T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK(PV) PANELLERDE VERİM ARTIRMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Nuriye ERYILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK

TUNCELİ - 2022

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK(PV) PANELLERDE VERİM ARTIRMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

NURİYE ERYILMAZ
(11879002)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK

TUNCELİ -2022

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK (PV) PANELLERDE VERİM ARTIRMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Nuriye ERYILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 06/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza	**İmza**	**İmza**
Doç. Dr. Fatih KOÇYİĞİT (Dicle Üniversitesi)	Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK (Munzur Üniversitesi)	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAHRAMAN (Munzur Üniversitesi)
BAŞKAN	**DANIŞMAN**	**ÜYE**

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

06/01/2022

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza
Nuriye ERYILMAZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK

TEŞEKKÜR

Çalışmamın başından sonuna kadar bilgisi, deneyimi, insani değerleri ve bana verdiği özgüven için değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK Hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu yola girmemde beni yönlendiren bana benden çok güvenen, içlerindeki aydınlıkla bir çok öğrencinin yolunu aydınlatan, her zaman yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK ve Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM Hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın bütün aşamalarında, varlıkları ile beni güçlü kılan, maddi manevi yanımda olan değerli aileme, tez çalışmamda deneyimi ile olumlamaları ile bana destek olan ablam Pınar'a teşekkür ediyorum.

Bu sene kaybettiğimiz aile büyüğümüz, değerli amcam Doç. Dr. Yaşar ERYILMAZ'IN anısına armağan olsun.

Nuriye ERYILMAZ
TUNCELİ-2022

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ I
TEŞEKKÜR II
İÇİNDEKİLER III
ŞEKİLLER LİSTESİ V
TABLOLAR LİSTESİ VII
RESİMLER LİSTESİ VIII
SEMBOLLER LİSTESİ IX
KISALTMALAR LİSTESİ XII
ÖZET XIII
ABSTRACT XIV
1. GİRİŞ 1
1.1. Literatür Çalışması 6
1.2. Kuramsal Temeller ve Temel Kavramlar 14
1.2.1. Enerji, enerji geçişi ve genel enerji analizi 15
1.2.1.1. Enerji ve iş 15
1.2.1.2. Enerji ve ekserji 16
1.2.1.3. Enerji ve termodinamiğin 1. yasası 18
1.2.1.4. Enerji termodinamiğin 2. yasası ve entropi 19
1.2.1.5. Enerji, tersinir ve tersinmez hal değişimleri 21
1.2.1.6. Enerji termodinamik güç çevrimleri 23
1.3. Güneş Enerji Sistemleri 23
1.3.1. Güneş teknolojisi 24
1.3.1.1. Dünyada güneş enerji teknolojisi ve kullanımı 25
1.3.1.2.Türkiye'de güneş enerji potansiyeli ve teknolojisi 27
1.3.2. Güneş panelleri 29
1.3.2.1. Fotovoltaik (PV) sistem 30
1.3.2.2. Fotovoltaik termal (PV/T) sistem 31
1.3.2.3. Fotovoltaik hücrelerin yapısı ve çalışma ilkesi 32
1.3.2.4. Fotovoltaik sistemler için teorik hesaplar 33
1.3.2.5 Fotovoltaik sistemlerin verimlerini etkileyen faktörler 34
1.3.2.6. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan temel ekipmanlar 34
1.4. Güneş Pilleri 38
1.4.1. Güneş pillerin yapısı ve çalışma ilkesi 39
1.4.2. Güneş pili çeşitleri 42
1.4.2.1. İnorganik güneş pilleri 42
1.4.2.2. Kristal silisyum güneş pilleri 42
1.4.2.3. Tek kristalli (mono kristal) silisyum güneş pilleri 43
1.4.2.4. Poli kristalin güneş pilleri 43
1.4.2.5. Galyum Arsenit (GaAs) güneş pilleri 44
1.4.2.6. İnce film güneş pilleri 46
1.4.2.7. Amorf silisyum güneş pilleri 47
1.4.2.8. Çok kristalli ince film güneş pilleri 47
1.4.2.9. İnce film kalgonit güneş pilleri 47
1.4.2.10. Kadmiyum tellürid güneş pilleri (CdTe) 48
1.4.2.11. Bakır indiyum diseleneid güneş pilleri 48
1.4.2.12. Bakır indiyum galyum diseleneid güneş pilleri (CIGS) 48
1.4.2.13. Fleksibil CIGS güneş pilleri 49

1.4.2.14. Çok eklemli güneş pilleri 49
1.4.2.15. Nanofotovoltaik güneş pilleri (NanoPV) 50
1.4.2.16. Kuantum noktalı güneş pilleri 51
1.4.2.17. Boya duyarlı güneş pilleri 51
1.5. Güneş Kollektörleri 52
1.5.1. Düz plakalı kollektörler 53
1.5.2.Vakumlu tüp kollektörler 54
1.5.3. Odaklamalı (yoğunlaştırıcı) tip güneş kollektörleri 55
1.5.3.1. Çizgi (Doğrusal) odaklı güneş kollektörleri 56
1.5.3.2. Nokta odaklı kollektörler 56
2. MATERYAL VE YÖNTEM 58
2.1. Fotovoltaik Panellerin Verimsel Etkinliğini Artırma Yöntemleri 58
3. BULGULAR 116
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 132
5. KAYNAKLAR 134
ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası……..2
Şekil 1.2. Türkiyede elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı……...3
Şekil 1.3. Türkiye'de Ocak ayı elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı……..4
Şekil 1.4. Apak (2007)'ye göre sistem sınır ve çevre……14
Şekil 1.5. Kapalı ve açık sistemin şematik görünümü…….....15
Şekil 1.6. Temodinamiğin ikinci yasasının işleyişi……19
Şekil 1.7. Gaz üzerinde yapılan döner milin gazın düzensizliğini (entropisini) arttırması..20
Şekil 1.8. Isı geçişi sırasında net entropi artışı……20
Şekil 1.9. Sürtünme durumunda entropinin varlığı……..... 21
Şekil 1.10. Sürtünme oluşmaması durumu……..21
Şekil 1.11. Tersinir iş ve kullanılabilirlik arasındaki ilişki……..... 23
Şekil 1.12. Türkiye'de birincil enerji arzı kaynaklar bazında dağılımı……...28
Şekil 1.13. PV/T sistemi performans göstergesi ve termodinamik ekonomik analiz……32
Şekil 1.14. Güneş pilinde fotovoltaik güç oluşumu…… 33
Şekil 1.15. PV sistem ekipman şeması……35
Şekil 1.16. PV panel oluşumu……. 35
Şekil 1.17. Güneş paneli montaj açısı……. 36
Şekil 1.18. Bir güneş pili için bir diyot modeli……... 38
Şekil 1.19. Çalışma ilkesi……40
Şekil 1.20. Fotovoltaik hücrenin yapısı……...41
Şekil 1.21. Galyum Arsenit molekülün kristalik yapısı……..……... 44
Şekil 1.22. Düzlemsel ve toplayıcılı güneş kollektörlerinin konuşlandırılmaları……. 53
Şekil 1.23. Düz plakalı kollektörün görünüşü……54
Şekil 1.24. Isı borulu vakum tüplü hava ısıtma güneş kollektörünün kesit görünüşü…….54
Şekil 1.25. Vakumlanmış güneş kollektörünün görünüşü……...55
Şekil 1.26. Çizgi odaklı güneş kollektörünün çalışma prensibi…….. 56
Şekil 2.1. Deneysel tesisin şematik gösterimi……61
Şekil 2.2. Kanal kesiti ……..... 62
Şekil 2.3. Hücre özellikleri için ölçüm devresi……... 63
Şekil 2.4. Hücre için karakteristik eğriler; (a) I-V, (b) PPV-V ……..... 64
Şekil 2.5. Farklı FDM işgal oranlarında panel sıcaklığı……..66
Şekil 2.6. Farklı nanopartikül konsantrasyonlarında panel sıcaklığı……..67
Şekil 2.7. Farklı FDM işgal oranlarında PV elektrik verimliliği……68
Şekil 2.8. Farklı nanoparçacık konsantrasyonlarında PV elektrik verimliliği……69
Şekil 2.9. Farklı Al2O3/FDM işgal oranlarında PV termal verimliliği……...70
Şekil 2.10. Farklı Al2O3 nanoparçacık konsantrasyonlarında PV termal verimliliği…....70
Şekil 2.11. Farklı FDM işgal oranlarında ortalama PV ekserji verimliliği……. 71
Şekil 2.12. Farklı nanoparçacık konsantrasyonlarında PV ekserji verimliliği ……... 71
Şekil 2.13. Farklı nanoparçacık konsantrasyonlarında PV ekserji verimliliği ……... 72
Şekil 2.14. Dikey olarak arkaya geri kanatçıklar takılı FDM konteynerlerinin Şemaları... 73
Şekil 2.15. Deneyde kullanılacak yöntemlere ait 3 prototip tip …… 75
Şekil 2.16. Tam otomatik bir sistem için şematik diyagram …….. 76
Şekil 2.17. Modül sıcaklığının deneysel test sırasında MGN'nin gelişimi…… 78
Şekil 2.18. Fotovoltaik modüller için aktif bir soğutma sistemi……. 81
Şekil 2.19. Nanoakışkan için ısı transferi ve akış karakteristiklerinin deneysel sistemi… 83
Şekil 2.20. Deney düzeneğinin diyagramı…….....84
Şekil 2.21. Deney düzeneğinin şematik diyagramı …….... 87

Şekil 2.22. Tek ve paralel çift geçişli, çift geçişli karşı akışlı, çift geçişli geri dönüşlü… 87
Şekil 2.23. (a) Solar ısıtıcı, (b) Güneş hava ısıtıcısı, (c)Soğurucu plaka (d) Jet plaka…. 89
Şekil 2.24. a) Kare kanallı b) Düz kanallı kollektör……91
Şekil 2.25. Camdan a) Cama ve b) Mat yüzeye…….. 91
Şekil 2.26. (a) Doğrudan, dağınık ve soğurma ile iki yüzeyli panelin albedo ışığı…….. 92
Şekil 2.27. Albedo ışığının (a) doğrudan (Dir) ve dairesel güneş ışığının gölgelenmesi.. 94
Şekil 2.28. Güneş enerjili hava ısıtıcısının şematik diyagramı …….. 94
Şekil 2.29. Sistemin blok diyagramı …….. 98
Şekil 2.30. DA-DA yükselten dönüştürücü devresi ……..100
Şekil 2.31. D&G algoritmasının akış diyagramı ……...100
Şekil 2.32. PSO algoritması akış diyagramı……...101
Şekil 2.33. GKO algoritmasının MGNTS'de işleminde kullanım diyagramı ……101
Şekil 2.34. Sistemin MATLAB/SIMULINK modeli……102
Şekil 2.35. Fotovoltaik sistem için MGNTS kontrolörünün blok şeması……..111

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları …….....1
Tablo 1.2. Enerji ve ekserji arasındaki başlıca farklar ……...18
Tablo 1.3. Ülkelere göre dünyada güneş enerji santrali kurulu gücü listesi ……..... 26
Tablo 1.4. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli …….....27
Tablo 1.5. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı…… 29
Tablo 2.1. PV sistemlerini soğutma teknikleri …….. 60
Tablo 2.2. Fotovoltaik modül parametreleri …….. 77
Tablo 2.3. Soğutma tekniklerinin test sonuçları……. 79
Tablo 2.4. PV panelin elektrik performansı……80
Tablo 2.5. Üç farklı kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan algoritmalar……..103
Tablo 2.6. Dinamik verimlilik……...109
Tablo 2.7. MPPT tekniklerinin sınıflandırılması…….....111
Tablo 2.8. Farklı MGNTS Tekniklerinin Karşılaştırması…….....112
Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları……117

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1. Polikristal Modül ……. 44
Resim 1.2. MidSTAR-1 uydusunun Galyum Arsenit güneş panelleri……46
Resim 1.3. Nokta odaklı güneş kollektörü……..57
Resim 2.1. Deney düzeneğinin bir fotoğrafı……... 62
Resim 2.2. Kanal düzenlemesi……..... 63
Resim 2.3. Deneyde kullanılan 1 adet PV panel ve soğutma sistemi……. 77
Resim 2.4. Deney düzeneğinin bir görünümü…….84
Resim 2.5. Deney düzeneğinin önden görünümü ……. 86

SEMBOLLER LİSTESİ

A	**:** Alan
A_{kol}	**:** Kollektör Alanı
Al_2O_3	**:** Alüminyum Oksit
A_{PV}	**:** Fotovoltaik alan
A_{ch}	**:** Kanal alanı
C_p	**:** Özgül Isı
CdS	**:** Kadyum Kükürt
CdSe	**:** Kadyum Selenyum
CIS	**:** Bakır İndiyum Diselenid
CIGS	**:** Bakır İndiyum Galyum Diseleneid Güneş Pilleri
Cp	**:** Özısı
Cp_w	**:** Suyun özgül ısısı
C_V	**:** Sabit voltaj
$Diff_{cir}$	**:** Dairesel güneş ışığı
$Diff_{iso}$	**:** İzotropik dağınık ışık
D_{ir}	**:** Doğrudan ışık
e	**:** Özgül Enerji
E	**:** Toplam Enerji
E	**:** Elektron yükü
G	**:** Yerçekim ivmesi
GA	**:** Açık alana gelen güneş radyasyonu
G	**:** Yoğunluk
G_s	**:** Güneşten yüzeye ısı akışı
G	**:** Güneş ısı akısı
q	**:** Isı akışı
GA	**:** Açık alana gelen güneş radyasyonu
H	**:** Kanal yüksekliği
I	**:** Akım(Amper)
$I_{ış}$	**:** Işınım Şiddeti(W/m^2)
K_f	**:** Türbilanslı eddy iletkenliği
kJ	**:** Kilo joule
kg	**:** Kilogram
λ	**:** Dalga Boyu
m	**:** Kütle
$\dot{m}$	**:** Kütle akış hızı
M	**:** Kütle akısı
$\dot{M}$	**:** Güç
MW	**:** MegaWatt
$\dot{m}$	**:** Debi (kg/s)
η_p	**:** PV panel verimi
$\eta_{pv/t}$	**:** PV/T panel verimi
oc	**:** Açık Devre
T	**:** Sıcaklık (^oC)
V	**:** Gerilim (Volt)
$\dot{V}$	**:** Hacimsel debi
w	**:** Kanal genişliği
μ	**:** Eddy viskositesi

μ_t : Türbilanslı eddy viskositesi
P : Basınç
Si : Silisyum
SİC : Silisyum Karbür
SC : Kısa Devre
$\dot{Q}$: Termal Enerji Oranı
Q : Isı transfer hızı
v : Özgül hacim
W: : Watt
Rs : : Eşdeğer devrenin seri direnci
Ru: : Rutenyum
TiO2 : Titanyum oksit
TiO_2 : Titanyum diyoksit
ZnO : Çinko Oksit
ηl : Yeterlik
Λ_{FDM} : Al2O3/FDM'nin kanallardaki işgal oranı
I_{opt} : Optimum elektrik akımı
M : Kütle Akışı
$\dot{m}_w$: Suyun kütle akış hızı
$T_{w.o}$: Suyun çıkış sıcaklığı
$T_{w.i}$: Suyu giriş sıcaklığıη
m : Kütle
N_{ch} : Toplam kanal sayısı
P : Güç
N_{FDM} : FDM ile dolu kanal sayısı
λ_{fdm} : FDM'nin kanallardaki işgal oranı
P_{in} : Hücre üzerine düşen güneş ışınımı
$P_{FV_{mak}}$: Maksimum modül çıkış gücü
V_{opt} : Optimum gerilim düşümü
η_e : Panelin elektrik verimliliği
ΔP_e : Hücre elektrik çıkış gücü
$P_{Fv.c}$: Soğutulmuş modül çıkış gücü
P_{PVref} : Referans alınan modül çıkış gücü
W_P : Pompa tarafından tüketilen güç
V_p : Voltaj gücü
I_p : Akım gücü
Q_{th} : Modül altı kanal akış suyu ısıl enerjisi
η_{th} : Soğutulmuş panelin termal verimliliği
p_{in} : Güç girişi
T_{PV} : Panel Sıcaklığı
Tpv_f : PV panelin ön yüzeyinin otalama sıcaklığı
Tpv_b : PV panelin arka yüzeyinin ortalama sıcaklığı
$\eta_{o\ ex}$: Genel ekserji verimliliği
η_e : Elektrik verimliliği
T_α : Ortam sıcaklığı
m_{np} : Nanopartakül kütlesi
m_{fdm} : Faz değiştiren madde kütlesi
M_w : Suyun kütle akışı
$\dot{m}_W$: Suyun kütle akış hızı

H_{ch} : Kanal yüksekliği
W_{ch} : Kanal genişliği yüksekliği
x_i : i Parçaçıcığın konumu
v_i : i Parçacığın hızı
k : Yineleme sayısı
w : Atalet
p_{best} : i parçacığının bireysel en iyi konumudur
PR_{DC} : Doğru Akım Performans Oranı
g_{best} : i sürüdeki tüm parçacıkların en iyi konumu
V_{oc} : PV panelinin açık devre voltajı
V_{AD} : Açık devre gerilimi
I_{kd} : Kısa devre akımı
P_{MGN} : Panelim maksimmu güç noktası
I_{MGN} : Maksimmum güç akım nıktası
V_{MGN} : Maksimum güç gerilim noktası
V_{OC} : Açık devre geriliimi
I_{SC} : Kısa devre akımı
η_{elek} : Elektrik verimliliği
T_W : Ortalama boru duvar sıcaklığı
T_f : Ortalama giriş çıkış kütle sıcaklığı
h_{nf} : Konvektif ısı transfer katsayısı
x_i : i parçacığın konumu
v_i : i parçacığın hızı
k : Yineleme sayısı
w : Eylemsizlik ağırlığı
Fe_3O_4 : Ferro-ferrik oksit
SiC : Silisyum karbür
φ : Fi
φ : Nano parçacıkların kütle konsantrasyonu
Δ : Diferansiyel
Υ : Gama; kullanılan alümina nanoparçacıkların türü
μ : eddy viskositesi
μ_t : Türbilanslı eddy viskositesi

KISALTMALAR LİSTESİ

AC	**:** Alternatif Akım
ANSYS	**:** Analiz Sistemi
AR-GE	**:** Araştırma-Geliştirme
BDT	**:** Bilgisayar Destekli Tasarım
BIPVS	**:** Bina İle Bütünleşik Fotovoltaik Sistemler
CdTe	**:** Kadmiyum Tellür
CO2	**:** Karbondioksit
DC	**:** Doğru Akım
DDGM	**:** Dijital Darbe Genişlik Modülasyonu
DR	**:** Dönüşüm Reaktörü
DKPV/T	**:** Düşük Konsantrasyonlu Fotovoltaik-Termal
DSD	**:** Dijital Sinyal Denetleyicisi
D&G	**:** Değiştir ve Gözle
EEVAA	**:** Enerji ve Ekserji Verimliliğini Artırma Analizi
EHEES	**:** Evrimsel Hibrit Entegre Enerji Sistemi
EMO	**:** Elektrik Mühendisleri Odası
PV	**:** Fotovoltaik
PV/T	**:** Fotovoltaik Termal
FDM	**:** Faz Değiştiren Malzeme
GaAs	**:** Galyum Arsenit
GES	**:** Güneş Enerjj Santrali
GKO	**:** Guguk Kuşu Optimizasyon
GRA	**:** Taguchi Gri İlişkisel Analiz
HYES	**:** Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi
IES	**:** Evrimsel Hibrit Entegre
KE	**:** Kinetik Enerji
MDÇ	**:** Mühendislik Denklem Çözücü
MGNTS	**:** Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi
MFDM	**:** Mikrokapsüleşmiş Faz Değişim Malzemesi
MTK	**:** Mühendislik Tedarik ve Kurulum
NOHS	**:** Nominal Optimum Hücre Sıcaklığı
NPV	**:** Net bugünkü Değer
PE	**:** Potansiyel Enerji
PSO	**:** Parçacık Sürü Optimizasyon
PWM	**:** Sinyal Genişlik Modülasyonu
Re	**:** Reynolds sayısı
SYS	**:** Spektrum yayma sistemi
TDR	**:** Transesterifled Dönüşüm Reaktörü
TED	**:** Termal Enerji Depolama
TEG	**:** Termoelektrik Jeneratör
TES	**:** Termoelektrik Soğutma
TGÇKJPGEHI	**:** Tek Geçişli Çift Kanallı Jet Plakalı Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı
TGTKJPlGEHI	**:** Tek Geçişli Tek Kanallı Jet Plakalı Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı
TMMOB	**:** Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
YEK	**:** Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ÖZET

Dünya üzerindeki nüfusun hızla artması ve teknolojideki hızlı gelişmelere bağlı olarak yeryüzündeki enerji kaynakların hızla tükenmesi ayrıca fosil yakıtların insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri alternatif enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu kılmaktadır. İşte bu noktada doğal enerji kaynakları içerisinde dünya için en önemlisi olan güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanmak için fotovoltaik paneller dediğimiz teknolojik sistemler geliştirilmekte ve bu sistemlerden en iyi şekilde faydalanmak için çalışmalar yapılmaktadır. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş enerjisi ile çalışan pillerden oluşur. Enerji tasarrufu ve çevresel kaygılar nedeniyle PV ve PV/T sistemleri büyük öneme sahip olmuştur. Bu sistemlerdeki gelişmelerin enerji tasarrufu, daha temiz yaşanılabilir bir çevre için büyük öneme sahip olacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada genel olarak PV panellerin verimlerinin artırılması ile ilgili denenen yöntemler üzerinde geniş kapsamlı bir araştırma yapılmış olup verim artırma yöntemlerinin neler olduğu, hangi yöntemler üzerinde durulduğu uygulama teknikleri ve sonuçları derlenip sunulacaktır. Böylece PV panellerde verim artırma yöntemlerini genel hatlarıyla açıklayan bir tez çalışması oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PV, güneş enerjisi, verim, termal.

ABSTRACT

Investıgatıon Of Effıcıency Increase Methods In Photovoltaıc (Pv) Panels

Due to the rapid increase of the population in the world and the rapid depletion of energy resources on earth and due to the rapid developments in technology, the negative effects of fossil fuels on human health and the environment necessitate the orientation towards alternative energy sources. At this point, technological systems, which we call photovoltaic panels, are developed in order to increase the usage of solar energy, which is the most important natural energy resource of the world, and efforts are made to make the best use of these systems. Photovoltaic systems consist of solar powered batteries that convert solar energy directly into electrical energy. PV and PV/T systems have been of great importance due to energy savings and environmental concerns. It is anticipated that the developments in these systems will be of great importance for energy saving and a cleaner and more livable environment.

This study carries out comprehensive research on the previously tried methods for increasing the efficiency of PV panels in general and compiles and presents the efficiency improvement methods, the methods that have been the focus of attention, and application techniques and their results. Thus, a review study is presented to address the methods of efficiency improvement in PV panels.

Keywords: PV, solar energy, efficiency, thermal.

1. GİRİŞ

Dünyanın var oluşundan bu yana yeryüzündeki enerji döngüsü sürekli devam etmekte olup günümüze kadar artan nüfus ve teknolojideki gelişmeler, yeraltı ve yerüstü kaynaklarını hızla tükentmesi sebebiyle bu kaynaklardan elde edilen enerjinin taleplere cevap vermede yetersiz kalacağı öngörülmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli enerji kaynağı olan güneş enerjisine yönelim artmış bulunmaktadır. Bu anlamda enerji ile ilgili teknolojik gelişmeler güneş enerjisinden daha etkin ve maksimum verim elde etmek için ortak paydada birleştirilerek güneş enerji sistemleri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir.

Dünya üzerinde petrol birincil enerji kaynağı iken 1973 yılında yaşanan petrol krizi dünya ülkelerini alternatif enerji kaynaklarından uzun vadede enerji üretmek için çeşitli çalışmalara yönlendirmiştir. 2000'li yıllara gelindiğinde ise yenilenebilir enerji kaynakları daha da popüler bir hal almıştır. Günümüzde yeryüzünde kullanılan enerjinin %20'si yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu doğal çevre dostu olarak tanımlayabileceğimiz kaynaklar içerisinde güneş enerjisi en önemlisi ve diğer bütün yenilenebilir enerji kaynaklarını doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen ana enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Tablo 1.1'de yenilenebilir enerji kaynakları çeşitleri verilmiştir. (Karagöl ve Kavaz, 2017).

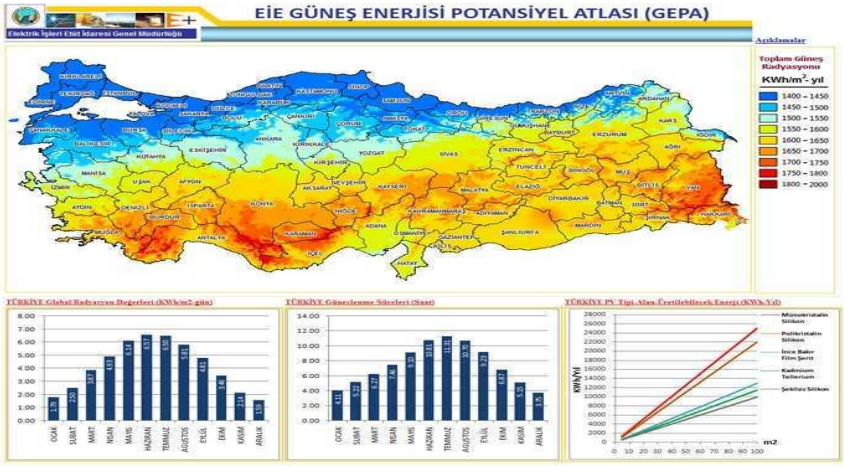
Tablo 1.1. Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları (Karagöl ve Kavaz, 2017)

YENİLENEBİLİR ENERJİ ÇEŞİTLERİ VE KAYNAKLARI	
Yenilenebilir Enerji Çeşitleri	Enerjinin Kaynağı
Güneş enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
Jeotermal Enerji	Yeraltı Suları
Hidrolik Enerji	Nehir ve Akarsular
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

Güneş'in yaydığı enerji, dünya ve atmosferin fiziksel yapılarını etkileyen ana faktörlerin kaynağıdır. Dünyadaki madde ve enerjinin akışı güneş enerjisi sayesinde mümkündür. Rüzgar, deniz dalgası, sıcaklık farkı ve biyokütle enerjisi, değişen güneş enerjisi biçimleridir. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün sağlanmasında rol oynayarak akarsu gücünü yaratır. Fosil yakıtlar da biyokütle ile sabit güneş enerjisi olarak kabul edilirler. Birçok doğal enerji kaynağının ana kaynağı olan güneş enerjisi, doğrudan ısınma ve elektrik üretimi gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak olduğu için fosil yakıtlara bir alternatiftir (Kılıçkaya ve ark., 2006).

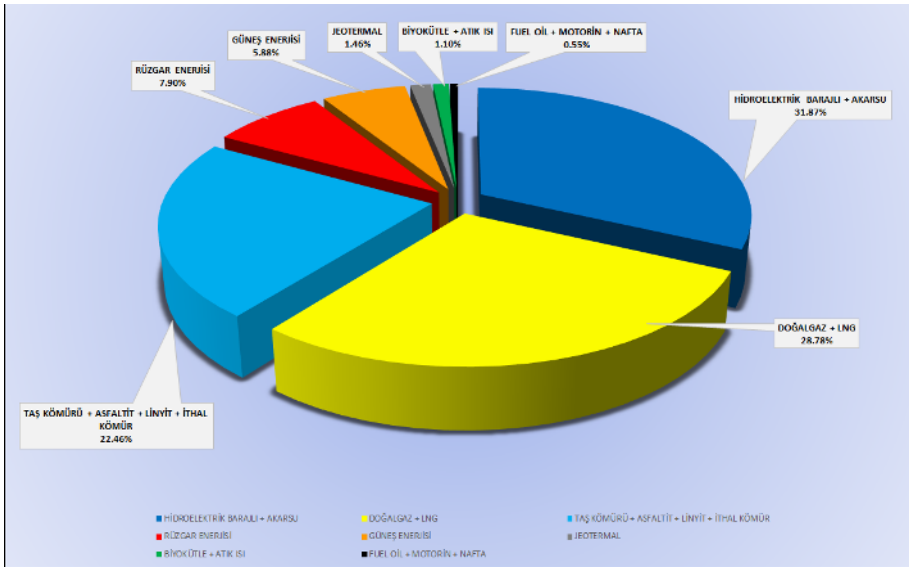
Türkiye yenilenebilir enerji kapasitesi açısından bulunduğu konum itibariyle avantaj sahibidir. Ancak bu potansiyelini enerji üretme noktasında yeterince değerlendirememektedir. Sahip olduğu potansiyelini enerjiye dönüştürmede yetersiz kalmasının sebebi teknolojik yetersizlikler yasal sınırlamalar, maliyetler gibi etkenler gösterilebilir. Ülkemiz kullandığı enerjinin büyük oranını dışardan sağlamaktadır. Bu oran göz önünde bulundurulduğunda sahip olduğu potansiyeli yerli üretime dönüştürmek için uzun vadede etkin enerji politikaları geliştirmek zorundadır.

Türkiye'nin 2009 yılından sonra yenilenebilir enerjide önemli gelişmeler kaydettiği görülmektedir. Türkiye'de yenilenebilir enerji üretiminin toplam kurulu gücü 2009 yılında 15,5 GW olup, bu rakamı 2015 yılına kadar 31,7 GW seviyesine çıkarmıştır. Bu alanda dikkate değer bir ilerleme kaydedilmiştir. 2016 yılı sonu itibarıyla Türkiye'deki toplam kurulu yenilenebilir enerji kapasitesi 34,2 GW olarak kaydedilmiştir. Ülkemizde elektrik enerjisinin % 35'i yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından, Şekil 1.1'de aylar bazında toplam güneş radyasyonu miktarı verilmiş olup Türkiye'nin en az ve en çok güneşlenme süreleri sırası ile Temmuz ve Aralık aylarıdır (Karagöl ve Kavaz, 2017).

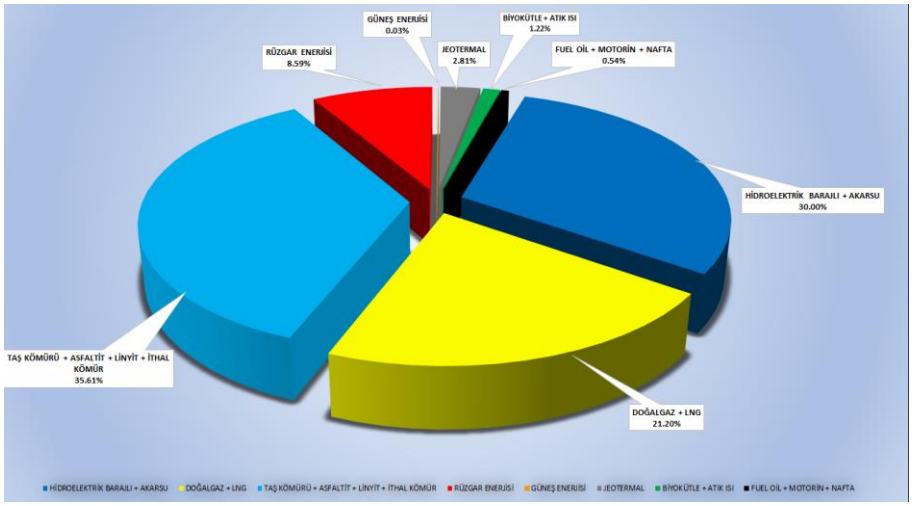


Şekil 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (URL-1, 2020)

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi hem gece üretim yapamayan hem de iklim şartlarına bağlı olarak üretimi değişken olan bir üretim modeli olması sebebiyle konvansiyonel santraller gibi bir yılda 8,766 saat üretim yapamamakta, örneğin ülkemizde ortalama 1,600 saat üretim yapabilmekte, özellikle kış aylarında ve bulutlu havalarda da üretimleri ciddi oranda düşmektedir. Grafiklerden (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3.) de görülebileceği üzere kurulu güç içerisindeki payı %5.88 olmasına rağmen Ocak ayı üretimi içerisindeki payı %0.03'te kalmıştır (URL-2, 2019).



Şekil 1.2. Türkiyede elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı (URL-2, 2019)



Şekil 1.3. Türkiye'de Ocak ayı elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (URL-2, 2019)

Günümüzde güneş enerjisi, ülkemizde ısıtma, soğutma, aydınlatma ve elektrik üretimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin kurullumu fosil kaynaklı enerjiyi elde etmekten daha maliyetli olduğu için yeryüzüne gelen güneş enerjisinin sadece yüzde 0,04'ü enerjiye dönüştürülebilir. Özellikle son yüzyılda güneş teknolojisi ile ilgili sistemlerdeki ilerlemeler sayesinde güneş enerjisi sistemlerin kurulumu daha ucuza maledilebilmekte ve bu alandaki yatırımları artırmaktadır. 2015 yılında güneş enerjisi, kapasitesi 50 GW artarak dünya genelinde toplam 227 GW kapasiteye ulaşmıştır. Bölgesel ölçekte güneş enerjisinde en yüksek potansiyel Avrupa'da bulunurken, onu Asya ve Kuzey Amerika izlemektedir. Diğer yandan, dünya çapında en yüksek fotovoltaik güneş sistemi kapasitesi sırasıyla Almanya, Çin, Japonya, ABD ve İtalya'dır. Kişi başına düşen güneş fotovoltaik sistem kapasitesi açısından, Almanya 2015 yılında ilk sırada yer alırken, Çin, Japonya ve ABD'nin kapasite artışında önemli bir performans sergilediği görülmektedir. Ayrıca güneş enerjisinden ısı elde etme kapasitesi açısından ilk sıralarda bulunan Çin, ABD ve Almanya'yı Türkiye takip etmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017).

Enerji sektöründe meydana gelen çatlakların uzun vadede dünya için herhangi bir kriz durumu yaratmaması için hem ekolojik çevre hem de maliyetler göz önünde bulundurulduğunda bilim ve teknoloji atılımlarının, güneş ışığını uygun formlarda ölçeklenebilir bir şekilde üretmesi, dönüştürmesi ve depolaması gerekmektedir. İnsanlar tarafından bir yıl boyunca tüketilen enerji 1 saat içerisinde güneşten dünyaya ulaşır. Önemli olan güneş fotonlarında bulunan enerjinin yakalanması ve dönüştürülmesidir. Güneş enerjisini birinci enerji kaynağı olarak ikame etmek için etkin maliyet politikaları ile

birlikte nanoteknoloji, biyoteknoloji, malzeme ve fiziksel bilimlerden gerekli yardımların alınması gerektiği belirtilmiştir (Lewis, 2007).

Fotovoltaik hücreler güneş enerjisini %20'den daha düşük verimle elektriğe dönüştürmektedir. Bu durumda güneş enerjisinin yaklaşık %80'i elektrik enerjisi dönüşümü sırasında tekrar çevreye yayılır. Hibrit fotovoltaik ve PV/T sistemler aynı anda güneş enerjisini elektriğe ve ısıya dönüştüren sistemin toplam enerji çıktısını artıran cihazlardır. Fototermal dönüşümün verimliliğini attırmaya yönelik araştırmalar güneş sistemlerinde soğutucu olarak nanoakışkan sıvıların kullanılmasının bu cihazların ısıl verimini artırabileceğini göstermiştir (Cieslinski ve ark., 2016).

Fosil kökenli enerji kaynaklarının doğaya, canlı hayatına ve atmosfere verdiği zararların yanında bu yeraltı kaynaklarının hızla tükenmesi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemlisi olan güneş kökenli enerji kaynaklarının kullanılması ve araştırılması konusunda önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Güneş enerji potansiyeli bakımından avantajlı durumda olan ülkemizde teknik anlamda henüz istenilen noktada olmasakta güneş teknolojisi sistemleri üzerinde çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan fotovoltaik sistemlerden maksimum verim elde edebilmek için bu sistemlerin bazılarında soğutma teknikleri uygulanması, çeşitli kongfigrasyon değişikliklerine gidilmesi, güneş izleme düzenekleri ve elektronik aksanlı güç dönüştürücüleri kullanılarak verim elde edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışmamızda temel olarak geleneksel fotovoltaik sistemlerin güncel verim artırma yöntemleri, kullanılan sıvılar, ekipmanlar fotovoltaik panel çeşitleri, daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan; Mono, Poly, İnce film fotovoltaik panellerin ışınım ve verimlerinin karşılaştırılması, yeni oluşturulan hibrit sistemler, PV/T sistemleri, normal PV sistemlerinin verileri ile ilgili araştırmalar ve yapılan deneysel çalışmalar detaylı olarak derlenip sunulmuştur.

Tezin giriş bölümünde; güneş enerjisinin önemi, Türkiye ve dünyada kullanım miktarı, ülkelerin bu enerjiye neden önem verdiği, fotovoltaik sistem çeşitleri ve yapacağımız çalışma ile ilgili bilgilere kısaca değinilmiş olup literatür kısmında bir çok kaynaktan daha önce yapılmış deneylerden, çalışmalardan konu ile ilgili kaynak araştırması sunulmuştur. Tezin 2. bölümünde fotovoltaik sistemlerin kurulumu, uygulamaları, çalışma yöntemleri, entegre elemanları, çeşitleri ve verim artırma teknikleri hakkında çeşitli kaynaklardan araştırmalar yapılarak ayrıntılı bilgiler verilmiştir. 3.

kısımda daha önce yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular yıllara göre özetlenmiştir. 4. kısımda çalışma sonuçları ve önerilerden bahsedilmiş.

1.1. Literatür Çalışması

Bu çalışmada PV ve PV/T sistemlerin verimlerin etkileyen parametreler ve verim artırma yöntemleri üzerinde kapsamlı bir araştırma sunulmuştur. Bu konu ile ilgili birçok ulusal ve uluslararası veri tabanında daha önce yapılan araştırmalar incelenerek tezimizin bu bölümünde verilmiştir.

Güneş enerjisi, kurulum ve kullanım kolaylığı olmasının yanı sıra çevreyi kirletmemesi ve zararlı atık oluşturmaması gibi özelliklere sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu nedenle güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilen sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ticari güneş pillerinden güneş radyasyonunu elektiriğe dönüştürmede PV/T sistemlere oranla daha az verim elde edilmektedir. PV/T sistemleri hem elektrik enerjisi hem de ısının aynı anda üretilmesi, çatı vb. sistemlere daha iyi entegre edilmesi, iki sistem yerine bir sistemin kurulması gibi özelliklerden ötürü daha uyguna mal edilmesi ayrıca PV sistemlerinden toplam enerji verimliliği daha yüksek olmasından dolayı gelecek vaat etmektedir. PV ve PV/T sistemleri uygulamaları ile ilgi çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Öztürk (2017) PV sistemlerin özelliklerini iyi anlaşılması için yazmış olduğu teorik makalesinde; PV sistemlerin hücre ve modül yapıları, çalışma prensipleri, akım, gerilim, güç özellikleri, verimlilik gibi fotovoltaik sistemi doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen parametrelerin ayrıntlı olarak anlatıldığı, özellikle PV sistemlerinin dönüşüm verimliliğini en çok etkileyen güneş pili türlerinin verimliliklerini karşılaştırılması ve yoğunlaştırma işlemlerinden bahs etmiş olup; güneş pillerinin verimliliği, amorf silikon bazlı güneş pilleri için %6'dan, çok bağlantılı PV hücreleri için %44.0'a ve bir hibrit paket halinde birleştirilmiş çok sayıda kalıp için %44.4'e kadar değiştiğini bildirmiştir. En popüler kristal silikon PV hücreler için enerji dönüşüm verimliliği yaklaşık %14 ile %19 olduğunu, aynı zamanda güneş enerjisini artırmak için güneş ışınlarına odaklanmak gerektğini söylemiştir. Işık yoğunluğunun arttırılırmasıyla ışığın ürettiği taşıyıcılarında artacağı ve veriminde %15 artacağını belirtmiştir. Basit bir yoğunlaştırma sistemi, GaAs hücresinin verimliliğini %31'den %35'e çıkabileceğini belirtilmiştir.

Jia ve ark. (2019) tarafından PV/T sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması avantajları, dez avantajları hakkında yaptıkları detaylı bir çalışmada PV/T sistemlerinin diğer PV sistemlere oranla uzun ömürlülük açısından iyi performans göstermeleri ve güvenilir olmaları, radyoaktif ve toksik madde barındırmaması, az bakım gerektirmesi gibi avantajlar sağladığı, bunun yanında soğutma sistemi nedeniyle yenilikçi ve emici tasarımlara ihtiyaç duyulduğu, üretim ve montaj maliyetinin yüksek olmasının dez avantaj olduğu ayrıca PV/T sistemlerinin doğru matematik modellemelerle geliştirilmesi, PV/T sistemlerinin bileşimlerinin yarı iletken malzemelerden oluşması nedeniyle yeni malzemeler üzerinde çalışmaların yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. PV/T sistemlerinin kararlılığı üzerinde çalışılması ayrıca PV/T sistemlerin çalışma verimleri iklime bağlı olduğu için yaz aylarında güneş radyasyononu elektriğe ve ısıya çevirebiliyorken kış aylarında ek enerji girdisine ihtiyaç duyduğu bununda uygun bir depolama sistemi tasarımını zorunlu kıldığı sonucuna varmışlardır.

Yang ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada spektrum bölücü PV-Termoelektrik Jeneratör sisteminin verimliliği ile normal PV hücresi karşılaştırılmıştır. Çalışmada PV-TEG sisteminin hücreye olan alan miktarının spektrum bölme sistemine etkisi detaylı olarak incelenmiş ve spektrum bölme teknolojisi yük performanslı güneş konsantrasyonu etmenleri için hesaplanmıştır. Veriler benzer güneş konsantrasyon etkenlerine sahip tek fotovoltaik hücresinin verileriyle karşılaştırılmış ve alan oranı en elverişli noktaya getirildiğinde sistemden elde edilen verimin daha iyi olacağı tespit edilmiştir. Termal toplayıcının ve fotovoltaik hücrenin alanları bir üç bantlı spektrum yayma sistemi performansına büyük ölçüde etki etmektedir. Termal toplayıcının alanı az olduğunda TEG istenilen sonucu vermez. Termal toplayıcının alanı geniş olduğunda net ısı akış çıkışı TEG için uygun sıcaklığı vermez. Termal toplayıcının fotovoltaik hücreye ve Spektrum Yayma Sistemi'ne olan alan oranın optimizasyonu önemlidir. Sonuç itibariyle SYS'nin maksimum verimliliği % 40,1 ve kesme enerjisi C:150, alan oranın uygunluğuda hesaba katıldığında %40,5, maksimum verimlilik Spektrum Yayma Sistemi (SYS) değerinin, PV hücresinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Fakouriyan ve ark. (2019) tarafından; İran Tahran'da Temmuz ayında yaptıkları çalışmada fotovoltaik modüllere entegre edilebilen karmaşık olmayan, diğer sistemlere oranla daha verimli soğutma sağlayan, sıcak su elde edilen bir sistem tasarlamaya odaklı çalışılmış, güneş radyasyonunu daha verimli kullanmak ve metrekareye düşen elektrik enerjisini çok kristalli panele oranla güneş radyasyonu emilasyonunu daha fazla sağlayan

tek bir monokristal güneş paneli kullanarak PV/T sistemi kurup, PV sistemi ile performansları karşılaştırmışlardır. Soğutma sistemi olmayan PV sisteminin ortalama verimliliği %10,9, PV/T sisteminin, soğutma sistemi ile donatılması verimliğini %12,3 artırmış ve PV/T nin termal verimliliği %49 bulunmuştur. Toplam ortalama verimlilik % 61,7 olarak ortaya çıkmıştır.

Joshi ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada PV modülün 2 tipi Cam-Tedler ve Cam-Cam konfigrasyonunun, Yeni Delhi'nin meteorolojik koşulları altında performansını incelemek için oluşturmuşlardır. Sonuçlar termal kollektörlü PV modüllerinden Cam-Cam olanın performansının Cam-Tedler'a göre daha iyi olduğu görülmüş.

Alvesa ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada güneş enerji sistemlerin verimliliğini arttırmak için kullanılacak malzemeler, uygulanacak teknikler hakkında kapsamlı bir çalışma oluşturulmuştur. Kullanılan güneş pillerinin verimlilikleri ve özellikleri karşılaştırılmış, ince film güneş pilleri ile nanomalzemeli güneş pillerin daha üstün özelliklere sahip olmasına rağmen silikon güneş pillerinde kullanılan silikon malzemesinin bol miktarda elde edilmesinden ve maliyeti açısından en yaygın kullanılan güneş pili olduğu bulunmuş. Yapılan teorik çalışmada PV ve PV/T sistemlerine entegre malzemeler, maksimum güç noktası tanımlamak için, yük uyumsuzluğu problemleri oluşmaması için DC-DC dönüştürücülerde uygun MGNTS teknikleri kullanmanın faydalı olacağı tespit edilmiş ve PV panellerinin en iyi güç noktasına ulaşması için maksimum güç noktası tekniği olan geleneksel yöntem ve yumuşak hesaplama yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Fathabadi (2019) yaptığı çalışmada tek bir binaya bağlı PV sistemin enerji verimliliğini yukarı çekmek için Bina ile Bütünleşik Fotovoltaik Sistem (BIPVS)'in PV dönüştürücü-pil bölümünün enerji verimliliğini PV panelinin bir dizi paralel homojen yapılandırılmış PV modülüne ayrılması ile etkili bir şekilde arttırdığını göstermiştir. Nominal koşullar altında elde edilen teorik ve simülasyon sonuçlarını deneysel olarak doğrulamak için bir PV dizisi simüle edilmiş devrelere dayalı olarak inşa edilmiş, pili şarj etmek için uygun voltaj ve akım sağlayan DC/Sinyal Genişlik Modülasyonu dönüştürücünün deneysel prototipi ve li-on pil üniteleri kurulmuş ve iki set deneysel test gerçekleştrilmiştir. İlk sette (geleneksel PV dönüştürücü pil bölümü) Li-on pilinin şarj süresi, PV panelini paralel homojen yapılandırılmış, PV setine ayırmadan kaydedilmiş ve enerji dönüşüm verimliliği %9,3 bulunmuştur. 2 sette (ayrışmış PV-Pil bölümü) veriler PV

paneli üç paralel bağlı PV modülünden oluşan bir kümeye ayrıştırılırken kaydedilmiş ve enerji dönüşüm verimliliği %9,94 olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada, bir BIPVS'nin PV-dönüştürücü-pil bölümünün enerji verimliliğinin, PV panelinin, bir dizi paralel homojen konfigüre edilmiş PV modüllerine ayrılmasıyla, arttırıldığı gösterilmiştir. Sonuçta MATLAB ve PROTEUS 6 ortamlarında gerçekleştirilen simüle edilmiş sonuçlar teorik sonuçları doğrulamış ve PV panelini ayrıştırarak Standart Test Koşulları (STK) altında enerji verimliliğinde yaklaşık %10'luk bir artış olduğu elde edilmiştir.

Rampinelli ve ark. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada PV sistemlerinde kullanılan invertörün verimliliği incelenmiş ve evricilerin matematiksel modeli oluşturulmuştur. İnvertörler üzerinde yapılan testlerin verilerini elde etmek için iki aşamada gerçekleştirilen deneylerin 1. aşamasında gerekli sonuçları elde etmek için bir güç analizörü ile bilgisayar donanımı kurulmuş ve sistemin elektriksel özellikleri, dönüşüm verimliliği ve MGNTS'in verimliliği analiz edilmiş. Doğru Akım (DC) ve Alternatif Akım(AC)'ın gerilim ve akım fiziksel miktarları ölçülmüştür. 2. aşamada sistemin elektriksel özelliklerini ölçmek için on adet invertör kullanılmış, invertör dönüşüm verimliliğinin açıklanması için DC'den AC'ye dönüşüm verimliliğinin matematiksel modeli yapılmıştır. Evrici ölçümleri doğru akımdan dalgalı akıma dönüşüm verimliliği ve maksimum güç noktası izleyici verimliliğinin, güce bağlı özelliklerinin olduğu fakat bu özelliklerin DC giriş voltajı, sıcaklık değerleri, güneş ışınımı gibi değişken parametrelere bağlı olduğu anlaşılmıştır. Önerilen matematiksel modeller sonucu açıklanan teorik eğriler ile ölçülen noktalar birbirlerini tamamen desteklediği sonucuna varılmıştır. DC'den AC'ye dönüşüm verimliliği ve maksimum güç noktası izleyici verimliliğinin güce bağlı özellikleri detaylı analiz edilmiş. PV sistemi ile inverte arasındaki etkileşimin anlaşılmasını sağlamıştır.

Micheli ve ark. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada aynı ebatta fakat değişik yöntemlerle çalışan farklı iki fotovoltaik tesisin çalışma şekli incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. CTB ve Q2 olarak isimlendirdikleri iki binanın çatısında bulunan fotovoltaik tesis üzerinde gerekli incelemeler yapılmıştır. CTB sisteminde ultra ince amorf silikon tabakalar güney taraflı ve 30^o eğimli modüller kullanılmış, Q2 için yine 30^o eğimli tek kristalli ve arka patent temaslı modül teknolojisi kullanılmıştır. Amaç santrallerin çalışma verimliliklerini test etmek şu zamana kadar gelişme aşamalarını incelemek ayrıca en önemli noktalarından biri olan ışınım ve sıcaklığın panelin elektriksel özeliklerine etkisini açıklamak olduğu belirtilmiş. İklim analiz sonuçları, iki tesisin enerji

dağılımlarının hemen hemen aynı eğilime sahip olduğunu göstermiş. CTB tesisi modül özelliklerininden dolayı ışınım miktarı biraz daha fazla bulunmuş. İki tesisin enerjisinin toplam %65'nin %25 ^{o}C'lik standart test koşullarından daha yüksek sıcaklıklarda alındığını göstermiştir. STK baz alınarak uygun hale getirilen DC gücünü, verimliliğini ve ışınım değerlerindeki 1000W/m^{2}'de ölçülen sıcaklık katsayıları CTB tesisi için %16,3 ve Q2 tesisi için %18,9 gibi bir fark gösteren nominal değerlerle karşılaştırılmıştır. CTB ve Q2 tesisleri için normalize edilmiş dış mekan verimlilikleri ile itibar edilen üreticiler arasında sırasıyla %5 ve %10 arasında bir fark bulunmuştur. Temel performans göstergelerin hem küresel olarak hem de aylık bazda belirlenmesi CTB sisteminin ikinci çeyreğe göre daha yüksek performans sergilediği görülmüştür. Yıl boyunca hesaplanan PR_{DC} değerleri CTB sistemi için %89,1 ve Q2 için %82,7'dir, bu yüzdelik veri tesislerin ve kurulumlarının olumlu yanını gösterir. PV sistemlerinin enerjik performanslarının tahmini, kısa ve uzun vadede makul güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir.

