FOTOVOLTAİK PANELLERDE SOĞUTMA İLE VERİM ARTIRMANIN DENEYSEL ANALİZİ

ÖMER KARAOZAN

EKİM 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK PANELLERDE SOĞUTMA İLE VERİM ARTIRMANIN DENEYSEL ANALİZİ

ÖMER KARAOZAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

EKİM 2022

DİYARBAKIR

FOTOVOLTAİK PANELLERDE SOĞUTMA İLE VERİM ARTIRMANIN DENEYSEL ANALİZİ

Ömer KARAOZAN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Fen Bilimleri Enstitüsü**'nde**Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan Dalkılıç
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin Asker
Danışman, **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Dr. Öğr. Üyesi Davut Sevim
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin Asker
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Heybet Kılıç
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 27 / 10 / 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Anneme…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına göre bu tezi hazırladığımı ve bu tezde yer alan bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun elde ettiğimi ve sunduğumu beyan ederim. Ayrıca, tezimde özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uyarak alıntıladığımı, kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunması halinde bütün sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyadı: Ömer KARAOZAN

İmza: …….

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin Asker'e fikir aşamasından, deney setinde kullanılacak malzemelerin seçiminden temini, değerlendirmelerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmelere katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca teknik desteklerinden dolayı Dicle üniversitesi teknik personellerinden Hasan Karaş'a, kuzenim Abdulvahap Karaozan'a ve abim Lokman Karaozan'a teşekkür ederim.

Ayrıca Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP), bu tez çalışması için sağladıkları finansal destek için (Proje No: FBE.21.018) için teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xii
ÖZET xiv
ABSTRACT xv
1. GİRİŞ 1
1.1 Literatür araştırması 3
1.2 Problem tanımı 8
1.3 Çalışmanın amaç ve kapsami 9
1.4 Fotovoltaik panel soğutmada kullanılan teknikler 9
1.4.1 Yüzer izleme konsantre soğutma sistemi-(Floating tracking concent rating cooling - FTCC) 12
1.4.2 Püskürtme / yağmurlama sistemi ile FV panellerin soğutulması) 13
1.4.3 FV panellerin termoelektrik elemanlar ile soğutma sistemi 14
1.4.4 Zorlanmış su sirkülasyonu ile FV panellerin soğutulma sistemi 15
1.4.5 Faz değişim malzemeleri kullanılarak güneş panellerini soğutma sistemi . 16
1.4.6 Sıvıya daldırma yöntemi ile FV panellerin soğutulması 17
1.4.7 Zorlanmış hava sirkülasyonu ile FV panellerin soğutulması 18
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI 19
2.1 Jeotermal enerji 19
2.2 Biyokütle enerji 20
2.3 Rüzgar enerjisi 21
2.4 Güneş enerjisi 22
2.4.1 Güneş Pilleri 23
2.4.1 Mono-Kristal Güneş Pilleri 26
2.4.3 Poli-Kristal güneş pilleri 28

2.4.4 İnce film güneş pilleri 29
3. FOTOVOLTAİK PANEL TEORİK ANALİZİ 30
3.1 FV panellerde bağlantı türleri 32
3.1.1 FV panellerin seri bağlanması 32
3.1.2 FV panellerin paralel bağlanması 33
3.1.3 FV Panellerin karışık bağlanması 33
4. MATERYAL VE METOD 35
4.1 Deney setinin gerçekleştirilmesi 35
4.2 Deney setinde kullanılan malzemeler 40
4.3 Enerji Analizi 49
4.4 Sıcaklık ve ışımanın FV panelin güç, akım ve gerilimine etkisi 51
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 68
KAYNAKLAR 70
ÖZGEÇMİŞ 75
TEZ BENZERLİK BİLDİRİM FORMU 76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Yüzer izleme konsantre soğutma sistemi 13
Şekil 1.2 Püskürtme / yağmurlama sistemi ile FV panellerin soğutulması 14
Şekil 1.3 FV hücrelerin soğutulması için termoelektrik elemanın kullanılması..... 15
Şekil 1.4 Zorlanmış su sirkülasyonu ile FV panelleri soğutma sistemi 16
Şekil 1.5 Faz değişim malzemeleri kullanılarak güneş panellerini soğutma sistemi. 16
Şekil 1.6 Sıvıya daldırma yöntemi ile FV panellerin soğutulması..... 17
Şekil 1.7 Zorlanmış hava sirkülasyonu ile FV panellerin soğutulması..... 18
Şekil 2.1 Jeotermal kaynaklar 20
Şekil 2.2 Rüzgar atlası..... 21
Şekil 2.3 Dünyaya gelen yıllık ortalama güneş ışığı miktarı 22
Şekil 2.4 Türkiye Güneş Atlası 23
Şekil 2.5 Fotonun elektronu yolundan çıkaran rekombinasyonun hareketin canlandırılması 24
Şekil 2.6 Güneş pilinden elektrik akımı elde edilmesini canlandıran çizim..... 26
Şekil 2.7 Mono-kristal güneş pili..... 27
Şekil 2.8 Monokristal ve polikristal pillerinin görünümü..... 28
Şekil 2.9 İnce film güneş pili 29
Şekil 3.1 Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi 30
Şekil 3.2 Güneş panellerinin seri bağlanması 32
Şekil 3.3 Güneş panellerinin paralel bağlanması 33
Şekil 3.4 Güneş panellerinin karışık bağlanması 34
Şekil 4. 1 Diyarbakır / Merkez, global radyasyon değerleri (KWh/m2-gün) 35
Şekil 4. 2 Diyarbakır / Merkez güneşlenme süreleri (Saat) 35
Şekil 4.3 Panelin arka yüzünde oluşturulan hazneye bakır borunun yerleştirilmesi . 36
Şekil 4.4 Panel arka yüzünde oluşturulan tankın soğutucu ile kapatılması 37
Şekil 4.5 a) Metal levha b) Metal levha ile kaplanan panel 37
Şekil 4.6 Radyatöre pompa bağlantısı 38
Şekil 4.7 Akış sensörü bağlantısı 39
Şekil 4.8 Denet seti ön yüzü..... 39
Şekil 4.9 Deney seti arka yüzü..... 40
Şekil 4.10 SCN 100 tarayıcı ve alarm cihazı 41

Şekil 4.11 USB -RS485 Dönüştürücü 42
Şekil 4.12 Elektriksel sensörler a) Gerilim sensörü b) Akım sensörü 43
Şekil 4.13 Yüzey sıcaklık sensörü 44
Sekil 4.14 Yüzey sıcaklık sensörü montajı 44
Şekil 4.15 Sıvı sıcaklık sensörü 45
Şekil 4.16 Radyatör ve radyatör fanı 46
Şekil 4.17 Alüminyum soğutucunun panel üzenine montajı. 46
Şekil 4.18 Sirkülasyon pompası 47
Şekil 4.19 Elektriksel yük (0-50 Ohm Reosta 1000W) 48
Şekil 4.20 Bakır boru 48
Şekil 4.21 Montaj platformu ayağı 49
Şekil 4.22 Güneş paneli matlab simulink modeli 51
Şekil 4.23 Sabit ışıma durumunda panel I-V karakteristiği (Işıma=1000 W/m^2 iken sıcaklık 20,40,60,80 ^{0}C)……. 52
Şekil 4.24 Sabit ışıma durumunda panel P-V karakteristiği (Işıma=1000 W/m^2 iken sıcaklık 20,40,60,80 ^{0}C) 52
Şekil 4.25 Sabit sıcaklık durumunda panel I-V karakteristiği (T=45 ^{0}C, ışıma 400,600,800 ve 1000 W/m^2) 53
Şekil 4.26 Sabit sıcaklık durumunda panel P-V karakteristiği (T=45 ^{0}C, ışıma 400,600,800 ve 1000 W/m^2) 53
Şekil 5.1 Ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, ışıma ve referans panel yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi (1.Gün) 54
Şekil 5.2 Referans panel akım, gerilim ve gücünün zamana göre değişimi(1. gün).. 55
Şekil 5.3 Soğutuculu panel giriş-çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi(1.gün) 55
Şekil 5.4 Düz levhalı panel giriş çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi (1.gün) 56
Şekil 5.5 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığının değişimi (1.gün) 56
Şekil 5.6 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen akımlar(1.gün) 57

Şekil 5.7 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen gerilimler(1.gün) 57
Şekil 5.8 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel güçleri (1.gün)..... 58
Şekil 5.9 Referans panele göre sıcaklık düşüşleri (1.gün) 58
Şekil 5.10 Referans panele göre güç artışı (1.gün) 59
Şekil 5.11 Referans panele göre elektriksel verim artışı (1.gün) 59
Şekil 5.12 Ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, ışıma ve referans panel yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi (2.Gün) 61
Şekil 5.13 Referans panel akım, gerilim ve gücünün zamana göre değişimi(2. gün) 62
Şekil 5.14 Soğutuculu panel giriş-çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi(2.gün) 62
Şekil 5.15 Düz levhalı panel giriş çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi (2.gün) 63
Şekil 5.16 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığının değişimi (2.gün)..... 63
Şekil 5.17 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen akımlar (2.gün) 64
Şekil 5.18 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen gerilimler (2.gün) 64
Şekil 5.19 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel güçleri (2.gün)..... 65
Şekil 5.20 Referans panele göre sıcaklık düşüşleri (2.gün) 65
Şekil 5.21 Referans panele göre güç artışı (2.gün) 66
Şekil 5.22 Referans panele göre elektriksel verim artışı (2.gün) 66

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Türkiye'nin Rüzgar Kapasitesi 22
Tablo 4.1 Kullanılan Güneş Paneli Özellikleri 41
Tablo 4.2 Akım sensörü özellikleri 42
Tablo 4.3 Gerilim sensörü özellikleri 43
Tablo 4.4 Yüzey sıcaklık sensörü özellikleri 44
Tablo 4.5 Sıvı sıcaklık sensörü özellikleri 45
Tablo 4.6 Sirkülasyon pompası özellikleri 47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
^0C	Santigrat Derece
GW	Giga Watt
kWh	Kilo WattHour
a-Si	Amorf Silisyum
Cd-Te	Kadmiyum Tellür
$CuInSe_2$	Bakır İndiyum Diselenid
Cd-S	Kadmiyum sülfür
eV	Elektronvolt
Cu	Bakır
In	İndiyum
Se	Selenyum
Ga	Galyum
$CuInGaSe_2$	Bakır İndiyum Galyum Diselenid
MgF_2	Magnezyum Florür
Al	Alüminyum
ZnO	Çinko Oksit
i-ZnO	Intrinsic ZincOxide – Çinko Oksit Esası
CIGS	Copper Indium Gallium Selenide
Mo	Molibden
Al-Ni	Alüminyum Nikel Alaşımı
P_{max}	Maksimum güç (W)
I_{max}	Maksimum akım (A)
V_{max}	Maksimum gerilim (V)
FF	Doldurma faktörü
V_{OC}	Açık devre voltajı (V)
η_C	Referans hücre sıcaklığında ölçülen FV modül verimliliği
η_{TRef}	Modülün referans sıcaklıktaki elektrik üretim verimliliği
β_{Ref}	Hücre verimliliği için sıcaklık katsayısı (1 / ° C)
T_C	FV modül sıcaklığı (^0C)
T_R	Referans sıcaklık (^0C)
γ	Radyasyon yoğunluk katsayısı
I_C	Hücre akımı (A)
$I_{C,NT}$	Nominal çalışma sıcaklığındaki hücre akımı (A)
$T_{C,NT}$	Nominal çalışma sıcaklığındaki hücre sıcaklığı (^0C)
$T_A = T_{A,NT}$	Ortam sıcaklığı (^0C)
I	Net Akım (A)
I_{PV}	Işıkla Üreyen (Fotovoltaik) Akım (A)
I_{SC}	Kısa Devre Akımı (A)
I_D	Diyot Akımı (A)
I_0	Satürasyon (Karanlık Doyma) Akımı (A)
V	Hücre Gerilimi (V)
V_t	Termal Gerilim (V)
n	Diyot İdealite (Kalite) Katsayısı ($1 \leq n \leq 2$)
k	Boltzmann Sabiti ($1{,}38x10^{-23}$ J/K)

T	P-N Eklemin Sıcaklığı (K)
q	Elektron Yükü ($1,60x10^{-19}$ C)
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli - Digital Elevation Model
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
ESRI	Environmental Systems Research Institute - Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü
FV	Fotovoltaik
GEPA	Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
PCM	Phase Change Material – Faz Değişim Malzemesi
TEC	Thermo electric Cooling – Termoelektrik Soğutucu
SSI	Shell Solar Industries
ARC	Antireflection Coating - Yansıma Önleyici Kaplama

ÖZET

FOTOVOLTAİK PANELLERDE SOĞUTMA İLE VERİM ARTIRMANIN DENEYSEL ANALİZİ

Karaozan, Ömer
Yüksek Lisans, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin Asker
Ekim 2022, 92 sayfa

Fotovoltaik panelden elektrik enerjisi üretilmesi işlemi sırasında, panellerin yüzey sıcaklığı olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Yüksek ortam sıcaklıkları ve ışıma fotovoltaik panelin aşırı ısınmasına neden olarak verimini düşürmektedir. PV panelin verimini artırmak için aktif ve pasif yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada, aktif yöntemlerden biri olan su ve trafo yağı ile soğutma yapılarak panel veriminin değişimi deneysel olarak analiz edilmiştir. Trafo yağı, elektriksel yalıtkanlığı, ısı iletimi ve viskozitesi iyi olan bir akışkandır. Bu özeliklerinden dolayı trafo yağı bu tez çalışmasında kullanılmıştır. 3 adet özdeş özellikli 100 W'lık mono kristal fotovoltaik panel üzerinden deney seti oluşturulmuştur. Bir referans panel, verim karşılaştırmasında kullanılmak üzere herhangi bir işleme tabi tutulmadan direk kullanılmıştır. İkinci panel arka yüzüne trafo yağı doldurulmak üzere bir sıvı haznesi oluşturulmuştur. Bu sıvı haznesi içerisinde bakır boru belli aralıklarla yerleştirilerek arka yüzü ince düz bir metal levha ile kapatılmıştır. Üçüncü panelde ise bakır boru yerleştirilmiş sıvı haznesi, dikdörtgen kanatçıklı soğutucu ile kaplanmıştır. Panelin arkasını tamimiyle dolduran trafo yağı, hem elektriksel yalıtkanlık hem de panel ile bakır borular arasında ısı iletimi sağlamıştır. Bakır borular bir otomobil radyatör ve pompayla birleştirilerek kapalı bir devre oluşturulmuştur. Radyatör içerisindeki su, radyatör fanı ile soğutularak bir pompa yardımı ile devir-daim yapılmıştır. Bu amaçla birinci panelde panel yüzey sıcaklığı ikinci ve üçüncü panellerde ise hem yüzey sıcaklıkları hem de panel giriş çıkış sıvı sıcaklıklarını anlık ölçülmek üzere termik sensörler kullanılmıştır. Panellerde verim karşılaşılması için elektriksel yük olarak reosta kullanılmıştır. Akım, gerilim ve güç bilgileri içinde akım ve gerilim sensörleri bağlanmıştır. Tüm sensör verileri bir veri toplama cihazı üzerinden bilgisayarda Excel formatında kaydedilmiştir. Yapılan çalışmada bir referans panel ile soğutuculu ve düz levha kaplı panellerin aynı koşullarda çeşitli noktalarından sıcaklık değerleri ile ürettikleri akım, gerilim ve güçleri ölçülmüş ve verimleri karşılatılmıştır. Soğutuculu panelin diğerlerinden daha fazla soğuduğu, ürettiği güç ve verimin diğerlerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik panel soğutma, Sıcaklık etkisi, Elektriksel güç artışı, Elektriksel verim artışı, Transformatör yağı.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PRODUCTION INCREASING BY COOLING IN PHOTOVOLTAIC PANELS

Karaozan, Ömer
Master of Science in Department of Electrical and Electronics Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet Emin ASKER
October 2022, 92 pages

During the process of generating electrical energy from the photovoltaic panel, the surface temperature of the panels has a negative effect. High ambient temperatures and radiation cause the photovoltaic panel to overheat, reducing its efficiency. There are active and passive methods to increase the efficiency of the PV panel. In this study, the change in panel efficiency was analyzed experimentally by cooling with water and transformer oil, which is one of the active methods. Transformer oil is a fluid with good electrical insulation, heat conduction and viscosity. Because of these properties, transformer oil was used in this thesis. An experiment set was created over 3 identical 100 W monocrystalline photovoltaic panels. A reference panel was used directly without any processing for use in yield comparison. A liquid reservoir is formed to fill the transformer oil on the back side of the second panel. In this liquid reservoir, a copper pipe is placed at certain intervals and the back side is covered with a thin flat metal plate. In the third panel, the copper tube is placed in the liquid reservoir, and it is covered with a rectangular fin cooler. The transformer oil, which completely fills the back of the panel, provided both electrical insulation and heat transmission between the panel and the copper pipes. A closed circuit is formed by combining copper pipes with an automobile radiator and pump. The water in the radiator was cooled by the radiator fan and circulated with the help of a pump. For this purpose, thermal sensors were used to instantly measure the panel surface temperature in the first panel, and both the surface temperatures and the panel inlet and outlet fluid temperatures in the second and third panels. Rheostat was used as an electrical load to meet efficiency in the panels. Current and voltage sensors are connected in current, voltage and power information. All sensor data were recorded in Excel format on the computer via a data acquisition device. In the study, the current, voltage and power produced by a reference panel and the temperature values of the heat sink and flat plate covered panels from various points under the same conditions were measured and their efficiency was compared. It has been observed that the cooler panel is cooler than the others, and the power and efficiency it produces are higher than the others.

Keywords: Photovoltaic panel cooling, Temperature effect, Electrical power increase, Electrical efficiency increase, Transformer oil.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte enerjisi kullanımı da paralel şekilde arttırmaktadır. Nüfusun artması da buna eklendiğinde enerji ihtiyacı daha da artmaktadır. İnsanlık odun yakmaktan kömür yakmaya, kömürden petrole, doğalgaza, ardından fosil yakıtlardan nükleer santrallere doğru bir devrim yaşamıştır. Buna jeotermal enerji de dâhildir. Ancak fosil yakıtların yakımından kaynaklı doğaya verilen zarar her geçen gün tartışmalı hale gelmiştir. Ne var ki şartlar fosil yakıtların kullanımını zorunlu kılsa da bu kaynakların sınırlı olması dolayısıyla hem sınırsız hem daha zararsız enerji kaynaklarına yönelim kendini dayatmıştır. Bunların başında rüzgâr ve güneş enerjisi gelmektedir.

Güneş enerjisi elde etmek için kullanılan araçlar ve bunların üretilmesinde kullanılan malzeme ve elementlerin kullanımında yaşanan evrim her geçen gün daha da hızlanmaktadır. Bilim insanlarının araştırmaları yeni buluşlar ve keşiflerle sonlandıkça üretime ilham kaynağı olmaktadır. Güneş panellerinden daha fazla enerji elde etmek, elde edilen enerji oranı arttıkça meydana gelen ısınmayı düşürecek yol ve yöntemler geliştirmek, buna uygun malzemeler, maddeler ve bu maddelerin kullanım şekli önem kazanmaktadır. Buna üretim maliyetini düşürmek kadar, bakım ve onarım maliyetini düşürmek de dâhildir.

Günümüzde gelişen teknolojik imkânlar sayesinde kol saatlerinden hesap makinelerine, uzaydaki uydulardan yollardaki trafik lambalarına, cep telefonları için geliştirilen şarj cihazlarından bahçelerde kullanılan aydınlatma lambalarına, evlerde ihtiyaç duyulan sıcak su temininden elektrik maliyeti yüksek olan kalemlerin başını çeken tarımsal sulamada kullanılan kuyulara ve konut sayısı yüksek binaların enerji ihtiyacına kadar her alanda güneş enerjisinden yararlanılabilmektedir. Ancak bu hâlâ çok sınırlı ve sorunludur.

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil temelli yakıt rezervlerin doğada az miktarda bulunması, hızla tükeniyor olması ve de çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı bir gün mutlaka terk edilecekler. Fosil enerji kaynakları günümüzde en çok kullanılan (%85) enerji kaynakları olsa da fosil kaynaklar tükenmeye mahkûm kaynaklardır. Dolayısıyla sürdürülebilir değildir. Bununla beraber fosil enerji kaynakları üretim,

nakliyat, kullanım sırasında pek çok çevre ve sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Güneş ışığı, yenilebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer işgal etmektedir. Güneş ışığından enerji elde etmek için fotovoltaik sistemler kullanılmaktadır. Fotovoltaik paneller yapısındaki yarıiletken malzemeler sayesinde üzerine gelen güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretmektedir. Bir güneş paneli üzerinden ede edilen elektrik enerjisi hesabında sıcaklığın olumsuz etkisi teorik olarak bilinen bir gerçektir. Güneş panellerinin elde ettiği ışık ile ürettikleri enerji doğru orantılıdır. Ancak yüzey sıcaklığı arttıkça elde edilen enerji miktarı düşer. Yani sıcaklık ile enerji üretimi ters orantılıdır. Güneş ışığı arttıkça güneş panellerinin yüzey sıcaklığı artmaktadır. Yüzey sıcaklığı çevre sıcaklığını 40 derece kadar geçebilmektedir.

FV teknolojisinin çalışması esnasında kirletici madde içermeme, küresel ısınma sorunlarını azaltan, işletme maliyetlerini düşüren ve diğer yenilenebilir enerji kaynağı teknolojilerine kıyasla minimum bakım ve çok yüksek güç yoğunluğu sunması gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır. Ancak güneş ışınlarını elektriğe dönüştürme sisteminin verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilecek; gölgeleme, yüzeyde toz birikintisi ve yüzey çalışma sıcaklığı gibi bazı genel problemlere sahiptir. Rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, bağıl nem, birikmiş toz ve güneş radyasyonu gibi iklim parametreleri, bir FV modülünün yüzey sıcaklığını etkileyen en yaygın doğal faktörlerdir. FV modülünün her 1 °C yüzey sıcaklığı artışı, elektrik üretim verimliliğinde yaklaşık % 0,5 azalmaya neden olur. Bu nedenle, sıcaklık artışı nedeniyle, fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilen güneş ışınlarının enerjisinin tamamı elektrik enerjisine dönüştürülemez. Enerjinin korunumu yasasına göre, kalan güneş ışınımı enerjisi ısıya dönüştürülür. Güneş ışınları enerjisinin ısıya dönüşen miktarı sonucunda toplam dönüşüm verimliliğinde bir azalma meydana gelir.

Fotovoltaik panellerin verimini artırmak için, yüzey sıcaklıklarını düşürmede çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı; panelin ön veya arka yüzeyinin bir akışkan (sıvı veya gaz) ile temasını sağlayarak ısının emilmesini sağlamaktır. Bu sistemler aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Isı borusu kullanmak, faz değişim malzemesinden (FDM) yararlanmak veya termoelektrik bir cihaz kullanarak ısıl kontrol uygulamaları da yine bilinen yöntemlerdir.

1.1 Literatür Araştırması

Farklı soğutma teknikleriyle FV panel verimliliğinin artırılması konusunda çok sayıda araştırma ve çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Krauter (2004), yaptığı çalışmada; FV panelin ön yüzeyinde bulunan cam tabakayı çıkararak, FV panelin ön yüzünü kaplayan 1 mm'lik ince bir tabaka ile değiştirerek, yansımayı azaltmak sureti ile FV paneli soğutmak için bir yöntem kullanmıştır. Yapmış olduğu bu çalışma neticesinde FV panelin 22 °C' ye düşürmek sureti ile verimlilik gün boyunca % 10,3'e yükseltildiğini belirtmiştir. Bu tasarımın dezavantajlarından biri, optik performansı arttırmak için optimum su film kalınlığını belirlemek için gerekli olan su filminin homojen olmayan kalınlığı olduğunu bildirmiştir.

Hosseini ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada; FV panelin ön yüzeyi üzerinde sürekli su akışı sağlanması yerine, FV panelin ön yüzeyi üzerine su püskürtmenin panel verimliliği üzerindeki etkinliğini araştırmışlardır. Su püskürtülmesini sağlayan pompanın elektrik tüketimi dikkate alınmadan, yaz ayında sabah 8'den akşam 5'e kadar elektrik sistemi performansında % 17 verimlilik artışı sağlamışlardır. FV panel yüzeyi üzerinde sürekli bir şekilde su püskürtülmesini sağlamak için su pompasını ayarlamak sureti ile panelin max. Güç üretiminde %26'lık iyileşme sağlayabildiklerini bildirmişlerdir.

Dorobantu ve Popescu (2013), yaptıkları çalışmada; FV panelin ön yüzeyini ince bir su filmi kullanmak sureti ile soğutmaları sonucunda yaklaşık % 9,5 elektrik verimi elde ettiler. Bu soğutma sistemi ile yansıma kayıplarının azaltılması sonucunda elektrik üretim verimliliğinin artması ile beraber FV panelin sıcaklığının da azaldığını belirtmişlerdir.

Moharram ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada; FV panelin güç çıkışını iyileştirmek için, FV panelin ölçülen sıcaklığı 45 ^{0}C olduğunda püskürtme ile soğutmanın başlaması gerektiğini hesapladılar. Çalışmalarında yaptıkları denemelerde FV panelin mevcut modül sıcaklığını yaklaşık olarak 10 ^{0}C azaltmak için, sistemin yaklaşık olarak 5 dakika çalışması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Abdulgafar ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada; Bir FV panelin verimliliğini, farklı derinliklere sahip damıtılmış suya batırarak incelediler. Yaptıkları deneylerde 6 cm'ye kadar derinlik arrtıkça verimliliğin arttığını tespit ettiler. Hata bu derinlikte elektrik üretim verimliliğinde % 11'lik bir artış gözlemlediler. Ancak 6 cm'den daha fazla derinliğe sahip derinliklerde FV panelin elektrortlarında veya bağlantılarında elektrolitik reaksiyonlar nedeniyle verimliliğin azalmaya başladığını bildirmişlerdir.

Balamuralikrishnan ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada; Birçok teknik uygulayarak FV modülünün verimliliğini artırmaya çalıştılar. Bunun için soğutma ünitesi ve güneş takip ünitesinden oluşan bir sistem tasarladılar. Bu sistem, soğutma ünitesi, DC su sirkülasyon pompası, soğutma sıvısı tankı ve bir sıcaklık sensöründen oluşmaktadır. Fotovoltaik panel ünitesinin sıcaklığı 35 ^{0}C'yi aştığında DC pompaya sıcaklık sensörü aracılığı ile sinyal gönderilir ve sinyali alan DC pompa FV panelin yüzeyinde su filmi oluşturmak için suyu harekete geçirir. Deneylerde kullandıkları sistemlerinin FV panel ünitesinin sıcaklığını 8 ^{0}C düşürdüğünü ve böylelikle elektrik üretim verimliliğini % 3 arttırdığını rapor etmişlerdir.

