarıda yarı iletkenleri birçok gruba ayırmaya çalıştık. Özellikle güneş panelinde kullanılan yarı iletkenleri, saflıklarına ve iletkenlik seviyelerine bağlı olarak, iki ana sınıfa ayırabiliriz:

2.1.2.1. İç Yarı İletkenler

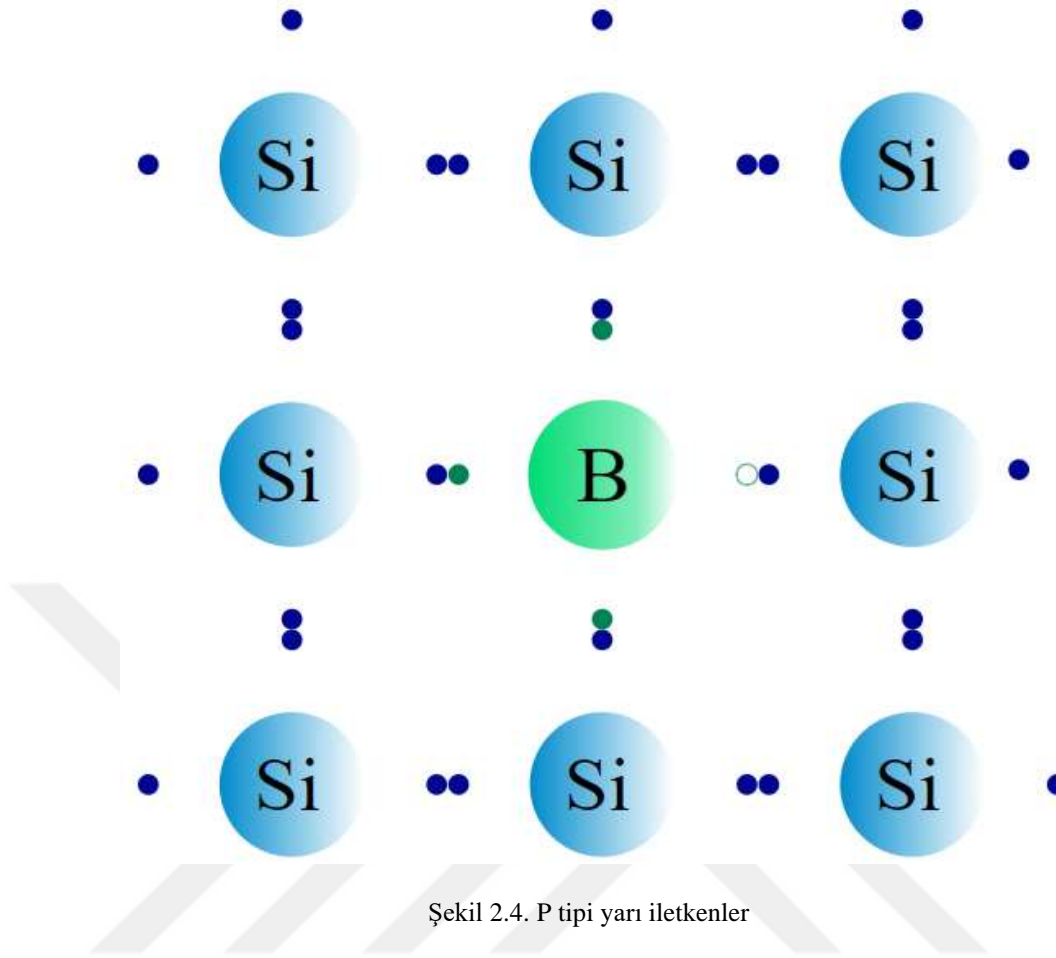
Herhangi bir katkı veya katkı olmaksızın saf element olan yarı iletken türleridir. Örneğin, silisyum ve germanyum içsel yarı iletkenlerdir. Düşük elektrik yük taşıyıcılarına sahip oldukları için iletkenlik seviyeleri çok düşüktür. İletkenliklerini arttırmak için diğer elementler gibi katkılarırlar.

2.1.2.2. Dışsal Yarı İletkenler

Bunlar, içsel yarı iletken ve başka bir elementin karışımı olan yarı iletken türleridir. Yukarıda belirtildiği gibi, saf yarı iletkenler (iç yarı iletkenler) düşük iletkenliğe sahip oldukları için kontrollü miktarda belirli safsızlık iyonları eklenerek iletkenliği artırılabilir. Bu katkılı yarı iletkenler artık "dışsal yarı iletkenler" olarak adlandırılmaktadır. Bu 'ekleme' farklı bir periyodik tablo grubundan bir element kullanır ve bu şekilde değerlik bandında yarı iletkenin kendisinden daha fazla veya daha az elektrona sahip olacaktır. Bu, elektron fazlalığı veya eksikliği yaratır. Böylece iki tip dışsal yarı iletken mevcuttur:

2.1.2.2.1 P-tipi Yarı İletkenler

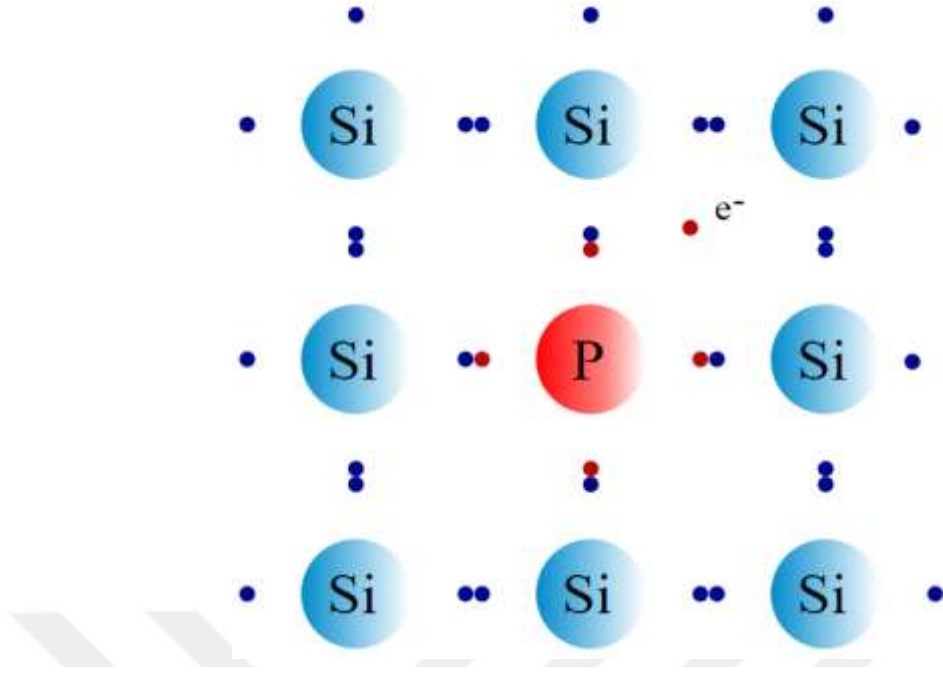
Serbest elektrik yük taşıyıcılarının sayısını artırmak için yarı iletkene belirli bir tür atom eklenerek bir p-tipi ("pozitif" için p) yarı iletken oluşturulur. Bir atom yarı iletken atomlarına eklendiğinde, bu atom yarı iletken atomlardan zayıf bağlı olan dış elektronları alır (kabul eder). Bu tip atomlar aynı zamanda bir alıcı materyal olarak da bilinir. Elektronun geride bıraktığı boşluk da "hole (delik)" olarak adlandırılır. P-tipi ekleme amacı, bol miktarda delik oluşturmaktır. Delikler yük taşıyıcı görevi alırlar ve elektriksel olarak pozitif yüklüdür.



Şekilde görüldüğü gibi boron atomu silisyum atomundan bir elektron aldığı için geride bir boşluk kalmıştır.

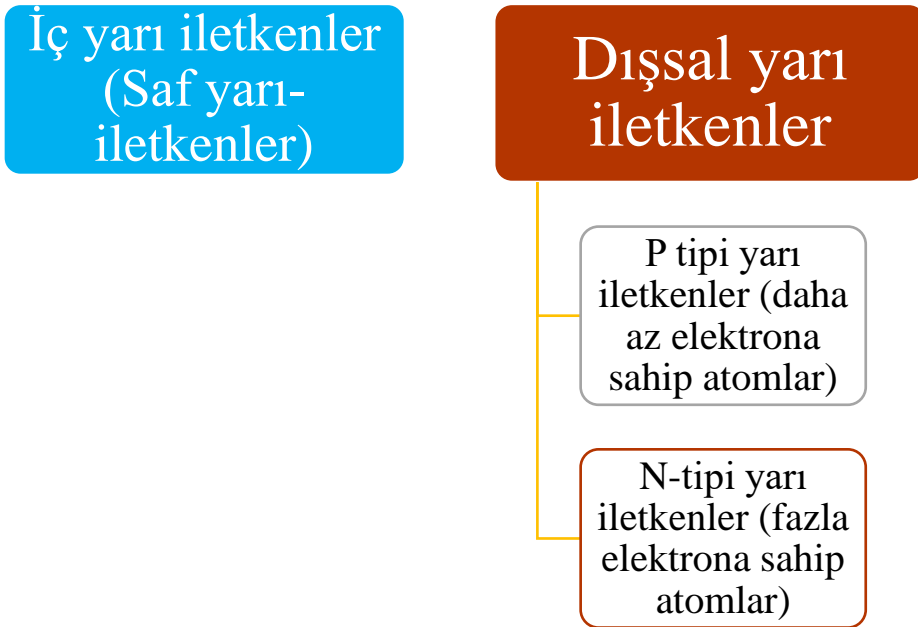
2.1.2.2.2. N-tipi Yarı İletkenler

N-tipi yarı iletkenler, bir atom başka saf yarı iletken atomuna ekstra iletim elektronları sağlayabildiği bir tür dışsal yarı iletkenidir. Bu fazla miktarda negatif (n-tipi) elektron yük taşıyıcısı oluşturur. (Learning, tarih yok)



Şekil 2.5. N-tipi yarı iletkenler

Şekilde görüldüğü gibi fosfor atomu silisyum atomuna ekstra elektron sağladı. Bu N-tip yarı iletkenidir.



Şekil 2.6. Yarı iletkenlerin sınıflandırılması

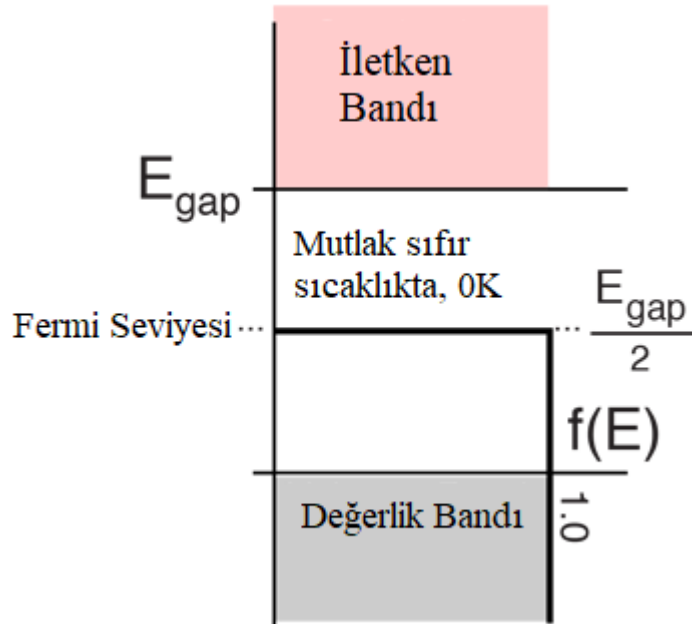
2.1.3. Yarı İletkenin Temelleri

2.1.3.1. Doping

Doping, iletkenliğini değiştirmek ve iyileştirmek için safsızlıkların yarı iletken kristale eklenmesi anlamına gelir. Silisyumun katkılanabileceği en önemli iki malzeme bor (3 değerlik elektronu) ve fosfordur (5 değerlik elektronu). Diğer malzemeler alüminyum, indiyum (3 değerlikli) ve arsenik, antimon (5 değerlikli). Dopant, yarı iletken kristalin kafes yapısına entegre edilir. Dış elektronların sayısı doping türünü tanımlar. 3 değerlik elektronlu elementler p-tipi doping için, 5 değerli elementler n-tipi doping için kullanılır. (Laube, tarih yok)

2.1.3.2. Fermi Seviyesi

Fermi seviyesi, 0 K'ye eşit sıcaklıkta elektron yörüngesinin kapladığı enerji düzeyidir. Fermi seviyesi, değerlik bandı ve iletim bandı arasındadır. Fermi seviyesi birkaç faktörü belirler. Farklı enerji seviyelerinde ne kadar elektron bir araya geldiğini belirler. Ayrıca malzemenin elektriği ne kadar kolay iletebileceğini de belirler. Fermi seviyesi iletim bandı enerjisine yaklaştıkça elektronların değerlik bandından iletim bandına gitmesi daha kolay olacaktır. (LibreTexts, 2021)

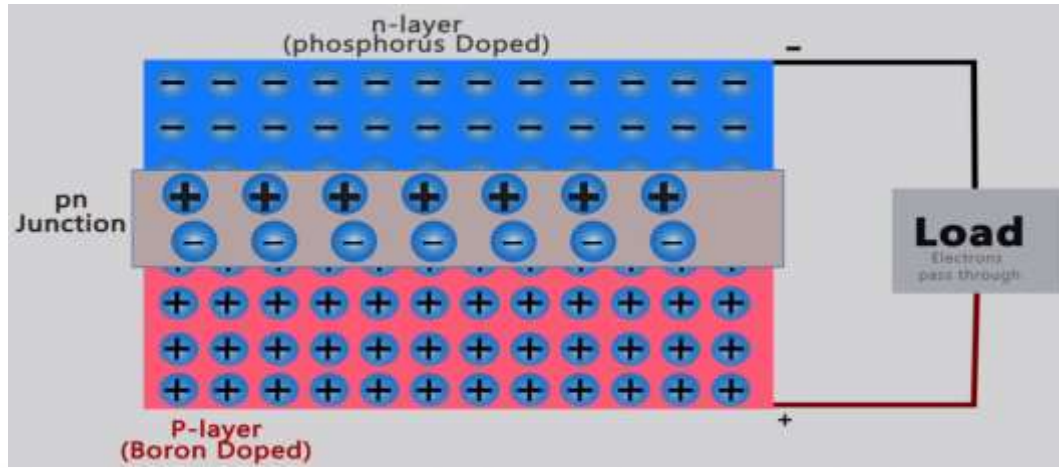


Şekil 2.7. Yarı-iletken için fermi seviyesi (Nave, tarih yok)

2.1.3.3. P–n Kavşağı

P-N eklem veya tükenme bölgesi, N-katmanı ve P-katmanı birbirine bağlandığında ve elektronlar tüm hacimdeki holleri doldurmaya çalıştıklarında

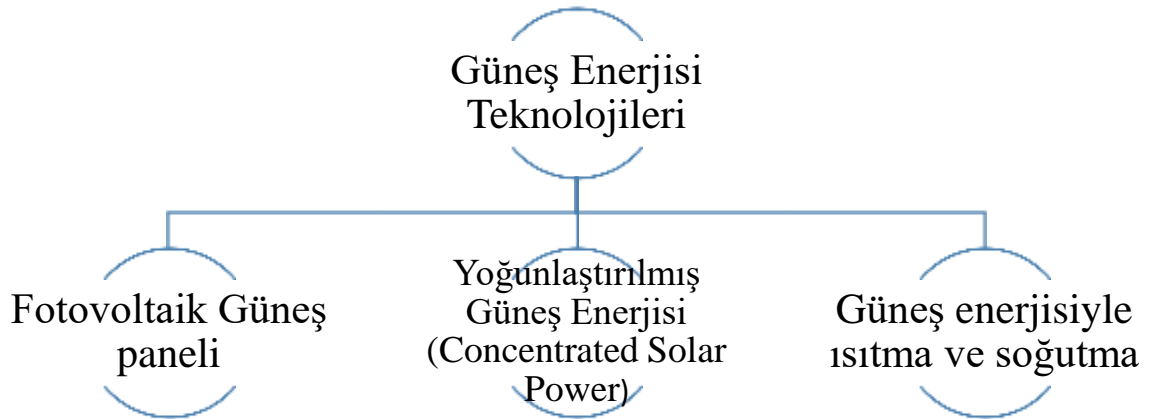
oluşturulur. Bir silisyum parçasının bir tarafını borla (p-tipi dopant) ve diğer tarafını fosforla (n-tipi dopant) doping yapmak bir p-n eklemi oluşturur.



Şekil 2.8. P-N eklem, p-tabak ve n-tabak (engineering, 2018)

2.2. Güneş Enerjisi Teknolojileri

Üç ana güneş enerjisinin teknolojisi türü vardır: fotovoltaik, güneş enerjisiyle ısıtma ve soğutma, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi.



Şekil 2.9. Güneş enerjisi teknolojileri

2.2.1. Fotovoltaikler

Fotovoltaik (FV) teknolojileri, güneş ışığından gelen enerjiyi doğrudan elektriğe dönüştürür. Güneş ışığı yarı iletken bir malzemenen yapılmış FV modülüne

çarptığında elektronlar atomik bağlarından sıyrılır. Bu elektron akışı bir elektrik akımı üretir. FV modülleri hareketli parça içermez ve genellikle minimum bakımla otuz yıl veya daha uzun süre dayanır. (SEIA, 2017)



Şekil 2.10. Fotovoltaik panelleri

2.2.2. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP)

CSP teknolojileri, ayna veya lens yardımıyla elektrik üretir. Aynalar, doğal güneş ışığını belirli bir noktaya yansıtır, konsantre eder ve odaklar. Konsantre edilen bu güneş ışığı muazzam bir ısı üretir. Isı daha sonra buhar oluşturmak için kullanılır. Daha sonra bu buhar, elektrik enerjisi üretmek için bir türbini çalıştırır. CSP teknolojisi üretilen ıslayı depolayabildiği için süreç sürekli olarak tekrarlanabilir. Bu nedenle güneşin olmadığı günlerde veya gün doğumundan önce ve gün batımından sonra kullanılabilir.