Sajjad ve ark. (2019) tarafından yapılan bu çalışmada hemen hemen bütün mekanlarda kullanılan klimaların soğutulmuş hava kanallarına modül monte ederek hava soğutmalı hibrit PV/T sistemlerinin performaslarını arttırılacağını göstermişlerdir. Bunun için biri soğutmalı diğeri soğutmasız modül düzeneği kurularak elektrik verimliliği ile performans oranları karşılaştırılmış ve literatüre aktarılmıştır. Çalışmada Temmuz ayında 24 günlük zaman diliminde 7 gün tam güneşli, 7 gün bulutlu, 10 günde kısmen bulutlu olarak kabul edilmiş. Deney düzeneği güneş modülü ve güneş ışnımlarını ölçmek için pironometreden yararlanılmıştır. Sistemin kurulduğu bölgenin enlem açısı 33,7 olduğu için PV modülleri güneye yerleştirilmiş. Güneş modülünün sıcaklıkları termoçiftlerle ölçülmüştür. Sonuç itibariyle soğutulan modülün verimliliği soğutulmayan modüle göre % 7.2'dir. Monokristalin silikon fotovoltaik modülün verimliliği orta düzey hava soğutma sistemi ile arttırılmış klimanın soğuk havası modülün termal enerjisini emerek modülün sıcaklığını azaltmıştır.

Zanlorenzi ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada Brezilya'nın Porona eyaletinde subtropikal iklim bölgesinde yaptıkları bir çalışmada su soğutma sistemi bağlantılı hibrit fotovoltaik modülün ön örneğini sunmuşlardır. Oluşturulan proto-tipin sıcaklık, voltaj, akım verileri geleneksel modül verileriyle karşlaştırılmıştır. Bunun için üç aşamalı bir çalışma metotodolijisi belirlenmiş.

- Birinci aşamada altyapı ve prototip montajı için dayanıklı, uygun malzemeler belirlenmiş.

- İkinci aşamada kavramsal model cihazı temsili olarak en iyi şekilde anlaşılması için Bilgisayar Destekli Tasarım (BTD) sisteminde model oluşturulmuş.
- Üçüncü aşamada ayrıntılı tasarım için verilerin elde edilmesi, düzenlenmesi, verimliliğini belirlemek için prototip geliştirilmiş.

Elde edilen verileri karşılaştırdığımızda hibrit modülün elektriksel verim değeri % 15,20 iken geleneksel modül değeri %13,95 bulunmuştur. Güneş ışınlarının elektrik enerjisine dönüştürme verimliliği %1,25 miktarında artmıştır. Hibrit sistem sadece soğutma sisteminden dolayı geleneksel modülden %8,22 toplam kazancı olmuştur. Bütün analiz boyunca hibrid modül toplamda ortalama %33,28 verim, geleneksel modül %13,95 verim sunmuştur. Modifiye edilmiş modülde termal verimlilik iyi sonuç vermiş ve modülün %23,5 verimliliğe ulaştığını göstermiştir. Hibrit sistemin ayrıca sağladığı sıcak su farklı alanlarda kullanılabilir. Prototip hibrit sistemin tropical iklim bölgesinde kullanılması uygun görülmüş.

Ömeroğlu ve Öner'e (2018) göre yapılan çalışmada kurdukları sistem vasıtasıyla fotovoltaik panel metal elemanlarla desteklenerek oturtulmuş ve arka yüzeyine 108 adet sık ve 54 adet seyrek alüminyum bakır soğutucu kanatçıkları yerleştirilerek hava ile eş güdümlü olarak panelin sıcaklığının düşürülmesi sağlanmıştır. Güneş hücreleri güneş radyasyonunun bir kısmını enerjiye dönüştürdüğü fakat büyük bir kısmı sistemde kaldığı ve sistemin verimliliğinin düşmesine yol açtığı belirtilmiş bu nedenle araştırmacılar PV sistemleriyle termal sistemleri birleştirerek PV/T hibrit sistemleri oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın amacı piyasada kullanılan monokristal fotovoltaik güneş pilleriyle çalışan PV sistemine termal kanatlar entegre edilerek sistemin optimum fotovoltaik çalışma sıcaklığını tespit etmek, kanat kullanılmadan dizayn edilen PV/T sistemi ile karşılaştırmak ve fazla ısıyı değerlendirmek. Deneyler laboratuvar ortamından Nominal Optimum Hücre Sıcaklığı (NOHS)'na sahip 37+/-2^{o}C olan monokristal panel kullanılmıştır. Fotovoltaik sistem için gerçek çalışma şartlarındaki optimum hücre sıcaklığı ise NOHS, ortam hava sıcaklığı ve güneş ışınım değerinin bir fonksiyonu olarak denklem (1.1) kullanılarak 46,7 bulunmuştur.

$$T_{hüc} = T_{\infty}[°C] + \frac{NOHS[°C] - 20[°C]}{800\left[\frac{W}{m^2}\right]} S\left[\frac{W}{m^2}\right] \quad (1.1)$$

Kanatçık kullanılmadığında sistemin yüzey sıcaklığı 71-74^{o}C aralığına varır fakat bu değer optimum sıcaklık değeri (46,7 ^{0}C)'nin üzerinde kanatçıksız fon kullanıldığında en

fazla 52ºC'ye düşürülmüş. Yüzeye kanatçıklar yerleştrildiğinde yüzey sıcaklığı 70ºC alınmıştır. Bakır kanatçık kullandığınada daha da iyi sonuç alınmış yüzey sıcaklığı 48 ºC ye düşmüş. Sistemin total verimliliği geleneksel PV sistemlere oranla yaklaşık %55 fazla olduğu sonucuna varılmış (Ömeroğlu ve Öner, 2018).

Bakır (2012) çalışmasında yüksek sıcaklıkların PV sistemlerinin verimliliğini düşürmesine karşın soğutucuların sistemle birlikte kullanılması neticesinde soğutmanın sisteme etkilerini incelemiş. PV sistemi güneş ışınlarını aldığında sistem sıcaklığı 55-63ºC aralığına ulaşmış ve sistemin elektrik dönüşüm verimliliği %9'a kadar düşmüştür. Sisteme su soğutma ekipmanı entegre edildiğinde panel sıcaklığı 32ºC'ye düşmüştür. Elektriksel dönüşüm verimliliği %13,6'yı bulmuştur. Akışkan tarafından sisteme sağlanan soğrulan optik ısıl verim değeri maksimum %53,6 olarak bulunmuştur. Buna ek olarak PV/T kolektörü için toplam ekserji yıkım değerleri 4,31 ve 274,9 olarak bulunmuştur.

Kandilli (2017) yaptığı bu çalışmada farklı erime noktalarına ve sabit basınç altında ısı değişimlerine sahip termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan Faz Değiştiren Malzeme (FDM)'leri sistemle bir araya getirerek PV sistemlerdeki güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında artan ısıl yükü azaltarak ve PV anlık verimlerinin artırılmasını amaçlamıştır. Konveksiyonel PV/T ile FDM l PV/T'nin termodinamik performansları karşılaştırılmış, enerji - ekserji analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar; en yüksek çıkış sıcaklığı, parafinli, stearik asitli ve konvansiyonel PV/T sistemler için sırası ile 47,6 °C; 45,5 °C ve 42,5 °C olarak ölçülmüştür. PV/T deneylerinde elde edilen en yüksek ortalama ısıl verimlilik parafin, stearik asit ve geleneksel PV/T sistemleri için %22; %23; %17 olarak hesaplanmıştır. Parafin, stearik asit ve geleneksel PV/T sistemleri için en yüksek toplam verimlilik sırasıyla %40; %39; %34 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen parafin, stearik asit ve geleneksel PV/T sistemleri için en yüksek dış verimlilik sırasıyla %26; %23; %23 olarak hesaplanmıştır. Net Bugünkü Değer (NPV) yöntemine göre yapılan ekonomik analizde parafin, stearik asit ve geleneksel PV/T sistemleri için geri ödeme süreleri sırasıyla 10; 9; 9 yıl olarak ortaya konulmuştur.

Kurşun ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada güneş panellerinin aktif ve pasif özelliklerle soğutulduğu yöntemlerden pasif soğutma yöntemlerinin kullanıldığı PV panellerin alt kısmına kanat takılarak ve akışkanlara batırılarak soğutmanın sağlandığı, kanal geometrisi ile panel konumunun paneldeki sıcaklık artışlarına etkisini incelenmişlerdir. Ayrıca konum geometrisinin neden olduğu basınç kayıpları tespit edilerek sıcaklık, basınç ve hız parametreleri grafikler halinde gösterilmiştir. Eksenel

yönde sıcaklık değerleri elde edilmesi için temel korunum denklemleri kullanılmış. Korunum denklemlerin ayrıştırılmasında sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır.

Temel korunum denklemleri süreklilik (1.2), momentum korunum (1.3) ve (1.4) enerji (1.5) denklemlerinden oluşmaktadır (Kurşun ve ark., 2016).

$$\text{Süreklilik denklemi}=\frac{\partial(pu)}{\partial x}+\frac{\partial(py)}{\partial y}=0 \quad (1.2)$$

Kanal geometrisinin ve panel konumunun sıvı daldırma yöntemiyle soğutulan fotovoltaik güneş panellerine etkisi (Kurşun ve ark., 2016).

$$\text{x-Mom:}\frac{\partial(puu)}{\partial x}+\frac{\partial(pvu)}{\partial y}=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left[(\mu+\mu\underset{\sim}{t})\frac{\partial u}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[(\mu+\mu t)\frac{\partial u}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial v}{\partial x}\right) \quad (1.3)$$

$$\text{y-Mom:}\left[\frac{\partial(puv)}{\partial x}+\frac{\partial(puv)}{\partial y}\right]=\text{p.g-}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left[(\mu+\mu t)\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}\left[(\mu+\mu t)\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial v}{\partial y}\right) \quad (1.4)$$

$$\text{Enerji:}\frac{\partial}{\partial x}(pucp\ \text{T})+\frac{\partial}{\partial y}(pucp\ T)=\frac{\partial}{\partial x}\{(\text{ki+kt})\frac{\partial T}{\partial x}\}+\{(\text{ki+ki})\frac{\partial T}{\partial y}\)] \quad (1.5)$$

Güneş paneli ile silisyum hücreler içerisindeki sıcaklık değişimlerinin hesaplanması için kararlı koşullarda iletimle ısı transferi gerçekleştiği kabul edilerek denklem (1.6) S ile verilen ısı iletim denklemi kullanılmıştır (Kurşun ve ark., 2016).

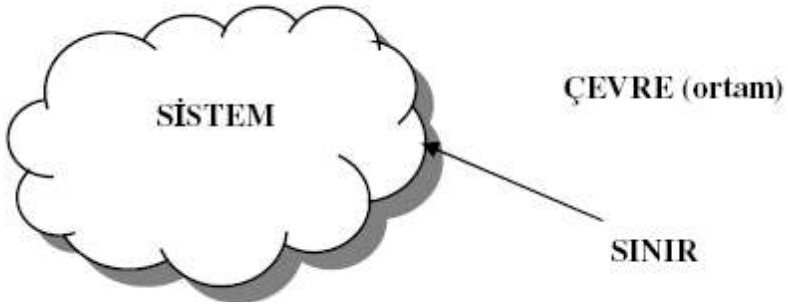
$$\text{ks}\nabla 2.\text{T}=0 \quad (1.6)$$

Kumar ve ark. (2015)'nın yaptıkları bir çalışmada Fotovoltaik panel soğutmasına yenilikçi bir bakış açısı kazandıran yarı iletken termoelektrik soğutmalı güneş paneli sistemi kullanarak sistemdeki elektriksel verim artırılmaya çalışılmış. Önerilen Peltier etkisine göre çalışan soğutmalı ve soğutmasız PV/TES sisteminde elektrik enerjisi ile birlikte hem ısı hem de soğuk enerji, yarı iletken bileşenlere dayalı olarak faydalı bir şekilde eş zamanlı olarak üretilmiştir. Bu çalışma için ANSYS yazılımı ile kapsamlı bir geometrik model geliştirilmiş ve sistemin simülasyonu yapılmıştır. Güneş panelli TES, güneş panelinin elektriksel verimini ve ömrünü arttırır. Deney saat 8:00'dan 17:00'ye kadar PV/TES güneş panelinin deneysel ve termal analiz simülasyonundan elde edilen sonuçlar bulunmuştur. Güneş panelli TES sisteminin sabah 8:00'de yüzey sıcaklığı en az

40.1°C değerinden TES sistemi olmadan 1 pm'de 54,5°'ye kadar değiştirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca TES ile simüle edilmiş üst panel yüzey sıcaklığı, en az bir değerden değişir. Sabah 8:00'de 40,5°C'den 13:00'de 63,6°C'lik aşırı bir değere yükseldiği görülmüş olup çalışmada, TES'in kullanımı önerilmektedir. Verimliliği artırmak için PV modülüne TES sistemi paneli daha uzun ömürlü hale getirdiği vurgulanmıştır. Panelden emilen ısı, kurutma uygulamaları için kullanılır. Ortalama olduğu noktada ve güneş pilinin maksimum sıcaklığı düşürülür, hücrenin verimliliği ve ömrü etkileyici bir şekilde artar. Elektriksel verimlilik TES kullanımı ile artırılır. Ayrıca bu yaklaşım ayrıntılı bir geometrik model geliştirmiş ve farklı katmanlardaki çeşitli sıcaklıkları belirlemek için ANSYS tezgahında simüle edilmiştir. PV/TES sistemi daha küçük PV paneli durumunda bazen üretilen güç, TES'e güç sağlamak için yeterli değildir. Buradan bu eksikliği telafi etmek için ek güç gerekli olduğu, bununla birlikte, kompakt ortamdaki durumlarda, termoelektrik soğutma stratejisi daha makul ve geleneksel bir soğutma sisteminden daha ekonomik olduğu belirtilmiş.

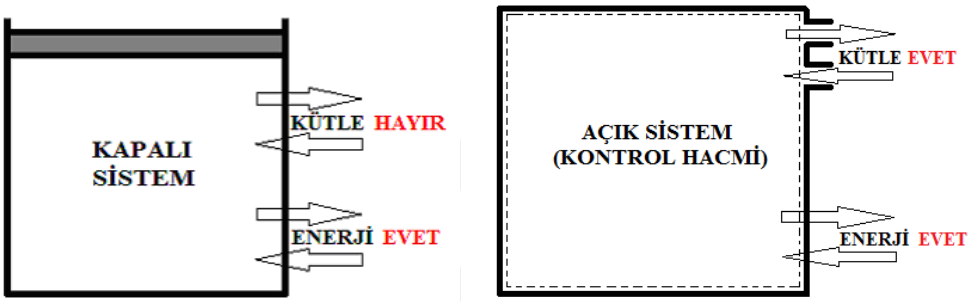
1.2. Kuramsal Temeller ve Temel Kavramlar

Çengel ve Boles'e (1996) göre, enerji analizleri çıkarımları için yapılan bir sistemin, tanımlanması gerektiğini söylemişlerdir. Termodinamik sistem veya sistemin tanımı; belirli bir kütleyi veya uzayı araştırmak üzere ayrılan tarafı belirtir. Termodinamik sistemin (Şekil 1) sınırları dışında kalan kütle veya bölgeye çevre denir. Sistemi etrafından ayrı tutan gerçek ya da hayali yüzey de sınır olarak isimlendirilir. Sınır hareketli veya sabit olabilir (Ünal, 2009).



Şekil 1.4. Apak (2007)'ye göre sistem sınır ve çevre (Ünal, 2009)

Kapalı sistem veya diğer adıyla kontrol kütlesi, kütle akışına kapalı bir kontrol hacmidir, sadece enerji değişimi gerçekleşebilir. Kütlesi sabit olduğu için böyle adlandırılır. Yalıtılmış bir sistemin enerji içeriği sabittir. Giren Enerji – Çıkan Enerji = Sistem İçindeki Enerji Değişimi (Çengel ve Boles,1996). Çengel ve Boles'e (1996) göre (Şekil 1.5), kontrol yüzeyi açık sistem veya yaygın olarak bilinen adıyla kontrol hacmi, sınırlarından kütle geçişi olan sabit bir kütledir. Kontrol hacmi genellikle kompresör, türbin, lüle gibi içinden kütle akışı olan bir makineyi içine alır (Ünal, 2009).



Şekil 1.5. Kapalı ve açık sistemin şematik görünümü (Ünal, 2009)

1.2.1. Enerji, enerji geçişi ve genel enerji analizi

1.2.1.1. Enerji ve iş

Enerji, genelde iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. İş, kuvvetin bir yol boyunca çalışması olarak tanımlanmakta ve $W_{1,2} = F.\Delta\ell$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte; $W_{1,2}$; 1 noktasından 2 noktasına kadar gidilen yol boyunca yapılan iş (J); F uygulanan kuvvet (N) ve $\Delta\ell$ de 1 ve 2 noktaları arasındaki mesafe (m) olarak tanımlanmaktadır (Karakoç ve ark., 2012).

Enerji; ısıl, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi biçimler alabilir ve aşağıda (1.7) belirtildiği gibi hesaplanır (Karakoç ve ark., 2012).

$$e = E/m(kJ/kg) \tag{1.7}$$

Termodinamik, bir sistemdeki toplam enerji değişimi ile ilgilenir. Makroskobik enerji sistemin tümünün bir dış referans noktasına göre sahip olduğu enerjidir. Kinetik ve potansiyel enerji örnek verilebilir. Mikroskobik enerji ise sistemin moleküller yapısı ve

moleküller hareketliliği ile ilgilidir. Bir sistemin makroskobik enerjisi hareket ile yer çekimi, manyetizma, elektrik ve yüzey gerilimi gibi bazı dış etkenlere bağlıdır. Mikroskobik enerji dış referans noktasından bağımsızdır. Mikroskobik enerjilerin tümünün toplamı sistemin iç enerjisi diye adlandırılır. U ile gösterilir. Sistemin bir referans noktasına göre hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye kinetik enerji denir ve aşağıdaki (1.8) gibi hesaplanır (Çengel ve Boles, 2008).

$$KE=m.v2/2 \quad (1.8)$$

Sistemin bir yerçekim alanındaki yüksekliğine bağlı olarak sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji adı verilir ve aşağıdaki (1.9) gibi hesaplanır (Çengel ve Boles, 2008).

$$PE=m.g.z(k/J) \quad (1.9)$$

Bir cismin makroskobik enerjisi hız ve yükseklikle değişir. Sistemin iç enerjisinin molekülerin kinetik enerjisiyle ilişkili olan bölümüne duyulur enerji denir. İç enerji bir maddenin moleküllerinin, bir moleküldeki atomların, bir atomdaki parçacıkların ve çekirdeklerinin arasındaki bağlayıcı kuvvetle ilişkilidir. Katı ve sıvı bir cismin molekülerine yeterince enerji verilirse, moleküller arasındaki kuvvetleri yenip bağları kopararak sistemi gaza dönüştürebilirler. Bu bir faz değişimidir. Sistemin fazıyla ilgili iç enerjisine gizli enerji denir. Bir atom nötronlardan oluşmuştur. Atom çekirdeğinde pozitif olarak yüklenmiş protonlar çok güçlü nükleer kuvvetlerle bağlanmış ve negatif elektronlar çekirdek etrafında yörüngelenmiş. Bir molekülün atomları arasındaki kuvvetlerle ilgili iç enerjiye kimyasal enerji denir. Kimyasal reaksiyonlar atom elektronların yapısındaki değişiklikleri içerir. Sistemin iç enerjisi tüm mikroskobik enerji biçimlerinin toplamıdır. Düzenli enerji düzensiz enerjiye göre yararlıdır. Termodinamiğin esas uygulama alanı düzensiz enerjiyi (ısı) düzenli enerjiye (iş) dönüştürmektir (Çengel ve Boles, 2008).

1.2.1.2. Enerji ve ekserji

Enerji maddelerin iş üretme yeteneği olarak tanımlanabilir. Etrafımızda olup biten herşeyin sebebi enerjidir. Bir enerji kaynağı bulunduğunda ilkin enerji miktarı ölçülür halbuki önemli olan ne kadarı verimli enerjiye dönüştürülebilir sorusunun cevabı, yani iş

potansiyeli önem taşır. Bu nedenle belirli bir haldeki ya da miktardaki enerjinin yararlı olan dolayısıyla kulanılabilen kısmı ekserjidir. Belirli iki hal arasında gerçekleşen en fazla yararlı iş tersinir halde gerçekleşir. Bu nedenle iş potansiyeli belirlenirken tersinmezlikler dikkate alınmaz. Maksimum verimlilik için hal değişimi sonunda sistemin ölü halde olması gerekir. Sistemin ölü hal kavramı termodinamik dengede olması anlamına gelir. Yani çevresinin sıcaklığı ve basınç sevyesindedir. Bu durumda kinetik ve potansiyel enerjisi yoktur (hızı ve yüksekliği sıfır). Ölü hal sıcaklığı ve basıncı To=25, Co ve Po=1 atm. Bir sistemin ölü hal kullanılabilirliği sıfırdır (Çakmanus, 2011).

Enerji analizi, bir sisteme enerji giriş çıkışı dağılımını termodinamiğin birinci yasası kapsamında yapılan araştırmalar bütünüdür. Sistemdeki toplam enerjiden ne kadar faydalanıldığı ve sistemin hangi noktalarında iyleştirme yapmamız konusunda deneyimlenmemizi sağlar. Ekserji, bir enerji türünün (örneğin elektrik, ısıtma, soğutma enerjisi) iş yapabilme veya farklı işlerde kullanılabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Örneğin, evimizdeki ısıtma kazanında enerji verimliliği %90 civarındayken, ekserji verimliği %10 olabilmektedir. Benzer durumlar bina sistemlerindeki iyleştirme potansiyelinin ne kadar düşük olduğunu gösterir. Aynı şey topluma yönelik mevcut enerji temin ve dağıtım sistemi için de geçerlidir. Buradaki potansiyelin anlaşılması, fosil tabanlı ve büyük miktarda CO_2 emisyonu yayan mevcut enerji sistemlerinin, yenilenebilir enerji sistemlerine geçişine yardımcı olacaktır. Bunun için yeni ve ekonomik sistemlerin geliştirilmesi ve enerjinin üretiminden nihai kullanımına kadar yüksek verimle dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun sonucu öncelikle ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma vb. için kullanılan enerji azaltılabilir. Yenilenebilir enerji teknolojileri, ısı pompaları, kojenerasyon sistemleri, termal olarak aktive edilmiş bina ekipmanları, yüksek sıcaklıklı soğutma ve düşük sıcaklıklı ısıtma teknolojileri, termal depolama, atık ısının kullanımı bunun için yararlanılması gereken sistemlerdir (Çakmanus, 2011). V İş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji; anerji ve ekserji olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Anerji, enerjinin işe yaramayan kısmı yani atık enerjidir. Ekserji ise enerjinin iş yapan kısmı yani kullanılabilir enerjidir (Rosen, 2002).

Çengel ve diğerlerine (2002) ve Hepbaşlı'ya (2003) göre, tersinmez işlemlerde her zaman belirli bir miktar entropi artışı ile birlikte iş kaybı oluşmasına karşın, en fazla iş sadece tersinmez işlemlerde elde edilir. Ekserji, ideal veya tersinir işlemler dışında, enerji gibi korunan bir büyüklük değildir. Bu nedenle, enerjinin korunumu yasasına uymaz. Gerçek işlemlerde, tersinmezlikler nedeni ile ekserji tüketilir veya yok edilir. İşlem

süresince gerçekleşen ekserji tüketimi, işleme ilişkin tersinmezlikler nedeni ile yaratılan entropi ile orantılıdır. Enerji ve ekserji kavramları çizelge 1.2'de karşılaştırılmıştır (Ünal, 2009).

Tablo 1.2. Enerji ve ekserji arasındaki başlıca farklar (Ünal, 2009)

ENERJİ	EKSERJİ
Sadece kütle veya enerji akışının özelliklerine bağlıdır. Ortam özelliklerinden bağımsızdır	Kütle veya enerji akışının özellikleri ile birlikte, ortamın özelliklerine de bağlıdır
Sıfırdan farklı değerlere sahiptir. Einstein yasasına göre mc^2 değerine eşittir.	Ortam ile denge durumunda sıfıra eşittir.
Bütün işlemler için Termodinamiğin Birinci Yasasını dikkate alır.	Sadece tersinir işlemler için Termodinamiğin Birinci Yasasını dikkate alır. Tersinmez işlemlerde tamamen veya kısmen ekserji tüketilir
Tersinir işlemlerde dahil olmak üzere, bütün işlemler için Termodinamiğin İkinci Yasası ile sınırlıdır	Termodinamiğin İkinci Yasası nedeni ile tersinir işlemler için sınırlı değildir
Hareket veya hareket üretme yeteneğidir.	İş veya iş üretme yeteneğidir.
Bir işlemde sürekli olarak korunur. Diğer bir deyişle, ne yok olur, ne de üretilebilir.	Sadece tersinir bir işlemde sürekli olarak korunur. Tersinmez bir işlemde sürekli olarak tüketilir.
Miktarın bir ölçütüdür.	Entropi nedeniyle, hem kalite hem de miktarın bir ölçütüdür.

1.2.1.3. Enerji ve termodinamiğin 1. yasası

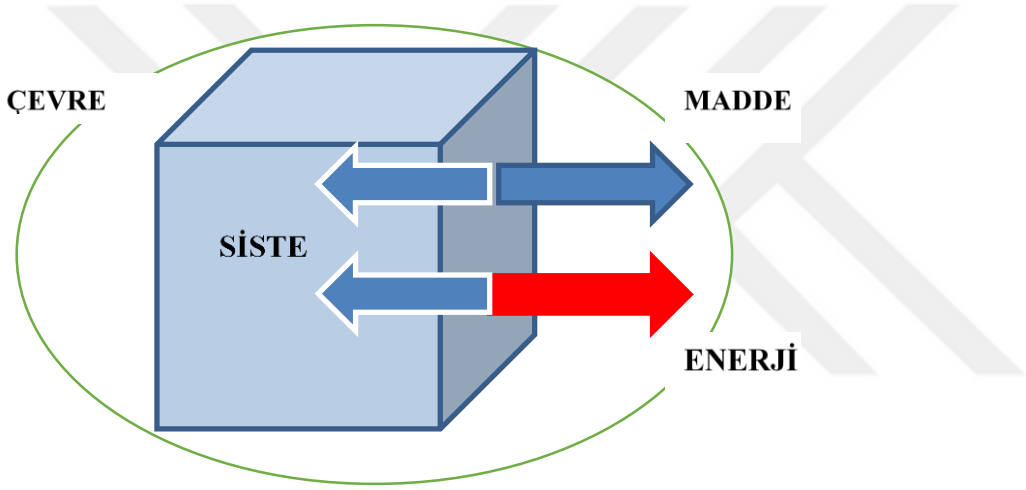
Temodimaniğin birinci yasası enerjinin korunumu kanunudur. Yapılan deneylerden enerjinin var ya da yok edilmeyeceği sadece farklı formlara dönüşeceği ifade edilir. Termodinamiğin birinci yasasına göre bir sistemin dahili enerjisi ΔU(1.10), sisteme yapılan net ısı transferi Q ile sistemin üzerine uygulanan net işin (W) toplamıdır (Çengel ve Cimbala, 2012).

$$\Delta U=Q+W \tag{1.10}$$

Enerji etrafımızda meydana gelen ve ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi çeşitli türlerde olabilir. Sistemde toplam enerji, belirtilen enerjilerin var olanlarının toplamına eşittir (Çengel ve Cimbala, 2012).

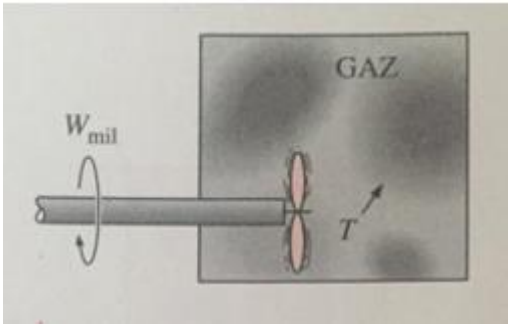
1.2.1.4. Enerji termodinamiğin 2. yasası ve entropi

Birinci yasa, enerjinin niceliği noktasında yoğunlaşarak enerjinin hal değişimleri esnasında geldikleri durumun matematiksel olarak ifade edilmesini sağlar. Enerji kaynaklarının özellikleri arasında ayrım yapmaz. Termodinamiğin 2. yasası birinci yasaya göre enerjinin özellikleri üzerinde de durur. Bu doğrultuda ikinci kanun, enerji kaynağının maksimum iş yapma potansiyeli üzerinde durur. Sistemde entropi üretimi enerjinin niceliğinde azalmaya sebep olur. Bilim adamları sistem değerlendirildiğinde 1.ve 2. yasa göz önünde bulundurularak analiz edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Çengel ve Cimbala, 2012).



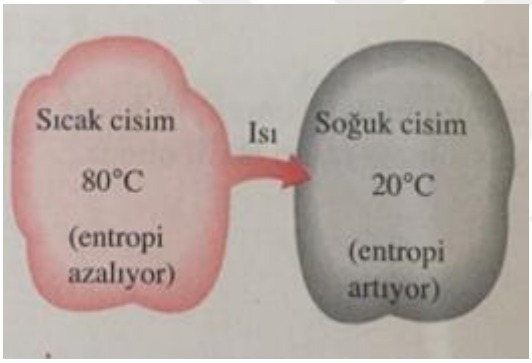
Şekil 1.6. Temodinamiğin ikinci yasasının işleyişi (Leblebicioğlu, 2018)

Araştırmacılar düzensizliği entropi olarak isimlendirilen özelliklerle ifade ederler. Entropi tam olarak ne olduğu açıklanmamakla birlikte ne ifade ettiği açıklanabilir. Entropi moleküler düzensizlik ya da moleküler rastgelelik olarak açıklanabilir. Bir sistem daha düzensiz bir hal aldıkça molekülerin konumu belirsizleşecek ve entropi artacaktır. İş enerjinin düzenli bir biçimi olduğu için düzensizlikten ve rastgelelikten uzaktır. İş bu nedenle entropiden bağımsızdır. İş olarak gerçekleşen enerji geçişi sırasında entropi geçişi olmaz. Entropi üretmeyen herhangi bir hal değişimi tersinirdir. Sürtünmenin yokluğunda bir ağırlığı döner mil ile kaldırmak düzensizlik (entropi) yaratmaz. Bu işlem sırasında enerjinin niteliği azalmaz. Çevresel alan tarafından çevrelenen ısı kaynağının dağınık enerji seviyesi, kaynağın içerdiği entropi ve ortam sıcaklığının ürünü olarak ifade edilir. Bir gaz üzerinde yapılan döner mil işi gazın düzensizliğini (entropisini) (Şekil 1.7) artırır. Bu nedenle bu işlem sırasında enerjinin niteliği azalır (Çengel ve Boles, 2008).



Şekil 1.7. Gaz üzerinde yapılan döner milin gazın düzensizliğini (entropisini) arttırması (Çengel ve Boles, 2008)

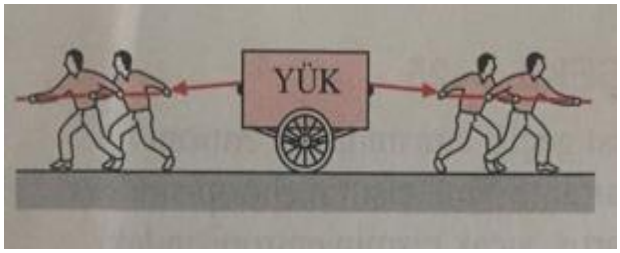
Termodinamiğin ikinci yasasına göre, Şekil 1.8'de görüldüğü gibi gerçek enerji dönüşüm süreçlerinde toplam entropi sürekli artar. Soğuk cismin entropisindeki artış, sıcak cismin entropisindeki azalmadan daha fazladır (Çengel ve Boles, 2008).



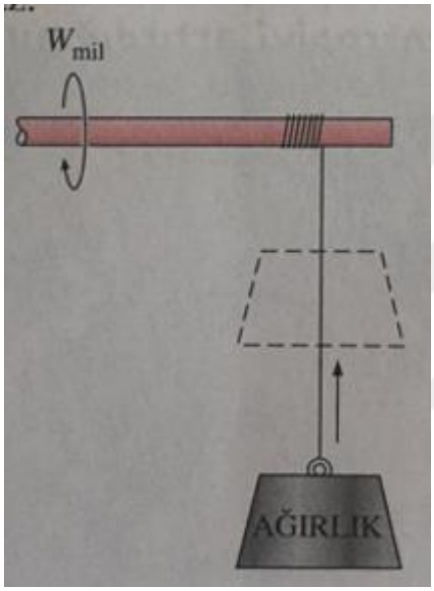
Şekil 1.8. Isı geçişi sırasında net entropi artışı (Çengel ve Boles, 2008)

Entropi sıcaklık, basınç vb. fiziksel büyüklükler gibi ölçülemez. Sistemlerdeki entropi değişim miktarı hesaplanarak bulunur. Entropi ancak ısıl denge durumunda sabit kalır. Sistemdeki düzensizlik artıkça entropi artar. İşe dönüştürülemeyen enerji miktarının ölçümü anlamında ise ilk defa Alman fizikçi Rudolf Clausius kullanmıştır. Enerjinin niceliği yani miktarını gerçek bir hal değişimi durumunda korunur (1 kanun). Ancak niteliği (özellikleri) azalmak zorundadır (2.Kanun). Örnek verilirse 10 k/J yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıklı bir ortama geçmesi durumunda oluşan bu yeni hal durumunda 10k/J enerji yine vardır fakat daha düşük bir sıcaklıktadır ve niteliği azalmıştır. Sürtünme oluştuğunda Şekil.1.9'da görüldüğü gibi entropiden söz edilebilir, sürtünmenin yokluğunda, bir ağırlığı döner mil ile kaldırmak Şekil 1.10'da görüldüğü gibi

düzensizlik (entropi) yaratmaz. Bu nedenle bu işlem sırasında enerjinin niteliği azalmaz (Çengel ve Boles, 2008).



Şekil 1.9. Sürtünme durumunda entropinin varlığı (Çengel ve Boles, 2008)



Şekil 1.10. Sürtünme oluşmaması durumu (Çengel ve Boles, 2008)

1.2.1.5. Enerji, tersinir ve tersinmez hal değişimleri

Termodinamin 2. yasası hiçbir makine %100 verimle çalışmaz. Bu durum tersinmez olduğunu gösterir. Bir makinenin vardığı en yüksek ısıl verimin ne anlama geldiğini anlamak için tersinir hal değişim kavramını anlamalıyız. Gerçek iş, W ile çevre işi Wçevre, arasındaki fark gerçek, yararlı iş veya sadece yararlı iş diye tanımlanır ve Wy ile gösterilir aşağıdaki (1.1) gibi hesaplanır (Ünal, 2009).

$$Wy = W - W_{Çevre} \ (Kj) \qquad (1.11)$$

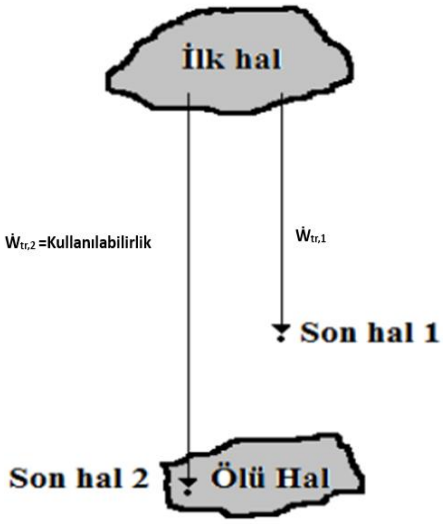
Tersinir iş, belirli iki hal arasında hal değişimi sırasında bir sistemden elde edilebilecek en çok yararlı iş diye tanımlanır ve Wtr ile gösterilir. Bu iş, ilk ve son haller arasındaki hal değişimi tümden tersinir olarak gerçekleştiği zaman elde edilir. Son hal ölü hal olduğu zaman tersinir iş kullanılabilirliğe eşit olur. Tersinir iş Wtr ile yararlı iş Wy arasındaki fark, hal değişimi sırasındaki tersinmezliklerden kaynaklanır. Bu fark I ile gösterilir ve aşağıdaki (1.12) gibi ifade edilir (Ünal, 2009).

I =Wtr-Wy (Kj) veya İ= Wtr- Wy (kj/kg) (1.12)

Bir hal değişimi sırasında birim zamanda oluşan tersinmezlik, İ ile gösterilir ve aşağıdaki (1.13) gibi hesaplanır (Ünal, 2009).

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y (kW) \tag{1.13}$$

Tümden tersinir bir hal değişimi için gerçek ve tersinir iş terimleri aynıdır, böylece tersinmezlik sıfırdır. Çünkü tümden tersinir bir hal değişimi sırasında tersinmezliklerin bir ölçüsü olan entropi üretimi de olmaz. Tüm gerçek hal değişimleri sırasında tersinmezlik sıfırdan büyük bir değerdir ve Wtr>Wy olur, iş gerektiren makineler için ise iş terimi eksidir ve lWtrl>lWyl olur. Tersinmezlik iş yapma olanağında eksilme gibi düşünülebilir. İşe dönüştürülebilecek olan fakat dönüştürülemeyen enerjiyi gösterir (Ünal, 2009). Termodinamiğin 2. yasasına göre ifade edersek; tüm doğal enerji dönüşüm süreçleri tersinmezdir ve gerçek enerji dönüşüm süreçlerinde toplam entropi sürekli artmaktadır diyebiliriz (Oymak, 2007).



Şekil 1.11. Tersinir iş ve kullanılabilirlik arasındaki ilişki (Ünal, 2009)

1.2.1.6. Enerji termodinamik güç çevrimleri

Termodinamik çevrimler, bir veya daha çok hal değişimi (termodinamik süreç) gerçekleştiren, iş veya enerji üreterek veya enerjiyi transfer ederek ilk haline dönen bir çalışma akışkanı içeren çevrimlerdir (Çağatay ve ark., 2013).

1.3. Güneş Enerji Sistemleri

Güneş enerjisinden elektrik üretim yöntemlerin başında PV sitemleri gelmektedir. PV panelleri, güneşten gelen ışığı doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken pillerden oluşur. PV sistemi fotovoltaik ilkeye dayalı olarak; yüzeyine gelen güneş radyasyonu uçlarında elektrik gerilimi oluşur ve bu yolla elektrik üretirler. Diğer uygulama CPV (yoğunlaştırılmış fotovoltaik) sistemi; mercek ya da ayna gibi donanımlar sisteme entegre edilerek güneş enerjisinin daha yoğun bir şekilde PV hücreler üzerine gönderildiği yöntemdir. CSP (yoğunlaştılmış güneş termik santrali) uygulamaları; aynalar ve bu aynalara bağlı güneşi izleme sistemleri aracılığı ile geniş bir alana düşen güneş ışınlarını nispeten küçük bir alana yansıtma yöntemi ile elekrik üretimi gerçekleştiren yöntemdir. Uygulama şekilleri; Şebeke Bağlantılı Sistemler (On Grid) aracılığı ile PV panellerden elde edilen güç elektrik şebekesine aktarılır. Fotovoltaik panellerden üretilen elektrik ayrı bir sayaç üzerinden ayrı bir tarife ile şebekeye satılır. Şebekeden Bağımsız

Sistemler (Off Grid) üretilen enerji akü sistemlerinde depolanabilmekte ve ihtiyaç halinde kullanılabilmektedir (AHİKA, 2021).

1.3.1. Güneş teknolojisi

Güneş 1,4 milyon km çapında (dünyanın 110 katı), yapısında yüksek basınç ve yüksek sıcaklık barındıran bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı 6000^{o}K iç bölgesindeki sıcaklığı tahmini olarak 12.000.000 ^{o}K'dir. Güneşte her sanyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan bu enerji 3,86x1026 J enerjiye dönüşmekle birlikte bu ışınım enerjisi uzaya yayılmaktadır. Güneşin bu enerjisinin milyonlarca yıl devam edecek olması dünyanın ömrü göz önünde bulundurulduğunda sonsuz ve sınırsız bir enerji olarak görülmekle birlikte yeryüzündeki döngünün tamamı güneş ışınım enerjisi sayesinde olmaktadır. Yerküre ve atmosferdeki fiziksel olaylar, su küredeki kaynakların oluşumu, madde ve enerji akışları, toprak oluşumu vb. olayların tamamı doğrudan ya da dolaylı olarak güneşten etkilenir. Güneş enerjisini bu kadar popüler olması yakıt gerektirmemesi, kullanım kolaylığı, cihazlarda teknik problemeler oluşturmaması, uzun yıllar sorunsuz çalışabilmesi gibi nitelikli özelliklerinden kaynaklanır. Güneş enerjisi gücünün, sınırsız tükenmeyen en pratik enerji sağlayan yenilenebilir enerji kaynağı olması sebebiyle ve kolay yaygınlaşma fırsatına sahip olması onu diğer enerji kollarından ayırır (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneş enerjisi uzayda ve gezegenlerde elektromanyetik ışınım (radyasyon) şeklinde yayılır. Güneş enerjisinden faydalamak için yapılan çalışmalar son 30 yılda hız kazanmıştır. Güneş enerjisi; ev ve çalışma yerlerinin iklimlendirilmesi, yemek pişirme, sıcak su temini, tarımsal teknolojide, sera ısıtması, sanayide, güneş ocakları, güneş fırınları, pişiricileri, güneş pilleri, ısı borusu uygulamalarında, ulaşım iletişim araçlarında, otomasyonda kullanılmakla birlikte güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından ısıl enerjinin üretildiği ve bu enerjinin doğrudan kullanıldığı ya da elektrik enerjisi için kullanılabilen ısıl güneş teknolojileri ve yarı iletken malzemeler olan ışığı direk elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmaların yoğunluk kazanması ve doğru çalışma teknikleri ile güneş enerjisinden maksimum düzeyde bir çok alanda ve uygun maliyette enerji eldesi mümkündür. Güneş enerjisinin faydalarını sıralarsak;

- Güneş enerjisi tükenmez enerji kaynağıdır.
- Çevre dostu, temiz enerji sağlar.
- Uygulama alanı çok geniştir. Yerel uygulamalar için idealdir.
- Enerji için dışa bağımlılığı ortadan kaldırabilecek herkesin ulabileceği enerji türüdür.
- Kurulumu sade ve basit olduğu için karmaşık teknoloji kurulumuna ihtiyaç yoktur.
- Ulaşım problemi yoktur.
- Bir çok alanı değerlendirmek adına işlevsellik kazandırabilir (Binaların çatılarına, kurak bölgelere vb.)

Güneş enerjisinin faydaları yanında dez avantajlarıda vardır. Bunlar;

- Birim yüzeye gelen ışınım az olduğundan büyük yüzey alanlarına ihtiyaç vardır. Bu değer Türkiye'de yılda ortalama 1300 kWh/m^2 dir.
- Kışın güneş ışığı az ve akşamları hiç yoktur.
- Sürekli bir enerji olmadığından depolanma ihtiyacı vardır.
- Su ısıtma sistemlerinde verim % 60 civarlarında iken bu oran güneş pillerinde %15 kadardır. Hibrit sistemler ile (hidrojen üretimi) %55' e kadar çıkmaktadır.
- Kurulum aşamasında maliyetli olabilir ve ilk edapta düşük verim alınabilir (Günaydın, 2018).

1.3.1.1. Dünyada güneş enerji teknolojisi ve kullanımı

Yeryüzündeki bütün ülkelerde güneş teknolojisi ile az ya da çok elektrik enerjisi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Fakat resmi istatistiklerde ulusların merkezi elektrik sistemine bağlı olmayan santraller genel istatik dağılımı dışında bırakılarak yeryüzündeki şebeke bağlantılı başka bir ifadeyle on-grid sistemlerin ülkelere dağılımına bakıldığında, Çin 78 GW'yi aşan kurulu gücü ile 1.sırada ardından sonra Japonya, Almanya, ABD, İtalya, Birleşik Krallık ve Hindistan gelmektedir. Aşağıdaki tablo 1.3'te dünya çapında en çok güneş enerjisi santraline sahip 20 ülkeyi listelemektedir (URL-3, 2018). 2018 yılında dünya genelinde yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar 289 milyar dolara ulaştı. 2024 yılında, şu an enerjinin sahip olduğu kapasitenin %50 kadar artacağı öngörülmektedir (URL-3, 2018).

İklim değişikliği, küresel ısınma nedeniyle son yıllarda yenilenebilir enerjiye rağbet katlanarak artmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji üretim kapasitesi 2017, 2018'e göre 2019'da %8 artarak 378 GW'ta ulaştığı tespit edilmişdir. En fazla katkı 100 GW'la güneş enerjisinden gelmektedir. Küresel güneş enerjisi kurulu gücü dünya genelinde son dönemde 505 GW'ta ulaşmıştır. Güneş termal ısıtma sektörü geçen yıl 33 GW ilave gerçekleştirmiş ve dünya çapındaki güneş enerjisi kapasitesi 480 GW olmuştur (Küçükkaya, 2019).

Tablo 1.3. Ülkelere göre dünyada güneş enerji santrali kurulu gücü listesi (URL-3, 2018)

S.	ÜLKE	GÜNCELLEME	KURULU GÜÇ (MW)
1	Çin	Aralık 2017	131.000
2	ABD	Aralık 2017	51.000
3	Japonya	Aralık 2017	49.000
4	Almanya	Kasım 2018	45.550
5	İtalya	Aralık 2017	19.700
6	Hindistan	Aralık 2017	18.300
7	Birleşik Krallık	Aralık 2017	12.700
8	Fransa	Aralık 2017	8000
9	Avusturalya	Aralık 2017	7.200
10	İspanya	Aralık 2017	6.730
11	Türkiye	Aralık 2019	5.987
12	Güney Kore	Aralık 2017	5.600
13	Belçika	Aralık 2017	3.800
14	Holanda	Aralık 2017	2.900
15	Kanada	Aralık 2017	2.900
16	Tayland	Aralık 2017	2.700
17	Yunanistan	Aralık 2016	2.610
18	Çekya	Aralık 2016	2.193
19	Şili	Ağustos 2016	2.053
20	Güney Afrika	Eylül 2016	1.779

1.3.1.2.Türkiye'de güneş enerji potansiyeli ve teknolojisi

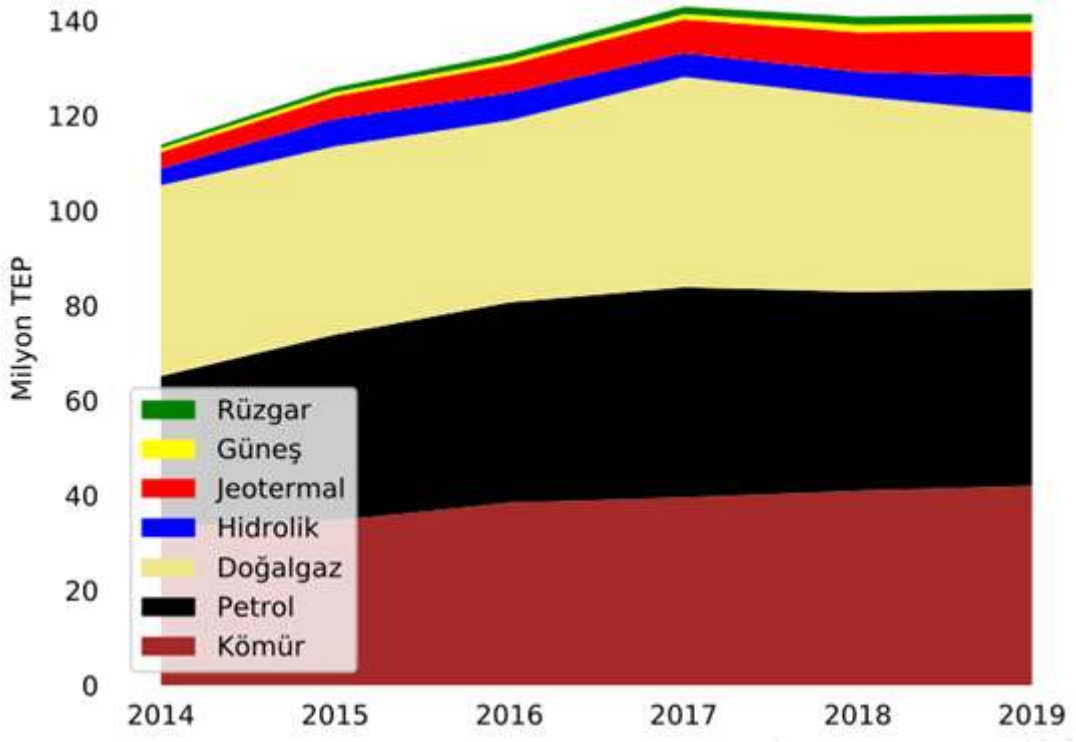
Güneş enerjisi bütün dünya için ne kadar önemli hale geldiyse ülkemiz içinde önemsenen bir konu olmuştur. Enerjinin ikame edilmesi konusunda dışa bağımlı olan ülkemiz çok büyük maliyetlerle enerjiyi ithal etmektedir. Mevcut konumunun güneş enerjisini birçok alanda kullanma şansının olmasından dolayı ve enerjinin öneminin farkına varılması üzerine güneş teknolojisi üzerine büyük bir eğilim gösterilmektedir. Avrupa ülkelerinde tüketicinin güneş enerjisinden faydalanmsı konusunda teşvik, bilinçlendirme ve destek politikları oluşturulmakta fakat ülkemizde bu anlamda yeterince bilinçlendirme ve teşvik çalışmaları yapılmamaktadır (Dinçer, 2011).

Ülkemiz kuzey yarım kürede, 40 kuzey ve 40 güney enlemleri arasında yer almakla birlikte güneş ışığı açısından iyi sayılan ülkeler arasındadır. Birçok ülkeye kıyasla güneş enerji potansiyeli bakımından avantaja sahip olmasına rağmen düşük ve orta sıcaklık uygulamalarında, küçük çaplı aydınlatma alanlarında elektrik enerjisi üretilmesinde bu potansiyelini kullanmaktadır. Türkiye'nin ortalama yıllık güneş ışığı süresi 2.640 saat (günlük 7.2 saat), yıllık ortalama 1.311 kWh/m^2-yıl (toplam günlük 3.6 kwh/m^2) güneş radyasyonu değerleri tespit edilmiştir. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Bakır, 2012).