Atkin ve Farid (2015), yaptıkları çalışmalarında; ısıyı emici özelliği olan harici bir kanadın içerisine infüze (doldurulan) edilen faz değişim malzemesinin (PCM) kullanımını incelediler, FV panellerin termal regülasyonunda PCM'in kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında dört farklı termal teknik kullanılmıştır. Bu dört farklı teknik şu şekildedir;

- **Durum A;** FV panel üzerinde termal regülasyonu olmayan deney düzeneği,
- **Durum B;** FV panelin arka yüzeyine bağlanmış grafit malzemesinin içine doldurulmuş 30 mm kalınlığındaki faz değişim malzemesi bulunduran deney düzeneği,
- **Durum C;** Fotovoltaik panelin arka yüzeyine tutturulmuş ve kanatçıklara sahip bir ısı eşanjörlü deney düzeneği,
- **Durum D;** Grafit malzemesinin içine doldurulmuş faz değişim malzemesi ve kanatçıklara sahip bir ısı eşanjörünün FV panele eklenmesi ile oluşturulmuş olan deney düzeneği,

Deneylerde kullanılan dört termal düzenleme tekniği ile elektrik üretimi bakımından verimlilik elde edilmiştir. Ancak D durumundaki FV panel üzerinde gerçekleştirilen modifikasyonlar ile panelin genel verimliliğini % 12,9 gibi bir değere çıkarmak için çok daha etkili ve yararlı olduğunu bildirmişlerdir.

Indartono ve ark. (2014), yaptıkları çalışmalarında; FV panelin arkasına yerleştirilmiş olan ve farklı kalınlıklara haiz dikdörtgen kesitli boruların içerisine 50,8 mm, 76,2 mm ve 101.6 mm kalınlıklarında PCM koymuşlardır. Farklı kalınlıklarda PCM kullanılmasının amacı, PCM kalınlığının FV panel sıcaklığının düşürülmesine etkilerini değerlendirmek için yapıldığını rapor etmişlerdir. Dikdörtgen kesitli borular aracılığı ile elde edilen farklı kalınlıklardaki PCM, FV panel yüzeyinin sıcaklık artışının engellenmesini büyük ölçüde etkilemiştir. Çalışma sonuçları göstermiştir ki 101,6 mm kalınlığa sahip PCM, standart şartlarda test edilen FV panelin çıkış gücü ve elektrik üretim referans değerlerine göre sırası ile %23,8 ve % 2,1'den daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Abdolzadeh ve Ameri (2009), yaptıkları çalışmada; FV panel hücrelerinin verimliliğini artırmak için, FV panel üzerine sıvı pompalama sistemi vasıtası ile su püskürtme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında su püskürtme işlemini Selenoid valf ve mikro denetleyici ünitesi aracılığı ile otomatik olarak gerçekleştirmişlerdir. 16 m yükseklikte, bu tekniği kullanarak FV panellerden sırasıyla %3,26, %1,40 ve %1,35 verim elde edilmiş olup test günü boyunca ortalama FV panellerin hücre verimliliğini % 12,5 oranında artmış olduğunu bildirmişlerdir.

Tangve ark. (2010), yaptıkları çalışmada; FV panellerin soğutulmasında şu yöntemi kullanmışlardır, mikro ısı boru dizilerini kullanarak doğal konveksiyon iletim şartları ile hem hava hem de su ile soğutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu soğutma metodolojisinde, FV panelin sıcaklığını düşürmek sureti ile güneş panelinin fotoelektrik dönüşüm verimliliğini etkili bir şekilde artırdığını rapor etmişlerdir. Yaz ayı şartlarında hava ile gerçekleştirilen soğutma işlemlerinde PV panelin sıcaklığı max. 4,7 ^{0}C düşürülmüş olup, panelin çıkış gücü max. % 8,4 ve verimlilik farkı referans sıcaklık ile kıyaslandığında % 2,6'dır. Yine aynı şartlarda su ile

gerçekleştirilen soğutma işlemlerinde PV panelin sıcaklığı max. 8 ^{0}C düşürülmüş olup, panelin çıkış gücü max. % 13,9 ve verimlilik farkı referans sıcaklık ile kıyaslandığında % 3'tür. Herhangi bir soğutma işlemine tabi tutulmayan sıradan bir güneş paneli ile kıyas edildiğinde Max. % 13,5 daha verimli olduğunu rapor etmişlerdir.

Kuo ve Lo (2014), yaptıkları çalışmada; güneş ışığı altında uzun süre çalışan FV panellerin yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık artışlarını ve bu sıcaklık artışından dolayı meydana gelen enerji üretim verimliliğinin azalması ve / veya güneş pillerine veya enerji üretim sistemlerinin diğer kısımlarında meydana getirdiği sorunların giderilmesi için çalışmışlardır. Bu nedenle, sıcaklığı artan FV panellerin sıcaklığını düşürmek için bir su sirkülasyon sistemi kullanmışlardır. Sıcaklığı artan suyu bir depolama tankında depolamışlardır. Böylelikle fotovoltaik sistemlerde hızlı sıcaklık artışının neden olduğu FV panellerin güç üretiminde meydana gelen verimlilikteki azalma önlendiği gibi güneş paneli hücrelerini soğutarak fotovoltaiklerin güç üretim verimliliğini de korumuşlardır. Çalışmalarında, su sirkülasyon sistemini bir nöral ağ algoritması ile FV panel güç çıkışlarını baz alarak, panel soğutma sistemini her sıcaklık aralığında başlatmak veya durdurmak için en uygun zamanlar belirlenmiş olup, sistemlerini aktif su sirkülasyon sistemi olarak isimlendirmişlerdir. Çalışmaları neticesinde FV panelin sıcaklığını su dolaşımı aracılığı ile düşürüp fotovoltaik güç kapasitesini % 2 - % 15 arttırmak yani FV panel hücresinin üretim verimliliğini artırmak için dolaşıma sokulan soğuk suyu kullanıp, sıcaklığı artan suyun depolanması ile fotovoltaik ve termal teknolojilerin kombine uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirmiş oldukları bu kombine uygulama sayesinde panel hücreleri verimliliğini % 2,29 - % 3,37 artırmayı başarmışlardır. Panelleri soğutmak için kullanılan sistemin enerji tüketimi de dâhil olmak üzere sistemin toplam enerji üretimini % 37 – 59 oranında artırılabileceğini rapor etmişlerdir.

Musthafa (2015), yaptığı çalışmada; FV panelin arka yüzeyine bir sünger yerleştirmiş ve bu süngere beş litre kapasiteli depodan su beslenerek panelin sıcaklığını düşürmeye çalışmıştır. Sıcaklığı düşürülmeye çalışılan panelin sıcaklığı düşürülmeyen panele göre panel hücre sıcaklığının 40 ^{0}C düşürüldüğü, panel çıkış gücünün % 6,4 artığı ve böylelikle panel verimliliğinde % 2,6 artış olduğunu rapor etmişlerdir.

Borkar ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada; FV panel modülünün elektrik dönüşüm verimliliğini ve ömrünü arttırmak için termoelektrik soğutma sistemini uygulamışlardır. Farklı atmosferik sıcaklık ve günlerde termoelektrik soğutmalı ve termoelektrik soğutmasız FV panel elektrik dönüşüm verimliliğinin deneysel sonuçları şu şekilde rapor edilmiştir; Termoelektrik Soğutmasız % 8,35 - % 11,46, Termoelektrik Soğutmalı % 12,26 - % 13,27'dir. Ayrıca aynı çalışmalarında gerçekleştirdikleri simülasyonlar sonucunda FV panel modülünün 25 ^{0}C'de ömrünün uzatılmasının yanı sıra verimliliğinde de iyileşme olduğunu bildirmişlerdir.

Popovicia, ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada; Hava soğutmalı ısı alıcıları kullanılarak FV panel modülünün sıcaklığının düşürülmesini, türbülanslı akış için ANSYS-Fluent yazılımı kullanarak sayısal modellemeyi gerçekleştirmişlerdir. Soğutma verimliliği, taban plakası ve metal çubuklar arasındaki açı değiştirilerek elde edilen ısı alıcının farklı deneysel kurulumu için incelemişlerdir. ANSYS-Fluent programı kullanılarak gerçekleştirilen modellemede elde etikleri sonuçları şu şekilde rapor etmişlerdir; FV panel modüllünün ortalama sıcaklığının 10 ^{0}C düştüğünü, temel duruma kıyas ile metal çubuklar taban plakası ile 90^0 açı yapacak şekilde dizildiğinde üretilen maksimum gücün % 6,97 arttığı ve metal çubuklar taban plakası ile 45^0 açı yapacak şekilde dizildiğinde üretilen maksimum gücün % 7,55 artmış olduğunu bildirmişlerdir.

Najafi ve Woodbury (2013), yaptıkları çalışmada; Bir FV panel hücresine soğutma etkisi sağlamak için termoelektrik soğutucu (TEC) modüllerinin kullanılması olasılığını araştırmışlardır. Bütün ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu seviyesinde, FV–TEC sistemi aracılığı ile sıcaklık ve ısı transferini belirlemek için MATLAB programında ayrıntılı bir model geliştirmiş ve kodlamışlardır. Önerilen bu sistemi kullanmak için şu iki yaklaşımı tanımlamış ve araştırmışlardır;

- ***1. Yaklaşım*;** FV panel hücre sıcaklığını istenen aralıkta kontrol edilmesi. Yani güneş ışınımı seviyesinde ve ortam sıcaklığında TEC modülü aracılığı ile yeterli oranda soğutma işleminin gerçekleştirilmesi için gereken farklı güç durumlarını hesapladılar ve TEC modülünün FV hücrelerinin sıcaklık kontrolü için kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

- ***2. Yaklaşım*;** TEC modülünün en yüksek net çıkış gücünün elde edilebilmesi için gerekli olan optimum elektrik akımının optimum değerini bulmak için MATLAB'da geliştirmiş oldukları bir algoritma aracılığı ile sistemin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu yaklaşımda TEC modülünün Z değerinin yüksek olması ve daha büyük güneş ışınımı seviyeleri için daha etkili olacağı sonucuna varmışlardır.

Çalışmalarında, pratik uygulama konuları ve ekonomik değerlendirmeyi tartışmamış olsalar da elde etikleri sonuçlar FV–TEC sistemlerinin kullanılabilme olasılığı olduğunu bildirmişlerdir.

Bahaidarah, ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada; FV panel modülünün arka yüzeyine bir ısı eşanjörü (soğutma paneli) ekleyerek, modülün soğutulmasının FV panel verimliliğine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu aktif soğutma tekniği ile modülün çalışma sıcaklığını önemli ölçüde, % 20 kadar düşürmeyi başarmışlardır. FV panel modül sıcaklığının düşürülmesi ile panel verimliliğinde % 9 artış olduğunu rapor etmişlerdir.

1.2 Problem Tanımı

Fotovoltaik panelleri üzerlerine gelen ışıması ile orantılı elektrik enerjisi üretirlerken aynı zamanda ısınırlar. Bu ısınma arttıkça enerji verimliliğinin düşmesine sebep olurlar. Özellikle yaz aylarında havanın ısınması ile birlikte panellerin verimleri oldukça düşmektedir.

Fotovoltaik panellerin ısınma sorunları beraberinde soğutma teknikleri ve sorunlarını getirmektedir. Fotovoltaik panellerini soğutma teknikleri aynı zamanda güneş enerjisinden yararlanmanın maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle soğutma tekniklerinde ilk amaç enerjide verimliliğin düşmesini engellemek olsa da maliyeti en ekonomik, her yerde kullanılabilmesi için ergonomik, kullanışlı, kısa sürede kendini amorti edebilmesi ve uzun ömürlü olması problemin diğer taraflarıdır.

1.3 Çalışmanın amaç ve kapsamı

Fotovoltaik paneller insanlığın enerji ihtiyacını karşılama yolunda her geçen gün biraz daha ilerleme kaydederken, "rekombinasyon" adı verilen hareketin sonucu olarak ısınma problemi önümüzde durmaya devam etmektedir. Fotovoltaik hücrelerin toplam elektrik üretim verimliliğinin sıcaklık artışı ile düştüğü teorik olarak bilinmektedir. Paneller üzerinde meydana gelen sıcaklık, panellerin elde ettiği akım ve gerilim değerleri arasında doğrusal olmayan bir bağ oluşturur. İklim özellikle sıcak olduğunda daha hızlı ısınma ve daha geç soğuma sorunu yaşanmaktadır. Bu da enerji üretimindeki verimliliği azaltmaktadır. Sıcaklığın olumsuz etkisi farklı yöntemlerle giderilebilir. Literatürde aktif ve pasif yöntemler olarak bilinen çözümler tezimizde örneklendirilerek anlatılmıştır. Tezimizde elektriksel yalıtkanlığı, ısı yalıtımı yüksek ve iyi bir akışkan olan trafo yağının panel soğutmada etkisini incelenmektedir. Bu malzeme, trafolarda yüksek voltajlarda elektriksel yalıtkanlık sağladığı ve ısıyı çok iyi yalıttığı için soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Trafo yağı yardımı ile Fotovoltaik panel soğutma işlemi yapılarak performans analizi yapılmaktadır.

1.4 Fotovoltaik Panel Soğutmada Kullanılan Teknikler

Genel anlamda literatürde fotovoltaik panellerin soğutma teknikleri ikiye ayrılır.

- Pasif Soğutma Teknikleri
- Aktif Soğutma Teknikleri

Pasif soğutma, ısı emiciler, ısı dağıtıcılar veya ısı boruları kullanan sistemlere verilen addır. Maliyetleri uygundur. Daha az enerji kullanmak için uygun bir seçimdir. Bu alanda en sık kullanılan teknik ise ısı emicilerin kullanılmasıdır.

Aktif soğutma, hava veya sıvı kullanmak suretiyle sıcaklıkla mücadele etme yöntemidir. Dolayısıyla hava veya sıvı uygulanırken elektrik harcaması kaçınılmazdır. Bu alanda ise en yaygın kullanılan teknik basınçlı hava pompalanmasıdır.

Panellerin ısı ile ilişkileri üzerinden de sınıflandırılması söz konusudur. Bilindiği gibi panellerin enerji elde etmesi sırasında istenmeyen bir ısı meydana gelir ve bu ısı yok edilemediğinden o ısıdan kurtulmanın, yani onu başka yere aktarmanın yol ve yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır. Bu nedenle panellerde meydana gelen ısıyı

hayatımızın başka alanlarında kullanmayı amaçlayan ve amaçlamayan soğutma teknikleri ortaya çıktı. Literatürde bu nedenle iki teknik olarak geçmektedir.

Elde edilen ve atılması amaçlanan bu ısıya atık adı verilmektedir. Atık ısıdan yararlanmayı amaçlayan sistemlere FV/T (Fotovoltaik Termal) adı verilirken, bunu amaçlamayan sistemlere ise FV adı verilmektedir.

- FV Paneller.
- FV/T Paneller.

FV panelleri hem aktif hem de pasif soğutma sistemlerinden biriyle soğutmak mümkün olduğu gibi FV/T panelleri de her iki yöntemden biriyle soğutmak mümkündür.

- FV Paneller Üzerinde Pasif Soğutma Teknikleri
- FV Paneller Üzerinde Aktif Soğutma Teknikleri
- FV/T Paneller Üzerinde Pasif Soğutma Teknikleri
- FV/T Paneller Üzerinde Aktif Soğutma Teknikleri

FV teknolojisi çalışma esnasında kirletici madde üretmemekte, küresel ısınma sorunlarını azaltmakta, işletme maliyetlerini düşürmekte ve diğer yenilenebilir enerji kaynağı teknolojilerine kıyasla bakım ve onarım maliyeti azdır. Ancak güneş pillerini olumsuz yönde etkileyen gölgeleme, dolu yağışı, yüzeyde toz birikintisi ve ısınma gibi sorunları vardır (Silva ve Fernandes, 2010).

Rüzgar hızı ve ortam sıcaklığı ile havadaki buhara ait kısmi basıncın aynı sıcaklıktaki suyun denge buhar basıncına oranı (bağıl nem), birikmiş toz ve güneş radyasyonu gibi eksojen iklim parametreleri, güneş pilleri için ısınma sorunları yaratan en yaygın doğal faktörlerdir (Elbreki ve ark., 2016).

FV modülünün yüzey sıcaklığındaki 1 °C artış, enerji üretiminde yaklaşık %0.5 düşüşe neden olur (Kumar ve Sharma, 2007). Dolayısıyla sıcaklık artışı nedeniyle, absorbe edilen enerjinin tamamı elektrik enerjisine dönüştürülemez. Enerjinin korunumu yasası sebebiyle kalan güneş ışınımı enerjisi ısıya dönüştürülür. Isıya dönüşen miktar sonucunda toplam dönüşüm verimliliğinde azalma meydana gelir (Sieckerve ark., 2017).

Güneş enerjisi teknolojisinin kullanımının yaygınlaştırılması için güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinde elektrik üretim verimliliklerinde iyileştirmelerin yapılması zorunludur. FV panellerin artan yüzey sıcaklıklarına paralel olarak düşen verimlilik sorununu çözmenin farklı metotlarının bulunması gerekir.

Yapılan çalışmalarda, FV enerjinin elektriğe dönüşüm işlemi sırasında, panellerin yüzey çalışma sıcaklığının önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Yüksek ortam sıcaklıkları ve yüksek FV paneli yüzey çalışma sıcaklıkları, FV panelinin aşırı ısınmasına neden olarak verimliliği azaltır (Duffie ve Beckman, 2013).

Güneş panelleri sürekli güneş ışığına maruz kaldıkları için ısınırlar. Isınma ortam sıcaklığı ve ışımaya bağlı değişim göstermektedir. Isınan panel verimlerinde bir düşüş yaşanır. İşte bu verim düşüşünü azaltmak için soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulur. Ancak bu soğutma sistemlerinin yapım ve bakımının pahalı olmaması gerekmektedir. Çünkü elektrik veriminin artırılmasından elde edilecek avantaj, sistemin yapım ve bakım giderlerinin yüksek olmasından dolayı dezavantaja dönüşebilir.

Güneş panelleri serin tutulduğu ölçüde FV panellerinden yüksek verim alınması söz konusu olur. Bu nedenle yüksek sıcaklığa maruz kalan güneş panellerinde depolanan ısının panellerden uzaklaştırılması gerekiyor, burada izlenen yol panelde depolanan ısının herhangi bir yöntemle panelden başka bir yere transferine dayanıyor. Örneğin FV panelinin suya daldırılması suretiyle soğuması sağlanabilir, bu durumda FV panelindeki ısı suya aktarılmış olur.

Maliyeti pilin üretimini dezavantaja düşürmeyecek bir soğutma sistemi geliştirdikten sonra verimliliğin artırılması ve dolaysıyla elde edilen elektrik kazancının arttırılması önemlidir. FV pillerinin soğutulmasında iki tür farklı teknikten söz edilebilir:

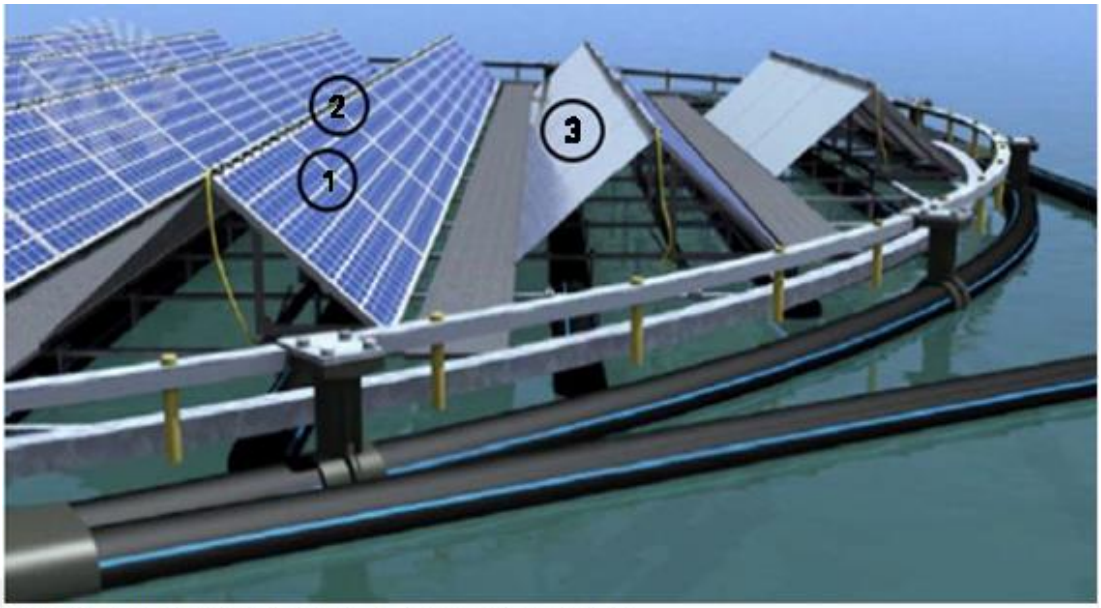
A-) Sistemden doğal konveksiyon / iletim ile ısı çekilen pasif soğutma sistemi tekniği,
B-) Elektrik enerjisi tüketerek çalışan pompa, fan vb. kullanılarak sistemden ısı çekilmesi için kullanılan aktif soğutma sistemi tekniği (Hasan uzzaman ve ark. 2016). Fotovoltaik panel soğutulmada kullanılan teknikler şu şekilde sınıflandırılabilir;

- Yüzer izleme konsantre soğutma sistemi – Floating tracking concent rating cooling- (FTCC),
- Püskürtme / yağmurlama sistemi ile FV panellerin soğutulması
- Termoelektrik (FV / TE) soğutma sistemi,
- Zorlanmış su sirkülasyonu ile FV panellerin soğutulma sistemi,
- Faz değişim malzemeleri kullanılarak güneş panellerini soğutma sistemi,
- Sıvıya Daldırma Yöntemi ile FV Panellerin Soğutulması,
- Zorlanmış hava sirkülasyonu ile FV Panellerin Soğutulması.

1.4.1 Yüzer izleme konsantre soğutma sistemi-(Floating tracking concent rating cooling - FTCC)

FTCC adı verilen bu sistemde öncelikle yapay bir havuz yapılmıştır. Bu havuz bir gölde, denizde veya karada yapılmış bir havuz da olabilir. Şekil 1.1'de denizde yapılmış bir yapay havuz görülmektedir. Bu yöntemde FV panelleri yüzer bir zemin üzerinde yerleştirilmiştir. FV panellerin üzerine kurulduğu alan sensörler yardımı ile güneş hareket ettikçe yüzünü güneşe dönmekte, güneşten gelen ışığın dik şekilde alınmasını sağlamaktadır. Panellere yapay havuzdaki su püskürtülmekte, ısının su yardımı ile panellerden arındırılması sağlanmıştır (Cazzaniga ve ark., 2012).

Bu yöntemin kullanışlılığı tartışmalıdır. Deniz veya gölün olmadığı bir mekânda kurumsal kullanıcılar gibi yüzlerce ve hatta binlerce panele yetecek kadar yapay havuz yapmak çok maliyetlidir. Akar bir su olmadığında bu suyun kuyudan yine elektrikle çekilmesi gerekmektedir. Buna yazılım ve diğer donanımlar da eklendiğinde maliyet çekici olmamaktadır. Ancak denizlerde ve göllerde kullanabilecek bir çözüm olabilir.



1- FV Modüller, **2**- Fiskiyeler, **3**- Güneş Yansıtıcıları

Şekil 1.1 Yüzer izleme konsantre soğutma sistemi (Cazzaniga ve ark., 2012).

1.4.2 Püskürtme / yağmurlama sistemi ile FV panellerin soğutulması

Bu yöntemde su deposundan bir boru yardımı ile panele gelen su kullanılmaktadır. Burada bir santrifüj pompa, bir çek valf ve bir de su tankı kullanılmaktadır. Su depodan süzgece gider, orda süzüldükten sonra çek valften geçer ve oradan da endüstriyel şeffaf su filtresine aktarılır. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi bu yöntemde PV panelinin yüzeyine su püskürtülür. Suya hapsolan ısı panel yüzey sıcaklığını düşürerek elektrik verimliliğini artırır (Yeşilyurt ve ark., 2018).



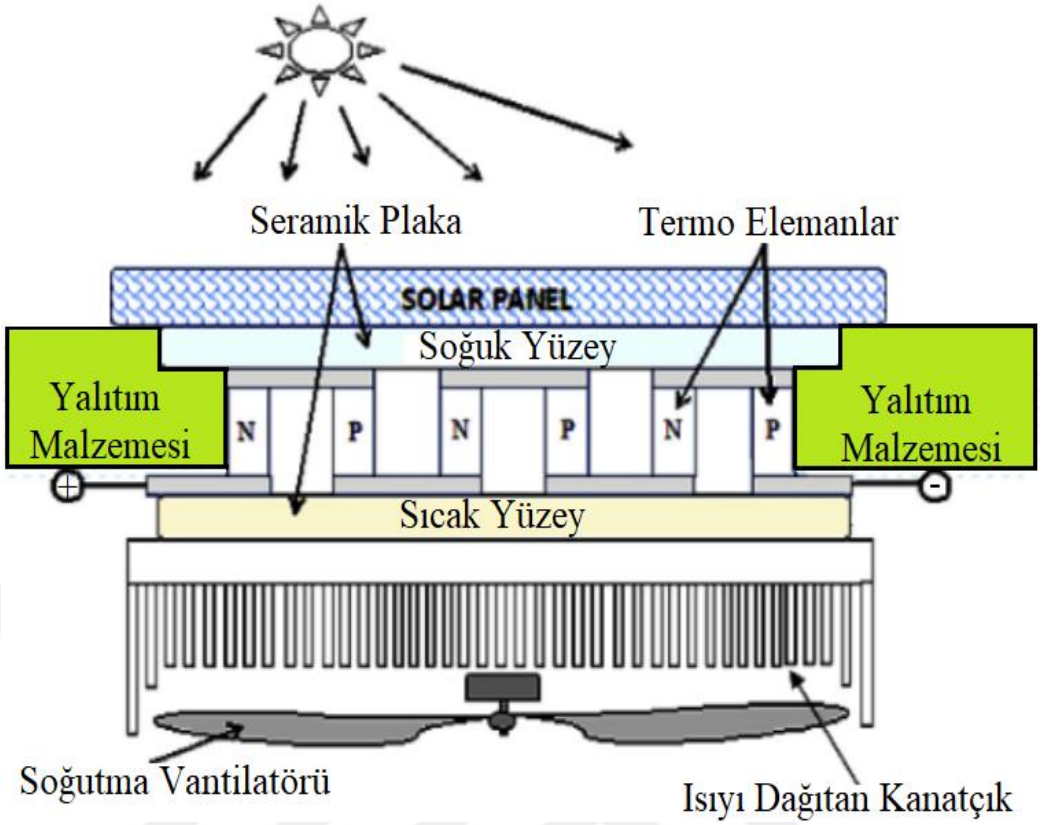
1- FV Modüller, **2**- Alüminyum Su Tankı, **3**- Santrifüj Pompa, **4**- Endüstriyel Şeffaf Su Filtresi, **5**- Su Püskirtme Nozulları, **6**- Su Toplama İçin Drenaj Borusu

Şekil 1.2 Püskürtme / yağmurlama sistemi ile FV panellerin soğutulması (Jordehi, 2016).