CSP Sistemi üç ana birimden oluşur:

- Güneş alanı (Solar Field): Güneş enerjisini termal enerjiye dönüştürür.
- Isı Depolama (Heat Storage): Isı depolama ortamı olarak erimiş tuzu kullanarak termal enerjiyi depolar.
- Güç Bloğu (Power Block): Güneş enerjisi tarafından üretilen buharla güç türbini aracılığıyla elektrik üretir. (Corporation, tarih yok)

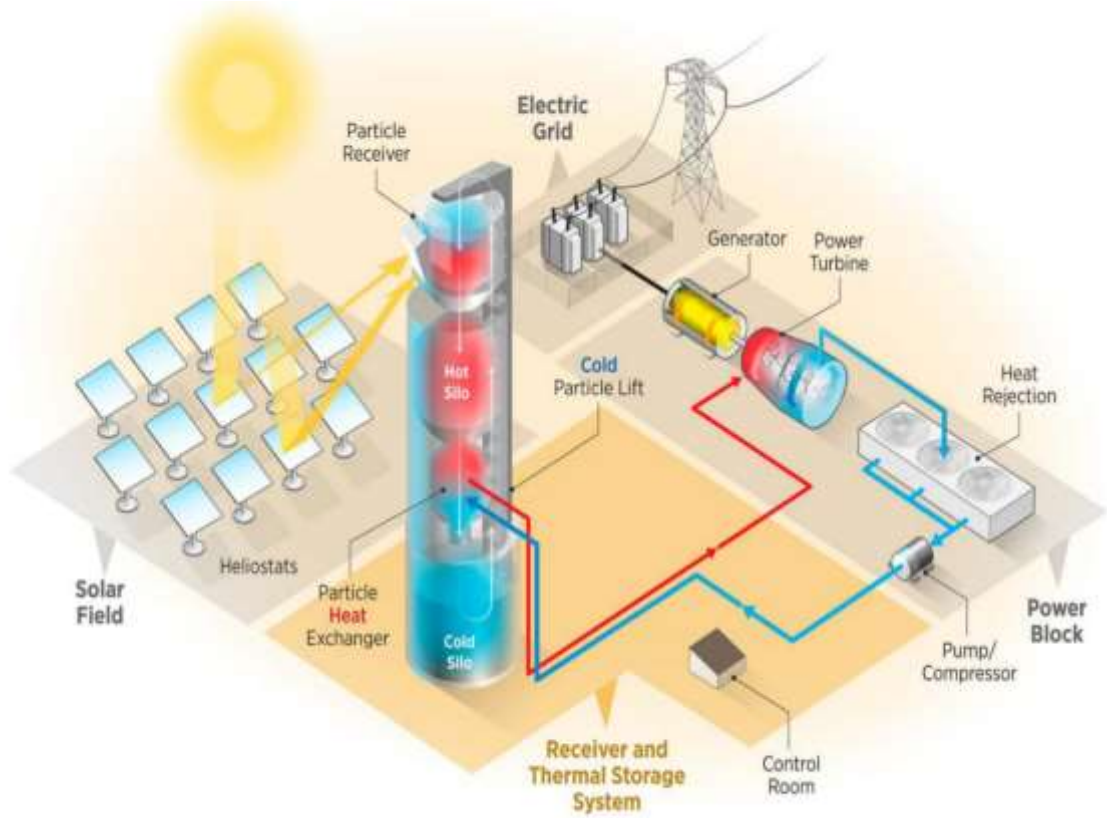


Image: Mehos, Turchi, Vidal, et al., Concentrating Solar Power Gen3 Demonstration Roadmap, NREL/TP-5500-67464, January 2017.

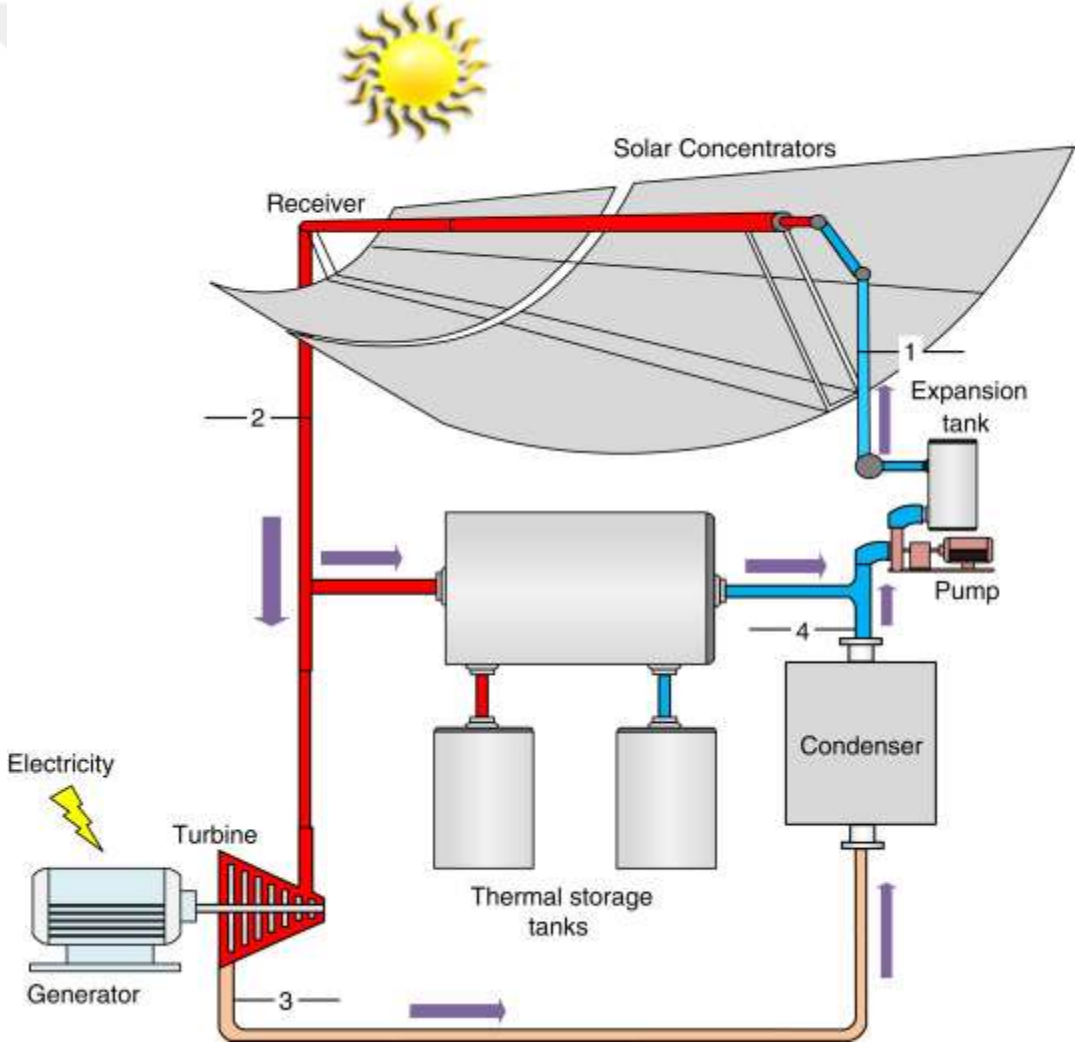
Şekil 2.11. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin çalışma prensibi

Büyük ölçekli elektrik üretimi söz konusu olduğunda CSP teknolojisinin birçok avantajı vardır, ancak aynı zamanda tesisi kurmak için geniş bir alan gerektirir. CSP türleri şunlardır:

- Parabolik oluk
- Merkezi alıcı kulesi
- Doğrusal Fresnel
- Paraboloidal Çanakları

2.2.2.1. Parabolik Oluk Sistemi

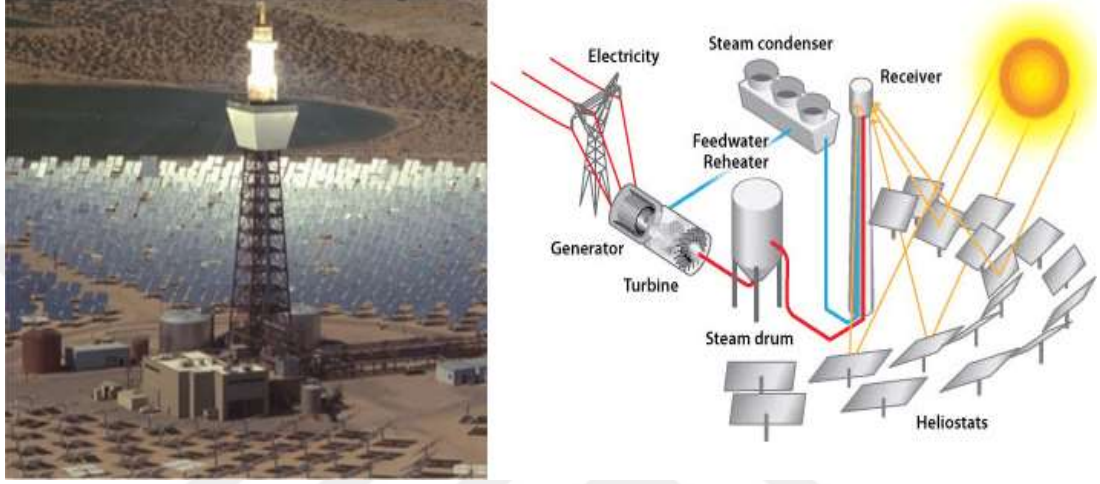
Bu tip CSP’de parabolik reflektörler (odaklama aynaları) kullanılır. Bu reflektörler, güneşin termal enerjisini alıcı boruya yoğunlaştırır. Boru genellikle 400C'ye kadar ısıtılan termal yağ içerir. Sudan buhar üretmek için ısıtılmış yağ ısı eşanjörüne aktarılır. Bu buhar da elektrik üretmek için jeneratörlerle birleştirilmiş türbinleri çalıştırır. (Dixit, 2020)



Şekil 2.12. Parabolik oluk sistemi ve çalışma şeması

2.2.2.2. Merkez Alıcı Kulesi

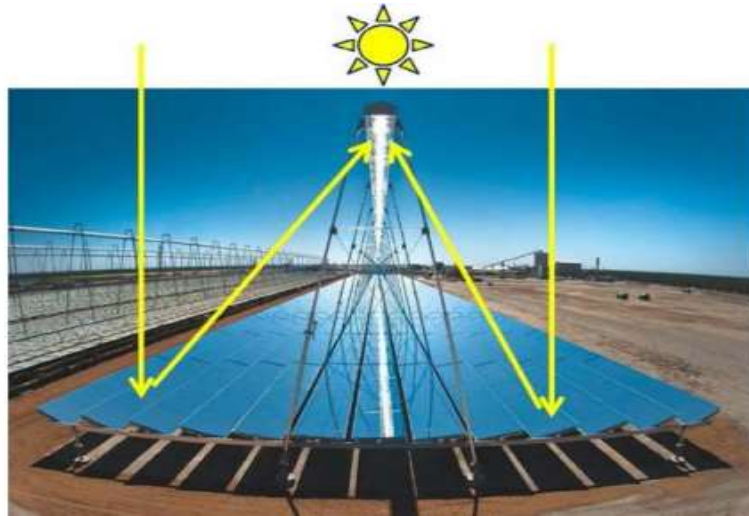
Bu sistemler, güneşi takip eden ve enerjisini bir kulenin tepesindeki bir alıcıya odaklayan heliostat adı verilen aynaları kullanır. Alıcının içinde bir sıvı (genellikle erimiş tuzlar) ısıtılır ve türbin jeneratörünü çalıştıran buhar üretmek için kullanılır. (Brunel, 2021)



Şekil 2.13. Merkez alıcı kulesi (Dixit, 2020)

2.2.2.3. Lineer (Doğrusal) Fresnel Reflektör

Çok sayıda koleksiyoncu sıralar halinde dizilmiştir. Aynalar yere düz olarak yerleştirilmiş ve üste bulunan alıcı boruya güneşi yansıtır. Oluk ve kule sistemlerine benzer şekilde fresnel, depolamayı bir güç bloğuna entegre edebilir veya doğrudan buhar üretebilir.

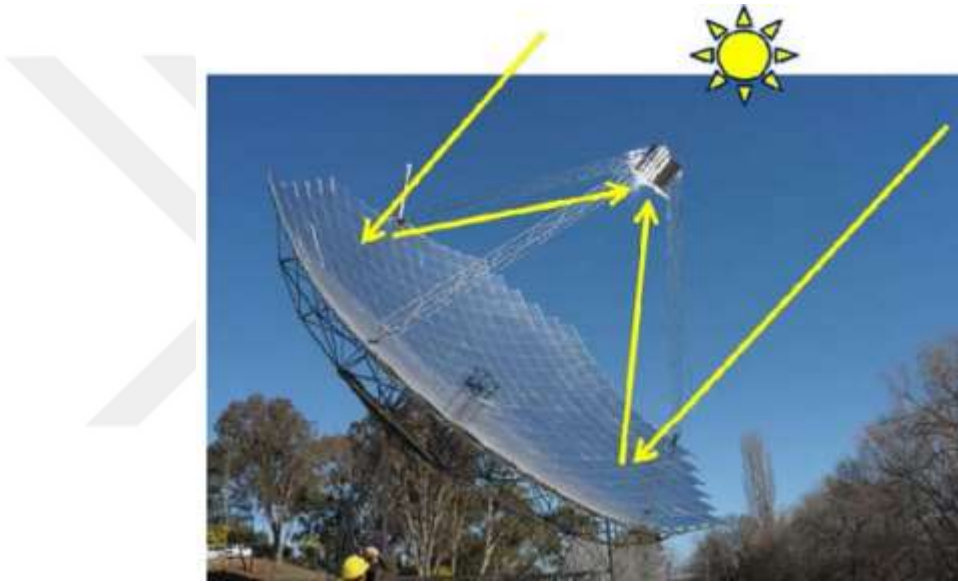


Şekil 2.14. Doğrusal fresnel reflektör

Lineer Fresnel reflektör: güneşi sabit bir lineer alıcıya odaklamak için birden fazla ayna bir eksen üzerinde hareket eder. (Lovegrove & Stein, 2012)

2.2.2.4. Parabolik Çanakları

Parabolik çanak, güneş ışığını aynanın odak noktasında bulunan bir alıcıya yoğunlaştırmak için parabolik çanak şeklinde veya içbükey bir ayna kullanır. Konsantre edilen güneş enerjisi alıcı tarafından bir sıvıyı $\sim 750^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtmak için emilir. Daha sonra bu ısıtılmış sıvı bir Stirling motoru veya mikro türbin aracılığıyla elektrik üretmek için kullanılır. (M.Asif, 2017)



Şekil 2.15. Parabolik çanakları

2.2.3. Güneş Enerjisiyle Isıtma ve Soğutma

Solar ısıtma ve soğutma teknolojileri güneşten gelen termal enerjiyi toplar ve bu ısıyı konut, ticari ve endüstriyel uygulamalar için sıcak su, alan ısıtma ve soğutma sağlamak için kullanır. Birkaç tip kollektör vardır: düz plaka, tahliye borusu, İntegral Kollektör Deposu (ICS), termosifon ve konsantre. Bu teknolojiler 3-6 yıl içinde yatırım dönüşü sağlar. (SEIA, 2017)



Şekil 2.16. Güneş enerjisiyle ısıtma ve soğutma teknolojisi

2.3. Fotovoltaik ve Güneş Pili

"Fotovoltaik" terimi, Yunanca ışık anlamına gelen "fos" ve elektrik anlamına gelen "voltaik" kelimelerinden oluşur. Elektrik "fotovoltaik etki"den üretilebilir. Fotovoltaik etkinin doğru bir tanımı, elektromanyetik ışık radyasyonunun elektrik enerjisine doğrudan dönüştürülmesidir. Güneş ışığını kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan cihaza güneş pili denir. Güneş pilleri, fotovoltaik hücreler olarak da bilinir. Güneş ışığını elektriğe dönüştürür. Güneş ışığı fotovoltaik hücrelerine vurunca elektronlar yarı iletken bir malzemede serbestçe hareket eder. Bir fotovoltaik hücrenin pozitif ve negatif noktalarına teller bağlanırsa, elektron akmaya başlar. (Khattak, 2019)

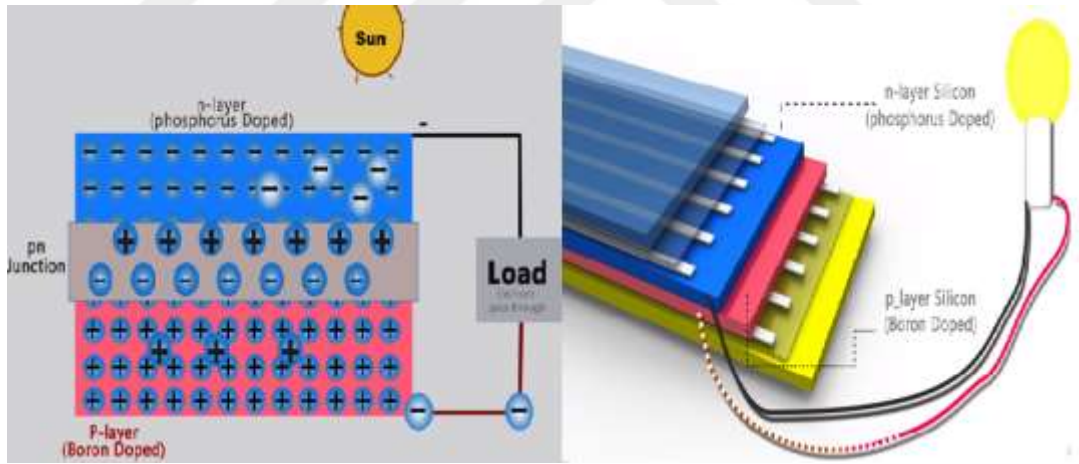


Şekil 2.17. Güneş pili veya fotovoltaik hücre

2.3.1. Güneş Pilin Çalışma Prensibi

Saf olmayan iki silisyum parçası, P-tipi ve N-tipi birbirine temas ettiğinde, bir elektrik alanı oluşur. N tarafında bulunan serbest elektron P tarafındaki bulunan holleri doldurmak için acele eder. Tüm serbest elektronlar serbest açıkları dolduramaz. Işık eklemde parladığında akım ve voltaj üretebilirler. Foton enerjisi yeterince büyükse, bir elektrona enerji verebilir ve kovalent bağından serbest bırakabilir. Bu hareket edebilen bir elektron üretir ve arkasında başka bir elektronu kabul edebilecek holu bırakır.

Elektrik alanı nedeniyle elektronlar n tipi malzeme tarafına çekilir. Benzer şekilde, delikler p-tipi malzeme tarafına çekilir. Yüklerin bu şekilde ayrılması akımın eklem (junction) boyunca akmasına neden olur. Bu yüzden N-tabakasında elektron fazlalığı ve p-tabakasında hol fazlalığı vardır. N-katmanı ve P-katmanı arasında elektrik teli bağlanırsa, N-katmanından elektronlar P-katmanındaki delikleri doldurmaya çalışır. Bu şekilde elektrik akımı meydana gelir.



Şekil 2.18. Fotovoltaik pillerin çalışma şeması (engineering, 2018)

2.3.2. Güneş Pilinin Temel Parametreleri ve Elektriksel Karakterizasyonu

Güneş pillerinin performansını karakterize etmek için kullanılan ana parametreler; maksimum güç (P_{max}), kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre voltajı (V_{oc}) ve dolun faktörü (FF)'dir.

2.3.2.1. Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımı, güneş pili tarafından sıfır yük durumunda ($RL = 0$ 'da) üretilen maksimum akımdır. Amper (A) veya mili-amper (mA) cinsinden ölçülür. Kısa devre akımında gerilim değeri sıfırdır.

Kısa devrenin değeri hücre alanına, hücre üzerine düşen güneş ışınımına, hücre teknolojisine vb. bağlıdır. Bazen üreticiler akımın değerinden ziyade akım yoğunluğunu verir. Akım yoğunluğu “J” ile, kısa devre akım yoğunluğu ise “JSC” ile gösterilir. Kısa devre akım yoğunluğu, kısa devre akımının güneş pillerinin alanına aşağıdaki gibi bölünmesiyle elde edilir:

$$J_{sc} = I_{sc} / A \text{ (Electrical Technology, 2014)}$$

2.3.2.2. Açık Devre Gerilimi (V_{oc})

Açık devre voltajı, dış devreden hiçbir akımın geçmediği gerilimdir. Bir güneş pilinin verebileceği maksimum voltajdır. Bir güneş pili açık devre olduğunda ve güneş pili boyunca hiçbir yük bağlanmadığında, akım minimum (sıfır) değerinde, voltaj ise maksimum değerinde olacaktır. Volt (V) veya mili volt (mV) cinsinden ölçülür. V_{oc} değeri, hücre teknolojisine ve hücrenin çalışma sıcaklığına bağlıdır.