Tablo 1.4. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (Bakır, 2012)

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
	Kcal/cm^2-ay	kWh/m^2-ay	
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	112.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmz	15.08	175.38	365.0
Ağusts	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1,311	264.0
Ortalma	308.0 kcal/cm^2-gün	3.6 kWh/m^2-gün	7.2 saat/gün

Ülkemizde en çok güneş ışınımını alan bölgelerin başında Güney Doğu Anadolu Bölgesi ardından Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Türkiyedeki güneş enerji potansiyelini 3 kısma ayırarak derecelendirirsek; Türkiye'nin güney kısımları, Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve Ege bölgesinin orta kısımları ile Doğu Anadolu Bölgesinin üst kısımlarına kadar olan bölge güneş ışınımından yararlanma konusunda birinci sırada, Karadeniz Bölgesi ile Marmara bölgesinin güney kısımları ikinci sıra, kalan diğer bölgelerde üçüncü sırada yer almaktadır ve güneş enerji potansiyeli bakımından avantajlı olup yalnız Şekil 1.12'de görüldüğü Türkiye'de birincil enerji arzı kaynaklar bazında dağılımında güneş enerjisi çok az yer kaplar (Bakır, 2012).



Şekil 1.12. Türkiye'de birincil enerji arzı kaynaklar bazında dağılımı (URL-7, 2021)

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü bünyesindeki mevcut verilerden Türkiye güneşlenme ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanılarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından Türkiye yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (7.5 saat/gün) ortalama toplam ışınım değeri 1.527 kwh/m^2 yıl (4.2kwh 7m^2) dır (Cebeci, 2017).

Güneş enerjisi üretimi ile ilgili yasal düzenlemelerden bu enerjiye olan yerli rağbetin arttığı görülmüş. Ülkemizde güneş enerjisi sanayisini AR-GE çalışmalarından dolayı üniversiteler, panel fabrikaları, Mühendislik Tedarik Kurulumu Firmaları (MTK)

oluşturmaktadır. İlk olarak üniversitelerde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretme çalışmaları yapıldığı, 2006'da PV modül üretim laboratuvarı kurulduğu, 2011 yılında Türkiye'nin endüstriyel boyuttaki ilk yerli tek kristal silisyum hücresi ve bu hücreden oluşan modüller üretildiği belirtilmiştir. Böylece PV hücrelerin verimliliği %12'den %17'ye çıkarılmıştır. PV paneli üretiminde %100 yerli sermayesiyle kurulmuş 16 şirket, Türkiye - Çin ortak sermayesiyle kurulmuş 1 şirket olduğu bilgisi verilmişitr (Cebeci, 2017).

Tablo 1.5. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Cebeci, 2017)

Bölge	**Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m -yıl)**	**Güneşlenme Süresi (saat-yıl)**
G.Doğu Anadolu	1.648	2.845
Akdeniz	1.548	2.737
Doğu Anadolu	1.528	2.615
İç Anadolu	1.523	2.519
Ege	1.481	2.563
Marmara	1.329	2.250
Karadeniz	1.305	1.929

Türkiyede güneş enerjisi üretiminde önemli oluşumlardan biri de MTK firmalarıdır. Bu firmalar projelerini oluşturduktan sonra ithal ettikleri malzemelerle kurulum gerçekleştirirler ve GES yatırımcılarına danışmanlık yaparlar. Ülkemizde yaklaşık 35 tane MTK firması bulunmaktadır. Yenilenebilir Enerji Kanununa (YEK) göre PV sistem ekipman malzemelerinin %55 yurtiçi katma değeri ile üretilmesi halinde teşfikler sağlanmaktadır (Cebeci, 2017).

1.3.2. Güneş panelleri

Güneş panelleri teknolojisi, pahalı ve yenilenebilir bir teknoloji olmasına rağmen tasarım ve kurulum açısından en basit enerji üretim tekniğidir. PV ve PV/T hücreleri yarı iletken malzemelerdir ve güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürürler. Herhangi bir güneş PV ve PV/T sistemi için enerji dönüştürme faktörü verimlilik olarak tanımlanır. Bu durum bazı hatalara neden olur. Bir PV hücresinin verimliliği, toplam güneş radyasyonunun üretilen elektriğe oranı olarak düşünülebilir. Bu tanıma göre, sadece PV

hücresi tarafından üretilen elektrik hesaba katılır. PV hücrelerinin ortam sıcaklığı, hücre sıcaklığı ve bir PV hücresinin kimyasal bileşenleri gibi diğer bileşenleri ve özellikleri hesaba katılmaz. Güneş panelleri hücreleri kullanım sırasında ısınırlar ve atmosferlerin sıcaklığına bağlı olarak ısı kaybederler veya kazanırlar. Diğer bir deyişle, güneş panellerinin hücresinin ısınması sonucu açığa çıkan ısı enerjisi, güneş panellerinin hücrenin toplama verimliliğinde dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Güneş panellerinin hücreleri, direkt güneş ışığını elektriğe dönüştürebilen, hareketli mekanik parçaları olmayan, bakımı kolay ve uzun ömürlü elektronik sistemlerdir (Öztürk, 2017).

1.3.2.1. Fotovoltaik (PV) sistem

PV hücreleri, PV etkisine bağlı olarak çalışmaktadır. Fotovoltaik etki, güneş radyasyonunun bir fotovoltaik hücre tarafından elektriğe dönüştürüldüğü temel bir fiziksel süreçtir. Güneş radyasyonundaki fotonlar, silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak atomlardan elektronları serbest bıraktığında oluşur. Fotovoltaik, elektrik akımını iyileştiren makineyi tasarlayan Alessandra Volt'tan esinlenerek, Yunanca ışık anlamına gelen photo ile voltaj anlamına gelen voltaik kelimelerinin birleşimidir. Güneş pilleri (fotovoltaik hücreler) ilk olarak 1839'da Becquerel tarafından araştırılmıştır (Öztürk, 2017).

Einstein, ışığın sadece bir dalga yapısına sahip olmadığını, aynı zamanda bir parçacık veya bir parçacık görevi gördüğünü göstermiştir. Işık bu özelliği foton adı verilen enerji paketleri sayesinde yaptığı, başka bir ifadeyle, güneş radyasyonu, elektromanyetik parçacıkların yani fotonların akışı olarak da görülebileceği belirtilmiş. Fotonlar, elektromanyetik radyasyonun parçacık temsili olduğu, elektromanyetik radyasyon enerjisini bu parçacıklar vasıtasıyla fotonlara iletiği belirtilmiş. Fotonlar elektromanyetik radyasyon enerjisi taşıdığı ve iletiği aynı zamanda fotonlar oldukça enerjik parçacıklar olduğu ve fotosentez sürecinde olduğu gibi foto reaksiyonları tetikleyebilir veya yarı iletkenlerdeki elektronların iletkenliğini tetikleyerek güneş ışığını elektriğe çevirebilecekleri belirtilmiş (Öztürk, 2017).

Güneşten yayılan radyasyon, enerji taşıyan fotonların birleşimi olduğu, bu fotonlar güneş radyasyonu spektrumundaki farklı dalga boylarına bağlı olarak farklı miktarlarda enerjiye sahiptir. Fotonlar bir fotovoltaik hücreye vardıklarında; bir kısmı hücre tarafından emilir, bir kısmı yansıtılır ve hücrenin geri kalanından geçer. Fotovoltaik hücre tarafından

emilen fotonlar elektrik üretiği ve fotonun enerjisi yarı iletken bir malzemenin atomundaki elektrona aktarıldığı belirtilmiş. . PV hücreleri yarı iletkendir ve güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürür. Yarı iletken bir diyot görevi gören PV hücresi, güneş ışığının aldığı enerjiyi dahili fotoelektrik reaksiyondan yararlanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Güneş enerjisi, PV hücrenin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimlilikle elektriğe dönüştürülebilir. PV hücrelerinin yüzeyi genellikle kare, dikdörtgen ve küreseldir. PV hücrelerin alanları da, 60−160 cm^2 arasında değişmekte olup, ortalama 100 cm^2'dir. Kalınlıkları 0,2−0,4 mm arasındadır. Güç çıkışını artırmak için birçok PV hücresi paralel veya seri olarak birbirine bağlanır ve bir yüzeye monte edilir. Bu yapıya PV modülü denir. Güç talebine bağlı olarak, birkaç W'den MW'ye kadar olan PV ve PV/T dizileri, modüllerinin seri veya birbirine paralel bağlanmasıyla oluşturulur (Öztürk, 2017).

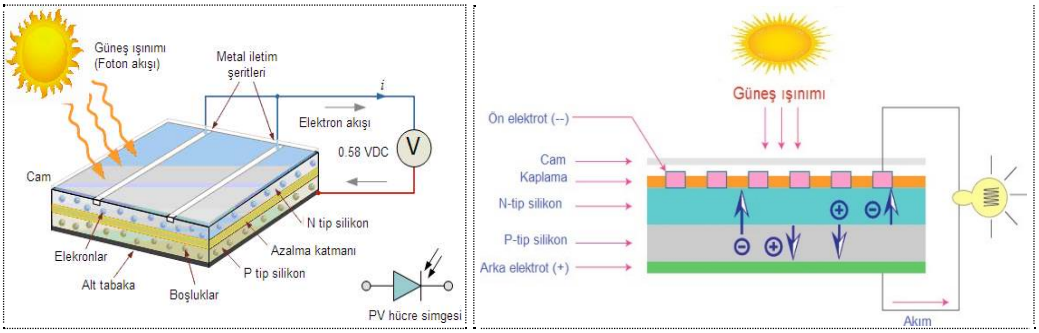
1.3.2.2. Fotovoltaik termal (PV/T) sistem

Güneş pilleri, güneş spektrumundaki elektromanyetik radyasyonun bir kısmını belli bir enerji aralığında elektrik enerjisine dönüştürebilir. Aralığın geri kalanına karşılık gelen radyasyon, fotovoltaik hücrelerde ısı olarak depolanır. Sistemde depolanan bu enerji, fotovoltaik hücrenin sıcaklığını artırır ve elektriksel verimi düşürür. Bu nedenle fotovoltaik sistemler üzerinde çalışılarak bu ısının dezavantajdan avantaja dönüştürülüp daha nitelikli sistemler oluşturulmaya çalışılmıştır. PV/T sistem fotovoltaik hücrelerden ve güneş termal birleşenlerinden oluşan hibrit bir teknoloji olup bu sistem hem elektrik hem de ısı üretmek için ve güneş dönüşümünün verimliliğini artırmak için tek bir modül haline getirilmiştir (Zhang ve ark., 2012).

PV/T modülünün bir çok uygulaması vardır. Hava ve su, ön ısıtma amacıyla yerli ve endüstriyel alanda kullanılacak. Ayrıca PV/T/hava sistemleri bina cephelerine ve çatılarına entegre edilebilir ve bina havalandırma ve ısıtma ihtiyaçlarını sağlayabilir. Ev tipi, sanayi tipi güneş kolektörleri bunlara örnektir. Diğer sistemlerden daha verim sağladığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (Ömeroğlu ve Öner, 2018).

Fotovoltaik paneller ise yarı iletken malzemelerle fotovoltaik teori üzerinde çalışır ve belirli bir güneş radyasyonu aralığını, elektrik enerjisine dönüştürür. Bu fazla enerji, sistemde onu faydalı enerjiye dönüştürmek ve elektriksel verimliliğin düşmesini önlemek için ve optimum fotovoltaik çalışma sıcaklığı, hava, su, nano-sıvılar ve faz malzemeleri ile

PV/T sistemleri, fotovoltaik belirlenerek kullanılır. Sistemleri hapsetmek, ısıyı daha verimli hale getirilerek hibrit sistemler kurulabilir (Ömeroğlu ve Öner, 2018).

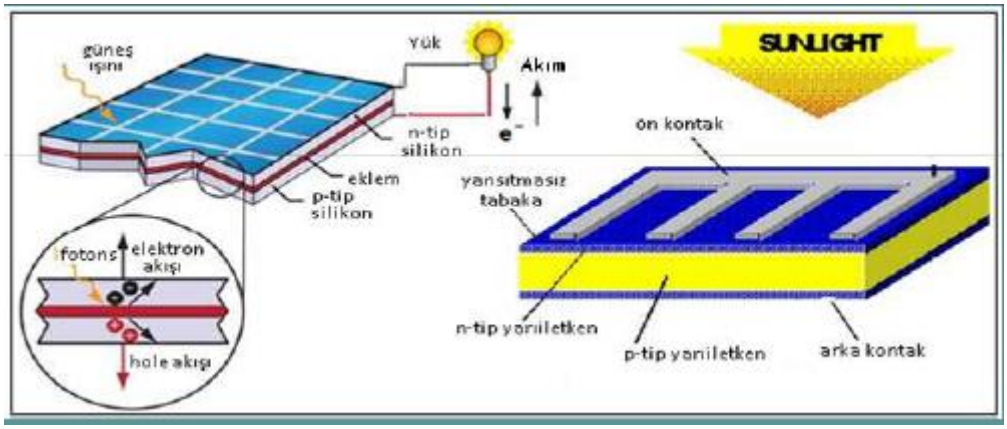


Şekil 1.13. PV/T sistemleri performans göstergesi ve termodinamik-ekonomik analiz (Bakır, 2012)

1.3.2.3. Fotovoltaik hücrelerin yapısı ve çalışma ilkesi

Güneş enerjisinin ana uygulamaları iki temel kategoriye ayrılabilir. Güneş enerjisini termal enerjiye çeviren ısıtma-soğutma sistemleri ve güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik sistemler. Ayrıca, özellikle Avrupa'da kullanımı hızla artan PV/T sistemler de bu kategori içinde üçüncü başlıkta incelenebilir.

PV hücrelerinin prensibi, güneş ışığı hücreye çarptığında, fotonlar yarı iletken atomlar tarafından emilir. Negatif katmandan elektronlar serbest bırakılır. Bu serbest elektronlar kendi pozitif katmana doğru harici bir devreden geçen yolla pozitif tabakadan bir elektrik akımı ile sonuçlanır. Bir PV tipik olarak, bir PV hücresi ile 0,5 ila 0,6 bir voltaj üretir. Yarı iletkene ve yapıya bağlı olarak 0,8 volt üretmektedir. Voltaj üretebilmek amacıyla bu teknolojiden yararlanmak için onlarca PV hücreleri (36 ila 72 hücre içeren) aşağıdaki (Şekil1.14) gibi seri olarak bağlanır bir PV modülü oluşturur. Bu modüller birbirine bağlanabilir (Salmi ve ark, 2012).



Şekil 1.14. Güneş pilinde fotovoltaik güç oluşumu (Cezim, 2013)

1.3.2.4. Fotovoltaik sistemler için teorik hesaplar

PV modüllerin ve PV/T modüllerin güç hesabı için PV ve PV/T modüllerin akım-gerilim değerlerinin bulunması lazım. Modüllerin pozitif ve negatif çıkışlarından gerilim ve akımı bulmak amacıyla iki tane multimetreye ihtiyaç vardır. Bir tanesi gerilimi ölçmek amacıyla devreye paralel bağlanır diğeri akım değerini ölçmek için seri bağlanılır. Bulunan değerlerle modülün güç analizi aşağıda verilen (1.14) denklemle bulunur (Durak, 2016).

$$W: I.V \qquad (1.14)$$

Elektriksel verim değerini bulmanın yolu Pyronometre aleti ölçülen modül alanına gelen ışınım değeri, modül yüzey alanı, gerilim – akım değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bulunan değerlerle elektriksel verim hesabı aşağıdaki (1.15) şekliyle hesaplanır (Durak, 2016).

$$\eta_{PV} = \frac{V.I}{A_{KOL}.I_{IŞ}} \qquad (1.15)$$

Isıl verimi bulmak için sistemde dolaşan suyun debisi, termokulp vasıtasıyla ölçülen modüle giriş çıkış sıcaklık değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bulunan değerlerle ısıl verim hesabı aşağıdaki formül (1.16) ile bulunur (Durak, 2016).

$$\eta_{PV/T_{SU}} = \frac{\dot{m}.C_P.\Delta T}{A_{KOL}.I_{IŞ}} \qquad (1.16)$$

ΔT modülü soğutmak amacıyla sistemde gezdirilen akışkanın modüle giriş -çıkış sıcaklık farkı hesabı aşağıda (1.17) verilmiştir (Durak, 2016).

$$\Delta T = T_{kollgiriş} - T_{kollçıkış} \quad (1.17)$$

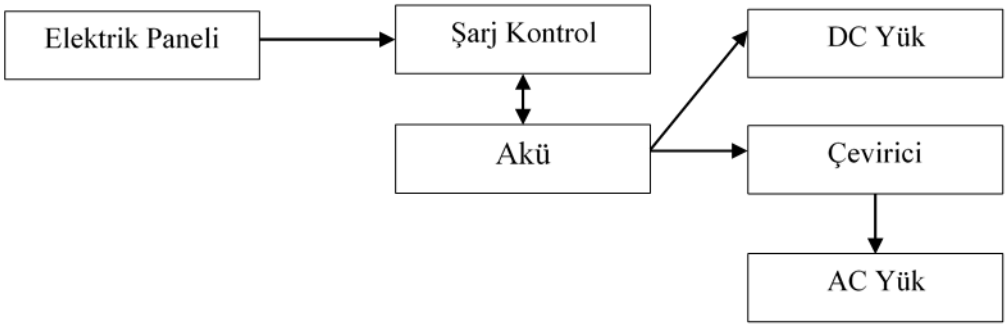
1.3.2.5 Fotovoltaik sistemlerin verimlerini etkileyen faktörler

Herhangi bir PV sisteminin verimliliğini etkileyen faktörler şunlardır: PV hücresinin malzemesi, PV hücresinin akım voltajı özellikleri, dolum(şarj) kontrolörünün özellikleri, dönüştürücü verimliliği, pil verimliliği, sıcaklık, PV kurulumunun gölgelendirilmesi kullanılan kablonun kalınlığı, PV kurulumundaki toz / kir birikimi, PV kurulumunun yönü, PV dizilerinin eğim açısı, PV hücrelerinin yüzeyine uygulanan işlemler ve PV kurulumuna uygulanan bakım / onarım işlemleri (Öztürk, 2017).

Hücre verimliliği yüksek modüllerin güç değerleri birim alan başına yüksek olduğu için bu tip hücrelerin küçük yüzey alanına sahip tesisatlar için kullanılması uygundur. Hücre verimleri ve modül verimleri farklıdır. Örneğin tek kristal silikon hücrenin verimi % 24 iken aynı hücrelerden oluşan bir modülün verimi %13, 17 olabilmektedir. Polikristalin silikon hücrenin verimliliği %18 iken modülün verimi %11 ile %15 arasındadır. Amorf silikon hücrenin verimliliği %11–12 iken, modül verimliliği yaklaşık %5–8'dir. Bunun nedeni, modül verimliliği hesabının tüm panel yüzeyi dikkate alınarak yapılmasıdır (Öztürk, 2017).

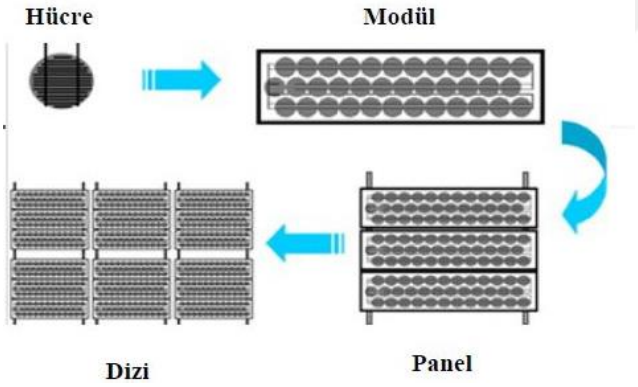
1.3.2.6. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan temel ekipmanlar

Fotovoltaik sistemlerin amacına ulaşması için tamamlayıcı ekipmanlarla donatılması gerekmektedir. PV sistemleri aşağıda(Şekil 1.15) detaylı olarak anlatılan ekipmanlardan oluşmaktadır.



Şekil 1.15. PV sistem ekipman şeması (Kantaroğlu, 2010)

Güneş panellerinin oluşumu, kullanımı ve özellikleri: PV sistemlerindeki enerji, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren PV hücreleridir. PV hücreleri tek başına laboratuvar koşullarında 0,5 Volt voltaj üretir. 12 Volt çalışma geriliminde maksimum 17 Volt güç üretimine sahip paneller 36 hücrenin seri bağlanmasıyla (Şekil 1.16) üretilmektedir. Panelin ürettiği akım panel ile orantılıdır ve 7 cm çapında dairesel kesitli bir PV hücre yaklaşık 7 Amperaks üretebilir (Kantaroğlu, 2010).



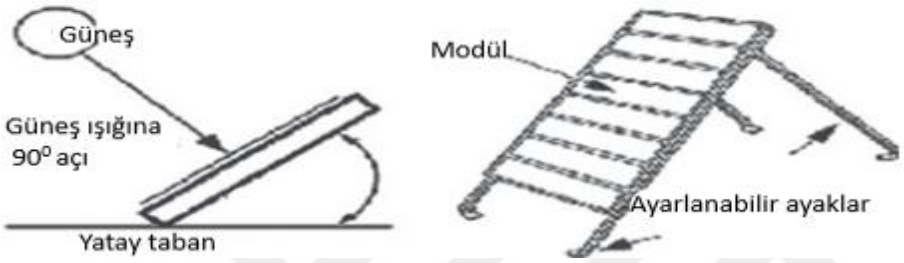
Şekil 1.16. PV panel oluşumu (Kantaroğlu, 2010)

Akım - voltaj grafiği, tüm modüller için normalleştirilmiş bir biçimde formüle edilmiştir. Grafik, düşen güneş radyasyonunun yoğunluğuna ve hücre sıcaklığına bağlı olarak değişir. Güneş radyasyonu arttıkça akımın da arttığı görülmektedir. Akımı yükseltirken sistem voltajını düşüreceğinden güç, hücre sıcaklığının artmasından olumsuz etkilenir. Eğri üzerinde maksimum dayanımın elde edildiği yer, eğrilerin dirsek olduğu kısımdır (Kantaroğlu, 2010).

Paneller gölgelenmeye karşı aşırı hassas, özellikle sıkı gölgelenme dediğimiz durumlarda panel neredeyse hiç elektrik üretemez. Sıkı gölgelenme ağaç dalı, kuş gölgesi,

ya da hiç fark etmiyor bir hücrenin yarısı bile gölgelense bütün sistem gölge almış gibi etkilenir (Kantaroğlu, 2010).

Yıl boyunca maksimum güneş radyasyonunu yakalamak için, güneş panelleri konumlarının enlemine eşit şekilde ve kuzey yarımkürede tam olarak güneye doğru eğimli olmalıdır. Modülün açısı kışın enlem açısının 15° üzerinde, yazın ise enlem açısının 15° altında olduğunda mevsimlere göre optimum radyasyon yoğunluklarını toplayabiliriz. Her an montaj açısı (Şekil 1.17) tam güneş yönünde olduğunda sistemden maksimum gücü alabiliyoruz (Kantaroğlu, 2010).



Şekil 1.17. Güneş paneli montaj açısı (Kantaroğlu, 2010)

Şarj kontrol cihazları: Bu cihazların ana işlevi kapalı havalarda, geceleyin modül geriliminin akünün geriliminin altına düştüğü durumlarda akımın tersine yani aküden panele gitmesini önlemektir. Akünün fazla enerji alması durumunda bozulabilir. Daha fazla sistem düzenleyici, pilin tamamen şarj olmasını sağlayan MGNT sistemleri olan maksimum güç sağlayıcılarına sahiptir. Pillerin % 80'nin şarj edilmesi kolaydır; ancak, son % 20'sini şarj etmek gittikçe zorlaşmaktadır (Kantaroğlu, 2010).

PV sistemin çıkış gücü, güneş ışınlarının panel yüzeyi ile açısına ve panel sıcaklığına göre değişmektedir. PV panellerde akım - gerilim özelliklerinin doğrusal olmaması bu kaynağın enerji üretiminde verimini düşürmektedir. MGNTS yöntemi, bu olumsuzluğu en aza indirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunu ancak MGNTS kullanarak çözülebileceği belirtilmiştir (Kantaroğlu, 2016).

Güneş Aküleri: Bağımsız sistemlerde veya bazı zorunlu durumlarda enerjiye ihtiyaç duyulduğunda, enerjinin depolanıp sonradan kullanılmak üzere saklandığı ekipmanlardır. Akülerin bakımları düzenli yapılmalıdır. Üç çeşit akü vardır. Kuru, sıvı ve jel. PV sistemlerinde genelde kurşun oksit kuru aküler tercih edilir. Islak akülerde maliyet düşük detaylı bakım gerektirir. Jel akülerde ise yükleme yavaş olduğu için verim düşüktür. Yüksek ve düşük sıcaklara dikkat edilmeli akünün yapısını bozabilir (Kantaroğlu, 2010).

İnvertörler ve çeşitleri: Güç çevirici olarak bilinen invertörler PV sistemde aküden gelen DC'yi şebeke akımı olan AC'ye çeviren elektriksel bir güç dönüştürme elemanıdır. Güneş paneli, rüzgar türbini veya bataryadan sağlanan DC akım, inverter üzerinden kontrollü bir şekilde AC akıma dönüştürülür. İnvertörün ters fonksiyonuna redrojör veya doğrultucu denir. AC güç kaynağının gerilimi sinüs eğrisi şeklinde artar ve azalır. Gerilimin pozitif olduğu durumlarda akım tek yönde, akım negatif olduğunda akım ters yönde akar. Çevriciler büyük oranlardaki enerjinin uzak alanlara ulaşmasını sağlar. Güneş enerji sistemlerinde elde edilen enerjinin daha nitelikli ve doğru kullanılması için daha verimli çalışan, stabil invertör çeşitleri üretilmektedir. İnvertörler kullanım amaçları; sistemdeki kesintileri, dalgalanmaları, tutarsızlıkları engelleyip sistemi daha işlevsel hale getirmektir. Yenilenebilir enerjiye olan rağbetin artması sonucu özellikle güneş enerji sistemlerinde elde edilen enerjinin etkin kullanılması için daha kaliteli ve daha stabil çalışan ve daha fazla özelliğe sahip inverter çeşitleri piyasaya çıkmıştır. Mikro işlemci veya düşük voltaj konrollü alarm ve uyarı çıkışlarına sahip aşırı yük korumalı invertörler üretilmiştir. İnvertörler aracılığı ile 12V, 24V veya 48V olan DC akımı 220V AC akıma çevrilir. İnvertörün özelliği hız ayarının (frekans ayarının) iyi yapılmasıdır. Çeviriciler enerji ağına verilerek (şebekeye basılarak) elektriğin kalitesini, gerilimini, frekansını, alternatif ve doğru akımı belirler. İnvertör şebeke akımını doğrultur. Akımda meydana gelen azalıp artışı düzenler. Motordaki aksaklıkları düzenler. Cihazı temizler. Reaktif enerjisini azaltarak tasarruf sağlar (Küçükkaya**,** 2019).

İnvertörler kullanım amaçlarına göre 2'ye ayrılırlar.

- Doğru akım kaynağından alternatif akım üretmek
- Üretilen alternatif akımın frekansını ve gerilimini değiştirmek.

Çeviriciler bu saydığımız bütün özellikleri gerçekleştirmek için bazı elemanlara ihtyaç duyar. Bu elemanlar; doğrultucu, frekans değiştirici, güç devresi ve otomotik denetim elemanları. Çeviriciler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere ikiye ayrılır. Şebekelerden bağımsız invertörler off –grid olarak adlandırılır. Daha çok depolama sistemlerinde kullanılır. Bu tarz uygulamalar daha çok şebeke hattının getirilmesinin çok masraflı olduğu çiftlik, yayla evleri baz istasyonlarında işe yarar. Şebekeye bağlı çeviriciler on –grid inverterler olarak adlandırılır. Dönüştürülmüş elektriği şebekeye veren çeviriciler 3'e ayrılır.

a-Merkezi Sisteme Bağlı Çeviriciler: Büyük çaplı enerji santrallerinde iş görürler. Sadece tek başına bir çevricinin gücü bile yüzlerce KW'tan MW'ta çıkmaktadır. Alçak

gerilim voltaj değerleri normal dağıtım tafoların 400 V değerinden farklı olup 300 V, 350 V,400 V, 690 V olacak şekilde üretilmektedir (Küçükkaya**,** 2019).

b-Dizi İnvertörler : Alanlarda da çatılarda tercih edilebilirler. Dizi invertöleri santrali parçalara ayırarak bu ayrılan bölümlerden farklı şekillerde enerji üretmek. Doğru akım gerilimlerinin izin verdiği maksimimum voltaj değerine kadar panellerin seri bağlandığı, fotovoltaik panellerin ayrı ayrı direk çevriciye bağlantısı ile dizayn edilen sistemlerin çevricisidir (Küçükkaya**,** 2019).

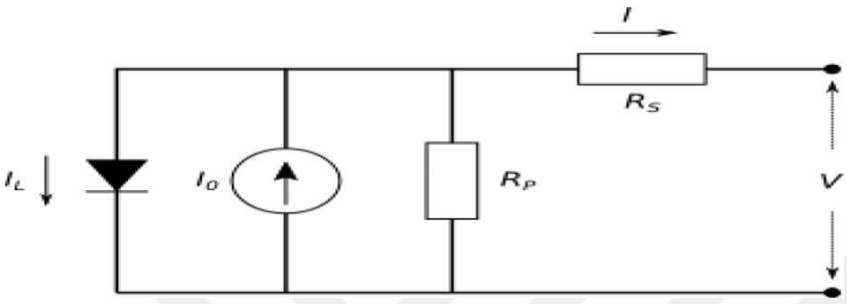
c-Mikro İnvertörler : Her biri bir panel arkasına monte edilen invertörlerdir. Daha çok parçalı gölgelendirmenin yoğun olduğu çatılarda kullanılır. Yer yer düz alanlarda da tercih edilmeye başlanmıştır (Küçükkaya**,** 2019).

Türkiyede 50 Hz frekansında 220 Voltluk gerilimde akıma dönüştüren invertörler talep edilmektedir. İnvertörlerde öncelik fazla yüklenmeyi kontrol altına alacak dizayn (donanım) olmalıdır. Son nesil invertörler ortalama %85 - %95 verim verebilirler. En çok talep gören Kare dalgalı ve Sinüs dalgalı invertörlerdir. Kare dalgalı watt başına daha uyguna mal edilebilir. Ancak istenilen verimi sağlayamaz. Sinüs dalgası dönüştürücüler, şebekeye bağlı sistemler için daha uygundur. Ancak kendi güç aralığı içinde çalışabilir ve hassas elemanlarla çalıştırılması gerekeceğinden watt başına maliyet daha yüksektir. İnvertörler sistemin pahalı elemanlarıdır ayrıca farklı güvenlik elemanlarınada gereksinim duyulur. Çevirici-akü kablosu üzerinden akım fazla olacağıdan, kablo kalınlığının 5 ile 10 cm arasında olması gereklidir. Doğru akımın girdiği terminale ve sürücü çıkışına bir engelleme diyotu ve sigorta yerleştirilmelidir. Sistem akımını ve voltajı okuyabilen ölçüm cihazları da paralel olarak bağlanabilir (Kantaroğlu, 2010).

1.4. Güneş Pilleri

Yüzeylerindeki güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlere "fotovoltaik piller" veya "güneş pilleri" denir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen ve dairesel, alanları 100 cm^2, kalınlıkları 0,2 veya 0,4 mm'dir. Güneş enerjisi, güneşten gelen enerjinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimlilikle elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Güç üretimini artırmak için çok sayıda güneş pili paralel veya seri olarak birbirine bağlanır ve yüzeye monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü veya fotovoltaik modül denir. Güç ihtiyacına bağlı olarak modüller seri veya paralel olarak birbirine bağlanarak birkaç W ve MW arasında bir sistem oluşturur (Kantaroğlu, 2010).

Çalışmalar, son yıllarda ticari ortamlara giren geleneksel Si güneş pillerinin yerini alabilecek benzer verimliliğe sahip, ancak üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş pillerine de odaklanmıştır. Bunlar; fotoelektrokimyasal polikristalin titanyum dioksit piller, polimer yapılı polimer piller ve güneş spektrumunun farklı dalga boylarına uyum sağlamak için üretilebilen enerji bandı aralıklı kuantum güneş pilleri gibi yeni teknolojiler üretilmektedir (Kantaroğlu, 2010).



Şekil 1.18. Bir güneş pili için bir diyot modeli (Toprak ve ark., 2016)

Bir güneş pilinin işleyişini etkileyen en basit modelin bir akım kaynağı, bir diyot, onlarla seri bir direnç ve paralel olarak başka bir model olduğunu anlayın. Bu model Şekil 1.18'de gösterilmiştir ve denklem tarafından matematiksel (1.18) olarak modellenmiştir (Toprak ve ark., 2016).

$$I = I - I(T)\,(eeV + R_S I - 1) - V + R_S I \qquad (1.18)$$

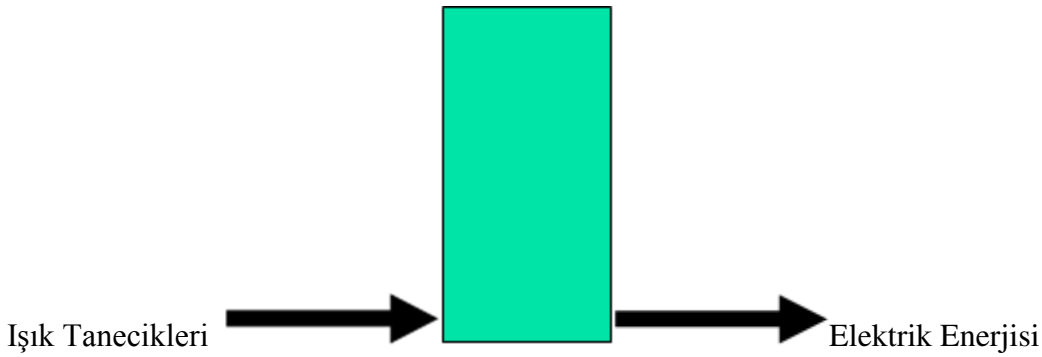
1.4.1. Güneş pillerin yapısı ve çalışma ilkesi

Güneş pilleri fotovoltaik etki prensibine göre çalışır. Bu fotovoltaik ilke güneş radyasyonun elektriğe dönüştüğü fiziksel durumdur. Güneş ışığı yarı iletken yüzeye çarptığında ve atomun içindeki elektronlar serbest bırakıldığında fotonlar oluşur. Fotonlar, güneş radyasyonu spektrumundaki her dalga boyu için farklı miktarlarda enerjiye sahiptir. Fotonlar güneş hücresinin yüzeyine çarptığında bazıları yansıtılır, bazıları güneş pili tarafından emilir ve bazıları güneş pilinden geçer. Güneş pili tarafından emilen fotonlar elektrik üretir (Salmi ve ark, 2012).

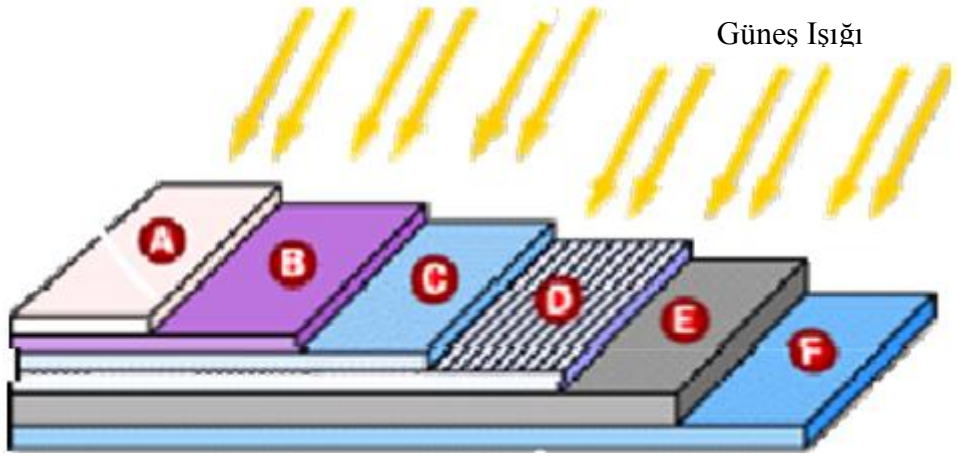
Bant genişliği, bir elektronun atom bağlı ve elektronlarla dolu değerlik bandından elektronların serbestçe hareket ettiği boş iletim bandına bir elektron göndermek için

gereken enerji miktarıdır. Birimi elektron volttur ve eV sembolü ile temsil edilir (URL-4, 2019).

PV hücre yarı iletkeni basitçe bir p tipi ve n tipi bölgeler eklenerek tasarlanır. Fotovoltaik ilkeye göre pilden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar eklemde elektrik gerilimi oluşturur ve elektrik akımı meydana gelir. Güneş pillerinde en çok kullanılan malzeme Si, GaAs, CdTe gibi anorganik yarı iletkenlerdir. Yarı iletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılması için N veya P tipi bağlantılar katkılanma ile oluşturulur. Katkılanma, istenen katkı maddelerinin saf yarı iletken eriyik içerisine kontrollü olarak eklenmesiyle gerçekleştirilir. Yarı iletken N veya P tipinde olup olmadığı, katkı maddesine bağlıdır. Örneğin verici ya da N tipi olarak tanımlanan 5. grup elementlerinden Fosfor'un dış yörüngesinde 5 elektron var. Silisyum'un dış yörüngesinde 4 elektron var P tipi ve alıcı silisyum elde etmek için 3. gruptan bir element (Al, İndiyum, Bor gibi) verilir. Pn eklemi oluştuğunda, N tipi çoğunluk taşıyıcı elektronlar, Ptipine doğru akım üretirler. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi sağlanana kadar devam eder. Bir yarı iletken bağlantının bir güneş pili olarak işlev görmesi için, bağlantı bölgesinde fotovoltaik dönüşüm sağlanmalıdır. Bu değişiklik iki aşamada gerçekleşir. Birincisi elektron salonu çiftleri, birleşik alana ışık tutularak oluşturulur, ikincisi ise alandaki elektrik alanı yardımı ile birbirinden ayrılır. Birbirinden ayrılan elektron salonu çiftleri, güneş hücresinin uçlarında faydalı bir güç çıkışı oluşturur (URL-4, 2019).



Şekil 1.19. Çalışma ilkesi (URL-4, 2019)



Şekil 1.20. Fotovoltaik hücrenin yapısı (URL-4, 2019)

- Koruma Camı
- Anti-Reflektif Kaplama
- Üst Kontakt Grid
- n- Tipi Silisyum
- Alt Kontakt

Güneş pili yapımında kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir:

- Kristal silisyum,
- Amorf silisyum,
- Galyum arsenik,
- Kadmiyum tellür,
- Bakır indiyum diseleneid,
- Optik yoğunlaştırıcı hücreler (URL-4, 2019)

Güneş Pillerinin Kullanıldığı Alanlar

- İletişim araçlarında,
- Bazı fosil yakıt borularında,
- Su dağıtım sistemlerinde,
- Meteoroloji istasyonlarında,
- Aydınlatmada,
- Orman gözetleme kulelerinde,
- Deniz fenerlerinde,
- Güvenlik kameralarında,

- Uyarı cihazlarında,
- Tarımsal sulama sistemlerinde,
- Elektriğin ulaşamadığı yaşam alanlarında (URL-4, 2019)

1.4.2. Güneş pili çeşitleri

Güneş pili tipi 4 ana teknolojiden meydana gelir. Bunlar kristal yapı teknolojisi, ince film teknolojisi, entegre teknoloji ve nano teknoloji olarak sıralanabilir. Tüm güneş pili türleri aşağıda listelenmiştir (URL-4, 2019).

1.4.2.1. İnorganik güneş pilleri

Tek katmanlı inorganik güneş pilleri:

Tek katmanlı bir inorganik güneş pili, biri yarı iletken olan ve farklı elektrik potansiyellerine sahip iki metal elektrot arasına yerleştirilmiş silikon gibi inorganik bir yarı iletkenden oluşur. Tek katmanlı inorganik güneş pillerinin verimliliği çok düşüktür (URL-4, 2019).

İki katmanlı inorganik güneş pilleri:

2 katmanlı inorganik güneş pili, 2 yarı iletken, N tipi ve P tipi kullanılarak inşa edilmiştir. Bu hücrelerde, yük ayrımı, n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler arasındaki sınırın yakınında gerçekleşir. İnorganik hücreler kimyasal ve ısıya dayanıklı güneş hücreleridir. Günümüzde bu güneş pilleri %30'a varan verimlilik sağlamaktadır (URL-4, 2019).

1.4.2.2. Kristal silisyum güneş pilleri

Ticari anlamda en fazla talep gören pillerdir. Uzun ömürlüdürler (yaklaşık 90 yıl), ortalama laboratuvar ortamında %24 verimli olabilmektedirler. Seri üretim ve ticari güneş pillerinde verim %15'in üzerinde olmaktadır. Silisyum elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini daha uzun süre koruyabildiği için tercih edilmektedir. Silisyum, oksijenden sonra doğada en bol bulunan elementtir. Kum kuvarsın çeşitli işlemlerden geçerek silikaya dönüştürülmesiyle elde edilir. Silikadan da silisyum elde edilir. Yarı iletken özelliklere sahip polikristalin silikon, silikonun saflaştırılmasıyla elde edilir. Polikristalin silikon elde etme aşamasına kadar olan işlemler oldukça maliyetlidir. Polikristalin silikon

yeniden eritilir ve yarı iletken saf polikristal silikon elde etmek için büyütülür. Çekirdekler, erimiş silikon banyosundan çok düşük hızda çekilir. Böylece ince tek kristal katmanların büyümesi sağlanır.

Ticari olarak kullanılan silisyum (Si) güneş pillerinin çoğu, Czochralski (CZ) işlemi kullanılarak bor katkılı tek kristal dilimlerden (400 μm kalınlığında) oluşturulur. CZ işleminden kaynaklanan güneş pillerinde kafes kusurları oluşmaz. Kristalin silikon piller, güneş pili pazarının yaklaşık %80'nini oluşturur. Bu güneş pili varyantının verimliliği % 15 ile %23 arasında değişmektedir (URL-4, 2019).

1.4.2.3. Tek kristalli (mono kristal) silisyum güneş pilleri

Verimlilik düzeyleri iyi olan hücrelerden oluşmaktadır. Üretimleri uzun zaman alır. Maliyetleri yüksek olduğundan polikristalin güneş pilleri daha çok tercih edilir. Uzun vadeli yatırımlar için daha uygundur. Monokristalin güneş pili sadece kristalten oluşur ve homojendir (atomik formu homojen). Doğada bulunan tüm kristali birleşikler polikristalin, elmas sadece mono (mükemmel mono) kristal özellik taşır. Küçük alanda fazla enerji verir. Bu pillerde verimlilik yaklaşık olarak %24 kadardır. Bu güneş panellerinin kullanım ve elektrik üretim ömrü daha uzundur. Monokristal güneş panelleri, sıcak iklimlerde daha verimli çalışabilir (URL-5, 2018).

1.4.2.4. Poli kristalin güneş pilleri

Silisyuma uygulanan soğutma işlemiyle çok kristali yapılar elde edilir ve bu yapılar ince dilimlenerek poli güneş pilleri elde edilir. Verimleri ve kalitesi mono kristallere oranla daha düşük. Monokristale göre daha fazla ilgi gören güneş pilleridir. Sebebi maliyeti düşük ve üretimi fazla olmasıdır. Laboratuvar şartlarında %18 seri üretim ve ticari güneş pilleri %14 civarında verim elde edilmiştir. Ayrıca, havadaki sıcaklık değişiminden (monokristalin ile karşılaştırıldığında) büyük ölçüde etkilendiği söylenemez. Bu güneş pillerinin verimlilik oranı %15 civarındadır. Polikristalin güneş panelleri daha fazla yer kaplar ve daha az enerji üretir (URL-5, 2018).

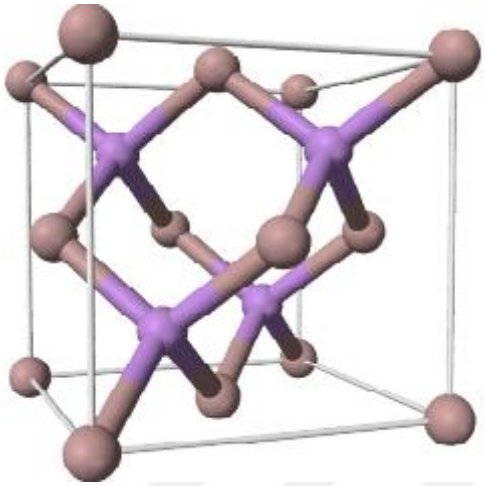
Resim 1.1. Polikristal modül (Öztürk, 2012)

1.4.2.5. Galyum Arsenit (GaAs) güneş pilleri

Güneş pili hammaddesi olarak en çok kullanılan silisyum yerine Galyum Arsenit kullanılmaktadır. Galyum Arsenitle laboratuvar ortamında yaklaşık olarak % 25 ile % 28 verimlilik elde edilmektedir. Farklı yarı iletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır. Şebeke dışı sistemler ve şebekeye bağlı sistemler. İsimleri, harici güç kaynakları için sistemin temel özelliklerine göre tanımlanır (Günaydın, 2018).

Elektronik teknolojisinin hakimi olan silisyum optoelektroniğin teknolojisinde de GaAs ağırlığını hissettirmeye başlamıştır. Bu durum güneş enerjisinin elektrik enerjisine çeviren güneş pillerinin yapımında GaAs teknolojisinin kullanılabilirliğini ispatlamaktadır (Temiz, 1995).

Laboratuvar teknolojisi ile elde edilen verim %25-%28 olarak hesaplanmıştır. Başka yarı iletken maddelerle kullanılarak elde edilen verim %30'a ulaşmıştır. GaAs, performansı yüksek güneş enerji pillerinin üretiminde çok iyi sonuçlar verir. Dez avantajları maliyetli olmalarıdır. GaAs güneş pilleri radyasyona karşı çok dayanıklı oldukları için uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır. Şekil 1.21'de GaAs güneş pilinin kafes yapısı gösterilmiştir. Ayrıca nötrino adlı atom altı parçacıklarını algılamak için galyum kullanılır (Kazmerski, 2006).



Şekil 1.21. Galyum Arsenit molekülün kristalik yapısı (Boz, 2011)

Galyum arsenit küçük bir tabaka üzerinde, tek bir ince tabaka şeklinde biriktirilir. Illinios üniversitesi wafer üzerinde çok sayıda malzeme biriktirerek yüksek verim elde etmişlerdir. Çoklu katmanlar (Resim1.2) çalışma alanındaki kıstlamaları ortadan kaldırır. Güneş pilleri için mümkün olan en fazla ışığı yakalamak için geniş bir kapsama alanı gerktiren çok önemli detaydır. Böylece daha fazla enerji ve daha düşük maliyet üreten daha büyük bir kapsama alanı elde edilir (URL-4, 2015).

Resim 1.2. MidSTAR-1 uydusunun Galyum Arsenit güneş panelleri (Akbulut, 2015)

1.4.2.6. İnce film güneş pilleri

Bilimsel çalışmalarda yarı iletken malzemelerin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması ile ilgi gören bir yöntem olmuştur. Bu teknikle yarı - iletken malzemelerin uygun maliyetle cam, metal ya da plastik folyo gibi üzerine tabaka olarak kaplanacağı ve verim elde edileceği görülmüştür. Son çalışmalarla verimlilikleri %18'e kadar çıkarılmaktadır. Kararlılıkları henüz istenilen noktada değil bu özellikleri talep edilmeleri konusunda engel arz etmektedir. İnce film silisyum güneş pillerinin bir avantajı da çok düşük ışık şiddetlerinde bile akım üretebilmesi. İnce film güneş pillerinin en önemli türleri aşağıda verilmiştir. İnce film güneş pilleri arasında üç büyük aday öne çıkmaktadır. Bunlar; Amorf silikon, kadmiyum ve tellür elementlerinden oluşan kombine yarı iletken kadmiyum tellürür ve bir dizi element olan bakır, iridyum, selenyum bileşiği olan bakır iridyum diselenid bileşiği yarı iletkendir (Habitat Kalkınma ve Yönetişim Derneği, 2019).

1.4.2.7. Amorf silisyum güneş pilleri

Amorf yapısında atomların düzensizliği olan ve kristal yapı oluşturmayan yani atomların kararsız bir kristal yapıya sahip olduğu katılardan oluşan malzemedir. Bu durum bir çok bağlantı ve yapısal soruna sebep olmaktadır.

Amorf silikonu elektriği iletmezler (elektriksel olarak yalıtkan madde olarak bilinmektedir). Son gelişmeler güneş pillerindede kullanılabileceğini göstermiştir. Çoğunlukla düşük güçlü cihazlarda kullanılır. Yüksek kaliteli cihazlar geliştirmek için karbon, germanyum, nitrojen ve kalay ve amorf silikon alaşımları kullanılır.

Silisyum bileşikleri gibi kristal yapı özelliği göstermeyen amorf silisyum laboratuvar şartlarında %10 üretilip ticari satışı ile elde edilen verimi %5 ile %7 civarındadır. Soğurma katsayıları çok yüksektir. İnce tabakalar halinde üretilerek panel içerisindeki hücrelerde güneş ışınımının soğrulmasında kullanılır. Cihazlar için amorf silisyum güneş pili kullanılmaktadır. Diğer uygulamaları bina dış koruyucu, bina entegre yarısaydam cm yüzeyler, enerji üreteci olabileceği tahmin edilmektedir (Habitat Kalkınma ve Yönetişim Derneği, 2019).

1.4.2.8. Çok kristalli ince film güneş pilleri

Yarı iletken malzemenin küçük kristal parçacıklarından oluşur. Güneş pillerinde kullanılan malzemeler silikondan farklı özelliklere sahiptir. Bu hücrelerde elektrik alanı, 2 farklı yarı iletken malzeme arasındaki arayüz boyunca daha kolay oluşturulur. Polikristalin ince bir güneş pili, pencere adı verilen 0,1 μm'lik bir üst katmana sahiptir. Pencere katmanının işlevi, yüksek enerjili radyasyon enerjisini absorbe etmektir. Bu katman, yeterli bant aralığına sahip olacak kadar ince olmalıdır (URL-4, 2019).