1.4.3 FV panellerin termoelektrik elemanlar ile soğutma sistemi

Peltier olarak bilinen termoelektrik soğutucular yarı iletken malzemeden yapılmış elemanlardır. Elektrik enerjisi verildiğinde bir yüzeyi ısınırken diğer yüzeyi soğuyan elemanlardır. Aynı zamanda bir yüzeyi ısıtılırken diğer yüzeyi soğutulursa elektrik enerjisi üretebilen elemanlardır.

Şekil 1.3'te FV hücrelerin termoelektrik elemanlar ile soğutulması görülmektedir. Bu yöntemde FV panelin arka kısmının ortasına bir termoelektrik modül yerleştirilmiştir. FV modülünün bir yüzü ile termoelektrik elemanın bir yüzü termal macunlarla bir araya getirilmiştir. Termoelektrik elamanın sıcaklığı arttıkça uçları arasında bir potansiyel fark meydana gelir ve diğer yüzeyi de soğumaya başlar. Termoelektrik elemanın soğuk yüzeyi ile temas halinde bulunan FV panelin hücreleri arasında bir ısı alışverişi meydana gelmesiyle hücrelerin sıcaklığı düşer. Termoelektrik elamanın soğuk yüzeyi ile FV panelin temas yüzeyleri etrafında yalıtım malzemesi kullanılarak ortam sıcaklığı ile termoelektrik eleman arasında ısı alışverişinin gerçekleşmesi engellenir (Siecker ve ark., 2017).

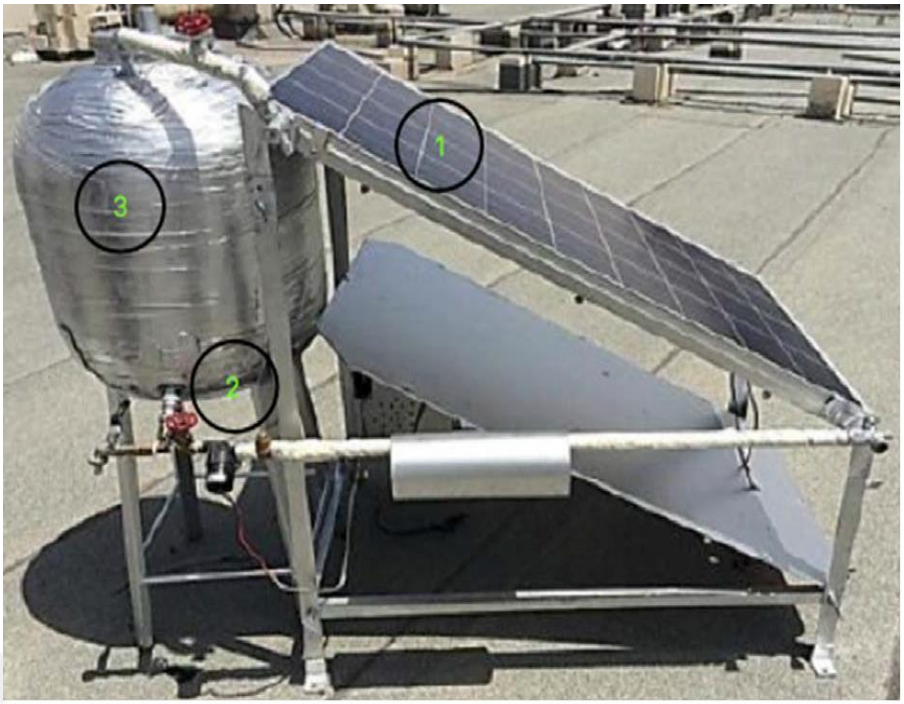


Şekil 1.3 FV hücrelerin soğutulması için termoelektrik elemanın kullanılması (Benghanem ve ark., 2016)

1.4.4 Zorlanmış su sirkülasyonu ile FV panellerin soğutulma sistemi

Bu soğutma tekniğinde kurulan düzenek ile hem panel elektriksel verimliliği arttırmakta hem de termal enerji üretmektedir. Şekil 1.4'te göründüğü gibi temel soğutma malzemesi yine sudur. FV panelin arkasına ısı toplama boruları monte edilmiştir. Bu ısı toplama boruları dörtgen kesitli borular olarak seçilmişlerdir. Bu da temas alanını artırmaktadır. DC pompa yardımıyla su FV panel arkasındaki borulardan sirküle edilmektedir. Böylece panel ısısı bu borularda suya geçmektedir.

FV panelden suya transfer olan ısı bize sıcak su ihtiyacı için pek çok alanda kullanılabilecek bir kaynak mevcut sunar. Evsel ihtiyaçlar için bu sıcak su kullanılabilir. Bu soğutma tekniği bireysel tüketici için sıcak su ihtiyacını karşıladığı için çekici olabilir ve bu nedenle maliyeti kimi tüketiciler için daha düşük olabilir.



1- FV Modül, **2**- Sirkülasyon Pompası, **3**- Su Depolama Tankı

Şekil 1.4 Zorlanmış su sirkülasyonu ile FV panelleri soğutma sistemi (Alzaabi ve ark., 2014).

1.4.5 Faz değişim malzemeleri kullanılarak güneş panellerini soğutma sistemi

Bu soğutma tekniği yönteminde faz değiştiren (PCM) malzeme kullanılmaktadır. Bu teknik atıl ısının depolanması için kullanılmaktadır. Şekil 1.5'te FV panelin arka kısmında gizlenmiş bir ısı depolama malzemesi görüntülenmektedir.



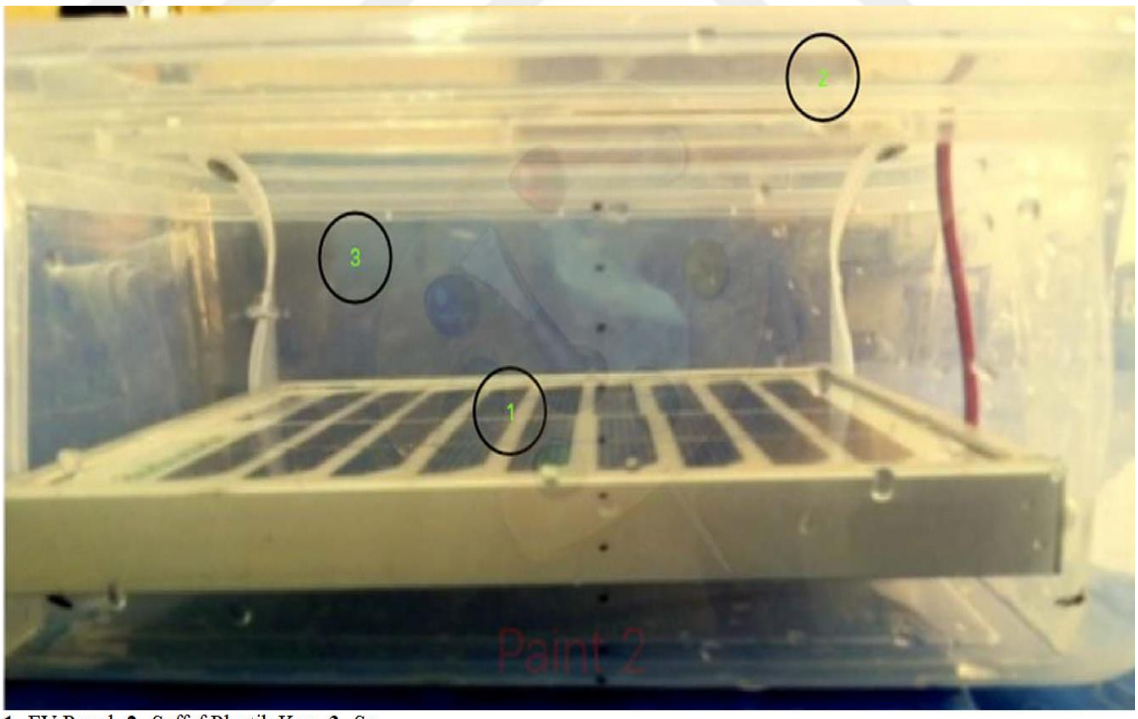
1- FV Modül, **2**- PCM Modül

Şekil 1.5 Faz değişim malzemeleri kullanılarak güneş panellerini soğutma sistemi (Specialtyfabricsreview, 2020).

FV panel güneşte kaldıkça artan sıcaklık PCM içindeki katı bağları ısınmakta ve ısınma ile beraber sıvı hale geçmektedir. Bu bize güneşin batacağı saatlere kadar ısının FV panelinden emilip bir yere transfer olması için zaman kazandırmaktadır. Isı PCM içinde absorbe edilir. Çünkü PCM faz değişiminin endotermik bir işlemidir. Faz değişim sıcaklığına ulaşıldığında katı bağlar erimeye başlar. Erime işlemi tamamlanıncaya kadar sıcaklık stabilize kalır. Buna gizli ısı depolama malzemesi de denir (Sharma ve ark., 2004).

1.4.6 Sıvıya daldırma yöntemi ile FV panellerin soğutulması

Bu soğutma yönteminde kullanılan dielektrik sıvı tekniğin temelini oluşturmaktadır. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi paneli sıvıya daldırma sureti ile yapılan bir soğutma tekniğidir. Sıvıya daldırma tekniği, FV modülünü çoğunlukla bir tüp veya kanal yoluyla bir dielektrik sıvıya daldırmaktır ve sıvının FV modülünden ısıyı almasını sağlamaktır (Chandel ve Agarwal, 2017).



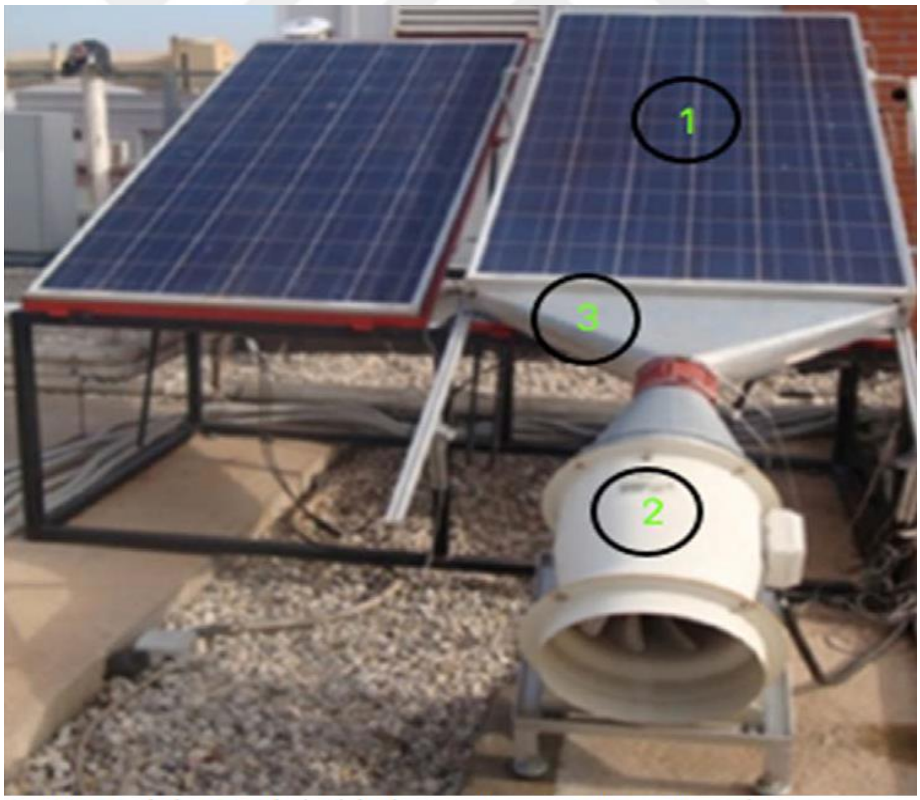
1- FV Panel, **2**- Şeffaf Plastik Kap, **3**- Su

Şekil 1.6 Sıvıya daldırma yöntemi ile FV panellerin soğutulması (Mehrotra ve ark., 2014).

Bu teknikte FV modülünün sıcaklığı 30-40 °C civarında tutabilmektedir. Ancak suya daldırmak suretiyle soğutma tekniği suyun bol olduğu okyanus, deniz, göl, dere ve su kanallarında mümkündür. Suya daldırılan FV panelinden ısı suya çekilmekte ve böylece FV panelin elektrik verimliliği artmaktadır.

1.4.7 Zorlanmış hava sirkülasyonu ile FV panellerin soğutulması

Diğer bir teknik zorlanmış hava sirkülasyonunun kullanılmasıdır. Bu yöntemde FV panellerinde meydana gelen ısı hava sirkülasyonu yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Şekil 1.7'de görülen tekniğin daha yaratıcı ve kullanışlı yöntemleri de mümkün olabilir. FV paneline monte edilen bir fan ve fanın panelde düzgün kullanımı için tasarlanmış parçalar sayesinde hava, kanallardan taşınmaya zorlanır. Çalışma akışkanı olarak kullanılan hava panellerdeki ısınmayı düşürerek elektrik üretimi verimliliğini arttırmaktadır (Mazon-Hernandez ve ark., 2013).



1- FV Modül, 2- Cebri Sirkülasyon Fanı, 3- Hava Kanalı

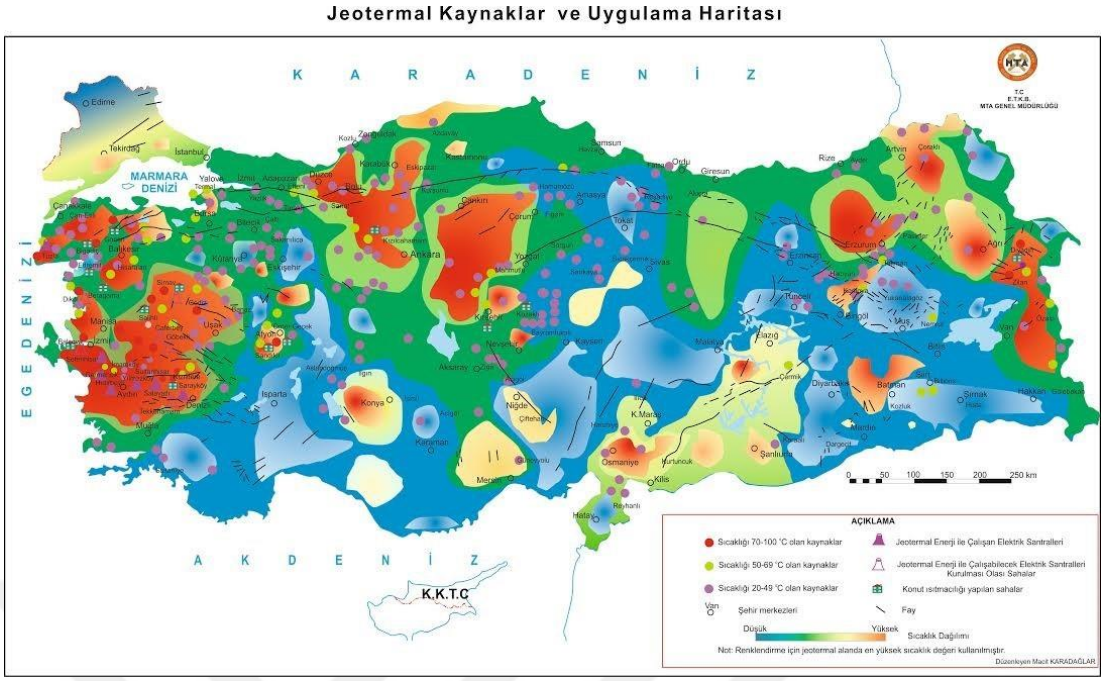
Şekil 1.7 Zorlanmış hava sirkülasyonu ile FV panellerin soğutulması (Mazon-Hernandez ve ark., 2013)

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji kayakları ikiye ayrılır. Biri yenilenebilir olan ve diğeri yenilenemez enerji kaynakları olan iki enerji kaynağı vardır. Güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerjiler yenilenebilir kaynakları ifade ederken, kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerjiler ise yenilenemez enerji kaynaklarını ifade ederler. Çevreye verdiği zararlar ve tükenebilir, ancak dünyada kullanılan enerji miktar hâkimiyetinde hâlâ öncüdür. Tüm olumsuz yanlarının yanında halen en kolay işlenebilir ve maliyeti en düşük enerji kaynağını ifade ediyor. İnsanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendiren ise sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız olması değil, yenilenemez enerji kaynaklarının tükeneceğinin bilinmesidir. Dünyaya verdiği tüm zarara rağmen dünya sanayi devleri bu kaynakların tüketilmesinde en ufak bir kararsızlık yaşamıyor. Bu durum, bilim dünyasının yenilenebilir enerji kaynaklarının işlenmesinde verimliliği arttıran ve maliyeti düşürene kadar devam edecektir. Dünya yaşanılamaz hale gelmeden önce bilimsel gelişmelerin ön açıcı buluşlar yapması kaderimizi belirleyen bir durum olarak görülebilir.

2.1 Jeotermal enerji

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde var olan termal-ısı Jeotermal enerji kaynağıdır. İçerisinde sıcak su, buhar ve gaz varsa Jeotermal akışkan olarak adlandırılır. Bu enerji, farklı enerji türlerine çevrilebilir ya da direkt ısı enerjisinden faydalanılabiliyor. Jeotermal enerji yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, güvenilir, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. İçinde su bulunmayan sıcak kayalar da jeotermal enerji kaynağıdır. Ancak bu tür kaynaklar her ülkede ülke ihtiyacını karşılayacak düzeyde olmaz. Şekil 2.1'de jeotermal kaynaklar haritası gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Jeotermal kaynaklar (MTA genel müdürlüğü)

2.2 Biokütle enerji

Daha önce dünyada yaşamış ama daha fosilleşmemiş canlılardan elde edilen biyolojik malzemeye biyokütle denir. Temel enerji kaynaklarından biridir. Biokütleden yakıt edilir ya da endüstriyel amaçlarla kullanılır. Özellikle biyokütle elde edebilmek için yetiştirilen bitkiler vardır. Bununla beraber lif, ısı ve kimyasal elde etmek için kullanılan hayvansal ve bitkisel ürünler bu kapsama girer. Yakıt olarak yakılabilen organik atıklar bu kapsamdadır. Ancak dünyada yaşamış ve fosilleşmiş canlılardan değişikliğe uğramış kömür ve petrol gibi ürünler biokütle kapsamına girmez. Biokütle genel itibariyle ağırlığı nispetinde ölçülür.

Dünyamızda biyokütle üretimi için ekilmese de mısır ve ayçiçeği gibi ürünler tohumları alındıktan sonra geriye kalan tüm parçaları olarak biyokütle malzemesidir. Bununla beraber dallı darı, papatya, keten tohumu, kolza soya fasulyesi, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi daha pek çok bitki ve sebze pancarı biyokütle elde edilmek için yetiştirilebilir. Pek çok ülkede petrole ve doğalgaza olan bağımlılığı minimize etmek için ve küresel ısınma sorunu ile mücadele edebilmek için bu tür yenilenebilir biyokütlelerin üretimi gerçekleştirilmektedir ve bu büyüyen bir endüstri haline gelmektedir.

Türkiye'de hayvansal ve tarımsal atıklar, kentsel organik atıklar, kereste, ahşap ve odundan atıklar il atık arıtma çamurları başlıca biyokütle kaynakları arasında yer almaktadır.

2.3 Rüzgâr enerjisi

Rüzgârın gücünden elde edilen enerjidir. Mekanik güç elde etmek için yel değirmenleri, su pompalamak veya kuyudan su çekmek için rüzgâr pompaları, gemileri yürütmek için yelkenler, elektrik üretmek için rüzgâr türbinleri başlıca rüzgâr enerji teknolojisi örneğidir.

Türkiye enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı rüzgar enerjisi ile ilgili verdiği verilerde Türkiye'de rüzgar potansiyelinin ölçümlere göre 48.000 MW dolaylarında olduğunu belirtmektedir. Şekil 2.2'de Rüzgar Atlası, Tablo 2.1'de de Türkiye'nin Rüzgar Kapasitesi verilmiştir.



Beş farklı topoğrafik durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri[1]										
	Kapalı Araziler[2]		Açık Araziler[3]		Kıyılar[4]		Açık Deniz[5]		Tepe ve Bayırlar[6]	
	ms^{-1}	Wm^{-2}	ms^{-1}	Wm^{-2}	ms^{-1}	Wm^{-2}	ms^{-1}	Wm^{-2}	ms^{-1}	Wm^{-2}
	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
	5.0 – 6.0	150 – 250	6.5 – 7.5	300 – 500	7.0 – 8.5	400 – 700	8.0 – 9.0	600 – 800	10.0-11.5	1200 – 1800
	4.5 – 5.0	100 – 150	5.5 – 6.5	200 – 300	6.0 – 7.0	250 – 400	7.0 – 8.0	400 – 600	8.5-10.0	700 – 1200
	3.5 – 4.5	50 – 100	4.5 – 5.5	100 – 200	5.0 – 6.0	150 – 250	5.5 – 7.0	200 – 400	7.0-8.5	400 – 700
	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

1. Rüzgar potansiyeli, rüzgarın gücünü temsil etmektedir. Rüzgar türbini hallhazırdaki potansiyelin % 20 ile % 30 luk bölümünü kullanabilir. Potansiyel hesaplamaları; deniz seviyesinde 1 Atm lik standart basınç ve 15 °C sıcaklığa karşılık gelen 1.23 kg.m-3 hava yoğunluğuna göre yapılmıştır.
2. Yerleşim alanları, ormanlar ve rüzgar kırıcıların yoğun olduğu tarım alanları (pürüzlülük sınıfı 3)
3. Az sayıda rüzgar kırıcının olduğu açık araziler (pürüzlülük sınıfı 1). İç bölgelerde en fazla tercih edilen alanlar genellikle bu sınıfta bulunmaktadır.
4. Düzgün kıyı alanları ve çok az sayıda rüzgar kırıcı içeren kara yüzeyleri (pürüzlülük sınıfı 1). Eğer hakim rüzgar yönü deniz tarafından ve sürekli ise, potansiyel daha fazla olabilir. Tam tersi durumda ise potansiyel daha az olabilir.
5. Kıyılardan en az 10 km uzaklıktaki açık denizler (pürüzlülük sınıfı 0).
6. Bütün sınıflarda % 50 ye varan bir hız artışı görülmektedir ve bu sonuç 400 m yüksekliğinde ve 4 km çapındaki simetrik bir tepede yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. Rüzgar hızındaki artış; tepenin yüksekliğine, uzunluğuna ve yapısına bağlıdır.

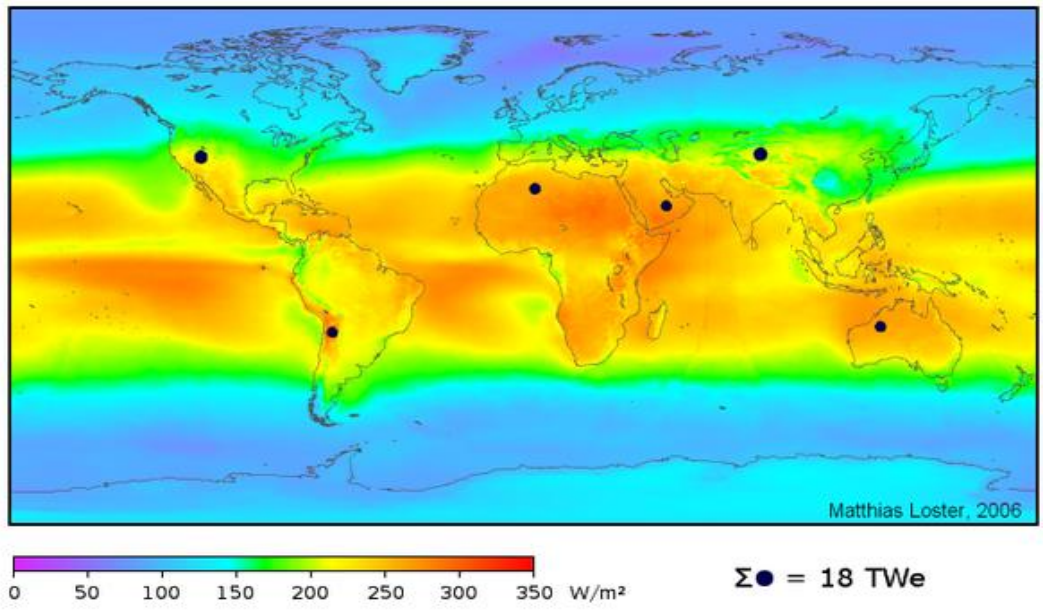
Şekil 2.2 Rüzgar atlası (Meteoroloji genel müdürlüğü)

Tablo 2.1 Türkiye'nin Rüzgar Kapasitesi, (T.C. Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı)

Rüzgar sınıfı	Yıllık güç yoğunluğu((W/^{2}m)	Yıllık ortalama rüzgar hızı(m/s)	Toplam kapasite (MW)
4	400-500	7,0-7,5	29 259,36
5	500-600	7,5-8,0	12 994,32
6	600-800	8,0-9,0	5 399,92
7	>800	>9,0	195,84
	TOPLAM KAPASİTE		47 849,44

2.4 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışığı ile gelen fotonların maddenin çekirdeğinin etrafındaki elektronları yerinden ederek harekete sebep olması ve bu hareketten faydalanmak amacıyla oluşturulan mekanizma üzerinden elektrik elde edilmesidir. Şekil 2.3'te Dünyaya gelen yıllık ortalama güneş ışığı miktarı haritası gösterilmiştir.