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right), I = 0 \text{ da}$$

Burada I_0 –doyma akımı, I_L - ışıktan üretilen akımıdır. (Khattak, 2019)

2.3.2.3. Maksimum Güç (P_M)

Maksimum güç noktası, bir güneş pilinin STC'de üretebileceği maksimum gücü temsil eder. W_{Peak} veya basitçe W_P cinsinden ölçülür. STC dışında güneş pili, farklı parlaklık ve hücre çalışma sıcaklığında P_M 'ye sahiptir.

Kısa ve açık devre koşullarında güç üretilmez. Her ikisi veya herhangi biri sıfır olacaksa güç çıkışı sıfır olacaktır. Cihaz, maksimum voltaj ve akım değerleri için maksimum güç sağlayacaktır.

$$P_{max} = V_{max} I_{max}$$

2.3.2.4. Dolu Faktörü

Dolu faktörü, belirli bir V_{oc} ve I_{sc} için güneş pilinden çekilen maksimum güç çıkışı hakkında bir fikir verir. Matematiksel olarak aşağıdaki denklem ile verilir. İdeal koşullar altında FF'nin değeri birdir. İdeal değerden sapma, kusurlardan ve temas direncinden kaynaklanır. Bir Si güneş pili için maksimum FF değeri 0.88'dir.

$$FF = \frac{P_{maks}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{VMPP \times IMPP}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

2.3.2.5. Güneş Panelin Verimliliği

Bir güneş pili verimliliği, maksimum çıkış gücünün (P_{maks}) giriş gücüne (P_{in}) bölümü olarak tanımlanır. Yüzde (%) olarak ölçülür ve pile giren güneş ışığı bu kadar yüzdesinin elektrik gücüne dönüştürüldüğünü gösterir. Verimlilik şu şekilde hesaplanabilir;

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} = \frac{VMPP \times IMPP}{Gelen\ güneş\ radyasyonu \times Güneş\ pilin\ alanı}$$

2.3.3. Güneş Pillerinin Nesli

Üç güneş pillerinin nesli vardır:

2.3.3.1. Birinci Nesil

Güneş pillerinin birinci nesli (1G) esas olarak silisyum levha teknolojisine dayanır ve tipik olarak güç dönüşümü yaklaşık %15-20'dir. Şu anda, güneş panellerinin üretimi için ticari olarak dört tip silisyum bazlı fotovoltaik hücre kullanılmaktadır. Bu tipler monokristal, polikristal, amorf ve hibrit güneş pilleridir. Birinci nesil güneş pilinin üretmek için, yüksek enerji ve işçilik gerektirmektedir. Bu güneş pilleri, tüm güneş pilleri nesilleri arasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.3.2. İkinci Nesil

İkinci nesil (2G) güneş pilleri, amorf silisyum ve silisyum olmayan malzemelere, yani bakır indiyum galyum selenit (CIGS) ve kadmiyum tellürit (CdTe) dayanmaktadır. İkinci nesil güneş pilleri, kimyasal buhar biriktirme, moleküler ışın epitaksi veya döndürmeli kaplama tekniği kullanılarak, yukarıdaki malzemelerin ince filminin substratlar (Si, cam veya seramik) üzerine yerleştirilmesiyle üretilir. Bu güneş

pilllerinin verimleri birinci nesil güneş pillerine göre düşüktür, üretim maliyetleri de düşüktür.

2.3.3.3. Üçüncü Nesil

Bu teknolojide güneş pilleri silisyum yerine çeşitli yeni malzemelerden yapılmaktadır. Bunun amacı verimliliği artırarak mevcut güneş pillerini geliştirmek ve maliyeti azaltmaktır. Üçüncü nesil güneş pilleri, nanokristal bazlı güneş pilleri, polimer bazlı güneş pilleri, boya duyarlı güneş pilleri ve konsantre güneş pilleri şeklinde sıralanabilir. (GÜNAM, tarih yok)

Üçüncü nesil güneş pilleri, pahalı, yüksek performanslı çok eklemli deneysel güneş pilleridir. Çoğunlukla iş laboratuvarlarda yapılır ve ticari olarak mevcut değildir. Şu anda araştırma altında olan yeni ince film güneş pillerin sınıfı, perovskit ve kuaterner bileşik güneş pilleridir. Bu tür cihazlar, çok küçük bir alanda yaklaşık %20'lik rekor güç dönüştürme verimliliği ile muazzam bir potansiyel gösterir. Polimer güneş pilleri rulodan rulo (R2R) teknolojisi ile üretilir ve gazete baskısı ile karşılaştırılabilir. Birinci ve ikinci nesil güneş pillerine göre üçüncü nesil güneş pilleri sınırlıdır ancak büyük potansiyele sahiptirler. Son zamanlarda polimer güneş pillerine yönelik araştırmalara ilgi önemli ölçüde artmaktadır. (Khattak, 2019; Tiwari vd, 2016)

2.3.4. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pilleri üç ana kategoriye ayrılabilir. Bunlar kristal silisyum pilleri, ince film pilleri ve yeni ortaya çıkan güneş pilleridir.

2.3.4.1. Kristalli Silisyum Güneş Pilleri

Bunlar silisyum bazlı güneş pilleridir. Monokristal (tek kristal) ve polikristal (çok kristalli) olmak üzere iki kategoriye ayrılabilirler.

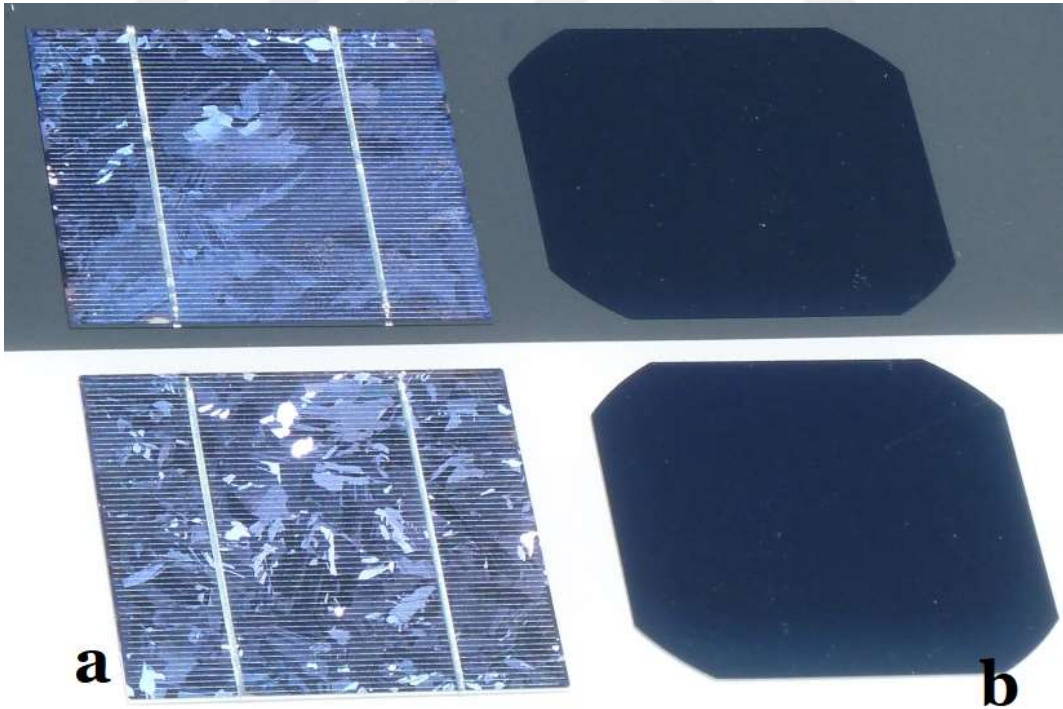
2.3.4.1.1. Monokristal

İlk ticari olarak temin edilebilen güneş pilleri, son derece saf bir silisyum formu olan monokristal silisyumdan yapılmıştır. Bunları üretmek için, erimiş silisyum kütlelerinden bir tohum kristali çekilip tek, sürekli ve kristal kafes yapısına sahip silindirik bir külçe oluşturulur. Daha sonra bu kristal mekanik olarak ince levhalar

halinde kesilir, cilalanır ve gerekli P-N birleşimini oluşturmak için katkılanır. Yansıma önleyici kaplama ve ön ve arka metal kontaklar eklendikten sonra, hücre nihayet kablolanır ve diğer birçok hücreyle birleştirilerek tam bir güneş paneli haline getirilir. Monokristal silikon hücreler oldukça verimlidir, ancak üretim süreçleri yavaştır ve emek yoğunudur. Bu da onları polikristal veya ince filmlerinden daha pahalı hale getirir. (J.M.K.C. Donev , 2018)

2.3.4.1.2. Poli-kristal

Tek bir düzgün kristal yapı yerine, polikristal (veya çok kristalli) hücreler birçok küçük kristal tanecikleri içerir. Erimiş silisyumdan küp şeklinde bir külçe döküm yapılır. Daha sonra monokristal hücrelerdeki gibi kesilip birleştirilir. Kenar tanımlı film beslemeli büyüme (EFG) olarak bilinen başka bir yöntem, erimiş silisyum kütlesinden ince polikristal silisyum şeridi çekilir. Daha ucuz ama daha az verimli olan polikristal FV hücreleri, 2015 yılında küresel FV üretiminin yaklaşık %70'ini temsil etmiştir. (Energy, 2015)

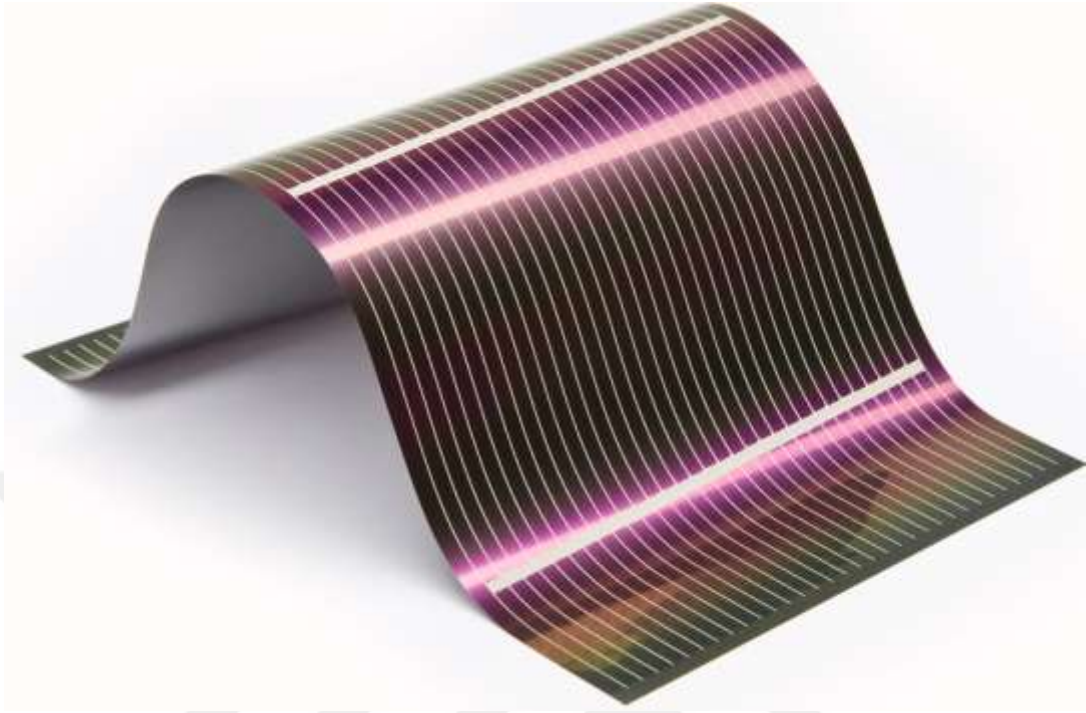


Şekil 2.19. a-polikristal silisyum FV hücresi, b-monokristalin silisyum FV hücresi

2.3.4.2. İnce Film Güneş Pilleri

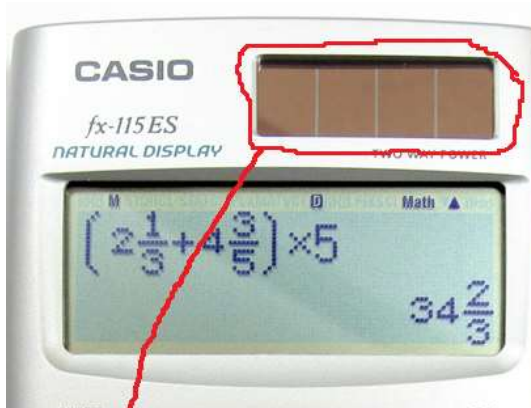
İnce film güneş pilleri, ikinci nesil güneş pilleri olarak kabul edilir. İnce film güneş pili, silisyum, kadmiyum veya bakır gibi bir veya daha fazla ince FV malzemesi

tabakasının cam, plastik veya metal gibi bir destekleyici malzeme üzerine yerleştirilmesiyle yapılır. (U.S. Department of Energy., tarih yok)



Şekil 2.20. İnce film güneş pili

En iyi bilinen ince film güneş pilleri amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum galyum selenit (CIGS)'dir. Diğer türleri ise polimer ve organik güneş pilleridir.



a



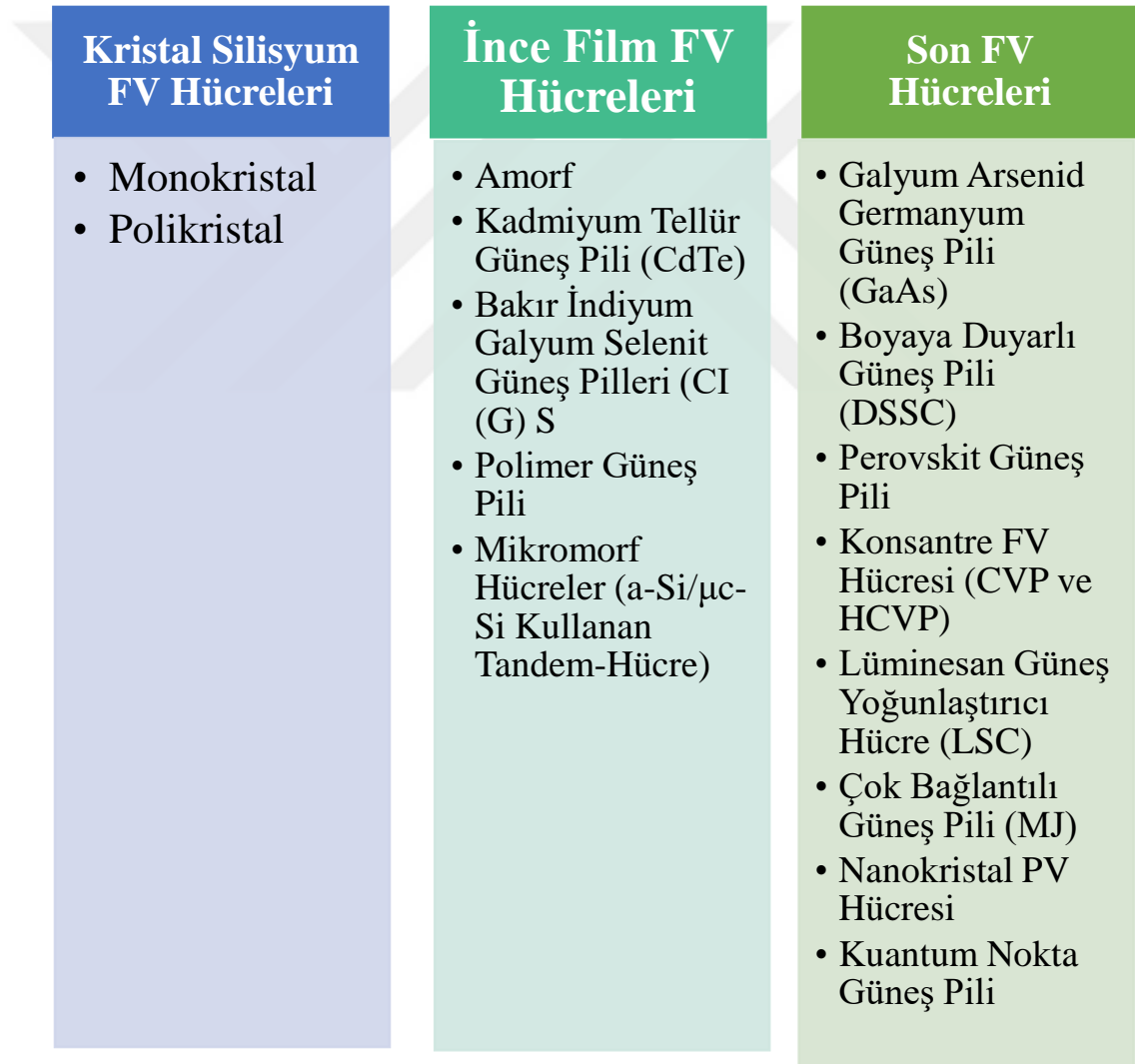
b

Şekil 2.21. a-amorf ince film güneş pili, b- kadmiyum tellürden yapılmış ince filmi dizisi

2.3.4.3. Yeni Ortaya Çıkan Güneş Pilleri

Yeni ortaya çıkan güneş pilleri, son zamanlarda keşfedilen ve araştırma alanlarından oldukça ilgi çeken güneş pilleridir. Bu türler:

- Galyum Arsenid Germanyum Güneş Pili (GaAs)
- Boyaya Duyarlı Güneş Pili (DSSC)
- Perovskit Güneş Pili
- Konsantre FV Hücresi (CVP ve HCVP)
- Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı Hücre (LSC)
- Çok Bağlantılı Güneş Pili (MJ)
- Nanokristal PV Hücresi
- Kuantum Nokta Güneş Pili (Electrical Technology, 2014)



Şekil 2.22. Güneş Pillerin Çeşitleri

2.4. Fotovoltaik Sistemleri ve Bileşenleri

2.4.1. Fotovoltaik (FV) Modül ve FV Dizisi

Fotovoltaik (PV) pili veya güneş pili, fotovoltaik etki ile güneş enerjisini elektriğe dönüştüren bir cihazdır. Işık fotonları ve elektrik voltları bir araya gelerek fotovoltaikler (PV) oluşturur. Çok sayıda fotovoltaik pil veya hücresi bir araya gelince modül/panel oluşturur. Daha çok sayıda modül/panel bir araya gelince dizi (array) oluşturur.