1.4.2.9. İnce film kalgonit güneş pilleri

İnce film kalgonit güneş pilleri üretimi kolaydır. CdS, CdSe ve CdTe filmleri kimyasal çökeltme işlemi uygulanır. Verimleri yaklaşık %15 civarıdır. Fakat bakır kalgonit katmanların, difüzyona uğraması ve bozulması nedeniyle üretilmemektedir (URL-4, 2019).

1.4.2.10. Kadmiyum tellürid güneş pilleri (CdTe)

Kadmiyum tellür (CdTe) güneş ışığını çok iyi emer ve ideal bant genişliğine sahiptir. Bu piller fotovoltaik teknolojisi için ilerde çok önem kazanacağı öngörülmektedir. Kadmiyum tellür güneş hücresi verimi yaklaşık %17'dir. Ve bu hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşan fotovoltaik modül verimi %8'den fazladır. Enerji depolamaya ve üretime elverişlidir. Kadmiyum tellür (CdTe), ikinci grup elementi kadmiyum elementi (Cd) ve 6. grup tellür (Te) elementinin birleşiminden oluşan bir yarı iletkendir. CdTe 1,45 eV sevyesine sahiptir. Mevcut aralık fotovoltaik pillerle elektrik üretimi için idealdir. Absorbe katsayısı çok yüksektir. Bu özelliğinden dolayı p-tip iletkenlik elde etmek adına fotovoltaik uygulamalar da işe yarar yanı çoktur (URL-4, 2019).

1.4.2.11. Bakır indiyum diseleneid güneş pilleri

Periyodik tablonun 1. 3. ve 6. grup elementlerinin bir araya getirilmesi ile oluşan yarı iletken güneş pilleridir. Bu yarı iletkenin fotonları çok iyi olup bu fotovoltaik piller bakır, indiyum ve selenyum alaşımlardan oluşan yarı iletken malzemedir.

Bu ince film güneş pili teknolojisinin avantajları aşağıdaki gibidir;

- Optik absorpsiyon katsayısı yüksektir,
- İletkenliği ve direnci değiştirilebilir,
- Fabrika ortamında da yüksek verimli hücreler üretilebilir.

Bakır indiyum diseleneid güneş pili, çok yüksek absorpsiyon kapasitesine sahiptir. Bu malzemenin ilk 1 mikron kalınlığındaki tabakası gelen ışınların %99'unu absorbe edebilir. Dış mekan testlerinde stabilitesi çok iyidir. Bu nedenle CIS fotovoltaik güneş pili yüksek talep görmektedir. Ayrıca, Ga (galyum) elementi CIS güneş pili hücrelerine eklenirse yüksek verim elde edilebilir (URL-4, 2019).

1.4.2.12. Bakır indiyum galyum diseleneid güneş pilleri (CIGS)

Bir başka ince film güneş pili türü, bakır indiyum galyum diseleneittir. Buna kısaca CIGS denir. Bu güneş pili, esnek bir yarı iletken temelinde inşa edilmiştir. CIGS güneş pilleri, diğer ince film güneş pillerinden daha yüksek verime sahiptir. Birçok ince film

güneş pilinin verimi %8 iken, CIGS güneş pillerinin verimi yaklaşık %10'dur. CIGS ve CdTe güneş pilleri teorik olarak %30 verimliliğe sahipken, uygulama koşullarında maksimum %25 verime ulaşmaktadır (URL-4, 2019).

1.4.2.13. Fleksibil CIGS güneş pilleri

İnce film güneş pili teknolojisindeki en önemli avantaj, ucuz üretim yöntemidir. Bu güneş modülleri elektriksel olarak birbirine bağlıdır ve tek parça olarak üretilebilir. Rulo formdaki esnek güneş pilleri son yıllarda oldukça popülerdir. Aslında esnek CIGS güneş pili tipi özellikle solar çatı sistemleri için kullanılmaktadır. Bu hafif ve rulo şekilli CIGS güneş pilleri, uzay teknolojisi açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir (URL-4, 2019).

1.4.2.14. Çok eklemli güneş pilleri

Tek tip malzeme ile yapılan güneş pilleri pratikte %30 teorik verimlilik ve %25 verimlilik sağlayabilir. Bu nedenle, çok eklemli güneş pilleri ile ilgili araştırmalar önemli ölçüde artmıştır. Çok eklemli güneş pili, iki veya ikiden fazla yarı iletken katmandan oluşur. Bu katmanlardan biri mavi ışığı çok iyi emerken, diğeri kırmızı ışığı daha iyi emer. Bu nedenle, çok eklemli güneş pili, tek tip malzemeden yapılmış hücrelerden daha verimlidir.

Teorik olarak ideal güneş pili, ultraviyole ve kızılötesi arasında bulunan farklı dalga boyları göz önüne alındığında yüzlerce katmandan oluşabilir. Böyle bir durumda % 70 verime ulaşabilir. Ancak ideal güneş pili uygulaması bağlamında bu yapılamaz. Bu yüzden bilim adamları, birkaç katman olan güneş pillerine odaklandılar. Günümüzde çok eklemli güneş pili verimliliği %35–40'a çıkarılmıştır (URL-4, 2019).

1.4.2.15. Nanofotovoltaik güneş pilleri (NanoPV)

Nanopotovoltaik teknolojisi, geleceğin güneş pili teknolojisidir. Nano-mikrokristalin yüksek verimli güneş pilleri içermektedir. NanoPV (nano fotovoltaik) piller, nano kristalin a-Si: H (hidrojen amorf silikon) ve geçirgen iletken (TCLO) teknolojisine sahip diğer güneş pillerine kıyasla % 8-10'un üzerinde verimlilik sağlar. Nanomateryaller optik, elektriksel ve kimyasal özellikler açısından çok iyidir. Bu nedenle hücre verimliliği artırılabilir. Nanofotovoltaik teknolojide 3 tip malzeme kullanılmaktadır;

- Kristal yarı iletken 3-5 materyalleri,
- Polimerik materyaller,
- Karbon esaslı nano yapılar.

Bu malzemeler kullanılarak yapılan güneş pillerinde maliyet ve uygulama açısından çeşitli çözümler üretilebilir. Güneş pili üretiminde iletken olarak Çinkooksit (ZnO) ve Titanyumoksit (TiO_2) nanotelleri kullanılabilir. Bu nanotellerin her biri saç telinden 1000 kat daha ince olabilir (URL-4, 2019).

Nano Güneş Pili Teknolojisinin Avantajları

- Nano PV teknolojisi ile mimarlar esnek güneş pillerini kullanabilecek. Bununda farklı tasarımlara imkan vereceği,
- Kendini yeniden yenileyip temizleyebilecek. Böylelikle bakım-işletme maliyetlerinin ortadan kalkacağı,
- Nano hücre teknolojisi sayesinde güneş pilinin verimi en az %8-10 artacağı,
- Nanoteknoloji ile üretilen güneş panelleri çok hafif olacak, bina üzerindeki statik yük neredeyse yok denecek kadar az olacağı,
- Bu, işsizliği azaltacak ve yeni iş alanları açacağı belirtilmiştir (URL-4, 2019).

Nano Güneş Pili Teknolojisinin Dezavantajları

- Nanometre boyutlarında üretim yapmak ve bu ölçeğe uymak çok zor olduğundan özel üretim yöntemleri gerektirdiği,
- Bu teknolojiden üretilen güneş panellerinin ilk yatırım maliyeti diğer güneş panellerine göre çok daha yüksek olduğu,
- Bu alanda çalışabilecek teknik eleman yetiştirmek uzun yıllar alacağı belirtilmiştir (URL-4, 2019).

1.4.2.16. Kuantum noktalı güneş pilleri

Kuantum noktaları, çeşitli şekillerde üretilebilen nanometre boyutlu kristal yarı iletkenlerdir. Kuantum noktalarının avantajı, yalnızca nokta çapını seçerek soğurma aralığının ayarlanmasına izin vermeleridir. Kuantum noktalarına genellikle yapay atomlar denir. Bu noktalar, 3 boyutlu kısıtlamaları ayarlayarak enerji taşıyıcılarının kontrolüne izin verir. Kuantum noktası, nanometre boyutunda yarı iletken malzemelerden oluşan bir granüldür. Bu nanokristaller, elektronlar için 3 boyutlu kanallar görevi görür. Güneş pili, teorik olarak p-i-n tasarımında %63 verimlilik elde edebilir, böylece içindeki sıralı diziler tek boyutlu noktalara sahip olur. Kuantum nokta malzemesi nanometre seviyesindedir ve bant genişliği ayarlanabilir. Kuantum nokta güneş pillerinin verimliliğindeki artışın nedeni, alt boşluk enerjilerinin absorbesi için noktaların kaynaşmasıdır. Bu yöntemle, akım çekildiğinde basit bir çok eklemli hücrenin veriminden daha yüksek bir verim elde edilebilir. Verimlilik değeri, fotonların enerjisi ile değil, ana bant aralığı ile sınırlıdır. (URL-4, 2019).

1.4.2.17. Boya duyarlı güneş pilleri

Boya duyarlı güneş pili hücreleri, silikon gibi iletken bir çözelti ve su şeklinde çözücü bir sıvı içinde çözülmüş bir tuz ile oluşturulan bir elektrolit sıvı içerir. Yarı iletken ve elektrolit, güneş radyasyonu hücreye ulaştığında oluşan elektron-boşluk çiftlerini yakından ayırmaya çalışır. Işınım ile indüklenen yük taşıyıcılarının kaynakları, güneş pili hücrelerine adlarını veren fotosentetik boyalardır. Yaygın olarak kullanılan boya iyodürdür. Ayrıca boya moleküllerini iskelet yapısına yerleştirmek için TiO_2 gibi nanomateryaller kullanılır. Güneş pili uygulamalarında boyaya duyarlı hücrelerin kullanımı, bitkilerde klorofil hareketini taklit etmeye yönelik çalışmaların başlangıcından önce geldiği ve bu yöntemin bitkilerdeki fotosentez yöntemine benzetildiği belirtilmiş (Tafavogh ve Alireza, 2021).

Bu hücrelerin en önemli gelişimi 1991 yılındaki çalışmadır. Bu çalışmada TiO_2 nanoparçacığı, Ru ile tespit edilen daha verimli ve stabil olan kompleks bir boya ve ışığı emen bir boya kullanılarak geliştirilmiştir (URL-4, 2019).

1.5. Güneş Kollektörleri

Güneş radyasyonunu toplayarak bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerde olan sistemlere güneş kollektörü denir. Kısacası ışığı ısıya dönüştüren aparatlardır. Saydam örtü, yutucu yüzey, akışkan borular, ısı yalıtımı ve kollektör kasasından oluşmaktadırlar. Bu cihazlar öncelikle aktif güneş enerjisi ısıtması için kullanılır. Kollektör verimi, güneş enerjisinin ısı taşıyıcı akışkana; su, hava veya yağ hangi oranda transfer edildiğinin göstergesidir. İklimlendirme, evlerin yanında; yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su elde edilmesinde, ısıtma amacıyla, meyve sebze kurutma, sera ısıtma ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Güneş kollektörleri güneşi en iyi açıyla alacak şekilde konumlandırılmalıdır. Topladığı ısı yerden ısıtma, duvardan ısıtma, radyatör gibi ısıtma cihazlarına başka cihazlar aracılığıyla iletirler. Güneş kollektörleri genel olarak, güneş enerjisini toplama karakteristiklerine, konuşlandırılmalarına (örnek: sabit veya güneşi takip eden) ve hangi tip akışkan ile çalıştıklarına göre sınıflandırılabilirler. Odaklanmayan veya düzlemsel olarak isimlendirilen kollektörlerde, güneş ışınımın soğuran yüzey, düzlemseldir ve soğurucu yüzey ile akışkanın bulunduğu hacim aynı alana ve geometriye sahiptir. Odaklanan sistem yapısında daha çok reflektörler ya da diğer optik ekipmanlar entegtre edilerek, güneş ışınımı, düzlemsel kollektörlere oranla daha küçük soğurucu yüzey alanına sahip, içerisinden akışkan geçmekte olan hacmin üzerine yönlendirilir (Değirmencioğlu ve İlken, 2003).

Isı transferi akışkanları güneş enerjisi sistemlerinde, kollektörlerden toplanan ısıyı ısıl enerji depolarına taşırlar. Su, propilen glikol, etilen glikol ve hava en çok kullanılan ısı transferi akışkanlarıdır. Daha seyrek olarak kullanılan akışkanlar ise sentetik hidrokar bonlar, parafin hidrokarbonlar, aromatik olarak rafine edilmiş mineral yağları, soğutucu akışkanlar ve silikonlardır. Transfer akışkanının seçiminde, genleşme katsayısı, viskozite, termal kapasite, donma ve kaynama noktaları gibi kriterler göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiş. Örnek olarak soğuk iklime sahip bir bölgedeki güneş enerjisi uygulamalarında donma noktası düşük olan bir akışkan seçilirken, çöl gibi yüksek sıcaklıktaki ortamlarda kaynama noktası yüksek akışkanların seçilmesi gerektiği belirtilmiştir (Değirmencioğlu ve İlken, 2003).

Üç grupta sınıflandırılırlar;

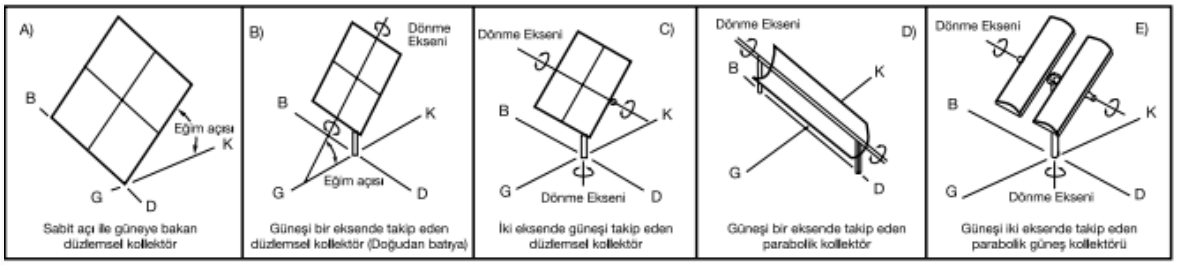
a) Düz Plakalı Kollektörler

b) Vakumlu Tüp Kollektörler

c) Odaklanmalı (yoğunlaştırıcı) tip güneş kolektörler

- Doğrusal odaklanmalı
- Noktasal odaklanmalı

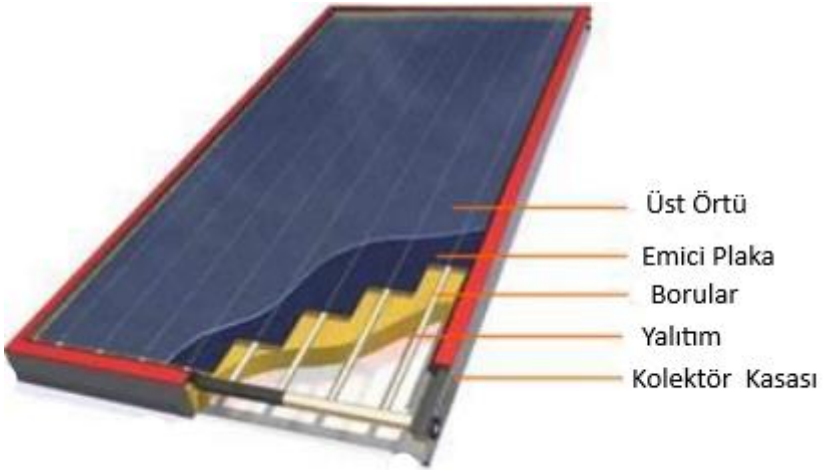
Güneş Kolektörleri ısı taşıyıcı akışkana göre Sıvılı kolektörler ve Havalı kollektörler olmak üzere sınıflandırılar (Uyarel ve Öz, 1987).



Şekil 1.22. Düzlemsel ve toplayıcılı güneş kollektörlerinin konuşlandırılmaları (Değirmencioğlu ve İlken, 2003)

1.5.1. Düz plakalı kollektörler

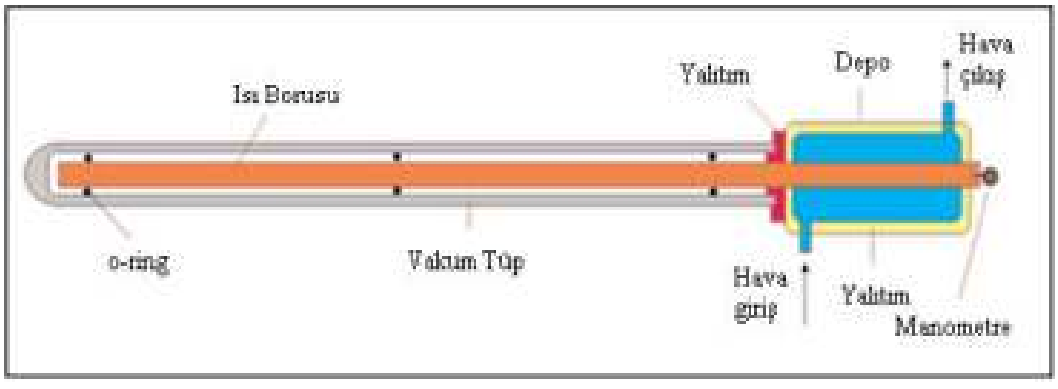
Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş enerjisinin toplandığı ve herhangi bir akışkana aktarıldığı (sıvı ya da hava) çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. Yaygın kullanım alanı sıcak su elde etmek içindir. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Koyu renkli bir emici plakanın üstünde bir çeşit şeffaf cama sahip metal kutulardır. Kolektörün yanları ve tabanı, kollektörün diğer kısımlarına olan ısı kayıplarını en aza indirmek için genellikle yalıtımla kaplanır. Güneş radyasyonu şeffaf cam malzemeden geçer ve emici plakaya çarpar. Kollektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Üst örtü, emici plaka, ısı yalıtımı, kolektör kasası ve bunların birleştirilmesinde kullanılan parçalar düzlemsel yüzeyli güneş kolektörünü oluşturur. Güneşi yoğun alan yerlerde tercih edilirler. Soğuk iklimlerde pek tercih edilmez. Verimleri yoğunlaştırıcı sistemlerden daha yüksektir (Şahin, 2010).



Şekil 1.23. Düz plakalı kollektörün görünüşü (Şener, 2013)

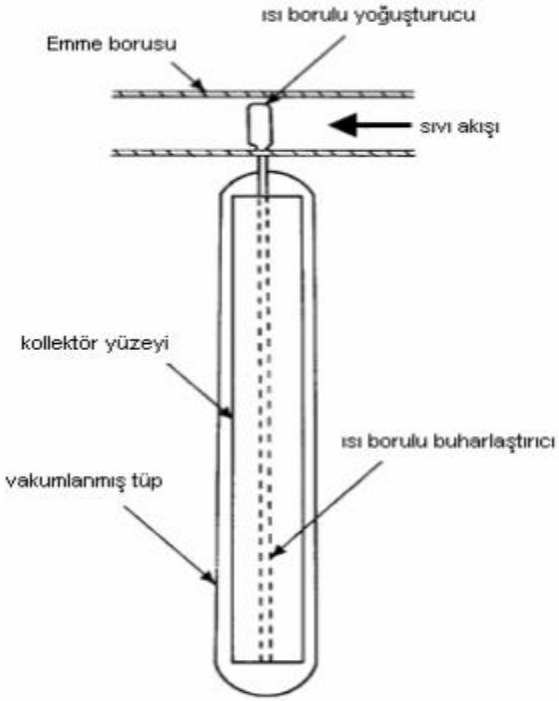
1.5.2. Vakumlu tüp kollektörler

Vakumlanmış tüp içindeki geçirgenliği yüksek cam boru veya cam plaka ve bunun içinde madeni boru ya da selektif malzemeyle kaplanmış bir ısı borusundan oluşur. İç ve dıştaki boru arasındaki hava boşaltıldığından taşınım kayıpları azaltılmıştır. İç borunun içinden su yerine hava geçirilirse sıcak hava elde edilir ve sıcak hava ısıtma tesisatlarında kullanılır. Düz plakalı güneş kolektörlerinde, vakumlu cam borular aynı zamanda absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Bunların çıkışları daha yüksek sıcaklıkta (100-120°C) olduğu için düzlemsel kollektörlerden çok tercih edilir (Şener, 2013).



Şekil 1.24. Isı borulu vakum tüplü hava ısıtma güneş kollektörünün kesit görünüşü (Ersöz ve Yıldız, 2013)

Güneşten toplanan ısıyı suya taşımak için bir ısı borusuna bağlanan emici plaka görevi gören bir iç metal boruya sahiptirler. İç boru, siyah yüzeyi aracılığıyla, ışınları toplar ve kendi içinden geçen akışkanı (suyu) ısıtır. Isınan suyun hacmi artarak yoğunluğu azalır ve termal enerjinin borunun bir ucundan diğerine daha verimli bir şekilde hareket etmesini ve depoya ulaşmasını sağlar. Buradan istenilen yerlere sevk edilerek kullanma suyu olarak ya da ısıtma tesisatında kullanılır. Şekil 1.25'de sistemin çalışma prensibi görülmektedir (Şener, 2013).



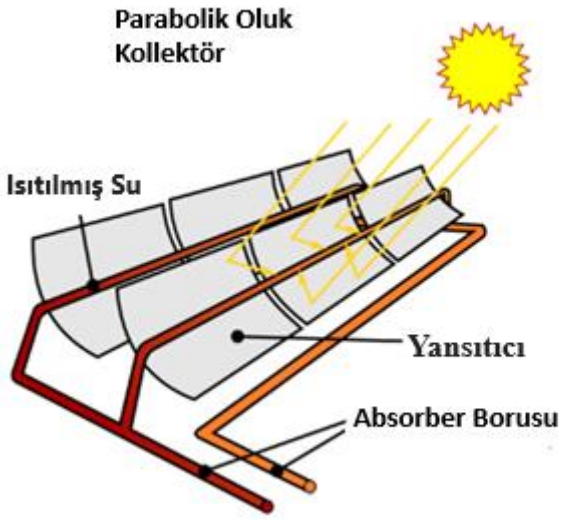
Şekil 1.25. Vakumlanmış güneş kollektörünün görünüşü (Şener, 2013)

1.5.3. Odaklamalı (yoğunlaştırıcı) tip güneş kollektörleri

Isıl teknikle elektrik üreten kolektörlerdir. Normal iklim şarlarında çok iyi ortama uyarlanan toplayıcılardır. Noktasal veya çizgisel yoğunlaştırma işlemi sonrasında kullanılan akışkanın ulaşacağı sıcaklık akış hızı, yoğunlaştırma oranı ve anlık güneş ışınım değerine bağlı olarak değişmektedir. Sistem modellenmesinde kollektörler birbirlerine hem seri hem de paralel bağlanarak kollektör grubu oluşturabilmektedir. Doğrusal odaklanmalı ve Noktasal odaklanmalı güneş kollektörleri olarak ayrılırlar (Vatansever, 2020).

1.5.3.1. Çizgi (Doğrusal) odaklı güneş kollektörleri

Parabolik oluklu sitemler olarak bilinen bu toplayıcılar, güneş radyasyonundan gelen ısı enerjisini bir çizgi üzerinde (odak çizgisi) toplamak ve yoğunlaştırmak ve bu odak çizgisi üzeinde yoğunlaşmış ısıyı almak için bir akışkan geçirilerek oldukça yansıtıcı malzemeler kullanır. Bu kollektörler, uzun bir oluğa bağlanan parabolik şekilli yansıtıcı (siyah metal ya da siyah boya ile kaplanırlar ışığı iyi absorbe etmeleri için) bölümlerden oluşur. Bu teknenin ortasına su taşıyan bir boru yerleştirilir, böylece yansıtıcı malzeme tarafından toplanan güneş ışığı boruya odaklanarak içeriği ısıtır. Bunlar çok yüksek güçlü kollektörlerdir ve bu nedenle genellikle Solar termik santraller için buhar üretmek için kullanılırlar ve konut uygulamalarında kullanılmazlar. Bu oluklar (Şekil 1.26), maksimum güneş ışığı toplama sağlamak için gökyüzünde döner mekanizmalı olanları güneşi takip ederek güneş ığını toplayarak ısı üretmede çok daha etkilidirler (Vatansever, 2020).



Şekil 1.26. Çizgi odaklı güneş kollektörünün çalışma prensibi (Arslan, 2015)

1.5.3.2. Nokta odaklı kollektörler

Güneşten belirli bir yüzeye gelen ışınların tamamı, bir nokta üzerinde (odak noktası) toplanarak yoğunlaştırılmaya çalışılmaktadır. Burada nokta olarak bahsedilen odak, pratikte bir nokta olmaktan çok, küçük bir alandır. Çizgi odaklı toplayıcıya çok benzer şekilde, nokta odaklı toplayıcı, güneş ışınımını belirli bir noktaya odaklamak için

parabolik bir çanak uygular. Sistem, güneş radyasyonunu yanlızca bir alana yoğunlaştıran, bir miktar yansıtıcı malzemeden oluşan büyük parabolik tabaklardır. Bu toplayıcılardan gelen ısı genellikle Stirling motorlarını çalıştırmak için kullanılır. Güneş ışığını toplamada çok etkili olmalarına rağmen, herhangi bir değere sahip olmak için güneşi gökyüzünde aktif olarak takip etmeleri gerekir. Tek başına çalışabilir veya güneşten daha da fazla enerji toplamak için bir dizi halinde birleştirilebilir (Cezim, 2013).

Resim 1.3. Nokta odaklı güneş kollektörü (Cezim, 2013)

Son olarak güneşlenme süresi fazla olan ülkemizde güneş enerjisinden en çok sıvılı düzlemsel güneş kollektörleri kullanımı sağlamaktadır (Ağı ve Günerhan, 2005).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmamızın ilk aşamasında araştırmanın hedef/hedefleri oluşturulmuştur. Araştırma konularını oluşturan güneş enerji sistemleri ve ekipmanları, PVsistemleri, PV/T sistemlerinde verim artırma yöntemleri, PV ve PV/T soğutma teknikleri, MGN bulma, kullnanılan ekiman şeması, termal, enerji verimliliği kavramları literatürde hangi konularla ilişkili olarak çalışılıp, bu konulara ilişkin temel kavramlar, önem arz eden noktalar ve araştırma türleri neler, bunların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın örneklemini, güneş enerji sistemleri ve ekipmanları, PV ve PV/T sistemlerin verimlerin düşüren parametreler ve PV ve PV/T sistemlerinde maksimum verimlilik için İngilizce ve Türkçe yazında çalışılan makaleler oluşturulmuştur. Araştırmada makalelerin incelenmesi için Google Scholar, Science Direct, ISI Web of Science, Assosindex ve Ebsco veri tabanları kullanılmıştır. Araştırmada daha fazla sayıda veri toplamak için makalelerde herhangi dergi sınıflamasına gidilmemiştir. Makaleleri araştırırken tarama butonlarına, aranacak kelime(ler) kısmına tırnak işareti kullanılarak "fotovoltaik", "güneş enerjisi", "verim", "termal", "güneş pili" anahtar sözcüklerin İngilizce ve Türkçe kelimeleri yazılarak literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Taramalar fotovoltaik sistemler, güneş enerjisi ve verim, termal ile sınırlandırılmış, makale kriterleri olarak İngilizce ve Türkçe yayında yazılması ve Google Scholar, Science Direct, ISI Web of Science, Assosindex ve Ebsco veri tabanlarında bulunması esas alınmıştır. Belirtilen kriterler doğrultusunda seçilen makaleler, yayımlandığı yıl, araştırma türü (nicel, nitel veya her ikisi birden), örneklem, çalışma alanı, kullanılan veri toplama araçları ve kullanılan değişkenler açısından analiz edilmiştir.

2.1. Fotovoltaik Panellerin Verimsel Etkinliğini Artırma Yöntemleri

Bu bölümde PV sistemlerin verimlerinin artırılması ile ilgili çalışmalar verilmiş olup genel verim artırma tekniklerinin önemli olanları daha önce yapılan çalışmalar birkaç örnekte detaylı anlatılmış ve daha önce yapılan çalışmalar ile desteklenmiştir.

Fotovoltaik paneller güneş ışığına direk maruz kalarak elektrik enerjisi elde edebilen cihazlardır. Doğrudan güneş ışığına maruz kalmaları sebebiyle panel üzerinde oluşan ısı miktarı artmakta ve verim kaybına yola açmaktadır. Bundan ötürü verim artırmak için çeşitli yollara başvurulmaktadır. Verim, sistemden çıkan enerjinin sisteme

giren enerjiye oranıdır ve termodinamik kanunları gereği birden küçük bir değerdir. Verim daha çok % olarak ifade edilir. Fotovoltaik panel verimi hesaplanırken altta görüldüğü (2.1) gibi panelden elde ettiğimiz maksimum verim güneşten gelen radyasyon değerine ve yüzey alanına bölündükten sonra 100 ile çarpılarak elde edilen değerdir. (Karakaya ve Şen, 2019).

$$\eta_{mak} = \frac{P_{mak}}{E * A_c} . 100\% \quad (2.1)$$

Fotoelektrik etkisi yaratarak güneş ışığını elektriğe çeviren dönüştürücülere güneş pilleri denir. Fotovoltaik sistemler güneş hücrelerinden ve yardımcı bileşenlerden meydana gelir. Güneş radyasyonunu doğrudan elektriğe dönüştürür. Bilim insanları ilk olarak 1954 yılında p-n kavşak tipi güneş pili ile güneş radyasyonunun elektrik enerjisini %6'ya çıkarmışlardır (Öztürk, 2017).

Fotovoltaik panellerde verimi etkileyen en önemli parametreler; yüksek güneş radyasyonu, güneş açısı, rüzgar yönü ve hızı, hava kirliliği, hücre sıcaklığı, gölgelenme, su kütlesi akışı, nem, toz, sisteme etki eden güneş pili çeşidi, giriş - çıkış suyu sıcaklığı, sistemde dolaşan sıvı miktarı, seri bağlı PV/T modül sayısı, güneşin gün içinde aynı düzeyde gelmemesi gibi nedenlerdir. Bu nedenle güneş enerji sistemlerinden maksimum verim elde etmek için farklı yöntemler denenmiş olup bu yöntemler, sistemin çok ısınmasından kaynaklı verim kayıplarını engellemek için çeşitli soğutma teknikleri (panel altından ya da üstünden akışkan geçirilmesi veya FDM kullanılması, nano akışkanlarla soğutma vb), kısmi gölgelenme ya da güneş radyasyonundan gelen ışığın düzensizliğinden kaynaklı verim kayıplarını engellemek için maksimum güç noktasını, çeşitli algoritmlar kullanarak maksimum güç takip sistemi ile bulma teknikleri, sistemlerdeki konfigrasyon değişiklikleri, güneş hücresi çeşidi gibi bazı yöntemler faydalı bulunmuş ve zaman içerisinde geliştirlmiştir. Tezimizin bu bölümünde verim artırma yöntemlerin neler olduğu, hangi tekniklerin kullanıldığı daha önce yapılan çalışmalardan ayrıntılı bir şekilde derlenip sunulmuştur.

Sıcaklık artışların modül üzerindeki etkileri hafifletmek için soğutma teknikleri 1. iyileştirme yöntemidir.

Soğutma hava, su, akışkan gibi maddelerle sağlanmakta olup yapılan çalışmaların sonucu gösteriyorki günümüz teknolohjisi ile en iyi soğutma sıvı ile sağlanmaktadır. PV hücrelere düşen güneş radyasyonunun büyük bir kısmı elektriğe dönüştürülmez, ancak

yansıtılır veya dönüştürülür. Bu sorunu aşmak için bir soğutma sistemi, yüksek güneş ışınımı gereklidir. Soğuma teknikleri ile ilgili çalışmalar ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

Hibrit PV/T su ısıtma sistemi, hava ısıtma ve FDM ile soğutma sistemi için daha önce yapılan aktif ve pasif (Tablo 2.1) özellikli soğutma teknikleri çalışmalarını özetleyen birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır.

Tablo 2.1. PV sistemlerini soğutma teknikleri (Browne ve ark., 2015)

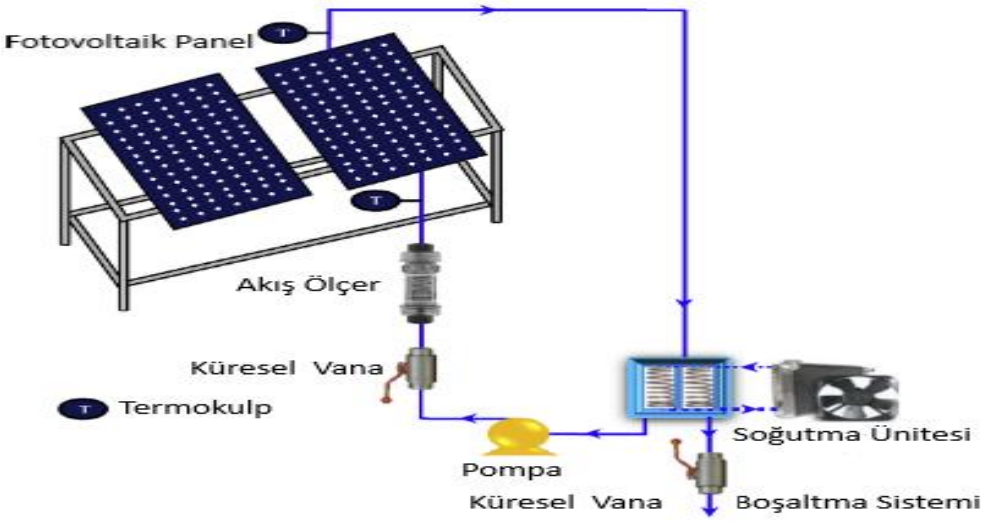
		Mod	
		Aktif	Pasif
Malzeme	Hava	Doğal hava konveksiyonlu ısı alıcı/ısı yayıcı	Dış hava dolaşımı transpirli soğutma
	Sıvı	Sıvı daldırma ısı borusu	Hidronik soğutma su çalışmalı soğutma
	Faz değiştiren Malzeme	Doğal soğutma ile yenilenenen	Aktif ısı gidermeyle yenilenen

Fotovoltaik sistemlerin soğutulması ile ilgili daha önce yapılmış pasif soğutma yöntem çalışmalarına tezimizin bu kısmında ayrıntılarıyla yer verdik.

PV/T sisteminin termal ve elektrik performansının, sistem yaygın olarak uygulanmasına rağmen hala iyileştirilmesi gerekmektedir. Çalışmada, FDM'ler ile çok katmanlı yapılı bir PV/T sisteminin performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Isı eşanjörünün yeni yerleşim düzeni tasarımı tanıtılmış ve PV/T sisteminin ısı transfer sürecinin ve operasyonel verimliliğinin ayrıntılı bir matematiksel modeli geliştirilmiş. Ardından, PV/T sisteminin sıcaklık değişimi simüle edilir ve bir dış mekan deneysel sistemine dayalı ölçümlerle doğrulanır. Ev yapımı bir MATLAB kodu kullanılarak yapılan ölçümlere ve hesaplamaya göre, PV/T sisteminin karakteristik sıcaklığı ve verimleri tahmin edilir. Sonuçlar, PV/T sisteminin tahmin edilen sıcaklık değişiminin pratik sistemle

uyumlu olduğunu göstermektedir. PV/T sisteminin ortalama elektrik verimliliği, ısı eşanjörünü FDM'lerle kullanarak yaklaşık %1 oranında arttırılabilir. Bu arada, uzun çalışma süresi nedeniyle ısıl verim artar. %15 genişletilmiş grafit içeren kompozit FDM, kapsamlı verimliliği %25,2 artırabilir. Ayrıca Doğu Şangay'daki pratik PV/T sistemlerinin performansının veri tabanı, ölçülen ve değerlendirilen değerlerle desteklenmektedir (Fu ve ark., 2021).

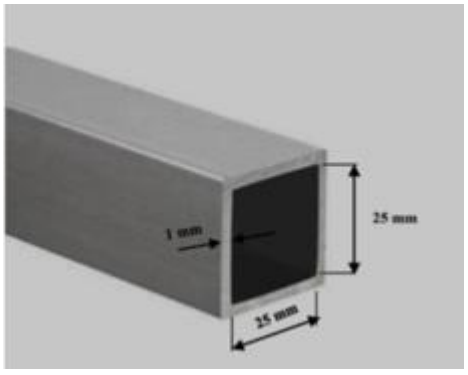
Salem ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, su ve Nanoakışkanlı/FDM birleşik tekniği kullanarak bir PV modülünün soğutma etkisinin performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Bu işlem için, fotovoltaik panelin altından geçen alüminyum kanallardan nano parçacık kütle konsantrasyonu (φ) %0 ila %1 arasında değişen Al_2O_3/FDM veya su karışımı ile kütle debisi 0 ile 5,31 kg/s.m^2 arasında değişen soğutma suyu kullanılmıştır Deney düzeneği (Şekil 2.1 ve Resim 2.1) iki özdeş poli-kristal tip 50-Watt PV modülü, ayarlı stand, soğutma sistemi ve ölçüm cihazlarından oluşturulmuş. Soğutma ünitesi ile soğuk su hücrenin altındaki kanallara verilrmiş. İki modül seri olarak bağlanılmış. Her iki modül de modülün arkasında hava kanalı bulunan ahşap bir yapıya monte edilmiştir (Salem ve ark., 2019).



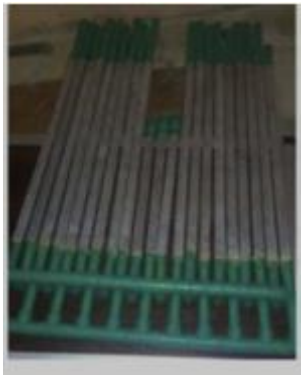
Şekil 2.1. Deneysel tesisin şematik gösterimi (Salem ve ark., 2019)

Resim 2.1. Deney düzeneğinin bir fotoğrafı (Salem ve ark., 2019)

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi kanal içerisinden hava geçmesine olanak tanınmıştır. Sistem, değişken eğimli çelik bir çerçevenin üzerine yerleştirilmiştir. Bu deney için, modülün eğimi yataya 30° yapacak şekilde sabitlenmiştir. Sıcak hava sızıntısını önlemek amacıyla hava kanalı macun ve çift taraflı bant yardımı ile kapatılmıştır. Fotovoltaik hücrelerin, modülün arka yüzeyinin, giren havanın ve çıkan havanın sıcaklıklarını ölçmek için sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Fotovoltaik modülün güneşe bakan yüzeyinin sıcaklığını ölçmek için modülün üst yüzeyine de ayrı bir sıcaklık sensörü takılmıştır. Hava, kanalın üst ucundaki girişte yer alan 12W kapasiteli iki fan kullanılarak kanaldan geçirilmiştir. Fanlar, Şekil 2.2 ve Resim 2.2'de gösterilmiş (Salem ve ark., 2019).



Şekil 2.2. Kanal kesiti (Salem ve ark., 2019)

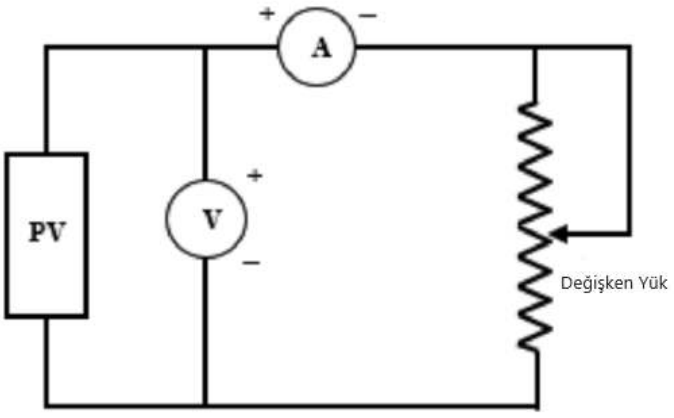


Resim 2.2. Kanal düzenlemesi

Sistemden elde edilen verileri kaydetmeden önce ilk adım olarak, soğutma tankı çeşme suyuyla doldurulmuş, soğutma ünitesi ve pompa açılmış. Kanallara giren suyun sıcaklığı (25 ± 0,5 °C), soğutma tankındaki sıcaklık termostatıyla ayarlanmış. Her deneyde, soğutma tankından gelen su, farklı akış hızlarıyla modülün altındaki kanallara yönlendirilmiş. Akış hızı, akış ölçer ve valfler kullanılarak kontrol altında tutulmuş. Her deneyde, su akan seçili kanallar valflerle ayarlanmış, bir taraftan da diğer kanallar sıvı FDM veya Al_2O_3/FDM karışımı ile doldurulmuş. λ_{FDM}FDM ile dolu kanalların toplam kanallara oranı olarak verilmiş ve aşağıdaki (2.2) gibi hesaplanmış (Salem ve ark., 2019).

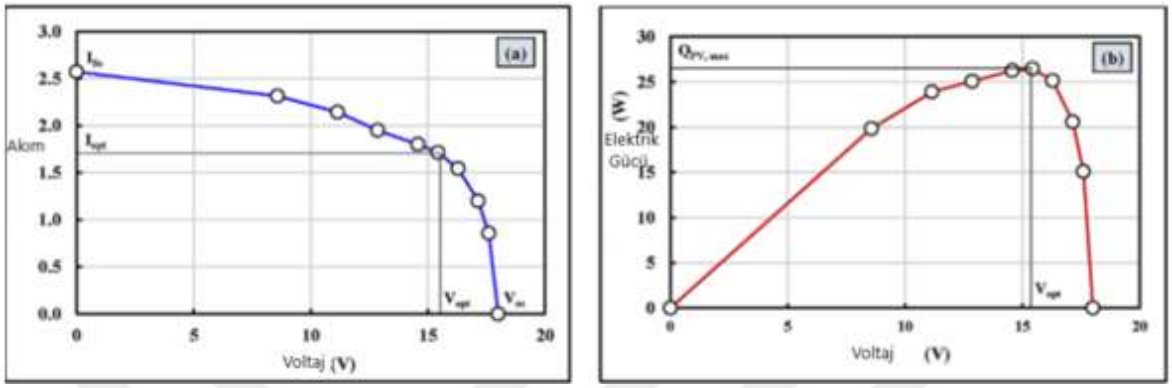
$$\lambda_{FDM} = \frac{N_{FDM}}{N_{ch}} = \frac{N_{FDM}}{20} \tag{2.2}$$

İki ayrı fotovoltaik özelliğin, yani akım ve voltajın ölçülmesi için gerekli olan iki elektrik devresi Şekil 2.3'te gösterildiği şekliyle takılmıştır (Salem ve ark.2019).



Şekil 2.3. Hücre özellikleri için ölçüm devresi (Salem ve ark., 2019)

Ölçülen fotovoltaik akım ve voltaj kullanılarak, I-V karakteristik eğrisi elde edilip, elektrik gücü hesaplanmış. Bu yolla bulunan eğrilerden elde edilen maksimum güç noktası Şekil 2.4'de verilmiştir (Salem ve ark., 2019).



Şekil 2.4. Hücre için karakteristik eğriler; (a) I-V, (b) PPV-V (Salem ve ark., 2019)

Fotovoltaik voltaj ve akımın optimum değerleri elde edildikten sonra, karakteristik özellikleri incelemek üzere aşağıdaki denklemlerden yararlanılmış. Hücre üzerine düşen güneş ışınımı şu şekilde (2.3) hesaplanmış (Salem ve ark., 2019).

$$P_{in} = G_s . A_{FV} \tag{2.3}$$

Maksimum modül çıkış gücü aşağıdaki şekilde (2.4) elde edilmiş (Salem ve ark., 2019).

$$P_{FV_{mak}} = V_{opt} . I_{opt.} \tag{2.4}$$

Panelin elektrik verimliliği aşağıdaki gibi (2.5) hesaplanmış (Salem ve ark., 2019).

$$\eta_e = \frac{P_{FV_{mak}}}{P_{in}} \tag{2.5}$$

Hücrenin elektrik çıkış gücündeki yüzde değişim aşağıdaki gibi (2.6) hesaplanmış (Salem ve ark., 2019).

$$\Delta P_e(\%) = \left[\frac{P_{fv.c} - P_{FV.ref} - W_p}{P_{FV.ref}}\right] . 100 \tag{2.6}$$

Wp pompa tarafından tüketilen güç olup, aşağıdaki gibi (2.7) hesaplanmış (Salem ve ark., 2019).

$$w_p = V_P . I_P \tag{2.7}$$

Fotovoltaik modüllerin altındaki kanallarda akan suyun kazandığı ısıl enerji ise şu şekilde (2.8) hesaplanmış (Salem ve ark., 2019).

$$Q_{th} = \dot{m}_w Cp_w (T_{w.o} - T_{w.i}) \tag{2.8}$$

Soğutulmuş fotovoltaik termal verimliliği aşağıdaki gibi (2.9) hesaplanmış (Salem ve ark., 2019).

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{P_{in}} \tag{2.9}$$

Ortalama hücre sıcaklığı hesabı ise şu şekilde (2.10) yapılmış (Salem ve ark., 2019).

$$T_{PV} = \frac{T_{PV_f} + T_{PV_b}}{2} \tag{2.10}$$

T_{PV_f} ve T_{PV_b}, fotovoltaik panelin ön ve arka yüzeylerinin ortalama sıcaklıkları olarak belirtilmiş. Salem ve ark.(2017) göre ekserji, mevcut olmayan enerjinin toplam enerjiden çıkarılmasıyla elde edilen mevcut enerji olarak tanımlanmıştır. Ekserji verimliliği aşağıda verildiği şekliyle(2.11) hesaplanıp, tahmini olarak aynı standarda dayalı elektrik ve termal enerji karşılaştırması yoluyla PV/T genel performansının niteliksel bir değerlendirmesi sağlayacağı belirtilmiştir (Salem ve ark., 2019).

$$\eta_{o,ekerji} = \eta_e + \eta_{th} \left[1 - \frac{T_\alpha}{T_{w,0}}\right] \tag{2.11}$$

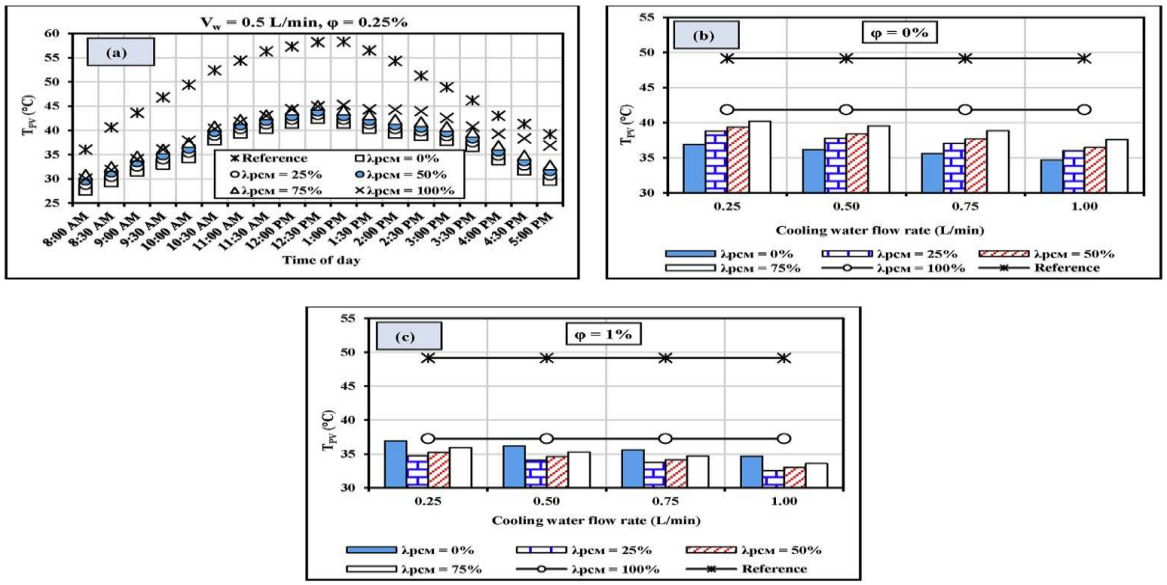
T_α Kelvin cinsinden referans ortam sıcaklığıdır. FDM'deki nano parçacıkların kütle konsantrasyonu aşağıdaki (2.12) gibi tahmin edilmiş (Salem ve ark., 2019).

$$\varphi = \frac{m_{np}}{m_{total}} = \frac{m_{np}}{m_{np}+m_{FDM}} \tag{2.12}$$

Her kanaldaki soğutma suyu kütle akışı (kg/s.m^2) ise aşağıdaki(2.13) gibi elde edilmiş (Salem ve ark., 2019).