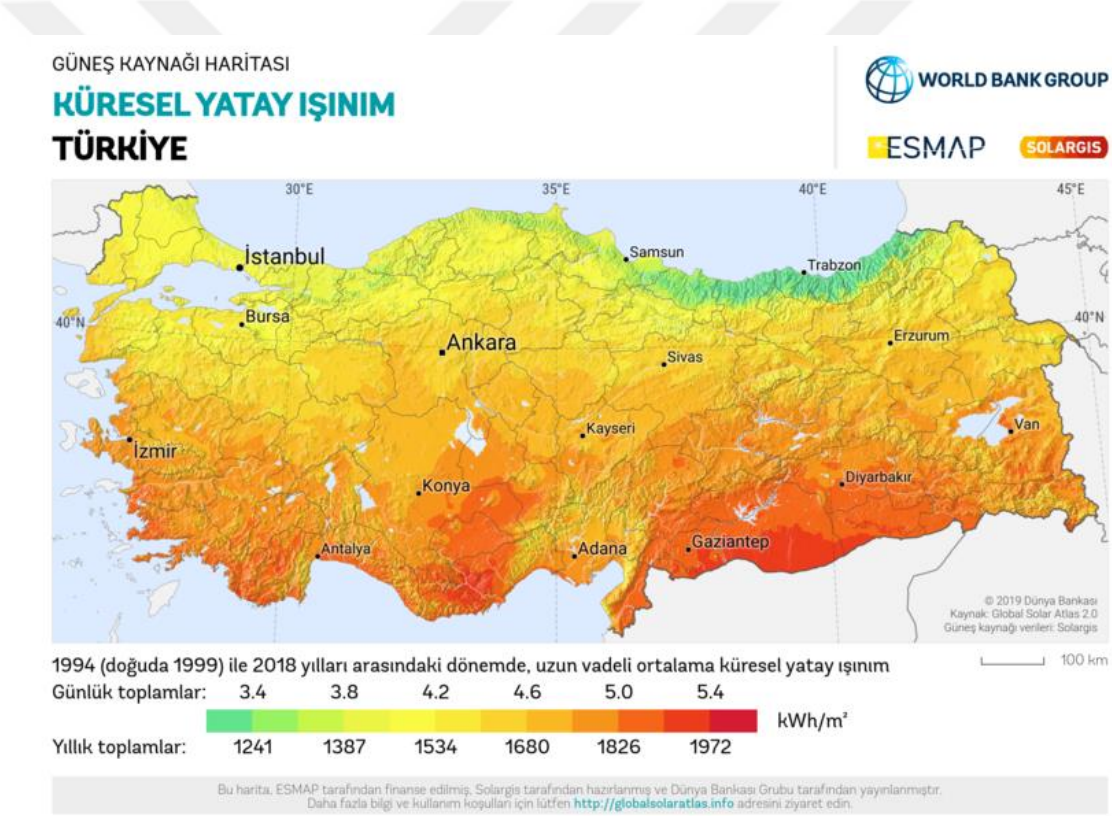


Şekil 2.3 Dünyaya gelen yıllık ortalama güneş ışığı miktarı (Wikimand)

Karşılaştırma ihtiyacı hâsıl olursa, güneş ışığından elde edilmesi mümkün enerji güneşin dünyamıza gelen ışığının az bir kısmından bile faydalanabilirsek dünyamızın bugün ihtiyaç duyduğu enerjiyi misliyle karşılayabileceğimiz belirtilebilir. İnsanlığın

bu kaynağı fark etmesinin ardından güneş enerjisinden faydalanma çalışmaları 1970'lerden itibaren hız kazanmıştır. Bu tarihten itibaren güneş enerji sistemlerinde teknolojik ilerleme sağlanırken maliyet bakımından ise düşme yaşanmıştır. Güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarına oranla sadece sınırsız değil, aynı zamanda temiz ve atıksız olması itibariyle de birincil enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir.

Şekil 2.4'te verilen Türkiye Güneş Atlası ESMAP tarafından finanse edilmiş, Solargas tarafından hazırlanmış ve Dünya Bankası Grubu tarafından yayınlanmıştır. Türkiye güneş enerjisi kaynakları açısından zengin bir ülkedir.



Şekil 2.4 Türkiye Güneş Atlası

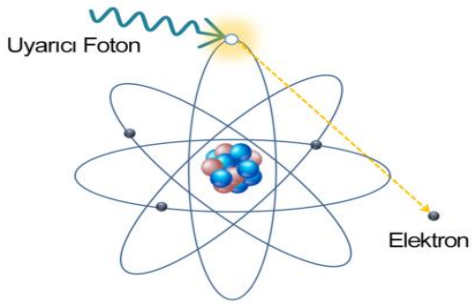
2.4.1 Güneş pilleri

Güneş pilleri; güneşten gelen ışığı elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik teknolojidir, güneş hücreleri olarak ifade edilir. İmalatında yarı iletken olan silikon, galyum, arsenik, kadmiyum, tellür, bakır, indiyum, selenür kullanılır.

Güneşten gelen ve adına ışık dediğimiz şey enerjinin kendisidir. Bu enerji dünyamızda gözle gözlemlenemeyen bir harekete sebep olur, bu hareketten elektrik elde etmek için bir mekanizma oluşturulmaktadır. Bu mekanizmaya güneş pili denilmektedir. Güneşte 15 milyon derece santigratlık ısıda atom çekirdeği erimekte ve bir enerji ortaya çıkmaktadır. Bu enerji, dünyaya ışık olarak gelmektedir.

Güneşten gelen enerjiyi değişik şekillerde algılıyoruz. Görebiliyoruz. Tenimizin ısınması şeklinde hissedebiliyoruz ve bir de göremediğimiz ve tenimizde ilk anda hissedemediğimiz ultraviyole ışınları da güneş ışınları ile gelir. Bunu da ancak güneşte kaldığımızda tenimizde güneş yanığı olarak görebiliyoruz. Bu görünen ve görünmeyen ışınlar hava kapalı ve bulutlu olduğunda da dünyamıza ulaşırlar. Çünkü bu ışık çok ufak parçacıklardan oluşur. Bu çok minik parçalara **"**foton**"** adı verilmiştir. Fotonlar enerji doludur.

Siyah bir metal parçası güneşte kaldığında dokunulamayacak kadar sıcak hale gelir. Çünkü atomlardan oluşan bu malzemeye çarpan fotonlar, atom parçalarının etrafında yerlerini alan elektronları yolundan çıkarırlar. Yoldan çıkan elektronlar harekete geçer ve tekrar bir atom çekirdeğinin etrafında boş yer arayarak yerine geçmek ister. Şekil 2.5'te gösterilen fotonun elektronu yolundan çıkaran harekete "rekombinasyon" adı verilmektedir ve ısıyı meydana getiren şey budur.

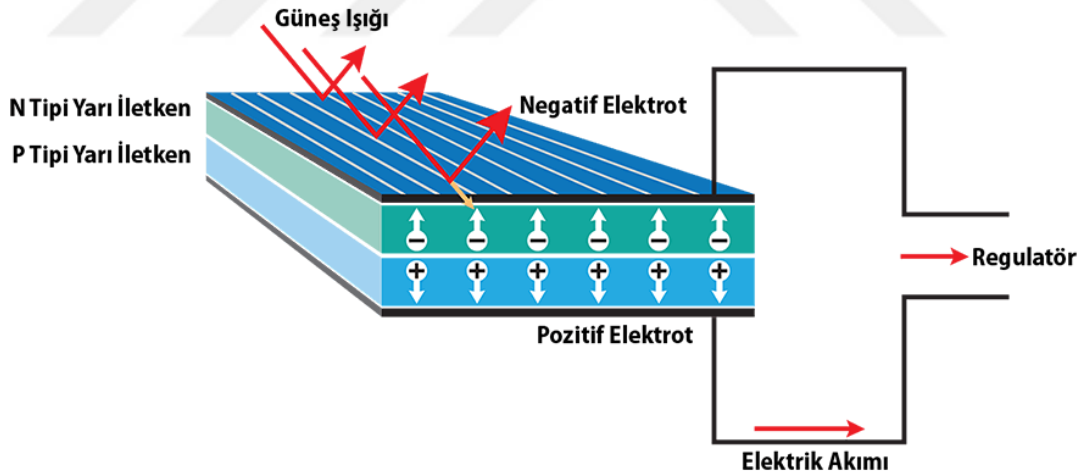


Şekil 2.5 Fotonun elektronu yolundan çıkaran rekombinasyonun hareketin canlandırılması

Örnek bir güneş pili: Amaç güneş ışığının beraberinde getirdiği fotonların meydana getirdiği rekombinasyondan ısı değil, elektrik elde etmek olduğundan örnek bir güneş paneli dört elektronu olan silisyum, üç elektronu olan bor ve beş elektronu olan fosfor atomlarından meydana getirilebilir. Oluşan yapıya "vefer" adı verilmektedir. Üzerine

mavi renkli antireflekt tabakası çekilerek yüzeyine daha fazla güneş ışığı çekmesi sağlanır.

Hazırlanan vefer bu aşamada üç tabakadan oluşmuştur, en üst tabakada dört elektronu olan silisyum atomları olduğundan bu tabakada daha fazla boşluk vardır. Bir alt tabakada ise beş elektronu olan fosfor atomları olduğundan bu kısımda boşluk yoktur. Güneş ışığı ile gelen fotonlar üst tabakaya çarpıp silisyumun elektronlarını yoldan çıkardığında harekete geçen silisyum elektronları oluşturulan özel bir kanaldan alt tabakaya geçerler. Alt tabakada fosfor çekirdeğine ait daha fazla sayıdaki elektronlar ile hareket büyür. Daha sonra elektronlar burada oluşturulan özel bir kanal ile mekanizmaya doğru ilerlemekte ve mekanizmayı harekete geçirmektedir. Elektronlar mekanizmanın içinden geçerek tekrar veferin en üst tabakasına, yani silisyum atomlarından meydana gelen boş elektron yerine geçmektedir. Böylece sınırsız bir döngü yaratılmış ve bu döngüden elektrik ortaya çıkarılmış olmaktadır. Şekil 2.6'te Güneş pilinden elektrik akımı elde edilmesini gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Güneş pilinden elektrik akımı elde edilmesini canlandıran çizim (Anonim)

Işık gelmeye devam ettiği müddetçe fotonlar silisyumun elektronlarını yoldan çıkaracak ve bu hareket devam edecektir. Motorun içinden geçerek tekrar üst kattaki silisyum atomları ile birleşen elektronlar sayesinde malzemede bir kayıp ve eksik yaşanmayacaktır.

Ancak bu bir ısı meydana getirecek ve ısının artması ileride orantılı bir verim düşüşü meydana getirecektir. Güneş pillerinden daha fazla verim alabilmek için elektron sayısı az ve çok olan malzemelerden bir araya getirerek meydana getirilen yapıda ne kadar başarılı olunursa da istenmediği halde panelde daha fazla ısı meydana gelecektir. Dolayısıyla ısıyı düşürmek ve verimi artırmak için de yol ve yöntem arayışları devam edecektir.

Veferin silisyum ve bor atomları nedeniyle daha çok boşlukları olan tarafına P-Tipi, yani **"**pozitif" denir. Veferin fosfor atomları nedeniyle daha az boşlukların olduğu tarafa ise N-Tipi yani "negatif" adı verilir.

0.5 – 0.7 V gibi düşük bir gerilim tekli güneş pili hücresinden elde edilen gerilim olduğundan hücre olarak uygulamalarda kullanımı düşüktür. Daha fazla enerji için hücreler birbirine paralel veya seri bağlanır. Uygulamalarda çoğunlukla birbirine seri olarak bağlanmış ve 36 hücreden meydana gelen, solar sistemlerin en temel elemanlarından biri olan güneş modülleridir. Uygulamalarda gerilim artırmak için birden fazla modül birbirine seri olarak bağlanmalı, akım arttırmak için birden fazla modül birbirine paralel olarak bağlanmalı.

İhtiyaca göre modüller birbirine seri veya paralel bağlanarak Watt derecesinden Mega Watt derecesine güç elde edilen sistemler oluşturulur. Bu yapıya örgü denilmektedir. Örgü gerekli enerjinin elde edilmesi için kaç modülün seri ve kaç modülün ise paralel bağlanması gerektiği ile ilgilidir.

Güneş pilleri farklı tiplerde vardır. Mono-kristal, poli-kristal, ince film güneş pilleri (a-Si - Amorf Silisyum, CdTe - Kadmiyum Tellür ve CuInSe2 - Bakır İndiyum Diselenid) güneş pilleri vardır.

2.4.2 Mono-kristal güneş pilleri

Dünyada rezerv sorunu olmayan elementlerden birisi silisyumdur. Kristal yapısında bir bozulmanın meydana gelmesi çok zordur. Optiksel ve elektriksel özelliklerini uzun yıllar koruyabilmektedir. Kristal silisyum yarı iletkenler üretiminde çok kullanıldığından teknolojisi ilerlemiştir (Küpeli, 2005).

FV endüstride hâlâ rağbetle Chrozalski metodu kullanılır. Bu metotta silisyum ilk ticari güneş pillerinin imalatında kullanılmıştır. Tek kristal yapılı silisyum kristal çekme tekniği ile büyütülerek kullanılmıştır. Bu metotta öncelikle saf silisyum elde edilir. Bunun için silisyum oksit ark fırınlarının içerisinde termal işlemlerden geçirilir ve çeşitli kimyasal reaksiyonlara sokulur. Daha sonra silisyum maddesinin erimiş olduğu sıvıya çekirdek adı verilen ve tek kristal yapıya sahip olan silisyum batırılır. Soğuyan silisyum katı külçe haline gelir. Ardından ince tabakalar halinde kesilerek pil şeklinde işlenir (Karamanav, 2007).

200 mikron kalınlığa sahip ince tabakalar şeklinde dilimlenen mono-kristal silisyum bloklardan elde edilen güneş pillerinin laboratuvar şartlarında verimliliği %24, ticari modüllerinde %15'in üzerinde verim elde edilebilmektedir (Abdulazeez, 2011).

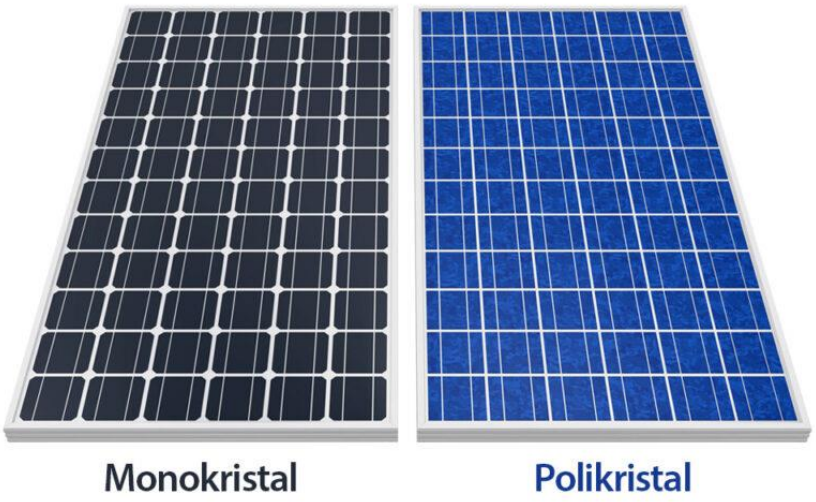
Verim; kullanım yeri, maruz kaldığı güneş ışınları, açısı ve değerine göre değişiklik gösterir. Şekil 2.7'de gösterilen bu güneş pillerinin üretiminde malzeme firesinin çok olmasından kaynaklı dezavantajlar vardır (Karamanav, 2007).



Şekil 2.7 Mono-kristal güneş pili (Karakan ve Oğuz, 2015).

2.4.3 Poli-kristal güneş pilleri

Poli-kristal silisyum güneş pillerinin elde edildiği yöntem mono-kristal güneş pillerinin elde edildiği yönteme benzemektedir. Şekil 2.8'de Monokristal ve Polikristal pillerinin görünümü verilmiştir.



Şekil 2.8 Monokristal ve polikristal pillerinin görünümü

Poli-kristal yapılı güneş pillerinin en önemli elemanı olan yarı iletken silisyum eriyik hale getirilir, ardından kalıplarda oda sıcaklığına kadar soğutularak katı hale getirilmesi sağlanır. Katı forma dönüşen yarı iletken, mono-kristal güneş pillerinin imalatındaki gibi kalınlığı 0,2 – 0,3 mm, çokgen, dairesel ve dörtgen geometrik şekillerde dilimlenmekte. Dilimlenen yarı iletkenler bir araya getirilerek elektriksel bağlantıları yapılır ve ardından birbirlerinden hiç ayrılmayacak şekilde farklı kimyasal içeriklere sahip özel yapıştırıcılar ile tutturulur. Üzerine yansımayı azaltıcı cam plaka yapıştırılarak güneş pili elde edilir. Chrozalski metodolojisi ve diğer saflaştırma yöntemleri kullanılmadığından oluşan poli-kristal yarı iletkenler (silisyumlar) homojen değildir (Muntasser ve ark., 2000). Poli-kristal güneş pillerinin hem maliyetleri hem de verimlilikleri mono-kristal güneş pillerine göre daha düşüktür. Verimleri laboratuvar şartlarında %18 ve ticari modüllerde % 14 civarındadır (Abdulazeez, 2011). Poli-kristal silisyumun yapımı kolay olmasından kaynaklı fiyatları mono-kristal güneş pillerine göre ekonomiktir. Yansımayı engelleyici cam varsa mavi renkte görünmektedir, yoksa gümüş rengindedir (Mete ve Metin, 2013).

2.4.4 İnce film güneş pilleri

Kullanılabilirliği ve verimlilik açısından en çok kullanılan ince film güneş pilleri; a-si, Cd-Te ve Culnse2 güneş pilleridir. Bu piller iletken katmanlardan vücuda getirilmiş müthiş ince yarıiletkenlerdir. İnce film güneş hücresi pek çok değişik madenden

üretilebilir. Ticari olanları amorf silikondan üretilir. Ancak bununla birlikte üretiminde kristal bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellür de kullanılmaktadır. Şekil 2.9'da ince film güneş pili gösterilmektedir.



Şekil 2.9 İnce film güneş pili (yakanaydinlatma.com)

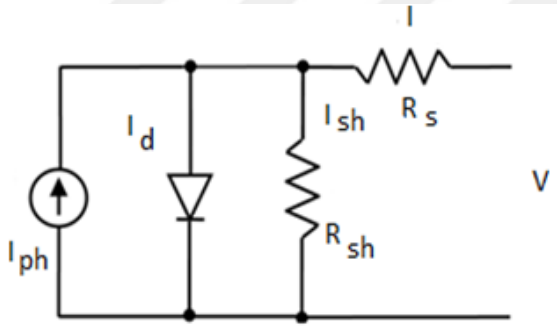
A-si güneş pilinin absorbsiyon katsayısı, mono ve poli-kristal güneş katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan daha düşük olan bir bölgedeki güneş ışınımını absorbe etmek için 1000 mikron kalınlığa sahip a-si gereklidir. Bunun yerine kristal yapıya sahip silisyum kullanılsaydı malzeme kalınlığı 5000 mikron olacaktı (Başaran ve ark., 2011).

Silisyum gibi yarı iletken malzemelerin plastik folyo, cam veya metal gibi geniş yüzeyli plakaların üzerine ince bir film tabakası şeklinde kaplanabilmesi bu güneş pili tiplerini elde etmemizi sağlar. Maliyeti bakımından caziptir. Verimlilikleri %18 olmasına karşılık uzun dönem kullanıldığında verimlilik kararlılık sağlamadığından yaygınlaşmaları önünde büyük engeldir (Karakan ve Oğuz, 2015)

3. FOTOVOLTAİK PANEL TEORİK ANALİZİ

FV panellerde hücre sıcaklığı, ortamın sıcaklığı ve güneşten gelen ışımayla orantılı olarak değişim göstermektedir. Hücrelerin ısınması akım değerini artırırken gerilim değerinde azalmaya neden olur, gerilim değerindeki azalma fazla olduğundan hücrenin çıkış gücünde azalmalar meydana gelir. Güneş panellerinden enerji üretiminde güneşlenme süresi ve panellerin verimi oldukça önemlidir. Matematiksel analizi aşağıda verilmiştir(Süleyman ve YILMAZ, 2019).

FV hücrenin elektriksel eşdeğeri devresi Şekil 3.1'de gösterildiği gibi modellenir. Bu FV eşdeğer devresi bir akım kaynağı, bir diyot ile seri ve paralel dirençlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi

Şekil 3.1'in analizinden fotovoltaik hücrenin çıkış akımı;

$$I = I_{ph} - I_0\left(e^{-\frac{q(V+IR_S)}{nkT_C}} - 1\right) - \left(\frac{V+IR_S}{R_{sh}}\right) \quad (3.1)$$

formülü ile bulunur. Burada; I FV hücre çıkış akımı, I_{ph} fotonların ürettiği akımı, R_s seri direnç, çıkıştaki gerilim düşümü, R_{sh} paralel direnç, n ideallik faktörünü, V FV hücrenin çıkış gerilimi, k boltzmann sabitini (1,380622×10-23 J/ ^{O}K), I_0 diyotun ters doyma akımını, q elektron yükünü (1,6021917×10-19 C), T_C: hücre sıcaklığı (Ortam sıcaklığı: 20 (℃), Işıma değeri: 800 (w/m^2), Rüzgar hızı: 1 (m/sn))

Güneşten gelen ışıma miktarına bağlı olarak FV hücrede foton akımı güneşli tam açık havada en fazla iken bulutlu veya kapalı havalarda daha az olur. Eşdeğer devredeki sızıntı akımlarını gösteren R_{sh} paralel direnci, çıkıştaki gerilim düşümünü gösteren Rs seri direncine göre çok büyüktür. FV hücre sıcaklığı hem ortam sıcaklığı hem de

güneşten gelen ışımayla değişir, hücreye gelen ışımanın enerjiye dönüşmeyen kısmı ısı olarak dışarı atılır.

FV hücrelerden en yüksek güç düşük sıcaklık ve yüksek ışıma değerlerinde elde edilir. Hücrenin eşdeğer devresinde Rsh =∞ açık devre alındığında, FV hücre akımı;

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{-\frac{q(V+IR_S)}{nkT_C}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

olarak bulunur. FV sistemde akımı artırmak için FV hücreler paralel bağlanır.

FV hücrenin gerilimi,

$$V = \frac{nkT_C}{q} Ln \left(\frac{I_{ph}+I_0-I}{I_0} \right) - IR_S \quad (3.3)$$

şeklinde bulunur. FV hücrede yüzeye gelen ışık şiddeti oranında gerilim indüklenir. FV hücre çıkış uçlarına yük bağlanırsa yük üzerinden bir akım geçer.

FV panelde N_S seri hücre sayısı, Np panelde kullanılan paralel hücre sayısını gösterdiğine göre FV panel akım yeniden düzenlenirse;

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left(e - \frac{q\left(\frac{V}{N_S}+\frac{IR_S}{N_p}\right)}{nkT_C} - 1 \right) - \frac{1}{N_p} \left(\frac{V+IR_S}{R_{sh}} \right) \quad (3.4)$$

elde edilir. R_{sh} direnci R_s, direncinden çok büyüktür. Bu nedenle $R_{sh}=\infty$ açık devre alındığında, FV panel akımı;

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left(e^{-\frac{q\left(\frac{V}{N_S}+\frac{IR_S}{N_p}\right)}{nkT_C}} - 1 \right) \quad (3.5)$$

şeklini alır. Bu durumda FV panel çıkış gerilimi ise;

$$V = \frac{nkT_c}{q} Ln\left(\frac{I_{ph}+I_0-I+N_p}{I_0}\right) - R_s I \quad (3.6)$$

ile hesaplanır.

3.1 FV Panellerde Bağlantı Türleri

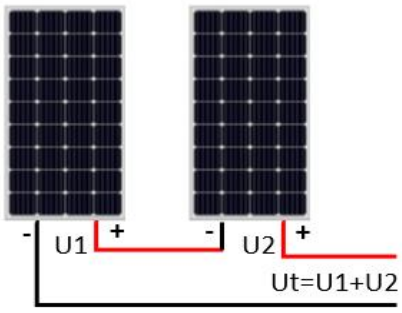
FV panellerden elde edilen gücü artırmak için paneller kendi aralarında üç farklı şekilde bağlanabilirler. FV güç sisteminden bazen akımın artırılması istenirken, bazen de gerilimin arttırılması istenebilir. FV panellerin birbirleri ile bağlanmasına dizin adı verilir, bu dizinler sayesinde elde güç birkaç watt'tan megavatlara kadar çıkarılabilir.

3.1.1 FV Panellerin seri bağlanması

Çıkış Geriliminin artırılmak istendiği durumlarda kullanılan bağlantı şeklidir. FV panellerin seri bağlanmasıyla oluşan çıkış gerilimi;

$$Ut = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \quad (3.7)$$

formülü ile bulunur. n paralel bağlanan panel sayısıdır. Şekil 3.2'de FV panellerin seri bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 3.2 Güneş panellerinin seri bağlanması

Paneller üzerindeki konektörler vasıtasıyla paneller birbirlerine seri bağlanırlar, burada panelin artı ucu ardışık gelen panelin eksi ucuna bağlanır. FV panellerin seri bağlanması sonucunda çıkış geriliminin değeri artarken panellerin tümünden aynı akım değeri geçer. Daha fazla çıkış gerilimine ihtiyaç duyulması halinde seri bağlanacak FV panellerinin adedi arttırılabilir.

3.1.2 FV panellerin paralel bağlanması

FV paneller paralel bağlanarak çıkış akımının artırılması sağlanır. Paralel bağlı panellerin çıkış gerilimi sabit olup panelin gerilimine eşittir. FV panellerin paralel bağlanmasında çıkış gerilimi ifadesi;

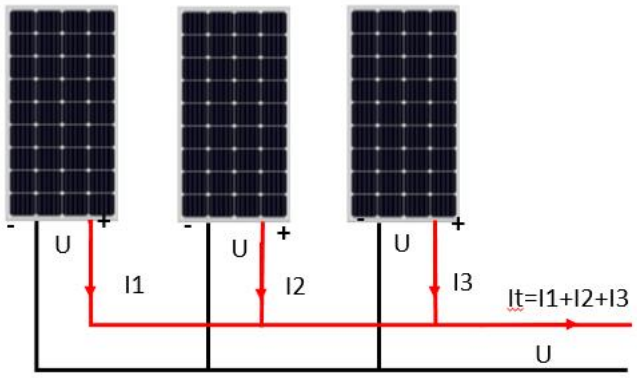
$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \cdots \ldots \ldots . = U_n \quad (3.8)$$

FV panellerin paralel bağlanmasında toplam akım ifadesi;

$$It = I1 + I2 + I3 + \cdots + In \quad (3.9)$$

şeklinde hesaplanır. n paralel bağlanan panel sayısı olmak üzere It toplam akımı vermektedir.