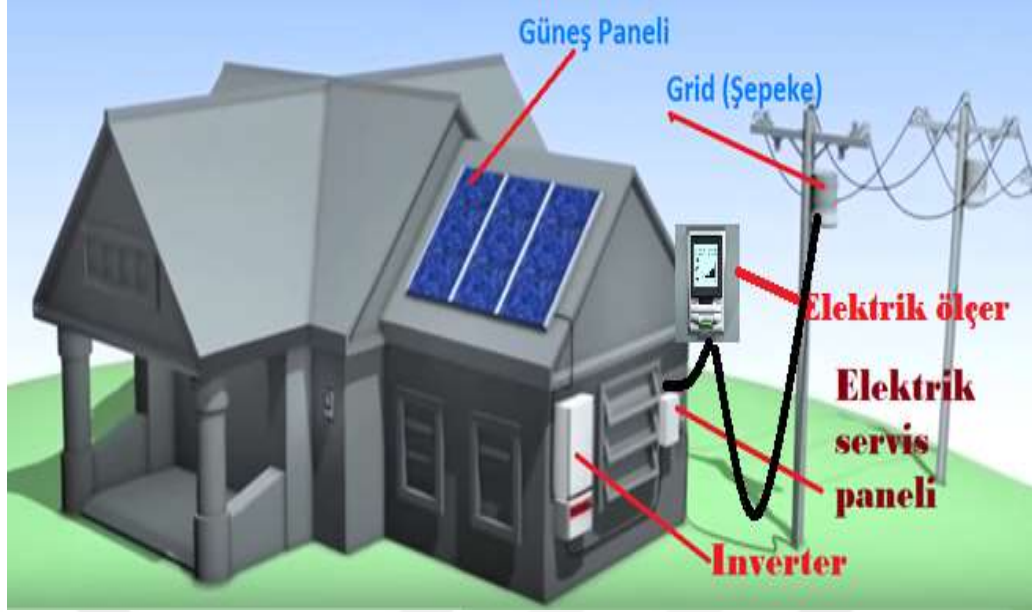
Şekil 2.23. Fotovoltaik hücre, modülü ve dizisi (Kıncay, Bekiroğlu, & Yumurtacı)

2.4.2. FV Sistemleri

İki tür fotovoltaik sistem vardır: Şebeke bağlı FV sistemi ve şebekeden bağımsız sistemdir.

2.4.2.1. Şebeke Bağlı FV Sistemi (Grid-Tied)

Bu tür FV sistemi bir elektrik firmasına bağlanır. Evin ihtiyacından daha fazla güç oluşuyorsa, aşırı güç şebekeye geri beslenir ve yardımcı sayacı geri çevirir. Evin elektrik ihtiyacı yetersiz olursa, ev otomatik olarak gücü şebekeden çeker.



Şekil 2.24. Şebeke bağlı fotovoltaik sistemi

2.4.2.2. Şebekeden Bağımsız Sistemi (Off-Grid)

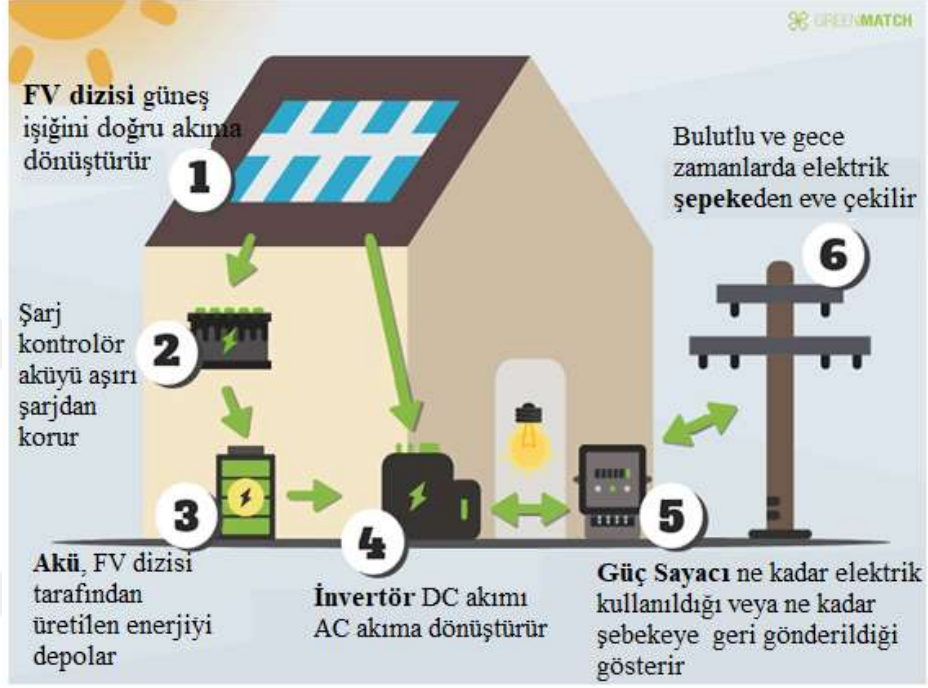
Elektrik şebekesinden bağımsız olarak fotovoltaik (FV) panellerde üretilen elektrik, şarj kontrol cihazlarında düzenlenerek akülerde depolanır. Akülerde depolanan DC (Doğru Akım) enerjisi inverterler ile AC (Alternatif Akım) haline getirilerek kullanıma sunulur. Off-grid sistemler 4 temel elemandan oluşur. Bunlar; Güneş paneli, şarj kontrol cihazı, batarya ve inverterlerdir. (LEBLEBİCİOĞLU, 2017)



Şekil 2.25. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemi

2.4.3. FV Sistem Bileşenleri

Fotovoltaik sistemler genellikle altı ayrı bileşenden oluşur: Güneş PV dizisi, şarj kontrolörü, pil bankası, invertör, elektrik sayacı ve elektrik şebekesi. Tüm bu bileşenlerin doğru montajı, güneş panellerinin ne kadar verimli olduğunu belirler. Ancak, şarj denetleyicisi ve pil bankası isteğe bağlıdır. Aşağıdaki resim, fotovoltaik sistemi ve bireysel bileşenlerinin ilişkisini göstermektedir.



Şekil 2.26. Fotovoltaik sistemi ve bireysel bileşenleri (Kunz, 2021)

2.5. Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Artırılması Yöntemleri

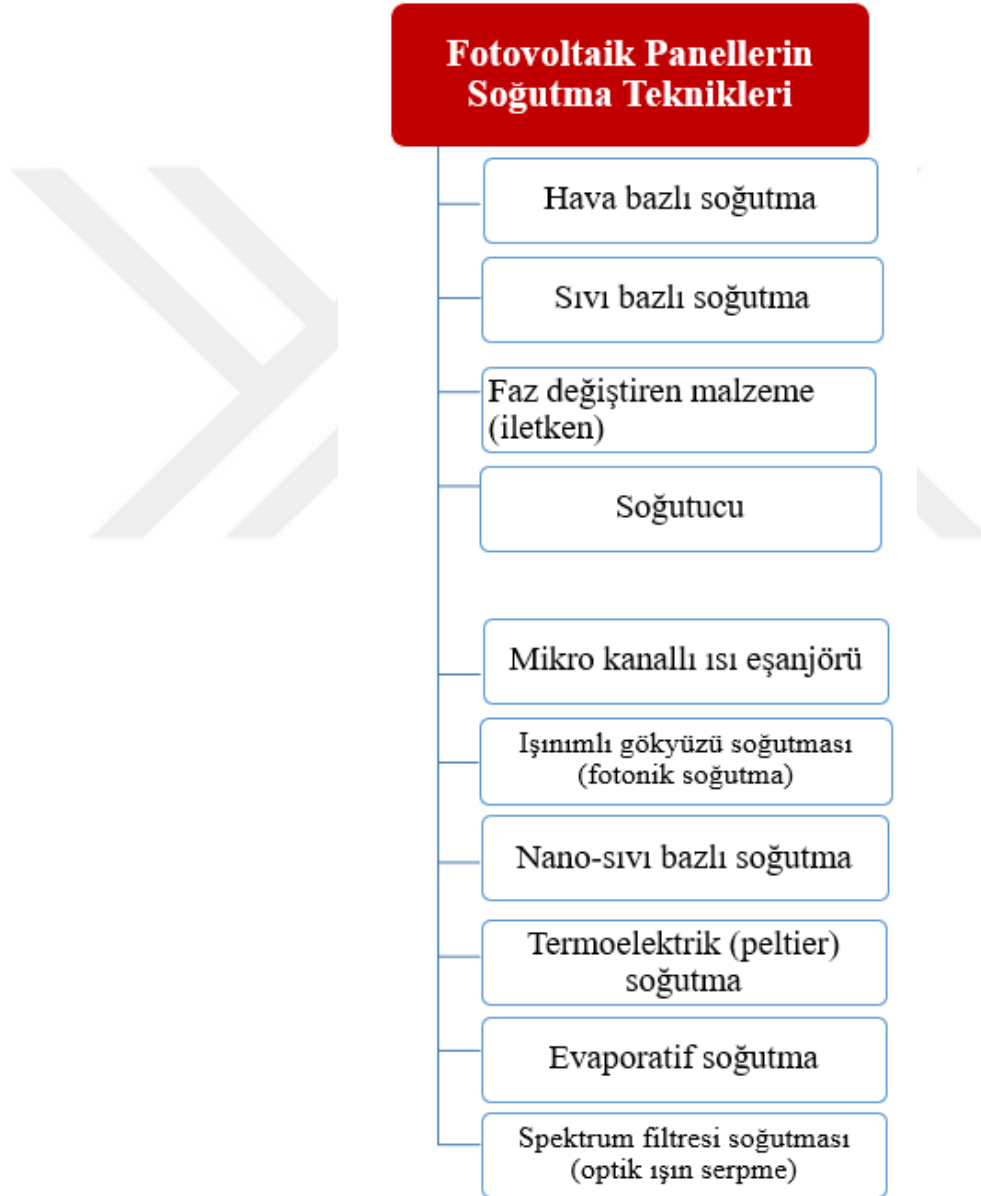
Fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması birçok yöntemi vardır. Aşağıdakiler fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması için en önemli yöntemleridir.

2.5.1. Soğutma

Güneş enerjisi sistemlerinin, özellikle fotovoltaik panellerin verimliliği genellikle düşüktür. FV panellerin çıkış gücü yüzey sıcaklığın artışından olumsuz etkilenir. Bu artışın nedeni, gelen güneş ışınımının bir kısmının ısıya dönüştürülmesidir. Bu da güç çıkışının, enerji verimliliğinin, panelin performansının ve ömrünün azalmasına neden olur. Soğutma teknikleri, FV panellerin aşırı ısınmasını önlemek ve sıcaklığını düşürmek için potansiyel bir çözüm sunabilirler.

Genel olarak FV soğutma yöntemleri, soğutma mekanizmasına göre aktif soğutma ve pasif soğutma olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif soğutma, tipik olarak fan veya pompa gücü içeren hava veya su gibi bir soğutucu gerektirir. Pasif soğutma ise FV hücrelerini soğutmak için özel bir güç gerektirmez.

Tarih boyunca farklı soğutma teknolojileri geliştirilmiştir. Örneğin, ısı eşanjörleri, faz değiştiren malzemeler (PCM'ler), nano akışkanlar, termoelektrik jeneratörler (TEG'ler) vb. Farklı soğutma teknikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:



Şekil 2.27. Fotovoltaik panellerin soğutma yöntemleri

2.5.1.1. Hava Bazlı Soğutma

Bu teknikte FV panellerin pasif bir şekilde soğutulması ve sistemlerin hava ile dengelenmesi için herhangi bir mekanik teknik olmadan doğal olarak gerçekleştirilir. Hava bazlı soğutma basitliği nedeniyle FV panellerin soğutması için belki de en popüler yöntemdir, ek malzeme gerekmez ve maliyeti nispeten düşüktür. FV panellerin üzerinden geçen hava, konveksiyon yoluyla ısıyı uzaklaştırır ve panel üzerinden geçen hava, FV panellerin altında hareket eden havadan daha etkilidir.

Belirtildiği gibi, en temel soğutma türü aktif hava soğutmadır. Aktif hava soğutma, hava akışı oluşturmak için fanları veya diğer araçları kullanan sistemlerdir. Bu tip sistemler güneş panellerinden çıkan atık ısının kullanılabilmesi için yapılabilir. Bu nedenle, çok daha fazla hava sirkülasyonu sağlamak için FV panellerin arka yüzeyine kanatlı metalik malzemeler monte edilirse fotovoltaik panellerin soğutması arttırılabilir. Duvarlar ve FV sistemi arasında hava boşluğu sağlanarak fotovoltaik sıcaklık 40 °C'nin altında tutulabilir. Zorunlu hava akışı stratejileri, açık hava kanalı, metal çerçeve, kanatçıklar ve FV panellerin altındaki kanalları içerir. (Dwivedi vd, 2020)



Şekil 2.28. Doğal ve cebri konveksiyonlu hava soğutma

2.5.1.2. Sıvı Bazlı Soğutma

Güneş panelleri soğutması için sıvı sürekli sistemde akması gerekir. Bu amaç için su en uygun akışkandır. Aktif soğutma teknolojisinde güneş enerjili DC pompalar kullanılarak bu sistemlerin tümünde su sirkülasyonu yapılabilir. (Dwivedi vd, 2020)

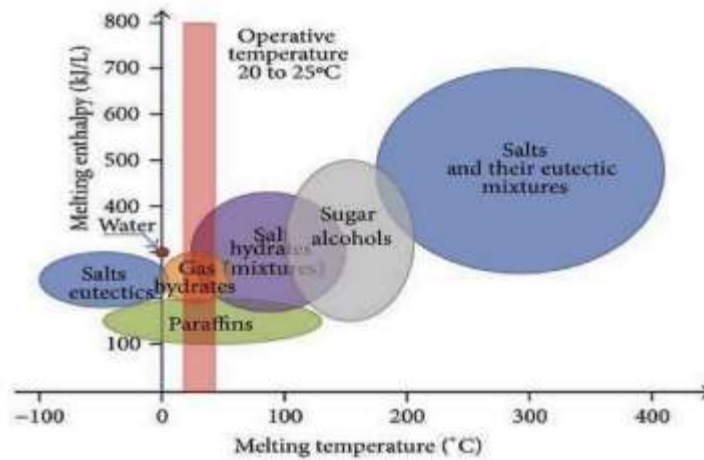
2.5.1.3. Faz Değiştiren Malzeme (PCM)

Faz değiştiren malzemelerle (PCM) soğutma, pasif iletken soğutmanın farklı bir şeklidir. PCM, termal enerjiyi tutabilen maddelerdir. Malzemeler, fiziksel durumlarında örneğin erime ve donma döngüsü sırasında bir değişiklik yaşadığında, önemli miktarda "gizli" ısıyı emer veya yayar.

Organik, inorganik ve ötektik olmak üzere üç tip PCM vardır. Organik maddeler parafin ve parafin olmayan maddelerdir. İnorganik maddeler hidratlı tuzlar ve metallerdir. Ötektik iki veya daha fazla maddenin birleşimidir. Her birinin kendi avantajları ve dezavantajları vardır. PCM için malzeme seçimi, yüksek gizli füzyon ısısına, yüksek termal iletkenliğe, toksik olmayan elementlere, aşındırıcı olmayan elementlere, minimum alt soğutma elementlerine ve kimyasal olarak kararlı özelliklere sahip olmalıdır.

Parafin, yukarıdaki özelliklere sahip olduğu için elektronik termal yönetimde en yaygın kullanılan malzemedir.

Uygun PCM'nin seçilmesinde en önemli iki unsur erime sıcaklığı ve gizli ısıdır. Güneş enerjisiyle ısıtma uygulaması için uygun olan PCM'nin erime noktası, 15 °C'nin üzerinde ve 90 °C'nin altındadır. (Rajvikram vd, 2019)

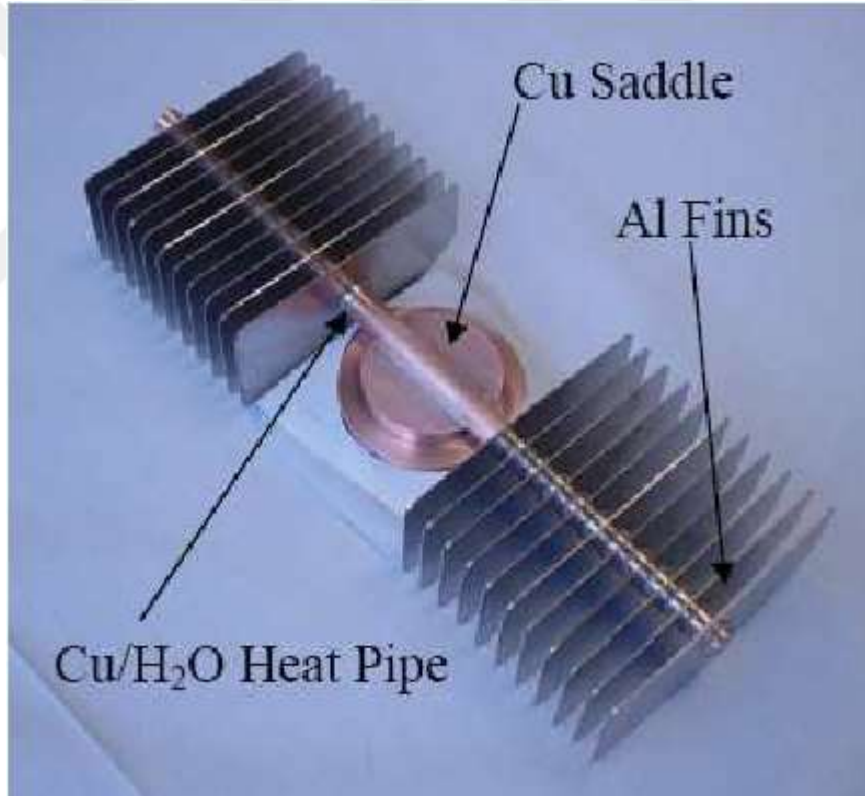


Şekil 2.29. Yaygın olarak kullanılan PCM ve erime sıcaklığı (Dwivedi vd , 2020)

2.5.1.4. Soğutucu (Heat Sink)

Soğutucu, ısıyı iki fazlı çalışma sıvısı akışıyla bir yerden diğerine taşımak için kullanılan bir cihazdır. Soğutucu evaporatör, adyabatik ve kondenser bölümlerinden oluşur. Evaporatör bölümünde ısı absorpsiyonu gerçekleşir. Kondenser bölümünde ise ısı atımı gerçekleşir. Adyabatik bölümü tamamen yalıtılmıştır. Isıyı emmek için evaporatör bölümü, FV hücrelerinin arka tarafına bağlanmıştır.