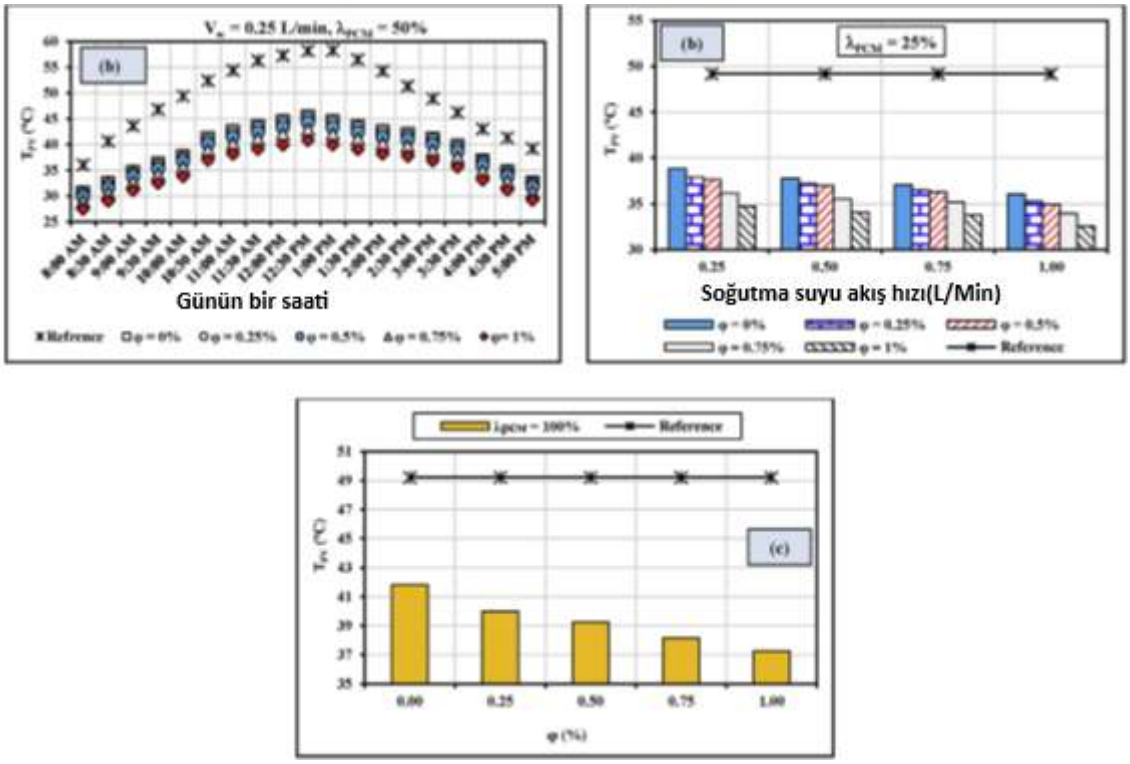
$$M_w = \frac{\dot{m}_W}{A_{ch}} = \frac{P_w \dot{V}_w}{(1-\lambda_{FDM})N_{ch}*(H_{ch}*W_{ch})} \tag{2.13}$$

Şekil 2.5'te, panel sıcaklığının saat 13:00'de maksimum değerine ulaşana kadar arttığı ve daha sonra zaman gün batımına doğru gittikçe düştüğü görülmüştür. Su veya Al2O3/FDM karışımı kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın soğutma sistemi uygulanmasının, soğutulmamış olana oranla hücre sıcaklığında düşüş sağladığı görülmüştür. λFDM =%0 kullanıldığında günün her saatinde en düşük modül sıcaklığı sağladığı ve FDM oranının artmasıyla sıcaklığının kademeli olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca, Şekil 2.5'te b ve c'de, modüllerin ortalama sıcaklığının su debisinin artmasıyla azaldığı; λFDM =%0'da, panel sıcaklığındaki 14,5 °C ve 12,3 °C'lik ortalama düşüşlerin sırasıyla VW = 1,0 ve 0,25 L/dk'da kaydedildiği görülmüştür. Bu sıcaklık düşüşü λFDM = %100 için 7,4 °C'dir (Salem ve ark., 2019).



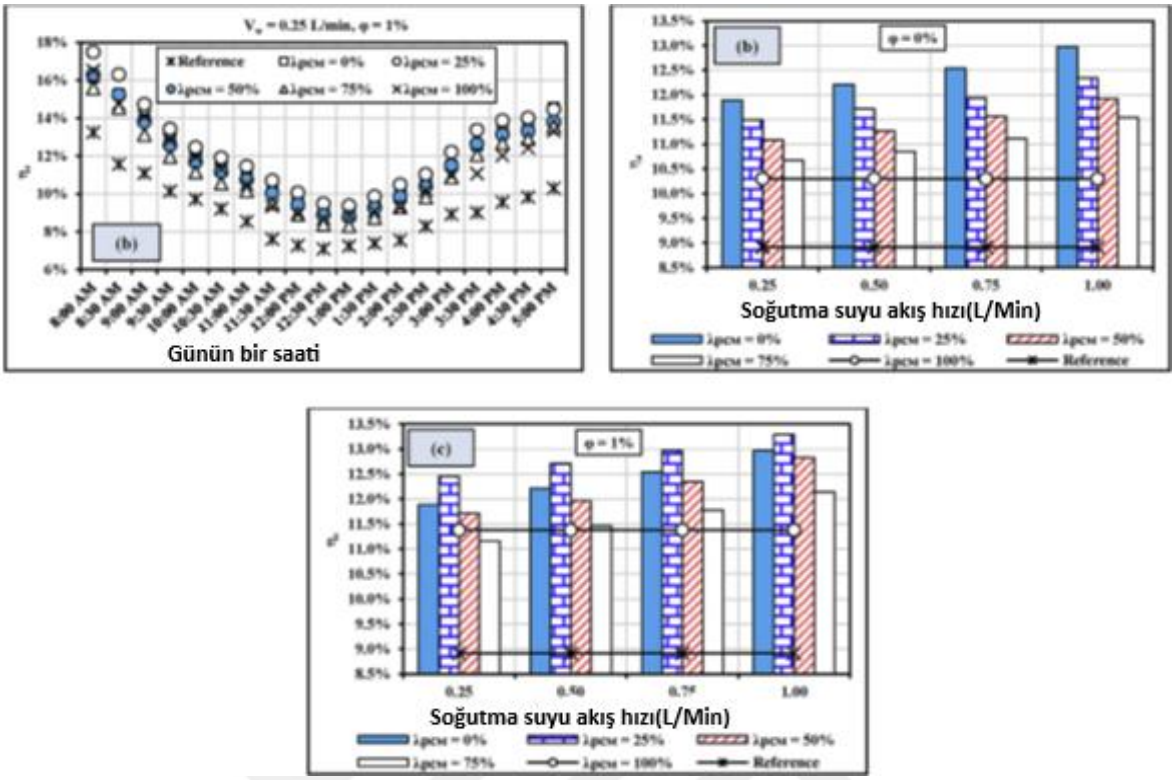
Şekil 2.5. Farklı FDM işgal oranlarında panel sıcaklığı; (a) Anlık sıcaklık, (b) Ortalama sıcaklık % 4 ¼, (c) Ortalama sıcaklık 4°C (Salem ve ark., 2019)

Şekil 2.6'da, FDM'deki farklı nano parçacık kütle konsantrasyonlarında kaydedilen anlık ve ortalama hücre sıcaklıklarına örnek verilmiştir. Panel sıcaklığında ortalama 14,5 °C'lik bir düşüşün λ_{FDM} =%25 (φ =%1) +%75 su (0,25L/dk)'de kaydedildiği gözlemlenmiştir (Salem ve ark., 2019).



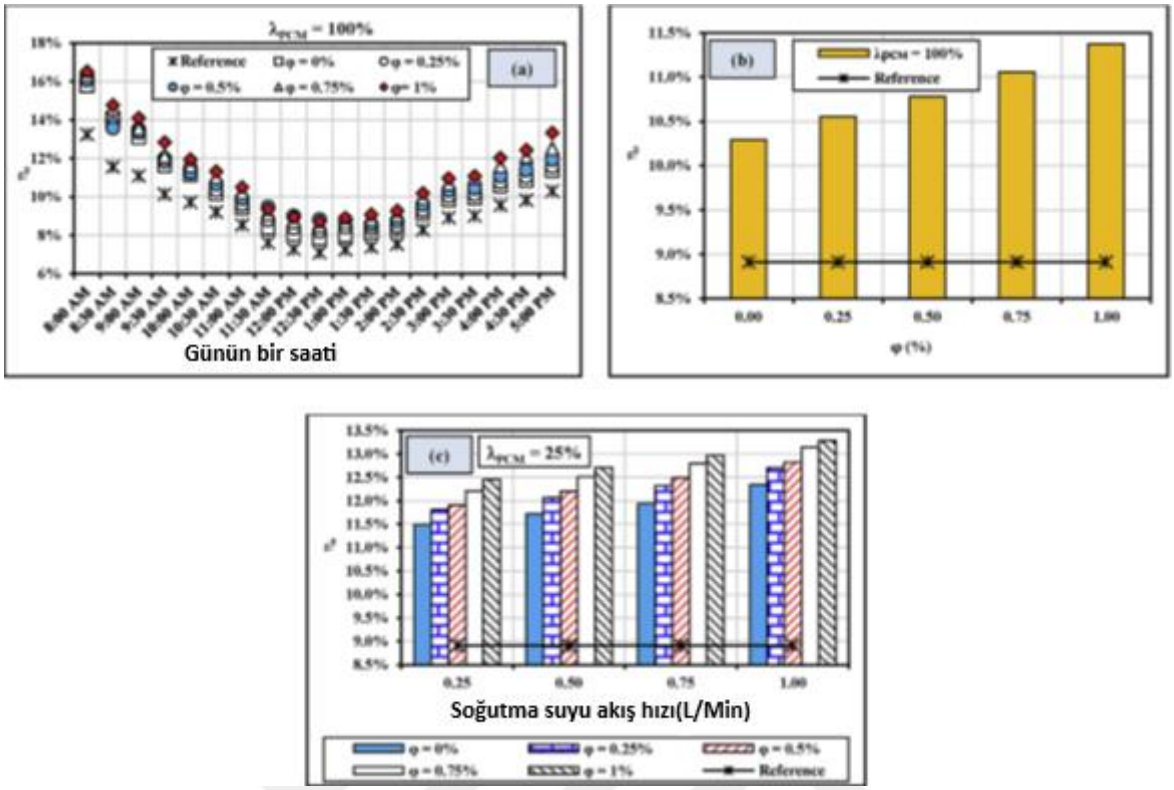
Şekil 2.6. Farklı nanopartikül konsantrasyonlarında panel sıcaklığı; (a) Anlık sıcaklık, (b) lFDM'de ortalama sıcaklık ¼ %25, (c) lFDM'de ortalama sıcaklık ¼ %100 (Salem ve ark., 2019)

Panel elektrik verimliği için gözlenen sonuçlar şu şekilde verilmiş. Şekil 2.7'de, modülün altındaki kanallarda akan farklı oranlarda Al_2O_3/ FDM soğutulmuş ve soğutulmamış panellerin bildirilen anlık ve ortalama elektriksel verimlilikleri gösterilmektedir. Tüm kanallar %100 saf FDM ile doldurulduğunda, ortalama elektrik verimliliği %10,3 bulunmuş. Ayrıca, Şekil 2.7'de elektrik verimliliğinin, tüm kanallar %100 Al_2O_3/FDM karışımı ile doldurulduğunda, panelin ortalama elektrik verimliliği %10,9 olmuştur, bu ise %22,7'lik bir artışa karşılık gelmiştir (Salem ve ark., 2019)



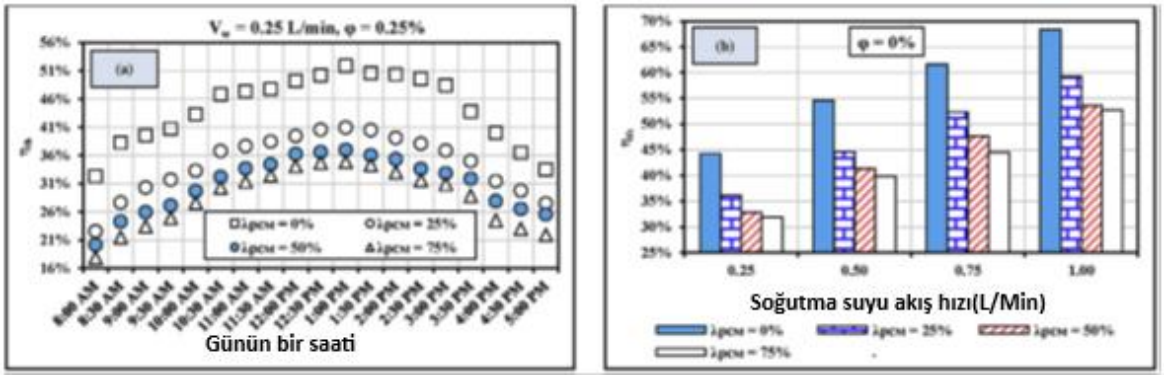
Şekil 2.7. Farklı FDM işgal oranlarında PV elektrik verimliliği; (a) V_ w ¼ 0,25 L/dk, %4 ¼1'de anlık değerler, (b) Ortalama değerler ¼ 4 %0, (c) Ortalama değerler ¼4 %1. (Salem ve ark., 2019)

Şekil 2.8'de FDM'deki nano parçacık konsantrasyonunun arttırılması, panellerin elektriksel verimliliğini arttırdığı görülmüştür. Referans hücre ile karşılaştırıldığında, φ = %0,25 ve φ =%1 için ortalama elektriksel verim sırasıyla %32 ve %37,1 oranında arttırdığı görülmüştür. Nedeni parçacık konsantrasyonlarının artmasıyla modül sıcaklığının düşmesi gösterilmiştir (Salem ve ark.2019).

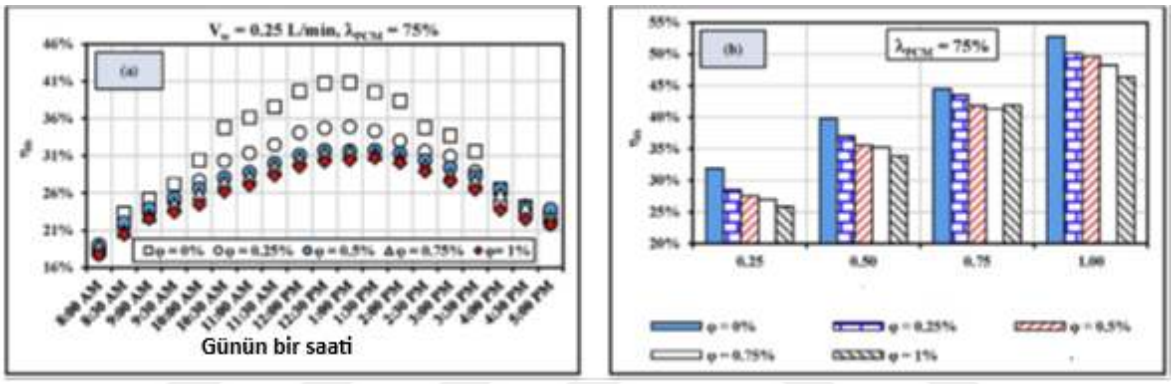


Şekil 2.8. Farklı nanoparçacık konsantrasyonlarında PV elektrik verimliliği; (a) Anlık değerler, (b) lFDM = %100'deki ortalama değerler, (c) lFDM = %25'teki ortalama değerler (Salem ve ark., 2019)

Panellerdeki termal verim sonuçlarına bakacak olursak; Şekil 2.9'da, farklı Al_2O_3/FDM oranlarında güneş hücresinden elde edilen anlık ve ortalama termal verim verilmiş. Şekil 2.10'da ise farklı Al_2O_3 nano parçacık konsantrasyonlarında bildirilen termal verimlilik gösterilmektedir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da hücre termal verimliliği güneş ışınımı yoğunluğu ile paralel olduğu görülmüş. Şekil 2.9'da görüldüğü üzere, FDM oranı arttıkça termal verimlilik azalmaktadır. Bunun nedeni, FDM'ye panelden aktarılan ısı enerjisindeki artış olup, panelden suya aktarılan ısı enerjisi minimuma inmesi gösterilmiş. Su debisi sırasıyla 0.25'ten 1.0 L / dk'ya çıktığında λ_{FDM} = % 0'da, ortalama termal verim % 4 4,2'den % 68,4'e çıkarken, λ_{FDM} = % 75'te % 27,2'den % 48,6'ya çıkmaktadır (Salem ve ark., 2019).

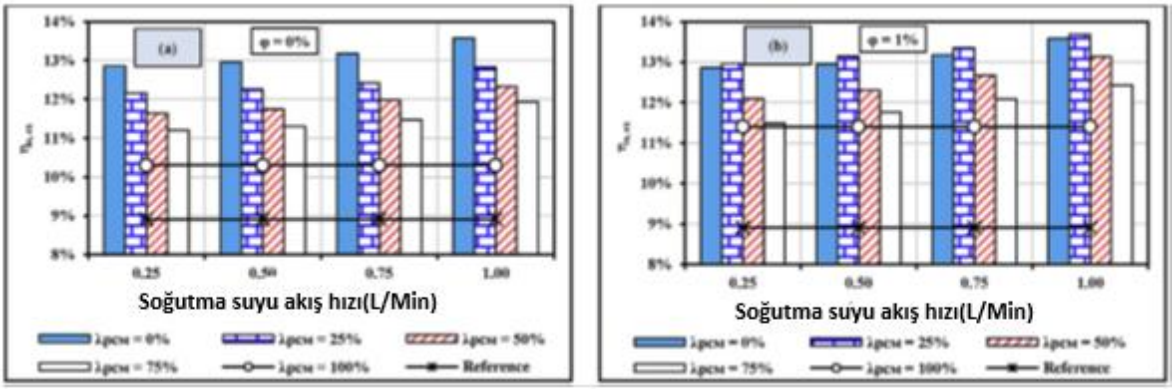


Şekil 2.9. Farklı Al2O3/FDM işgal oranlarında PV termal verimliliği; (a) Anlık değerler, (b) Ortalama değerler (Salem ve ark., 2019)



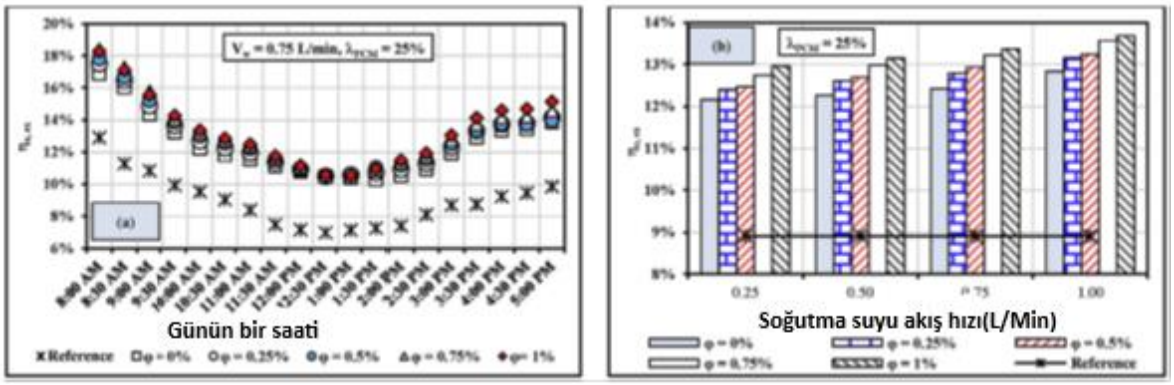
Şekil 2.10. Farklı Al2O3 nanoparçacık konsantrasyonlarında PV termal verimliliği;(a) Anlık değerler, (b) Ortalama değerler (Salem ve ark., 2019)

Panel genel ekserji verimliliği Şekil 2.11 ve 2.12'da, farklı Al_2O_3/FDM oranlarında hücrelerin sırasıyla anlık ve ortalama ekserji verimlilikleri gösterilmektedir. Soğutulmuş paneller soğutulmamış olanlara kıyasla daha yüksek bir genel ekserji verimliliğine sahip olduğu görülmüştür. Referans hücre ile karşılaştırıldığında ($\eta_{0,ex}$=%8,9), ekserji verimindeki ortalama yüzde artış sırasıyla %44,2 ve %52,3 olduğu görülmüştür. Referans hücre ile karşılaştırıldığında, sırasıyla λ_{PCM} = %25 ve %75 için ekserji verimliliğindeki ortalama yüzde artış sırasıyla %45,8 ve %32,6 olduğu gözlemlenmiştir (Salem ve ark., 2019).



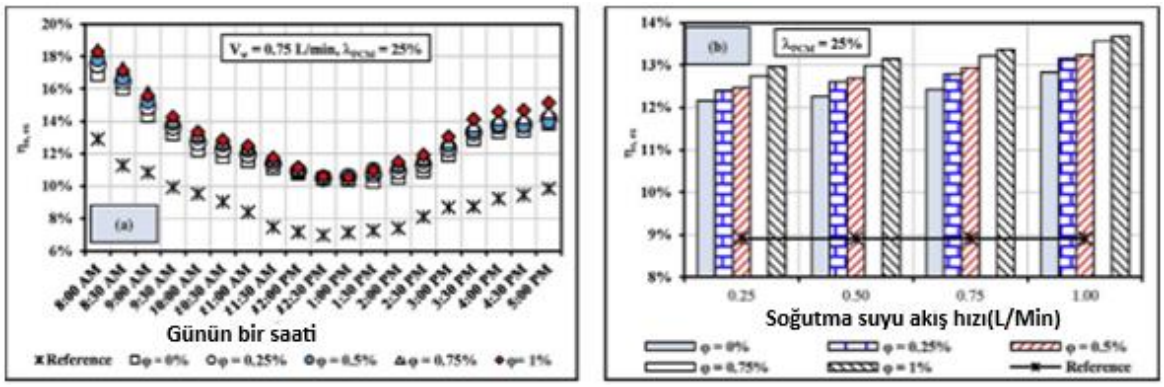
Şekil 2.11. Farklı FDM işgal oranlarında ortalama PV ekserji verimliliği; (a) %4 ¼ ve (b) 4 ¼ %1

Şekil 2.12, farklı Al_2O_3 nano parçacık konsantrasyonlarında modüllerin kaydedilen anlık ve ortalama ekserji verimlilikleri gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Farklı nanoparçacık konsantrasyonlarında PV ekserji verimliliği; (a) Anlık değerler, (b) Ortalama değerler (Salem ve ark., 2019)

Şekil 2.13'de, FDM'deki nano parçacık konsantrasyonunun artmasıyla hücre ekserji verimliliğinin hafifçe arttığı açıkça görülebilir. Referans hücre ile karşılaştırıldığında, sırasıyla φ = % 0,25 ve % 1 için ekserji verimliliğindeki ortalama yüzde artış sırasıyla % 37,6 ve % 41,3'tür.



Şekil 2.13. Farklı nanoparçacık konsantrasyonlarında PV ekserji verimliliği; (a) Anlık değerler, (b) Ortalama değerler (Salem ve ark., 2019)

Mevcut veriler kullanılarak, fotovoltaik modülün ηe, ηth ve η0,ex değerlerini tahmin etmek için aralarındaki deneysel ilişkiler saptanmıştır. Soğutma suyu kütle akışı (M), FDM oranı (λFDM) ve Al2O3 nano parçacık kütle konsantrasyonunun (φ) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ilişkilendirmiş (Salem ve ark., 2019).

$$\eta_e = 0.123(1+M)^{0.043}(1+\lambda_{FDM})^{-0.279}(1+\varphi)^{0.096} \quad (2.13)$$

$$\eta_{th} = 0.435(1+M)^{0.584}(1+\lambda_{FDM})^{-1.526}(1+\varphi)^{0.14} \quad (2.14)$$

$$\eta_{0,ek} = 0.128(1+M)^{0.076}(1+\lambda_{FDM})^{-0.364}(1+\varphi)^{0.064} \quad (2.15)$$

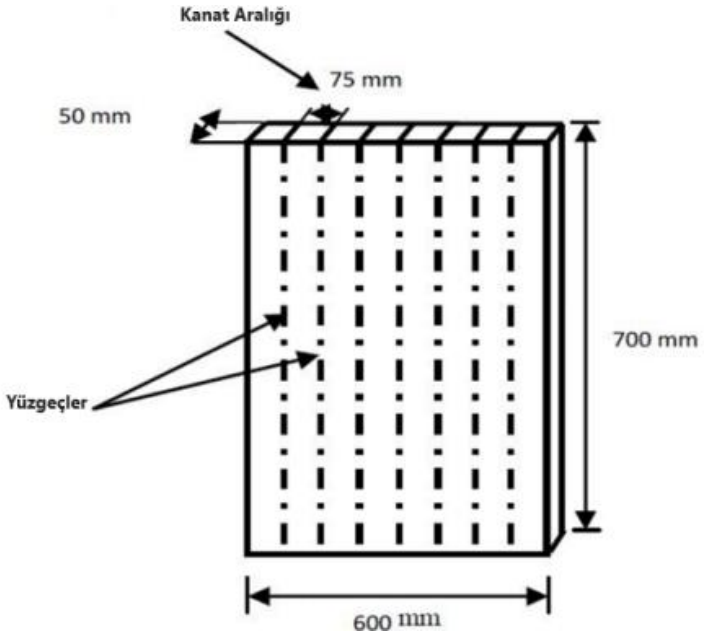
Bu çalışmada, nano parçacık eklenmiş Al_2O_3/FDM karışımı ve/veya su kullanılan bileşik tekniğinin, fotovoltaik hücre altından geçen alüminyum kanallardan farklı hızlarda akan soğutma suyunun fotovoltaik modül soğutma performansına ilişkin deneysel bir inceleme yapılmıştır. İncelenen parametrelerin aralıkları $0 \leq M \leq 5{,}31$ kg/s.m^2, $0 \leq \lambda_{FDM} \leq \%100$ ve $0 \leq \varphi \leq \%1$ olarak verilmiş. Elde edilen çıkarımlar aşağıda görülebilir:

- Fotovoltaik özellikler doğrudan güneş ışınımı yoğunluğundan etkilendiği gözlemlenmiş.
- Soğutma sisteminde su ve/veya Al_2O_3/FDM karışımı kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın, hücre sıcaklığında gözle görülür bir düşüş sağladığı görülmüş.
- Saf FDM kullanımı ile karşılaştırıldığında, kanallarda %100 su kullanımı, en düşük modül sıcaklığı ve en yüksek η_e, η_{th}, and $\eta_{0,ex}$. değeri ve elektrik çıkış gücünde en yüksek yüzde artışı sağlamıştır.
- FDM'ye eklenen Al_2O_3 nano parçacıklarının ve soğutma suyu akış hızının arttırılması ve kanallardaki Al_2O_3/FDM karışım oranının azaltılması, panel sıcaklığını

düşürdüğü, η_e, η_{th} ve $\eta_{0,ex}$ değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

- φ =%1'lik Al_2O_3 nano parçacık konsantrasyonunda, bileşik tekniği (Al_2O_3/FDM + su) aynı çalışma koşullarında %100 suyla soğutmadan daha etkili olduğu görülmüş.
- λ_{FDM} = % 25 (φ =%1) + % 75 su (1 L/dak) uygulaması en düşük hücre sıcaklığına ve en yüksek η_e, η_{th} ve $\eta_{0,ex}$ değeri sağladığı görülmüş.
- Her ne kadar λ_{FDM} = %100'lük Al_2O_3/FDM en yüksek elektrik verime pek etkisi olmadığı fakat soğutma suyu sorunlarını çözdüğü görülmüştür.
- Fotovoltaik modülün elektriksel, termal ve genel ekserji verimliliğinin tahmininde kullanılabilecek deneysel korelasyonlar da bu çalışmada sunulmuştur (Salem ve ark.2019).

Hasan ve arkadaşları bu çalışmada; pasif yaklaşımla yüksek PV verimliliği ve daha düşük bir sıcaklıkta koruyarak PV ömrünün artırılmasını amaçlamaktadır. Katı-sıvı FDM'lerin gizli ısı emme mekanizması ile aşırı ısıyı emmek ve PV sıcaklığını düzenlemek için PV panellere entegre edilmiştir. PV-FDM sistemlerinin elektrik ve termal enerji verimliliği analizi, iki farklı iklimde (Dublin, İrlanda ve Vehari, Pakistan) etkinliklerini değerlendirmek için FDM'nin iyi bir soğutma tepkisi ortaya koyduğu gösterilmiştir. FDM kullanımının İrlanda ve Pakistan'da elektrik verimliliğini sırasıyla yaklaşık %10 ve %10,7 artırdığını deneysel olarak kaydetmişlerdir (Hasan ve ark., 2014).



Şekil 2.14. Dikey olarak arkaya geri kanatçıklar takılı FDM konteynerlerinin şemaları (Hasan ve ark., 2014)

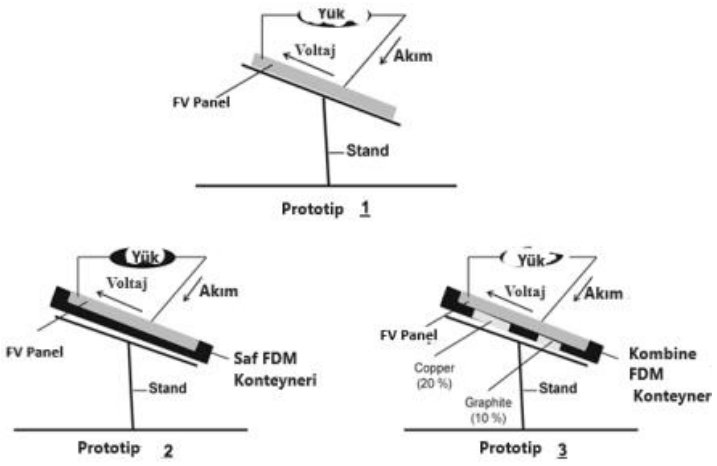
Yapılan pasif soğutmalı bir çalışmada, PV/T hava sistemlerinin kanallarının en ekonomik yöntem kullanılarak değiştirilmesi ile ısı atımı iyileştirilmesi çalışmasını rapor etmişlerdir. Hava kanalındaki hava akımına ısı transferini geliştirmek için iki düşük maliyetli modifikasyon tekniğinin incelendiği, doğal akışa göre PV/T hava güneş kollektörü olarak yapılandırılmış ticari bir PV modülünün hava soğutmasını sağlamaktır. Düşünülen yöntemler, sistem modülden ısı ekstraksiyonunu iyileştirmek için sistem havadan veya hava kanalının arka duvarına tutturulmuş kanatçıklarda asılı ince metal levhadan oluşturulmuştur. Sonuç doğal hava akışı çalışması ile PV/T güneş kollektörlerinin performansı artırılmıştır. Modifiye sistemlerin normal tipten daha iyi performans sunduğu ve binalarda doğal havalandırma uygulamaları için entegre PV sistemlerinin hem alan soğutma hem de ısıtma için daha iyi performansa katkıda bulunacağını gösterilmiştir. PV/T hava sistemi kanallarının düşük maliyetli modifikasyonları ile ısı çıkışının iyileştirilmesi sağlanabilir. Ayrıca BIPVT/Hava kurulumlarına kolayca uygulanabilir. Diğer yandan kanal derinliğinin, kütlesel debinin veya sistem uzunluğunun fan gücüne etkisi tüketimi az bulunmuş. Doğrulanmış model daha sonra hem geliştirilmiş hem de tipik PV/T hava sistemleri için kanal derinliği, kanal uzunluğu ve kütle akış hızının elektriksel ve termal verimlilik, PV soğutması ve basınç düşüşü üzerindeki etkisini incelemek için kullanıldı ve sonuçları karşılaştırıldı. Hem deneysel hem de teorik sonuçlar, önerilen değişikliklerin PV/T hava sisteminin performansını iyileştirdiğini göstermiş (Tonui ve Tripanagnostopoulos, 2006).

Yapılan pasif soğutmalı bir çalışmada, bina yapısını, ısı akış mekanizmasını ve Mikrokapsüllenmiş Faz Değişim Malzemesini'ni PV modülü ile entegre ederek yenilikçi bir BIPV modeli önerilmiş ve modelde, FDM'siz bir sisteme kıyasla PV/FDM sistemde toplamda elektrik verimliliğinde %14'lük bir artış görülmüş fakat modül deneysel olarak doğrulanmamış. Bu PV modülün termal ve elektriksel performanslarının parametrik simülasyonları, iç ve dış ortamlarının, günlük güneş ışınlamanın yanı sıra MFDM tabakasının erime noktasını hesaba katmak için gerçekleştirilmiş. Sonuçlar, 26 0C erime sıcaklığına sahip MFDM'nin simüle edilerek uygun MFDM tabakasını dahil etmenin fotovoltaik modülün termal ve elektriksel performanslarını artırabileceğini bildirilmiş. Erime sıcaklığı ve en boy oranı, PV modülünün termal ve elektriksel performansını önemli ölçüde etkidediği bildirilmiştir (Ho ve ark., 2012).

Yapılan bir çalışmada, PV panelinin sayısal olarak simülasyonu gerçekleştrilmiştir. Bu araştırmanın amacı, PV arka yüzeyindeki hızlı sıcaklık dalgalanmalarını önlemeye izin

veren FDM katmanının geçiş sıcaklığını belirlemektir. Belirtilen hedefe ulaşmak için ESP-r yazılımı kullanılarak PV/FDM panellerinin termal ve elektriksel performansı gerçekleştirilmiş. FDM belirli sıcaklıklarda hava durumuna önem verilerek yapılması gerektiği, çok düşük geçiş sıcaklığı FDM'yi devre dışı bırakacağı, yüksek sıcaklıkta ısı transferini ve dağılımını engelleyebileceği vurgulanmıştır. FDM-Alüminyum şeklinde uygulanması, petek yapısı, geçiş sıcaklığı seviyesinde sıcaklığın stabilizasyonuna katkıda bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara dayanarak, PV panelin arka tarafındaki ek FDM katmanının, yaklaşık 20 °C FDM geçiş sıcaklığı ile elektrik üretiminin verimliliğini etkili bir şekilde artırabileceği sonucuna varılmıştır. FDM kullanımının bu çalışma için elektrik verimini %10 artırdığı görülmüştür (Machniewicza ve ark., 2015).

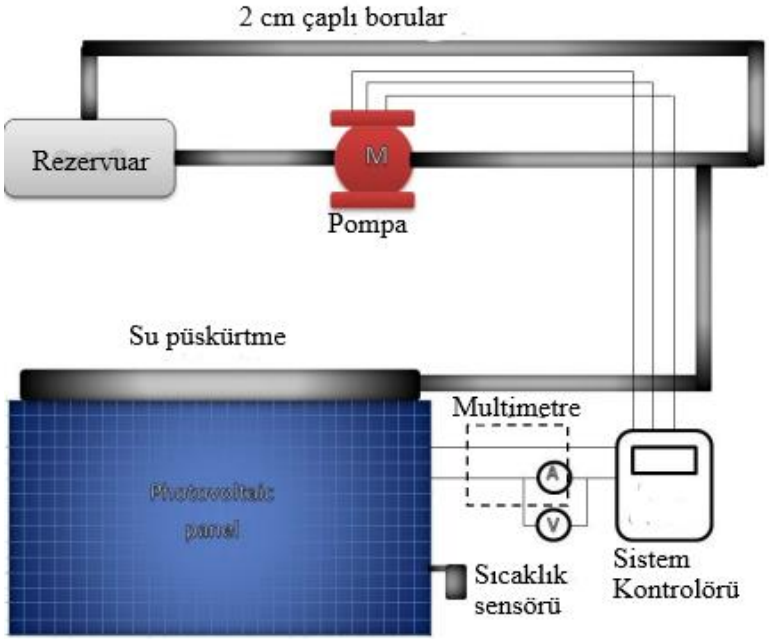
Yapılan bir araştırmada saf (beyaz petrol jölesi) ve kombine FDM (beyaz petrol jölesi, bakır ve grafit) kullanmanın bir PV panelinin termal davranışı ve elektriksel performansı üzerindeki etkisine ilişkin deneysel çalışmalar yapmışlar. Sistem termal davranışını analiz etmek ve elektrik çıkışlarıyla ilişkilendirmek için geçici bir enerji dengesi de sunulmuş. Devam etmek için uygun bir deneysel kurulum tasarlanmış ve üç prototip inşa edilmiş ve test edilmiş. Prototip 1 diğer ikisine referans olarak kasa, stand, bir PV paneli ve belirli bir yüke sahip bir elektrik devresinden oluşturulmuş. Prototip 2 ve 3, sırasıyla saf FDM ve kombine FDM tutan her PV panelin arka yüzüne eklenen bir konteyner ile tasarlanmıştır. PV panellerin elektrik verimliliğinin saf FDM kullanırken ortalama %3, kombine FDM kullanırken ise ortalama %5,8 oranında artırıldığı gösterilmiştir (Hachem ve ark., 2017).



Şekil 2.15. Deneyde kullanılacak yöntemlere ait 3 prototip tip (Hachem ve ark., 2017)

Hibrit PV/T kullanan aktif soğuttma yaklaşımları;

Dorobantu ve Popescu'ya (2013) göre yaptıkları deneysel çalışmada ince bir su filmi oluşturarak pompalama yardımı ile panelin ön kısmına soğutma sağlayarak panelin sıcaklığının düşürülmesi ve yansıma kayıplarını azaltarak daha iyi elektriksel verim elde etmeyi amaçlamışlardır. Panel yüzyinde oluşan ısı suya aktarılarak yüzey sıcaklığında düşüş oluşturarak verim artırılmaya çalışılmıştır. Pompa kombinasyonlu modül sayesinde çalışma yüzeyinde sürekli bir su filmi oluşmuş olup panelin soğutulmasının yanı sıra, radyasyon yansıtıcılığından kaynaklı kayıplar önlenmiş, panel yüzeyindeki toz veya kuru yaprak birikintileri temizlenerek verimlilik artırılmıştır.Deney için tek bir polikristal panel kullanılıp sulu ve susuz halde verimleri karşılaştırılmıştır. Radyasyon seviyesi, su akış miktarı, sıcaklık ölçümleri için multimetre, lazer termometre ve thermo-vision kamera kullanılmıştır. Sonuçlar panel sıcakılığının su filminden etkilendiğini göstermiştir. Panelin ön tarafında ince bir su filmi ile soğutulan bir PV modülü ile elektrik kaybı geri dönmüştür. Panelin ön ve arka kısmından okunan değerler sıcaklığın 15 C^0 düştüğünü göstermiş. Sıcaklıktaki bu parametreler çıkış parametrelerinden akım, güç, voltaj parametrelerin hepsini etkilemiştir. 1,5 'lik voltaj kazancı sağlamıştır. 3,5w güç çıkışı sağlamıştır. Elektriksel verim %9,5 artmıştır. Deney düzeneği aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.16. Tam otomatik bir sistem için şematik diyagram (Dorobantu ve Popescu, 2013)

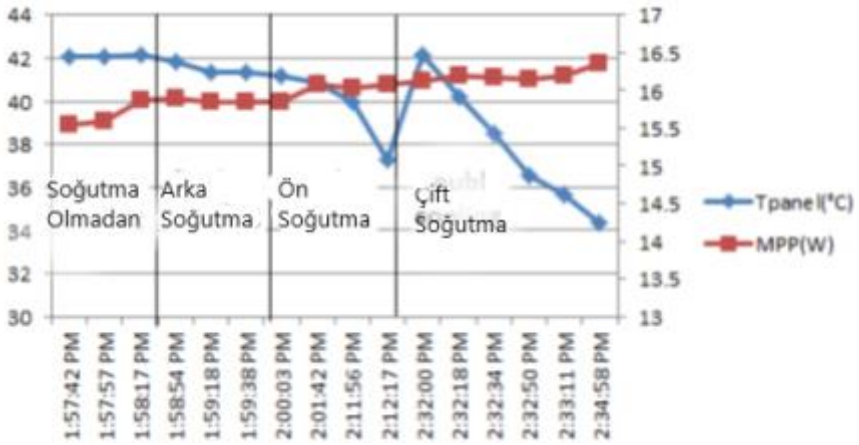
Hachicha ve ark., (2015) tarafından yapılan çalışmada Birleşik Arap Emirliklerinin hava koşullarında, 20 W'lık ek bir poli-kristal paneli farklı su soğutma teknikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Mevcut deneyde, basit bir manuel pompalama sistemi püskürtme sistemindeki suyu sirküle etmek için kullanılmıştır. Deneyler üç soğutma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş; arka soğutma, ön soğutma ve çift soğutma (her iki yöntemi birleştirerek) sırasında sıcaklık ve elektrik performansı test edilmiştir. Panelin sıcaklığı ve maksimum güç noktası kullanılarak uygulanan bu farklı soğutma yöntemleri ile sıcaklığın ön yüzeyde daha duyarlı olduğu görülmüştür. Soğutma sistemi panelin arka tarafında doğrudan temas sistemi ve ön tarafta bir püskürtme sisteminden oluşur.

Resim 2.3. Deneyde kullanılan 1 adet PV panel ve soğutma sistemi (Hachicha ve ark., 2015)

Tablo 2.2. Fotovoltaik modül parametreleri (Hachicha ve ark., 2015)

Açık devre gerilimi Vad	22 V
Kısa devre akımı Ikd	1,36 A
Maksimum VMGN	17,56 V
Maksimum IMGN	1,15 A
Maksimum Güç PMGN	20 W
Boyut	495*350*25 mm

Sıcaklığın elektrik performansına etkisi PV panelinin etkisi ölçülerek araştırılır. Deney sırasında MGN durumu Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Modül sıcaklığının deneysel test sırasında MGN'nin gelişimi (Hachicha ve ark., 2015)

Kısa devre akımı Ikd üzerine soğutma teknikleri ve açık devre voltajı VAD ve MGN tarafından verilen P_{MGN} değerini aşağıdaki (2.16) ve (2.17) gibi hesaplamışlar (Hachicha ve ark., 2015).

$$P_{MGN} = I_{MGN}.V_{MGN} = (DF)V_{OC}.I_{SC}\ (1) \quad (2.16)$$

$$P_{MGN} = (DF).V_{AD}.I_{SC} \quad (2.17)$$

DF doldurma faktörüdür. Pratikte hem açık devre voltaj ve doldurma faktörü sıcaklıkla azalırken, kısa devre akımı biraz artar (Hachicha ve ark., 2015).

Elektrik verimliliği aşağıdaki gibi (2.18) hesaplanmış: Farklı güneşlenme durumu ışınımı için formül (Hachicha ve ark., 2015).

$$\eta_{elek} = \frac{I_{MGN}.V_{MGN}}{GA} \quad (2.18)$$

Burada A, fotovoltaik panelin açık alanıdır (m^2), G ise gelen güneş radyasyonunu göstermektedir (W/m^2). Sıcaklığın fotovoltaik sistemin elektriksel performansı üzerindeki etkisi, üretici tarafından önerilen bir referans sıcaklık T_{ref} için β_{ref} sıcaklık katsayısı ile verilmiş. Etkin elektriksel verimlilik, doğrusal bir ilişki ile şu şekilde (2.19) bulunmuş (Hachicha ve ark., 2015).

$$\eta_{elek} = \eta_{ref}\left[1 - \beta_{ref}.\left(T - T_{ref}\right)\right] \quad (2.19)$$

Sıcaklık katsayısı esas olarak bir malzeme özelliği olup, kristalin silikon modüller için yaklaşık 0.004 K-1'dir. T_{ref} ve β_{ref} değerleri fotovoltaik üretici tarafından verilmiş. Soğutma suyu tarafından uzaklaştırılan termal enerji oranı ise aşağıda verildiği gibi bulunmuş (Hachicha ve ark., 2015).

$$\dot{Q} = \dot{m_{su}} C_p \left(T_{çıkış} - T_{giriş}\right) \tag{2.20}$$

Sistemin termal verimliliği aşağıda verildiği gibi şekilde (2.21) hesaplanmış (Hachicha ve ark., 2015).

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}}{GA} \tag{2.21}$$

PV modülünün net verimliliği, hem elektrik ve güneş enerjisinden dönüştürülen termal enerji aşağıda (2.22) verildiği gibi hesaplanmış (Hachicha ve ark., 2015).

$$\eta_0 = \eta_{th} + \eta_{elek} \tag{2.22}$$

Fotovoltaik panelin soğutulması sayesinde, açık devre voltajında bir artış ve kısa devre akımında hafif bir azalma meydana gelir. Tablo 2.3'te soğutma tekniklerinin test sonuçları verilmiştir (Hachicha ve ark., 2015). Tablo 2.4'te ise Fotovoltaik panelin elektriksel verimliliği ve dolum faktörü farklı soğutma teknikleri için hesaplanmış ve soğutulmamış durum ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.3. Soğutma tekniklerinin test sonuçları (Hachicha ve ark., 2015)

	Tcell (°C)	G (W/m^2)	Voc (V)	Isc (A)	PMPP (W)
Soğutmasız	42.1	849	20.38	1.11	15.5
Geri soğutma	41.37	850	20.69	1.11	15.9
Ön soğutma	37.32	863	20.72	1.11	16.1
Çift Soğutma	34.36	862	21.09	1.10	16.4

Tablo 2.4. PV panelin elektrik performansı (Hachicha ve ark., 2015)

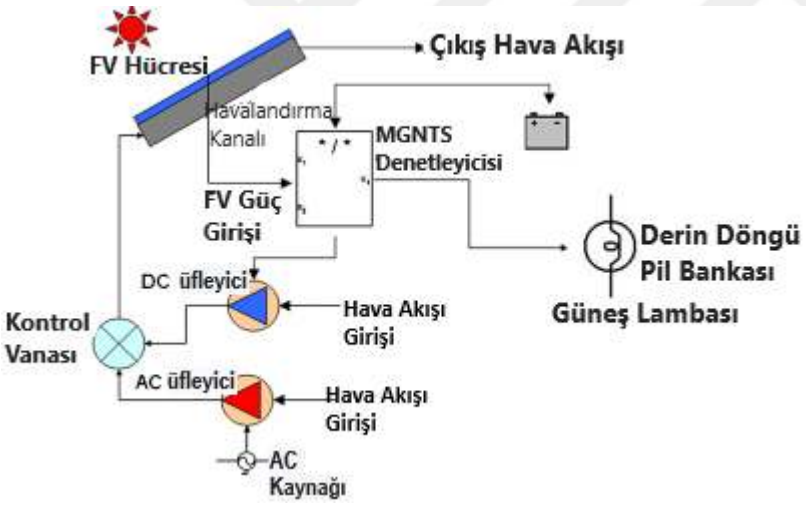
	η (%)	DF
Soğutmasız	10.58	0.686
Arka soğutma	10.81	0.692
Ön Soğutma	10.78	0.700
Çift Soğutma	10.99	0.706

Hemen hemen aynı ışınım için, arkadan soğutma fotovoltaik hücre sıcaklığını soğutulmamış haline kıyasla %1,7 düşürürken, güç de %2,3 artmaktadır. Önden soğutmada ise, çıkış gücünde %3,6'lık bir artış gözlenirken, açık devre voltajı 20,38 V'dan 20,72 V'a çıktığı görülmüştür. Önden soğutma ile hücre sıcaklığında %11,3 oranın önemli bir düşüş gözlenmiş, soğutulmamış haline kıyasla elektrik verimliliğinde %3,6'lık bir artış görülmüş. Soğutulmamış haline kıyasla, çift taraflı soğutma kullanıldığında %18,3'lük bir düşüşle hücre sıcaklığı 7,7 °C'ye inmiş. Bunun bir sonucu olarak, silikon güneş pilleri için sıcaklık katsayısı (%0,065/K) ile tutarlı bir şekilde maksimum güç noktası %5,5 oranında artmış. Bu çalışmada fotovoltaik panelin ön taraftan soğutulması, arka taraftan soğutmaya kıyasla daha etkili olduğu ve fotovoltaik yüzeydeki tozu ve kirleri uzaklaştırarak optik verimliliği arttırabileceği görülmüş. Modül sıcaklığı, önden soğutma kullanılarak %11, arkadan soğutma kullanılarak ise %2'den daha az düşürülmüş. Bu çalışmada, fotovoltaik modülün ön ve arka tarafında su dolaştırıldığında fotovoltaik hücrenin sıcaklığının %18 kadar azaldığı görülmüştür. Bunun bir sonucu olarak, elektrik verimliliği %4 artmıştır. Bu gibi bir çözüm, bir yandan fotovoltaik paneli soğuturken bir yandan da absorbe edilen güneş ışınımından daha yüksek bir enerji dönüşümü elde ederek sıcak su üretmek üzere termal bir sistemi ile birleştirilebileceği söylenmiş (Hachicha ve ark., 2015).

Abdolzadeh ve Ameri yaptıkları bu çalışmada; fotovoltaik hücrelerin fotovoltaik su pompalama sistemlerinin en önemli parçaları oldukları göz önünde bulundurularak, PV gücünü kullanmak ve fotovoltaik su pompalama sistemi verimliliğini artırmak için PV hücre sıcaklığını ve hücre yansımasını mümkün olduğunca düşük tutarak fotovoltaik bir su pompalama sisteminin performansını artırma olasılığını düşünerek hücrelerin üzerine su püskürterek amaçlarına ulaşmaya çalışmışlardır. Sonuçlar geleneksel sistemlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, fotovoltaik hücrelerin üzerine su püskürtülmesi nedeniyle hücrelerin gücünün arttığını göstermiş olup su spreyinin sistem optik

performansını artırdığı ve %3,26 oranında elektrik verimliliğinde artış olduğu tespit edilmiştir (Abdolzadeh ve Ameri, 2009).

Yapılan bir çalışmada hibrit bir PV/T güneş sistemi tasarlanmış, imal edilmiş ve deneysel olarak araştırılmıştır. PV hücrelerini aktif olarak soğutmak için, PV panelinin arkasına düzgün hava akışı dağıtımı için tasarlanmış giriş/çıkış manifoldlu paralel bir kanal dizisi tutturulmuş. Aktif soğutmalı ve aktif soğutmasız deneyler yapılmış. Verimlilik ve sıcaklık arasında doğrusal bir eğilim bulunmuş aktif soğutma olmadan, modülün sıcaklığı oldukça yüksek olduğu ve güneş pillerinden %8-9'luk bir verim elde edebildiği görülmüş. Bununla birlikte, modül aktif soğutma koşulu altında çalıştırıldığında, sıcaklığın önemli ölçüde düştüğü ve güneş pillerinin verimliliğinin %12 ile %14'e yükseldiği görülmüş PV modülünün gerçek sıcaklık profili ile karşılaştırılacak bir ısı transferi simülasyon modeli geliştirilmiş (Şekil 2.18) ve simülasyon ile deneysel sonuçlar arasında tutarlı sonuçlar elde edilmiş (Teo ve ark., 2012).



Şekil 2.18. Fotovoltaik modüller için aktif bir soğutma sistemi (Teo ve ark., 2012)

Normal atom boyutu metrenin 10^{10} biridir. Nanoakışkan metrenin 10^{9} da biridir yani metrenin milyarda biri boyutundadır. Bilimin hızla gelişmesi sonucu ısı geçişi sağlayan akışkanların içerisinde kullanılan partiküller daha küçük boyutları sayesinde daha homojen yapıda akışkan içerisinde dağılması sağlanabilmektedir.

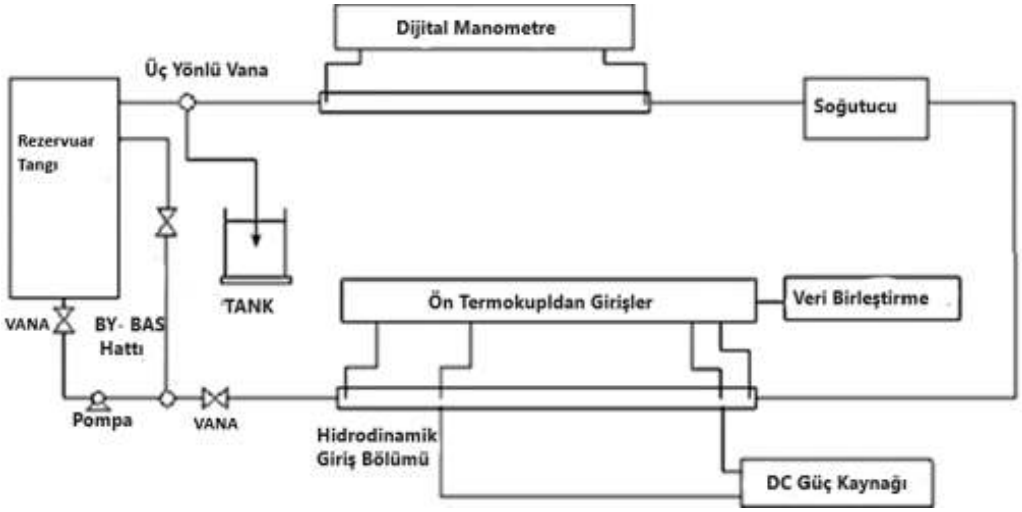
Küçük konsantrasyonlarda bile ısı geçiş katsayısını artırmakta olduça etkilidirler. Nano partiküllerle yapılan çalışmaların amacı yüksek elektriksel verim sağlanmasıdır (Ünverdi, 2016).