Şekil 3.3'te FV sistemde paralel bağlı şema verilmiştir.



Şekil 3.3 Güneş panellerinin paralel bağlanması

Paralel bağlanacak FV sistemlerde panelin artı ucu ardışık gelen panelin artı ucuyla birleştirilir.

3.1.3 FV panellerin karışık bağlanması

Panellerin karışık bağlanmasıyla hem çıkış gerilimi hem de çıkış akımı artırılarak istenen güç seviyesi elde edilebilir. FV paneller ancak standart test koşullarında nominal güç değerlerine ulaşabilir.

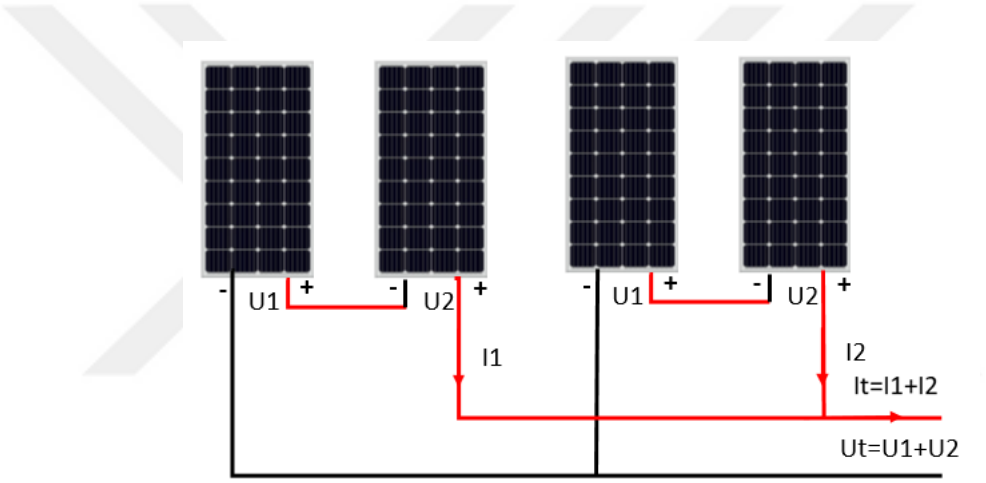
Şekil 3.4'te karışık bağlanmış FV panellere ilişkin prensip şeması verilmiştir. FV panellerin karışık bağlanmasında çıkış gerilimi ifadesi;

$$Ut = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \quad (3.10)$$

ile hesaplanır. Burada n karışık bağlantıda gerilimi artırmak için seri bağlanan panel sayısıdır. FV panellerin karışık bağlanmasında toplam akım ifadesi ise;

$$It = I1 + I2 + I3 + \cdots + Im \quad (3.11)$$

ile hesaplanır. Burada m karışık bağlantıda paralel kol sayısıdır. Şekil 3.4'te FV sistemde karışık bağlı şema verilmiştir.



Şekil 3.4 Güneş panellerinin karışık bağlanması

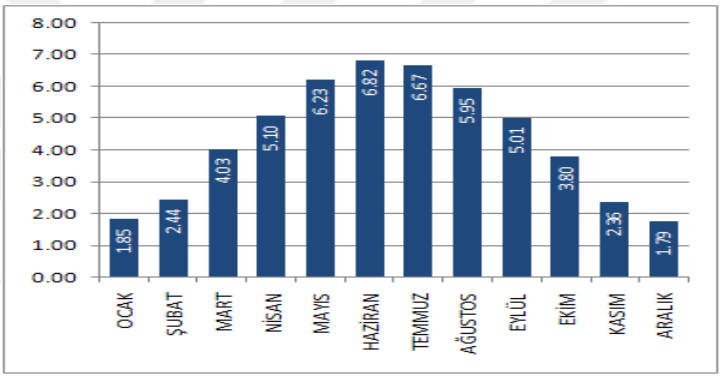
FV panellerin karışık bağlanması ile yüksek değerlerde akım ve gerilimler elde edilebilir. Gerilim artırmak için her bir paralel kolda kullanılan seri panel sayısı artırılırken, akımı artırmak için ise bu paralel kol sayısı dolayısıyla panel artırılır.

4. MATERYAL VE METOD

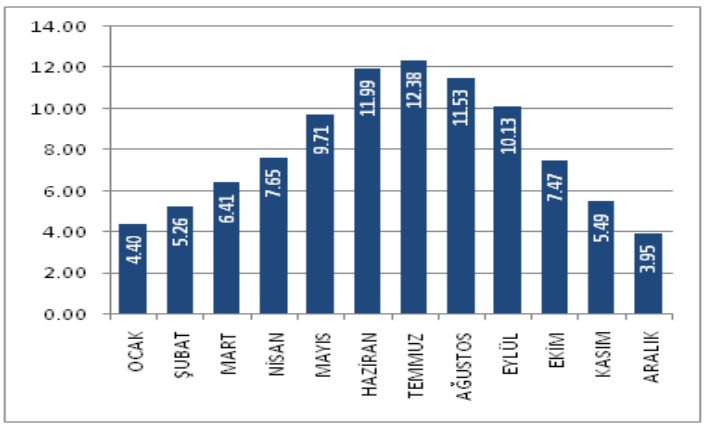
4.1 Deney setinin gerçekleştirilmesi

Deney seti, Diyarbakır ili Dicle Üniversitesi 37° 55′ 5″ Kuzey ile 40° 15′ 47″ Doğu GPS koordinatlarında, merkez kampüste Teknik Bilimler MYO binası terasında kurulmuştur.

Diyarbakır ili gerek güneş ışıma değerleri gerekse de güneşlenme süresi ile güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olan illerdendir. Global ortalama radyasyon değeri 1.584 kWh/m2-yıl (günlük ortalama 4,34 kWh/m2) olup ortalama güneşlenme süresi 2.898 saat/yıl (günlük ortalama 7,94 saat/gün)'dır. Şekil 4. 1 - 4. 2'de Diyarbakır / Merkez, global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 4. 1 Diyarbakır / Merkez, global radyasyon değerleri (KWh/m^2-gün)



Şekil 4. 2 Diyarbakır / Merkez güneşlenme süreleri (Saat)

Deney setinde Şekil 4.3'te gösterildiği gibi iki adet güneş panelinin arka yüzeyinde trafo yağı için 1.5 cm yüksekliğinde bir havuz oluşturulmuş, havuzun içine bakır

borular panelle temas yüzeyi en fazla olacak şekilde döşenmiştir. Bir panelin altı dikdörtgen kanatçık geometriye sahip alüminyum soğutucu ile Şekil 4.4'te gösterildiği gibi kapatılırken diğeri ise sadece bir metal levha ile kapatılmıştır. Metal levha ve metal levha ile kaplanan panel Şekil 4.5'te verilmiştir. Ayrıca referans alınmak üzere karşılaştırma amaçlı bir panel kullanılmıştır. Deney setinde su devir daimi için pompa, soğutma işleminde kullanılmak üzere araba radyatörü ve radyatör fanı, elektriksek enerjiyi harcamak için yük (reosta), dayanıklı hortum, pompa ve radyatör ile bakır boru-hortum arasında kullanılmak üzere dönüştürücü ve tüm verileri ölçmek için de sensörler kullanılmıştır. Tüm bileşenleri ile deney setinin önden ve arkadan görüntüsü Şekil 4.8-9'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Panelin arka yüzünde oluşturulan hazneye bakır borunun yerleştirilmesi

Üç adet kullanılan panelden ilk ikisinde aktif soğutma üçüncü ise referans panel olarak kullanılmıştır. Bu üç panel üçgen tip bir montaj platformuna yerleştirilmiştir.



Şekil 4.4 Panel arka yüzünde oluşturulan tankın soğutucu ile kapatılması

Birinci panel arkasındaki haznede bulunan trafo yağı içerisine yerleştirilmiş bakır borular bir araba radyatörüne bağlanmıştır. Radyatör içerisinde bulunan yaklaşık 1.5 litrelik su, panel arkasına yerleştirilen bakır borulardan bir pompa yardımıyla geçirilerek devir daimi yapılmıştır. Radyatör bir fan ile soğutularak içerisinde bulunan su soğutulmuştur. Böylece aktif soğutma yapılmıştır. Radyatör yapı olarak hava ile temas yüzeyi yüksek olup kendi üzerinde de ayrıca pasif soğutma meydana gelmektedir. Ayrıca bu yağ haznesi dikdörtgen geometriye sahip kanatçıkla soğutucu ile kapatıldığı için soğutucu hava ile temas halinde olup bu kısımda da pasif soğutma meydana gelmektedir.



Şekil 4.5 a) Metal levha b) Metal levha ile kaplanan panel

İkinci panelde ilk panele göre sadece soğutucu kısmında farklılık yapılmıştır. Bu panelde oluşturulan yağ haznesi metal düz 2 mm kalınlığında bir levha ile kapatılmıştır. Birinci panelde oluşturulan aktif soğutma düzeneğinin aynısı bunda da kullanılmıştır. Sadece soğutucu kullanılmamıştır.

Radyatör üzerindeki su giriş çıkış boru çapları bakır borulara göre daha büyük olduğu için tornada uygun dönüştürücü yapıldı. Pompa radyatör çıkışına bağlandı. Pompayı radyatör çıkışına bağlayabilmek içinde tornada uygun ebat ve çapta dönüştürücü yaptırıldı. Şekil 4.6'da görüldüğü panel arkasındaki bakır borunun çıkış bağlantısı bir sıvı sıcaklık sensörü üzerinden hortum ile dönüştürücü yardımı ile radyatör girişine bağlanmıştır. Radyatör çıkışıda pompa üzerinden bir hortum ile bakır borunun girişine yerleştirilmiş sıvı sıcaklık sensörüne bağlanmıştır. Şekil 4.7'de görülen akış sensörü pompa ile giriş sensörü arasına yerleştirilmiştir.

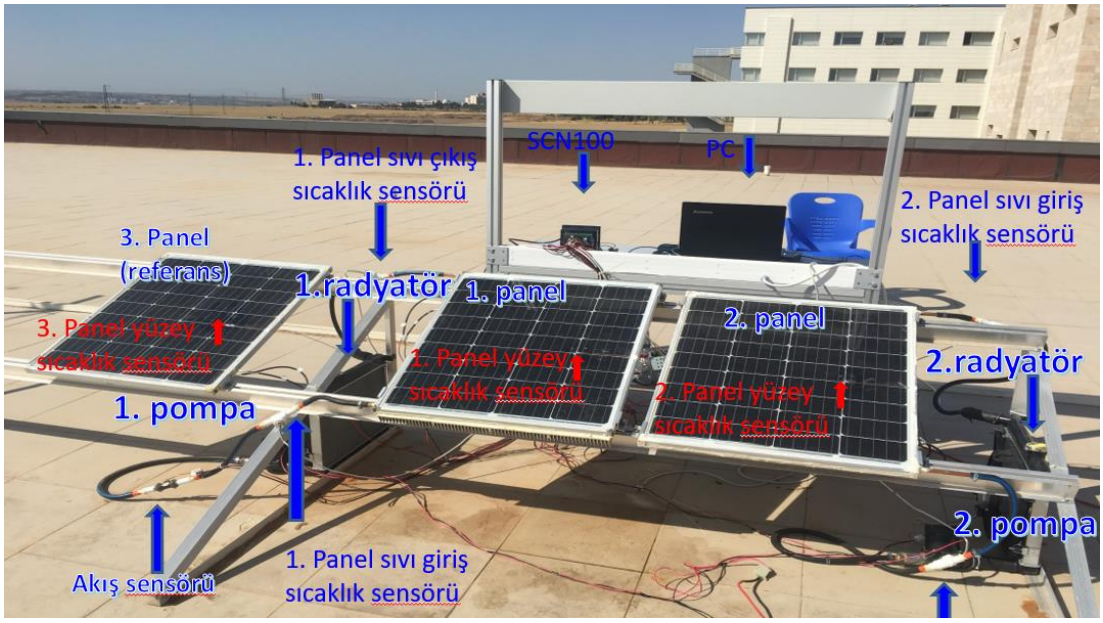


Şekil 4.6 Radyatöre pompa bağlantısı

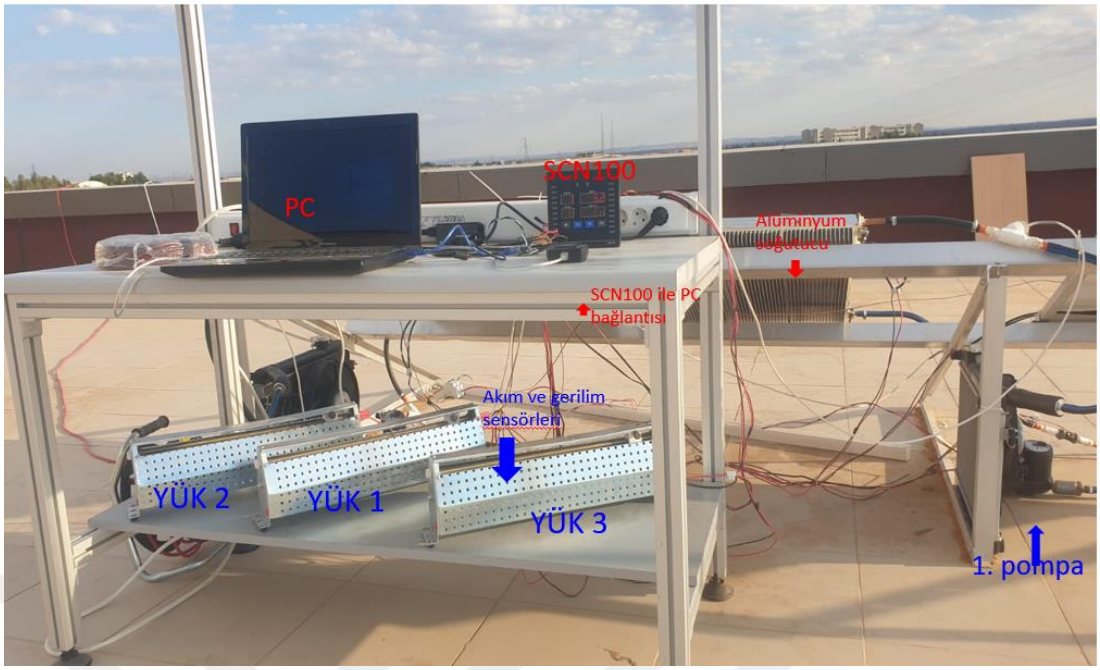


Şekil 4.7 Akış sensörü bağlantısı

Panelerin ön yüzleri ısındıkça panellerin arkasında oluşturulan hazne içindeki trafo yağı bu ısınır. Hazne içindeki trafo yağında depolanan ısınının bir kısmı havayla temas eden alüminyum kanatçıklı soğutucu ile kanatçıklı soğutucu olmayan panelde de ise metal levha ile sistemden uzaklaştırılır, ancak ısının önemli bir kısmı sistemde kalmaktadır.



Şekil 4.8 Denet seti ön yüzü



Şekil 4.9 Deney seti arka yüzü

Pompa yardımıyla tankın içine döşenen bakır boruların içindeki sürkülasyon halindeki su, trafo yağında depolanan ısıyı sürekli emerek sisteme bağlı radyatöre taşınmakta, burada soğutulmakta ve tekrar eden bir döngüde bakır borularda dolaşmaktadır. Isının bir kısmıda hava ile temas eden radyatör kanatçıklarından atılmaktadır. Böylece yağ haznesi içindeki yağda bulunan ısı sistemden uzaklaştırılarak panelin veriminin artırılması hedeflenmiştir.

2 gün boyunca 11:00-16:00 arasında deney seti çalışırken sensörler yardımı ile iki panelin giriş çıkış sıcaklıkları, yağ sıcaklığı, panel yüzey sıcaklıkları ve de her panele ait akım gerilim değerleri anlık olarak ölçülerek kayıt edilmiştir.

4.2 Deney setinde kullanılan malzemeler

Güneş Paneli; deney setinde 100 W monokristal üç adet panel kullanılmıştır. Panellere ait özellikler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Kullanılan Güneş Paneli Özellikleri

Özellik	**Değer**
Tipi	MONOKRİSTAL
Ürün Kodu	LXR-100M
Marka	LEXRON
Sertifikalar	CE, IEC
Elektriksel Özellikler	
Güç	100W
Hücre Sayısı	36
Açık Devre Voltajı (Voc)	23,8V
Maks. Voltaj (Vmp)	20,70V
Kısa Devre Akımı (Isc)	5,07A
Maks. Akım (Imp)	4,83A
Maks. Sistem Voltajı	1000V
Mekanik Özellikler	
Modül Ölçüleri (mm)	791*679*25
Ağırlık	7kg
(Standart Test Koşulları: Am=1.5 E=1000W/m2 Tc=25 ^{0}C)	

SCN 100 Tarayıcı ve Alarm Cihazı; Akım gerilim ve sıcaklık sensörlerinin bağlanabildiği 20 kanallı olan cihaz, RS485 iletişim modülü ile bilgileri başka bir üniteye aktarılabilme özelliği vardır. Sensör verilerini bilgisayara aktarılarak kayıt edilmiştir. Aynı anda seçilen bir kanalı ve tüm kanalları otomatik tarayarak göstermektedir. Dataloger yerine kullanılmıştır. SCN 100 cihazının Şekil 4.10'da önden görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.10 SCN 100 tarayıcı ve alarm cihazı

USB -RS485 Dönüştürücü; SCN 100 cihazını bilgisayara bağlanmak için kullanılan bir ara bağlantı elemanıdır. Dönüştürücü Şekil 4.11'de verilmiştir



Şekil 4.11 USB -RS485 Dönüştürücü

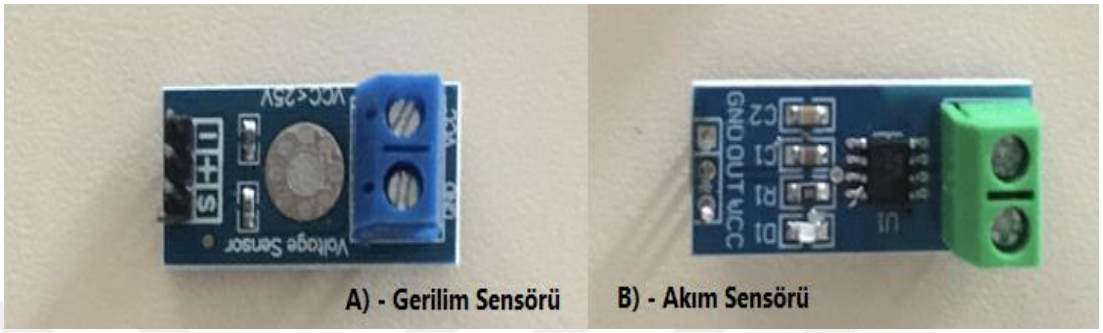
OPiK 2016_scn 100 bilgi aktarma yazılımı; RS485 iletişim modülü ile SCN 100 cihazından aktarılan verileri kullanabilmek için kullanılan bir yazılımdır. Verileri istenen zaman aralıklarında almaya yardımcı olur. Örneğin 1,5,10,20,30 dakilalık veriler alınabilir.

Akım sensörü; güneş paneli akımını ölçmek için kullanılmıştır. ACS 712 5A modeli kullanılmış olup, %5'nin altında Hata payı ölçüm yapan bu sensör ile akım bilgisi okunup kayıt edilmiştir. Şekil 4.12 a)'da gösterilen akım sensörü özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Akım sensörü özellikleri

Özellikler	**Değer**
Ölçüm aralığı	-5A ile +5 A
Çalışma sıcaklık aralığı	-40°C'den 85°C
Minimum Çalışma Voltajı	3V
Maksimum Çalışma Voltajı	5.5V
Ağırlığı	1.0 gr

Gerilim sensörü; güneş paneli gerilimi ölçmek için kullanılmıştır. Taidacent DC 0-25V modeli kullanılmış olup, yaklaşık % 0.5'nin altında hata payı ölçüm yapan bu sensör ile gerilim bilgisi okunup kayıt edilmiştir. Şekil 4.12 b)'de gösterilen gerilim sensörü özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.12 Elektriksel sensörler a) Gerilim sensörü b) Akım sensörü

Tablo 4.3 Gerilim sensörü özellikleri

Özellikler	Değer
Gerilim giriş aralığı:	DC0-25V
Gerilim algılama aralığı:	DC0.02445V-25V
Gerilim simülasyon çözünürlük:	0.00489V
Ağırlığı	1.0 gr

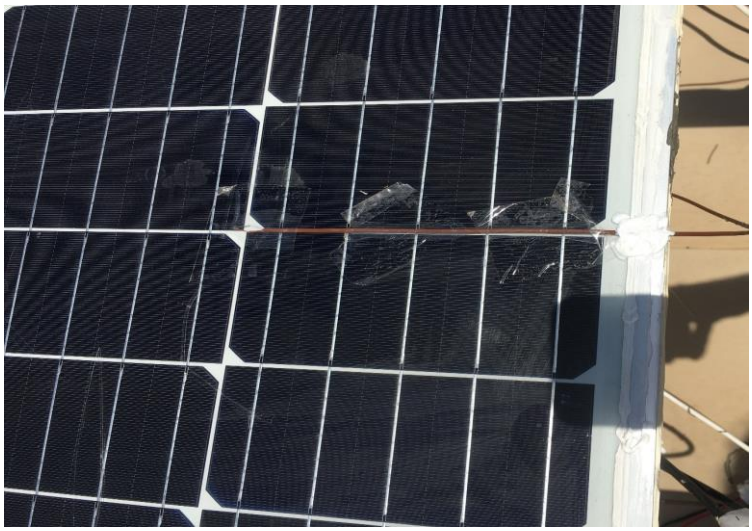
Yüzey sıcaklık sensörleri; panelin yüzey sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Hücreler arasına denk gelip gölgeleme oluşturmayacak şekilde yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır. Yüzey sıcaklığı için termokupl kullanılmıştır. Şekil 4.13- 15'te verilen yüzey sıcaklık sensörünün özellikleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Yüzey sıcaklık sensörü özellikleri

Özellikler	Değer
Marka	Ordel
Tip	TTTE2x0,50T OS 2K
Eleman	T tipi
Kesit	2 x 0,50 mm² Tek telli
İzolasyon	Teflon + Teflon + Avrupa Kablo
Kablo boyu	2 M



Şekil 4.13 Yüzey sıcaklık sensörü



Sekil 4.14 Yüzey sıcaklık sensörü montajı

Sıvı sıcaklık sensörleri; panelin arka kısmına yerleştirilen bakır boruların giriş çıkışına yerleştirilerek su sıcaklığı ölçmek için kullanılmıştır. T tipi borulara takılabilecek vida şeklinde yaptırılmıştır. Rezitans termomentre olarak isimlendirilen bu sensörler ile

devir daim olan su sıcaklı ve yağ sıcaklığı ölçülmüştür. Şekil 4.15'te gösterilen sıvı sıcaklık sensörünün özellikleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

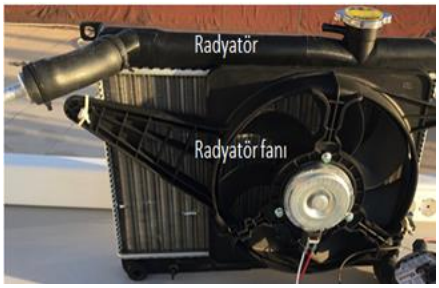
Tablo 4.5 Sıvı sıcaklık sensörü özellikleri

Özellikler	Değer
Marka	ORDEL
Tip	OR06-B1H06-3 Ü EF 2K-SS
Eleman	1 x Pt-100 (Üç Telli)
Koruyucu	1.4571 DIN Paslanmaz (AISI 316)
Çap	6 mm
Boy	30 mm (Diş hariç 15 mm)
Bağlantı	½" rekor
Kablo	2 m (Silikon + Silikon)
Min. Ve max. Çalışma sıcaklığı	-70…+500 0C



Şekil 4.15 Sıvı sıcaklık sensörü

Radyatörü ve radyatör fanı; bakır borular yardımı ile alınan ısı radyatörden geçilerek soğutulmuştur. Şekil 4.16'da gösterilen radyatör ve radyatör fanı Tofaş marka olarak kullanılmıştır. Bu kullanılan radyatör fanı 12V ta 11 A akım çekmektedir. Bu çalışmada ayarlı bir DC kaynaktan beslenerek 7V ta kullanılmış ve 4,7 A (32Watt) akım çekecek şekilde kullanılmıştır.



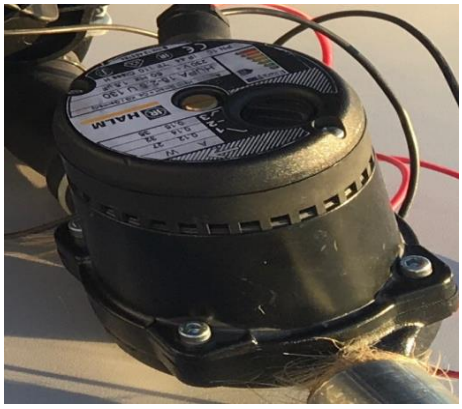
Şekil 4.16 Radyatör ve radyatör fanı;

Alüminyum soğutucu; her panel için 4 adet 200x165x35 mm ölçülerinde dikdörtgen kanatçıklı AS160 alüminyum led soğutucu kullanılmıştır. Soğutucu arka kısmı trafo yağı ile temas halinde olup yağdan bir miktar ısıyı dışarı iletmektedir. Soğutucu parçaları güçlü silikon ile yapıştırılmıştır. Panel iç kısmı ve soğutucunun trafo yağı ile temas eden kısımları önce sıvı conta ile kapatılmış daha sonra üzerine dayanıklı silikon sürülmüştür. Alüminyum soğutucunun panel üzerine montaj edilmiş hali Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17 Alüminyum soğutucunun panel üzenine montajı

Sirkülasyon pompası; Elektrikli kombilerde kullanılan HALM HUPA 15-2,5 pompası kullanılmıştır. Kesintisiz yüksek sıcaklıklara dayanacak özelliklere sahip olan bu pompa ile su devir daim edilmiştir. Tablo 4.6'da verilen pompanın üç kademesi olup 27 Watt kademesinde kullanılmıştır. Bu kombi pompası bir dairenin bütün peteklerinden su sirkülasyonu yapabilecek güçtedir. Daha küçük güçte kullanılabilirdi ancak istenen termal özelliklere sahip bu pompa bulunabildi. Pompa Şekil 4.18'de verilmiştir.