Evaporatör bölümünde ısı emildiğinde buharlaşma meydana gelir ve soğutucu içindeki sıvı buharlaşır. Böylece buharlaşma gizli ısını taşıyan buhar, yoğuşturucu bölümüne doğru akar ve doğal taşınım yoluyla gizli ısını çevreye verir. Soğutucu, zarf malzemesi, çalışma sıvısı ve fitil malzemesi kullanılarak imal edilmektedir. 20 °C ila 100 °C sıcaklık aralığı için, iki potansiyel ısı borusu fitili ve duvar malzemesi bakır ve alüminyumdur. (Sargunanathan vd , 2016)

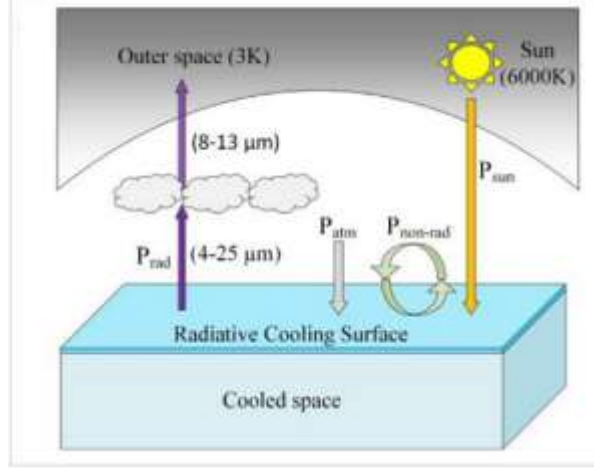


Şekil 2.30. Soğutucu FV Panel modeli (W. G. Anderson, 2008)

2.5.1.5. Işınım Soğutma (Radiative Cooling)

Temel fikir, güneş pilinin üstüne şeffaf ama güçlü bir şekilde yayıcı olan ince bir malzeme tabakası, örneğin silika tabakası, yerleştirmektir. Böyle bir katman, güneş pilinin optik performansını düşürmeden dış uzaya ışıma yoluyla ısı yayarak güneş

pilinin soğutur. Dünya atmosferi, tipik sıcaklıklarda karasal cisimlerden gelen termal radyasyonun dalga boyu aralığına denk gelen 8 ila 13 μm arasında bir şeffaflık dalga boyuna sahiptir. Bu nedenle karasal cisimler, termal radyasyonu dış uzaya göndererek soğuyabilir. (Linxia Zhu vd, 2014)



Şekil 2.31. Işınım soğutma sistemi için temel çalışma prensipleri ve enerji akışı. P_{rad} , yayılan termal radyasyondur, P_{atm} , emilen atmosferik radyasyondur, $P_{\text{non-rad}}$, ortam ile radyasyonsuz ısı alışverişidir ve P_{sun} , emilen güneş radyasyonudur. (Salman Ahmad vd, 2021)

2.5.1.6. Nano-Sıvı Bazlı Soğutma

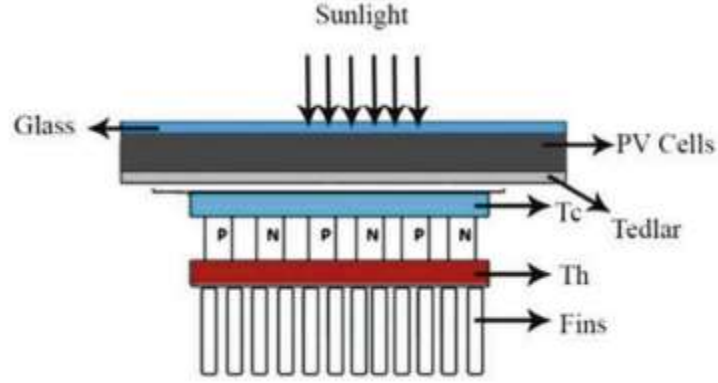
Suyla karıştırılmış çeşitli nanopartiküller, FV panelini soğutmak ve sistem performansını artırmak için nano akışkanlar olarak kullanılır. Çeşitli nanopartiküller, ısı transferini arttırmak için farklı ağırlık yüzdelerinde kullanılır. Kullanılan nanopartiküller aşağıdaki gibidir:

- Boehmit,
- Alüminyum oksit (Al_2O_3)
- Çinko oksit (ZnO)
- Titanyum oksit (TiO_2),
- Manyetit (Fe_3O_4),
- Silikon karbür (SiC)
- Bakır oksit (CuO)

2.5.1.7. Termoelektrik (Peltier) Soğutma

Termoelektrik (TE) soğutma güneş panelin sıcaklığı azaltamak için kullanılan başka bir yöntemdir. Termoelektrik modül, Seebeck etkisi ile (modül ısıya maruz kaldığında) ısıyı elektrik enerjisine ve Peltier etkisi ile (modül elektrik voltajına maruz kaldığında) elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürebilir. FV panellerin soğutulması

için TE modülü, FV panellerin arkasına entegre edilmiştir ve panellerin kendileri tarafından elektrik ile sağlanır ve soğutma etkisi üretilir. Bu nedenle, verimli olması için TE modülünün güç tüketimi, FV panellerin soğutulmasıyla elde edilen güçten daha az olmalıdır. Hibrit FV Termoelektrik Soğutucu (FV-TEC) sistemleri şimdiye kadar sınırlı bir şekilde incelenmiştir. (A.Haidar, Orfi, & Kaneesamkandi, 2018)



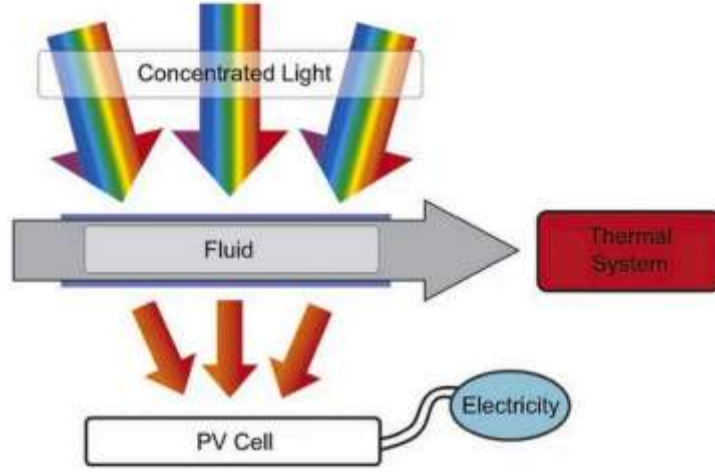
Şekil 2.32. TE ile FV hücrenin şeması modülü (Dwivedi vd, 2020)

2.5.1.8. Spektrum Filtresi Soğutması (Optik Işın Serpme)

Buhar, organik sıvılar, nano sıvılar gibi sıvılar, FV sistemlerinde seçici emici sıvılar veya optik filtreler olarak kullanılabilir. Optik ışın bölme stratejileri, güneş ışığı ve güneş pili arasında optik filtre olarak bir sıvı kullanmaktır. Sıvı filtreleri muhtemelen pompalar, manyetik/elektrik alanlar ve ultraviyolenden yakın kızılötesine kadar güneş dalga boyları üzerindeki sıcaklık değişimleri ile otomatik olarak izlenebilir. Optik filtreler olarak aşağıdaki berrak sıvılar kullanılmıştır:

- Hindistan cevizi yağı,
- Silikon yağı,
- Gliserin,
- Etilen glikol vb.

Bu tür sıvı spektrum filtreleri, termal olarak korunan bir FV modülü üzerine kurulur. Filtreler, diğerleri filtrelenirken FV'ye yalnızca kullanılabilir spektrum sağlar. Çeşitli optik filtrelere sahip PV hücresi üzerinde yapılan bir deneye dayanarak, hindistancevizi yağı, su ve silikon yağından daha iyi performans göstermiştir. (Dwivedi vd, 2020)



Şekil 2.33. Optik filtre olarak bir sıvı kullanan FV hücresinin taslağı

2.5.2. Toz Giderme veya Temizleme

Toz, güneş panellerini güneş ışığından korur ve fotonlar elektronlardan bağımsız olarak var olamaz ve panelin çıkış gücünü azaltır. FV panellerini temizlemenin birkaç yöntemi vardır ve bunlar başlıca iki yaklaşımda kategorize edilebilir: Geleneksel manuel temizleme yöntemleri ve kendi kendine veya otomatik temizleme yöntemleridir. Geleneksel manuel temizleme yaklaşımının birçok sınırlaması vardır. Güneş paneli elle temizlemesi çok zaman alır ve fırçalama sürecinde zamanla panel yüzeyinde çatlaklara oluşabilir. Ayrıca küçük parçacıkları tamamen ortadan kaldırmayabilir.

Öte yandan, kendi kendine veya otomatik temizleme yaklaşımı temizleme için farklı yöntemler uygular. Örneğin elektrostatik yöntemler, mekanik yöntemler ve kaplama yöntemleri gibi. Elektrostatik yöntemler ve mekanik olarak otomatikleştirilmiş yöntemler, güneş FV sistemlerinden daha fazla enerji tüketir. Dolayısıyla daha fazla maliyete yol açar. Ancak kaplama yöntemleri herhangi bir enerji tüketmezler.

FV panellerinin genel verimliliğini artırmak için, daha sık temizlenmeleri gerekir, bu da maliyetli, enerji ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, zaman ve enerji harcamayan yeni ve yenilikçi temizleme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Kendi kendini temizleme yöntemleri elektrostatik, mekanik ve kaplama yöntemlerini içerir. Mekanik yöntemler robotik, hava üfleme, su üfleme ve ultrasonik titreşim tekniklerini uygular. Kaplama yöntemlerinde panel camını kaplayan ve panel yüzeylerinden tozu uzaklaştıran hidrofobik malzeme kullanılır.

Büyük ölçekli FV panellerinde, hidrofobik kaplama malzemelerinin kullanılması en ekonomik olanıdır. Çünkü bu yöntem temizlik için enerji tüketmez ve FV yüzeylerinde çiziklere neden olmaz. FV panellerin yüzeyini kaplamak için kendi kendini temizleyen hidrofobik nanomalzemelerin kullanılması, panellerin genel verimliliğini uzun bir kullanım ömrü boyunca artırmak için etkili bir yöntemdir.

Hidrofobik kaplama nanomalzemeleri kullanmanın ana çalışma prensibi, panelin üzerinde suyun küresel bir şekilde birikmesi için tabaka bir bariyer oluşturulmasıdır. Böylece güneş panelleri eğik bir açıyla monte edildiğinde, su bir küre gibi panel yüzeyinden yuvarlanır. Bu oradaki tozun ve partiküllerin giderilmesini sağlar. (Alamri vd, 2020)

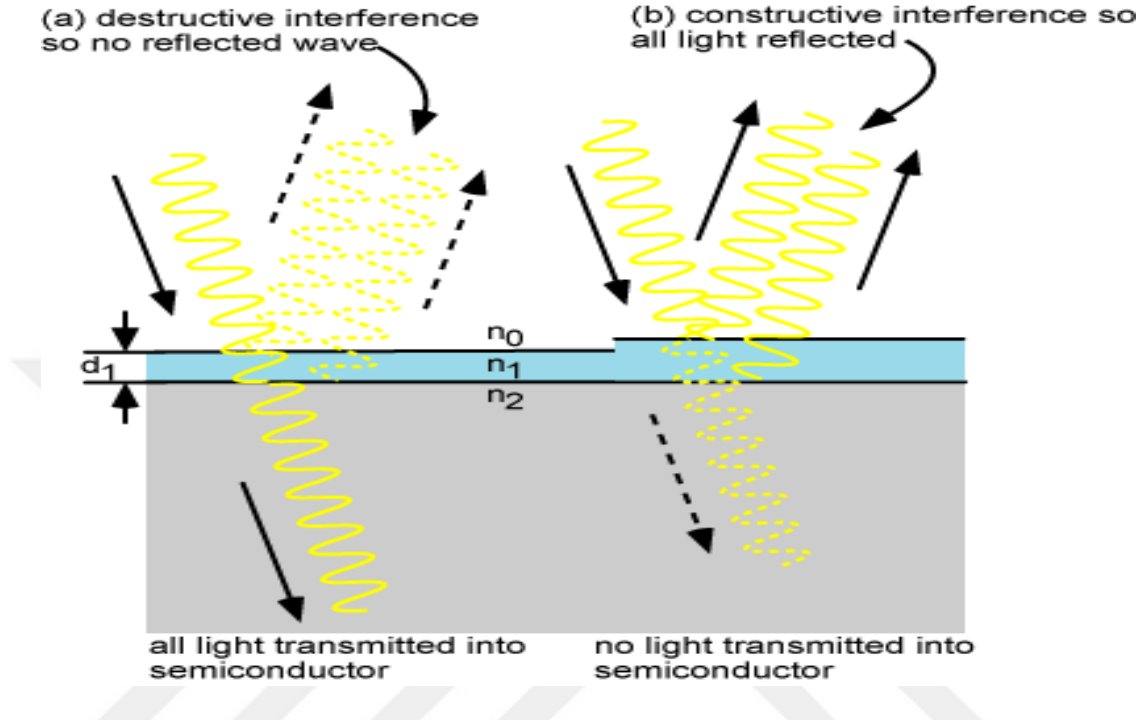
2.5.3. Yansıma Önleyici Kaplama

Yansıma önleyici kaplamalar (ARC'ler), çeşitli optik ve optoelektronik cihazlarda kullanılmıştır. Fotovoltaik alanında, panel yüzeyinden yansımayı azaltmak, böylece kısa devre akımını (I_{sc}) artırmak ve güneş panellerinin dönüşüm verimliliğini artırmak için güneş panellerinin ön cam kapağına ARC'ler uygulanır.

Cam, dokulu camlar, çok katmanlı dereceli indeks ARC'ler ve polimer bazlı ARC'ler üzerinde düşük kırılma indeksli malzemelerin gözenekli kaplamaları bu amaç için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeşitli teknolojiler arasında, polimer bazlı ARC'lere artan bir yatırım vardır. Polimer bazlı kaplamalar hafiftir, alt tabakaya kolayca yapışır, mekanik esneklik gösterir ve uygun maliyetli olmakla birlikte seri üretilirler. Polidimetilsiloksan (PMMA), Polikarbonat (PC), Polietilen tereftalat (PET), Polisikloolefin, Polisülfon (PSU), Polietersülfon (PES) ve Poliamid (PA), çeşitli uygulamalarda ARC üretimi için daha önce kullanılan şeffaf polimerlerden bazılarıdır.

ARC'ler genellikle normal gelişte (sıfır olay açısı) minimum yansıma için optimize edilirken, mümkün olduğu ölçüde daha büyük olay açıları için düşük yansımayı korur. Bununla birlikte, güneş panellerinin öğle saatlerinde gelen ışığı dikey olarak alacak şekilde hizalanmadığı bazı uygulamalar vardır. Örneğin, bu bir binaya uygulanan çeşitli kurulum kısıtlamalarından kaynaklanabilir. Bu durum, güneş panellerinin çeşitli bina cephelerine isteğe bağlı açılarla kurulduğu BAPV ve BIPV uygulamalarında karşılaşılmaktadır. Bu gibi durumlarda, öğlen ışığına karşılık gelen belirli bir geliş açısı için optimize edilmiş ARC'lerin kullanılması, panel tarafından 24 saat boyunca üretilen enerjiyi iyileştirir. Gelme açısı, amaçlanan binanın coğrafi

konumuna ve güneş panellerinin montaj açısına bağlıdır. Aşağıdaki şekil tipik bir durumu göstermektedir. Bu şekilde, bu çalışmada tanıtılan ARC ile donatılmış 3 güneş panelinin alım modeli 4'ten 5'e değiştirilmiştir. Bu, güneşe doğru geliştirilmiş hizalama nedeniyle panel 3'ün güç üretimini açıkça arttırmaktadır. (S. Jalalya, vd, 2019)



Şekil 2.34. Yüzey yansımalarına karşı çeyrek dalga boyu yansımaya önleyici kaplamanın kullanılması

2.5.4. Güneş İzci (Solar Tracker)

Tam güneş ışını olarak verimliliğin artması için ışığın yöne göre paneli ayarlayan teknolojiler geliştirilmektedir. Bu teknolojiye solar tracker (güneş izci) denir. Solar Tracker güneşe doğru paneli yönlendirir. Güneş izcileri, çalıştırma türüne ve dönme eksenine bağlı olarak birkaç kategoriye ayrılabilir. Güneş izcinin konumunu değiştirmenin üç ana yolu vardır:

Manuel - Personel gün boyunca çeşitli zamanlarda güneş izcinin konumunu ayarlar. Bu yöntem, ekonomik olarak sadece emek fiyatının düşük olduğu gelişmekte olan ülkelerde geçerlidir.

Pasif - Güneş izci cihazı düşük kaynama noktasına sahip bir sıvı ampulü ile donatılmıştır. Güneş ışınları ampul üzerinde parladığında, sıvı buharlaşarak güneş izciyi güneşe doğru eğen bir dengesizliğe neden olur.

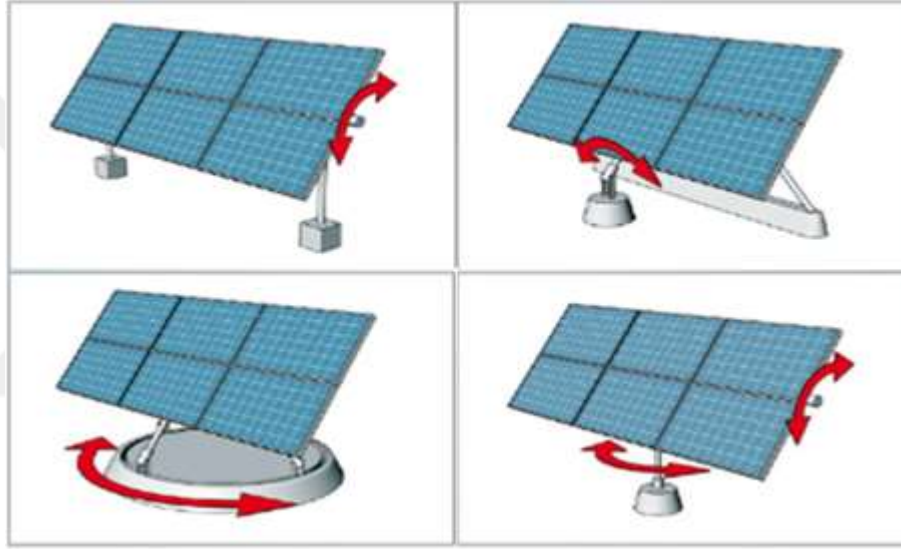
Aktif - Güneş izci konumunu ayarlamak için elektrik motorları veya hidrolik silindirler kullanır.

Dönme eksenine dayalı üç ana güneş izci tipi vardır:

Yatay - İzcinin bir serbestlik derecesi vardır ve Kuzey-Güney ekseninde döner. Bu tip izci, düşük ila orta enlemler ve çoğu durumda büyük ticari uygulamalar için kullanılır.

Dikey - İzcinin bir serbestlik derecesi vardır ve Doğu-Batı ekseninde döner. Bu tip izci yüksek enlemlerde kullanılır, ancak nadiren büyük ticari uygulamalar için kullanılır.

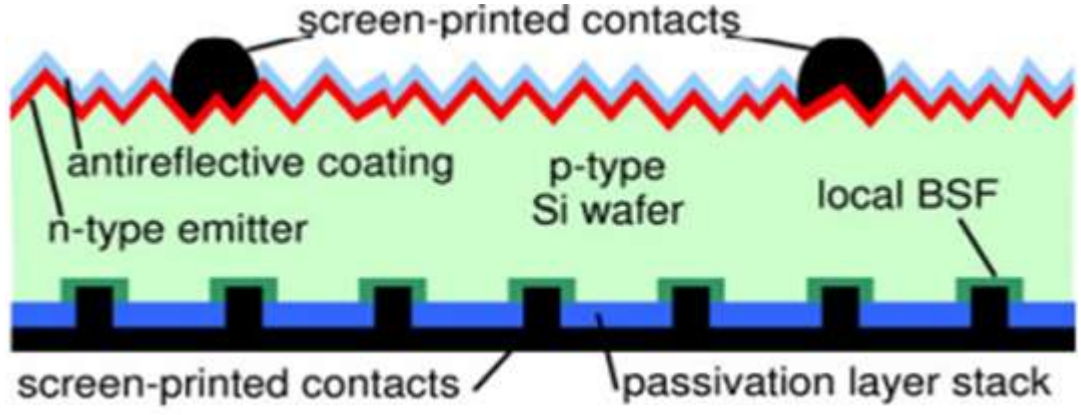
Çift Eksen - İzleyicinin iki serbestlik derecesi vardır ve Doğu-Batı ve Kuzey-Güney ekseninde döner. Bu tip izci tüm enlemlerde kullanılabilir, ancak büyük ticari uygulamalar için kullanılmaz. (Savree, tarih yok)



Şekil 2.35. Güneş izcinin farklı türleri

2.5.5. Arka Yüzey Pasivasyonu

Pasivasyon, korozyona ve çevre etkilere karşı malzeme daynaklı olması için dış katman oluşturulmasıdır. Birçok güneş pilinin verimliliği, pasifleştirilmiş yayıcı ve arka hücreler (PERC'ler) oluşturularak artırılmaktadır. Arka yüzey dielektrik pasivasyon tabakasının birikim yığını farklı tekniklerle yapılabilir. Bunlardan, plazma destekli kimyasal buhar birikiminden (PECVD) bahsedilebilir. Arka yüzey pasivasyonunda yaygın kullanılan malzemeler: Alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silikon oksit (SiO_2)'dir. (Gassenbauer vd, 2012)



Şekil 2.36. SCHOTT Solar'da geliştirilen bir PERC hücresinin şeması

2.5.6. Gölgeden Uzak Durmak

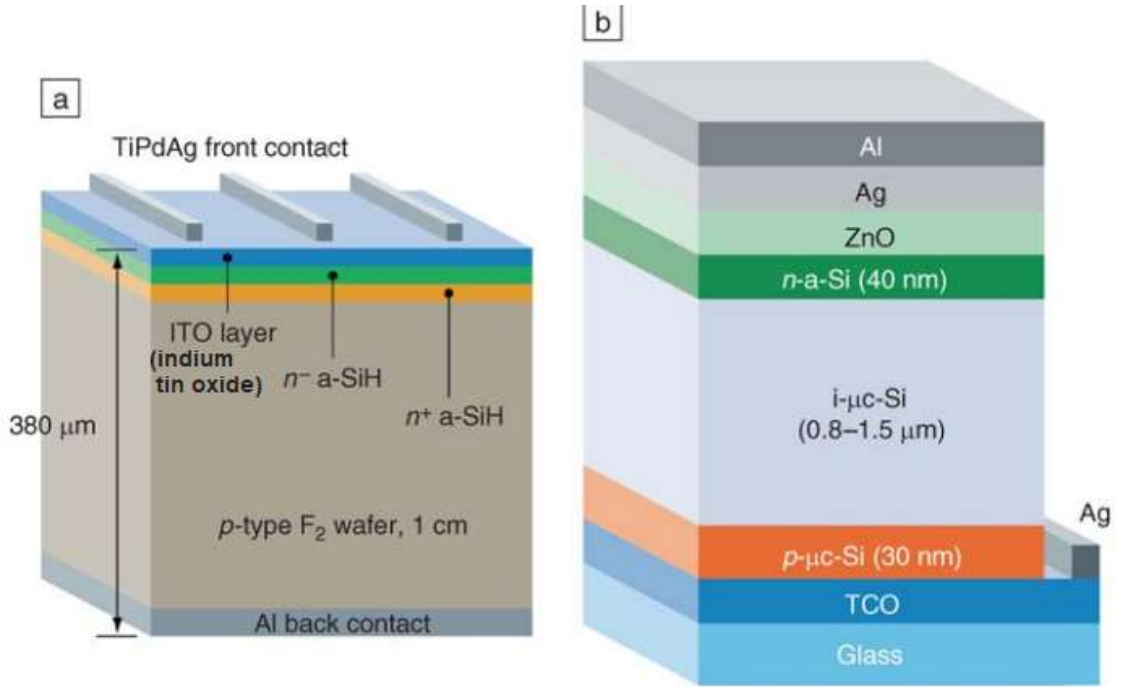
Bir fotovoltaik hücre gölgelenirse, komşuları tarafından üretilen enerjinin boşaltılmasına neden olur. Bunun nedeni bir direnç görevi görmesi ve toplam akımın belirlenmesine yardımcı olmasıdır. Bu yüzden gölgeleme alanlarından kaçınmak verimliliği artırır.



Şekil 2.37. Güneş pili üzerinde gölgenin etkisi

2.5.7. Şeffaf ve En İyi FV Malzemelerinin Seçilmesi

Şeffaf iletkenler yüksek ışık iletimi ve aynı zamanda çok yüksek elektrik iletkenliği ile karakterize edilen malzemelerdir. FV’de kullanan şeffaf malzemelere şeffaf iletken oksitler (Transparent conducting oxides (TCO)) denir. Bu malzemelerin en yaygın olanı ise indiyum kalay oksit, ZnO, Kalay Oksit (SnO_2)’tir. TCO katmanları, temas iş fonksiyonunu kontrol etmek, organik ve diğer malzemelerle bir arayüz sağlamak için ışık tuzağı, difüzyon bariyerleri, elektrot elemanları ve yapısal şablonlar olarak kullanılır. Bu nedenle, indiyum kalay oksit gibi yüksek geçirgenlikli ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip TCO kullanmak güneş pillerinin verimliliğini artırır. (Delahoy & Guo, 2011)



Şekil 2.38. Şeffaf iletken oksitler

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bilindiği gibi artan sıcaklık ve ışığın yansımaları güneş panelinin verimini düşürür. Çünkü panellere çarpan güneş ışığı, iki tür enerjiye dönüşür: ısı ve elektrik enerjisi. Diğer güneş ışınları geri yansıtılır. Yani ışığın ısı ve yansımaları arttığında elektrik gücü azalır. Dolayısıyla güneş panelinin sıcaklığı ve yansımaları azaltmak ve ardından verimini artırmak için bu çalışmada deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada dört farklı kaplama malzemesi kullanılmıştır. Bunlar kaplama malzemeleri; doğal zeytin yağlı krem, hindistan cevizi yağı, koyu kahve renginde ve şeffaf film kaplamalardır.

Her deneyde 3.92W güç kapasiteli iki polikristal güneş fotovoltaik panelleri, dijital termometre ve iki tane multimetre kullanılmıştır. Her panelin alanı yaklaşık 0.219 m² 'dir. Yapılan deneylerin ayrıntıları aşağıda verildiği gibidir.

3.1. Doğal Zeytinyağlı Krem İçin Deney

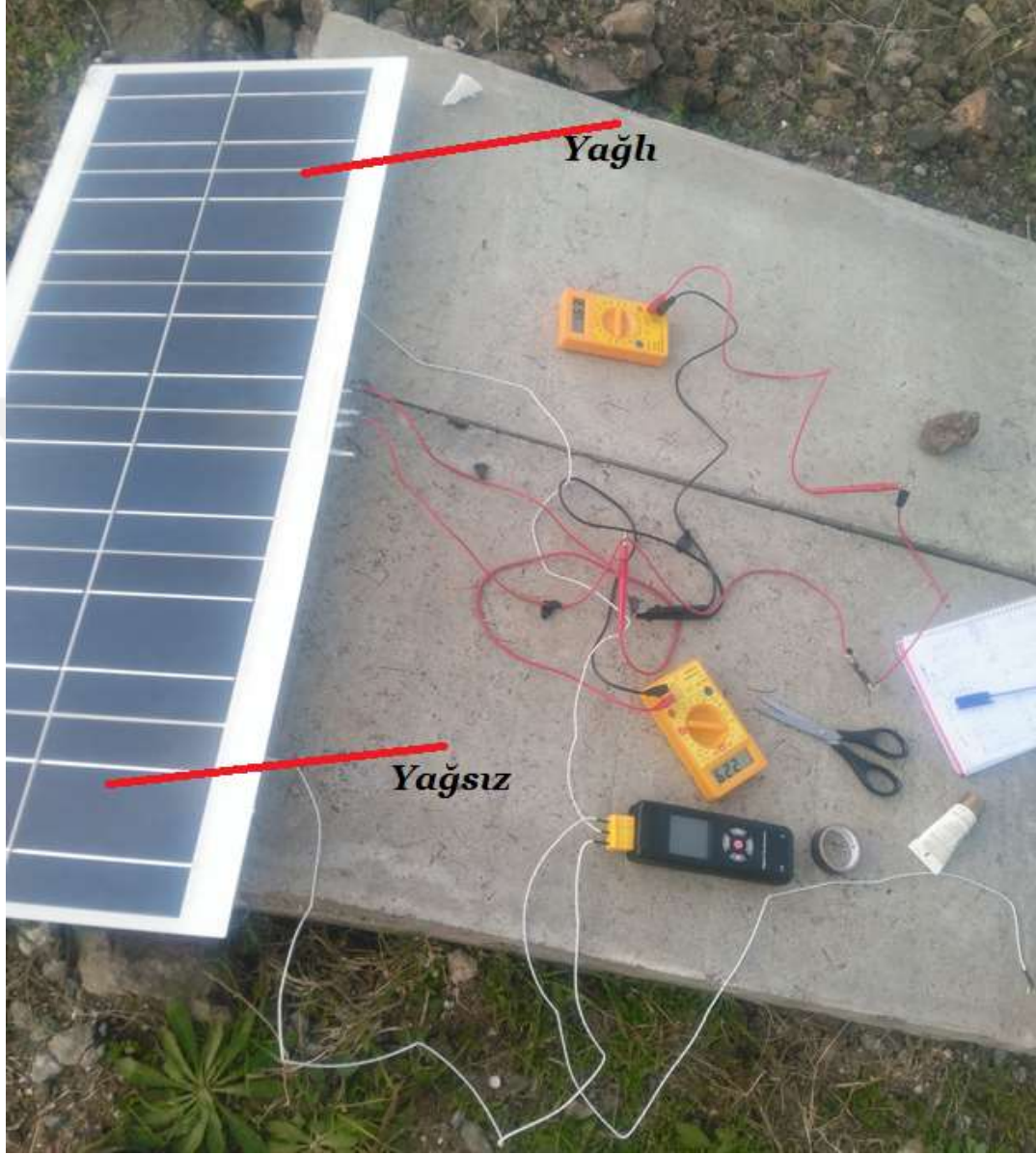
Deneyde kullanılan doğal zeytinyağlı krem içeriğinde; aqua, glyceryl, stearate, caprylic/capric triglyceride, cetearyl, alcohol, cetearth-12, cetearth-20, glycene, dicapryl carbonate, dimethinoce, parfum, olea Europea fruit oil, ethylhexylglycerien, tocopherol, phenoxyethanol bulunmaktadır.

Bu deneyde doğal zeytin yağlı krem, içeriğinde bulunan gliserinin ışığı emebileceği ve sıcaklığı düşürebileceği hipotezine dayalı olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Doğal zeytinyağlı kremi

Doğal zeytinyağlı kremi için aşağıdaki gibi deney düzeni kuruldu. Bu panel tek gibi görünse de tek cama bağlanan iki farklı fotovoltaik paneldir. Bir panel kaplamasız iken diğerine ise doğal zeytin yağlı krem sürülmüştür.



Şekil 3.2. Doğal zeytinyağlı kremi için deney düzeni

Panel yer ile 45° açı yapacak Şekilde güneşe doğru konumlandırılmıŐtır.  thermoeleman kablo dijital termometreye bağlanarak yağlı panel sıcaklığı, yağsız panelin sıcaklığı ve ortam sıcaklığı llmŐtr. Ayrıca iki tane multimetre kullanılarak yağlı panel voltajı ve yağsız panelin voltajı llmŐtr.

3.2. Hindistan Cevizi Yağı İçin Deney

Hindistan cevizi yağı, hurma ağacının fitili, eti ve sütünden elde edilen yenilebilir bir yağdır. 25 °C sıcaklıkta eriyen beyaz, katı bir yağdır. Yaz aylarında daha sıcak iklimlerde, berrak ve incedir. Yemekte, kozmetik ve deterjan üretimi için kullanılır.



Şekil 3.3. Hindistan cevizi yağı

Deneylerde bir panel yağsız bırakılırken (kaplamasız) diğerine hindistan cevizi yağı sürülerek, 60 dakika için sıcaklık ve voltaj değişimi değerleri ölçülmüştür. Alınan veriler tablolar halinde kaydedilmiştir.



Şekil 3.4. Hindistan cevizi yağı için deney düzeneği

3.3. Koyu Kahverengi Şeffaf Film İçin Deney

Koyu kahverengi film defterler ve kitaplar için kaplama malzemesi olarak kullanılır. Bu deneyde kullanılmasının nedeni; koyu kahverengi olduğu için güneş ışığını geri yansımadan tutma potansiyeli taşımasıdır. Bu deneyde 30 dakika için sıcaklık ve voltajı değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Koyu kahverengi şeffaf film

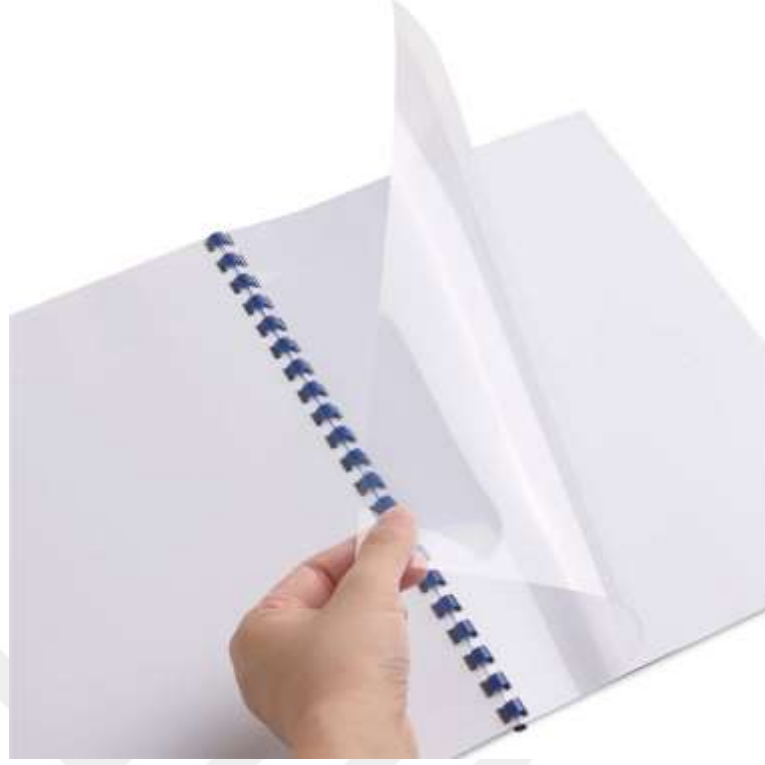
Deneyde 0.16 mm kalınlıkta koyu kahverengi şeffaf film güneş paneline yapıştırılmıştır. Diğer güneş paneli referans için boş (kaplamasız) bırakılmıştır. 30 dakika içinde sıcaklık dijital termometre ile ölçülmüştür. Aynı şekilde multimetre ile voltajın değerleri de ölçülmüştür. Veriler tablo halinde kaydedilmiştir.



Şekil 3.6. Koyu kahverengi şeffaf film için deney düzeni

3.4. Beyaz Şeffaf Film İçin Deney

Beyaz şeffaf film, koyu kahverengi film kaplamada olduğu gibi aynı amacı için kullanılmıştır. Güneş panelinin sıcaklığı azaltmak ve daha fazla güneş ışığının yansımalarını önlemek için beyaz film bu deneyde kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Beyaz şeffaf film

Fotovoltaik panele 0.16 mm kalınlıkta olan şeffaf beyaz film yapıştırılmıştır. Diğer fotovoltaik panel ise referans için boş (kaplamasız) bırakılmıştır. 60 dakika boyunca sıcaklık dijital termometre ile ölçülmüştür. Voltaj (gerilim) ise multimetre ile ölçülerek tablolar halinde kaydedilmiştir.



Şekil 3.8. Beyaz şeffaf film için deney düzeni

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

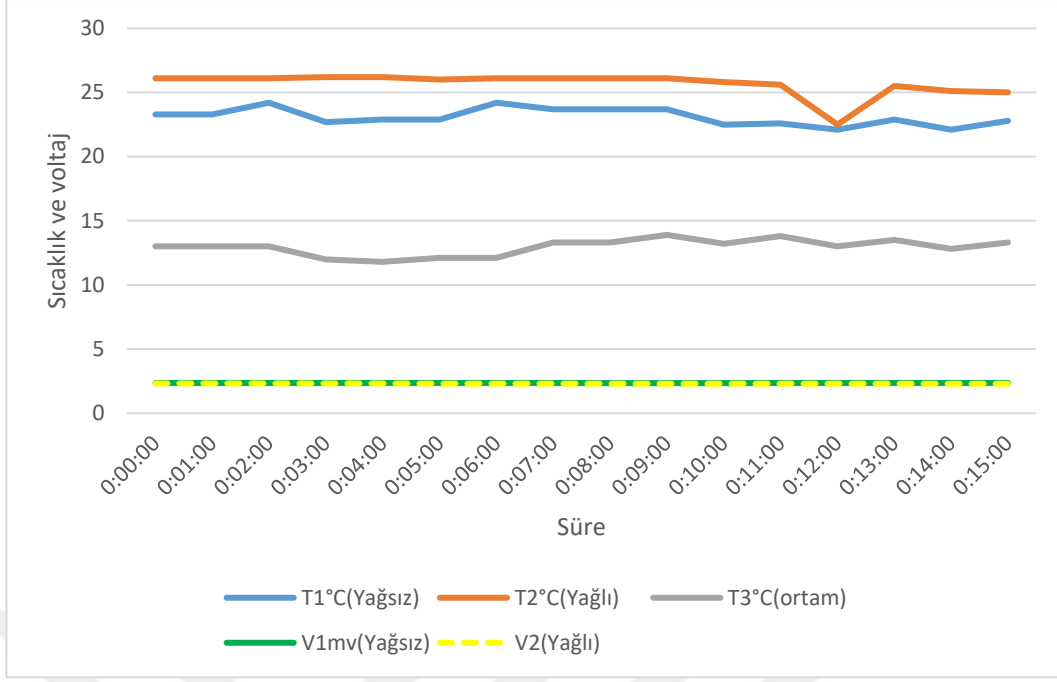
Bu tez çalışmasında güneş panelin sıcaklığını azaltmak ve verimliliğini artırmak için dört farklı kaplama malzemesi kullanılmıştır. Elde edilen sıcaklık ve voltaj (gerilim) değerleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

4.1. Doğal Zeytinyağlı Krem İçin Deney Bulguları

Bir fotovolttaik güneş paneli üzerinde doğal zeytin yağlı krem sürülüp diğeri ise yağsız bırakarak 15 dakika içinde sıcaklık ve voltaj değerleri alınmıştır. Alınan veriler tablo ve grafik olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

Table 4.1. Doğal zeytinyağlı krem için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri (ölçüm başlama saat 15:45)

Süre (dk)	T ₁ (°C) [Yağsız]	T ₂ (°C) [Yağlı]	T ₃ (°C) [ortam]	V ₁ (mV) [Yağsız]	V ₂ (mV) [Yağlı]
0:00:00	23.3	26.1	13	2.36	2.32
0:01:00	23.3	26.1	13	2.36	2.32
0:02:00	24.2	26.1	13	2.36	2.32
0:03:00	22.7	26.2	12	2.36	2.32
0:04:00	22.9	26.2	11.8	2.36	2.32
0:05:00	22.9	26	12.1	2.36	2.31
0:06:00	24.2	26.1	12.1	2.36	2.31
0:07:00	23.7	26.1	13.3	2.36	2.31
0:08:00	23.7	26.1	13.3	2.35	2.31
0:09:00	23.7	26.1	13.9	2.35	2.3
0:10:00	22.5	25.8	13.2	2.35	2.31
0:11:00	22.6	25.6	13.8	2.36	2.31
0:12:00	22.1	22.5	13	2.36	2.31
0:13:00	22.9	25.5	13.5	2.36	2.31
0:14:00	22.1	25.1	12.8	2.36	2.3
0:15:00	22.8	25	13.3	2.36	2.31
Ortalama	23.1	25.7	12.9	2.36	2.31



Şekil 4.1. Doğal zeytinyağlı krem için sıcaklık ve voltaj değerlerinin değişimi

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi güneş panelinin sıcaklıkları ortam sıcaklığından yüksektir. Tablo 4.1’den anlaşıldığı üzere yağsız panelin sıcaklığı ve ortam sıcaklığının farkı %28 olurken, yağlı panelin sıcaklığı ve ortam sıcaklığının farkı %66’dır. Bu nedenle güneş panelin sıcaklığını düşürmek ve daha fazla foton emilimini artırmak ve bunun sonucunda verimliliğini artırmak için doğal zeytinyağlı krem kullanılmıştır.

Tablo 4.1’de görüldüğü gibi, yağlı ve yağsız panellerin ortalama sıcaklık farkı %11.25 dir. Yani yağlı panelin sıcaklığı yağsız panelin sıcaklığından %11.25 fazladır. Yağlı paneldeki bu sıcaklık artışı güneş panelinin veriminin düşmesine neden olmuştur. Sonuçta, yağlı panel, yağsız panele göre %2.12 oranında voltaj (gerilim) azalması göstermektedir.

Bu deneyde sıcaklığın artması ve voltajın azalması iki nedene bağlı olabilir. Bunlar, hava koşulları ve kremin özelliği olabilir. Deney yapıldığı zaman, hava güneşli hem de bulutlu durumdaydı. Bir an güneş gelip bir an bulut gelmekteydi. Kremin özelliğine gelince, bu tip kremler ısıyı emme özelliğine sahiptir. Soğuk ve yağışlı havalarda cildi nemlendirmek için kullanılırlar. Buna dayanarak, bu malzemenin sıcaklığı düşürerek güneş ışınımının emilimini ve güneş pilinin verimliliğini arttırdığı varsayılmıştı. Ancak elde edilen sonuçlar bu varsayımın tam tersini yönünde

gerçekleşmiştir. Doğal zeytin yağlı krem ile kaplanmış fotovoltaiik panelin sıcaklığı kaplamasız panele göre artmış ve elde edilen voltaj (gerilim) azalmıştır.

4.2. Hindistan Cevizi Yağı İçin Deney Bulguları

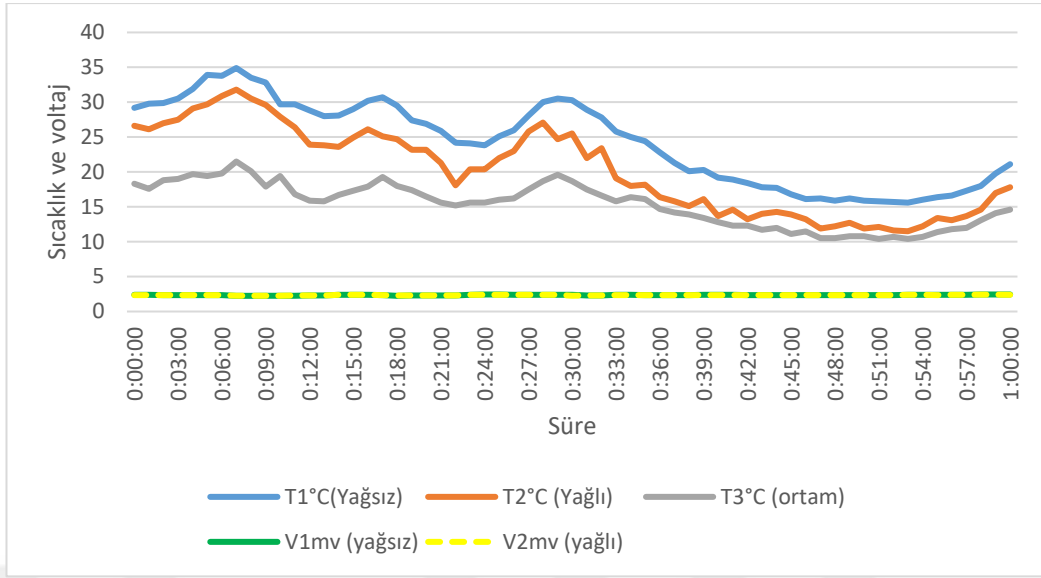
Yüksek kaliteli hindistan cevizi yağı marketten alınıp panelin üzerine sürülmüştür. Diğer panel ise yağsız (kaplamasız) bırakılmıştır. Bir saat süre içinde sıcaklık ve voltaj değişimi değerleri ölçülmüştür. Bu veriler tablo ve grafik olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

Tablo 4.2. Hindistan cevizi yağı için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri
(Ölçüm Başlama Saati: 11:20)

Ölçüm Sıra Numara	Süre (Dk)	T ₁ (°C) [yağsız]	T ₂ (°C) [yağlı]	T ₃ (°C) [ortam]	V ₁ (mV) [yağsız]	V ₂ (mV) [yağlı]
1	0:00:00	29.2	26.6	18.3	2.38	2.37
2	0:01:00	29.8	26.1	17.6	2.38	2.37
3	0:02:00	29.9	27	18.8	2.37	2.37
4	0:03:00	30.5	27.5	19	2.37	2.37
5	0:04:00	31.9	29.1	19.7	2.36	2.36
6	0:05:00	33.9	29.7	19.4	2.36	2.36
7	0:06:00	33.8	30.9	19.8	2.35	2.35
8	0:07:00	34.9	31.8	21.5	2.25	2.26
9	0:08:00	33.5	30.5	20.1	2.25	2.26
10	0:09:00	32.8	29.6	17.9	2.26	2.26
11	0:10:00	29.7	27.9	19.4	2.26	2.26
12	0:11:00	29.7	26.4	16.8	2.27	2.28
13	0:12:00	28.8	23.9	15.9	2.3	2.3
14	0:13:00	28	23.8	15.8	2.31	2.31
15	0:14:00	28.1	23.6	16.7	2.38	2.38
16	0:15:00	29	24.9	17.3	2.39	2.39
17	0:16:00	30.2	26.1	17.9	2.38	2.38
18	0:17:00	30.7	25.1	19.3	2.34	2.33
19	0:18:00	29.5	24.7	18	2.25	2.29
20	0:19:00	27.4	23.2	17.4	2.29	2.29
21	0:20:00	26.9	23.2	16.5	2.29	2.29
22	0:21:00	25.9	21.3	15.6	2.3	2.3
23	0:22:00	24.2	18.1	15.2	2.32	2.32
24	0:23:00	24.1	20.4	15.6	2.38	2.38
25	0:24:00	23.8	20.4	15.6	2.42	2.41
26	0:25:00	25.1	22	16	2.42	2.41
27	0:26:00	26	23	16.2	2.4	2.39

Tablo 4.2 (devam)

Ölüm Sıra Numara	Süre (Dk)	T ₁ (°C) [yağsız]	T ₂ (°C) [yağlı]	T ₃ (°C) [ortam]	V ₁ (mV) [yağsız]	V ₂ (mV) [yağlı]
28	0:27:00	28.1	25.8	17.5	2.4	2.39
29	0:28:00	30	27.1	18.7	2.4	2.39
30	0:29:00	30.5	24.7	19.6	2.39	2.38
31	0:30:00	30.3	25.5	18.7	2.38	2.27
32	0:31:00	28.9	22	17.5	2.3	2.3
33	0:32:00	27.8	23.4	16.6	2.3	2.3
34	0:33:00	25.8	19.1	15.8	2.38	2.37
35	0:34:00	25	18	16.4	2.38	2.37
36	0:35:00	24.4	18.2	16.1	2.33	2.33
37	0:36:00	22.8	16.4	14.7	2.34	2.33
38	0:37:00	21.3	15.8	14.2	2.36	2.35
39	0:38:00	20.1	15.1	13.9	2.36	2.35
40	0:39:00	20.3	16.1	13.4	2.41	2.35
41	0:40:00	19.2	13.7	12.8	2.38	2.36
42	0:41:00	18.9	14.6	12.3	2.38	2.36
43	0:42:00	18.4	13.2	12.3	2.35	2.34
44	0:43:00	17.8	14	11.7	2.35	2.34
45	0:44:00	17.7	14.3	12	2.36	2.34
46	0:45:00	16.8	13.9	11.1	2.36	2.35
47	0:46:00	16.1	13.2	11.5	2.37	2.35
48	0:47:00	16.2	11.9	10.5	2.35	2.35
49	0:48:00	15.9	12.2	10.5	2.36	2.35
50	0:49:00	16.2	12.7	10.8	2.36	2.35
51	0:50:00	15.9	11.9	10.8	2.37	2.35
52	0:51:00	15.8	12.1	10.4	2.36	2.35
53	0:52:00	15.7	11.6	10.7	2.36	2.34
54	0:53:00	15.6	11.5	10.4	2.41	2.4
55	0:54:00	16	12.2	10.7	2.4	2.38
56	0:55:00	16.4	13.4	11.4	2.39	2.37
57	0:56:00	16.6	13.1	11.8	2.4	2.39
58	0:57:00	17.3	13.7	12	2.41	2.4
59	0:58:00	18	14.6	13.1	2.44	2.42
60	0:59:00	19.8	17	14.1	2.44	2.42
61	1:00:00	21.1	17.8	14.6	2.43	2.41
Ortalama		24.3	20.3	15.3	2.36	2.35



Şekil 4.2. Hindistan cevizi yağı için sıcaklık ve voltaj değerlerinin değişimi

Tablo 4.2'den ve Şekil 4.2'den görüldüğü gibi ilk on dakikada yağlı ve yağsız panel sıcaklıklarının arttığı gözlenmiştir. Voltaj ise çok az bir fark ile azalma göstermiştir. On dakikadan sonra her iki panelin sıcaklığının aşamalı olarak düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi doğal zeytinyağlı kremden farklı olarak hindistan cevizi yağı kaplı panelde sıcaklık düşüşü gözlenmiştir. Yağlı çizgi yağsız çizgiden aşağıda kalıyor.

Tablo ve grafikteki verilerden, hindistan cevizi yağı sürülen panelin ortalama sıcaklığının, yağsız panele (kaplamasız) göre %16.46 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yağlı panelde voltajın %0.42 oranında düştüğü belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı panelin sıcaklığını düşürüp verimliliği artırmak olduğu için hindistan cevizi yağı uygun olduğu görülmüştür.

Genel olarak hindistan cevizi yağı, gıda ve kozmetikte kullanılmaktadır. Son yıllarda akaryakıt sektöründe de kullanılmaktadır. Hindistan cevizi yağı yüksek sıcaklıklarda (22-25 °C) yüksek viskoziteye ve yüksek jelleşme özelliğine sahip olduğundan, dizel motorlarla çalışan jeneratörlerde ve ulaşım araçlarında kullanılabilir. Ayrıca yağlayıcı ve transformatör yağı olarak kullanım için test edilmiştir. Hindistan cevizi yağı bu nedenle enerji sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. (Wikipedia, tarih yok). Dolayısıyla bu yağ, enerji üretiminde ve

yağlamada kullanıldığında sürtünmeden kaynaklanan sıcaklığı düşürebilir. Aynı şekilde güneş panellerinin sıcaklığını da düşürebilir.

Bundan başka, hindistan ceviz yağı 25°C'nin altında ve üstünde faz değiştirme özelliğine sahiptir. Sıcaklık 25°C'nin altına düştüğünde katı halde kalır. Sıcaklık 25°C'nin üzerine çıktığında erir. Sonuç olarak, gün boyunca güneş radyasyonunu emer ve geceleri güneş panellerinden gelen enerjiyi depolar. Dolayısıyla hindistan ceviz yağı, enerji depolamak için de çok iyi bir ortam olabilir.

4.3. Koyu Kahverengi Şeffaf Film İçin Deney Bulguları

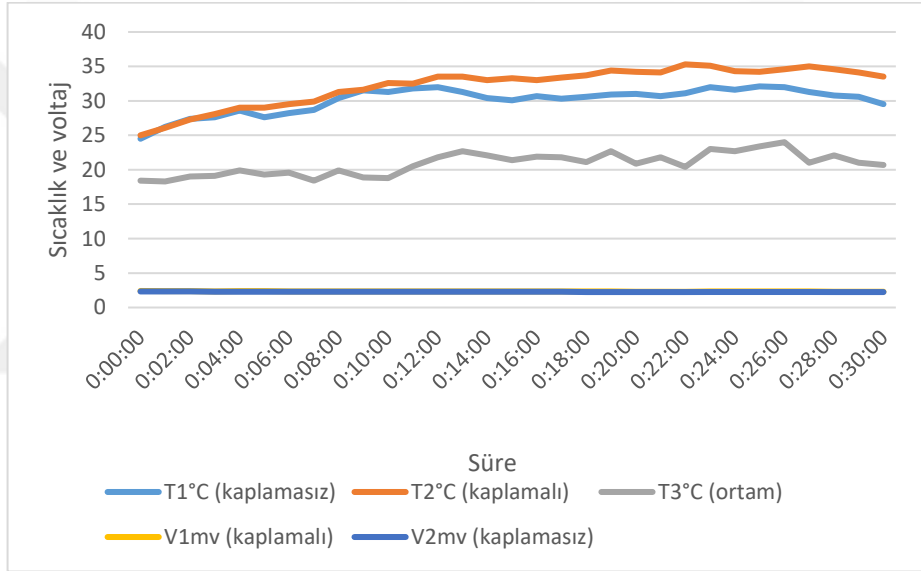
Polipropilenden yapılan koyu kahverengi şeffaf film güneş panelin üzerinde kaplanmıştır. 30 dakika boyunca yapılan deney sırasında ölçülen sıcaklık ve voltaj değerleri tablo ve grafik olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

Tablo 4.3. Koyu kahverengi şeffaf film için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri (Ölçüm başlama saati: 10:23)

Ölçüm Sıra Numarası	Süre (dk)	T ₁ (°C) [Kaplamasız]	T ₂ (°C) [Kaplamalı]	T ₃ (°C) [ortam]	V ₁ (mV) [Kaplamasız]	V ₂ (mV) [Kaplamalı]
1	0:00:00	24.5	25	18.4	2.4	2.33
2	0:01:00	26.2	26.1	18.3	2.39	2.33
3	0:02:00	27.4	27.3	19	2.37	2.32
4	0:03:00	27.6	28.1	19.1	2.35	2.31
5	0:04:00	28.6	29	19.9	2.36	2.3
6	0:05:00	27.6	29	19.3	2.36	2.3
7	0:06:00	28.2	29.5	19.6	2.35	2.3
8	0:07:00	28.7	29.9	18.4	2.35	2.29
9	0:08:00	30.4	31.3	19.9	2.34	2.29
10	0:09:00	31.5	31.6	18.9	2.34	2.28
11	0:10:00	31.3	32.6	18.8	2.33	2.27
12	0:11:00	31.8	32.5	20.5	2.33	2.27
13	0:12:00	32	33.5	21.8	2.33	2.27
14	0:13:00	31.3	33.5	22.7	2.33	2.27
15	0:14:00	30.4	33	22.1	2.33	2.27
16	0:15:00	30.1	33.3	21.4	2.33	2.27
17	0:16:00	30.7	33	21.9	2.33	2.27
18	0:17:00	30.3	33.4	21.8	2.33	2.27
19	0:18:00	30.6	33.7	21.1	2.33	2.26
20	0:19:00	30.9	34.4	22.7	2.33	2.26
21	0:20:00	31	34.2	20.9	2.31	2.26
22	0:21:00	30.7	34.1	21.8	2.3	2.26

Tablo 4.3 (devam)

Ölçüm Sıra Numarası	Süre (dk)	T ₁ (°C) [Kaplamasız]	T ₂ (°C) [Kaplmalı]	T ₃ (°C) [ortam]	V ₁ (mV) [Kaplamasız]	V ₂ (mV) [Kaplmalı]
23	0:22:00	31.1	35.3	20.4	2.28	2.26
24	0:23:00	32	35.1	23	2.33	2.25
25	0:24:00	31.6	34.3	22.7	2.33	2.25
26	0:25:00	32.1	34.2	23.4	2.33	2.25
27	0:26:00	32	34.6	24	2.32	2.25
28	0:27:00	31.3	35	21	2.33	2.25
29	0:28:00	30.8	34.6	22.1	2.3	2.26
30	0:29:00	30.6	34.1	21	2.3	2.26
31	0:30:00	29.5	33.5	20.7	2.3	2.26
Ortalama		30.1	32.2	20.9	2.33	2.28



Şekil 4.3. Koyu kahverengi şeffaf film için sıcaklık ve voltaj değerlerinin değişimi

Tablo 4.3 ve Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, iki panelin sıcaklıkları başlangıçta hemen hemen aynıdır. Ancak zamanla koyu kahverengi şeffaf filmle kaplanmış panelin sıcaklığı artmıştır. İki panelin ortalama sıcaklıkları arasındaki fark %6.97’dir. Yani kaplanmış panelin sıcaklığı %6.97 oranında artmıştır. Ayrıca kaplamalı panelde %2.2 oranında bir voltaj düşüşü belirlenmiştir.

Bunun nedeni koyu kahverengindeki film daha fazla ışınım soğurmasından kaynaklanabilir. Bilindiği gibi koyu kahverengi cisim daha fazla ısı tutar. Bu panelin verimliliği üzerinde etkisi olduğu için voltajı da azalmıştır. Buna göre, sıcaklığı azaltmak ve verimliliği artırmak için koyu kahverengi şeffaf filmin uygun malzame olmadığını değerlendirilmiştir.

4.4. Beyaz Şeffaf Film İçin Deney Bulguları

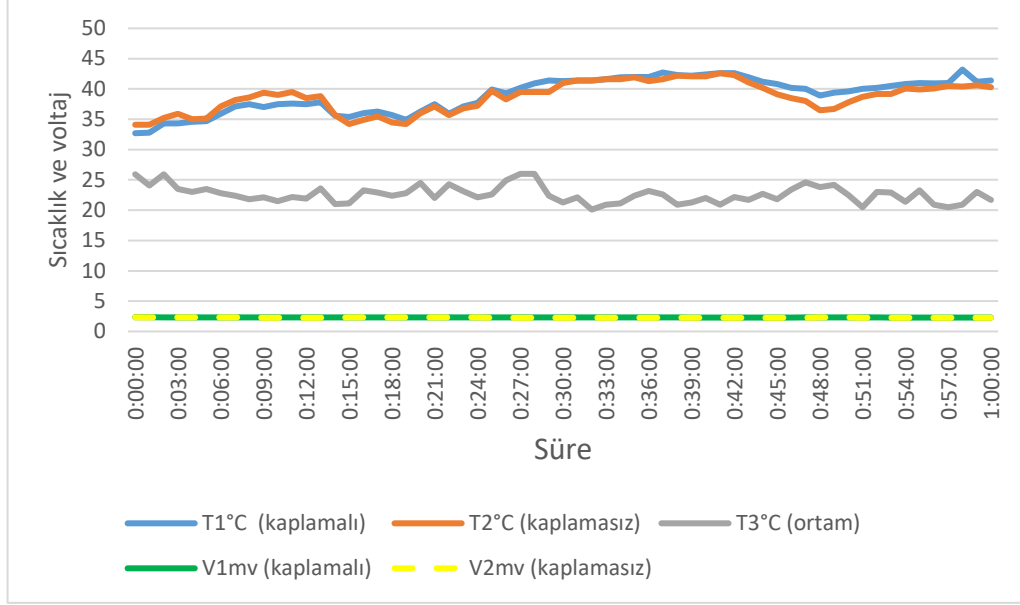
Işığı geçiren şeffaf film tabaka güneş paneline yapıştırılmıştır. 60 dakikada alınan sıcaklık ve voltajı değişimi verileri tablo ve grafik olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

Tablo 4.4. Beyaz şeffaf film için süre bağlı sıcaklık ve voltaj değerleri (Ölçüm başlama saat: 13:30)

Ölçüm Sıra Numarası	Süre (dk)	T ₁ (°C) [Kaplama]	T ₂ (°C) [Kaplama]	T ₃ (°C) [Ortam]	V ₁ (mV) [Kaplama]	V ₂ (mV) [Kaplama]
1	0:00:00	32.7	34.1	25.9	2.35	2.33
2	0:01:00	32.8	34.1	24.1	2.35	2.32
3	0:02:00	34.3	35.2	25.9	2.34	2.32
4	0:03:00	34.3	35.9	23.5	2.33	2.31
5	0:04:00	34.6	35	23	2.33	2.32
6	0:05:00	34.7	35.1	23.5	2.32	2.31
7	0:06:00	35.9	37.1	22.8	2.32	2.31
8	0:07:00	37.1	38.2	22.4	2.31	2.3
9	0:08:00	37.5	38.6	21.8	2.31	2.3
10	0:09:00	37	39.4	22.1	2.31	2.29
11	0:10:00	37.5	39	21.5	2.3	2.29
12	0:11:00	37.6	39.5	22.2	2.31	2.28
13	0:12:00	37.5	38.5	21.9	2.31	2.28
14	0:13:00	37.8	38.8	23.6	2.31	2.28
15	0:14:00	35.6	35.7	21	2.31	2.29
16	0:15:00	35.4	34.2	21.1	2.32	2.3
17	0:16:00	36	34.9	23.3	2.32	2.3
18	0:17:00	36.3	35.5	22.9	2.31	2.31
19	0:18:00	35.7	34.5	22.4	2.32	2.31
20	0:19:00	34.9	34.2	22.8	2.32	2.31
21	0:20:00	36.3	36	24.5	2.32	2.31
22	0:21:00	37.5	37.1	22	2.32	2.31
23	0:22:00	35.9	35.7	24.3	2.32	2.31
24	0:23:00	37.1	36.8	23.1	2.32	2.31
25	0:24:00	37.7	37.2	22.1	2.32	2.3
26	0:25:00	39.9	39.7	22.6	2.3	2.28
27	0:26:00	39.3	38.3	24.9	2.3	2.28
28	0:27:00	40.2	39.5	26	2.3	2.28
29	0:28:00	40.9	39.5	26	2.3	2.28
30	0:29:00	41.4	39.5	22.4	2.3	2.28
31	0:30:00	41.3	41	21.3	2.3	2.28
32	0:31:00	41.4	41.4	22.1	2.3	2.27

Tablo 4.4 (devam)

Ölçüm Sıra Numarası	Süre (dk)	T ₁ (°C) [Kaplamaalı]	T ₂ (°C) [Kaplamaasız]	T ₃ (°C) [Ortam]	V ₁ (mV) [Kaplamaalı]	V ₂ (mV) [Kaplamaasız]
33	0:32:00	41.4	41.4	20.1	2.3	2.27
34	0:33:00	41.6	41.6	20.9	2.3	2.27
35	0:34:00	41.9	41.6	21.1	2.3	2.27
36	0:35:00	42	41.9	22.4	2.3	2.27
37	0:36:00	42	41.3	23.2	2.3	2.27
38	0:37:00	42.7	41.6	22.6	2.3	2.27
39	0:38:00	42.3	42.2	20.9	2.3	2.27
40	0:39:00	42.2	42.1	21.3	2.29	2.27
41	0:40:00	42.4	42.1	22	2.29	2.27
42	0:41:00	42.6	42.6	20.9	2.29	2.27
43	0:42:00	42.6	42.3	22.2	2.29	2.26
44	0:43:00	41.9	41.1	21.7	2.29	2.27
45	0:44:00	41.2	40.2	22.7	2.29	2.27
46	0:45:00	40.8	39.1	21.8	2.29	2.28
47	0:46:00	40.2	38.5	23.4	2.29	2.29
48	0:47:00	40	38	24.6	2.3	2.29
49	0:48:00	38.9	36.5	23.8	2.3	2.3
50	0:49:00	39.4	36.7	24.2	2.3	2.3
51	0:50:00	39.6	37.8	22.5	2.3	2.3
52	0:51:00	40	38.7	20.5	2.3	2.29
53	0:52:00	40.2	39.2	23	2.3	2.29
54	0:53:00	40.5	39.2	22.9	2.29	2.28
55	0:54:00	40.8	40.1	21.4	2.29	2.28
56	0:55:00	41	39.9	23.3	2.29	2.28
57	0:56:00	40.9	40.1	20.9	2.29	2.28
58	0:57:00	41	40.5	20.5	2.29	2.28
59	0:58:00	43.2	40.4	20.9	2.29	2.28
60	0:59:00	41.2	40.6	23	2.29	2.28
61	1:00:00	41.4	40.3	21.7	2.29	2.27
Ortalama		39.0	38.6	22.6	2.31	2.29



Şekil 4.4 . Beyaz şeffaf film için sıcaklık ve voltaj değerlerinin grafisel değişim

Tablo 4.4 ve Şekil 4.4’de görüleceği gibi ilk 16 dakikada kaplamalı ve kaplamasız panellerin sıcaklıkları karşılaştırınca, kaplamalı panelin sıcaklığının kaplamamasız panel sıcaklığına göre %2.75 oranında artış gözlenmiştir. 16 dakikadan sonra kaplamalı panelin sıcaklığı kaplamasız panale göre çok az fark ile devam etmiştir. Sonuçta ortalama sıcaklıklar karşılaştırıldığında, kaplamalı panelin sıcaklığının kaplamasız panelin sıcaklığına göre % 1.5 oranında arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, şeffaf film tabaka cama yapıştırıldığı için daha fazla sıcaklığı tutmuş olma olasılığı olabilir. Şeffaf film kaplamalı fotovoltaik panelin kaplamasız panelle karşılaştırıldığında voltaj değerinin %0.86 oranında düştüğü belirlenmiştir.

Şeffaf film, koyu kahverengi film ile karşılaştırılırsa; her iki film tabakasının da panel verimliliğini düşürdüğü ancak şeffaf filmin, koyu kahverengi filminden daha az güneş panelinin verimliliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin şeffaf film tabakasının koyu kahverengi film tabakasından daha fazla ışınım geçirgenlik özelliğine sahip olması olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fotovoltaiik panellerin sıcaklığını azaltmak ve güneş ışınımının daha çok absorpsyonu sağlamak için panellere dört farklı malzeme kaplanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sıcaklık ve voltaj değerleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Fotovoltaiik panelin sıcaklığını düşürmek ve daha fazla foton emilimini artırmak ve bunun sonucunda verimi artırmak için doğal zeytinyağlı krem kullanılmıştır. Krem kaplanmış panelin sıcaklığı kaplamasız diğer panele göre ortalama %11.25 oranında artış göstermiştir. Ayrıca krem kaplamalı panelin voltaj (gerilim) değerinin kaplamasız panele göre ortalama %2.2 oranında daha az olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, zeytinyağlı krem kaplamalı fotovoltaiik panellerin, sıcaklığı düşürme ve verimliliği arttırmada etkili olmadığı tespit edilmiştir.
- Hindistan cevizi yağı sürülen fotovoltaiik panelin ortalama sıcaklığının, yağsız panelin sıcaklığına göre ortalama %16.46 oranında azaldığı belirlenmiştir. Hindistan cevizi yağı kapmalı panelde voltaj değerinin ise neredeyse değişmediği belirlenmiştir. Bu nedenle hindistan cevizi yağının, güneş panellerinin sıcaklığını düşürmeye ve verimliliğini muhafaza etmeye aday olduğu değerlendirilmiştir.
- Referans olarak bir fotovoltaiik panelin boş bırakılarak (kaplamasız) diğerine koyu kahverengi şeffaf film yapıştırılarak sıcaklık ve voltaj değerleri analiz edilmiştir. İlk dört dakikada iki panelin sıcaklıkları hemen hemen aynı kalmıştır. Ancak zamanla koyu kahverengi şeffaf filmle kaplanmış panelin sıcaklığının ortalama %6.97 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca film kaplı panelde ortalama %2.15 oranında bir voltaj düşüşü belirlenmiştir. Dolayısıyla, güneş panellerin sıcaklığını azaltmak ve verimliliğini artırmak için koyu kahverengi filmin uygun bir kaplama malzemesi olmadığı tespit edilmiştir.
- Bu çalışmada koyu kahverengi film gibi şeffaf film da güneş paneline yapıştırılmıştır. Bir saat boyunca sıcaklık ve voltaj değerleri kaydedilmiştir. Ölçülen verilere göre ilk 16 dakikada beyaz filmi ile kaplanan panel %2.75 oranında sıcaklık düşüşü göstermiştir. 16 dakika sonra kaplamasız paneline göre çok az fark göstererek hemen hemen aynı sıcaklık değerlerinde devam etmiştir. Deney sonunda ortalama sıcaklıklar karşılaştırıldığında, kaplamasız panelin

sıcaklığına göre kaplamalı panelin sıcaklığı ortalama %1.5 oranında artış göstermiştir. Kaplamalı panelde voltajda ise neredeyse düşme olmadığı belirlenmiştir. Şeffaf filmler yapışkandır ve güneşe maruz kaldığında hızlı ısınma özelliğine sahiptirler. Buna göre şeffaf filmlerin fotovoltaik panellerinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

- Bu çalışmada fotovoltaik panellerin sıcaklığı düşürmek ve verimlerini artırmak için dört farklı kaplama malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeler arasında hindistan ceviz yağı çok iyi sonuçlar göstermiştir. Şeffaf film kaplama da iyi sonuçlar vermiştir. Bu nedenle, çok sıcak bölgelerde, hindistan ceviz yağı, sıcaklığı düşürmek ve verimliliği artırmak için güneş panelleri için bir kaplama olarak kullanılması önerilir.
- Güneş panellerinde cam yerine şeffaf bir film kullanılırsa verimliliğin artırılması mümkündür. Bu, güneş modülünü paslanmayan metallerle çerçeveleyerek ve şeffaf bir film kullanarak yapılabilir.

KAYNAKLAR

- A.Haidar, Z., Orfi, J., & Kaneesamkandi, Z. (2018). Experimental investigation of evaporative cooling for enhancing photovoltaic panels efficiency. *results in physics*.
- Abdo, S., Saidani-Scott, H., Borges, B., & Abdelrahman, M. (2020). Cooling solar panels using saturated activated alumina with saline water. *Solar Energy*.
- Abdo, S., Scott, H., Benedi, J., & Abdelrahman, M. (2020). Hydrogels beads for cooling solar panels: Experimental study. *Renewable Energy*.
- Alamri, H. R., Hegazy Rezk, Heba Abd-Elbary, Hamdy A. Ziedan, & Ahmed Elnozahy. (2020). Experimental Investigation to Improve the Energy Efficiency of Solar PV Panels Using Hydrophobic SiO₂ Nanomaterial. *Coating*.
- Aribisala, H. A. (2013). *improving the efficiency of solar photovoltaic power system*.
- Brunel. (2021, March 04). *Concentrated Solar Power (CSP), Explained*.
<https://www.brunel.net/en/blog/renewable-energy/concentrated-solar-power>
adresinden alındı
- Corporation, C. (tarih yok). *Concentrated Solar Power (CSP)*.
<https://www.chiyodacorp.com/en/service/solar-energy/> adresinden alındı
- Delahoy, A. E., & Guo, S. (2011). Transparent Conducting Oxides. A. L. Hegedus içinde, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Second Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Dharan, G., Hanania, J., Stenhouse, K., & Donev, J. (2018, June 4). *Conduction band*. Energy Education: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Conduction_band#cite_note-3
adresinden alındı
- Dixit, S. (2020). Solar technologies and their implementations: A review. *Materials Today: Proceedings*.
- Dwivedi, P., K. Sudhakar, Archana Soni, E Solomin, & I Kirpichnikova. (2020). Pushpendu Dwivedi a. *Case Studies in Thermal Engineering*.
- Electrical Technology. (2014). *Types of Solar Panels and Which Solar Panel Type is Best?*
Electrical Technology: <https://www.electricaltechnology.org/2014/10/pv-types-of-solar-panel-best-pv-panel.html> adresinden alındı
- Energy, A. (2015, August 18). *Common Types of Solar Cells*. Alternative Energy:
<https://www.altenergy.org/renewables/solar/common-types-of-solar-cells.html>
adresinden alındı
- Energy, U. D. (tarih yok). *Solar Photovoltaic Cell Basics*.
<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics> adresinden alındı
- engineering, c. (Yöneten). (2018). *Solar Energy, Photovoltaic System, Solar Cell, Photoelectric Effect, What is it?* [Sinema Filmi].

- Gassenbauer, Y., Ramspeck, K., Bethmann, B., Dressler, K., Moschner, J. D., Fiedler, M., . . . Metz, A. (2012). Rear-Surface Passivation Technology for Crystalline Silicon Solar Cells: A Versatile Process for Mass Production. *IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS*.
- GÜNAM. (tarih yok). ODTÜ GÜNAM: <http://gunam.metu.edu.tr/solar-tech/pv-cell-types/> adresinden alındı
- J.M.K.C. Donev . (2018). *Energy Education*.
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types_of_photovoltaic_cells adresinden alındı
- Joshi, D. N., Atchuta, S., Lokeswara , R., Arkoti, N. K., & S, S. (2019). Super-hydrophilic broadband anti-reflective coating with high weather. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.
- Khattak, Y. H. (2019). *Modeling of High Power Conversion Efficiency Thin Film Solar Cells*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Kıncay, O., Bekiroğlu, N., & Yumurtacı, Z. (tarih yok). *Güneş Pilleri*.
http://www.normenerji.com.tr/menus/gunes_pilleri_1_03012012024615275156935.pdf adresinden alındı
- Kunz, N. (2021, June 04). *Photovoltaic System*. GreenMatch:
<https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system> adresinden alındı
- Laube, P. (tarih yok). *Fundamentals: Conductors – Insulators – Semiconductors*.
Semiconductor Technology from A to Z:
<https://www.halbleiter.org/en/fundamentals/conductors-insulators-semiconductors/> adresinden alındı
- Learning, B. (tarih yok). *Introduction To Chemistry*. Lumen Learning:
<https://courses.lumenlearning.com/introchem/chapter/semiconductors/> adresinden alındı
- LEBLEBİCİOĞLU, E. (2017, Ekim 1). *Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Solar Sistem Tasarımı*. Mühendistan: <https://muhendistan.com/sebekeden-bagimsiz-solar-sistem-tasarimi/> adresinden alındı
- LibreTexts. (2021, July 06). *Fermi Level*. <https://eng.libretexts.org/@go/page/361> adresinden alındı
- Lǐnxia Zhu, Aaswath Raman, Ken Zinge Wang, Mark Abou Anoma, & Shanhui Fan. (2014). Radiative cooling of solar cells. *Optica*, 32-38.
- Lovegrove, K., & Stein, W. (2012). *Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments and Applications*. Elsevier Science.

- Lv, T., Tang, Y., Fan, H., Liu, S., Zeng, S., & Liu, W. (2021). Carbon quantum dots anchored on the anti-reflection silica layer as solid luminescence down-shifting materials in solar panel encapsulation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.
- M.Asif. (2017). Fundamentals and Application of Solar Thermal Technologies. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*.
- Moh, Ting, & Lau. (2019). *Graphene Nanoparticles (GNP) nanofluids as key cooling media on a flat solar panel through micro-sized channels*.
- Mozumdera, M., Mourad, A.-H., Pervez, H., & Surkatti, R. (2018). Recent developments in multifunctional coatings for solar panel. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.
- Nave, R. (tarih yok). *Fermi Level*. HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/Fermi.html> adresinden alındı
- Özçelik, A. E., & Güğül, G. (2020). Photovoltaic panels: A review of Cleaning Systems. *Renewable Energy Sources Energy Policy and Energy*.
- Rajvikram, & Sivasankar. (2019). Experimental study conducted for the identification of best heat absorption. *Solar Energy*.
- Rajvikram, M., S. Leoponraj, S. Ramkumar, H. Akshaya, & A. Dheer. (2019). Experimental investigation on the abasement of operating temperature insolar photovoltaic panel using PCM and aluminium. *Solar Energy*.
- S. Jalalya, M. Vahdania , M. Shahabadia, & G. Mir Mohamad Sadeghi. (2019). Ahmed Elnozahy 4Design, fabrication, and measurement of a polymer-based anti-reflection coating for improved performance of a solar panel under a specific incident angle. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.
- Salman Ahmad, Zhenpeng Li, Muhammad Shahzad Javed, & Tao Ma. (2021). A review on the integration of radiative cooling and solar energy harvesting. *Materials Today Energy*.
- Sargunanathan, S., Elango, A., & S. Tharves Mohideen . (2016). Performance enhancement of solar photovoltaic cells using effective cooling methods: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Sarkina, A. S., Ekren, N., & Sağlam, Ş. (2020). A review of anti-reflection and self-cleaning coatings on photovoltaic panels. *Solar Energy*.
- Savree. (tarih yok). *Dual Axis Solar Panel*. Savree: <https://savree.com/en/encyclopedia/dual-axis-solar-panel> adresinden alındı
- SEIA. (2017, February). *Solar Energy Technologies*. <https://www.seia.org/sites/default/files/Solar%20Energy%20Technologies%20Overview%20Feb17.pdf> adresinden alındı
- Syafiqa, A., Pandey, A., Adzman, N., & Abd Rahim, N. (2017). Advances in approaches and methods for self-cleaning of solar photovoltaic. *Solar Energy*.

- Tiwari, A., Tiwari, G., & Shyam. (2016). *Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications*. USA: Springer.
- V. S., S., & S. K, D. (2018). Solar Photovoltaic Panels Cleaning. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*.
- W. G. Anderson, P. M. (2008). Heat Pipe Cooling of Concentrating Photovoltaic Cells. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. Lancaster.
- Wikipedia. (tarih yok). *Coconut oil*. Wikipedia, the free encyclopedia: https://www.wikiwand.com/en/Coconut_oil adresinden alındı
- Yu, P. Y., & Cardona, M. (2010). *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties*. USA: Springer.
- Zambrano, D., R. Espinoza-Gonzalez, R. Villarroel, Carvajal, N., A. Rosenkranz, A. G. Montano-Figueroa , . . . W. Gacitúa. (2021). Mechanical and microstructural properties of broadband anti-reflective TiO₂/SiO₂ coatings for photovoltaic applications fabricated by magnetron sputtering. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.

ÖZGEÇMİŞ

Jibril Abdella ISMAEL, Oda Nabe Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2018 yılında mezun olmuştur. 2019 yılında OMÜ LEE Makine Mühendisliği Ana Dalında Yüksek Lisans Programına girmiştir.

İletişim Bilgileri

Öğrenci no :18211446

ORCID ID : 0000-0002-1101-5596

Yayımlanmış Çalışmalar:

1. Çeviri; “Düşün ve Başar, Dr. Muhammed Bozdağ, Pozitif Yayıncılık, 2020”
Türkçeden Oromca'ya çeviri.

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. 2013-2018 yılları arasında Türkiye Bursları kazanmıştır.