Geleneksel ısı transferi akışkanları ile oluşturulan süspansiyonlarda Cu, Au, Ag gibi metal elementler Al_2O_3, CuO, SiO_2,TiO_2 benzer oksit bileşikler kullanılmıştır (Manay, 2012). Yapılan çalışmaların çoğunda nanoakışkanların soğutma sistemlerinde daha iyi ıs absorsiyonu sağladığı ve soğutucunun soğurucu akışkan içerisnde daha hızlı buharlaştığını göstermiştir. Yalıtım malzemelerinde kulanılan nanoteknolojik ürünlerin ısı kaybını %90'lara kadar düşürdüğünü göstermiş. Daha yüksek ısı iletimiyle daha fazla ısı transferi sağladığı görülmüştür. Nanoparçacıkların çok küçük boyutları nedeniyle, kolektör pompasıda, tüplerinde veya akışın gerçekleştiği ekipmanda topaklanma, birikinti, kirlilik vs. gerçekleşmez (Aslan ve Günerhan, 2017).

Daha önce yapılan nanoakışkan konsantrasyon soğutma çalışmalarının aşağıda sırasıyla incelenmesi için birkaç örnek araştırılmıştır.

Yapılan bir çalışmada, konvektif ısı transferini geliştirmek ve akış özelliklerini araştırmak üzere çalışmışlardır. Webb'e (1993) göre ısıyı iyileştirmenin etkili bir yolu akışkanların iletkenliği ve küçük katı parçacıkları akışkanlar içinde askıda tutmaktır. Mikrometre veya milimetre boyutundaki partiküllerin boyutu nedeniyle hızla çöktüklerini, akış kanallarını tıkadıkları, boru hatlarını aşındırdıkları ve kullanımlarının sınırlı olduğunu bildirmişlerdir. Bu sorunların ciddi basınç düşüşlerine neden olduğunu belirtmişlerdir (Li ve Xuan 2002). Lee ve Choi'ye (1996) göre nanopartiküller o kadar küçük olduğu için basınç düşüşünde nanoakışkan saf bir sıvı gibi davrandığı ayrıca nanoakışkanların Reynolds sayısı ve Nusselt sayısının artan hacim fraksiyonu ile arttığını belirtmişlerdir (Li ve Xuan 2002).

Çalışmada elde edilen veriler Nusslet sayısını %2 oranında artığı ve önceki çalışmaları destekleyen veriler elde edilmiştir. Sitem bir rezevuar tankı, bir pompa, bir bas hattı, sıvı toplama tangı bulunan bir ısı transferi test bölümü, bir soğutucu, bir basınç düşüşü içerdiği görülmüştür (Li ve Xuan 2002).



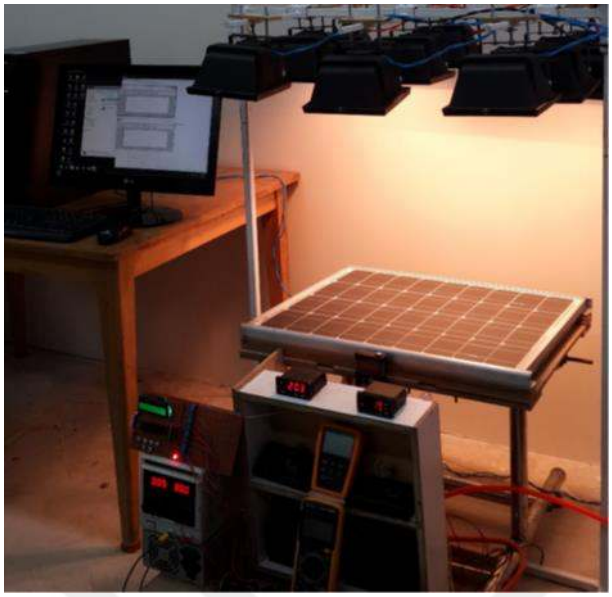
Şekil 2.19. Nanoakışkan için ısı transferi ve akış karakteristiklerinin deneysel sistemi (Li ve Xuan, 2002)

Deneysel çalışmalar sırasında, boru duvar sıcaklıkları, giriş ve çıkış sıcaklıkları numune nanoakışkan, kütle akış hızları ve elektrik gücü girdileri ölçülmüş ve verilerden, nanoakışkanın konvektif ısı transfer katsayısı aşağıdaki (2.22) gibi hesaplanmıştır (Li ve Xuan 2002).

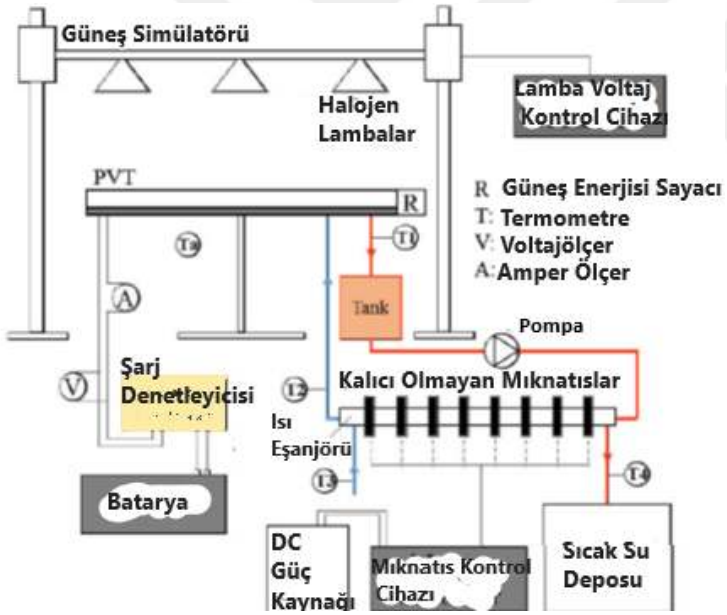
$$h_{nf} = \frac{q}{T_W - T_f} \tag{2.22}$$

q, ısı akışı, T_W ortalama boru duvar sıcaklığı, T_f giriş ve çıkış sıcaklıklarının toplamının yarısı kadar sıvının ortalama kütle sıcaklığı olarak belirtilmiş. Bu çalışmada %0.3, %0.5, % 0.8, %1.0, %1.2, %1,5 ve %2,0 hacimsel orana sahip 100 nm partikül çapında Cu nanopartaküler saf suya eklenerek hazırlanmıştır. Sonuçlar konvektif ısı transfer katsayısının nanoakışanın akış hızı ve hacimsel oranları ile değiştiğini göstermiş ve termal iletkenliği geliştirme oranı %60 bulunmuştur (Li ve Xuan, 2002).

Ghadiri ve arkadaşları yaptıları çalışmada, soğutucu olarak kullanılacak Fe_3O_4-su nanoakışkanın PV/T sistemi üzerindeki genel verimliliği deneysel olarak incelemişlerdir. Ağırlıkça %1 ve %3 konsantrasyonlara sahip bir feroferik oksit (Fe_3O_4-su). Deneyler iki sabit güneş radyasyonu (1100 W/m^2 ve 600 W/m^2) altında iç mekan koşullarında bir güneş simülatörü kullanarak gerçekleştirilir Deneysel PV/T kurulumu (Resim 2.4 ve Şekil 2.20) iki adet 40 W monokristal silikon fotovoltaik modül ve bu PV modüllerinin her biri 36 güneş hücresinden oluşur. (Ghadiri ve ark., 2015).



Resim 2.4. Deney düzeneğinin görünümü (Ghadiri ve ark., 2015)



Şekil 2.20. Deney düzeneğinin diyagramı (Ghadiri ve ark., 2015)

Fotovoltaik ünitelerden biri bir kollektör ile donatılmıştır. İlkin damıtılmış su (baz sıvı) kullanımı ile nano akışkan kullanımı karşılaştırıldığında elektrik güç gelişimi %17, termal enerji kazanımı %33 olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, Düşük Konsantrasyonlu Fotovoltaik-Termal (DKPV/T) sistemler için yeni bir soğutma tekniği olan nanoakışkanlı bir mikro kanallı ısı emici kullanılarak PV/T sistemini soğutmak için çalışmışlardır. Bu çalışmada soğutma ortamı olarak farklı hacimsel oranlara sahip Al2O3-su ve SiC-su nanoakışkanları kullanılmıştır.

Soğutma kütle akış hızının ve nanoparçacıkların hacimsel oranlarının DKPV/T sisteminin performansı üzerindeki etkisi, farklı konsantrasyon oranı değerlerinde araştırılmıştır. Mikrokanallı ısı alıcının iki fazlı akış modelinin termo-akışkan dinamiği ile birleştirilmiş fotovoltaik katmanlar için bir termal model içeren kapsamlı bir model geliştirilmiştir. Model, güneş pili sıcaklığı, elektriksel ve termal verimlilik gibi performans parametrelerini tahmin etmek için sayısal olarak simüle edilmiştir. Sonuçlar, suya kıyasla nanoakışkanlar kullanılarak özellikle yüksek konsantrasyon oranında güneş pili sıcaklığında önemli bir azalma elde edildiğini göstermektedir. SiC-su nanoakışkanının kullanılması, hücre sıcaklığının azalmasında Al2O3-su nanoakışkanına göre daha etkili olduğu görülmüştür. Nanopartiküllerin hacim fraksiyonunu artırarak, hem SiC-su hem de Al2O3-su nanoakışkanları, hücre sıcaklığında önemli bir azalma sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak, nanoakışkanların kullanımı, özellikle su kullanımına göre daha düşük Re ve daha yüksek konsantrasyon oranlarında daha yüksek güneş pili elektrik verimliliği sağladığı gözlemlenmiştir. Nanoakışkanların termal verim üzerindeki etkisi, konsantrasyon oranına göre değiştiği, hem Re sayısındaki hem de nanoparçacık hacim fraksiyonundaki artışla sürtünme gücü arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, özellikle güneş pili sıcaklığının 38 °C'ye düştüğü ve elektriksel verimliliğin %19'a kadar arttığı, termal enerji kazanımı %62 olduğu ve yüksek güneş konsantrasyon oranlarında nanoakışkan kullanımının etkili bir soğutma tekniği olduğunu göstermiştir (Radwan ve ark., 2016).

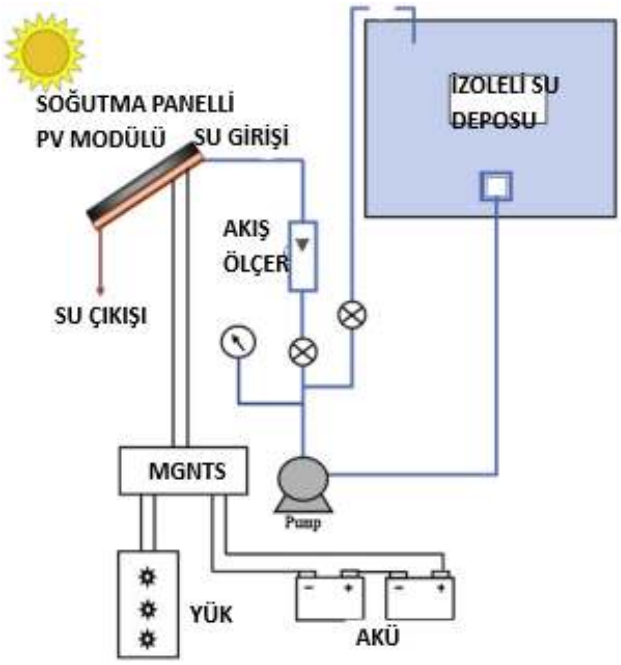
Çalışmalarda daha çok fotovoltaik sistemlerin uygun düşük sıcaklıkta çalışmasını sağlamak için hava soğutma, su soğutma gibi teknikler kullanılır. Avantaj durumundaki hibrit PV/T sistemler ile ilgili geçmiş çalışmalarda PV modüllerden elde edilen termal enerji, su ve hava soğutma gibi düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılabilmektedir (Altınışık, 2016).

Yapılan uygulamalarda PV ve PV/T panellerinin konfigürasyon değişikliğine gidilerek kanat ekleme, yüzey pürüzlüğü ekleme, sırlı, sızsız, tek ve çift yüzeyli modüller kullanılarak verimsel artış gözlemlenebilir. Benzer uygulamalar aşağıda verilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, Hibrit PV su soğutmalı sistemin performansını incelemek için EES yazılımı kullanılarak sayısal bir model (elektrik ve termal) geliştirilmişlerdir. Model, performansını etkileyen çeşitli elektriksel ve termal parametreleri tahmin eder. Modülün arka yüzeyine bir ısı eşanjörü (soğutma paneli) dahil edilerek soğutulmasının etkisi de deneysel olarak araştırılmıştır. PV modülün performansı, çalışma sıcaklığına bağlıdır. Normalde panel tarafından emilen enerjinin çoğu kaybedilen ve hiçbir değer

sağlamayan ısıya dönüştürülür. Sayısal modelin sonuçları, Suudi Arabistan'ın Dhahran iklimi için yapılan deneysel ölçümlerle uyumludur. Aktif su soğutması ile modül sıcaklığı önemli ölçüde düştüğü görülmüştür. Yakalaşık %20'ye düşmüş ve PV panel verimliliğinde %9'luk bir artış sağlanmıştır (Bahaidarah ve ark., 2013).

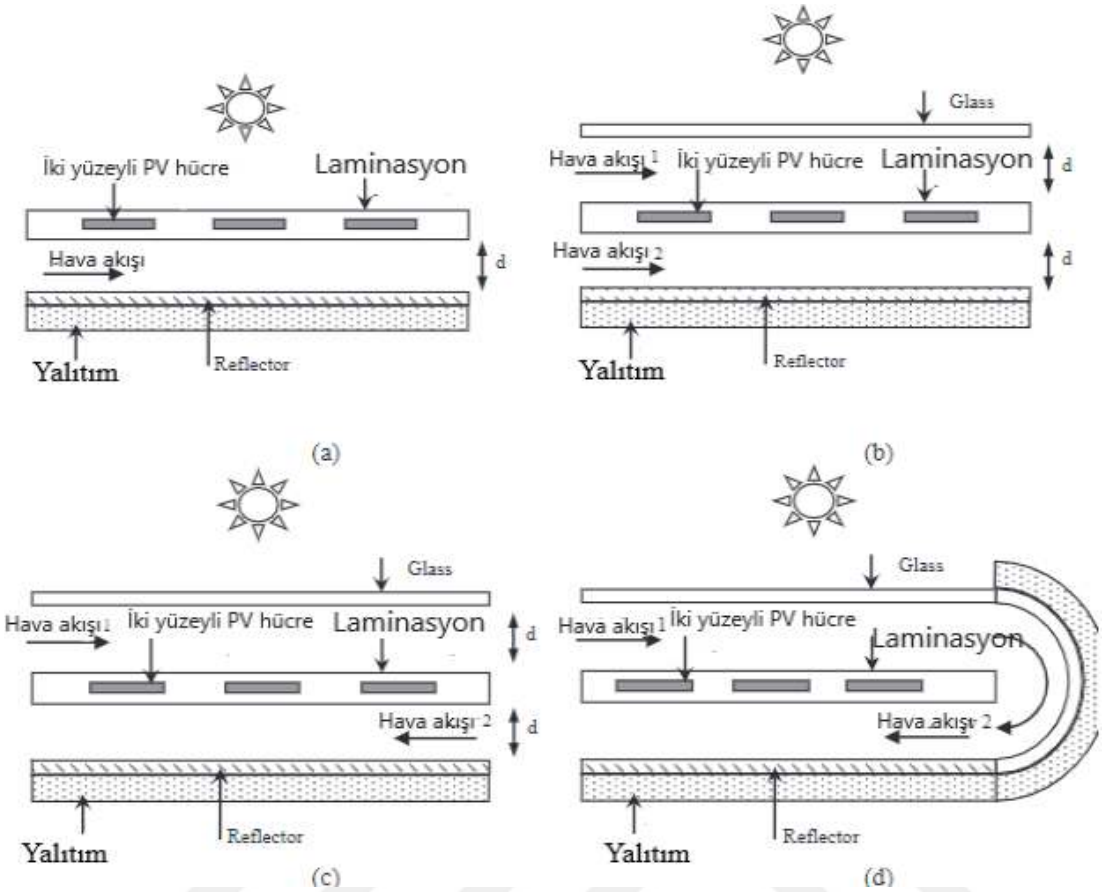
Resim 2.5. Deney düzeneğinin önden görünümü (Bahaidarah ve ark., 2013)



Şekil 2.21. Deney düzeneğinin şematik diyagramı (Bahaidarah ve ark., 2013)

Appelbauma göre klasik PV modüllerden ayrılan, çift yüzeyli PV modüllerinde hem ön ve hem de arka taraflarda PV hücresi vardır. Modülün alt tarafına gelen total ışınım, etraftan gelen ve yarı saydam modülden geçen ışınımın kombinasyonu olduğu, bu açıdan çift yüzeyli modül normal bir PV ile eşit oranda Silisyum harcanarak ve daha az yer kaplayarak normal bir hücreden daha iyi bir performansla enerji sağladığını bildirmiştir. Çift yüzeyli modüllerin verimi tek yüzeyli modüller göre modülün altındaki güneş ışınımının kalitesi ve dönüşüm verimliliğine bağlıdır. Çift yüzeyli PV modüllerde arka yüzey, daha az kızılötesi ışınım absorbe ettiğinden az ısınır bunun sonucunda daha iyi elektriksel verimlilikte çalışır (Sancar ve ark., 2019).

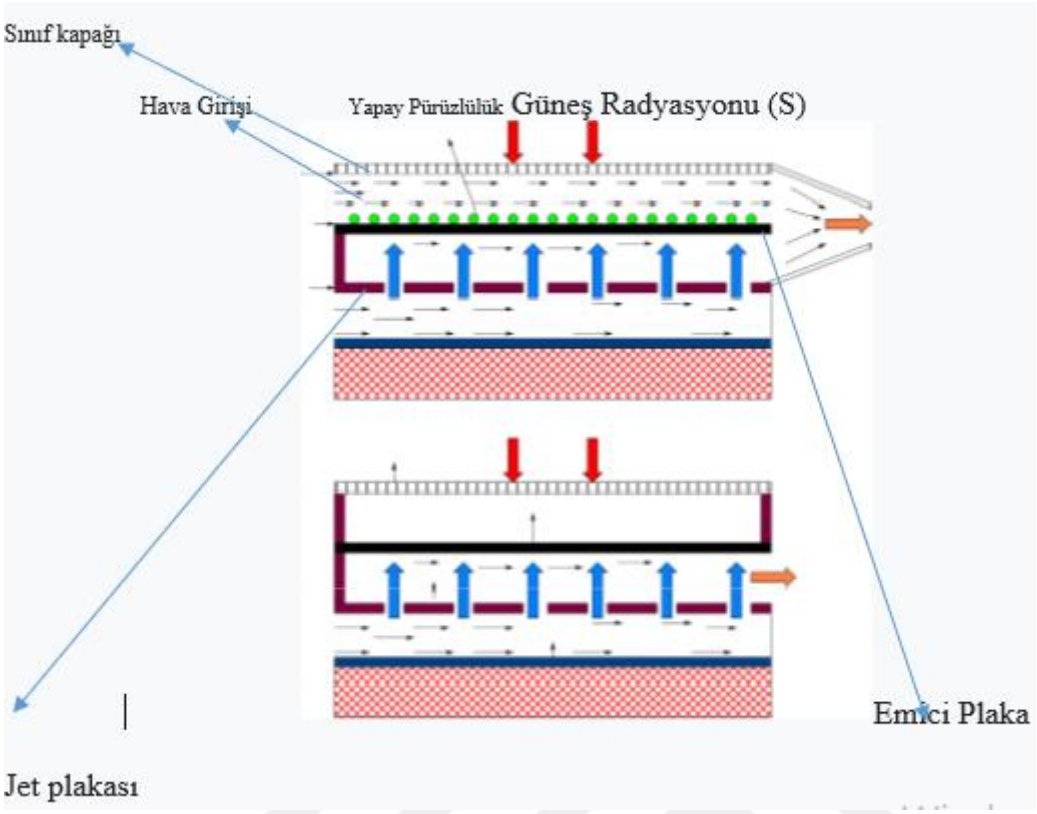
Bu çalışmada; alt kanalda çift geçişli ve dikey kanatçıklı bir PV/T güneş enerjili hava ısıtıcısını değerlendirmişler. Kanatlar, ısı transfer hızını ve verimini arttırmak için hava akış yönüne dik olarak düzenlenmiştir. Hava, hava ısıtıcısının üst kanalına girer ve ardından ters yönde alt kanala aktığı tespit edilmiş. Üst cam kapak, fotovoltaik modülün üst tabakası, soğurucu yüzey, arka plaka ve üst ve alt kolonlardaki hava için enerji dengeleri dahil olmak üzere kapsamlı bir kararlı durum analizi yapılmıştır. Tasarım, iklim ve çalışma parametrelerinin etkileri, çıkış hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, termal (enerji) verim, elektriksel verim ve toplam eşdeğer termal verim üzerinde değerlendirilmiştir. PV/T toplayıcı için termal performans karakteristik eğrileri de geliştirilmiştir. Alt hava kanalındaki kanatçıkların varlığının, hava kanallarının derinliğinin, akış hızının, giriş havası sıcaklığının ve paketleme faktörünün termal ve elektriksel verimler üzerindeki etkileri değerlendirilmiş. Genişletilmiş kanatçık alanı, hücre sıcaklığını 82 °C'den 66 °C'ye önemli ölçüde düşürür. Yüksek paketleme faktörlerinin birim toplayıcı alanı başına daha fazla elektrik çıktısı üretilmesine yol açtığı ve hücre sıcaklığının kontrol edilmesine yardımcı olduğu için faydalı olduğu kabul edilerek rapor edilir. Kanat eklenmesi, termal ve elektriksel verimi sırayla %15.5 ve %10.5 arttırmıştır. En yüksek termal çıkış 0.12 kg/s hava debisinde olmuştur (Kumar ve Rosen, 2011).



Şekil 2.22. Tek geçişli b) Paralel çift geçişli c) Çift geçişli karşı akışlı d) Çift geçişli geri dönüşlü (Ooshaksaraei ve ark., 2017)

Matheswaran ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmalarında, Tek Geçişli Çift Kanallı Jet Plakalı Güneş Enerjili Hava Isıtıcısının bir ekserji verimliliği hesaplanmış ve analitik olarak incelenmiş, m = 0,002–0,023 kg/s, farklı akış hızlarının ve dj/dh = 0.043-0.109 farklı jet plakadaki delik çaplarının verime etkisi hesaplanmış. Hem faydalı enerji kazancı hem de müteakip pompalama gücü gereksinimi göz önüne alındığında güneş enerjili hava ısıtıcılarının genel performansı, ekserji analizi ile etkin bir şekilde değerlendirilir. TGTKJPlGEHI ile karşılaştırıldığında etkin verimliliği %21,2 ve ekserji verimliliğini %22,4 artırmaktadır. 0.065-0.0035 kg/s kütle akış hızı ve %4.36'lık maksimum ekserji verimi sağlar.

İstenilen sıcaklık artışını elde etmek için jet plakası tasarım parametrelerinin optimum değerlerini belirlemek için hazırlanmıştır. Analitik sonuçlar kullanılarak, Re sayısı ve jet plakası tasarım değişkenleri açısından ekserji verimliliğini tahmin etmek için korelasyonlar geliştirilmiştir (Matheswaran ve ark., 2018).



Şekil 2.23. (a) TGTKJPlGEHI solar hava ısıtıcısı, (b) TGTKJPlGEHI güneş hava ısıtıcısı, (c)Soğurucu plaka (d) Jet plakasının şematik kesit görünümü (Matheswaran ve ark., 2018)

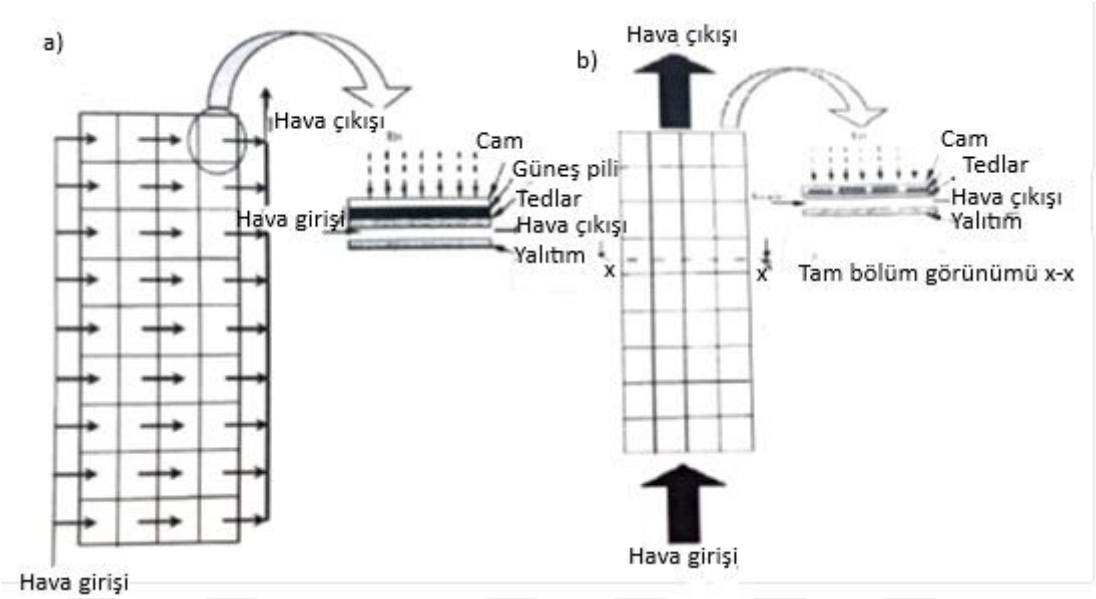
Garg ve Datta yapmış oldukları çalışmalarında, hem deneysel hem de teorik olarak kanat tipi bir hava ısıtıcısını kullanarak hava kanalındaki ısı transferini artırmak için pratik bir yöntem denemişlerdir. Sisteme kanatlar, tek camlı konvansiyonel kanal tipi hava ısıtıcısının üst plakası ile eklenmiştir. Deneyler, iki farklı kütle akış hızı için iki güneşli günde yapılmıştır. Kanatlı havalı ısıtıcının performansını incelemek için bir geçici model oluşturulur. Isı transfer katsayıları ayarlanarak teorik veriler deneysel sonuçlara uyarlanmıştır. Teorik tahminler ve deneysel değerler arasında uyumlu veriler elde edilmiştir. Kanatlar alt metalik plakaya veya hem üst hem de alt plakalara yerleştirildiğinde sistemin performansını tahmin etmek için elde edilen ısı transfer katsayısı değerleri kullanılmıştır. Verimliliğin kanatçık yoğunluğuna bağımlılığı incelenmiş ve verim artırmada etkili olduğu görülmüştür. Fotovoltaik modüle monte edilen yüzey artırıcı düz örgülü kolektör içeren sistem PV modülün absorbe verimliliğini artırmıştır (Garg ve Datta 1989).

Dubey ve ark. (2009) kullanılacak en az su miktarıyla güneş pillerinin ısınmasını engellemek için su tabanlı bir soğutma sistemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller

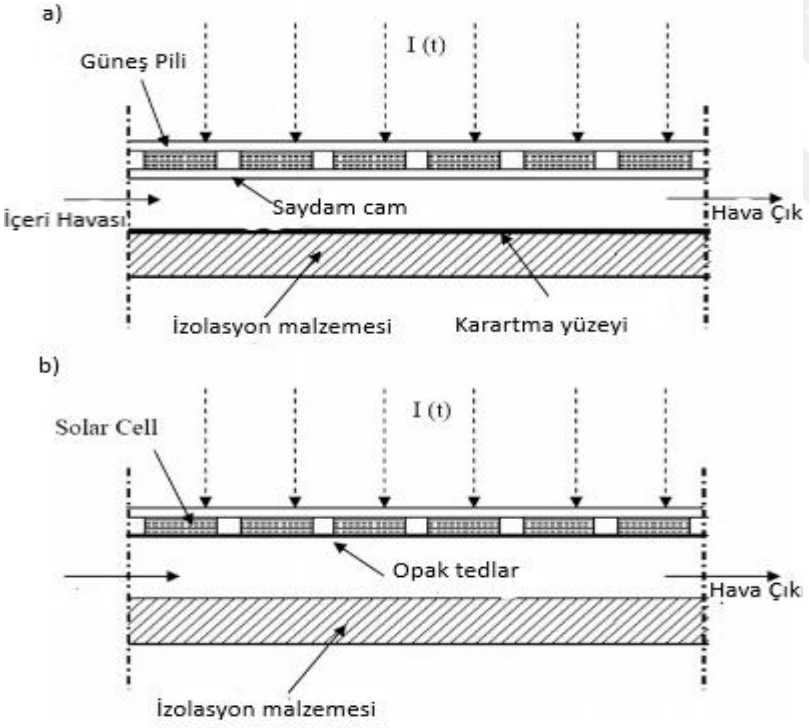
deney düzeneğinde kullanılarak hedeflenen enerji verimliliği gözlemlenmiştir ve farklı konfigürasyonda PV/T hava kollektörlü sistemin verimliliği incelenmiştir. PV modülün genel elektrik verimliliği, PV modülü ile ilişkili termal enerjiyi çekerek PV modülünün sıcaklığı düşürülerek arttırılabilir. Bu iletişimde, iklim ve tasarım parametrelerinin bir fonksiyonu olarak akışlı ve akışsız PV modülünün elektriksel verimliliği için analitik ifade geliştirmek için bir girişimde bulunulmuştur. Bu çalışma için PV modüllerinin dört farklı konfigürasyonu ele alınmıştır.

- Kanallı camdan cama PV modülü
- Kanalsız camdan cama PV modülü
- Kanallı camdan tedlarlı PV modülüne
- Kanalsız camdan tedlarlı PV modülüne

Camdan cama ve camdan tedlara olmak üzere farklı konfigürasyonlardaki fotovoltaik modülleri incelemiş ve iklimsel parametrelerle kollektör tasarım parametrelerinin bir fonksiyonu olarak hava akışlı ve hava akışsız durumlardaki elektrik verimliliğine yönelik analitik denklemler geliştirilmiştir. Delhi'deki Hindistan Teknoloji Enstitüsü'nde gerçekleştirilen deneylerde, camdan cama tipin daha yüksek bir besleme havası sıcaklığı ve elektrik verimliliği sağlayabildiği bulunmuştur. Bunun sebebi, camdan cama tipteki modülde kapatılmamış alana düşen ışınımın ön kaplama yoluyla iletiliyor olmasıdır. Kanallı(Şekil 2.24) ve kanalsız yıllık ortalama fotovoltaik verimliliği sırasıyla %10,4 ile %9,75 olarak saptanmış olup, fark yaklaşık %0,7'dir. Camdan cama (Şekil 2.25) ile camdan tedlara tiplerindeki fotovoltaik verim yüzdeleri arasındaki farkları, sırasıyla kanallı olanda %0,24 ve kanalsız olanda %0,086'dır.



Şekil 2.24. a) Kare kanallı b) Düz kanallı kollektör (Agrawal ve Tiwari, 2013)



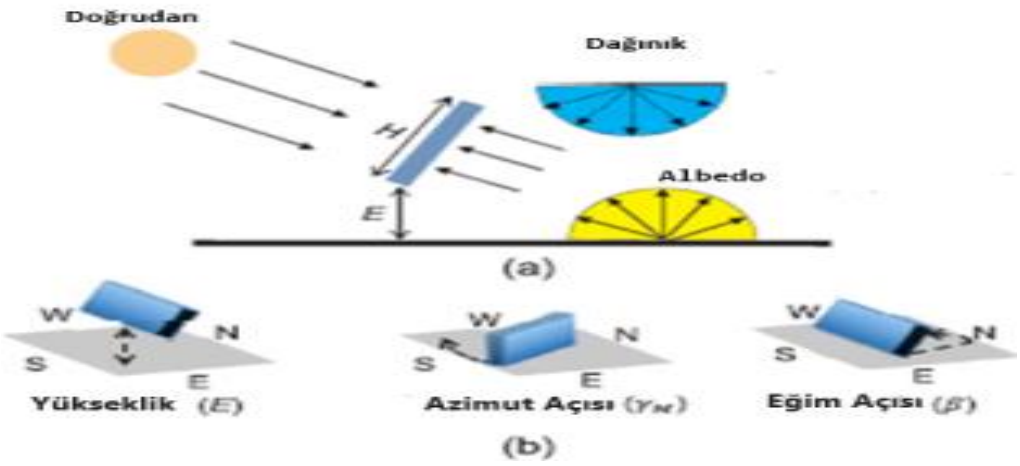
Şekil 2.25. Camdan a) Cama ve b) Mat yüzeye (Dubey ve ark., 2009)

Kamthania ve arkadaşları çalışmalarında, alan ısıtma için yarı şeffaf PV/T çift geçişli cephenin performans değerlendirmesini sunmuşlardır. Termal model, yarı-kararlı durum altında önerilen hibrit fotovoltaik termal çift geçişli cephenin enerji dengesi denklemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Hindistan, Yeni Delhi'nin bileşik iklimi için

sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Hibrit fotovoltaik termal çift geçişli cephe için yıllık enerji ve ekserji kazancını hesaplamak için bir analiz yapılmıştır. Sayısal sonuçlara göre yıllık termal ve elektrik enerjisinin sırasıyla 480.81 kWh ve 469.87 kWh olduğu görülmüştür. Sistemin yıllık toplam ısıl enerjisi 1729,84 kWh olarak hesaplanmıştır. Ayrıca tipik bir kış günü için oda hava sıcaklığının ortam hava sıcaklığından 5-6 °C arttığı gözlemlenmiştir (Kamthania ve ark., 2011).

Sopian ve ark. (1996) yapmış oldukları çalışmada, çalışma akışkanı hava olan tek geçişli ve çift geçişli kombine fotovoltaik termal kollektörlerin performansı, kararlı durum modelleri için enerji tasarrufu analiz edilmişlerdir. Hem tek geçişli hem de çift geçişli kollektörlerin diferansiyel denklemleri için kapalı form çözümleri elde edilmiştir. İki tip kombine fotovoltaik termal kollektörün performansları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar, çift geçişli fotovoltaik termal toplayıcı olan yeni tasarımın üstün performansa sahip olduğunu göstermiştir.

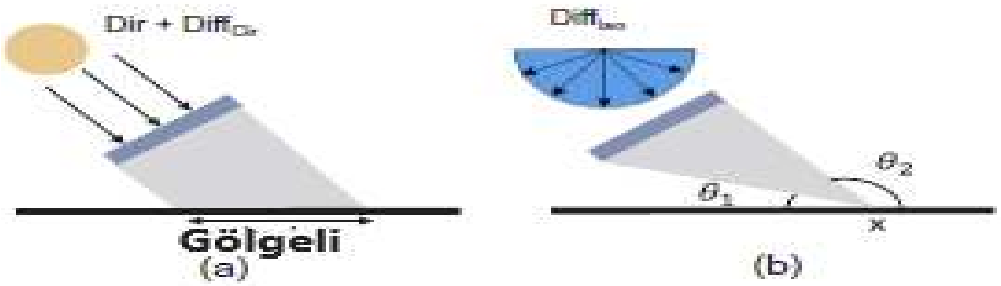
Yapılan bir çalışmada, çift geçişli güneş modülleri optimizasyonunu araştırmışlardır. Yapılan araştırmaya göre 0,25'lik düşük bir albedo değeri ile, yere monte edilmiş çift taraflı modüllerin toplam kazancının dünya çapında %10'dan az olduğunu, bu albedo değeri 0,5'e çıkarıldığında ve modüller yerden 0,5 m yükseğe yerleştirildiğinde çift taraflı kazancın %30'a çıkabileceği bildirilmiştir (Sun ve ark., 2018).



Şekil 2.26. (a) Doğrudan, dağınık ve soğurma ile iki yüzeyli bir güneş modülünün şeması yerden yansıyan albedo ışığı. Bu ışınım bileşenlerini hesaplamak için kullanılan denklemler burada etiketlenir. E ve H, nesnenin yüksekliğini (kağıtta 1m olarak ayarlanmıştır) belirtir. (b) İki yüzeyliyi optimize etmek için bu yazıda tartışılan üç parametre modüller (Sun ve ark., 2018)

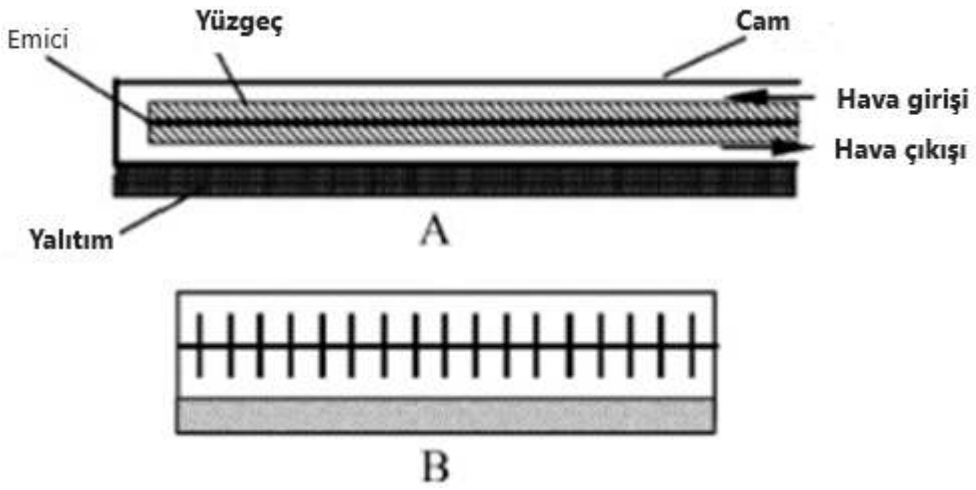
Çalışmanın iki yüzeyli güneş modülünün kapsamlı modellemesi olduğu; Asya, Afrika, Avrupa ve Kuzey Amerika'dan gelen verilerle yapılan ayrıntılı ve sistematik bir karşılaştırmayla doğrulandığı için küresel çapta bir çalışma olduğu söylenmiştir. Geliştirilen optoelektro-termal çerçeve ile herhangi bir konum ve zaman için gelişmiş ışınım model birleştirilerek dakika dakika güneş ışınımı verileri hesaplanabilmektedir. Hesaplanan ışınım, ışık toplama modeline girdi olarak kullanılarak, çift taraflı bir güneş modülünün hem ön hem de arka yüzeyine çarpan doğrudan, dağınık ve albedo ışığın katkısı fiziksel ve geometrik olarak tahmin edilmiş. Modülün kendi gölgesinin etkisi de tamamen hesaba katılarak absorbe edilen ışığı yıllık elektrik verimine dönüştürldüğü bildirilmektedir. Yapay zemin reflektörleri ile albedo 0,5'e çıkarılarak ve kendi gölgesini azaltmak için modülleri zemin yüzeyinden 1 m yukarıya kurarak, çift taraflı kazanç %30'a kadar çıkarmışlardır. Veriler, çift taraflı modüllerin finansal açıadan daha uygulanabilir bir hale gelebilmesi için uygun maliyetli zemin reflektörlerinin ve modül yükseltme şemalarının geliştirilmesine yönelik gelecekteki çalışmaları teşvik edeceği bildirilmiştir (Sun ve ark., 2018).

Çift taraflı güneş modüllerinin gölgesinin optimizasyon üzerinde büyük bir etkisi olduğunu saptanmıştır. Analizlere göre, kendi gölgesinde kalma durumunun yüksek olduğu yüksek albedo ve alçak yere montaj durumunda, çift taraflı Kuzey-Güney konfigürasyonunun kendi gölgesinde daha fazla albedo kaybına maruz kalacağından dolayı dikey çift taraflı Doğu-Batı konfigürasyonunu daha üstün olduğu bulunmuş olup verilen örnekte, 0,5 albedo ve sıfır yükseklikteki bir durum için, dikey Çift Taraflı Doğu-Batı konfigürasyonu, 30° enleminin altında çift taraflı Kuzey-Güney konfigürasyonuna kıyasla %15 kadar daha başarılı olduğu, 30° enlemin altında bunun tersi olduğu bulunmuştur. Buna karşılık, albedo'nun 0,25'e düştüğünde, yani kendi gölgesi daha az olduğunda, çift taraflı Doğu-Batı konfigürasyonuna kıyasla çift taraflı Kuzey-Güney kurulum dünya genelinde daha başarılı olduğu tespit edilmiştir (Sun ve ark., 2018).



Şekil 2.27. Albedo ışığının (a) doğrudan (Dir) ve dairesel güneş ışığının kendi kendine gölgelenmesi($Diff_{Cir}$) ve (b) izotropik dağınık ışık (Diffiso) (Sun ve ark., 2018)

Naphon yaptığı çalışmada, boyuna kanatçıklara sahip çift geçişli düz plaka güneş enerjili hava ısıtıcısının performansı ve entropi üretimini sayısal olarak incelemiştir. Oluşturulan matematiksel modeller ile enerjinin korunum denklemlerinden türetilen çift geçişli düz plaka güneş hava ısıtıcısının ısı transfer özelliklerini tanımlamıştır. Tahminler, 0,02 ile 0,1 kg/s arasında değişen hava kütle akış hızında yapılmıştır. Çalışmada Re sayısı arttıkça ısı transfer katsayısının arttığı böylece artan akış hızı ile PV modülünün termal verimliliğinin arttığını gösterilmiştir. Çalışma akışkanının giriş koşullarının ve güneş enerjili hava ısıtıcısının boyutunun ısı transfer özellikleri, performansı ve entropi üretimi üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Aktif soğutma ile modülün sıcaklığı her 100 W/m^2 güneş ışınımı artışı için 1,4 C arttığı gözlemlenmiştir (Naphon, 2005).



Şekil 2.28. Güneş enerjili hava ısıtıcısının şematik diyagramı (Naphon, 2005)

Cox ve Raghuraman'a (1985) göre kollektör alanın %65'inden fazlasını kaplayan PV hücreleri için soğurucu ızgaralı arka hücrenin PV/T kollektörlerin etkinliklerini

belirlemek için bir çok alanda uygulama yeri bulan düz plakalı PV/T toplayıcılarının bilgisayar simülasyonuna dayanan bu çalışma, tek kristal silikon PV hücreleri kullanarak hava tipi toplayıcılarla güneş emilimini artırmayı ve kızıl ötesi yayılımını azaltmayı hedeflemişlerdir.

Simülasyonların sonuçları şu şekilde özetlenebilir; toplam kollektör alanının yaklaşık % 65'inden fazlasını kaplayan PV hücreleri için, soğurucu, ızgaralı arka hücre ile kullanıldığında termal verimliliğin azaltığı görülmüş. Simülasyon sonuçları sisteme hava bazlı kollektörlerin soğurucu ızgaralı kolektölerdan daha iyi termal verimlilik kazandırdığı görülmüştür.

Chamoli ve ark., (2015) Taguchi - Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemini kullanarak bir ısı değiştiricisinde kullanılan dairesel şekilli türbülatörlerin farklı geometrik özelliklerinin ve farklı deney parametrelerinin performansa olan etkilerini optimize etmişlerdir. Faktörel dizayn yöntemi ile elde edilen optimum dizilimi doğrulamak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları ile bir ısı değiştiricinin performansının Taguchi-GRA tekniği ile optimize edilebileceğini göstermişlerdir.

Bopche ve Tandale'ye (2009) göre bir hava ısıtıcılı kanal içerisinde kullanılan yutucu yüzeye, özel olarak tasarlanmış U şekilli türbülatörler yerleştirerek yapay pürüzlülüğün ısı transferine ve sürtünme faktörüne olan etkilerini incelemişlerdir. Kanalda kullanılan üç duvarı yalıtmışlar pürüzlü yüzeye ise hava akışkanlı güneş kollektörlerine benzer sınır şartlarında ısı akısı uygulamışlardır. Farklı deney parametreleri için deneyleri tekrarlayarak yutucu yüzeyinde herhangi bir pürüz bulunmayan düz yüzeyli deney düzeneği sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Üzerinde pürüzler bulunan sistemden elde edilen ısı transferi değerlerinin düz yüzeyli sisteme göre 2,82 kat daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Sisteme etki eden güneş pili çeşidinin sistem verimliliğine etkisi ile ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir. Konu ile ilgili yapılan bütün çalışmalarda PV hücresine ulaşan güneş radyasyonun büyük bir bölümü elektriğe değil, hücre sıcaklığını artıran termal enerjiye dönüştürülür. Bu nedenle en azından elektriğe dönüştürülen kısımdan sistemin en yüksek verimi elde etmesi için kullanılan yarı iletken teknolojisinin özelliklerine göre en uygun olanını kullanılmaktır. Kimi güneş pili çesiti performansı sıcak iklimlerde kötü etkilenir kiminin ışık soğurma özellkleri daha üstündür. Konu ile ilgili çalışmaları inceleyecek olursak;

Skoplaki ve Palyvos'a (2009) göre PV modüllerdeki sıcaklık artışları ani verimlilik kayıplarına yol açar ve uzun vadeli bozulmayı hızlandırabilir. Yüksek sıcaklıklarda çalıştırılan silikon PV modülleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede daha düşük verimlilik sergiler. PV tarafından kazanılan güneş ısısı oranı, kaybedilen ısı oranından daha yüksek olduğunda sıcaklık yükselmesi kaçınılmazdır. Kristal silikon hücre sıcaklığındaki 1K'lık bir artış, dönüşüm verimliliğini % 0,08 oranında azaltır ve güç çıkışını % 0,45 oranında azaltır. 15 K'lık bir sıcaklık artışı bu nedenle güç çıkışını yaklaşık % 7 azaltır (Browne ve ark., 2015).

Üretilen hücre malzemesine göre verim iyileştirmede önemli bir yöntemdir. Çünkü güneş hücrelerinin üretildikleri yöntemlere malzeme iletkenliğini etkilediğinden maksimum verim oranları değişiklik göstermektedir.

Başaran ve arkadaşlarına göre; Monokristal silikon hücre oluşumunda 'Czochralsi Metodu' üretim sağlanılır. Bu teknikte silisyum dioksit yüsek sıcaklıkta eritileceği alana konulur akabinde ufak tek kısımdan oluşan kristal eriyik halde bulunan malzemenin içine daldırılarak azar azar üst tarafa doğru soğuyan alana itilerek üretimi gerçekleştirilir. Üretilmiş malzeme 0.2 mm kalınlıklarında kesilerek hücre yapımı gerçekleştirilir. %24 orana kadar verimlilik göstermektedirler. Polikristal hücre üretimi monokristal hücre üretim tekniği ile aynıdır. Aynı şekilde 0.2 mm kalınlıkta kesilir. Maksimum verimlilikleri %17.4 tür (Karakaya ve Şen, 2019).

Green'e göre (2017) Bakır indiyum galyum ve selenit elementlerinden oluşmuş ince yapıda esnek bir fotovoltaik paneldir (Karakaya ve Şen, 2019).

Verimlilikleri % 15.2 ile % 22.8 arasında değişkenlik göstermektedir (Kamada ve ark., 2016). Akım toplamak için ön veya arka elektrotlarla birlikte cam veya plastik sırt üzerine ince bir bakır, indium, galyum ve selenit tabakası yerleştirilerek üretilir (Pamukçu, 2018).

Yapılan bir çalışmada sıcaklığın Kıbrısta kurulu şebeke bağlantılı PV üzerindeki etkisi araştırılmış ve sıcaklığın DC üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Geçmişte yapılan çalışmaların çoğu c-si PV'nin performansının sıcaklık ile azaldığını doğruladığı bildirilmiş bunun sebebinin ise Si teknolojisin 900 nm'den daha küçük dalga boylarında sınırlı bir spektral tepkiye sahip olması gösterilmiş. Gottscholg ve ark., (2003) göre çok kavşaklı teknolojilerin tek kavşaklılarla karşılaştırışldığında daha geniş spektral tepkisi olmasına rağmen STK koşullarında sapan spektral varyanslarında bu teknolojiler için kısa devre akımında tek kavşakta daha yüksek düşüşler olabiliceği belirtilmetedir. İlk olarak

üreticinin MGN güç sıcaklık katsayıları ve ikinci olarak bir dış mekan tekniği kullanılarak değerlendirilen sıcaklık katsayıları kullanılarak dört yıllık değerlendirme süresi boyunca her sistem için termal kayıplar hesaplanmış. Yıllık DC enerji veriminde en yüksek ısıl kayıplar mono ve multi-c-Si teknolojileri için kaydedilirken, ince film teknolojileri daha düşük sıcaklık katsayıları nedeniyle daha düşük ısıl kayıplar sergilediği belirtilmiştir (Makrides ve ark., 2012).

Sakhr ve arkadaşları, Malezya şartlarında güneşli ve bulutlu günlerin farklı iklim koşulları altında PV/T sisteminin cıkış suyu sıcaklığı, termal sıcaklık, elektrik verimliliği ve sistem verimliliği parametrelerini deneysel olarak incelemişlerdir. Güneşli ve bulutlu havalarda elde edilen sonucları analiz ederek, güneşli günlerin bulutlu günlere oranla daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Sultan ve ark., 2013).

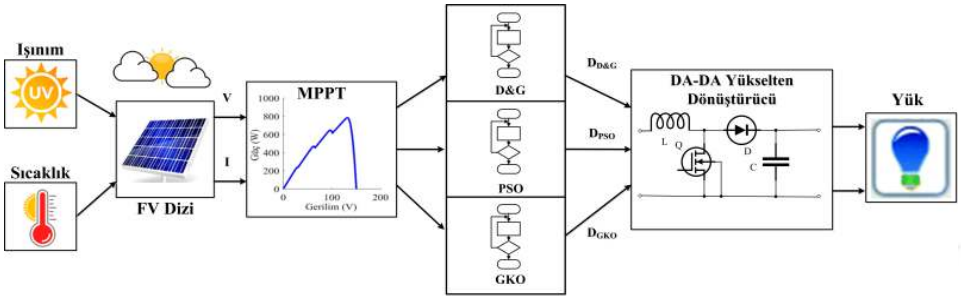
Güneş ışğının sistemlerde enerjiye dönüştürlmesi için kullanıldığında her zaman ve her yerde olmaması dolaysıyla, sistemlerinde her zaman enerjiye ihtiyaç duyması nedeniyle batarya depolama sistemleri ya da şarj aletlerin güneş ile birlikte zaruri durumlarda kullanımı gün geçtikçe daha da talep görmektedir (Çetinbaş ve ark., 2019).

Bu nedenle diğer verim artırma tekniği ise şarj sistemlerini daha verimli hale getirmek için kullanılan teknikler geliştirilmiştir. Bu noktada MGN takip tekniği; güneş paneli hücreleri üzerinde anlık ve değişken olarak oluşan enerji üretimini özel algoritmalar ile anlık takip ederek hücrelere sunulacak en iyi yükü seçmek ve bu yolla her zaman en yüksek verimi almayı amaçlamak olmuştur. MGNT algoritmalarının uygulamalarında PV sistemlerin karşılaştığı en büyük problemlerden biri ise kısmi gölgelenme durumudur.

Yapılan bir çalışmada farklı kısmi gölgeleme şartları altında MGN'yi bulan MGNTS tekniklerinden "Tebe Tırmanma Algoritması yönteminin kullanılarak MGN'ti daha pratik bir şekilde bulmada başarılı olduğu tespit edilmiş ve sonuçlar PSIM yazılımına bağlı MATLAB/SIMULINK ortamında smile edilmiştir. Yerel minimum arama ile global MGN'ye ulaşır. Uygulamanın adım boyutu çok küçük olduğu için MGN'yi arama süresi ve MGN etrafındaki salınımlarını önemli ölçüde azatltığı tespit edilmiş. Böylelikle izleme verimliliği ve sistem verimliliği iyleştirilmiş (Paranthagan ve ark., 2015).

Çalışmada kısmi gölgelenme altında DC-DC dönüştürücüleri kullanarak üç farklı algoritma tekniği olan ; "Değiştir ve Gözle (D&G)", "Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO)" *ve "*Guguk Kuşu Optimizasyon (GKO)" ile Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) yapılmıştır. Sistem tasarımında MATLAB/SIMULINK programı kullanılmıştır (Gümüş ve Demirtaş, 2021).

PV kollektörlerinde kazanılan enerjinin en yüksek verimle yüke transferi sırasında maksimum güç sistemi devreye alınması gerekmektedir. Maksimum güç noktası takibi algoritmalarının devreye girdiğinde I güç elektroniği ekipmanları ile PV panellerden elde edilen enerjinin mikro denetleyiciler yardımıyla yüke transferi gerçekleştrilir (Colak ve ark., 2014).



Şekil 2.29. Sistemin blok diyagramı (Gümüş ve Demirtaş, 2021)

PV modülün güç-gerilim (güç-voltaj) karakteristik eğrisinde maksimum güç sağlayabilen tek bir nokta bulunur. Bu noktaya maksimum güç noktası denilir. Bu nokta güneşlenme düzeyine ve ortam sıcaklığına göre değişir (Koad ve ark., 2017).

Sistemin Maksimum güç noktası takibinde hedeflenen, belirli bir ışınım ve sıcaklık altında maksimum güç noktasının elde edildiği PV dizinin akımını ve voltajını kendi kendine takip etmektir (Kolimala ve Mishra, 2013).

Anoop ve ark. (2018) ve Manickam ve ark.(2016) geleneksel maksimum güç noktası takibi yöntemi içinde yer alan; değiştir ve gözle, artırmsal iletkenlik, açık devre gerilim ve kısa devre gerilim yötemleri, eşit dağılımlı ışıma ve eşit sıcaklık şartlarında maksimum güç noktasını iyi takip ederler, fakat kısmı gölgelenmelerde güç-gerilim karakteristik eğrisinde birden fazla yerel maksimum güç noktası ve bir tane global maksimum güç noktasına sahip olacaktır, bu nedenle yerel masimum güç noktasına takılıp global maksimum güç noktasının takibinde başarısız olabilmektedirler (Gümüş ve Demirtaş, 2021).

Meta sezgisel algoritmalar genellikle yerel maksimum güç noktalarını yakalama problemlerini çözebilir, çünkü formülasyonları yerel maksimum güç noktalarından kaçmalarına izin veren olasılıksal parametrelerini içerir (Fang ve Lian, 2017).

Azharuddin'e (2012) göre, bir güneş panelinin güç üretim verimi gölgelemeye çok duyarlıdır. Güç kaybı, panelin gölgeli olan alanına ve gölgeleme türüne bağlıdır. Hareket

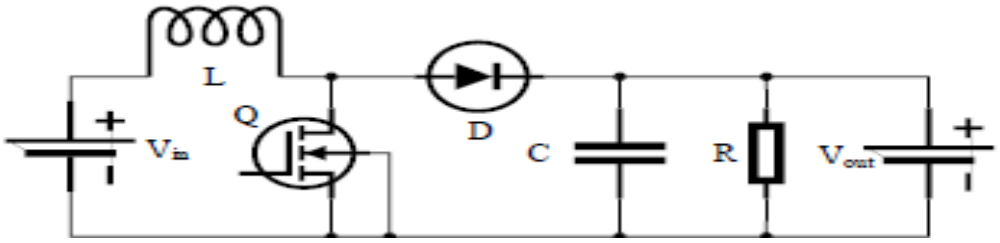
eden bulutlar, ağaçların, binaların veya diğer nesnelerin gölgesi panelde kısmi gölgelemeye neden olabilmektedir. Chong'a göre (2012) ve Sagonda'a göre (2019) Kısmi gölgeleme koşulları PV hücrede sıcak nokta olayına neden olmakta, gölgeli panel diğer gölgeli olmayan paneller tarafından üretilen gücü tüketmekte ve seri bağlantılı panellerin akımını gölgeli olanın akımıyla sınırlamaktadır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için her bir panele paralel olarak bypass diyotlar bağlanmaktadır (Gümüş ve Demirtaş, 2021).

En yüksek güç aktarım verimini veren yük demek; MGN'yi bulma ve yük karakteristiğini orada tutma işlemidir. Elektrik devreleri, fotovoltaik hücrelere keyfi yükler sunmak ve ardından voltajı, akımı veya frekansı diğer cihazlara veya sistemlere uyacak şekilde dönüştürmek için tasarlanabilir ve MGNTS, hücrelere sunulacak en iyi yükün elde edilmesi için yük seçme sorununu çözer. Çalışamalar sonucunda farklı ışınım ve sıcaklık değerleri altında akım-gerilim, güç–gerilim değerleri, bulunmuştur (Seyedmahmoudian ve ark., 2014).

PV sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamanın anahtarı, sisteme bir güç elektroniği dönüştürücü devresi eklemektir. Dönüştürücünün görev döngüsü aşağıdaki eşitlik (2.23) ile ifade edilir. Bu ifade sayesinde görev oranı değiştirilerek istenen çıkış gerilimi elde edilebilir (Gümüş ve Demirtaş, 2021).

$$D = 1 - \frac{V_{giriş}}{v_{çıkış}} \tag{2.23}$$

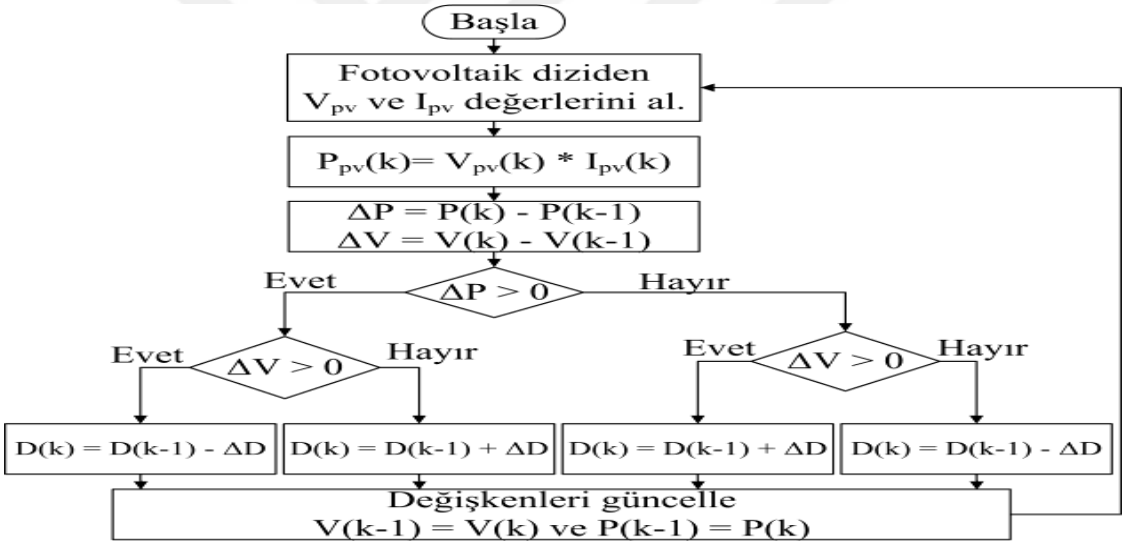
Vijayakumar ve Hemakumar (2013)' göre D görev oranını, Vgiriş giriş gerilimini, Vçıkış ise çıkış gerilimini temsil etmektedir. Anahtar iletimdeyken akım bobin ve kontrollü güç anahtarlama elemanı üzerinden geçer ve bu sebeple bobin üzerinde enerji depolanır. Aynı zamanda diyot ters polaritede olup, çıkıştaki yükü C kondansatörü besler. Güç anahtarlama elemanı kesimdeyken ise dönüştürücünün çıkış gerilimi, bobin gerilimi ve kaynak geriliminin toplamıdır. Böylece kondansatör giriş geriliminden daha yüksek bir çıkış gerilimine şarj edilmiş olur. Şekil 2.30'da DA-DA yükselten dönüştürücünün devresi verilmiştir (Gümüş ve Demirtaş, 2021).



Şekil 2.30. DA-DA yükselten dönüştürücü devresi (Gümüş ve Demirtaş, 2021)

Birbiriyle karşılaştırılan algoritmaları inceleyecek olursak,

D&G algoritmasının çok karmaşık yapıya sahip olmaması ve klasik özellikte geri besleme dizaynlı olması, ucuza mal edilmesi, uygulama kolaylığı ve iyi sonuçlar vermesi nedeniyle MGN'yi takip etmek için çok tercih edilen MGNT yöntemidir (Gümüş ve Demirtaş, 2021).

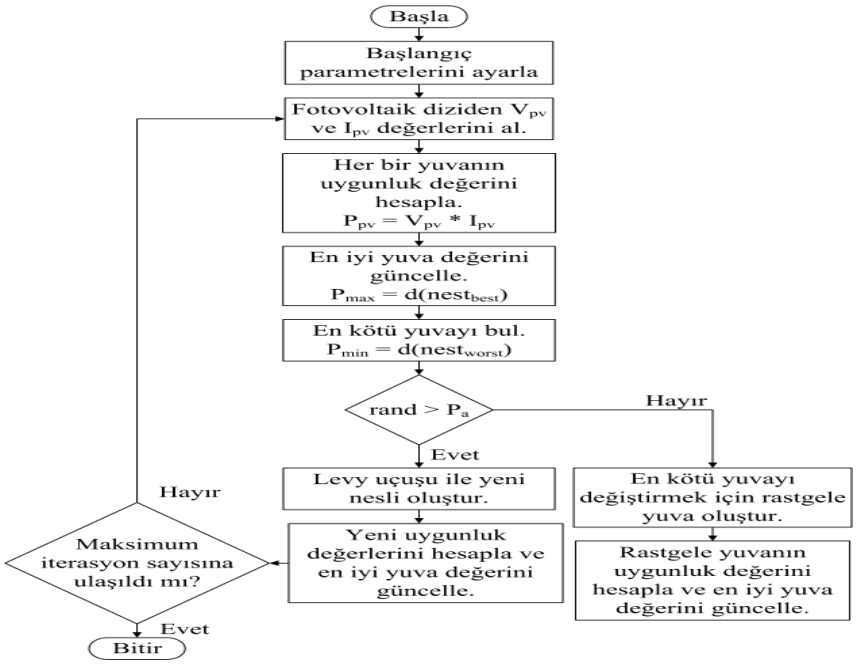


Şekil 2.31. D&G algoritmasının akış diyagramı (Gümüş ve Demirtaş, 2021)

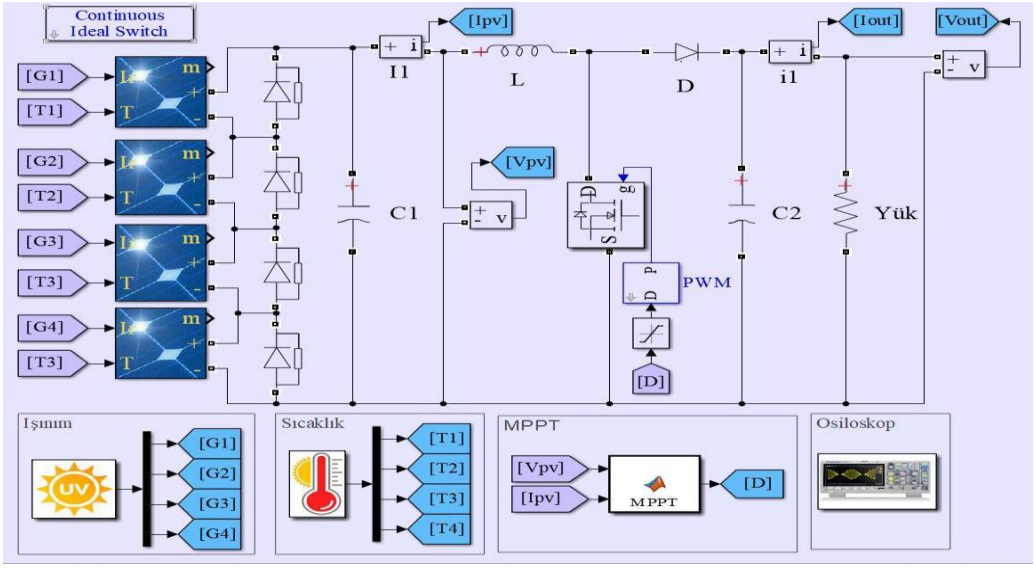
Sun ve ark. (2018) PSO'nun kuş ve balık gibi sürü zekasına sahip canlıların iç güdüsel davranışlarından ilham alınarak, uygulandığını bildirilmişlerdir. Chaieb ve Sakly , PSO tekniğinin bilimsel, zeki, basit ve etkili bir meta sezgisel yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.

Şekil 2.32. PSO algoritması akış diyagramı (Gümüş ve Demirtaş, 2021)

GKO Algoritması: Nugraha ve ark.(2019) İle Yang (2010), GKO algoritmasının Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından 2009'da geliştirilmiş yeni nesil meta sezgisel optimizasyon algoritmalarından biri olduğunu bildirmişlerdir. GKO algoritması bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka parazitliği doğasından esinlenerek oluşturulmuş bir yaklaşım olduğu bildirilmişitir (Gümüş ve Demirtaş, 2021).



Şekil 2.33. GKO algoritmasının MGNTS'de işleminde kullanım diyagramı (Gümüş ve Demirtaş, 2021)



Şekil 2.34. Sistemin MATLAB/SIMULINK modeli (Gümüş ve Demirtaş, 2021)

Çalışma sonuçlarına göre 1. kısmi gölgeleme konfigürasyon çalışmasında D&G;0,05 sanyede yerel maksimum güç noktasına takılmış global maksimum güç noktasını yakalayamamıştır. PSO algoritmasının 1,12 saniyede ve GKO algoritmasının 0,63 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. GKO algoritması Lévy dağılımını kullanmaktadır bu da global maksimum güç noktasına ulaşırken takip süresini kısaltmaya yardımcı olmaktadır. D&G algoritması 752,0 W, PSO algoritması 785,2 W ve GKO algoritması 786,9W değerlerine ulaşmıştır. 2.Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması D&G algoritmasının 0,06 saniyede yerel maksimum güç noktasına takıldığı ve yine global maksimum güç noktasına ulaşamadığı görülmüştür. D&G algoritması 416,3 W, PSO algoritması 423,3 W ve GKO algoritması 425,4 W değerlerine ulaşmıştır. 3. Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması D&G algoritmasının 0,04 saniyede yerel maksimum güç noktasına takıldığı ve global maksimum güç noktasına ulaşamadığı görülmüştür. PSO algoritmasının 1,22 saniyede ve GKO algoritmasının 0,63 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. D&G algoritması 789,3 W, PSO algoritması 899,2 W ve GKO algoritması 899,5 W değerlerine ulaşmıştır. D&G algoritması ise üç konfigürasyonda da diğer algoritmalara kıyasla daha kısa sürede ama doğruluğu olmayan yerel bir maksimum güç noktasına takılmış ve başarısız olmuştur (Gümüş ve Demirtaş, 2021).

Tablo 2.5. Üç farklı kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan algoritmalar (Gümüş ve Demirtaş, 2021)

Gölgeleme	Algoritma	Güç (W)	Gerilim (V)	Akım (A)	Takip Zamanı (s)
1000 W/m2 900 W/m2 800 W/m2 700 W/m2	D&G	752,0	173,4	4,336	0,05
	PSO	785,2	177,2	4,431	1,12
	GKO	786,9	177,4	4,435	0,63
1000 W/m2 800 W/m2 500 W/m2 300 W/m2	D&G	416,β	129,0	3,226	0,06
	PSO	423,3	130,1	3,253	1,74
	GKO	425,4	130,4	3,261	0,54
1000 W/m2 1000 W/m2 1000 W/m2 800 W/m2	D&G	789,3	177,7	4,442	0,04
	PSO	899,2	189,7	4,741	1,22
	GKO	899,5	189,7	4,742	0,63

Birinci konfigürasyonda seri bağlı dört panel arasındaki ışınım farkı birbirinden eşit oranda farklıyken PSO algoritması diğer konfigürasyonlardaki takip süresine kıyasla daha kısa bir zamanda global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. PSO algoritması en kötü performansını ise paneller arasındaki ışınım farkının değişken olduğu ikinci konfigürasyonda sergilemiştir. GKO algoritması, paneller arasındaki ışınım farkının eşit olduğu konfigürasyonda ve kısmi gölgelemenin diğer konfigürasyonlara oranla daha az olduğu üçüncü konfigürasyonda aynı sürede global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. Ayrıca GKO algoritması ikinci konfigürasyonda diğer konfigürasyonlardaki performansına oranla daha iyi bir performans elde etmiştir. D&G algoritması ise üç konfigürasyonda da diğer algoritmalara kıyasla daha kısa sürede ama doğruluğu olmayan yerel bir maksimum güç noktasına takılmış ve başarısız olmuştur (Gümüş ve Demirtaş, 2021).

Koad ve ark. (2016) yaptıkarı çalışmada, Lagrange Enterpolasyon Formülüne dayalı fotovoltaik bir sistem için yeni bir maksimum güç noktası izleme yöntemi bularak, parçacık sürüsü optimizasyon yöntemini tavsiye etmektedirler. Önerilen kontrol yaklaşımı, global maksimum güç noktası etrafındaki parçacıkların başlangıç değeri için basit bir sayısal hesaplama kullanarak geleneksel yöntemlerde yaşanan sorunların üstesinden gelmeyi amaçlamışlardır. Tavsiye edilen yaklaşımda maksimum güç noktasına ulaşmak için daha az yineleme kullanılacağı bildirilmektedir. Önerilen algoritma, gerçek zamanlı simülatör ve Matlab Simulink vasıtasıyla çeşitli simülasyonlar yapılıp doğrulanarak,

Değiştir ve Gözle yöntemi, Artan İletkenlik yöntemi ve Geleneksel Parçacık Sürüsü Optimizasyon tabanlı algoritma ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, hızlı değişen ve düzensiz güneş ışığına maruz kalma koşulları altında, kararlılığı ve hızlı izleme yeteneğini önerilen PSO algoritmanın verimliliği, etkin bir şekilde arttırabileceğini göstermektedir.

Ishaque ve Salam'a (2013) göre PSO tekniği, kolay uygulanması, hızlı hesaplama yeteneği ve çevresel koşullardan bağımsız olarak MGN'yi belirleme yeteneği nedeniyle iyi bir potansiyele sahip olduğu aynı zamanda rastgele bir arama da yapma özeliğine sahip olduğu belirtilmiş. PSO algoritması ile geleneksel teknikler arasındaki fark, PSO yöntemiyle parçacık hızına dayalı görev döngüsünün güncellenmesinin sabit olmaması, diğer teknikler kullanıldığında görev döngüsünün sabit bir değer tarafından bozulmasıdır (Koad ve ark., 2016).

Ji ve Yung'a (2011) göre Standart PSO'da, parçacıklar genellikle arama uzayı üzerinde tek biçimli dağılımın ardından rastgele başlatıldığını belirtmişlerdir. Bu durumun, parçacıkların MGN'ye doğru yakınsamasını sağlamak için büyük zaman gecikmelerinin gerektiği, bunun da uzun hesaplama süreleriyle sonuçlandığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, parçacıkların uygun şekilde başlatılması, daha hızlı yakınsama ile üstün çözümlerin saptanmasıyla sonuçlanan PSO verimliliğini artırabilir. Karşılık gelen akım-voltaj (I-V) karakteristiği denklemi aşağıdaki (2.24) gibi yazılabilir (Koad ve ark., 2016).

$$I = I_{ph} - I_o \left\{ \left[exp\left(\frac{g(V+IR_S)}{AKT}\right) - 1 \right] \right\} - \frac{V+IR_S}{R_{sh}} \tag{2.24}$$

Çalışma için seçilen PV modülü 150S PV modülü ve önerilen sistem dönüştrücü Cuk çevricileri kullanılmıştır. Cuk dönüştürücünün çıkış ve giriş voltajları ve görev döngüsü sistem ile dönüştürcü arasındaki ilişki aşağıdaki (2.25) gibi verilmiştir (Koad ve ark., 2016).

$$\frac{V_{Yük}}{V_{pv}} = \frac{D}{1-D} \tag{2.25}$$

PSO algoritmasının ilkesi, kuş sürüsü ve balık sürüsü gibi doğal sosyal davranış gözlemlerinden ilham alındığı belirtilmiş, PSO ve diğer küresel optimizasyon yaklaşımları

arasındaki temel farkların, PSO'un kolay uygulanması ve hızlı yakınsaması olduğu belirtilmiştir. (Koad ve ark., 2016).

Tey ve Mekhilef (2014) ile Alajmi ve arkadaşları (2011), PSO, parçacıklar olarak adlandırılan, sürü olarak bilinen bir "sürü" içinde birlikte hareket eden birkaç işbirlikçi "kuş" modellemiş. Sürüdeki her parçacık, bir amaç fonksiyonu ve parçacığın hareketin yönünü ve mesafesini belirlemek için kullandığı bireysel bir hız tarafından haritalanan bir uygunluk değerine sahip olduğu ve her parçacık, ilgili arama süreçleri yoluyla elde edilen bilgileri değiş tokuş ettiği belirtilmiş (Lian ve ark.2014). Bir parçacığın konumunun iki değişkenden etkilendiği, bireysel en iyi konum olarak kullanılmak üzere depolanan parçacığın kendisi tarafından bulunan en iyi çözüm (piyi) ve en iyi olarak depolanan komşuluktaki en iyi parçacık (giyi). sürü için pozisyon olduğu belirtilmiş. Parçacık sürüsü, en iyi konuma doğru hareket etmek için bu yöntemi kullanır, sürekli olarak yönünü ve hızını gerektiği gibi revize eder; bu yaklaşımı izleyerek, her parçacık nihai olarak optimal bir noktaya doğru veya global bir optimuma yakın hareket eder (Lian ve ark.2014). Standart PSO yöntemi aşağıdaki denklemlere (2.26), (2.27), (2.28) göre tanımlanabilir (Koad ve ark., 2016).

$$v_i(k+1) = wv_i(k) + c_1 r_1 \left(P_{iyi} - x_i(k)\right) + c_2 r_2 \left(g_{iyi} - x_i(k)\right) \quad (2.26)$$

$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k+1) \quad (2.27)$$

İ=1,2,….,N (2.28)

Subudhi ve Prahhan, (2013)'göre xi ve vi sırasıyla i parçacığının konumu ve hızı olduğunda, k yineleme sayısını temsil eder, w eylemsizlik ağırlığıdır, r1 ve r2 değerleri ve c1 aralığında eşit olarak dağıtılan rastgele değişkenlerdir ve c2 sırasıyla bilişsel ve sosyal katsayıları temsil eder. P_{iyi}, i parçacığının bireysel en iyi konumudur ve g_{iyi}, i, sürüdeki tüm parçacıkların en iyi konumudur. Başlatma koşulu karşılanırsa, yöntem şu şekilde (2.29), (2.30) güncellenir (Koad ve ark., 2016).

$$p_{iyi\,i} = x_{ik} \quad (2.29)$$

$$f(x_{ik}) > f(p_{iyi\,i}) \quad (2.30)$$

burada f'nin maksimize edilmesi gereken amaç fonksiyonunu temsil ettiği belirtilmiş. Temel PSO algoritması beş adımda açıklanmış.

Adım 1: Parçacık konumu ve hızının rastgele başlatılması.

Adım 2: Objektif fonksiyon değerlendirmesi.

Adım 3: pbest ve gbest değerlendirmesi.

Adım 4: Hız ve konumun güncellenmesi.

Adım 5: Kriterler karşılanana kadar 2-4 arasındaki adımların tekrarı, olarak elirtilmiş

MGN'yi hızlı bir şekilde bulmak ve geleneksel MGNTS algoritmalarının yarattığı sorunların üstesinden gelmek için hız, kararlılık ve doğruluk, Lagrange İnterpolasyonuna (LI) dayalı yeni bir maksimum güç noktası izleme denetleyicisi ve bir PSO yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen şema, sabit voltaj (CV) yöntemi yaklaşımını kullanarak ilk adımda PV modül I-V karakteristiğinin voltaj değerini (VMGN) tahmin etmesi, CV yöntemi algoritması, en basit MGNTS denetleyicisi olduğuve genellikle hızlı bir yanıtı tetiklediği belirtilmiş. Bu tekniğin, farklı ışıma noktalarında VMGN değerinin yaklaşık olarak eşit olduğunu varsaydığı belirtilmiş. Burada Voc, PV panelinin açık devre voltajını, PV modülü maksimum çıkış voltajı ile açık devre voltajı arasındaki oranı temsil ettiği, bu sabit K'ya eşit olduğu ve güneş radyasyonu ile biraz değiştiği varsayılmıştır. Bazı yazarlar, K için 0,7-0,92 aralığında iyi değerler (2.31) önermiştir (Koad ve ark., 2016).

$$\frac{V_{MGN}}{V_{AD}} = K \tag{2.31}$$

Algoritmanın çalışma prensibi şu şekilde belirtilmiş.

Algoritma, V(k)'nin mevcut değerini elde ederek ve önceki döngünün sonunda saklanan önceki değeri, V(k-1) kullanarak başladığı, daha sonra, (I-V) karakteristiğinden seçilen dört noktanın kullanıldığı Lagrange interpolasyon formülü kullanılarak görev çevriminin dMGN (VMGT) değeri tahmin edilebileceği belirtilmiştir. Sırasıyla 1 ve 0'a eşit olan Voc noktaları. Yukarıda belirtilen süreç kullanılarak $V0$, $V1$, $V2$ ve Voc değerleri elde edildikten sonra, MGN dMGN'deki (VMGT)'deki görev döngüsünün değeri Lagrange interpolasyon formülü kullanılarak tahmin edilebiliceği belirtilmiştir. Aşağıdaki denklemin 7, "Karşılık Gelen" için enterpolasyon formülü (2.32) verilmiştir (Koad ve ark., 2016).

$$y(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_0-x_1)(x_0-x_1)(x_0-x_3)} y_0 + .. + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_0)(x_3-x_1)(x_3-x_2)} y_3 \quad (2.32)$$

Burada x, VMGT'nin değeri olarak verilmiş olup, dMGT değerini belirleme algoritması VMGT'ye karşılık geldiği belirtilmiştir. Bu nedenle, PSO algoritması, MGN'ye yakın bir başlangıç değeri ile optimizasyonu tetikleyeceği belirtilmiştir. Uzun hesaplama süresi ile sonuçlanan PV MGN'yi izlemek için karıştırma ve gözlemleme gücünün kullanıldığı geleneksel tekniklerin aksine, önerilen algoritma maksimum güçteki voltaja dayalı olarak ilk parçacıkların dMGN (MGN'deki görev döngüsü) değerini hesaplayacağı ve algoritmanın MGN'ye yakın olan bir başlangıç değeri ile optimizasyon sürecini başlatabileceği belirtilmiştir. Parçacıkların başlangıç değeri şu şekilde (2.33) tanımlanmıştır (Koad ve ark., 2016).

$$d_i{}^k = [d1, d2, d3, \ldots . dN] \quad (2.33)$$

Burada N parçacık sayısı ve k yineleme sayısıdır.

İşlemi başlatmak için, algoritma CUK dönüştürücüye üç görev döngüsü d1, d2 ve d3 iletilmiş; bu değerler ilk iterasyonda piyi olarak alınmış ve MGN'ye (uygunluk değeri) daha yakın olan değer giyi değeri olarak alınmış. Görev döngüsü hızı ve konumu daha sonra buna göre güncellenir. Sonuç olarak, PSO ilkesini uygularken, mevcut uygunluk değerinin öncekiyle karşılaştırılması sonucunda bir sonraki iterasyonda görev döngüsü küçük bir değer tarafından bozulacağı belirtilmiş. Bu süreç, tüm parçacıklar, hızın neredeyse sıfır olduğu MGN'ye (en iyi uygunluk değeri) ulaşana kadar devam eder VE d2 değeri (7) kullanılarak hesaplanan tahmini bir değer olduğundan ve d1 ve d3, üst ve alt sınırları elde etmek için d2'den bir dx değeri eklenip çıkarılarak hesaplandığından, bu yöntem hızlı dinamik yanıt ve doğru izleme sağlayacağı belirtilmiş Bu nedenle, yeni bir görev döngüsü seti şu şekilde(2.34) tanımlanmış (Koad ve ark., 2016).

$$d_{i\ yeni} = [d_2 - d_x, d_2 + d_x] \quad (2.34)$$

burada dx hıza eşit olarak seçilmiş. (7) kullanılarak hesaplanan görev çevrimleri d2, optimum görev çevrimine çok yakın olacağı belirtilmiş. İlaveten, daha önceki PSO keşfi nedeniyle, di (i = 1, 2, 3)'ten biri her zaman en iyi görev döngüsüne çok yakın olacağı

bununda, PSO'nun yeni GP'yi hızlı bir şekilde izlemesini sağlayacağı. pbest'i temsil eden iki parçacığın (d1 ve d3), gbest'e (d2) çok yakın olduğu ve dolayısıyla d2'ye yaklaşmak için hızlarında büyük bir değişiklik gerekmediği belirtilmiş. Hava koşullarında ani bir değişiklik meydana geldiğinde, yeni bir MGN'yi doğru bir şekilde izleyebilen yeni bir görev döngüsü ayarlamak için (9) kullanılacak görev döngüsünün yeniden başlatılılması gerektiği belirtilmiş önerilen algoritma aşağıdaki temel ilkeleri kullanmış.

Adım 1, Parametre seçimi: Önerilen MGNT algoritması için, (9)'daki dönüştürücünün hesaplanan görev döngüsü parçacık konumu olarak tanımlanmş ve uygunluk değeri değerlendirme fonksiyonu olarak PV modül çıkış gücü seçilmiş.

Adım 2, PSO başlatma: Standart bir başlatmada, PSO parçacıkları genellikle rastgele başlatılmış. Önerilen MGNTS algoritması için parçacıklar, GP çevresinde konumlandırılan sabit, eşit uzaklıkta noktalarda başlatılmış

Adım 3, uygunluk değerlendirmesi: i parçacığının uygunluk değerlendirmesi, dijital denetleyici, i parçacığının konumunu da temsil eden görev döngüsüne göre PWM komutunu gönderdikten sonra gerçekleştirilmiştir.

Adım 4, bireysel ve global en iyi uygunluğun belirlenmesi: Her parçacık değerinin yeni hesaplanan bireysel en iyi uygunluğu (BİyI) ve global en iyi uygunluğu (giyi) öncekilerle karşılaştırılmış. Daha sonra gerektiğinde konumlarına göre değiştirileceği belirtilmiş.

Adım 5, her parçacığın hız ve konumunun güncellenmesi: Sürüdeki her parçacığın hızı ve konumu (2) ve (3)'e göre güncellenmiş.

Adım 6, yakınsama belirlemek için yakınsama kriteri kontrol edilmiş. Bitiş kriteri karşılanırsa, hesaplama sona ereceği belirtilmiş. Aksi takdirde, yineleme, 2'den 6'ya kadar olan adımların bir tekrarı kadar artırılacağı belirtilmiştir.

Adım 7, yeniden başlatmanın Standart PSO algoritmasındaki yakınsama kriterleri, optimal çözümü veya maksimum yineleme sayısının başarısını bulmayı amaçladığı belirtilmiş. Ancak, bir PV sisteminde optimum nokta, hem hava koşullarına hem de yüke bağlı olduğundan sabit olmadığı bunun için önerilen LI-PSO algoritması, aşağıdaki koşullar sağlandığında(2.35), (2.36) yeniden başlatılacağı ve yeni MGN'yi arayacağı belirtilmiştir (Koad ve ark., 2016).

$$|V_(i+1)| < \Delta_V \tag{2.35}$$

$$\left(p_i(k+1) - p_i(k)/\left(p_i(k)\right) > \Delta_p\right) \tag{2.36}$$

Tablo 2.6'da belirtildiği üzere, PSO'nun verimliliği, geliştirilmiş LI-PSO algoritmalarından biraz daha az olduğu belirtilmiş. Bu nedenle, çalışmada, geliştirilmiş LI-PSO ve PSO teknikleri kullanılarak en iyi sonuçların elde edilebildiği doğrulanmıştır. Ek olarak, ışınım eğimleri kullanılarak %99,95"lik bir dinamik verimlilik elde edilmesi önemsenmiş.

Tablo 2.6. Dinamik verimlilik (Koad ve ark., 2016)

VERİMLİLİK(%)		MGTS			
		D&G	ARTAN İLETKENLİK	PSO	LI-PSO
	20	89.05	91.95	99.87	99.94
EĞİM(W/m^2s)	100	97.09	97.97	99.92	99.97

D-G ve Artan İletkenlik algoritmalarının performans açısından yakın olduğu bulunmuş olup hangisinin tercih edileceği hangisinin daha basit olduğuna bağlı olduğu belirtilmişitir. Yukarıdaki şekilden anlaşılabileceği gibi, "Artan İletkenlik" ve "D-G" algoritmalarının verimliliğinin düşük olduğu bu nedenle, verimliliklerini artırmak için daha hızlı bir izleme hızına uyarlanabiliceği MGNT yöntemleri kullanılması gerektiği bildirilmişitir. Bununla birlikte, fotovoltaik modül kısmen gölgede kaldığında en yakın lokal maksimum gücü bulmakta zorlanırlar, dolayısıyla hangisinin seçileceği hangisinin daha basit olduğuna bağlı olduğu söylenmişitr. PSO'nun ve önerilen şemanın verimliliği, hem "Artan İletkenlik" ve "D-G" algoritmalarına kıyasla daha iyi olduğu hem de her eğimde MGN izlemede daha başarılı olduğu belirtilmiştir. LI-PSO algoritması biraz daha iyi performansa sahip olup, PSO'nun %99,92"lik verimliliğine kıyasla %99,97'lik bir verimliliğe sahip olduğu belirtilmiştir.Simülasyon sonuçlarına göre, tek bir tepe değeri ararken geleneksel PSO'nun hızlı ve doğru olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, kısmi bir gölgede kalma durumu meydana geldiğinde, ağırlık değeri (w) nedeniyle geleneksel PSO izleme verimliliği düşük olup, doğru şekilde ayarlanması gerekir. Ağırlıklandırma formülünde seçilecek daha büyük bir adım boyutu parçacık hızında bir artışa yol açarken, w'deki bir azalma parçacık hareketinin azalmasına neden olarak, denetleyicinin MGN için çalışma noktasını doğru bir şekilde bulmasını sağlar. Dolayısıyla, PSC meydana geldiğinde geleneksel PSO parametrelerinin değiştirilmesi gerekir. Önerilen algoritma ile standart PSO arasındaki fark, parçacıkların (görev döngüsü) MGN için en uygun değerlerle başlatılmasıdır. Ayrıca, basit, daha hassas ve diğer yöntemlerden daha hızlı bir izleme hızına sahip olup, düşük maliyetli bir dijital sinyal denetleyicisi (DSD) kullanılarak

uygulanabilir. Makalede, hem gereksiz hem de fazla taramalardan kaçınmak amacıyla parçacıkların MGN çevresinde verimli bir şekilde başlangıç değeri alabileceği ve sürünün aktif olarak taradığı alanın olabildiğince küçültüldüğü bir mekanizma önerilmiştir. Simülasyon sonuçlarında, önerilen LI-PSO yönteminin diğer yöntemlere kıyasla daha hızlı bir yanıt oranına sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, hava koşulları değiştikçe parçacıkların otomatik olarak en iyi konuma göç etmesi veya ona yakın hareket etmesidir. Sonuç olarak, bu durum, yanlış alandaki parçacık taraması ile harcanan zamanı önemli ölçüde azaltarak sistemin izleme hızını önemli ölçüde arttırırken, MGN saptandıktan sonra kararlı durum osilasyonunu (pratik olarak sıfıra kadar) azaltır. Bu sonuç, yeni çalışma noktasının MGN'ndan çok uzakta bulunduğu ve daha sonra yeni MGN'na ulaşmak için daha fazla yinelemenin gerekli olduğu geleneksel PSO yöntemine kıyasla büyük bir gelişmedir (Koad ve ark.2016).

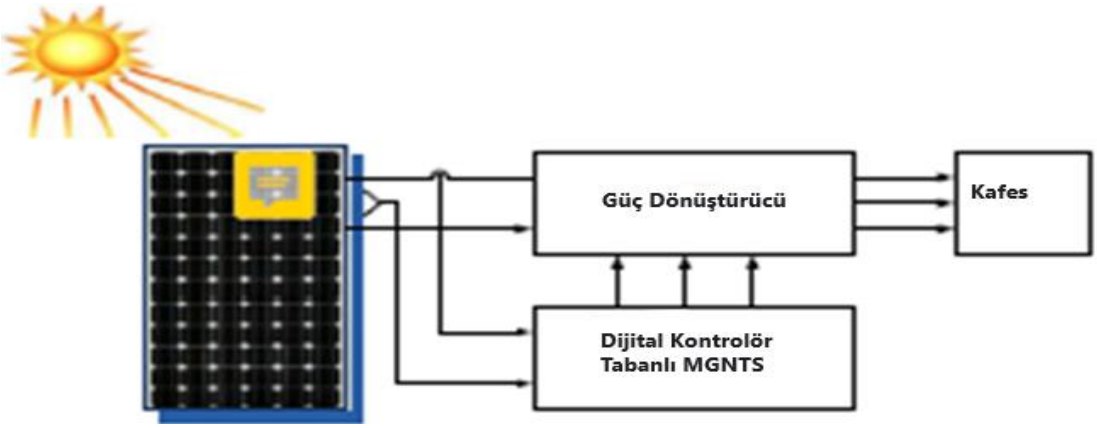
Bhatnagar ve Nema'ya (2013) göre bu çalışmada PV modüller doğrusal olmayan I-V (akım-gerilim) özelliklerine sahip olup, güneşe maruz kalma seviyesine ve ortam sıcaklığına göre,kısmi gölgelenme vb. durumlarda çıkış güçlerinin değiştiği belirtilmiş. P-V (güç-gerilim) eğrisinde MGN olarak adlandırılan, gücün maksimum olduğu ve atmosfer koşullarına göre değişen tek bir nokta olduğu ayrıca, fotovoltaik modüllerin enerji dönüşüm verimliliği çok düşük olup, kaynak ve yük arasındaki uyumsuzluk önemli güç kayıplarına neden olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla, güç çıkışının daha yüksek bir verimlilikle maksimize edilmesi son derece önemli olduğu MGNİ MGN'nin fotovoltaik çalışma voltajını izleyerek, maksimum güç noktasındaki çalışma koşullarına odaklandığı ve panelden maksimum güç elde edilmesini sağladığı belirtilmiştir (Bhatnagar ve Nema 2013).

Önceki çalışmada her biri kendine özgü özelliklere sahip birçok maksimum güç noktası izleme algoritması bildirilmiştir. Bu makalede ise kullanılan değişken sayısı, karmaşıklık, doğruluk, hız, donanım kurulumu, maliyet, izleme verimliliği, vb. gibi bazı kritik parametreler açısından bu tekniklerin çalışma ilkelerinin kapsamlı bir sunumu yapılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.7. MPPT tekniklerinin sınıflandırılması (Bhatnagar ve Nema, 2013)

MGNT KONTROL TEKNİKLERİ		
Çevrimdışı kontrol teknikleri	Çevrimiçi(doğrudan) kontrol teknikleri	Diğer yöntemler
Akım(kısa devre) tabanlı MGNT Eğri uydurma tabanlı MGNT Voltaj(açık devre) tabanlı MGNT MGNT tabanlı Sayısal Hesaplama	P&OveModifiyeP&O MGNT RCC MGNT Inc&ModifiedIncMPPT Farklılaştırma tabanlıMPPT Güç Geribildirimi MGNT Geçici tabanlı MGNT	Akıllıkontrol MGNT BisectionAramaTeoremi Tabanlı MGNT Dereceli alçalma MGNT SlideMod kontrol MGNT INR MGNT

Yapılan çalışmada, sıcaklık ve güneşe maruz kalma koşullarına göre fotovoltaik panel özelliklerinin ayrıntılı bir analizinin yapılması amaçlanmıştır. Kullanılan sensörler, donanım kurulumu, maliyet, matematiksel hesaplamalar, vb. temelinde bu yöntemlerin her birinin avantaj ve dezavantajları olduğu belirtilmiş. Bu derlemede, farklı araştırmalardan alınan Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ) tekniklerinin kapsamlı bir incelemesi, avantaj ve dezavantajları ile birlikte sunulmuştur. Makalede, belirli bir uygulama için bir maksimum güç noktası izleme tekniği seçmek için yararlı olan değişkenler ve kullanılan algoritma temelinde MGNİ tekniklerinin bir sınıflandırılması da sunulmuş ve analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Kullanılan sensörler, maliyet, karmaşıklık, uygulama, doğruluk ve hız temelinde en uygun maksimum güç noktası izleme tekniği bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.35. Fotovoltaik sistem için MGNTS kontrolörünün blok şeması (Bhatnagar ve Nema 2013)

Farklı tekniklerin performansları, karmaşıklık, hız, donanım uygulaması, gerekli sensörler, maliyet ve etkinlik aralığı, dinamik yanıt, kararlı durum hatası, sistemin kararlılığı ve verimliliği gibi istenen özellikler temelinde karşılaştırılmıştır. Maksimum güç

noktası izleme gereksinimi anlayabilmek için, PV hücre modeli ve özellikleri Bölüm ayrıntılı olarak ele alınmış ve sıcaklık ve güneşlenmenin PV hücre özellikleri üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Maksimum güç noktası izleme ihtiyacı ve farklı maksimum güç noktası izleme tekniklerinin sınıflandırılması ele alınmaktadır. Farklı maksimum güç noktası izleme tekniklerinin kapsamlı bir incelemesi, sınırlılıkları, eksiklikleri ve avantajları ile birlikte ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Farklı performans endeksleri temelinde farklı MGNTS tekniklerinin analizi, karşılaştırması ve sıralamaları yapılmıştır (Bhatnagar ve Nema, 2013).

Tablo 2.8. Farklı MGNTS tekniklerinin karşılaştırması (Bhatnagar ve Nema, 2013)

MGTS Tekniği	Sınıflandırma	Fotovoltaik panele bağımlılık	Sensörler	Karmaşıklık	İzleme doğruluğu	Maliyet	Enerji izleme faktörü	Gerekli enerji dönüşüm aşamaları	Ani değişiklik izleme hızı	Kısmen gölgede etkin mi	Uygulamalar
VMGTS	Çevrimdışı	Evet	V	B	Düşük	PD	Düşük	iki	Yavaş	Hayır	Şebekeden Bağımsız
AMGTS	Çevrimdışı	Evet	I	B	DÜŞÜK	PD	DÜŞÜK	İKİ	YAVAŞ	HAYIR	ŞEBEKDEN BAĞIMSIZ
TARAMALI TABLO	ÇEVRİMDIŞI	EVET	VI	B	DÜŞÜK	PD	DÜŞÜK	İKİ	YAVAŞ	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
EĞRİ UYDURMA	ÇEVRİMDIŞI	EVET	V	B	DÜŞÜK	PD	DÜŞÜK	İKİ	YAVAŞ	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
D-G	ÇEVRİMİÇİ	HAYIR	VI	B	ORTA	P	İYİ	HER İKİSİ	ORTA	HAYIR	HER İKİSİ
MODİFİYE P-O	ÇEVRİMİÇİ	HAYIR	VI	K	YÜKSEK	P	ÇOK İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	EVET	HER İKİSİ
Aİ	ÇEVRİMİÇİ	HAYIR	VI	O	YÜKSEK	P	İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	EVET	HER İKİSİ
MODİFİYE Aİ	ÇEVRİM İÇİ	HAYIR	VI	K	ÇOK YÜKSEK	P	ÇOK İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	EVET	HER İKİSİ
AD	ÇEVRİMİÇİ	HAYIR	VI	K	YÜKSEK	P	İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	HAYIR	HER İKİSİ
DKK	DOLAYLI	HAYIR	VI	K	YÜKSEK	P	ÇOK İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	EVET	HER İKİSİ
GÜÇ GERİ BİLDİRİMİ	ÇEVRİM İÇİ	HAYIR	VI	B	YÜKSEK	P	İYİ	HER İKİSİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
İAK	DOLAYLI	HAYIR	V,I	K	YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
KAYMA MODU DENETİMİ	ÇEVRİM İÇİ	HAYIR	V,I	O	ORTA	P	ÇOK İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	EVET	HER İKİSİ
SICAKLIK	ÇEVRİMİÇİ	EVET	V,SICAKLIK	O	YÜKSEK	P	DÜŞÜK	HER İKİSİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
GRADYAN AZALTMA	DOLAYLI	EVET	V,I	O	YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
SAYISAL TABANLI	DOLAYLI	EVET	V,I	K	YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ

Tablo 2.8. Farklı MGNTS tekniklerinin karşılaştırması'nın devamı

AKILLI KONTROL TABANLI	BMD DOLAYLI	HAYIR	V,I	K	ÇOK YÜKSEK	P	ÇOK İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	EVET	HER İKİSİ
YÜK PARAMETRELERİ TABANLI	DOLAYLI	HAYIR	V,I	K	YÜKSEK	PD	DÜŞÜK	İKİ	YAVAŞ	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
β-yöntemi	DOLAYLI	EVET	V,I	K	YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	HIZLI	EVET	ŞEBEKE
ÜÇ NOKTADAN MGNTS	ÇEVRİM İÇİ	HAYIR	V,I	K	YÜKSEK	P	İYİ	HER İKİSİ	HIZLI	HAYIR	HER İKİSİ
PARAZİT KAPASİTANS	ÇEVRİM İÇİ	HAYIR	V,I	K	ÇOK YÜKSEK	P	İYİ	HER İKİSİ	ORTA	EVET	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
TEK ÇEVRİMLİ DENETİM	DOLAYLI	EVET	I	O	YÜKSEK	PD	İYİ	BİR	HIZLI	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
DEĞİŞKEN ENDÜKTÖR	ÇEVRİMİÇİ	HAYIR	V,I	O	ORTA	P	İYİ	İKİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
AKIM TARAMA	ÇEVRİMİÇİ	HAYIR	V,I	K	ORTA	PD	DÜŞÜK	İKİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
Panel yeniden konfigürasyonu	DOLAYLI	EVET	V,I	K	DÜŞÜK	P	DÜŞÜK	HER İKİSİ	YAVAŞ	EVET	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
Doğrusallaştırma tabanlı	DOLAYLI	EVET	V,I	B	ÇOK YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	HIZLI	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
Fotovoltaik Çıktısına Duyarsız (FÇD	DOLAYLI	EVET	I	B	YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	ORTA	EVET	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
Biyolojik sürü takibi (BST)	DOLAYLI	HAYIR	V,I	K	ÇOK YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	HIZLI	EVET	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
Sistem osilasyonu denetimi	DOLAYLI	HAYIR	V	K	YÜKSEK	P	İYİ	İKİ	ORTA	HAYIR	ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
DC-BAĞLANTI KAPASİTÖR DÜŞÜKLÜĞÜ	DOLAYLI	HAYIR	V,I	K	YÜKSEK	PD	ÇOK İYİ	İKİ	HIZLI	EVET	HER İKİSİ

Not: PD=çok pahalı değil; P=pahalı; K=karmaşık; B=basit; O

Makalede, donanım gereksinimi, hız, doğruluk, uygulama, kullanılan sensörler ve maliyet bağlamında farklı maksimum güç noktası izleme teknikleri karşılaştırılmıştır. Tablo 2.8''de, bu temellere göre farklı yöntemlerin bir karşılaştırması sunulmuştur. Hızla değişen atmosfer koşullarında, değiştir ve gözle yöntemine kıyasla artan iletkenlik yöntemi daha avantajlı olmakla birlikte, gerekli sensör sayısı daha fazla olup, karmaşık türev hesaplamaları yüzünden donanım gereksinimi ve maliyeti yüksek olduğu belirtilmiş. Akım ve voltaja dayalı tekniklerse, sırasıyla kısa devre akımı ve açık devre voltajına dayalı teknikler olduğu belirtilmişitr. Her iki yöntem de türev hesabına gerek olmadığı için hızlıdır ve maksimum güç noktası tahmini için kullanılabilecek pratik birer yöntemler olduğu bilditilmiştir (As ve ark. 2002). Akıma dayalı yöntem, voltaja dayalı yöntem donanımına kıyasla daha karmaşık ve pahalı bir donanıma gerek duyar ve kayıp daha fazladır; akıma dayalı tekniğin doğruluğu voltaja dayalı tekniğe kıyasla daha yüksek olmasına rağmen, voltaja dayalı teknik daha verimlidir ve kayıp daha azdır (Bhatnagar ve Nema, 2013). Chen Yong-Kui Man.2009, İkiye bölerek arama tekniği, türev hesabı gerektirmediği için basit bir donanıma gerek duyar, gerekli sensör sayısı daha az olduğu ve maksimum güç noktası takibinde hızlı olduğu için uygulama açısından da ekonomiktir. Ani değişiklik tabanlı yöntem, enerji tamponu aşamasına (DC/DC) sahip olmadığından dolayı diğer geleneksel yöntemlerden farklıdır. Ayrıca, ışınım değişikliğine göre meydana gelen ani değişiklik sırasında maksimum güç noktası tespiti temelinde çalışmakta olup, sürekli pertürbasyona dayalı değildir. Değiştir ve gözle (P&O) ve artan iletkenlik yöntemi (INC) gibi geleneksel maksimum güç noktası izleme algoritmaları, maksimum güç noktasını tek adımda izleyemez, çünkü bunlar sensör verisini periyodik olarak izleyen, hesaplayan ve değişiklik yapan yinelemeli yaklaşımlar olduğundan izleme işlemi yavaştır ve maksimum güç noktası kararlı değildir. Geleneksel maksimum güç noktası izleme algoritmalarında hız, kararlılık ve doğruluk problemi sayısal hesaplamalara dayalı maksimum güç noktası izleme algoritması kullanılarak giderilebilir. Akıllı maksimum güç noktası izleme yöntemleri arasında Bulanık mantık kontrolü (FLC), yapay sinir ağları (ANN) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) yer alır ve bu yöntemler kesin olmayan girdilerle çalışma, kesin bir matematiksel model gerektirmeme ve doğrusal olmayan işlem yapma avantajına sahiptir. Doğrusal olmayan geleneksel denetleyicilerden daha iyidirler. Yük parametrelerine dayalı maksimum güç noktası izleme yöntemi, izleme verimliliği ve donanım ve yazılım basitliği açısından diğer geleneksel izleme yöntemlerinden daha iyidir (Bhatnagar ve Nema 2013).

3. BULGULAR

Tez çalışmamızın bu bölümünde ulusal ve uluslararası veri tabanında daha önce yapılan bilimsel çalışmalar kapsamlı bir şekilde derlenip çalışmaların sonuçları elektriksel verim, ısıl verim, yıl, sistem türü, çıktılar gibi parametreler açısından çalışma tarihi baz alınarak çizgelge halinde özetlenmiş ve sıralanmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalar; özellikle sistem türünün verimsel artışa sağladığı avantajlar, uygulanan soğutma tekniklerin, soğutmasız tekniklerle karşılaştırılması, soğutma tekniklerinin kendi aralarında avantajları, güneş pillerinin özelliklerine göre avantajları, MGN'yi bulmak için MGNTS'lerin uygulama yöntemleri, uygulanan konfügrasyon yöntemlerinin sisteme etkisi gibi verim artırma teknikleri; elektriksel verim, ısıl verim, ekserji, maliyet açısıntan sağladığı faydaların önem arz eden noktaları özet şeklinde sunulmuştur.

İncelenen kaynaklar sonucunda PV ve PV/T sistemlerinin verimlerini artırmak için uygulnan tekniklerin verim artırmada etkili olduğu, fakat kullanılan tekniklerin talep görmelerinin daha çok maliyet faktörünün belirlediği ve bazı verim artırma tekniklerin üstün özellikleri sayesinde sistemsel verimi, diğer geleneksel yöntemlere oranla büyük farklarla arttırmasına rağmen özelliklerinin çok iyi bilinmemesinden dolayı ugulama noktasında sistemde hata vermesi, bu yönde sıkıntıların oluşmamması veya minimuma indirilmesi için bu alanda teknolojik çalışmalara hız verilerek ve farkındalık oluşturularak yenilenebilir enerjinin en önemli kaynaklarından biri olan güneş enerjisi potansiyelini etkili kullanan PV ve PV/T sistemleri uygulamaları daha nitelikli ve etkin bir şekilde uygulanarak enerji alanında büyük atılımlar gerçekleştirilebileciği yönde yapılan çalışmalarla görülmüştür.

Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları

SN	Literatür çalışması	Elektriksel Verim	Isıl verim	Yılı	Sistem Türü	Önemli Noktalar ve çıktılar
1	Cox,C.H.ve Raghuraman, P.	-		1985	PV/T	Soğurucu ızgaralı arka hücreli PV/T kullanılarak sistemin etkiniği belirlenmiş ve hava tipi toplayıcı PV/T ile karşılaştırılmış. Soğurucu ızgaralı sistemde termal verimlilik PV/T hava tipi toplayıcıya göre azalmış.
2	Garg, H.P. ve Data, G.			1989	PV	PV, sistemlerinde hava kanalındaki ısı transferini artırmak için kanat tipi hava ısıtıcı kullanılarak verim artırmada etkili olduğunu tespit edilmiş.
3	Sopian K. ve ark			1996	PV/T	Çalışma akışkanı olarak hava kullanan tek geçişli ve çift geçişli kombine PV termal kollektörlerin performansı, enerji tasarrufu için analiz edilmiş. Çift geçişli fotovoltaik termal toplayıcının üstün özellikler gösterdiği tespit edilmiş.
4	Li Q. ve Xuan Y.M.		%60	2002	Deneysel sistem	Farklı konsantrasyonlarda nano akışkan saf suya katılarak konvektif ısı transfer katsayısınına etkisi araştırılmış ve termal iletkenliği %60 geliştirdiği görülmüş
5	Naphon, P.	100 W/m^{2}'de1,4 ^{o}C artış.		2005	PV	Boyuna kanatçıklara sahip çift geçişli düz plaka güneş enerjili PV hava ısıtıcısının performansı incelenmiş.Çalışma akışkanın giriş koşullarının ve güneş enerjili hava ısıtıcısının boyutunun ısı transfer özellikleri, performansı ve entropi üretimi üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak aktif soğutma ile, modülün sıcaklığı her 100 W/m^2 güneş ışınımı artışı için 1,4 C arttığı gözlemlenmiştir.
6	Tonui, J. ve Tripanagnostopoulos ,K.Y.	-		2006	PV-PV/T	Doğal hava akışı ile pasif yönteme göre PV/T hava güneş kollektörüolarak yapılandırılmış ticari bir PV modülünün performansı artırılmıştır.
7	Joshi, S. ve ark	-		2009	PV	PV modülün 2 tipi Cam-Tedler ve Cam-Cam konfigrasyonunu karşılaştırmışlardır.Cam-Cam olanın performansının Cam-Tedler'a göre daha iyi olduğu bulunmuştur.
8	Abdolzadeh, M.ve Ameri, M.	%3,26		2009	PV	Pompalama yardımı ile PV sisteminin hücrelerinin üzerine su püskürtülerek soğutma sağlanıp verim artışı sağlanmak istenmiş. Sistemin optik performansı artırdığı ve %3,26 oranında elektrik verimliliğinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları tablosunun devamı

SN	Literatür çalışması	Elektriksel Verim	Isıl verim	Yılı	Sistem Türü	Önemli Noktalar ve çıktılar
9	Dubey, S. ve ark.	%10,4 %9,75		2009	PV- PV/T	PV modüllerinin farklı konfigürasyonu ele alınmış . Camdan cama tipin daha yüksek bir besleme havası sıcaklığı ve elektrik verimliliği sağlayabildiği bulunmuştur. Kanallı ve kanalsız yıllık hava akışlı ortalama PV elektrik verimliliği sırasıyla %10,4 ila %9,75 olarak saptanmış
10	Kamthania, D. ve ark.		5-6 °C	2011	PV/T	Hibrit fotovoltaik termal çift geçişli cephe sistemi için yıllık enerji ve ekserji kazancını hesaplamak için bir analiz yapılmıştır. Sayısal sonuçlara göre yıllık termal ve elektrik enerjisinin sırasıyla 480.81 kWh ve 469.87 kWh olduğu görülmüştür. Sistemin yıllık toplam ısıl enerjisi 1729,84 kWh olarak hesaplanmıştır.Oda hava sıcaklığının ortam hava sıcaklığından 5-6 °C arttığı gözlemlenmiştir
11	Kumar, R. ve Rosen M.A.	%15.5		2011	PV/T	Çalışmada alt kanalda çift geçişli ve dikey kanatçıklı bir PV/T güneş enerjili hava ısıtıcısını değerlendirmişlerdir. Genişletilmiş kanatçık alanı, hücre sıcaklığını 82 °C'den 66 °C'ye önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür.
12	Bakır, C.	%13	%53,6	2012	PV	PV Sistemine su soğutma ekipmanı entegre edildiğinde sistem verimliliğine etkisi araştırılmış. Elektriksel dönüşüm verimliliği % 13.6 i bulmuştur. Akışkan tarafından sisteme sağlanan soğrulan optik ısıl verim değeri maksimum %53.6 olarak bulunmuştur. Buna ek olarak PV/T kolektörü için toplam ekserji yıkım değerleri 4.31 ve 274.9 olarak bulunmuştur.
13	Ho, C., J.ve ark.	%14		2012	PV	Mikrokapsüllenmiş Faz Değişim Malzemesini(MFDM) Fotovoltaik (PV) modülü ile entegre ederek yenilikçi bir Bina ile Bütünleşik Fotovoltaik Sistem(BIPV) modeli önerilmiş ve modelde, FDM'siz bir sisteme kıyasla PV/FDM sistemde toplamda elektrik verimliliğinde %14'lük bir artış görülmüş.
14	Teo, H.,G.ve ark.	Aktif soğutma % 12 -14 Soğutmasız % 8-9		2012	PV/T	PV panelinin arkasına düzgün hava akışı dağıtımı için tasarlanmış giriş/çıkış manifoldlu paralel bir kanal dizisi tutturularak PV/Tsistem tasarlanmış ve aktif soğutmasız hali ile karşılaştırılmış. Aktif soğutmalı sistemİN soğutmasız haline oranla %4-5 verim artışı sağladığı görülmüş.
15	Makrides, G. ve ark.,			2012	PV	Sıcaklığın PV sistemindeki güneş pillerinin verimliliğine etkisi araştırılmış. En yüksek ısıl kayıpların mono ve c-Si pillerde olduğu ve ince film güneş pillerinde daha az ısıl kayıp görüldüğü saptanmıştır.

Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları tablosunun devamı

SN	Literatür çalışması	Elektriksel Verim	Isıl verim	Yılı	Sistem Türü	Önemli Noktalar ve çıktılar
16	Dorobant, L.ve Popescu, M., O.	%9,5		2013	PV	Çalışmada ince bir su filmi oluşturarak pompalama yardımı ile panelin ön kısmına soğutma sağlayarak panelin sıcaklığının düşürülmesi ve yansıma kayıplarını azaltılması amaçlanmış.Panel sıcaklığının bu aktif soğurma sayesinde %15-16 düştüğü görülmüş.
17	Bahaidarah ,H. ve ark.	%9		2013	PV/T	Modülün arka yüzeyine bir ısı eşanjörü (soğutma paneli) dahil edilerek soğutulmasının elektrik ve termal verime etkisi EES yazılımı kullanıllanılarak incelenmiş. Aktif su soğutması ile modül sıcaklığı önemli ölçüde düştüğü görülmüştür.
18	Bhatnagar, P. ve Nema, R. K.			2013	PV	Güneş ışınlarının düzensizliği,ortam sıcaklığı, kısmi gölgelenme şartlarında MGNTS'nin en iyi yükü bulmak için MGN'yi takip için geliştirildiği belirtilmiş, farklı araştırmalardan alınan maksimum güç noktası izleme tekniklerinin kapsamlı bir incelemesi, avantaj ve dezavantajları ile birlikte sunulmuştur.
19	Rampinelli, G. ve ark.		Sular	2014	PV	PV sistemlerinde invertörün verimliliğe etkisi incelenmiş. DC den AC ye dönüşüm verimliliğive maksimum güç noktası izleyici verimliliğinin güce bağlı özellikleri detaylı analiz edilmiş.
20	Micheli, D. ve ark.	% 16.3 % 18.9		2014	PV	Çalışmada aynı ebatta fakat değişik yöntem ve parametrelerde çalışan CTB ve Q2 isimlendirilen iki fotovoltaik tesisin çalışma şekli incelemiş ve karşılaştırmış.CTB tesisi modül özelliklerinden ve eğimden dolayı ışınım miktarı biraz daha fazla bulunmuş PV sistemlerinin enerjik performanslarının tahmini, kısa ve uzun vadede makul güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.
21	Hasan, A. ve ark.	%10 %10.7		2014	PV	FDM, gizli ısı emme mekanizması ile aşırı ısıyı emmek ve PV sıcaklığını düzenlemek için PV panellere entegre edilerek Pasif soğutma yöntemi ile iki farklı iklimde test edilmiş. FDM kullanımının İrlanda ve Pakistan'da elektrik verimliliğini sırasıyla yaklaşık %10 ve %10,7 artırdığını deneysel olarak kaydedilmiştir.

Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları tablosunun devamı

SN	Literatür çalışması	Elektriksel Verim	Isıl verim	Yılı	Sistem Türü	Önemli Noktalar ve çıktılar
22	Kumar, S., R. ve ark.	%11.87		2015	PV	ANSYS yazılımı ile simülasyonu yapılan PV/TES sistemi ile elektriksel verim artırılmaya çalışılmış. Elektrik enerjisi ile birlikte hem ısı hem de soğuk enerji, yarı iletken bileşenlere dayalı olarak faydalı bir şekilde eş zamanlı olarak üretildiği belirtilmiş.Bu sistemin panelinin elektriksel verimini ve ömrünü arttırdığı belirlenmiş.
23	Machniewicza, A. ve ark.	%10		2015	PV	ESP-r yazılımı kullanılarak PV/FDM panellerini elektriksel performansı artırılmak istenmiş ve FDM'nin geçiş sıcaklığı tespit edilmeye çalışılmış. PV panelin arka tarafındaki ek FDM katmanının, yaklaşık 20 °C FDM geçiş sıcaklığı ile elektrik üretiminin verimliliğini etkili bir şekilde artırabileceği sonucuna varılmıştır.
24	Hachicha, A.,A. ve ark.	% 4		2015	PV	Aktif soğutma tekniği ile manuel püskürtmeli pompa yardımı ile üç soğutma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş; arka soğutma, ön soğutma ve çift soğutma ile panel sıcaklığı ve elektriksel verim test edilmiş. Hücrenin sıcaklığının %18 kadar azaldığı görülmüştür.
25	Ghadiri, M. ve ark.	%17	% 33	2015	PV/T	Soğutucu olarak kullanılacak Fe_3O_4-su nanoakışkanın PV/T sistemi üzerindeki genel verimliliği deneysel olarak incelenmiştir.
26	Chamoli, S.			2015	PV	Çalışmaları ile bir ısı değiştiricinin performansının Taguchi-GRA tekniği ile optimize edilebileceğini göstermişlerdir.
27	Paranthagan, B. ve ark.			2015	PV	MGNTS tekniklerinden "Tebe Tırmanma Algoritması yönteminin kullanılarak sonuçlar PSIM yazılımına bağlı MATLAB/SIMULINK ortamında smile edilmiş. Uygulamanın adım boyutu çok küçük olduğu için MGN'yi arama süresi ve MGN etrafındaki salınımlarını önemli ölçüde azatltığı tespit edilmiş.Böylelikle izleme verimliliği ve sistem verimliliği iyleştirilmiş
28	Kurşun, B. ve ark.			2016	PV	Pasif soğutma yöntemlerinin kullanıldığı PV panellerin alt kısmına kanat takılarak ve akışkanlara batırılarak soğutmanın sağlandığı ve kanal geometrisi ile panel konumunun paneldeki sıcaklık artışarına etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular kanal çıkışının daraltılması ve panelin eksenel konumunun kanal çıkışına yakın olması durumunda fotovoltaik hücreler için daha etkin soğutma koşullarının sağlandığını göstermiştir.

Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları tablosunun devamı

SN	Literatür çalışması	Elektriksel Verim	Isıl verim	Yılı	Sistem Türü	Önemli Noktalar ve çıktılar
29	Radwan, A. ve ark.	%19	% 62	2016	DKPV/T	Soğutma kütle akış hızının ve nanoparçacıkların hacimsel oranlarının DKPV/T sisteminin performansı üzerindeki etkisi, farklı konsantrasyon oranı değerlerinde araştırılmıştır . Sonuçlar, suya kıyasla nanoakışkanlar kullanılarak özellikle yüksek konsantrasyon oranında güneş pili sıcaklığında önemli bir azalma elde edildiğini göstermektedir.
30	Koad , R.B.A., ve ark.			2016	PV	Lagrange Enterpolasyon Formülüne dayalı fotovoltaik bir sistem için yeni bir maksimum güç noktası izleme yöntemi olan parçacık sürüsü optimizasyon yöntemini tavsiye etmektedirler. Karşılaştırılmalı simülasyon sonuçları, hızlı değişen ve düzensiz güneş ışığına maruz kalma koşulları altında, kararlılığı ve hızlı izleme yeteneğini önerilen PSO algoritmanın verimliliği, etkin bir şekilde arttırabileceğini göstermektedir.
31	Kandilli, C.	% 40 % 39 % 34	%22 %23 %17	2017	PV/T	Konveksiyonel PV/T ile FDM/ PV/T'nin termodinamik performasları karşılaştırılmış, enerji -ekserji analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar; en yüksek çıkış sıcaklığı, parafinli, stearik asitli ve konvansiyonel PVT sistemler için sırası ile 47.6 °C; 45.5 °C ve 42.5 °C olarak ölçülmüştür.
32	Öztürk, H., H.			2017	PV	PV sistemlerin özelliklerinin (hücre ve modül yapıları, çalışma prensipleri, akım gerilim güç özellikleri, gerilim -akım, verimlilik iyi anlaşılması için yazmış olduğu teorik makaledir. Amorf silikon bazlı güneş pilleri için %6'dan çok bağlantılı PV hücreleri için %44.0'a ve bir hibrit paket halinde birleştirilmiş çok sayıda kalıp için %44.4'e kadar değiştiğini, kristal silikon PV hücreler için enerji dönüşüm verimliliği yaklaşık %14 ila %19 olduğunu, ve güneş yoğunlaştırıcıların hücre verimine etkisi, GaAs hücresinin verimliliğini % 31'den % 35'e çıkabileceğini belirtmiştir.
33	Hachem, F. ve ark.	%3 %5.8		2017	PV	Çalışmada PV paneli saf ve kobine FDM kullanımının elektrik verimliliği karşılaştırılmış. Verimliliğinin saf FDM kullanırken ortalama %3, kombine FDM kullanırken ise ortalama %5,8 oranında artırdığı görülmüştür.
34	Yang , Z. ve ark.	%40.1		2018	PV	Çalışmada spektrum bölücü PV-TEG sisteminin verimliliği ile normal PV hücresi karşılaştırtılmıştır. Çalışmada PV-TEG sisteminin hücreye olan alan miktarının spektrum bölme sistemine etkisi detaylı olarak incelenmiş ve spektrum bölme teknolojisi yük performanslı güneş konsantrasyonu etmenleri için hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları tablosunun devamı

SN	Literatür çalışması	Elektriksel Verim	Isıl verim	Yılı	Sistem Türü	Önemli Noktalar ve çıktılar
35	Zanlorenzi, G. ve ark.	%15.20	%23.5	2018	PV/T	Su soğutmalı PV/T prototip hibrit sistemin tropical iklim bölgesinde kullanılmasının uygunluğu ve soğutmasız PV modülü ile karşılaştırılması yapılmış ve uygun olduğu tespit edilmiştir.
36	Ömeroğlu G., ve Öner, İ., V.	%55		2018	PV/T	Çalışmada Monokristal fotovoltaik güneş pilleriyle çalışan PV sistemine termal kanatlar entegre ederek sistemin optimum fotovoltaik çalışma sıcaklığını tespit etmek, kanat kullanılmadan dizayn edilen PV/T sistemi ile karşılaştırmak ve fazla ısıyı değerlendirmek amaçlanmıştır.Kanatçık kullanılmadığında yüzey sıcaklığı 71-74 0C, kanatçıksız fon kullanıldığında en fazla 52^{o}C'ye düşürülmüş. Yüzeye kanatçıklar yerleştrildiğinde yüzey sıcaklığı 70^{o}C alınmıştır. Bakır kanatçık kullandığınada daha da iyi sonuç alınmış yüzey sıcaklığı 48^{o}C ye düşmüş. Sistemin total verimliliği geleneksel fotovoltaik sistemlere oranla yaklaşık %55 fazla olduğu sonucuna varılmış. Fotovoltaik hücre sıcaklığının açık devre geriliminde yaklaşık %20 etkisi olduğu saptanmıştır.
37	Sun, X. ve ark.	%30		2018	PV-PV/T	Uygun maliyetli zemin reflektörlerinin ve modül yükseltme şemalarının geliştirilmesi için çift geçişli güneş modülleri optimizasyonunu araştırmış. Albedodeğeri 0,5'eçıkarıldığında ve modüller yerden 0,5 m yükseğe yerleştirildiğinde çift taraflı kazancın %30'a çıkabileceği bildirilmiştir. Çift taraflı güneş modüllerinin gölgesinin optimizasyon üzerinde büyük bir etkisi olduğu saptanmıştır. 0,5 albedo ve sıfır yükseklikteki bir durum için, dikey Çift Taraflı Doğu-Batı konfigürasyonu, 30° enleminin altında Çift Taraflı Kuzey-Güney konfigürasyonuna kıyasla %15 kadar daha başarılı olduğu, 30° enlemin altında bunun tersi olduğu bulunmuştur.
38	Jia, Y. ve ark.			2019	PV/T	Çalışmada PV/T sistemlerinin konfgrasyonlarının geliştirilmesi ve uygulanması avantajları, dez avantajları hakkında detaylı derleme çalışması yapmışlardır.
39	Fakouriyan S. ve ark.	%23.02	%49	2019	PV/T	Çalışmada PV sistemini soğutmak için entegre edilen basit yapılı bir soğutma sistemi dizayn ederek aynı zamanda sıcak su da sağlayacak PV/T sistemi tasarlanmış ve PV sistemi ile karşılaştırılmış. Ortalama verimlilik toplamda % 61.7 olarak bulumuştur.

Tablo 3.1. Yapılan literatür çalışmaları tablosunun devamı

SN	Literatür çalışması	Elektriksel Verim	Isıl verim	Yılı	Sistem Türü	Önemli Noktalar ve çıktılar
40	Alvesa, P. ve ark.			2019	PV-PV/T	Güneş enerji sistemlerin verimliliğini arttırmak için kullanılcak malzemeler, uygulanacak teknikler hakkında kapsamlı bir çalışma oluşturmuşlardır.
41	Fathabadi, H.			2019	PV	(BIPVS) enerji verimliliğini yukarı çekmek için BIPVS'nin PV dönüştürücü-pil bölümünün enerji verimliliğini PV panelinin bir dizi paralel homojen yapılandırılmış. İlk sette (geleneksel PV dönüştürücü pil bölümü) Li-ion pilinin şarj süresi, PV panelini paralelhomojenyapılandırılmış PVsetine ayırmadan kaydedildi ve enerji dönüşüm verimliliği % 9.3 bulunmuştur. 2 sette (ayrışmış PV-Pil bölümü) veriler PV paneli üç paralel bağlı PV modülünden oluşan bir kümeye ayrıştırılırken kaydedilmiş ve enerji dönüşüm verimliliği % 9.94 olarak bulunmuştur.
42	Sajjad, M. ve ark.	%7.2		2019	PV/T	Klimaların soğutulmuş hava kanallarına modül monte ederek hava soğutmalı hibrit PV/Toluşturularak soğutmasız PV ile verimsellikleri karşılaştırlmıştır.
43	Salem, M. ve ark.			2019		Nanoakışkanlı/FDM birleşik tekniği kullanarak bir PV modülünün soğutma etkisinin performansını deneysel olarak araştırmışlardır. FDM'deki nano parçacık konsantrasyonunun arttırılması, panellerin elektriksel verimliliğini arttırdığı görülmüştür. Referans hücre ile karşılaştırıldığında, φ = % 0,25 ve φ =%1 için ortalama elektriksel verim sırasıyla % 32 ve % 37,1 oranında arttırdığı görülmüştür. FDM oranı arttıkça termal verimlilik azalmaktadır. Bunun nedeni, FDM'ye panelden aktarılan ısı enerjisindeki artış olup, panelden suya aktarılan ısı enerjisi minimuma inmesi gösterilmiş
44	Fu, Z. ve ark.			2021	PV/T	% 15 genişletilmiş grafit içeren kompozit FDM'ler çok katmanlı yapılı bir PV/T sisteminin performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiş olup PV/T sisteminin ortalama elektrik verimliliği, ısı ejanjörünün FDM'lerde kullanılarak yaklaşık % 1 oranında artırılabilir. Genel verimliliği %25,2 artırdığı görülmüştür.
45	Gümüş,Z. Demirtaş,M.		2021		PV	Çalışmada kısmi gölgelenme altında DC-DC dönüştürücüleri kullanarak üç farklı algoritma tekniği olan ; "Değiştir ve Gözle (D&G)", "Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO)" ve "Guguk Kuşu Optimizasyon (GKO)" ile Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) yapılmıştır.Sistem tasarımında MATLAB/SIMULINK programı kullanılmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürün tamamı göz önünde bulundurulduğunda PV-PV/T sistmlerinin verimlerini artırmak için birçok yöntem denenmekte ve uygulamalarda başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu uygulamalardan en önemlilerden biri sistemlerin ortam sıcaklığından kaynaklı ısınmalarından dolayı fotovoltaik sistemlerde meydana gelen verim kaybını önlemek için uygulanan yöntemlerdir. Bu verim kayıplarını minimuma indirmek için çeşitli soğutma teknikleri kullanılmakta ve çeşitli konfgrasyon değişikliklerine gidilmekte. Aktif ve Pasif yöntemlerle panel soğutulmaktadır. Aktif soğutmada çeşitli akışkanlar (su, hava, nanoakışkan, FDM) ve pompa sistemi kullanılmakta, pasif soğumada sisteme kanatçık takılarak yüzey alanı artırılmaya çalışılır, ısı boruları, emiciler vb entegre edilmekte. Yapılan çalışmalar incelendiğinde soğutmalı sistemlerin verimliliği soğutmasız sistemlere göre daha yüksek. Aktif soğutmanın sistemler üzerinde verimi artırma açısından Pasif soğutmadan daha etkili olduğu görülmektedir.Aktif soğutmanın daha zahmetsiz kolay uygulanabilir olması ,aktif soğutma kendi arasında su ile soğutma ucuz her daim bulunmasından dolayı ve etksinden dolayı çok tercih edildiği yapılan çalışmalar incelendiğinde anlaşılmaktadır.

Nano akışkanın soğutmada kullanımı üstün performans sağlamakta fakat maliyetli olması, bazı özelliklerinin çok bilinmemesinden dolayı beklenmedik durumlar oluşturması açısından kullanımı sınırlı olduğu görünmektedir. Fotovoltaik sistemlerde FDM'nin soğutmada kullanımı performansı olduça artırdığı görülmüştür yalnız FDM oranı arttıkça termal verimlilik azalmaktadır. Bunun nedeni, FDM'ye panelden aktarılan ısı enerjisindeki artış olup, panelden panelden suya aktarılan ısı enerjisi minimuma inmesi gösterilmiş.

Pasif yaklaşım soğutma teknikleinde bakır kanatçıklar kullanmak diğer metallere oranla verim artırmada daha etkili olduğu görülmüştür.

Sistem verimine etki eden diğer diğer bir konu yarı iletken özellikleri; ince film güneş pillerin ve nanomalzemeli güneş pillerin daha üstün özelliklere sahip olmasına rağmen silikon güneş pillerinde kullanılan silikon malzemesinin bol miktarda elde edilmesinden ve maliyeti açısından en yaygın kullanılan güneş pili olduğu bulunmuş. En yüksek ısıl kayıpların mono ve c-Si pillerde olduğu ve ince film güneş pillerinde daha az ısıl kayıp görüldüğü saptanmıştır. Kristal silikon PV hücreler için enerji dönüşüm verimliliği yaklaşık % 14 ila % 19 olduğunu, GaAs hücresinin verimliliğini % 31'den % 35'e çıkabileceğini belirtilmiştir. Yüksek sıcaklıklardan daha az etkilenmesi ve dönüşüm

verimliliği nedeniyle ince film PV panelleri sıcak iklimlerde mono kristal PV panellerine göre tercih edilebilir. a-Si malzemeden üretilmiş PV paneller 350 – 800 nm aralığında salınan daha dar spektral tepki alanlarına sahiptir. a-Si malzemeden yapılmış modüller difüz güneş ışınımında ve yüksek güneş elevasyon açılarında daha çok enerji üretirler.

Güneş ışınlarının düzensiz gelmesi kısmi gölgelenme durumlarda bir tek modül için bile bütün sistemde çok yüksek verim kaybı gerçekleştiği için bu tarz durumlarda sisteme ulaşan en iyi yük noktası olan MGN'yi bulmanın önemli olduğu bu da MGNTS'nin çeşitli algoritmalarla MGN'NI takip ederek sorunları çözebileceği görülmüş.

Termal güneş toplatıcıların sisteme iyi uyum sağlaması için PV sistemine ve SYS alan oranı önemlidir.

Güneş enerjisinin yenilenebilir, temiz ve uygulanailir olduğu görülmektedir.Bu enerjinin daha uygulanbilir olması ve yaygınlaştırılması için fotovoltaik sistem ve ekipmanları ve uygulama yöntemlerinin daha çok geliştirlmesi için bilimsel ve teknolojik çalışmaların artırılması ve bu konuda farkındalık oluşturulması gerekmektedir.

.

5. KAYNAKLAR

Abdolzadeh, M., Ameri, M., 2009. Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. *Renew Energy,* 34:91-96.

Agrawal, S., Tiwari, G.N., 2013. Overall energy, exergy and carbon credit analysis by different type of hybrid photovoltaic thermal air collectors. *Energy Conversion and Management,* 65:628–636.

Ağı, S., Günerhan, H., 2005. Sıvılı düzlemsel güneş kolektörlerinde verim artırma olanakları. *Tesisat Mühendisliği,* 86:15-30.

AHİKA, 2020. https://www.ahika.gov.tr, Güneş Enerjisi Tr71'de Güneş. 25 Aralık 2021.

Akbulut, U., 2015. Galyum: Ele alınınca erijen ilginç metal. https://www.Uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/. 13 Nisan 2013.

Altınışık, U., 2016. Su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğinin arttırılması. *Yüksek Lisans Tezi,* Siirt Üniversitesi, Siirt, 115s.

Alvesa, P., Fernandes, J.F.P., Torresc, J.P.N., Brancop, P,J,C., Fernandesc, G.J., 2019. From Swedento Portugal: The effect of very distinct climatezoneson energy efficiency of a concentrating photovoltaic thermal system (CPV/T). *Solar Energy* 188:96-110.

Arslan, E., 2015. Güneş enerjisi potansiyelinin bölgesel analizi ve enerji üretim sistemlerine uyarlanması. *Yüksek Lisans Tezi,* Gazi Üniversitesi, Ankara, 124s.

Arslan, F.M., Günerhan, H., 2017. Enerji uygulamalarında kullanılan nano akışkanların ısıl özellikleri. 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ege Üniversitesi, İzmir, 19-22 Nisan, 167-178s.

Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P., Rehman, S., 2013. Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy,* 59:445-453

Bakır, C., 2012. Fotovoltaik/ısıl sistemlerde performans iyileştirme ve termo-ekonomik analiz. *Yüksek Lisans Tezi,* Selçuk Üniversitesi, Konya, 125s.

Bhatnagar, P., Nema, R.K., 2013. Maximum power point tracking control techniques: State of the art in photovoltaic applications. *Renew Sustain Energy Rev.,* 23:224-41.

Bopche, S.B., Tandale, M.S., 2009. Experimental investigations on heattransfer and frictional characteristics of a turbulator roughened solar air heater duct. *IntJ Heat Mass Trans,* 52(11–12):2834-48.

Boz, O.H., 2011. Günümüzün alternatif enerji kaynağı: Fotovoltaik güneş pilleri. *Yüksek Lisans Tezi,* Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 104s.

Browne, M.C., Norton, B., McCormack, S.J., 2015. Phase change materials for photovoltaic thermal management. *Renewable Sustainable Energy Rev.,* 47:762-782.

Burke, W.F., Uğurtaş, G., 1974. Seismic interpretation of thrace basin. TPAO internal report, Ankara, Turkey.

Cebeci, S., 2017. Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi.* Kalkınma Bakanlığı, Ankara, 185s.

Cezim, C., 2013. Fotovoltaik sistemler ve uygulamaları. elektrik elektronik mühendisliği TMMOB elektrik mühendisleri odası eğitim seminer etkinlikleri, 8 Haziran, İstanbul.

Chamoli, S., 2015. A taguchi approach for optimization of flow and geometrical parameters in a rectangular channel roughened with V down perforated baffles. *Case Studies in Thermal Engineering,* 5:59–69.

Cieslinski, J., Dawidowicz, B., Krzyzak, J., 2016. Performance of the pvt solar collector operated wıth water Al_2O_3Nanofluıd, Gdansk University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Gdansk, Polska, 5-8s.

Colak, I., Demirtas, M., Kabalci, E., 2014. Design, optimisation and application of a resonant DC link inverter for solar energy systems. *COMPEL - The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 33(5):1761-1776.

Cox, C.H., Raghuraman, P., 1985. Design considerations for flat plate photovoltaic thermal collectors. *Sol Energy,* 35:227-241.

Çağatay, E., Altınok, M., Barbaros, Ç., 2013. Gaz güç çevrimi ve brayton soğutma çevrimlerinin matlab ile analizi. Conference: 19th National conference on thermal sciences (ULIBTK'13), Samsun, Türkiye, Eylül, 2013, 8s.

Çakmanus, İ., 2011. Yaklaşık sıfır enerjili binalar. *Yeşil Bina Dergisi,* 7:28-31.

Çengel, Y.A., Boles, M.A, 1996. Mühendislik yaklasımıyla termodinamik. McGraw-Hill Literatür Ortak Yayını, Ankara, 796s.

Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., 2012. Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları. Güven Kitabevi, İzmir, 938s.

Çengel, Y., Boles, M.A., 2008. Termodinamik, mühendislik yaklaşımıyla. Güven Yayınları, İstanbul, 946s.

Çetinbas, I., Tamyürek, B., Demirtas, M., 2019. Energy management of a PV energy system and a plugged-in electric vehicle based micro-grid designed for residential applications, *2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Brasov, Romania, 991-996s.

Değirmencioğlu, C., Ülken, Z., 2003. Havalı güneş kolektörleri üzerine bir literatür araştırması ve temel ilkeleri, TTMD, 23:28-34.

Dinçer, F., 2011. Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli ekonomik analizi ve AB Ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme. *KSU Mühendislik Dergisi,* 14(1):8-17.

Dorobantu, L., Popescu, M.O., 2013. Increasing the efficiency of photovoltaic panels through cooling water film. *U.P.B. Sci. Bull., Series C,* 75(4):223-230.

Dubey S., Sandhu G.S., Tiwari GN., 2009. Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector. *Applied Energy,* 86:697-705.

Durak, M., 2016. Güneş enerjisi: teori ve uygulama. https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2021/05/g%c3%9cne%c5%9e-enerj%c4%b0s%c4%b0-teor%c 4%b0-ve-uygulama-murat-durak.pdf. 22 Mart 2021.

Ersöz, M.A., Yıldız, A., 2013. Isı borulu vakum tüp güneş kollektörlerinde optimum boru çapının belirlenmesi. *Politeknik Dergisi,* 23:245-257.

Fakouriyan, S., Saboohi, Y., Fathi, A. 2019. Experimental analysis of a cooling system effect on photovoltaic panels' efficiency and its preheating water production. *Journal of Green Elsevier Renewable Energy,* 134:1362-1368.

Fang, G.J., Lian, K.L., 2017. A maximum power point tracking method based on multiple perturb-and-observe method for overcoming solar partial shaded problems., 2017 6th International conference on clean electrical power (ICCEP), Santa Margherita Ligure, 68-73s.

Fathabadi, H., 2019. Increasing energy efficiency of PVcoconverter-battery section of standalone building integrated photovoltaic systems engineering department, Kharazmi University, Tehran, Iran, energy and buildings. *Journal of Green Elsevier,* 101:1-11.

Fu, Z., Liang, X., Li, Y., 2021. Performance improvement of a PVT system using a multilayer structural heat exchanger with PCMs. *Renewable Energy,* 169:308–317.

Garg, H.P., Datta, G., 1989. Performance studies on a finned air heater. *Energy,* 14:87-92.

Ghadiri, M., Sardarabadi, M.P., Fard, A.J., 2015. Moghadamexperimental investigation of a PV/T system performance using nano ferrofluids. Energy Conver Manage, 103:468-476.

Gümüş, Z., Demirtaş, M., 2021. Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 24(3):853-865.

Günaydın, A., 2018. Yoğunlaştırılmış nano parçacıklı PV/T/PCM sisteminin deneysel analizi. *Yüksek Lisans Tezi,* Karabük Üniversitesi, Zonguldak, 91-92s.

Habitat Kalkınma ve Yönetişim Derneği, 2019. Güneş Pilleri. http:// habitatkalkinma. org/dl/kaynaklar/yayin/TemizEnerjiYayinlari/G_Pilleri.pdf. 25 Mart 2019.

Hachem, F., Abdulhay, B., Ramadan, M.H., Khaled, M., 2017. Improving the performance of photovoltaic cells using pure and combined phase change materials experiments and transient energy balance. *Renew Energy,* 107:567-575.

Hachicha, A.A., Ghenai, C., Hamid, A.K., 2015. Enhancing the performance of a photovoltaic module using different cooling methods. *World Academy of Science Engineering and Technology International Journal of Environmental Chemical Ecological Geological and Geophysical Engineering*, 9(9):1106-1109.

Hasan, A., Cormack, S.J.M., Huang, M.J., Norton, B., 2014. Energy and cost saving of a photovoltaic-phase change materials (PV-PCM) system through temperature regulation and performance enhancement of photovoltaics. *Energies*, 7(3):1318-1331.

Ho, C.J., Tanuwijava, A.O., Lai, C.M., 2012. Thermal and electrical performance of a BIPV integrated with a microencapsulated phase change material layer. *Energy Build,* 50:331-338.

Jia, Y., Alva G., Fang, G., 2019. Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review Renewable and Sustainable Energy Reviews. *Elsevier,* 102:249-265.

Joshi, S., Tiwari, A., Tiwari, G.,N., Dincer, I., 2009. Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) system. *International Journal of Thermal Science*s, 48(2009):154-164.

Kamada, R., Yagoika, T., Adachi, S., Handa, A., Tai, K.F., Kato, T., Sugimoto, H., 2016. New world record Cu(In,Ga)(Se,S)2 thin film solar cell efficiency beyond 22%. Proceedings of the 43th IEEE photovoltaic specialist conference, 1287-1291s.

Kamthania, D., Nayak, S., Tiwari, G.N., 2011. Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal double pass facade for space heating. *Energy and Buildings* 43:2274-2281.

Kandilli, C., 2017. Faz değiştiren malzemelerle bütünleştirilen fotovoltaik termal sistemlerin (PV/T) termodinamik ve ekonomik performansının incelenmesi. 13.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Termodinamik Sempozyumu, TMMOB, 19-22 Nisan, 1315-1330s.

Kantaroğlu, F., 2010. Fotovoltaik sistemler. *Türk tesisat mühendisleri derneği TTMD,* 45:28-34.

Karagöl, E., Kavaz, İ., 2017. Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji. SETA Analiz Raporu, Nisan, 2017, 197s.

Karakaya, H., Şen, İ.,E., 2019. Fotovoltaik Panellerde Verim İyileştirme Yöntemleri. Published in 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. 22-24 November, 1179- 1187.

Karakoç, H., Karakoç, N., Erbay, B., Aras, H., 2012. Enerji analizi. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2486.

Kazmerski, L., 2006. Solar photovoltaics R and D at the tipping point: A2005 technology overview. *Journal of Electron Spectroscopy,* 150:105-135.

Koad, R.B.A., Zobaa, A.F., El-Shahat A., 2017. A novel MPPT algorithm based on particle swarm optimization for photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy,* 8:468-476.

Kollimalla, S.K., Mishra, M.K., 2013. Adaptive Perturb & Observe MPPT algorithm for photovoltaic system, IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), pp. 42-47, 22-23 February.

Kumar S.R., Priyadharshini N.P., Natarajan E., 2015. Experimental and numerical analysis of photovoltaic solar panel using thermoelectric cooling. *Indian Journal of Science and Technology,* 8(36):1-9.

Kumar, R., Rosen, M.A., 2011. Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins. *Applied Thermal Engineering,* 31:1402-1410.

Kurak, E., Erdemir, V., Dursun, B., 2016. FV sistemi için maksimum güç noktası izleyicisi tasarımı ve uygulaması, https://dergipark.org.tr/tr/pub/dubited/issue/24379/2584028. 22 Mayıs 2021.

Kurşun, B., Ökten, K., Dede, G., 2016. Fotovoltaik güneş panellerinin sıvıya daldırma yöntemi ile soğutulmasında kanal geometrisi ve panel konumunun etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 31:135-142.

Küçükkaya, E., 2019. Küresel yenilenebilir enerji kurulu gücü https://www.enerjiportali.com/kuresel-yenilenebilir-enerji-kurulu-gucu-2-000-gwi-gecti. 24 Haziran 2021.

Küçükkaya, E., 2019. İnvertör nedir nerelerde kullanılır. https://www.enerjiportali.com/invertor-inverternedir-nerelerde-kullanilir/. 03 Ocak 2019.

Leblebicioğlu, E., 2018. Termodinamiğin 2. yasası ve entropi. https://muhendistan.com/termodinamiğin- 2-yasasi-ve-entropi/. 03 Şubat 2018.

Lewis, N. S., 2007. Toword cost-effective solar energu use. *Science,* 315:798.

Li, Q., Xuan, Y.M., 2002. Convective heat transfer and flowcharacteristics of Cu water nanofluid. *Sci. China,* 45:408–416.

Lian, K.L., Jhang, J.H., Tian, I.S., 2014. A maximum power point tracking method based on perturb-and-observe combined with particle swarm optimization. *IEEE J. Photovoltaics,* 4(2):626–633.

Machniewicza, A., Kneraa, D., Heima, D., 2015. Effect of transition temperature on efficiency of PV/PCM panels. *Energy Procedia,* 78:1684-1689.

Makrides, G., Zinsser, B., Phinikarides, A., Schubert, M., Georghiou, G.,E., 2012. Temperature and thermal annealing effects on different photovoltaic technologies. *Renew. Energy,* 43:407-417.

Manay, E., Sahin, B., Akyurek, E.F., Comakli, O., 2012. Mikro kanallarda nanaoakışkanların kullanımı. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53:38-42.

Matheswaran, M., M., Arjunan, T.,V., Somasundaram, D., 2018. Analytical ınvestigation of solar air heater with jet ımpingement using energy and exergy analysis. *Solar Energy,* 161:25-37.

Micheli, D., Alessandrini, S., Radu, R., Casula, I., 2014. Analysis othe outdoor performance and efficiency of two grid connected photovoltaic systems in northern Italy. *Journal of Green Elsevier, Energy Conversion and Management, University of Trieste,* 80:436-445.

Naphon, P., 2005. On the performance and entropy generation of the double-pass solar air heater with longitudinal Fins. *Renew Energy,* 30:1345–135.

Ooshaksaraei, P., Sopian, K., Zaidi, S.H., Zulkifli, R. 2017. Performance of four air-based photovoltaic thermal collectors configurations with bifacial solar cells. *Renewable Energy,* 102:279-293.

Oymak, M., 2007. Isıl sistem tasarımlarında ekonomik yalıtım kalınlıklarının ekserji ekonomik yöntemle belirlenmesi. *Yüksek lisans tezi,* Trakya Üniversitesi, Edirne, 127s.

Ömeroğlu, G., Öner, İ.V., 2018. Fotovoltaik termal (FV/T) sistemlerinde farklı tip kanatçılar kullanılarak optimum çalışma sıcaklığının tayini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi,* 9:177-183.

Öztürk, A., 2012. Monokristal ve polikristal güneş pili modüllerinin mevsimsel performanslarının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi,* Tunceli Üniversitesi, Tunceli, 70s.

Öztürk, H.H., 2017. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler. *V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri,* 1:1-14.

Pamukçu, T., 2018. Türkiye için fotovoltaik panel performans oranının dış sıcaklık ve güneş radyasyonuna bağlı olarak belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi.* Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, 80s.

Paranthagan, B., Marimuthu M., Karthiga M., 2015. Global maximum power point tracking under partial shading condition using SEPIC converter. *International Journal of Advanced Research in Electrical,* 4(2):718-726.

Radwan, A., Ahmed, M., Ookawara, S., 2016. Performance enhancement of concentrated photovoltaic systems using a microchannel heat sink with nanofluids. *Energy Convers Manage,* 119:289-303.

Rampinelli, G.A., Krenzinger, A., Romero, F.C., 2014. Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems. *Journal of Green Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34:578-587.

Rosen, M.A., 2002. Exergy Conservation; an alternative to conserving the already conserved quantity energy. *Exergy an İnternational Journal,* 2:59-61.

Sajjad, M., Amer, H.M., Ali, A., Dahiya, N.A., 2019. Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering,* 14:100-420.

Salem, M.R., Elsayed, M.M., Abd-Elaziz, A.A., Elshazly, K.M., 2019. Performance enhancement of the photovoltaic cells using Al2O3/PCM mixture and/or water cooling-techniques. *Renewable Energy journal,* 138:876-890.

Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., Masmoudi, A., 2012. MATLAB/simulink based modelling of solar photovoltaic cell research unit on renewable energies and electric vehicles. *Internatıonal Journal Of Renewabe Energy Research, Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman* 2:214-218.

Sancar, İ., 2019. Hibrit tip havalı güneş kollektörünün CFD analizi. 2. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi 21-23 Haziran, Adıyaman, 1-14s.

Seyedmahmoudian, M., Muhammediye, A., Kumary, S., 2014. Fotovoltaik sistem için geleneksel maksimum güç noktası izleme tekniklerinin prosedürü ve son durumuna ilişkin karşılaştırmalı bir çalışma. *Uluslararası Bilgisayar ve Elektrik Mühendisliği Dergisi,* 6(5):402-414.

Sopian, K, Yigit, K.S., Liu, H.T., Kakac, S., 1996. Performance analysis of photovoltaic thermal air heaters. *Energy Conversion and Management,* 37:1657-70.

Sultan, S.M., Fadhel, M.I., Alkaff, S.A., 2013. Performance analysis of the PV/thermal collector (PV/T) system for different Malaysian climatic conditions. *Applied Mechanics and Material,* 467:522-527.

Sun, X., Khan, M.R., Deline, C., Alam, M.A., 2018. Optimization and performance of bifacial solar modules: A global perspective. *Applied Energy,* 212:1601-1610.

Şahin, T., 2010. Düzlemsel ve bükülmüş kollektörlerinin deneysel incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi,* Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 61s.

Şener, M., 2013. Etkin bir havalı güneş kollektörünün tasarımı ve optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi,* Hitit Üniversitesi, Çorum, 110s.

Tafavogh, M., Alireza, Z., 2021. Design and productionof a novel encapsulated nano phase change materials to improve thermal efficiency of a quintuple renewable geothermal/hydro/biomass/solar/wind hybrid system. *Journal of Cleaner Production,* 305:358-378.

Temiz, M., 1995. GaAs teknolojisi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 2(3):61-67.

Teo, H.G., Lee P.S., Hawlader, M.N.A., 2012. An active cooling system for photovoltaic modules. *Energy,* 90:309-315.

Tonui, J.K., Tripanagnostopoulos, Y., 2006. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance ġmprovements. *Solar Energy,* 81:498-511.

Toprak, A., Kılıç, H.Ş., Kepçeoğlu, A., 2016. Güneş pilinin tek diyot rs model parametrelerinin hesaplanması ve I-V İle P-V karakteristiklerinin. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi,* 12:13-22.

URL-1, 2020. https://yearofthefly.org/4463/turkiye-gunes-enerjisi-haritasi/ruzgar-gucu-turkiye-gunes-enerjisi-potansiyeli-atlasi-gepa-turkiye-gunes-enerjisi-haritasi. Güneş enerjisi. 18 Ağustos 2021.

URL-2, 2019. https://www.tespam.org. Türkiye elektrik enerjisi üretim kaynakları. 14 Mart 2019.

URL-3, 2018. https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html. 11 Ocak 2018.

URL-4, 2019. https://moduled.com.tr/gunes-pili-nedir-nasil-calisir/2019. Güneş pili. 27 Temmuz 2021.

URL-5, 2018. https://www.enerjimgunesten.com/gunes-paneli-cesitleri-nelerdir.html. 08 Mart 2018.

URL-6, 2015. http://nanografi.com.tr/blografi/galliumarsenidegaaswaferalttayapsalözellikleri kullanm-alanlar-avantajlar. Arsenide gaas yapısal özellikleri. 11 Eylül 2021.

URL-7, 2021. https://enerji.gov.tr. Denge tablolar. 12 Ocak 2021.

Uyarel, A., Öz, E., 1987. Güneş enerjisi ve uygulamaları. Birsen Yayınevi, İstanbul, 76s.

Ünal, F., 2009. Bir termik santralin ekserji analizi. *Yüksek Lisans Tezi,* Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 91s.

Ünverdi, M., 2016. Nanoakışkanlı levhalı ısı değiştirici kanallarında ısı geçişinin deneysel ve sayısal incelenmesi. *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 173s.

Varınca, K.B., Gönüllü, M.T., 2006. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi: Yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, 21-23 Haziran, 270-275s.

Vatansever, K., 2020. Parabolik oluklu güneş kollektörü ile buhar üretmi. *Yüksek Lisans Tezi,* Bursa, 58s.

Yang Z., Li, W., Chen, X., Su, S., Lin, G., Chen, J., 2018. Maximum efficiency and parametric optimum selection of a concentrated solar spectrum splitting photovoltaic cellthermoelectric generator system. *Energy Convers, Manag.,* 174:65-71.

Zanlorenzi, G., Szejka, L.A., Junior, O.C., 2018. Hybrid photovoltaic module for efficiency improvement through an automatic water cooling system: A prototype case study. *J. Clean. Prod.,* 196:535-546.

Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., Yu, X., 2012. Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies. *Renew Sustain Energy Rev.,* 16:599-617.

ÖZGEÇMİŞ