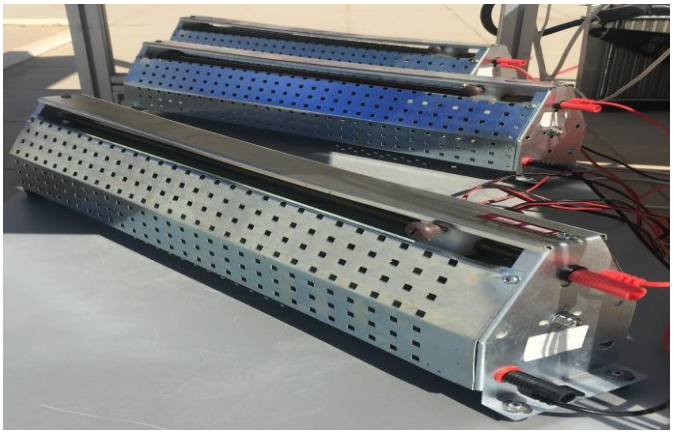


Şekil 4.18 Sirkülasyon pompası

Tablo 4.6 Sirkülasyon pompası özellikleri

Özellikler	Değer
Gerilimi	220 V AC
Akımı	0,12A
Uzunluğu	130 mm
Gücü	27-32-35 Watt
Bağlantı standartı	1” x 1/2"

Elektriksel yük (Reosta); Elektriksel yük olarak 0-50 Ohm arasında ayarlanabilen 1000W’lık bir reosta seçilmiştir. Yük değeri ayarlanırken yaklaşık aynı ışıma durumunda direnç değeri 0 artırılarak değiştirilmiş ve her defasında akım gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerlerden güç hesaplanarak en yüksek ölçülen güç değeri maksimum güç noktası için seçilerek kullanılmıştır. Üç adet reosta kullanılmıştır. Reostaların hepsinin aynı direnç değerlerini ayarlanması için önce ohmmetre kullanılmıştır. Daha sonra hasas ayar yapmak için ayarlanmış bir DC kaynağa bağlanmış ve akım ölçülmüştür. Aynı bağlantı elemanları ile aynı DC kaynağa diğer reostalarda bağlanarak ölçülen akımın aynı olması sağlanarak tüm reosta dirençler eşitlenmiştir. Bu çalışma için en yüksek güç değeri yük direncinin 5,6 ohm olduğu durumda elde edilmiştir. Elektriksel yüke ait bağlantı Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 Elektriksel yük (0-50 Ohm Reosta 1000W)

Bakır boru; 1,5 inçlik bakır boru kullanılmıştır. Her panel için yaklaşık 7 M bakır boru kullanılmıştır. Bakır boru özel bir alet ile belirli noktalardan bükülerek yerleştirilmiştir. Bakır borunun panele giriş ve çıkış yaptığı noktalarda hem iç hem de dış kısımdan kelepçe takılarak sabitlenmiştir. Bakır boruya ait görüntü Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 Bakır boru

Panel montaj platformu; panelleri üzerine montaj etmek için kullanılmıştır. Üçgen tip yapıya sahip açı ayarlı montaj platform kullanılmıştır. Panel açısı Diyarbakır koşulları için 36 0' ye ayarlanmıştır. Şekil 4.21'de görülen 3 adet montaj platformu ayağı üzerine 2 adet 4 M'lik profil monte edilerek oluşturulmuştur.



Şekil 4.21 montaj platformu ayağı

4.3 Enerji analizi

FV panel çıkış elektriksel gücünün hesaplanan akım ve gerilime bağlı olarak;

$$Pe = V * I \tag{4.1}$$

ile hesaplanır. Burada *V* gerilime, *I* akıma ve *Pe'*de elektriksel güce karşılık gelmektedir.

FV panelinde üretilen güç, güneşten gelen ışımanın geliş açısına, panel yüzeylerinin kirlilik derecesine, havanın açık veya bulutlu olmasına bağlı olarak değişir. Güneş paneli üzerine düşen güneş ışınlarının ne kadarının elektriğe dönüştürüldüğünün hesabı verim olarak ifade edilir.

Verim;

$$\eta e = \frac{Pmax}{G*S} * 100 = \frac{Imax*Umax}{G*S} * 100 \tag{4.2}$$

ile hesaplanır. Burada; I_{max} maksimum panel akımı (A) , U_{max} maksimum panel gerilimi (V), P_{max} panelin ürettiği maximum güç (W), *G* ışıma (W/m^2) , *S* panel yüzey alanı (m^2) ve ηe elektriksel verim (%) olarak ifade edilebilir.

$$FF = \frac{Imax*Umax}{Ioc*Uoc} \tag{4.3}$$

Açık devre gerilimi V_{oc}, kısa devre akımı I_{sc} şeklinde ifade edildiğinde *FF* doluluk oranı şeklinde tanımlanır.

Çalışmada elektriksel güç artışı (P_{art}) soğutulan panel gücü ($P_{soğ}$) ile referans panel gücü (P_{ref}) kıyaslanarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Aydın, 2022);

$$P_{art} = \frac{Psoğ - Pref}{Pref} 100 \quad (4.4)$$

Elektriksel verim artışı benzer şekilde ifade edilebilir. Soğutulan panel verimi ile referans panel verimi arasındaki fark olarak hesaplanabilir(Çağırtekin, 2022).

$$ηe_{art} = ηe_{soğ} - ηe_{ref} \quad (4.5)$$

Burada P_{art} artan güç (W) miktarını, Ps soğutulan panel gücünü(W), $Pref$ ise refrans panel gücü(W) olarak ifade edilebilir.

Panel termal gücü (Qte) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Qte = m.cp.\Delta T \quad (4.6)$$

$$\Delta T = (tgiriş - tçıkış) \quad (4.7)$$

Burada m suyun debisi, cp suyun özgül ısısı(4.18kJ/kg), ΔT suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkına (^{0}C), tgiriş suyun giriş sıcaklığı (^{0}C), tçıkış suyun giriş sıcaklığına (^{0}C) karşılık gelmektedir.

PV panelden elde edilen termal verimi ($ηte$) ;

$$ηte = \frac{Qte}{G*S} * 100 \quad (4.8)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Panel toplam verim ise elektriksel ve termal güçten faydalanılarak hesaplanabilir.

$$ηT = \frac{Pe+Qte}{G*S} * 100 \quad (4.9)$$

Burada $ηT$ toplam verim (%), Pe elektriksel güç, Qte termal verim, G ışıma(W/m^2) ve S panel yüzey alanını göstermektedir.

Yapılan çalışmada su akış türünü belirlemek için Reynold ($\mathcal{R}e$) sayısını hesaplamak gerekir. Reynold sayısının büyüklüğüne bağlı olarak akış laminar veya türbülanslı kabul edilir. $\mathcal{R}e$ <230 ise laminar akış, 2300< $\mathcal{R}e$ <4000 ise geçiş rejimi ve $\mathcal{R}e$>4000 ise türbülanslı akış olarak kabul edilir.

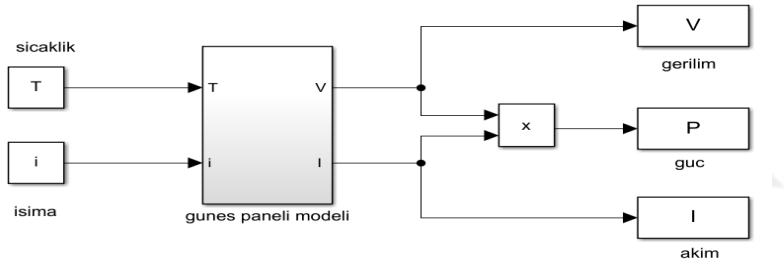
$$\mathcal{R}e = \frac{\rho V D}{\mu} \tag{4.10}$$

Burada $\mathcal{R}e$ Reynold sayısı, ρ yoğunluk(Kg/m3) ,V akışkanın hızı(m/s), D boru çapı(m), μ akışkanın dinamik viskozitesi (Kg/ms) olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca Nusselt sayısının hesaplanması gerekmektedir. Nusselt sayısı taşınım ile meydana gelen ısı transferinin ve iletimle yoluyla oluşan ısı transferine oranı olarak tanımlanır.

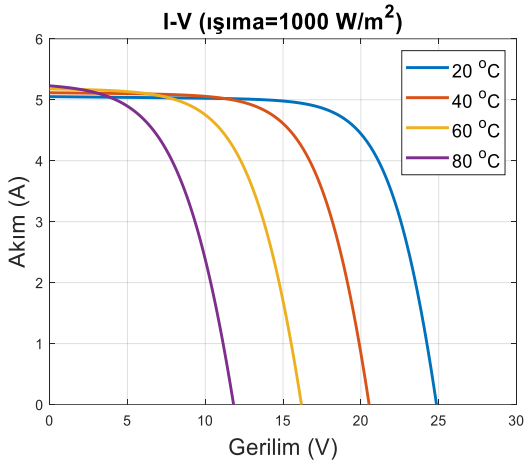
4.4 Sıcaklık ve ışımanın FV panelin güç, akım ve gerilimine etkisi

Matamatiksel modeli verilen FV panel matlab simulinkte modellenerek max akım, gerilim ve güç hesaplanmıştır. Bu amaçlanan yapılan model Şekil 4.22'de verilmiştir.

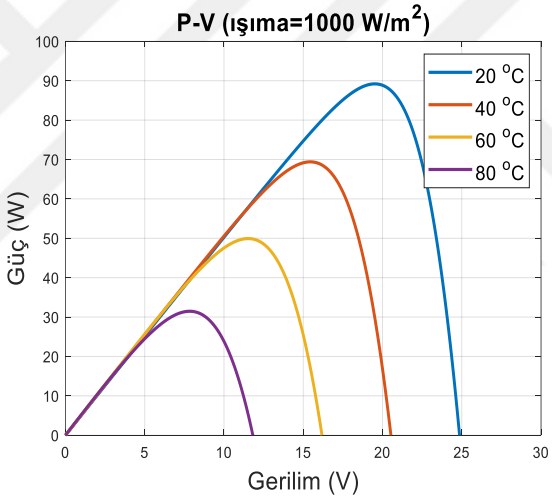


Şekil 4.22 Güneş paneli matlab simulink modeli

Sıcaklığın etkisi için elde edilen I-V ve P-V karakteristikleri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 incelendiğinde ışımanın sabit kalması durumunda sıcaklığın artması akımı az miktarda artırırken, gerilimi ise düşürmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın artması gücü de düşürmektedir.

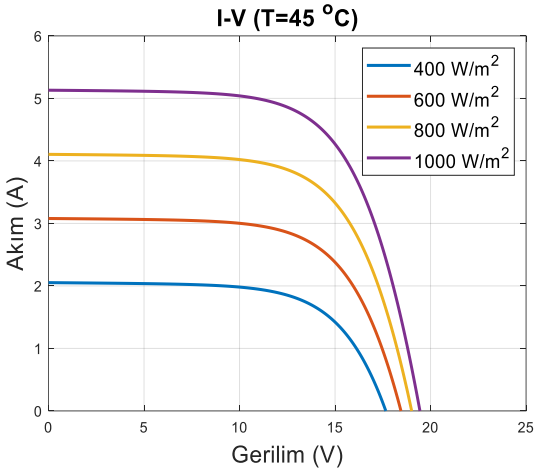


Şekil 4.23 Sabit ışıma durumunda panel I-V karakteristiği (Işıma=1000 W/m^2 iken sıcaklık 20,40,60,80 ^{0}C)

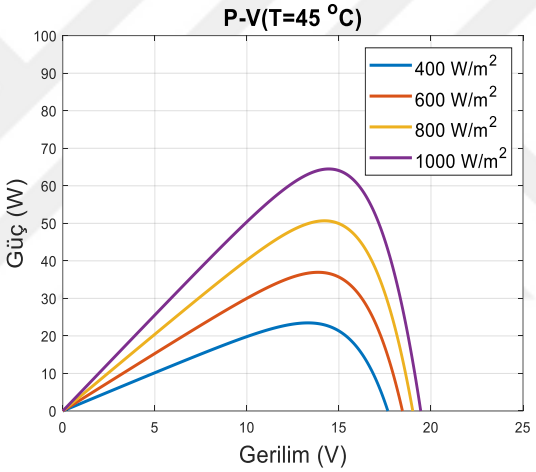


Şekil 4.24 Sabit ışıma durumunda panel P-V karakteristiği (Işıma=1000 W/m^2 iken sıcaklık 20,40,60,80 ^{0}C)

Işımanın etkisi gözlemek için de sıcaklık 45^{0}C'de sabit tutularak, ışımanın etkisi ile akım gerilim ve güç değişimleri incelenmiştir. Sıcaklık sabit tutulup panel farklı ışıma (i = 400, 600, 800 ve 1000 W/m^2) değerleri için akım gerilim ve güç değerleri hesaplanmıştır. Işımanın etkisi gözlemlemek için elde edilen I-V ve P-V karakteristikleri Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sıcaklığın sabit kalması durumunda ışımanın artması gerilimi az miktarda artırırken, akımı ise artırmaktadır. Dolayısıyla ışımanın artması gücü de artırmaktadır.



Şekil 4.25 Sabit sıcaklık durumunda panel I-V karakteristiği (T=45 ^{0}C, ışıma 400,600,800 ve 1000 W/m^2)

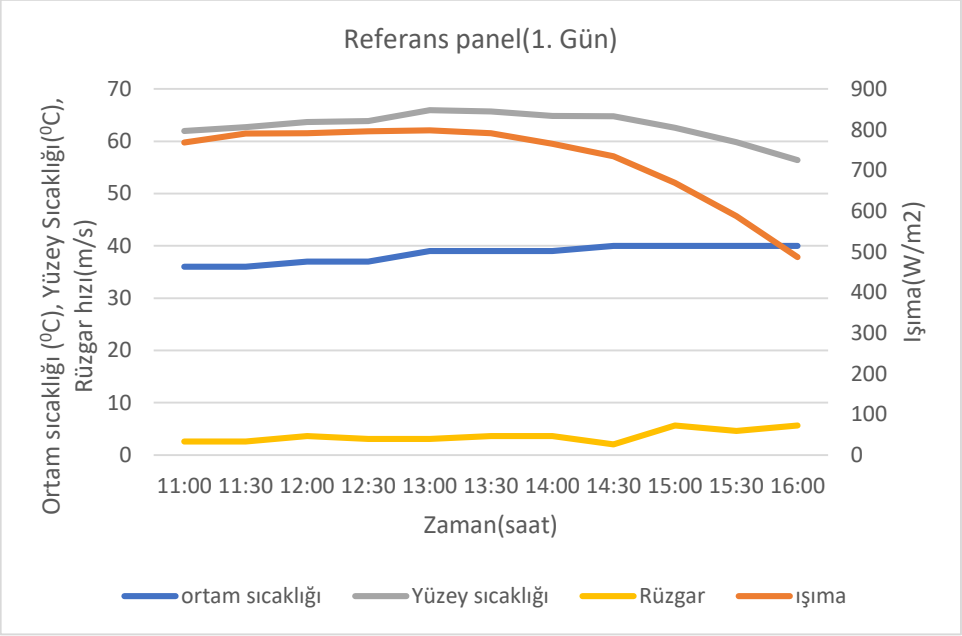


Şekil 4.26 Sabit sıcaklık durumunda panel P-V karakteristiği (T=45 ^{0}C, ışıma 400,600,800 ve 1000 W/m^2)

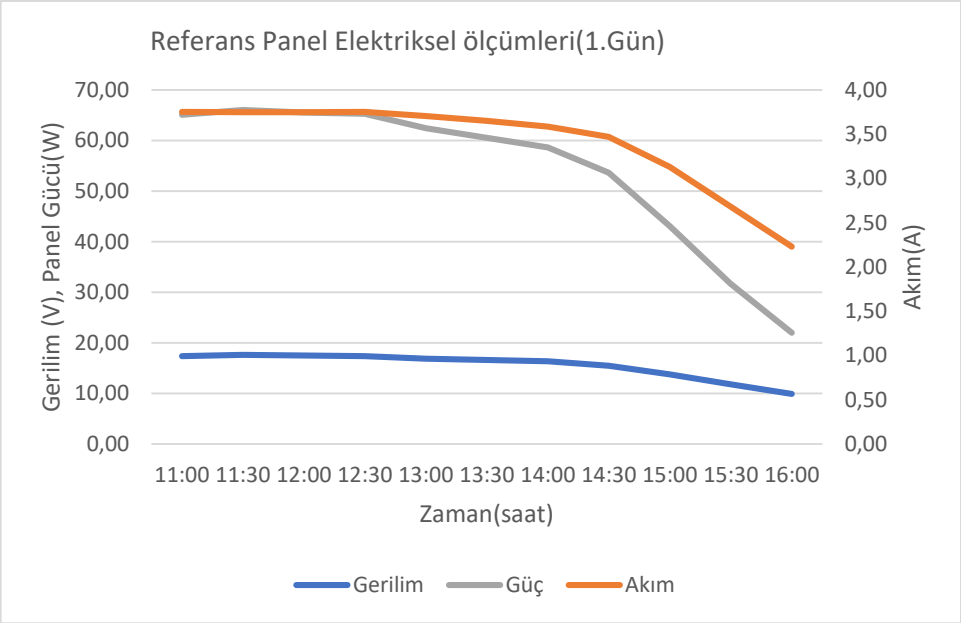
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu deneysel çalışmada iki gün boyunca sabah 11:00-16:00 arası anlık ölçümler alınmıştır. Sıvı sıcaklık sensörleri yardımı ile panellerin arkasına yerleştirilen bakır borudan gecen suyun giriş çıkış sıcaklığı ve trafo yağının sıcaklığı ölçülmüştür. Yüzey sıcaklık sensörleri yardımı ile panellerin yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Akım ve gerilim sensörleri ise her panelin akım gerilim değerlerini ölçmek için kullanılmıştır. Sensör verileri, SCN 100 tarayıcı ve alarm cihazı yardımı ile bir bilgisayara kaydedilmiştir.

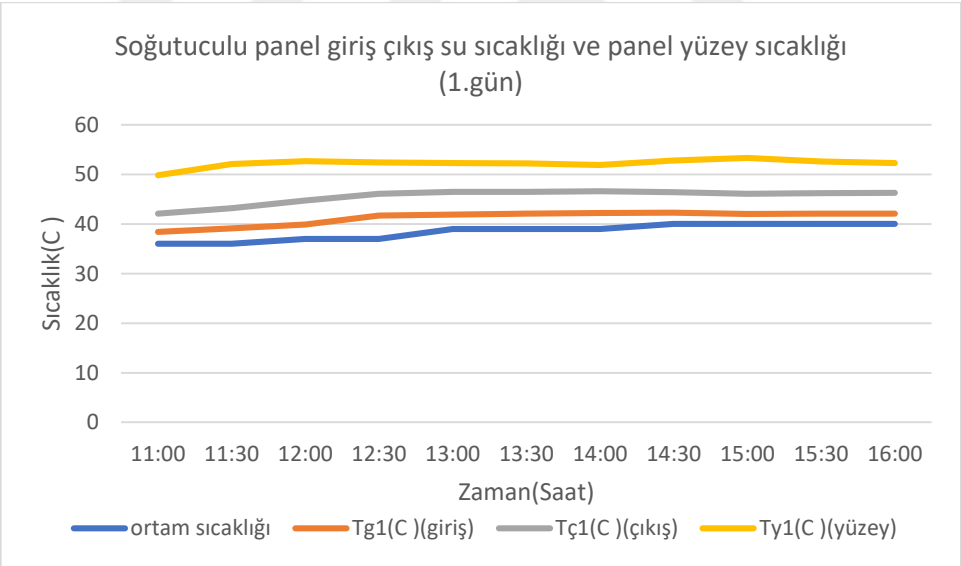
Alüminyum soğutuculu panel ile düz metal levha kaplı paneller için su giriş çıkış sıcaklıkları, trafo yağı sıcaklığı, yüzey sıcaklıkları ve elektriksel büyüklükler (akım ve gerilim) ölçülmüştür. Referans panel için ise yüzey sıcaklığı ve elektriksel büyüklükler (akım ve gerilim) ölçülmüştür. Şekil 5.1-5.11'de 1.gün yapılan ölçümler verilmiştir.



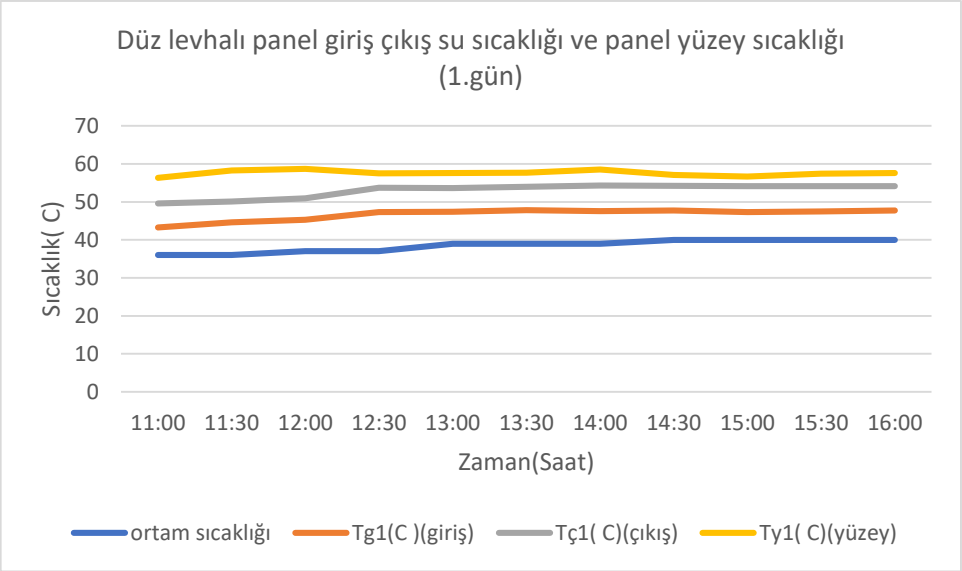
Şekil 5.1 Ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, ışıma ve referans panel yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi (1.Gün)



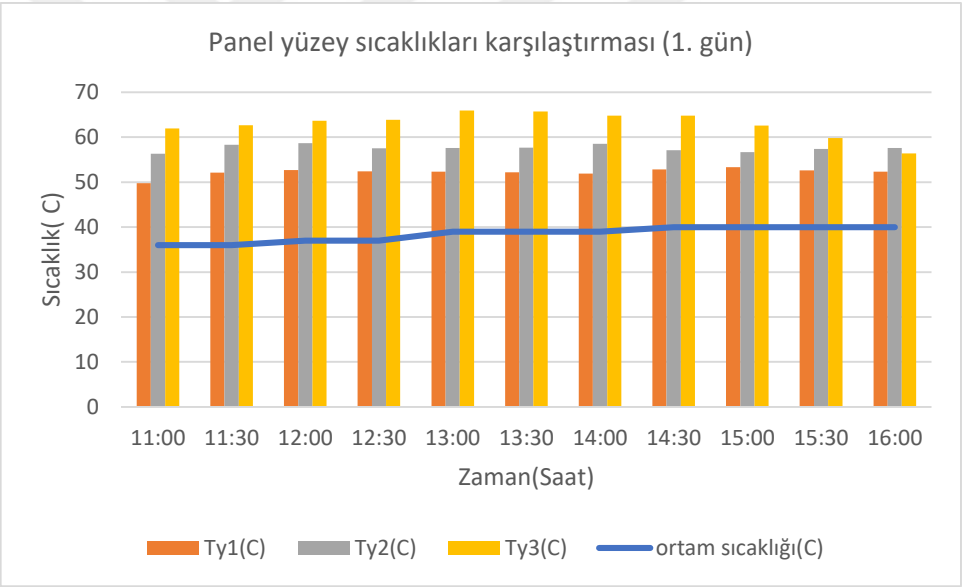
Şekil 5.2 Referans panel akım, gerilim ve gücünün zamana göre değişimi(1. gün)



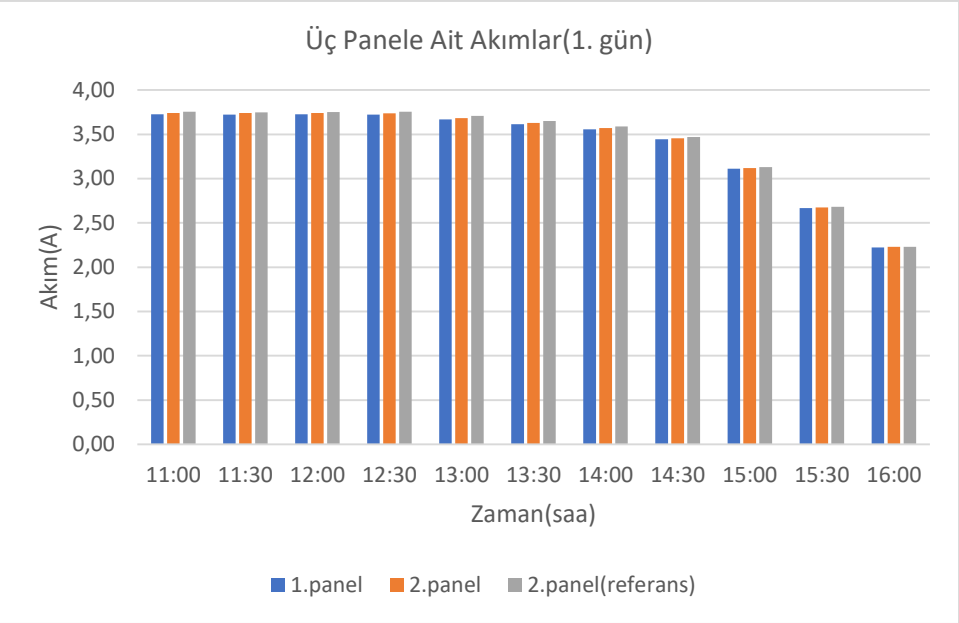
Şekil 5.3 Soğutuculu panel giriş-çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi(1.gün)



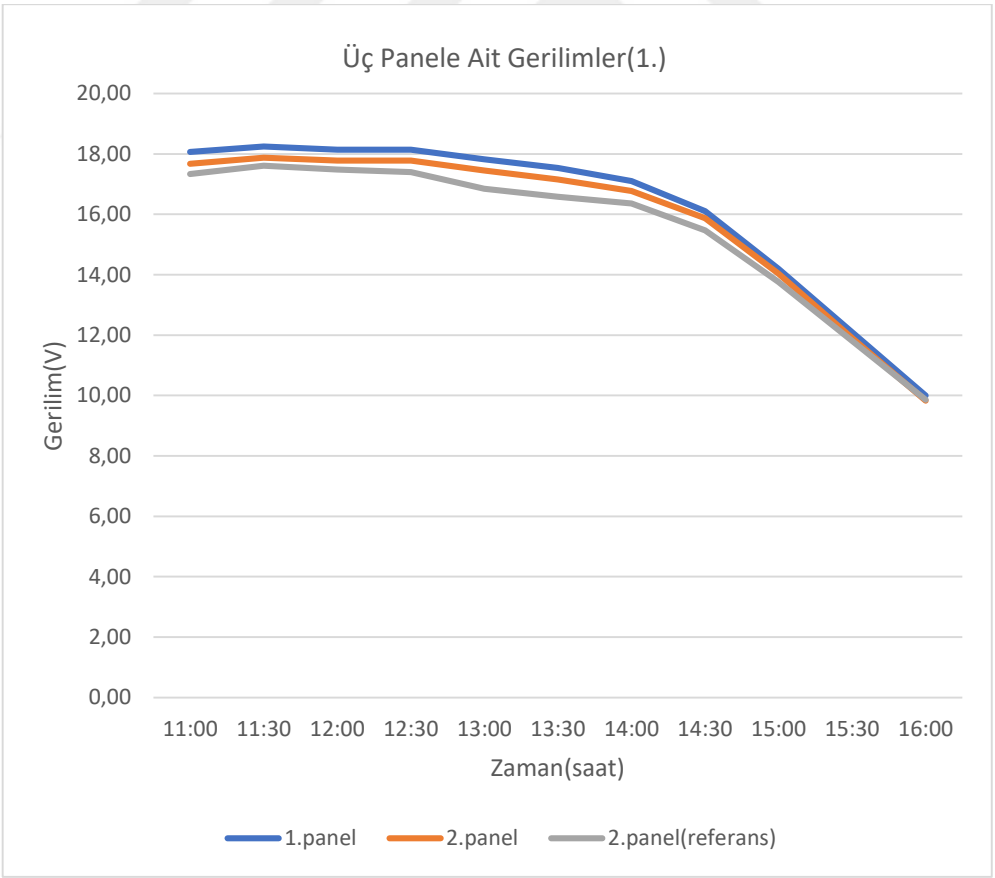
Şekil 5.4 Düz levhalı panel giriş çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi (1.gün)



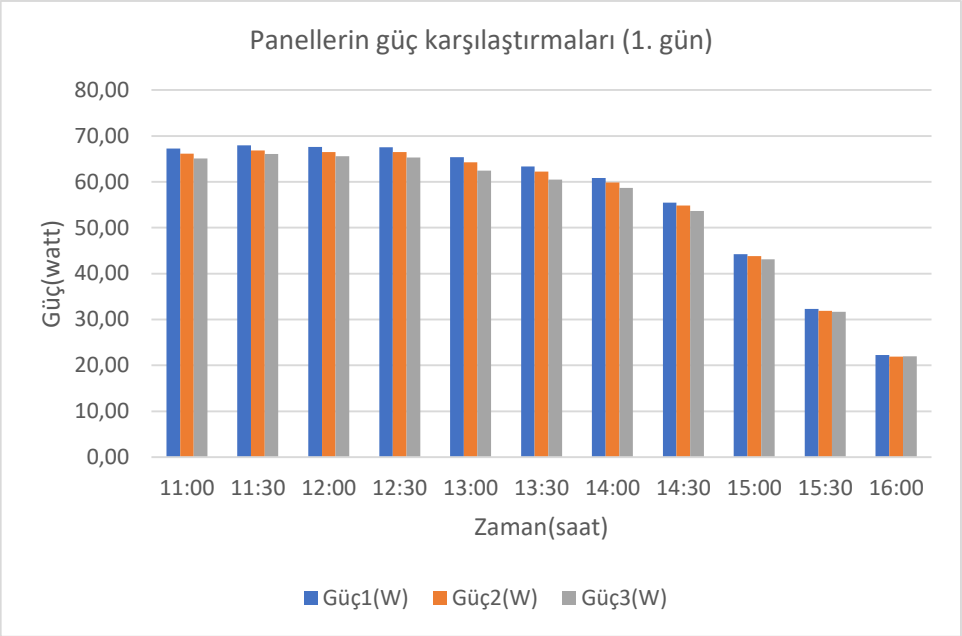
Şekil 5.5 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığının değişimi (1.gün)



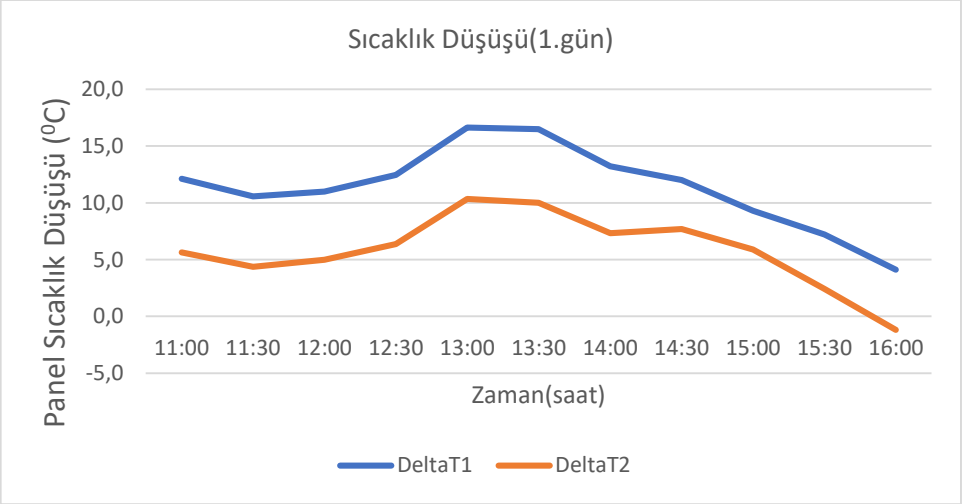
Şekil 5.6 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen akımlar(1.gün)



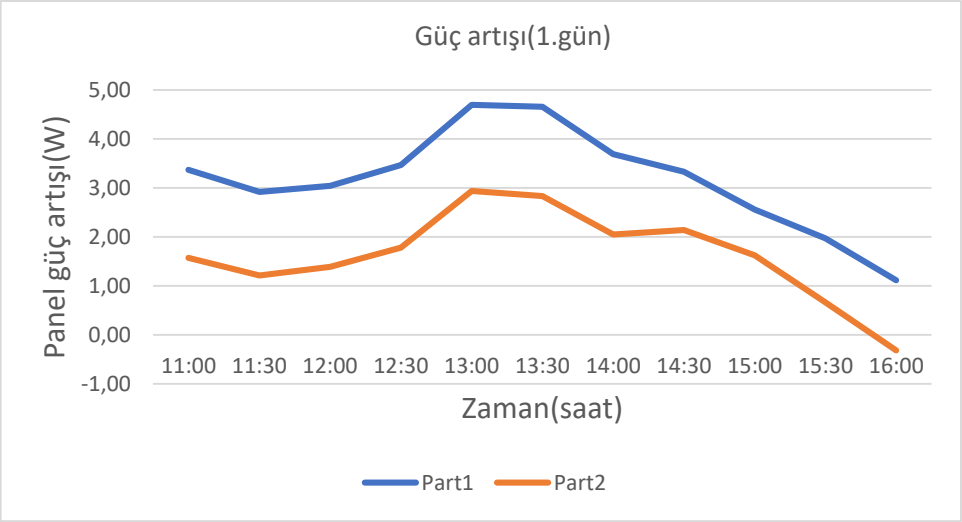
Şekil 5.7 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen gerilimler(1.gün)



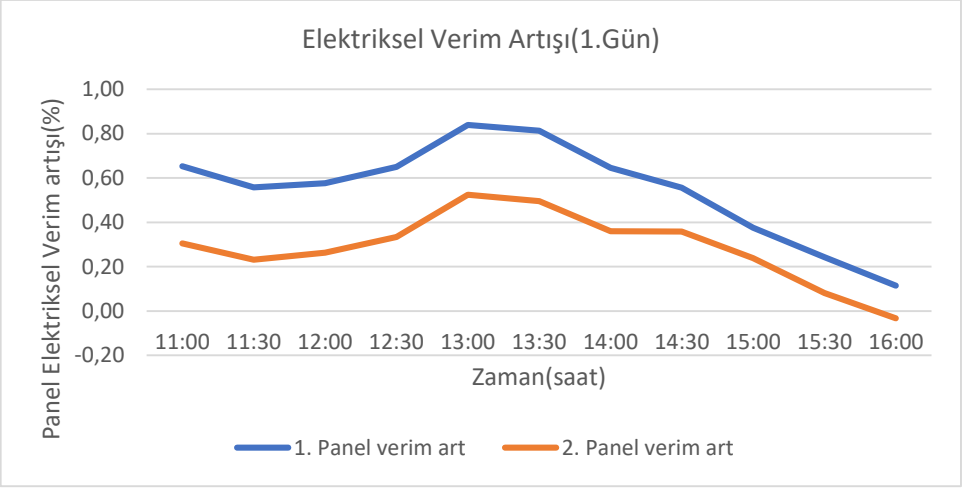
Şekil 5.8 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel güçleri (1.gün)



Şekil 5.9 Referans panele göre sıcaklık düşüşleri (1.gün)



Şekil 5.10 Referans panele göre güç artışı (1.gün)



Şekil 5.11 Referans panele göre elektriksel verim artışı (1.gün)

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de birinci günde referans panel için ölçülen elektriksel büyüklükler yani akım, gerilim ve güç ile ışıma, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve yüzey sıcaklığı değerleri verilmiştir. Diyarbakır ile havaların sıcak olduğu ağustos ayında sıcaklık degerinin 39-40 ^{0}C civarında oldu ve rüzgar hızınında oldukca düşük olduğu bir gündür.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te soğutma işlemine tabi tutulan soğutuculu panel (1.panel) ile düz levha kaplı (2.panel) panellere ait bakır boru su giriş çıkış ölçüm sonuçları ile yüzey sıcaklıkları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 1.panel de bulunan

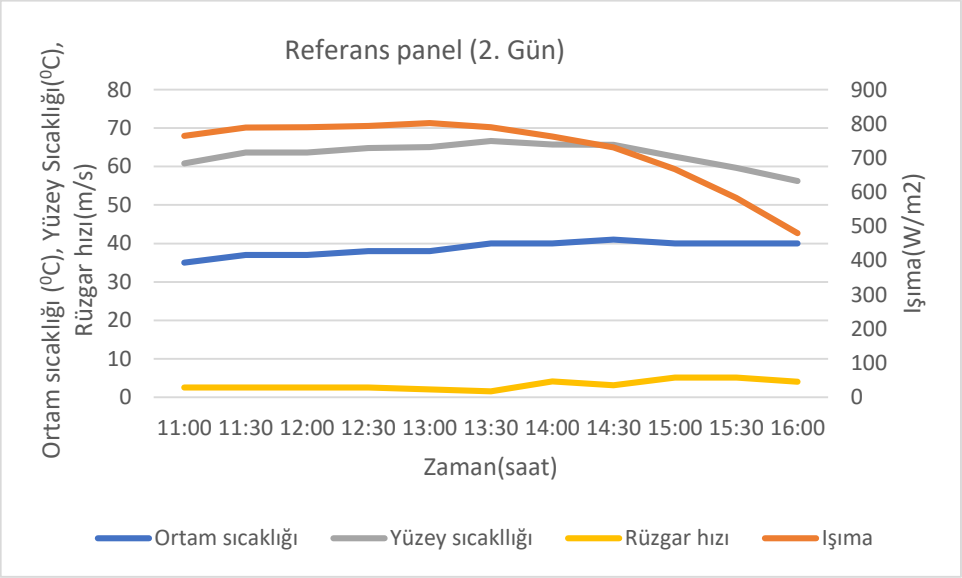
soğutucunun etkisi ile 1 panel su sıcaklığı giriş çıkış sıcaklıkları 2. Panele göre daha düşük çıkmıştır. Aynı zamanda 1.panel yüzey sıcaklığı da 2.panel yüzey sıcaklığına göre daha düşük çıkmıştır. Araba radyatörü ve fanı ile soğutulan su bir pompa yardımı ile devir daim yapılarak aktif soğutma yapılırken, 1.panelde bulunan alüminyum soğutucu üzerinden aynı zamanda pasif soğutma meydana gelmektedir. Böylece 1.panel, 2.panele göre daha fazla soğutulmuş oldu.

Şekil 5.5'te üç panele ait yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı görülmektedir. Şekilden görüldüğü her hangi bir işleme tabi tutulmayan referans panel yüzey sıcaklığı, soğutulan iki panel daha yüksek görülmektedir. Işıma ve ortam sıcaklığına bağlı değişen bu sıcaklık ışımanın yüksek oluğu öğlen saatlerinde oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır.

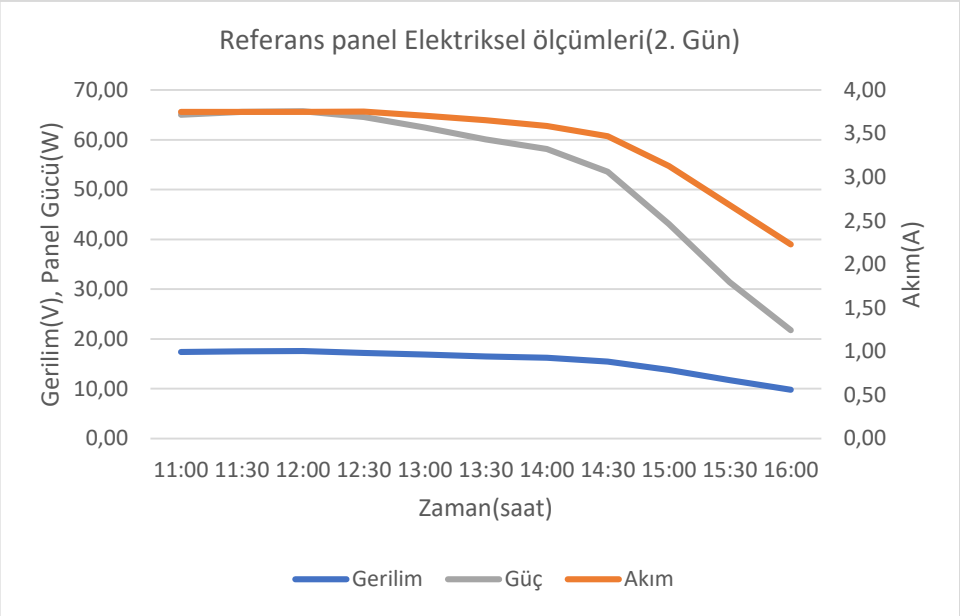
Şekil 5.6-5.8'de birinci günde her üç panel için ölçülen elektriksel büyüklükler akım, gerilim ve güç sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikler incelendiğinde soğutulan 1.panel ve 2.panel gerilim ve güç değerleri, referans panele göre daha yüksek çıkmıştır. Akım değeri ise soğutulan panellerde referans panele göre daha düşük çıkmıştır. Sıcaklık değişime bağlı gerilimdeki değişim üç panel arasında daha fazla görülürken, akımdaki değişim daha az olduğu görülmektedir. Bu durum teorik olarak beklenen bir durumdur. Çünkü sabit ışıma altında, sıcaklık arttığında gerilim ve güç düşerken akımda artma meydana gelir. Ancak akımdaki değişim sınırlı bir alanda meydana gelmektedir.

Şekil 5.9'da 1. günde referans panele göre, soğutulan iki panelde meydana gelen sıcaklık düşüşleri verilmektedir. 1.panelde meydana sıcaklık düşüşü 2. Panele göre daha fazla ve bu sıcaklık düşüşleri en çok öğlen saatleri 13.00-13.30 saatleri aralığında 1.panelde sıcaklık düşüşü, yaklaşık 16,6 ^{0}C iken 2.panelde 10,3 ^{0}C civarında meydana gelmiştir. Saat 11.00 dolaylarında 1.panelde sıcaklık düşüşü, yaklaşık 12 ^{0}C iken 2.panelde 5,2 ^{0}C civarı ölçülmüştür. Saat 16.00'da ise 1.panel 4,1 ^{0}C civarında iken 2.panelde ise negatif çıkmıştır. Yani referans panel sıcaklığı daha düşük ölçüldüğü anlamına gelmektedir. Burada panelin arkasında bulunan trafo yağının kapalı olarak ısınması ve rüzgârın etkisi düşünülebilir.

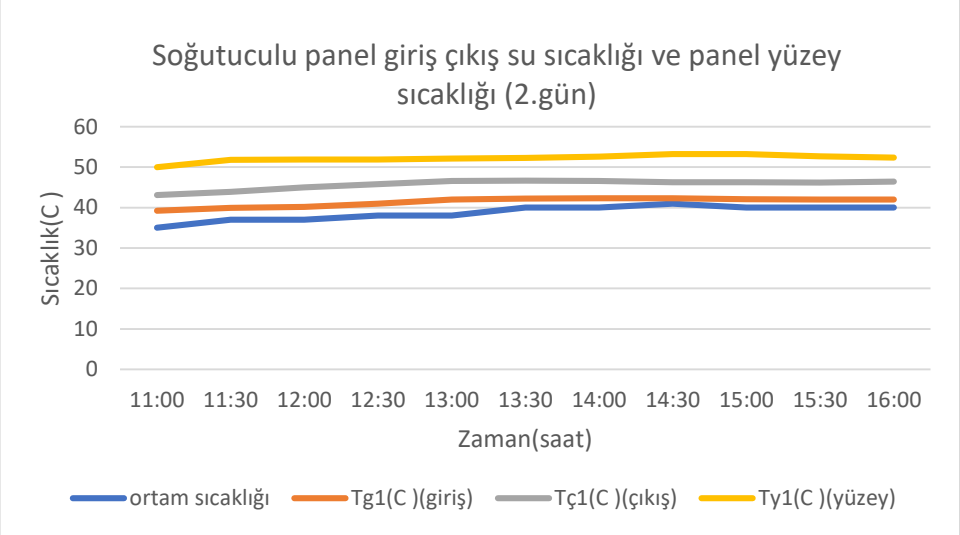
Şekil 5.10-5.11'de referans panele göre elektriksel güç artışı ile verim artışı incelenmiştir. Şekiller incelendiğinde 1.panelde güç artışı öğlen saatlerinde fazla 16.00 dolaylarında düşmüştür. Ölçülen en yüksek güç artışı 1.panelde % 4,7, 2.panelde % 2,94 olarak saat 13.00'da meydana geldiği görülmüştür. Elektriksel verim artışı da aynı şekilde artışı 1.panelde % 0,84, 2.panelde % 0,52 olarak saat 13.00'da meydana geldiği görülmüştür. Ölçülen en düşük güç artışı ise 1.panelde % 1,11, 2.panelde % -0,32 olarak saat 13.00'da meydana geldiği görülmüştür. Elektriksel verim artışı da aynı şekilde artışı 1.panelde % 0,11, 2.panelde % -0,03 olarak saat 16.00'da meydana geldiği görülmüştür. Bu sonuçlar soğutmanın, öğlen saatlerinde ışıma miktarı ile ortam sıcaklığının fazla olmasından dolayı daha etkili olduğu ve elektriksel güç ve verimi artırdığı anlamına gelmektedir.



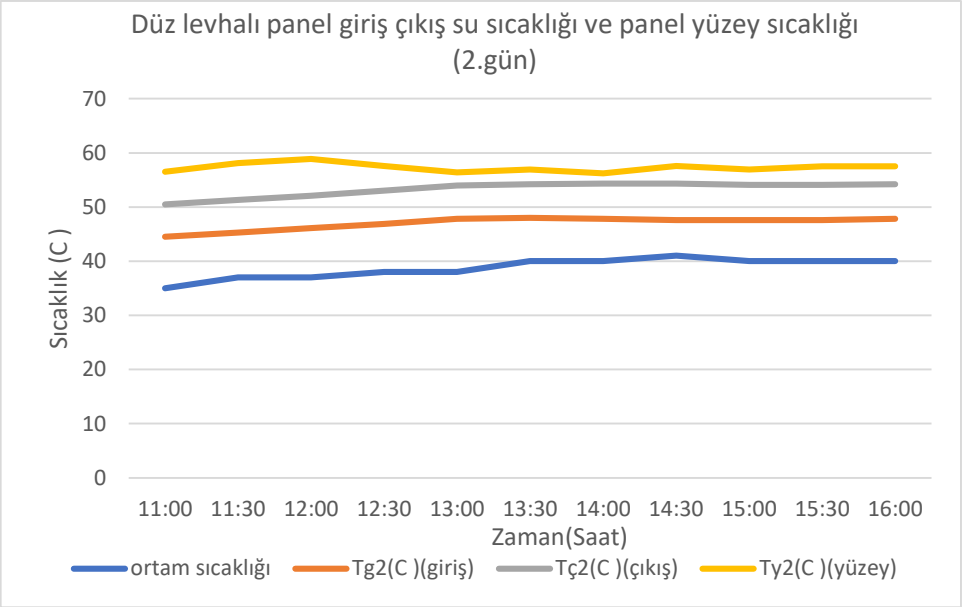
Şekil 5.12 Ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, ışıma ve referans panel yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi (2.Gün)



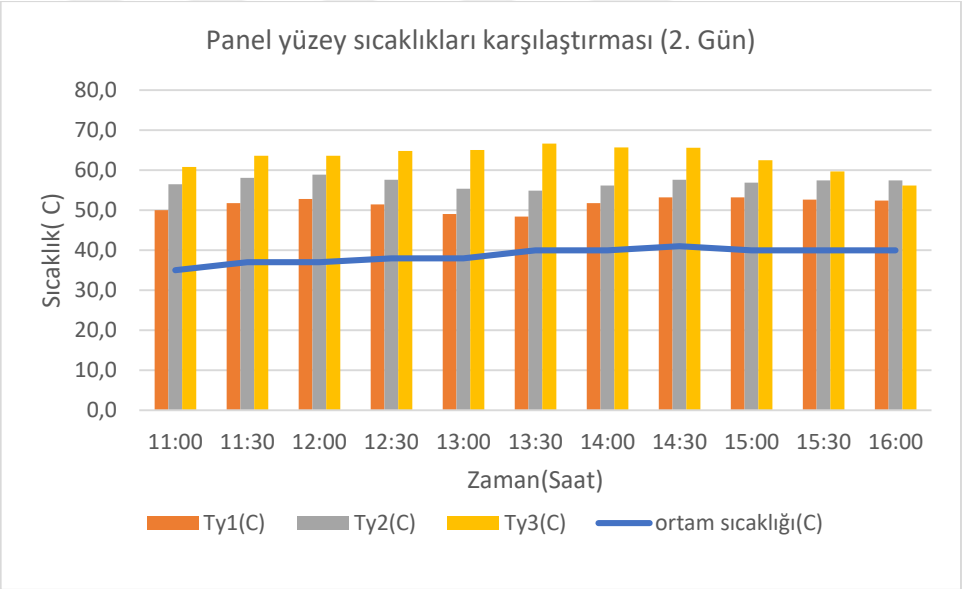
Şekil 5.13 Referans panel akım, gerilim ve gücünün zamana göre değişimi(2. gün)



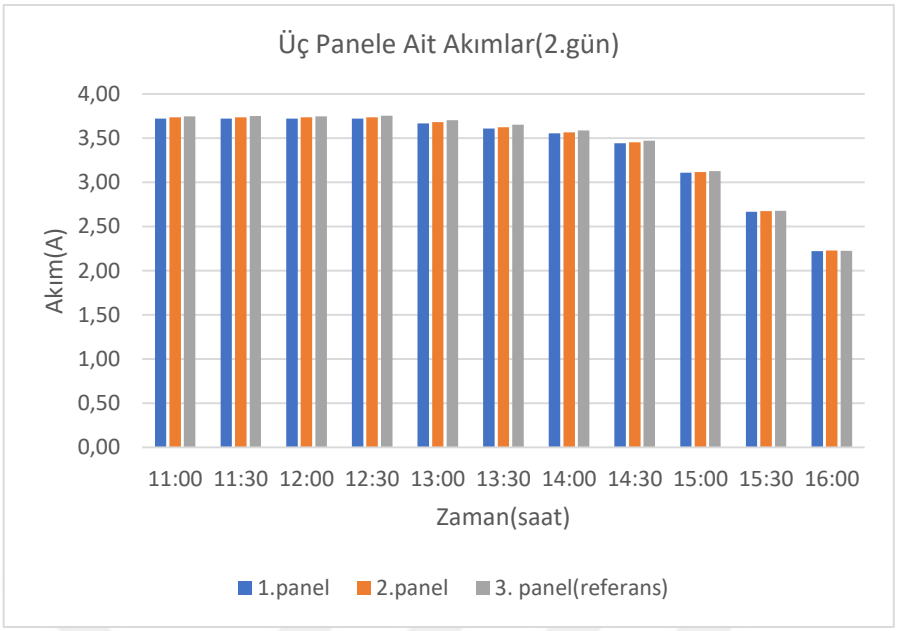
Şekil 5.14 Soğutuculu panel giriş-çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi(2.gün)



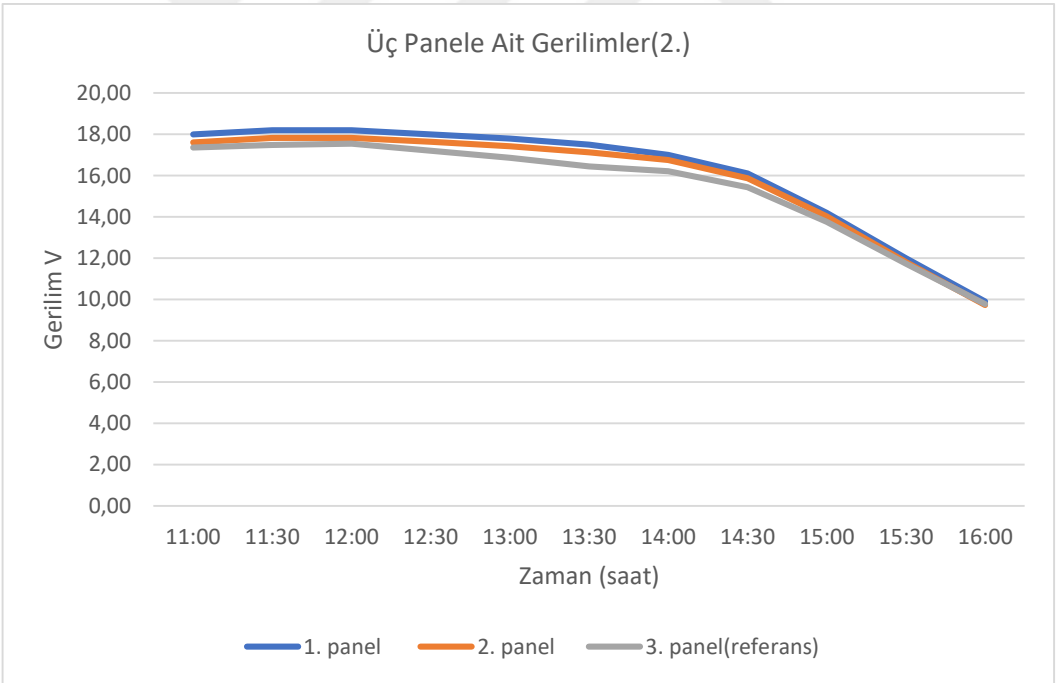
Şekil 5.15 Düz levhalı panel giriş çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklığının değişimi (2.gün)



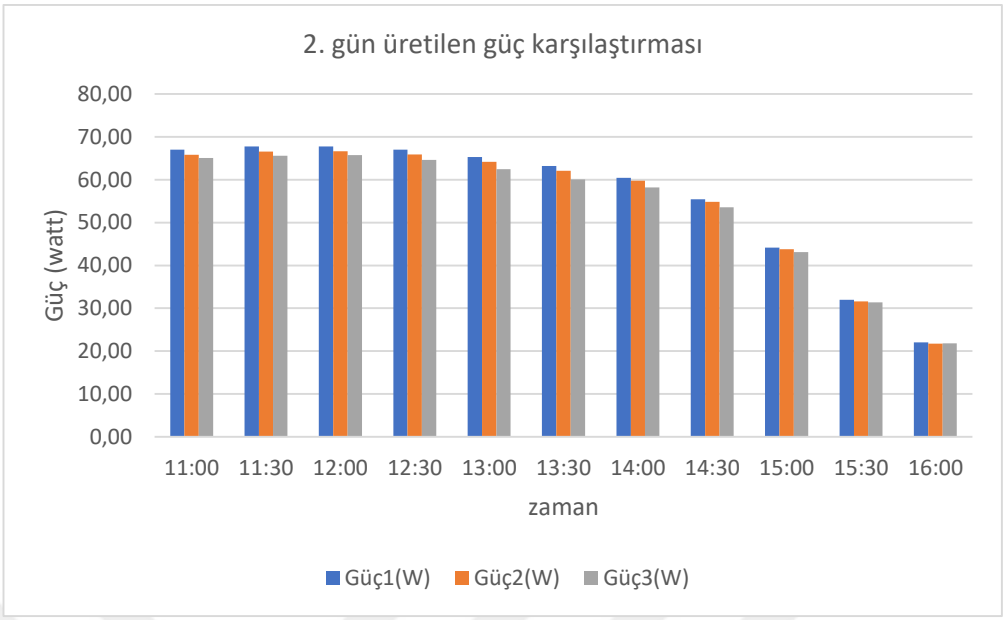
Şekil 5.16 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığının değişimi (2.gün)



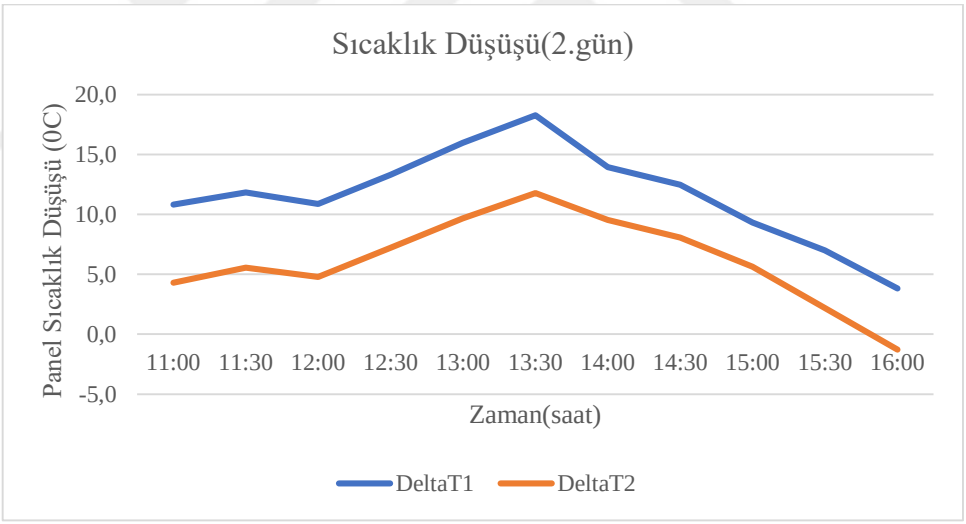
Şekil 5.17 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen akımlar(2.gün)



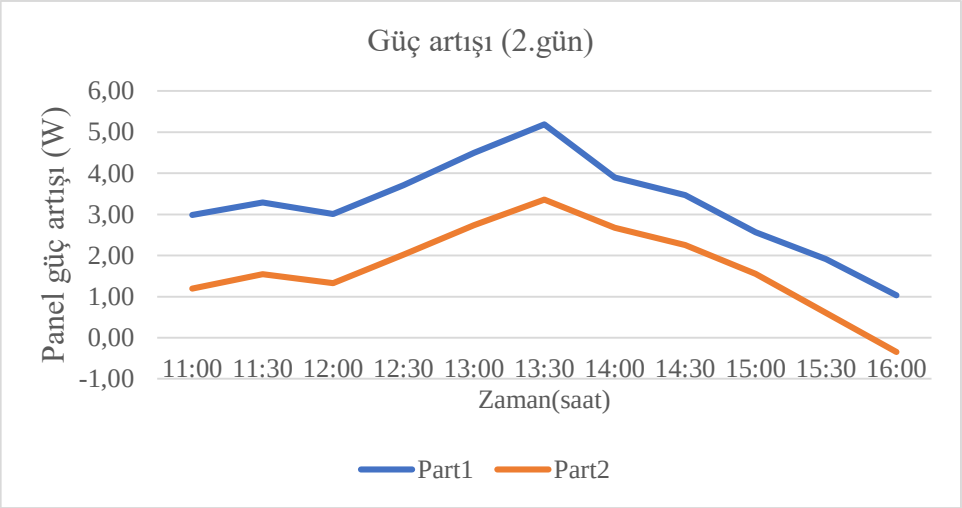
Şekil 5.18 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panellere ait ölçülen gerilimler(2.gün)



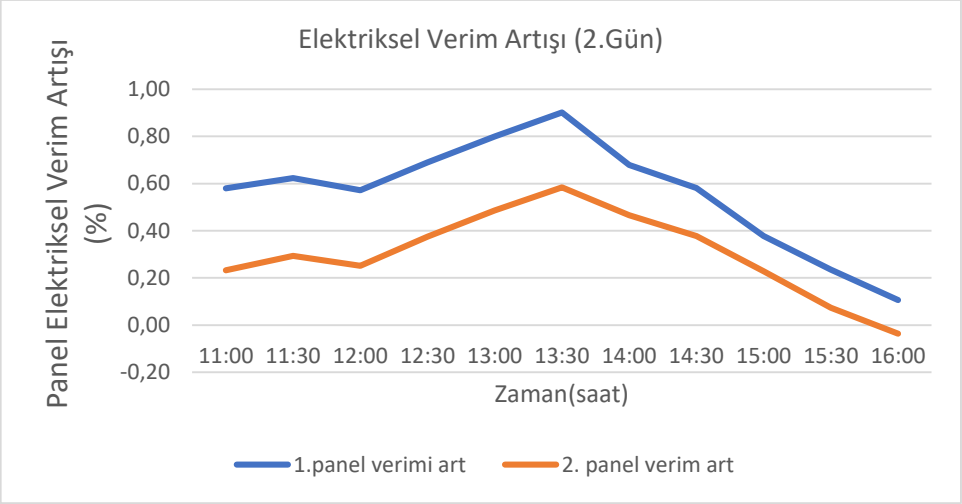
Şekil 5.19 Soğutuculu, düz levha kaplı ve referans panel güçleri (2.gün)



Şekil 5.20 Referans panele göre sıcaklık düşüşleri (2.gün)



Şekil 5.21 Referans panele göre güç artışı (2.gün)



Şekil 5.22 Referans panele göre elektriksel verim artışı (2.gün)

Şekil 5.12-5.22'de ikinci gün ölçülen sonuç ve değerlendirmeleri ele alınmıştır. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te ikinci günde referans panel için ölçülen elektriksel büyüklükler yani akım, gerilim ve güç ile ışıma, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yüzey sıcaklığı değerleri verilmiştir.

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te ikinci gün için 1.panel ile 2.panel arkalarına yerleştirilen bakır boru su giriş-çıkış sıcaklık ölçüm sonuçları ile yüzey sıcaklıkları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 1.panel de bulunan soğutucunun etkisi ile 1 panel su sıcaklığı giriş çıkış sıcaklıkları 2. Panele göre daha düşük çıkmıştır. Aynı zamanda 1.panel yüzey sıcaklığında 2.panel yüzey sıcaklığına göre daha düşük çıkmıştır.

Şekil 5.16'da üç panele ait yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi her hangi bir işleme tabi tutulmayan referans panel yüzey sıcaklığı, soğutulan iki panel daha yüksek çıkmıştır. Işıma ve ortam sıcaklığına bağlı değişen bu sıcaklık, ışımanın yüksek oluğu öğlen saatlerinde oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Akşam saatlerine doğru düşüş görülmüştür.

Şekil 5.17-5.19'de ikinci günde her üç panel için ölçülen elektriksel büyüklükler akım, gerilim ve güç sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikler incelendiğinde ikinci günde de soğutulan 1.panel ve 2.panel gerilim ve güç değerleri, referans panele göre daha yüksek çıkmıştır. Akım değeri ise soğutulan panellerde referans panele göre daha düşük çıkmıştır.

Şekil 5.20'de 2. günde referans panele göre, soğutulan iki panelde meydana gelen sıcaklık düşüşleri verilmektedir. 1.panelde meydana düşüş 2. Panele göre daha fazla ve bu sıcaklık düşüşleri en çok öğlen saatleri 13.00-13.30 saatleri aralığında 18,3 ^{0}C iken 2.panelde 11,8 ^{0}C civarı meydana gelmiştir. Saat 11.00 dolaylarında 1.panelde sıcaklık düşüşü, yaklaşık 10,8 ^{0}C iken 2.panelde 4,3 ^{0}C civarı ölçülmüştür. Saat 16.00'da ise 1.panel 3,8 ^{0}C civarında iken 2.panelde ise negatif çıkmıştır. Yani referans panel sıcaklığı daha düşük ölçüldüğü anlamına gelmektedir.

Şekil 5.21-5.22'de referans panele göre elektriksel güç artışı ile verim artışı incelenmiştir. Şekiller incelendiğinde 1.panelde güç artışı öğlen saatlerinde fazla, 16.00 dolaylarında düşmüştür. Ölçülen en yüksek güç artışı 1.panelde % 5, 2.panelde % 3,13 olarak saat 13.00'da meydana geldiği görülmüştür. Elektriksel verim artışı da aynı şekilde artışı 1.panelde % 0,90, 2.panelde % 0,54 olarak saat 13.00'da meydana geldiği görülmüştür. Ölçülen en düşük güç artışı ise 1.panelde % 1,03, 2.panelde % -0,35 olarak saat 13.00'da meydana geldiği görülmüştür. Elektriksel verim artışı da aynı şekilde artışı 1.panelde % 0,11, 2.panelde % -0,04 olarak saat 16.00'da meydana geldiği görülmüştür. İkinci günde de elde edilen sonuçlar birinci gün sonuçlarına benzer sonuçlar vermiştir. Soğutma ışıma miktarı ile ortam sıcaklığının fazla olduğu öğlen saatlerinde daha etkili olduğu ve elektriksel güç ve verimi artırdığı görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sınırsız güneş enerjisinden daha iyi yararlanmak günümüz insanlığının temel amaçlarından biri haline gelmiştir. Charles Fritts'in 1893 yılında ilk güneş pilini geliştirmesinin üzerinden geçen 129 yılda bilim dünyası bu alanın yenilikleri ve sorunları üzerine eğilmektedir. Pek çok mineral, alaşım ve bileşen kullanıldı. Verimi artırmanın önündeki en büyük engellerden biri pillerde meydana gelen ısınmadır, soğutma teknikleri bu nedenle bilim dünyasının ilgi odaklarından biri haline gelmiştir.

Bu çalışmada, aktif yöntemlerden biri olan su ile soğutma yapılarak panel veriminin değişimi deneysel olarak analiz edilmiştir. Trafo yağı, ısı iletimi normal, elektriksel yalıtkanlık ve viskozitesi iyi olan bir akışkandır. Bu özeliklerinden dolayı trafo yağı bu tez çalışmasında kullanılmıştır. 3 adet özdeş özellikli 100 W'lık mono kristal fotovoltaik panel üzerinden deney seti oluşturulmuştur. bir panel, verim karşılaştırmasında kullanılmak üzere herhangi bir işleme tabi tutulmadan direk kullanılmıştır. İkinci bir panel arka yüzüne trafo yağı doldurulmak üzere bir sıvı haznesi oluşturulmuştur. Bu sıvı haznesi içerisinde bakır boru belli aralıklarla yerleştirilerek arka yüzü ince düz bir metal levha ile kapatılmıştır. Diğer panelde ise bakır boru yerleştirilmiş sıvı haznesi, dikdörtgen kanatçıklı soğutucu ile kaplanmıştır. Panelin arkasını tamimiyle dolduran trafo yağı, hem elektriksel yalıtkanlık hem de panel ile bakır borular arasında ısı iletimi sağlamıştır. Bakır borular bir otomobil radyatörü ve pompayla birleştirilerek kapalı bir devre oluşturulmuştur. Radyatör içerisindeki su, radyatör fanı ile soğutularak pompa yardımı ile devir daim yapılmıştır.

Yapılan çalışmada Diyarbakır ilinde ağustos ayında 2 gün saat 11.00-16.00 saatleri arasında, referans panel ile alüminyum soğutuculu ve düz levha kaplı panellerin aynı koşullarda çeşitli noktalarından sıcaklık değerleri ile ürettikleri akım, gerilim ve güçleri ölçülmüş ve verimleri karşılatılmıştır.

Soğutuculu panelde aktif soğutma ile soğutulduğu, aynı zamanda hem radyatör hem de alüminyum soğutucu üzerinden pasif soğutma ile soğutulmuştur. İkinci panel ise bir düz metal levha ile kapatılmış. Düz levhanın hava ile az olduğu için soğutuculu panele göre daha soğuduğu gözlenmiştir. Böylece Şekil 5.1-5.22'de verilen sonuçlar

kapsamında 1.panel olan soğutuculu panelin daha fazla soğuduğu, ürettiği güç ve elektriksel verimlerinin de diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Abdelrahman, M., Eliwa, A., and Abdellatif, O., 2103, Experimental investigation of different cooling methods for photovoltaic module, *in Joint Propulsion Conferences*, 14–17.

Abdolzadeh, M., and Ameri, M., 2009, Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells, *Renewable Energy*, 34 (1) 91–96.

Abdulazeez, M., 2011, Tek diyot modeline dayanarak gölgelenmenin güneş pillerinin çalışma performansı üzerindeki etkisinin analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 24-25.

Abdulgafar, S. A., Omar, O. S., and Yousif, K. M., 2014, Improving the Efficiency of Polycrystalline Solar Panel via Water Immersion Method, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3, 8127-8132.

Adak S., Cang H., Yılmaz A.S., "Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücününün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu", UMAGD, 2019

Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., Sönmezoğlu, S., 2013, OrganikGüneşPilleri, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1-30.

Alzaabi, A., A., Badawiyeh, N., K., Hantoush, H., O., Hamid, A., K., 2014, Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, *UAE. Int J Smart Grid Clean Energy,* 3, 385.

Atkin, P., and Farid, M. M., 2015, Improving the efficiency of photovoltaic cells using pcm infused graphite and aluminium fins, *Solar Energy*, 114, 217–228.

Aydın, A., 2022, Monokristalin yapılı PV/T sistemde kolektif soğutma uygulaması ve nanoakışkan kullanımının PV panel verimine etkilerinin deneysel ve matematiksel analizi, Doktora Tezi, *Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Batman, 207s.

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

Balamuralikrishnan, B., Deepika, B., Nagajothi, K., Shree, S., and Subasini, P., 2014, Efficiency Enhancement of Photovoltaic Cell, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering,* 3(4), 305-313.

Baş, Ş., 2019, Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi paneli ve termoelektrik modüllerin kullanımı ile tasarlanan test sistemindeki enerji üretiminin incelenmesi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,* Karabük, 159s.

Başaran, K., Çetin, K., Çelik, N. S., 2011, Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, *6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11),* Elazığ-Türkiye, 114-119.

Benghanem, M., Al-Mashraqi, A., A., Daffallah, K., O., 2016, Performance of solar cellsusingthermoelectricmodule in hot sites, *RenewableEnergy,* 89, 51-59.

Bilen K., Işık B., ezer S. Ve Kıyık F., "Hava soğutmalı fotovoltaik panellerde kanatçık tipinin soğutmaya etkisinin teorik olarak incelenmesi", Politeknik Dergisi, *(*):*,(*).

Boer, K. W., 1992, Survey of semiconductorphysics: barriers, junctions, surfaces, anddevices, 2, SpringerScience + Business Media, LLC, New York – USA 156-159.

Borkar, D., Prayagi, S. V., and J. Gotmare, J., 2014, Performanceevaluation of photovoltaic solar panel usingthermoelectriccooling,*International Journal of EngineeringResearch,* 3(9), 536-539.

Cazzaniga, R.,Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., 2012, Floatingtrackingcoolingconcentrating (FTCC) systems, *38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC),* Piscataway, New Jersey, 514–519.

Cebeci, S., 2017, Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi, Planlama Uzmanlığı Tezi, *T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü,* 185s.

Chandel, S., S., Agarwal, T., 2017, Review of cooling technique susing phase change materials for enhancing efficiency of photovoltaic powersystems, *Renewableand Sustainable Energy Reviews,* 73, 1342–1351.

Çağırtekin ,Ö,2022, Fotovoltaik Panellerde Isınma Kaynaklı Kayıpları Azaltmak İçin Panel Yüzeylerinin Farklı Tasarımlarla Soğutulması Ve Sonuçların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Karabük, 83s.

Das, S. K., Morrıs, G. C., 1993, Preparation and characterisation of electrodeposited N-Cds/P-CdTe thin film solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells,* 28, 305-316.

Dorobantu, L., and Popescu, M. O., 2013, Increasing the Efficiency of Photovoltaic Panels Through Cooling Water Film, *U.P.B. Sci. Bull., Series C,* 75, 223-230.

Duffie, J., A., Beckman, W., A., 2013, Solar engineering of thermal processes, *New York: John Wiley & Sons.*

Elbreki, A., M., Alghoul, M., A., Al-Shamani, A., N., Ammar, A., A., Yegani, B., Alsanossi, Aboghrara, M., Rusaln, M., H., Sopian, K., 2016, The role of

climatic-design-operational parameters on combined PV/T collector performance: a critical review, *Renew Sustain Energy Rev*, 57(602), 47.

Gibilisco, S., 2001, TheIllustradet Dictionary of Electronics, McGraw-HillCompanies, New York, 547.

Hasanuzzaman, M., Malek, A., Islam M., M., 2016, Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review, *Solar Energy*, 137, 25–45.

Hosseini, R., Hosseini, N., and Khorasanizadeh, H., 2011, An experimental study of combining a photovoltaic system with a heating system, *Worldrenewable energy congress 2011*, Linköping, Sweden, 8, 2993-3000.

Hove, T., A., 2000, Method of predicting long-term average performance of photovoltaic systems, *Renew Energy*, 21, 27–29.

Indartono, Y., Prakoso, S., Suwono, A., Zaini, I., and Fernaldi, B., 2014, Simulation and experimental study on effect of phase change materialthickness to reduce temperature of photovoltaic panel, *7th International Conference on Cooling & Heating Technologies - ICCHT 2014*, Selangor, Malaysia, 349-355.

Jordehi A., R., 2016, Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells, *Renew Sustain Energy Rev*, 61, 354–371.

Karakan, A., Oğuz, Y., 2015, Mevcut yapılara uygulanan fotovoltaik sistemlerin incelenmesi: Afyonkarahisar örneği, 2nd International Sustainable Buildings Symposium-ISBS, Ankara-Türkiye, 887 – 897.

Karamanav, M., 2007, Güneş enerjisi ve güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Sakarya, 76s.

Kılıç, I. M., 2007, Fotovoltaik sistem eğitimi için bir simulink araç kutusu tasarım ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Muğla, 137s.

Klaus, J., Isabella, O., Smets, M. H. A., Swaaijvan, R. A. M. M., andZeman, M., 2014, *Solar Energy*,DelftUniversity of Technology, 15-303.

Krauter, S., 2004, Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 82, 131-137.

Kuo, M. T., and Lo, W. Y., 2014, A combination of concentrator photovoltaics and water cooling system to improve solar energy utilization, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(4), 2818–2827.

Kumar, K, Sharma S., D., Jain, L., 2007. Standalone Photovoltaic (PV) module outdoor testing facility for UAE Climate, *Submitted to CSEM-UAE Innovation Centre LLC.*

Küpeli, A. Ö., 2005, Güneş pilleri ve verimleri, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir, 146 s.

Mani, M., and Pillai, R., 2010, Impact of dust on solar photovoltaic performance: Research status, challenges and recommendations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 14 (9), 3124–3131.

Masters, M. G., 2004, Renewable and efficient electric power systems 1st Edition, *John Wiley & Sons, Inc.,* 391-398, 410-428, 355-375.

Matsumoto, Y., Hırata, G., Takakura, H., Okamoto, H., Hamakawa, Y., 1990, A new type of high efficiency with a low-cost solar cell having the structure of a μc-SiC/polycrystalline silicon heterojunction, *Journal of Applied Physics,* 67, 6538-6543.

Mazón-Hernández, R., García-Cascales, J., R., Vera-García, F., Káiser, A., S., Zamora, B., 2013, Improving the electrical parameters of a photovoltaic panel by means of an induced or forced air stream, Int J Photoenergy, 1–10.

Mehrotra, S., Rawat, P., Debbarma, M., Sudhakar, K., 2014, Performance of a solar panel with water immersion cooling technique, *Int J Sci Environ Technol,* 3, 1161–1172.

Mete, Ç., Metin, Ç., 2013, Gökçeada'da şebekeden bağımsız bir fotovoltaik güç sistemi benzetimi ve karşılaştırmalı gerçek performans incelemesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (5), 201-208.

Mohammed, A. Z., 2011, Tek diyot modeline dayanarak gölgelenmenin güneş pillerinin çalışma performansı üzerindeki etkisinin analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 84 s.

Moharram, K. A., Abd-Elhady, M. S., Kandil, H. A., and El-Sherif, H., 2013, Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling, *Ain Shams Engineering Journal,* 4, 869–877.

Muntasser, M. A., Bara, M.F., Quadri , H.A., EL Tarabelsi, R., La-azeb, I.F., 2000, Photovoltaics marketing İn DevelopingCountries, AppliedEnergy, 65, 67-72.

Musthafa, M. M., 2015, Enhancing photoelectric conversion efficiency of solar panel by water cooling, *Fundamentals of Renewable Energy and Applications,* 5(4), p. 166-170.

Najafi, H., and Woodbury, K. A., 2013, Optimization of a cooling system based on peltier effect for photovoltaic cells, *Solar Energy*, 91, 152–160.

Ong, K. H., Agileswari, R., Maniscalco, B., Arnou, P., Kumar, C. C., Bowers, J. W., Marsadek, M. B., 2018, Review on Substrate and Molybdenum Back Contact in CIGS Thin Film Solar Cell, Hindawi International Journal of Photoenergy, 2018, 1-2.

Popovicia, C. G., Hudișteanua, S. V., Mateescua, T. D., and Cherecheșa, N. C., 2016, Efficiency improvement of photovoltaic panels by using air cooled heat sinks, *Energy Procedia*, 85, 425 – 432.

Reddy, S., R., Ebadian, M., A., Lin, C., X., 2015, A review of PV–T systems: Thermal management and efficiency with single phase cooling, *International Journal of Heat and Mass Transfer,* 91, 861–871.

Serin, T, 1988, Amorf silisyum güneş pillerinde degrading olayının incelenmesi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 11-12.

Shabaniverki, M., 2015, Design and Analyze of 20 MW Photovoltaic Solar Power Plant in Iran, *2nd International Conference and Exhibition on Solar Energy (ICESE) 2015*, Tehran-Iran 1394 – 1399.

Sharma, S., D., Kitano, H., Sagara, K., 2004, Phase change materials for low temperature solar thermal applications, *Energy*, 29, 31–64.

Siecker, J., Kusakanaa, K., Numbib, B., P., 2017, A review of solar photovoltaic systems cooling technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 192–203.

Süleyman, A. D. A. K., Cangi, H., & YILMAZ, A. S. (2019). Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. International Journal of Engineering Research and Development, *11*(1), 316-327.

Quaschning, V., 2005, Understanding Renewable Energy Systems 1st Edition, *Earthscan, UK & USA*, 44-52, 131-134.

Tabaei, H., and Ameri, M., 2015, Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by using booster reflector and cooling array surface by a film of water, Iranian Journal of Science and Technology, *Transactions of Mechanical Engineering*, vol. 39(M1), 51-60, 2015.

Tang, X., Hua Q. Z., and Hua Z. Y., 2010, Notice of retraction experimental investigation of solar panel cooling by a novel micro heat pipe array, *in Power and Energy Engineering Conference-APPEEC 2010,* Asia-Pacific, 1–4.

TMMOB, Makina Mühendisleri Odası, 2014, Türkiye'nin Enerji Görünümü, *MMO/2014/616, Ankara,*

Tutaşı, C.C., 2018, Güneş enerjisinden ısı ve elektrik eldesinin tekno-ekonomik simülasyonu: Örnek bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 76s.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	KARAOZAN, Ömer
Web sayfası (ResearchGate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	Yakın Doğu Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Lefkoşa, KKTC	
Ön Lisans	Artuklu Üniversitesi Endüstriyel Elektronik istasyon, MARDİN	
Lise	Türk Telekom Anadolu Teknik Lisesi, Elektronik Bölümü Kayapınar, DİYARBAKIR	

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2020-22	Karaozan Mühendislik	İşletme Yönetici

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Ömer KARAOZAN		
Öğrenci No	19805205		
Ana Bilim Dalı	Elektrik Elektronik Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☐	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin Asker		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	FOTOVOLTAİK PANELLERDE SOĞUTMA İLE VERİM ARTIRMANIN DENEYSEL ANALİZİ		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	92		
Raporlama Tarihi			
Benzerlik Oranı (%)			

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 92 sayfalık kısmına ilişkin, 25/12/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından **turnitin** isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:
☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Ömer KARAOZAN
Tarih:
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: M. Emin Asker Tarih:	İmza:
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Tarih:	İmza: