



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MONOKRİSTALİN YAPILI PV/T SİSTEMDE
KOLEKTİF SOĞUTMA UYGULAMASI VE
NANOAKIŞKAN KULLANIMININ PV PANEL
VERİMİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL VE
MATEMATİKSEL ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

AHMET AYDIN

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

**Haziran-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet AYDIN tarafından hazırlanan “**Monokristalin yapılı PV/T sistemde kolektif soğutma uygulaması ve nanoakışkan kullanımının PV panel verimine etkilerinin deneysel ve matematiksel analizi**” adlı tez çalışması 02/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Vedat ORUÇ

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Üye

Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Üye

Dr. Öğr. Üyesi İsmail KAYRI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
LEE Müdür V.

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi tarafından BTÜBAP-2020-DOKTORA-02’olu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ahmet AYDIN

Tarih: 02/06/2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MONOKRİSTALİN YAPILI PV/T SİSTEMDE KOLEKTİF SOĞUTMA UYGULAMASI VE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ PV PANEL VERİMİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL VE MATEMATİKSEL ANALİZİ

Ahmet AYDIN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
2022, 174 Sayfa

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Prof. Dr. Vedat ORUÇ
Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi İsmail KAYRI
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

Artan enerji ihtiyacını karşılamak ve oluşan çevre kirliliğini azaltmak için düşük emisyonlu, daha ekonomik ve yüksek verimli olan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi enerjisini sınırsız bir doğal kaynaktan alan güneş enerjisidir. Fotovoltaik hücreler güneş ışınlarının bir bölümünü emerek elektrik enerjisine çeviren yapılardır. Bu çalışmada, monokristalin yapıları bir PV panelin, bir PV/T sistemde kolektif soğutma uygulaması ve nanoakışkan kullanımında PV panel verimine etkilerinin deneysel ve matematiksel analizi gerçekleştirilmiştir. Bir PV panelde öncelikle sadece kanatçıklar ile soğutma durumunda sıcaklık düşüşü ve panel verim artışı incelenmiştir. Daha sonra kanatçıklı durumda sabit bir akışkan debisinde, su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO -su seramik nanoakışkanlı soğutmanın sıcaklık azalışı ve panel verimine etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre; kanatçıklı panellerin sıcaklıkları genel itibarıyla kanatçıksız panel ile kıyaslandığında kanatçıklı (silindirik kanatçıklı ve levha kanatçıklı) panellerin, daha etkili bir soğutma yaptığı gözlemlenmiştir. Genel itibarıyla kanatçıksız panel ile karşılaştırıldığında silindirik ve levha kanatçıklı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %2,62, %1,52'lik bir verim artışı ve %4,87, %2,36'lık bir güç artışı olmuştur. Ayrıca silindirik kanatçıklı panelde de levha kanatçıklı panele göre %1,08'lik bir verim artışı ve %2,45'lik bir güç artışı olmuştur. Su soğutmalı ve nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm türlerinde genel itibarıyla kanatçıklı panele göre daha etkili bir soğutma yaptıkları görülmüştür. Genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında su soğutmalı-kanatçıklı panelde yaklaşık olarak %3,57'lik bir elektriksel verim artışı olmuştur. Su soğutmalı ve ağırlıkça %0,2 ve %0,4 oranlarında hazırlanan nanoakışkan soğutmalı paneller arasında en büyük sıcaklık düşüşleri sırasıyla; TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO -su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panel şeklinde olmuştur. Gün boyunca ağırlıkça %0,2 oranında ortalama olarak en yüksek güç artış oranlarına bakıldığında Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su ve su soğutmalı paneller için sırasıyla %4,344, %4,058, %3,420 ve %2,693 olarak görülmüştür. Neticede en yüksek güç artış oranı ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde görülmüştür. Genel itibarıyla ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranlarında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutma türlerinin tümünde, su soğutmalı panele göre daha büyük güç artışı, ısı verim, toplam verim ve ısı taşınım katsayısı değerlerinin gerçekleştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aktif soğutma, Güneş enerjisi, Nanoakışkanlar, PV panel soğutma, PV/T sistemler

ABSTRACT

Ph. D THESIS

EXPERIMENTAL AND MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE EFFECTS OF COLLECTIVE COOLING APPLICATION AND NANOFLUID USE ON PV PANEL EFFICIENCY IN A MONOCRYSTALLINE PV/T SYSTEM

Ahmet AYDIN

**THE INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

2022, 174 Pages

Jury

**Advisor: Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Prof. Dr. Vedat ORUÇ
Assoc. Prof. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Asst. Prof. Dr. İsmail KAYRI
Asst. Prof. Dr. Mehmet Zerrakki IŞIK**

The importance of renewable energy sources has been increased that they are more economic and highly efficient to meet the increasing energy needs and low emission to reduce environmental pollution. The most important renewable energy sources are solar energy, which take the energy from an unlimited natural source. Photovoltaic cells are structures that absorb some of the solar radiation and convert them into electrical energy. In this study; the experimental and mathematical analysis were performed on the PV panel efficiency in a heat fin passive cooling and a collective cooling consisting of heat fin in an enclosed fluid cooling by use of nanofluids in a PV/T system using a monocrystalline PV panel. Initially, the temperature drop and panel efficiency increase in case of cooling only with fins were investigated in a PV panel. Then, the temperature decreases and corresponding performance increase of Al_2O_3 -water, TiO_2 -water and CuO -water ceramic nanofluid cooling, which were prepared in 3 different ratios in mass (0.2%, 0.4% and 0.6%) and water-cooled at a constant fluid flow rate were investigated. According to the test results; it has been observed that when the temperatures of the finned panels are compared with the standard panels, the finned (cylindrical-finned and plate-finned) panels provide more effective cooling. Compared to the standard panel, there were efficiency increases of approximately 2.62%, 1.52% and power increases of 4.87% and 2.36%, respectively in cylindrical and plate-finned panels. In addition, there was an efficiency increase of 1.08% and a power increase of 2.45% in the cylindrical-finned panel compared to the plate-finned panel. As for the collective cooling applications, it has been observed that all types of water-cooled and nanofluid-cooled panels had more effective cooling. In general, there was an electrical efficiency increase of approximately 3.57% in the water-cooled-finned panel compared to the finless-uncooled panel. The highest temperature drops among the nanofluid cooled panels, were respectively for TiO_2 -water, Al_2O_3 -water, CuO -water nanofluid prepared at 0.2% and 0.4% in mass. The highest power average increase rates were for 0.2% nanofluids during a day. It was observed that the highest power increase rates were 4.344%, 4.058%, 3.420% and 2.693% for Al_2O_3 -water, TiO_2 -water, CuO -water and water-cooled panels, respectively. As a result, the highest power increase rate of 0.2% by weight was observed in the Al_2O_3 -water nanofluid cooled panel. As a result, in all cooling types with Al_2O_3 -water, TiO_2 -water and CuO -water nanofluids prepared at 0.2%, 0.4% and 0.6% by mas; the greater power increase, thermal efficiency, total efficiency and heat convection coefficient were obtained in comparison to the water-cooled and non-cooled panels.

Keywords: Active cooling, Solar energy, Nanofluids, PV panel cooling, PV-T systems

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesinde her türlü bilgi ve birikimi ile rehberlik ederek desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin AYDIN'a en içten şükranlarımı sunarım. Tez çalışmalarım sırasında her türlü desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi İsmail KAYRI, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK ve Doç. Dr. Selman AYDIN'a teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmama olan katkıları için değerli hocalarım Prof. Dr. Vedat ORUÇ ve Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmama maddi destek sunan Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BTÜBAP) Koordinatörlüğüne ve proje yürütücüm Sayın Prof. Dr. Hüseyin AYDIN'a teşekkür ederim.

Batman Üniversitesinde yaptığım deneyler sırasında yardımını esirgemeyen değerli Arş. Gör. Yunus ÖZDEMİR teşekkür ederim. Ayrıca destek olan değerli Öğr. Gör. Halis DEVİREN ve değerli arkadaşım Ramazan ALTUĞ'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatımda hem maddi hem manevi beni her zaman destekleyip yanımda olan değerli anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Ahmet AYDIN
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ	6
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	7
2.2. Güneş Enerjisi	9
3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ	15
3.1. Fotovoltaik Piller ve Kısa Tarihçesi	15
3.2. Güneş Spektrumu	17
3.3. Fotovoltaik Etki ve Hücrelerin Yapısı	18
3.4. Fotovoltaik Panel Bileşenleri	22
3.5. Fotovoltaik Sistemi Etkileyen Parametreler	24
3.6. Güneş Pillerinin Kullanım Alanları	25
3.7. Güneş Hücrelerinin Sınıflandırılması	26
3.7.1. Birinci nesil fotovoltaik teknoloji	27
3.7.1.1. Kristal silisyum fotovoltaik hücreler	27
3.7.1.1.1. Monokristal güneş pilleri	27
3.7.1.1.2. Polikristal güneş pilleri	28
3.7.1.2. Galyum arsenit (GaAs)	28
3.7.2. İnce film fotovoltaik teknolojisi	29
3.7.2.1. İkinci nesil ince film fotovoltaik hücreler	29
3.7.2.1.1. Amorf silisyum (a-Si)	29
3.7.2.1.2. Kadmiyum tellür (CdTe)	29
3.7.2.1.3. Bakır indiyum galyum selenoid (CIGS)	30
3.7.2.1.4. Bakır-çinko-kalay-sülfür (CZTS)	30
3.7.2.2. Üçüncü nesil ince film fotovoltaik hücreler	30
3.7.2.2.1. Boya duyarlı güneş pilleri	31
3.7.2.2.2. Organik güneş pilleri	31
3.7.2.2.3. Kuantum güneş hücreleri (QD)	33
3.7.2.2.4. Perovskite	33
3.8. Güneş Pillerinin Karakteristiği	34
3.9. Bir Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi	37

4. NANOAKIŞKANLAR.....	39
4.1. Nanopartikül Üretimi.....	42
4.2. Nanoakışkanın Hazırlanması	42
4.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	43
4.3.1. Isı iletim katsayısı	43
4.3.2. Özgül ısı	44
4.3.3. Viskozite	44
4.3.4. Yoğunluk	44
4.4. Nanoakışkanların Uygulama Alanları	45
5. LİTERATÜR TARAMASI	47
6. MATERYAL-YÖNTEM.....	59
6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	67
6.2. Sayısal Hesaplamalar	72
6.2.1. Fotovoltaik sistemlerin enerji analizi.....	72
6.2.2. Deney sistemine ait güç ve verim hesaplamaları.....	73
6.2.3. Zorlanmış akış için ısı transferi hesabı	74
7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	77
7.1. Kanatçıklı Pasif Soğutma.....	77
7.1.1. Silindirik kanatçıklı pasif soğutma	77
7.1.2. Levha kanatçıklı pasif soğutma	81
7.1.3. Kanatçık türü karşılaştırma	85
7.2. Su Soğutmalı Panel.....	89
7.3. Al ₂ O ₃ -Su Nanoakışkanlı Panel Soğutma	93
7.4. TiO ₂ -Su Nanoakışkanlı Panel Soğutma	109
7.5. CuO-Su Nanoakışkanlı Panel Soğutma	126
7.6. Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , CuO esaslı Nanoakışkanlarının Karşılaştırılması.....	142
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	171
8.1. Sonuçlar	171
8.2. Öneriler	173
KAYNAKLAR	175

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Türkiye'nin coğrafi bölgelere göre radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	11
Tablo 2.2. Türkiye'nin Aralık ayı sonuna göre birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi üretimi	13
Tablo 3.1. Güneş hücrelerinin tarihsel gelişimi	16
Tablo 4.1. Nanoparçacıkların ısı iletkenlik özellikleri	41
Tablo 4.2. Isı transferi iş akışkanı olarak kullanılan sıvıların ısı iletkenlik özellikleri	41
Tablo 6.1. Deneyde kullanılan nanopartiküllere ait özellikler	61
Tablo 6.2. Açık devre gerilimi ve kısa devre akımı	66
Tablo 6.3. Panellerin kalibrasyonu	67
Tablo 6.4. Monokristal PV modülün teknik özellikleri	67
Tablo 6.5. Solar güç ölçer cihazının teknik özellikleri	68
Tablo 6.6. Anemometre aletinin teknik özellikleri	68
Tablo 6.7. Su pompasına ait teknik özellikler	69
Tablo 6.8. Termal kameraya ait teknik özellikler	70
Tablo 6.9. Termokupl termometreye ait teknik özellikler	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması.....	6
Şekil 2.2. 2019-2020 İlk çeyrekte yenilenebilir elektrik kapasite durumu.....	7
Şekil 2.3. Bölge ve ülke temelli yenilenebilir elektrik kapasite durumu.....	8
Şekil 2.4. Teknolojilere göre yenilenebilir enerjinin elektrik kapasitesi.....	9
Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	10
Şekil 2.6. Türkiye global ışıınım değerleri (kWh/m ²)	11
Şekil 2.7. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat).....	12
Şekil 2.8. Türkiye'nin 2020 Aralık ayı sonuna göre birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi üretimi yüzdelikleri (Lisanssızlar dahildir).....	12
Şekil 2.9. Türkiye'nin 2020 Aralık ayı sonuna göre birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi kurulu gücü (Lisanssızlar dahildir)	13
Şekil 3.1. Güneş enerjisinden üretilen elektrik, ısı ve hibrit uygulamalar	17
Şekil 3.2. Güneş spektrumu	18
Şekil 3.3. Güneş ışınlarının gelme açısı (θ_z)	18
Şekil 3.4. Yalıtkan, yarı iletken ve metal için enerji bant aralıkları	19
Şekil 3.5. (a) p tipi yarı iletken (b) n tipi yarı iletken	20
Şekil 3.6. Güneş hücresinin çalışma prensibi	21
Şekil 3.7. Bir güneş hücresinin kesit görünüşü	22
Şekil 3.8. Fotovoltaik hücre yapısını meydana getiren materyaller	23
Şekil 3.9. Fotovoltaik sistemlerde meydana gelen kayıplar	25
Şekil 3.10. Güneş hücrelerinin bazı kullanım alanları.....	25
Şekil 3.11. Nesilleri bakımından fotovoltaik sistemlerin gruplandırılması.....	26
Şekil 3.12. Teknolojik kademelerine göre güneş pillerinin verimleri	27
Şekil 3.13. Monokristal bir fotovoltaik hücre.....	28
Şekil 3.14. Bir güneş hücresinin aydınlık ve karanlıktaki I-V karakteristiği	34
Şekil 3.15. PV pilinin (a) kısa devre akımı b) açık devre voltajı	36
Şekil 3.16. (a) Güneş hücresi eşdeğer devre modeli, (b) Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli	38
Şekil 6.1. Deneyde kullanılan alüminyum levha kanatçıklar	60
Şekil 6.2. Silindirik kanatçıkların panele yapıştırılması.....	60
Şekil 6.3. Levha kanatçıkların panele yapıştırılması	61
Şekil 6.4. Deneyde kullanılan nanoakışkanlara ait resimler.....	62
Şekil 6.5. Deney düzeneğinin önden görünümü	62
Şekil 6.6. Deney düzeneğinin arkadan görünümü	63
Şekil 6.7. Deney düzeneğinin şematik görünümü	63
Şekil 6.8. Rezistif yük.....	64
Şekil 6.9. Elektriksel büyüklüklerin ölçülmesine ilişkin devre şeması	65
Şekil 6.10. Deneyde kullanılan solar güç ölçer	68
Şekil 6.11. Deneyde kullanılan anemometre	69
Şekil 6.12. Deneyde kullanılan su pompası.....	69
Şekil 6.13. Deneyde kullanılan termal kamera.....	70
Şekil 6.14. Panel sıcaklıklarını ölçmek için kullanılan K tipi termokupl termometre ...	71
Şekil 6.15. Deneylerde kullanılan hassas terazi	71
Şekil 6.16. Deneylerde kullanılan temassız sıcaklık ölçer	72
Şekil 7.1. Silindirik kanatçıklı panelin kanatçıksız panele göre güç artışı, verim artışı ve sıcaklık düşüşünün gün boyunca değişimi.....	77

Şekil 7.2. Silindirik kanatçıklı ve kanatçıksız panelin ön ve arka yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	78
Şekil 7.3. Silindirik kanatçıklı ve kanatçıksız panelin arka kısımları ve ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının gün boyunca değişimi	79
Şekil 7.4. Silindirik kanatçıklı ve kanatçıksız panelin gerilim ve akım değerlerinin gün boyunca değişimi	80
Şekil 7.5. Levha kanatçıklı panelin kanatçıksız panele göre güç artışı, verim artışı ve sıcaklık düşüşünün gün boyunca değişimi.....	81
Şekil 7.6. Levha kanatçıklı ve kanatçıksız panelin arka kısımları ve ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının gün boyunca değişimi	82
Şekil 7.7. Levha kanatçıklı ve kanatçıksız panelin ön ve arka yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	83
Şekil 7.8. Levha kanatçıklı ve kanatçıksız panelin gerilim ve akım değerlerinin gün boyunca değişimi	84
Şekil 7.9. Kanatçıksız ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait verim değerlerinin gün boyunca değişimi	85
Şekil 7.10. Kanatçıksız ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait güç değerlerinin gün boyunca değişimi	86
Şekil 7.11. Kanatçıksız ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait ısıtım ve ortam sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimi	87
Şekil 7.12. Kanatçıksız ve levha kanatçıklı su soğutmalı panellerin ön yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	89
Şekil 7.13. Kanatçıksız ve levha kanatçıklı su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	90
Şekil 7.14. Kanatçıksız-soğutmasız ve levha kanatçıklı su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ısıtım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	91
Şekil 7.15. Levha kanatçıklı su soğutmalı ve kanatçıksız-soğutmasız panele ait termal kamera görüntüsü.....	92
Şekil 7.16. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi	93
Şekil 7.17. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi	94
Şekil 7.18. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi.....	95
Şekil 7.19. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	97
Şekil 7.20. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	98
Şekil 7.21. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan termal kamera görüntüsü	98
Şekil 7.22. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı-panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	99
Şekil 7.23. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	100
Şekil 7.24. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	100

Şekil 7.25. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	101
Şekil 7.26. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	102
Şekil 7.27. Kanatçıksız ve %0,4 oranındaki levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	103
Şekil 7.28. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	104
Şekil 7.29. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ısıtım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	106
Şekil 7.30. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ısıtım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	107
Şekil 7.31. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ısıtım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	108
Şekil 7.32. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi	109
Şekil 7.33. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi	111
Şekil 7.34. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi.....	112
Şekil 7.35. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi.....	113
Şekil 7.36. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	114
Şekil 7.37. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	115
Şekil 7.38. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	115
Şekil 7.39. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	116
Şekil 7.40. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	116
Şekil 7.41. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	117
Şekil 7.42. Ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	118
Şekil 7.43. Ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	118
Şekil 7.44. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	119
Şekil 7.45. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	120
Şekil 7.46. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	121

Şekil 7.47. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO ₂ -su soğutmalı- panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	123
Şekil 7.48. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO ₂ -su soğutmalı- panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	124
Şekil 7.49. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO ₂ -su soğutmalı- panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	125
Şekil 7.50. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi	126
Şekil 7.51. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı kanatçıklı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi	128
Şekil 7.52. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi.....	129
Şekil 7.53. Kanatçıksız ve %0,2 oranındaki levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	130
Şekil 7.54. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	131
Şekil 7.55. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	131
Şekil 7.56. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin ön yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi.....	132
Şekil 7.57. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü	133
Şekil 7.58. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntü.....	133
Şekil 7.59. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi	134
Şekil 7.60. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	135
Şekil 7.61. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	136
Şekil 7.62. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi.....	137
Şekil 7.63. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	139
Şekil 7.64. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	140
Şekil 7.65. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi	141
Şekil 7.66. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al ₂ O ₃ -su-TiO ₂ -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi.....	142

Şekil 7.67. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi.....	144
Şekil 7.68. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi.....	145
Şekil 7.69. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi	146
Şekil 7.70. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi	147
Şekil 7.71. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi	149
Şekil 7.72. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi	150
Şekil 7.73. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi	151
Şekil 7.74. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi	152
Şekil 7.75. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi.....	154
Şekil 7.76. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişim.....	155
Şekil 7.77. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişim.....	156
Şekil 7.78. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi	157
Şekil 7.79. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi	158
Şekil 7.80. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 - TiO_2 -CuO soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi	159
Şekil 7.81. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi	161
Şekil 7.82. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi	162
Şekil 7.83. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi	163
Şekil 7.84. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi	164
Şekil 7.85. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi	165
Şekil 7.86. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi	166

Şekil 7.87. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su soğutmalı panellerin ısı taşınım katsayısı değerlerinin gün boyunca değişimi.....	167
Şekil 7.88. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su soğutmalı panellerin ısı taşınım katsayısı değerlerinin gün boyunca değişimi.....	168
Şekil 7.89. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su soğutmalı panellerin ısı taşınım katsayısı değerlerinin gün boyunca değişimi.....	169

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

A_c	: Kanatçık kesit alanı (m^2)
A_p	: Panel alanı (m^2)
A_{ps}	: Isı transferi yüzey alanı (m^2)
$\mathcal{C}$	: Kanal çevre uzunluğu (m)
$\mathcal{C}_k$	: Kanatçık çevresi (m)
D_h	: Hidrolik çap (mm)
E	: Kanal eni (m)
H	: Kanal yüksekliği (m)
h	: Isı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)
I	: Akım (A)
I_g	: Güneş ışıınımı (W/m^2)
I_m	: Maksimum akım (A)
I_{sc}	: Kısa devre akımı (A)
k	: Isı iletim katsayısı ($W/m K$)
L_t	: Isıl gelişme uzunluğu (m)
L	: Karakteristik uzunluk (m)
L_k	: Kanal uzunluğu (m)
N	: Kanatçık sayısı
Nu	: Nusselt sayısı (-)
P	: Soğutmasız panelin gücü (W)
P_s	: Soğutmalı panelin gücü (W)
P_{si}	: Silindirik kanatçıklı panelin gücü (W)
P_a	: Güç artışı (W)
P_L	: Levha kanatçıklı panelin gücü (W)
P_m	: Maksimum güç (W)
Re	: Reynolds sayısı (-)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
$T_{\mathcal{C}}$	: Panel çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_f	: Film sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_g	: Panel giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_k	: Kanatçıklı panel için sıcaklık (°C)
T_n	: Normal (kanatçıksız) panel için sıcaklık (°C)
u	: Akışkan hızı (m/s)
V	: Gerilim (V)
$\dot{V}$	: Hacimsel debi (m ³ /s)
V_m	: Maksimum gerilim (V)
V_{oc}	: Açık devre gerilimi (V)
Q	: Isı geçişi, Isı miktarı (W)
Q_R	: Isı kazancı (W)
η	: Soğutmasız panelin verimi (-)
η_a	: Verim artışı (-)
η_e	: Soğutmasız panelin elektriksel verimi (-)
η_{es}	: Soğutmalı panelin elektriksel verimi (-)
η_L	: Levha kanatçıklı panelin verimi (-)
η_T	: Toplam verim (-)
η_{th}	: Isıl verim (-)
η_{si}	: Silindirik kanatçıklı panelin verimi (-)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
μ	: Dinamik viskozite (kg/m.s)
μ_{nf}	: Nanoakışkanın dinamik viskozitesi (kg/m.s)
μ_w	: Temel akışkanın dinamik viskozitesi (kg/m.s)
ϕ	: Hacimsel oran

KISALTMALAR

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
AM	: Hava kütlesi
AC	: Alternatif akım
APBÜ	: Asya Pasifik Bölgesi Ülkeleri
CuO	: Bakır oksit
DC	: Doğru akım
E_c	: İletkenlik bandı
E_g	: Yasak bant
E_v	: Değerlik (valans) bandı
eV	: Elektron volt
F	: Görüş faktörü
FF	: Dolum faktörü
GAUB	: Güneydoğu Asya Uluslar Birliği
GKA	: Güney & Kuzey Amerika
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
OKAB	: Ortadoğu & Kuzey Afrika Bölgesi
PV	: Fotovoltaik
PV/T	: Fotovoltaik/Termal
STC	: Standart test koşulları
TiO_2	: Titanyum dioksit
ΔT_s arka	: Kanatçıksız panel ile silindirik kanatçıklı panelin arka yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı
ΔT_s ön	: Kanatçıksız panel ile silindirik kanatçıklı panelin ön yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı
ΔT_L arka	: Kanatçıksız panel ile levha kanatçıklı panelin arka yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı
ΔT_L ön	: Kanatçıksız panel ile silindirik kanatçıklı panelin ön yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı

1. GİRİŞ

Enerji, herhangi bir ülkede ekonomi bakımından oldukça önemlidir. Endüstriyel alan ile birlikte, insanlığın ev ihtiyaçları da enerjiden karşılanmaktadır. Genel itibarıyla bütün bu enerji ihtiyacı çoğunlukla sınırlı olan ve yenilenemeyen fosil yakıtlar tarafından sağlanmaktadır. Fosil yakıtların tüketilmeleri, gün geçtikte artmaktadır [1]. Bununla beraber, doğal halde olan ham petrolün kullanılabilir yakıtlara dönüştürülmesi ve işlenmesi için oldukça yüksek miktarda para, enerji ve çabaya ihtiyaç vardır. Buna ilaveten, bu fosil yakıtların farklı alanlarda çok fazla kullanılmaları, atmosferi kirleterek birçok zararlı kimyasal bileşiklerin meydana gelmesine sebep olur [2]. Bu değişik türdeki kirlenmenin temizlenmesi büyük maliyetlere sebebiyet vermektedir. Bundan ötürü, bu kaynakların kullanımı büyük bir endişeye yol açmaktadır [3]. Bu nedenle, daha düşük emisyon salınımı, uzun ömürlü, yüksek verimli, çevre dostu ve daha ekonomik olan sistemlerin geliştirilmesi için alternatif enerji kaynağı arayışları sürmüştür [4]. Yenilenebilir enerji kaynakları mevcut durumu iyileştirebilecek en önemli unsurdur. Yenilenemeyen enerji kaynakları ise sadece kirliliğe ve küresel ısınmaya sebep vermekle kalmayıp, aynı zamanda tükenmeleri sebebiyle gelecekteki enerji ihtiyacı için de bir sorun teşkil etmektedir [5].

Enerji üretimindeki yüksek maliyetler, fosil yakıtların giderek tükenmesi dünyamızda ortaya çıkan en önemli sorunlardan biridir. Bu soruna karşılık getirilen çözüm ise kaynağına para ödenmeyen ve tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim bu alan üzerine yapılan araştırmaların çoğalmasına ve verim artırma çalışmalarının önünün açılmasını sağlamıştır [6].

Son yıllarda, artan enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır [7]. Bununla beraber güneş, rüzgâr, jeotermal enerji vb. enerji kaynakları bilim insanlarının ilgisini çekmeye başlamıştır [8]. Bu enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri de güneş enerjisidir [7]. İletilen enerji olan ısı, doğal ve sınırsız bir kaynaktan yani güneşten sağlanır. Bununla birlikte teknolojik ilerlemeler, güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çevirmeyi sağlamıştır [9]. Güneş enerjisinin kullanılması, CO₂ emisyonlarının düşmesine ve küresel ısınmanın düşmesine katkı sağlamaktadır [10]. En büyük sorun, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için bu tür kaynakların verimli ve optimal kullanımda olması gerekmektedir [11]. Güneş enerjisinden yararlanma genel itibarıyla üç sistemle olur: bunlar güneş termal sistemi,

güneş fotovoltaiik sistemi ve bunların kombinasyonu durumlarıdır [12]. Güneş fotovoltaiik sisteminde, güneş enerjisini elektriğe çevirerek endüstriyel ve evsel gereksinimler için yararlanılabilecek fotovoltaiik (PV) hücreler bulunmaktadır [13]. Ayrıca, güneş enerjisi ısı kolektörleri, güneş enerjisini bir ısı transfer ortamı aracılığıyla ısıya dönüştürür ve buna ek olarak soğutma/ısıtma maksadıyla da yararlanılabilir [14] [13]. Günümüz itibarıyla fotovoltaiik hücreler güneş radyasyonundan faydalanma konusunda lider teknoloji konumundadır [15]. Son yıllarda fotovoltaiik/termal (PV/T) modüller bilim insanlarının ilgisini çekmiş ve bununla ilgili çok sayıda deneysel araştırmalar yapılmıştır [16]. Güneş enerjisinden elektrik üreten fotovoltaiik sistemler giderek artmakta ve bu sistemlerin iyileştirilmesine ilişkin çalışmalar önem arz etmektedir. Fotovoltaiik sistem tasarımında en önemli parametreler; düşük ve düzgün dağılımlı hücre sıcaklığı, sistem güvenilirliği ve kapasite yeterliliğidir [7].

Fotovoltaiik sistemlerin çalışma prensibi yarı iletken fiziği esasına dayanır ve silisyum elementi gibi bir yarı iletken materyal ile çalışırlar. Fotovoltaiik hücreler, yalnızca belli miktarda foton enerjisi aldıklarında elektrik üretebilirler ve bu nedenle elektromanyetik spektrumdaki elektromanyetik radyasyon şeklinde güneşten alınan güneş ışınımının yalnızca bir bölümünü elektrik enerjisine dönüştürürler. Kalan radyasyon ise fotovoltaiik sistemlerde ısı olarak depolanarak sistemde bazı tersinmezliklere neden olur.

Deneysel sistemlerde genel olarak fotovoltaiik sistemlerin verimliliğini düşüren bu ısının faydalı enerjiye dönüştürülerek sistemden uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Bir takım ısı transferi iyileştirme sistemleri kullanılarak, fotovoltaiik hücre sıcaklığı fotovoltaiik sistemin optimum düzeyde çalıştığı sıcaklık aralığına düşürülür ve böylece PV sisteminin elektriksel veriminde yaklaşık %20'lik bir iyileşme sağlanır. Alüminyum ve bakır silindirik kanatçıklar veya bazı soğutucu akışkanlar sistemlerde ısı transferi elemanları olarak kullanılırlar [17].

Fotovoltaiik sistemlerin soğutulması aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Pasif soğutma genellikle ısınan yüzeye kanatçıklar yerleştirilmesiyle gerçekleşmektedir. Aktif soğutma ise fotovoltaiik hücrelerin ısınan yüzeylerinin akışkan vasıtasıyla soğutulmasına dayanmaktadır [18]. Yüksek yoğunluklu güneş ışınlarının etki ettiği sistemlerde aktif soğutmanın daha etkin olduğu görülmüştür [19].

Aktif sistemler pompa, fan gibi enerji harcayan ekipmanlar gerektirirken, pasif sistemlerde bunlara gerek yoktur [6]. PV hücrelerinin soğutulmasını; pasif soğutma

teknikleri, ısı boru soğutması, aktif soğutma teknikleri, nano akışkan soğutması, termoelektrik soğutma olarak beş ana başlık altında sınıflandırılmıştır [20].

Güneş radyasyonundan yararlanılan güneş enerjili su ısıtma teknolojisi hem gelişmekte hem de gelişmiş olan ülkelerde kullanılmaktadır. Güneşten sağlanan ısı enerjisinden yararlanmak için, ısıyı dolaylı ya da doğrudan başka bir sıvıya veya ortama iletme için emen bir sıvı bulunmalıdır. Su sıklıkla yararlanılan bir akışkandır. Fakat gelen güneş enerjisinin yalnızca %13'ünün su tarafından emildiği ve bunun düşük kolektör ısı verimliliğine sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir [3]. Güneş enerjisine bağlı enerji sistemlerinin verimliliğini yükseltebilecek tek etmen, ondan maksimum düzeyde radyasyonu soğurmasıdır. Akışkan tarafından ısının emilmesinde yapılacak en ufak bir farklılık, güneş enerjisinden yararlanmada oldukça kayda değer bir etkiye sahip olabilir [21]. Bu nedenle, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği yararlanılan akışkanın ısı özellikleriyle bağlantılı olduğundan, alternatif bir ısı transfer akışkanına ihtiyaç duyulur. Birçok bilim insanı güneş kolektörlerinin dizaynı ve modifikasyonu üzerinde araştırmalar yapmıştır. Ancak, bu tür değişiklikler de oldukça pahalı yöntemlerdir. Bundan dolayı, çalışma sıvısının termofiziksel özelliklerinde iyileştirme çalışmalarına ilgi artmıştır. Bu tarz sıvılar, PV hücrelerinden fazla olan ısı enerjisini absorbe etmek için güneş PV sistemlerinde de kullanılabilir. Aynı şekilde, aşırı arzu edilmeyen radyasyonların PV hücrelerine girmesini engellemek için bir filtre vazifesi görebilir [22].

Nanomalzemeler, nanoboyutlarda (1-100 nm çapında) yararlanılan ve parçacıklar ihtiva eden yenilikçi kimyasal malzemelerdendir. Nano ölçekli özellikleri barındırmayan dökme malzemelere göre gelişmiş kimyasal tepkime, iletkenlik ve değişik özellikleri mevcuttur. Çok küçük boyutları, bir maddenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine tesir edebilir [23].

Nanoakışkanlar ısı transfer ortamı olarak, gelişmiş termofiziksel özellikleri sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir [24].

Nanopartiküllerin yağ, su, glikoller vb. değişik geleneksel sıvılarda dispersiyonu, bir pasif güçlendirme metodu, son yıllarda bilim insanları arasında kayda değer bir çalışma alanına dönüşmüştür [25]. Bunun yanı sıra, bir baz akışkana ilave edilen daha küçük boyutlu ve daha yüksek termo-fiziksel özellikleri olan nanopartiküller, geleneksel sıvılarda dağılmış diğer katı parçacıklarla kıyaslandığında daha iyi ısı transfer kabiliyeti, yağlama, gelişmiş soğutma sergilemiş, bu tarz iletken akışkanlar nanoakışkan olarak

isimlendirilir. Isıl sistemlerin verimliliğindeki büyük gelişmeler bu metodu umut vadeden ve arzu edilir hale getirmektedir [26].

Bu alandaki çabaların birçoğu, ısıl iletkenlik ve ısı transfer performansının iyileştirilmesi üzerine odaklıdır. Geleneksel akışkan ya da katı-sıvı süspansiyonların ısı transfer özellikleri ile kıyaslandığında, nanoakışkanların çok daha üstün oldukları görülmüştür. Nanomalzemeler, geleneksel olarak boyutlandırılmış mikropartiküllerle karşılaştırıldığında çok daha büyük bir yüzey alanı-hacim oranları vardır, bu da bireysel nanopartiküller ve çevreleyen akışkan molekülleriyle daha iyi bir yüzey etkileşimi anlamına gelmektedir [27].

Nano boyuttaki katı malzemeler, mühendislik çalışmalarının farklı birimlerinde büyük bir ilgi odağı haline gelmiştir [28]. PV/T sistemlerinin soğutma devresindeki potansiyel çalışmalar için nanopartiküller ilave edilerek geleneksel soğutucu özelliklerini değiştirmek, birçok bilim insanının çalışmalarının ana amacı olmuştur [29] [30]. Nanoakışkanların dinamik viskozitesi, özgül ısı kapasitesi, yoğunluğu ve termal iletkenliği, güneş kolektörünün elektriksel ve ısıl verimliliğine tesir eden temel termofiziksel özelliklerdir [29, 31]. Bundan ötürü, araştırmacılar son dönemlerde güneş eşanjörlerindeki geleneksel çalışma akışkanlarını nanoakışkanlarla değiştirmeye başlamışlardır [32]. Geleneksel sıvılardaki düşük nanopartikül konsantrasyonu bile ısıl özelliklerini kayda değer bir şekilde yükselttiğinden nanoakışkanlar yeni ısıtma/soğutma sıvıları şeklinde görülür [31].

Yapılan araştırmalar, nanoakışkanların konvansiyonel sıvılarla karşılaştırıldığında zorlanmış ve doğal taşınımında ısı transfer katsayısını yükselttiği tespit edilmiştir [33]. Bunun sebebinin, nanoakışkanların, nanopartiküller sayesinde yüksek ısıl iletkenliğe ulaşarak olması şeklinde ifade edilmiştir [34].

Araştırmacılar tarafından PV modülü aktif olarak soğutmak için çok çeşitli yollar denenmiştir. PV modülü önünden, arkasından veya hem önünden hem arkasından zorlanmış taşınım ile soğutma yaparken su, hava, nanoakışkan gibi farklı akışkanlar kullanılarak birçok soğutma sistemi geliştirilmiştir [35].

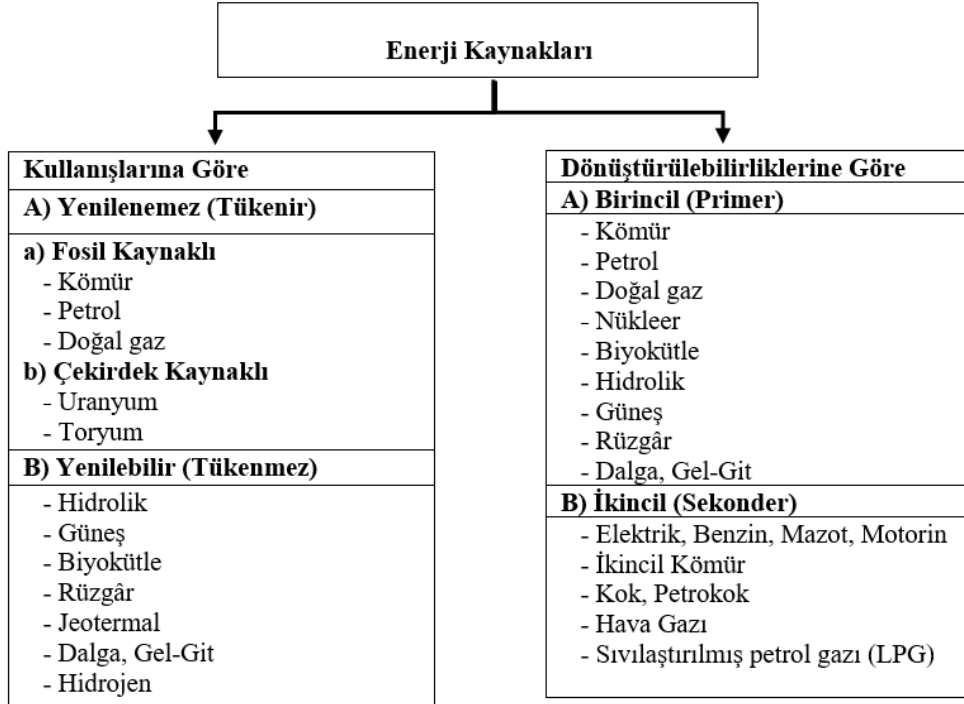
Bu çalışmada; aktif ve pasif (kolektif) soğutma yöntemi ve aktif soğutma sırasında nanoakışkan türlerinin PV panel sıcaklığına ve dolayısıyla panel verimine etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda monokristalin PV hücresinin soğutma yapıldığında yüzey sıcaklığının ne olacağı ve bunun PV hücresinin verimini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bunun yanı sıra geliştirilen PV/T sistemde ısı transfer yüzeyi kanatçıklar ile artırılmış ve ayrıca aktif soğutma sırasında nanoakışkan kullanılarak toplam ısı

transferi artırılmış ve panel daha yüksek düzeylerde soğutulmuştur. İlâveten, soğutma sırasında PV/T sistemde PV modüllerden uzaklaştırılan ısı akışkana aktarılmak suretiyle termal ısı kazancı da hesaplanmış ve nanoakışkan türünün hem elektriksel hem de termal verime olan etkileri deneysel ölçülmüş ve sayısal olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar ve hesaplamalardan elde edilen sonuçlar açıklanarak tartışılmıştır.

2. ENERJİ

Anlam itibarıyla iç iş olarak ifade edilen enerji, elektrikli aygıtların, makinelerin genel itibarıyla hayatımızı kolaylaştırmak için yararlandığımız birçok aygıtın iş yapabilmesi, faaliyet gösterebilmesi için gereken kaynaktır [36].

Güneş, kimyasal, ısı, nükleer, rüzgâr, mekanik (kinetik ve potansiyel), jeotermal, elektrik ve hidrolik gibi farklı biçimlerde olup bir türden diğerine dönüşümü değişik şekillerde olabilmektedir. Farklı biçimlerde gruplandırılabilen ve enerji kaynakları şeklinde adlandırılan kaynaklardan ekonomik olarak farklı tarzlarda enerji sağlanabilir. Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil olarak, faydalanma biçimlerine göre ise yenilenemez ve yenilenebilir şeklinde ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları gelecekte epeyce uzun vadeli olarak tükenmeden varlığını sürdürebilecek olan ve yenilebilen enerji kaynaklarıdır. Çekirdek ve fosil kaynaklar olarak ikiye ayrılan yenilenemez enerji kaynakları ise ileride tükeneceği tahmin edilen enerji kaynaklarıdır. Dönüşüme ve değişime maruz kalmayan enerji biçimi birincil enerji olarak ifade edilmektedir. Güneş, doğalgaz, petrol, rüzgâr, nükleer, dalga-gelgit, kömür, hidrolik ve biyokütle birincil enerji kaynaklarıdır. İkincil enerji ise birincil enerjinin dönüştürülmesi ile meydana gelen enerjidir. LPG, motorin, hava gazı, elektrik, kok kömürü, benzin, mazot ve ikincil kömür, ikincil enerji kaynaklarıdır [37]. Şekil 2.1’de enerji kaynaklarının gruplanması gösterilmiştir.

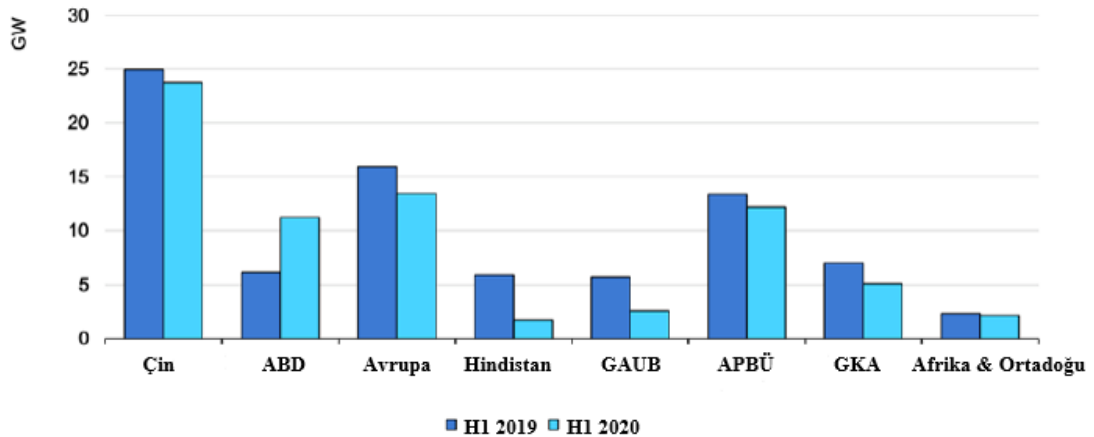


Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması [37]

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Mayıs 2020 döneminde yayınladıkları yenilenebilir enerji piyasası görünümü raporunda, Covid-19 pandemisinin yenilenebilir enerji sektörünün hızını keseceğini fakat durduramayacağı ifade edilmiştir. Ayrıca bu krizde artış yapacak tek sektörün yenilenebilir enerji olabileceği tahmin edilmiştir. Pandemi döneminde yenilenebilir enerjinin, IEA'nın Mayıs ayı raporunda tahmin ettiğinden daha fazla ilerleme kaydettiği görülmüştür.

Covid-19 döneminde yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı artarken diğer enerji kaynaklarının tümünde düşüş görülmüştür. Yayınladığı Mayıs ayındaki raporuna göre IEA, küresel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından %7 elektrik üretiminin sağlanacağını tahmin etmiştir. Ancak yenilenebilir enerji sektörü, pandeminin meydana getirdiği engellere uyum göstererek IEA %7'lik olan tahminini düzelterek 2020 yılında yenilenebilir enerji artışının %18 olabileceği sonucuna varmıştır. Şekil 2.2'de 2019-2020'nin ilk çeyreğine göre yenilenebilir enerjinin elektrik kapasitesi gösterilmiştir.

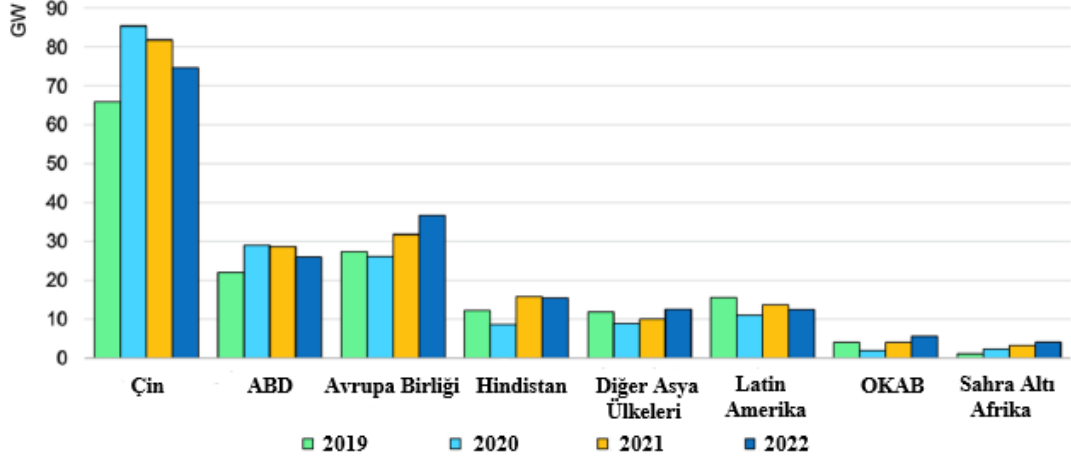


Şekil 2.2. 2019-2020 İlk çeyrekte yenilenebilir elektrik kapasite durumu [38]

Covid-19 döneminde global enerji talebi %5 azalarak son 50 yılda benzeri görülmemiş bir duraksama meydana gelmiştir. Yatırımcıların yenilenebilir enerjiye yatırımları neticesinde dünya ekonomisi genel itibarıyla küçülme yaşamasına rağmen yenilenebilir enerji bu süreçte yara almamıştır. Bir önceki yıla kıyasla Ocak-Ekim 2020 döneminde %15 daha çok yenilenebilir enerji ihalesi tamamlanmıştır. Güneş enerjisinin Ekim 2020'de dünya borsalarındaki değerleri Ekim 2019'a kıyasla 2 kat yükselmiştir.

2020'de, Çin ve ABD başta olmak üzere, global yenilenebilir enerji %4'lük bir kapasite artışı sağlamış ve 200 GW kapasite artışı göstermiştir. Önümüzdeki 5 sene

içinde ABD ve Çin’de rüzgâr ve güneş enerjisinde %30’luk bir artış öngörülmektedir. Şekil 2.3’te bölge ve ülke temelli yenilenebilir enerjinin elektrik kapasitesi gösterilmiştir.



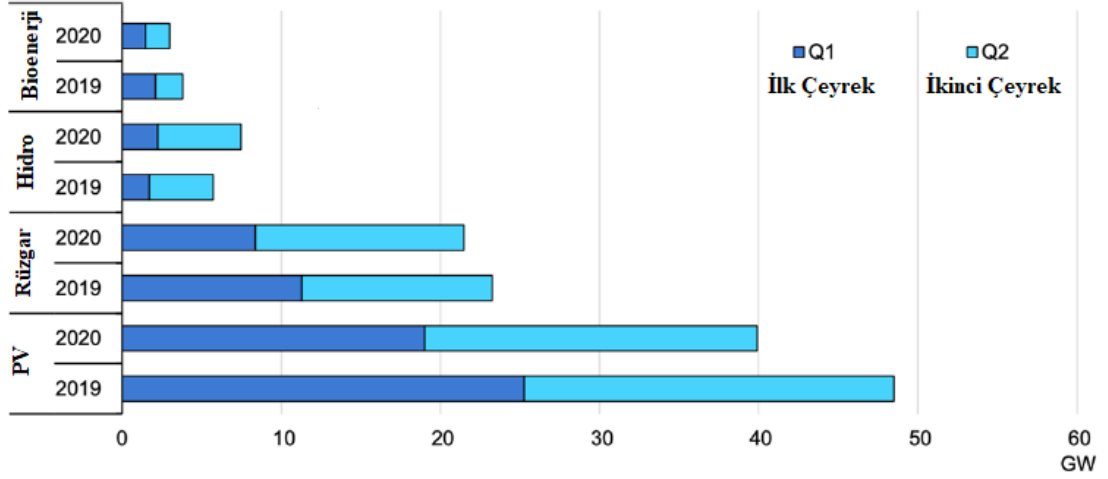
Şekil 2.3. Bölge ve ülke temelli yenilenebilir elektrik kapasite durumu [38]

Küresel yenilenebilir kapasitenin 2021’de %10’luk bir yükseliş göstereceği tahmin edilmektedir. Bu yıl içerisinde en büyük artış gösterecek ülke Hindistan olarak görülmektedir. Hindistan’da 2020 ye kıyasla 2021’de 2 kat kadar ek artış yaşanacağı beklenmektedir. Yenilenebilir enerjiye sundukları desteklerin belirsizliğinden ötürü Hindistan, Çin ve bazı Güney Amerika ülkelerinde bu alanda düşüş yaşanacağı beklenmektedir. Bununla birlikte aynı dönem içerisinde Avrupa’da deniz rüzgâr enerji kapasitesinde şiddetli bir yükseliş beklenirken kara rüzgâr enerjisinde %15 azalış yaşanacağı tahmin edilmektedir.

En iyi ihtimale göre 2022’de yenilenebilir enerji kapasitesinde 271 GW yükseliş yaşanacağı öngörülmektedir. Çin’in önümüzdeki 2 yıllık dönemde, global yenilenebilir kapasite yükselişinin %30’unu tamamlayacağı öngörülmektedir. Global güneş enerjisi kapasite yükselişinin senelik 150 GW düzeylerine varabileceği bunun da 3 sene öncesine kıyasla %40’lık bir yükseliş anlamına geleceği öngörülmektedir. Bugün itibarıyla rüzgâr ve güneş enerjisi ek elektrik kapasite yükselişi için en ekonomik ve elverişli enerji kaynakları durumuna gelmişlerdir.

2025’e kadar yenilenebilir enerjinin ek elektrik kapasite büyümesinin yaklaşık %95’ine denk geleceği öngörülmektedir. Toplam kurulu rüzgâr ile güneş enerjisinin doğalgazı 2023’te, kömür kapasitesini de 2024’te geçeceği tahmin edilmektedir. 2025’e kadar rüzgâr enerjisinin toplam yenilenebilir enerji kaynaklarının %30’unu, güneş enerjisinin de %60’ını teşkil edeceği tahmin edilmektedir. 2025 yılında yenilenebilir

enerji kaynaklarının kömürü de aşarak en yüksek miktarda enerji üreteceği tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji 2025'te global elektrik ihtiyacının 1/3'üne denk gelecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yarısını hidroelektrik enerjisi üretmeyi sürdürecektir. Şekil 2.4'te ilk çeyrek ve ikinci çeyreğe göre teknolojilere yenilenebilir enerjinin elektrik kapasitesi gösterilmiştir [62].



Şekil 2.4. Teknolojilere göre yenilenebilir enerjinin elektrik kapasitesi [38]

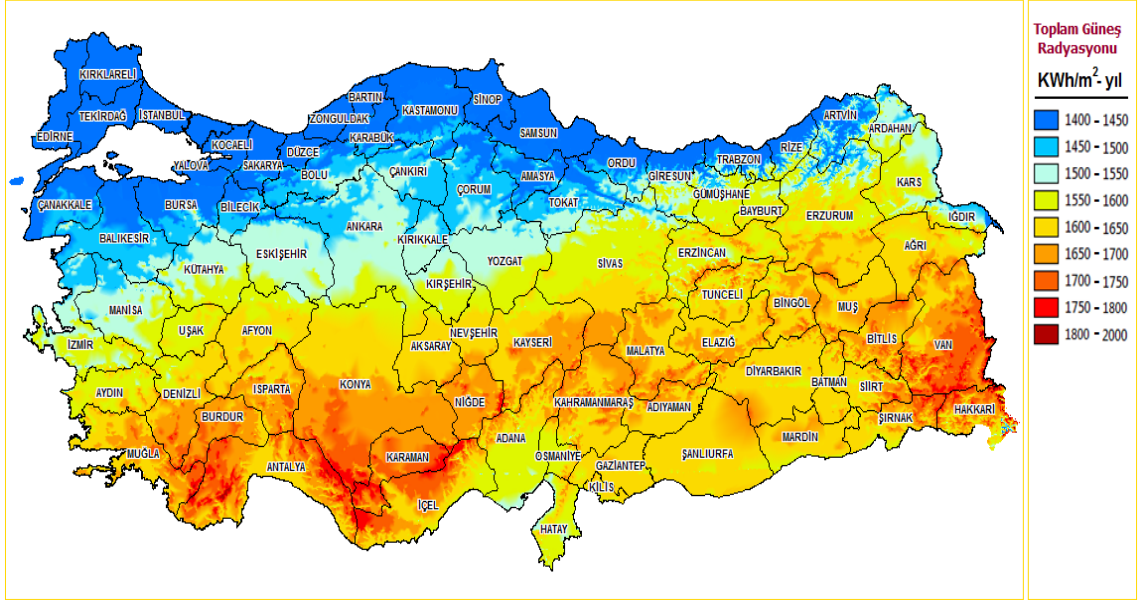
Büyük gaz ve petrol şirketlerinin 2025'e kadar yenilenebilir enerji yatırımlarını on kat yükseltmeleri beklenmektedir. Çin de 2060'ta Güney Kore ve Japonya'da ise 2050'de hedeflerinin sıfır emisyon olduğunu duyurmuşlardır. Covid-19 döneminde enerji dönüşümünün ve sıfır emisyonun gündeme gelmesi, yeşil enerji dönüşümü ve yenilenebilir enerji yatırımlarının artacağını göstermektedir [38].

2.2. Güneş Enerjisi

Güneşin çekirdeğinde bulunan füzyon süreciyle beraber (H_2 'nin, He 'ye dönüşmesi işlemi) meydana gelen ışıma enerjisine güneş enerjisi denir. Güneş enerjisinin şiddeti dünya atmosferinin dışında 1370 W/m^2 civarındadır, fakat dünyaya ulaşan miktarı atmosferden ötürü $0-1100 \text{ W/m}^2$ aralığındadır. Dünyaya ulaşan bu enerjinin az miktarı bile, tüm insanlığın kullandığı miktardan çok daha fazladır. 1970'lerden sonra güneş enerjisinden faydalanmak için araştırmalar artmış, bu alanda gelişmeler sağlanarak ekonomik olarak daha cazip hale gelmiştir. Kurulumundan sonra maliyetinin az olması ve çevreye zarar vermemesi güneş enerjisine olan ilgiyi arttırmıştır [39].

Güneş her saniyede muazzam bir enerjiyi güneş sistemine saçmaktadır. Dünyaya ulaşan ise bu enerjinin çok küçük bir miktarıdır. Yaklaşık olarak 1367 W güç atmosferin dış yüzeyindeki her m^2 'ye ulaşmaktadır. Ultraviyole ve X ışınlarından meydana gelen bu ışımlarının bir bölümünü atmosfer absorbe ederken bir bölümünü de yansıtır [40].

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) incelendiğinde, ortalama yıllık toplam ışıınım şiddeti $1527,46 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$, ortalama günlük toplam ışıınım şiddeti $4,18 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi $2741,07 \text{ saat/yıl}$, ortalama günlük toplam güneşlenme süresi $7,50 \text{ saat/gün}$ şeklinde görülmektedir. Şekil 2.5'te Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası verilmiştir [39].



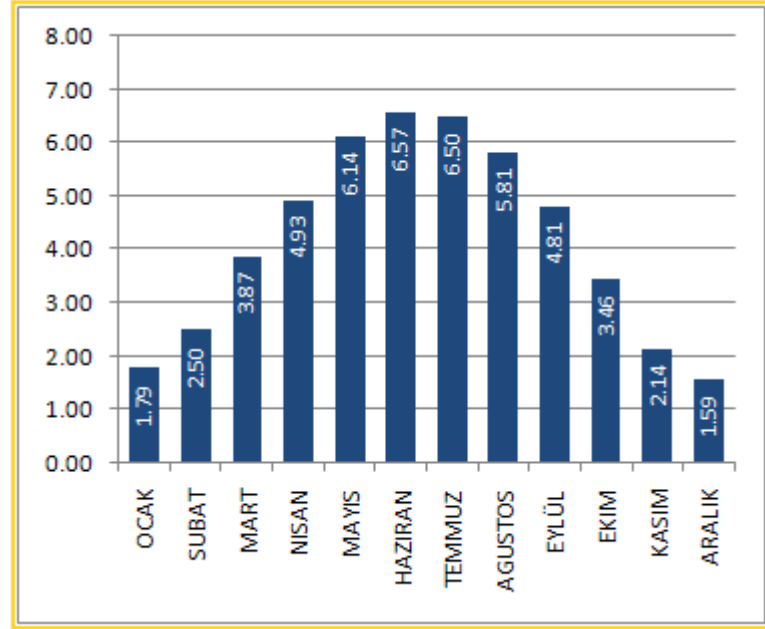
Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası [41]

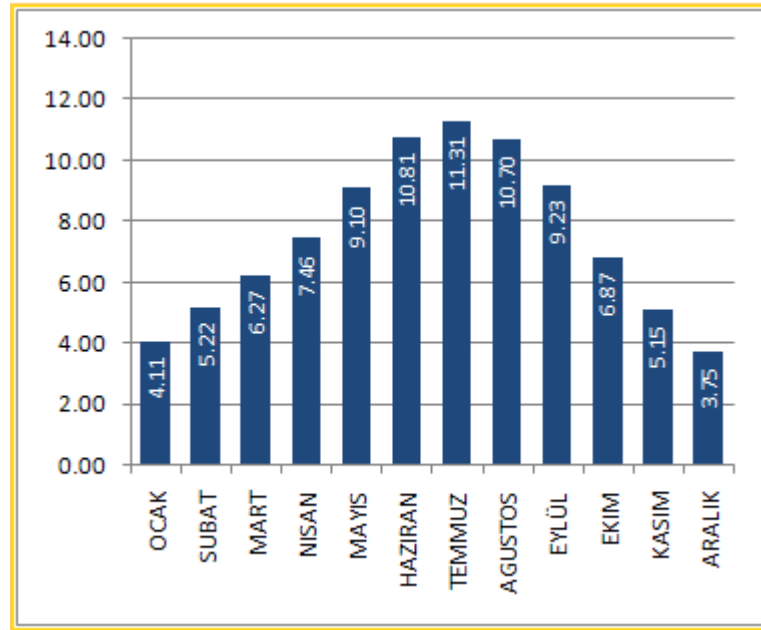
Şekildeki haritaya göre kuzey bölgelerden güneye doğru gidildikçe güneşlenme potansiyeli artmaktadır. Coğrafi konumu ve yağmurlu gün sayısının çokluğundan ötürü en düşük ışıınım alan bölge Karadeniz Bölgesi'dir. Ege ve Marmara orta değerde ışıınıma sahipken, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu ışıınım değeri fazla olan bölgelerimizdendir. Bu bölgeler güneş enerjisine yatırım yapmaya daha elverişli ve yatırım maliyetlerinin amorti olma süresi diğer bölgelere kıyasla daha azdır. Tablo 2.1'de Türkiye'nin coğrafi bölgelere göre güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye'nin coğrafi bölgelere göre radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri [42]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1,460	2,993
Akdeniz	1,390	2,956
Doğu Anadolu	1,365	2,664
İç Anadolu	1,314	2,628
Ege	1,304	2,738
Marmara	1,168	2,409
Karadeniz	1,120	1,971

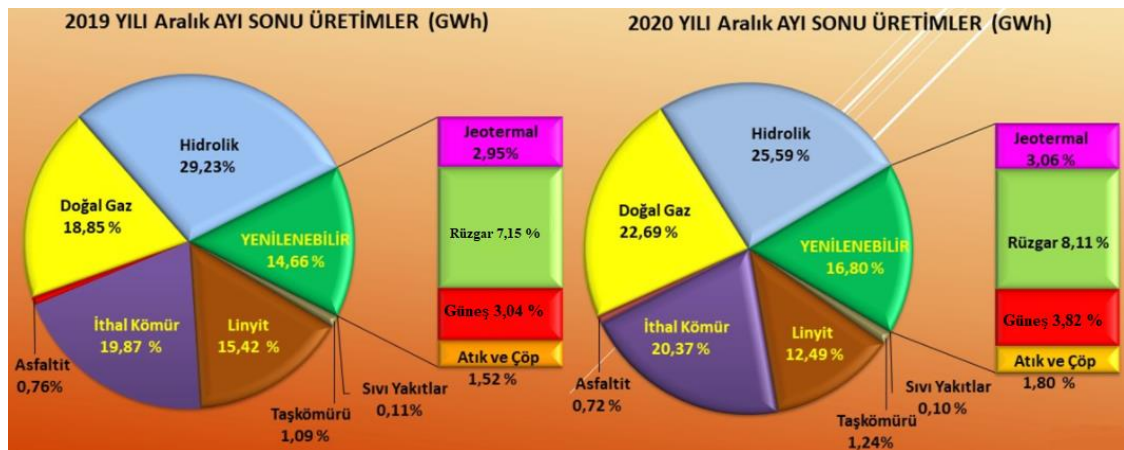
Türkiye'nin ortalama günlük global güneş ışıınımı değerinin ve ortalama günlük güneşlenme sürelerinin aylara göre gösterimi sırasıyla Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de verilmiştir.

**Şekil 2.6.** Türkiye global ışıınım değerleri (kWh/m²) [65]



Şekil 2.7. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) [41]

2020 Yılı Aralık ayı sonunda, Güneş Enerjisi Yatırımcıları Derneğinin (GÜYAD) elektrik enerjisi verileri incelendiğinde, birincil kaynaklar bakımından ülkemizin 2020 ve 2019 elektrik üretimi verileri karşılaştırıldığında hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Ama üretim yüzdeleri göz önüne alındığında; yenilenebilir, ithal kömür ve doğalgazın yükseldiği, hidrolik ve linyit bazlı üretimlerin azaldığı neticesi ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin 2019 yılı Aralık ayı sonu ve 2020 yılı Aralık sonu birincil enerji kaynaklarının yüzdesel payları Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Türkiye'nin 2020 Aralık ayı sonuna göre birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi üretimi yüzdeleri (Lisanssızlar dahildir) [43]

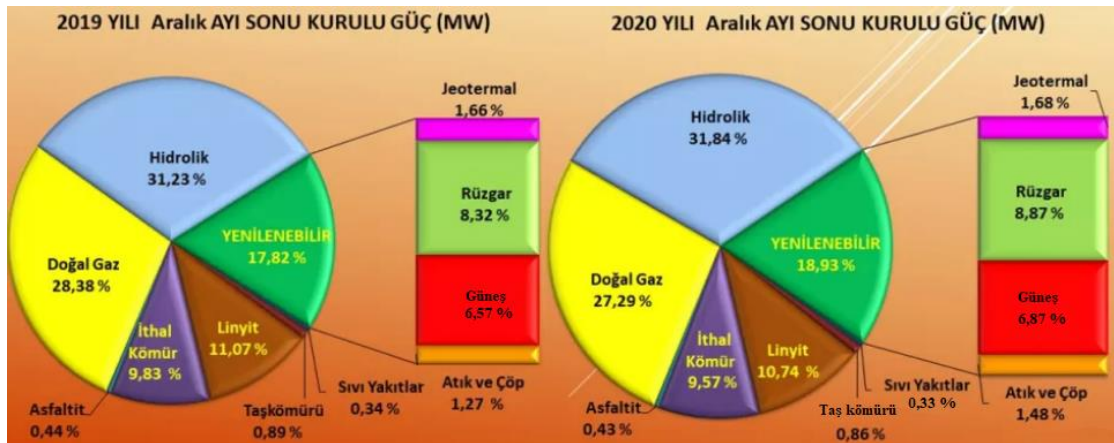
Birincil kaynakların elektrik enerjisi üretimi kurulu gücü göz önüne alındığında ilk 3'te yenilenebilir enerji, hidrolik ve doğalgaz bulunmaktadır. 2020 senesi Aralık ayı

sonu toplam elektrik enerjisi kurulu güç: 94,801 MW, toplam elektrik enerjisi üretimi: 305,168 GWh'tır. Türkiye'nin 2019 yılı aralık ayı sonu ve 2020 yılı aralık sonu birincil enerji kaynaklara göre elektrik enerjisi üretimi Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Türkiye'nin Aralık ayı sonuna göre birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi üretimi [43]

KAYNAKLAR	2019 Yılı Aralık Ayı Sonu Üretimler (GWh)	2020 Yılı Aralık Ayı Sonu Üretimler (GWh)	Artış (%)	2019 Yılı Aralık Ayı Sonu Kurulu Güç (MW)	2020 Yılı Aralık Ayı Sonu Kurulu Güç (MW)	Artış (%)
Sıvı Yakıtlar	335	313	-6,63	314	314	0,00
Taş kömürü	3,303	3,780	14,44	811	811	0,00
Linyit	46,872	38,128	-18,65	10,101	10,097	-0,04
İthal Kömür	60,395	62,152	2,91	8,967	8,987	0,22
Asfaltit	2,324	2,202	-5,24	405	405	0,00
Doğal Gaz	57,288	69,234	20,85	25,902	25,641	-1,01
Hidrolik	88,823	78,104	-12,07	28,503	30,548	7,17
Jeotermal	8,952	9,344	4,38	1,515	1,556	2,71
Rüzgâr	21,731	24,760	13,94	7,591	8,507	12,07
Güneş	9,250	11,645	25,89	5,995	6,513	8,64
Atık ve Çöp	4,624	5,506	19,07	1,163	1,422	22,27
TOPLAM	303,897	305,168	0,42	91,267	94,801	3,87

Kurulu güç verileri yüzdeler şeklinde ele alındığında ve 2019 verileri ile karşılaştırıldığında hemen hemen değişimin olmadığı görülür. 2020 Aralık ayı sonu itibarıyla ilk 5 kaynak; ithal kömür (9,57), linyit (10,74), yenilenebilir enerji (güneş, atık çöp, rüzgâr ve jeotermal) (18,93), doğal gaz (27,29) ve hidrolik (31,84) şeklindedir [43]. Türkiye'nin 2019 yılı aralık ayı sonu ve 2020 yılı aralık sonu birincil enerji kaynaklara göre elektrik enerjisi kurulu güç grafiği şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Türkiye'nin 2020 Aralık ayı sonuna göre birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi kurulu gücü (Lisanssızlar dahildir) [43]

2020 senesi Aralık ayı sonunda güneşten elde edilen elektrik enerjisi 11,644,6 GWh, üretilen toplam elektrik enerjisi ise 305,168,0 GWh'tır. Böylece 2020 Yılı Aralık ayı sonunda Güneş enerjisinin üretilen toplam elektrik enerjisi içindeki oranı %3,82 olmuştur. 2020 Yılı Aralık ayı sonunda güneş enerjisinden oluşan elektrik enerjisi kurulu gücü 6,513 MW, toplam elektrik enerjisi kurulu gücü ise 94,801 MW'tır. Böylece 2020 Yılı Aralık ayı sonunda güneş enerjisinin kurulu gücü toplam elektrik enerjisi içindeki oranı %6,87 olmuştur. Güneş enerjisinin üretilen toplam elektrik enerjisi içindeki oranını 2020 ve 2019 senesi Aralık aylarına göre karşılaştırıldığında %3,04'ten %3,82'ye arttığı saptanmıştır [43].

3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ

3.1. Fotovoltaik Piller ve Kısa Tarihçesi

“Fotovoltaik” kelimesi, elektrik manasına gelen “voltaik” ve ışık manasına gelen “foto” kelimelerinin bir araya gelmesi ile meydana gelir ve “PV” ile ifade edilir. Fotovoltaik etki güneş ışınlarıyla karşılaşınca, elektriksel gerilim farkı (voltaj) üretimi oluşturma özelliğidir. Güneş enerjisini faydalanılabilir güce dönüştüren ekipmanları açıklamak için yararlanılan fotovoltaik teknolojisi ışık aracılığıyla elektrik enerjisi üretir. Fotovoltaik özellik neticesinde elektrik üreten yapılara ise fotovoltaik pil denilmektedir. Fotovoltaik pil tabiri, çok kullanılsa da “kendi kendine üreten pil”, “fototronik fotopil”, “bariyer tabakalı fotopil” ve “güneş pili” vb. adlandırmalarla da bilinmektedir [44]. Var olan yenilenebilir enerji kaynakları içinde çevre dostu enerjiler arasında olan güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığından faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken materyallerdir [45].

Fotovoltaik teknolojisi bugün itibarıyla güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede en bilindik yöntemdir. Selenyum, bakır, silisyum, tellür, germanyum, arsenik vb. elementlerin meydana getirdikleri bileşiklerle ya da saf halleriyle üretilen PV hücreler üzerlerine aldıkları güneş ışınlarını elektrik enerjisine çevirirler. Doğru akım biçiminde olan bu enerjinin değeri, ışıyım şiddetine ve süresine bağlıdır. Büyük miktarda ışıyım alan bir PV hücre bile az miktarda bir elektrik enerjisi üretebilir. Bu miktardaki bir enerji saat ve hesap makinesi gibi az enerjiyle çalışabilecek cihazlar için yeterli olabilir. PV hücreler birleşerek modülleri, modüller birleşerek panelleri, paneller birleşerek dizileri oluşturularak daha büyük miktarda güçler meydana getirebilir. Üretilen bu güçlerle arzu edilen gerilim, akım ve güç değerlerinde PV sistemler yaratılabilir [46].

Kalınlıkları, en bilindik silisyum güneş pilleri baz alındığında 0,2-0,4 mm aralığında, yüzeyleri dikdörtgen, daire ve kare şeklinde olan güneş pillerinin alanları ise yaklaşık 100 cm²’dir [47].

%5-%20 aralığındaki hücre verimliliğine sahip olan PV hücrelerin enerji kaynağı üretim teknolojilerine göre değişip sınıflandırılmaktadır. PV hücrelerde laboratuvar çalışmalarında %30’ları aşan bir verimlilik saptanmasına rağmen uygulamada ise verimleri en fazla %20 civarındadır [48].

Uygun büyük ebatlarda dizayn edilmiş bir PV sistem belirli miktardaki bir ışıyla MW’larca elektrik gücü üretebilir. Sadece güneş ışığı kullanarak, bunun dışında herhangi bir enerji kaynağı, işletme ücreti ve gürültülü çalışan makinelere ihtiyaç duymadan temiz bir elektrik enerjisi oluşturur. PV’ler DC üretirler. Ürettikleri bu

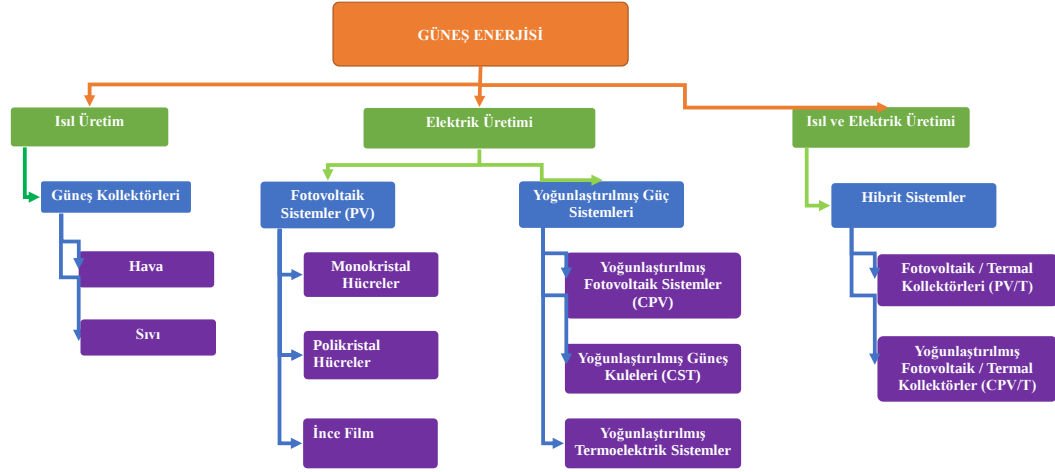
elektrik enerjisi; doğrudan DC gücü ile çalışabilecek cihazlarda, sonra faydalanılmak üzere DC olarak depolanarak, bir alternatif akım ile çalışacak cihazlarda AC'ye çevrilerek yararlanılabilir [49].

Genel itibarıyla PV teknolojisi şebekeye bağlı olmayan (Off-Grid) ve şebekeye bağlı olan (On-Grid) sistemler aracılığıyla elektrik enerjisi üretir. Sistemin işleyebilmesi için her iki durumda da inverterler, şarj regülatörleri ve enerji depolama gibi donanımlar gereklidir. Hem bu donanımların randımanlarını arttırmak hem de toplam sistem randımanını yükseltmek için araştırmalar devam etmektedir [50, 51].

Uzun dönemlerden beri üzerinde çalışmalar yapılan fotovoltaiik etki, 1957 senesinde Bell laboratuvarlarında ilk PV hücre üretilmesine rağmen düşük randımanlı olması ve oldukça maliyetli olmasından dolayı yaygınlaşmasını önlemiştir. Tablo 3.1'de fotovoltaiik hücrelere dair önemli tarihsel ilerleyiş verilmiştir. Anı zamanda, güneş enerjisinden üretilen elektrik, ısı ve hibrit uygulamaların sınıflandırılması Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Güneş hücrelerinin tarihsel gelişimi [52, 53]

Yapılan çalışmalar	Yıl
Becquerel tarafından fotovoltaiik etki keşfedildi	1839
Smith, selenyumun içindeki foto iletkenliği keşfetti	1873
Adams ve Day tarafından selenyumda fotovoltaiik etkinin bildirilmesi	1877
Fritts, selenyum kullanarak ilk fonksiyonel %1 verimli PV hıcreyi geliştirdi	1883
Planck tarafından ışığın kuantum yapısının ileri sürülmesi	1900
Wilson tarafından katıların kuantum teorisinin öngörülmesi	1930
Mott ve Schocttky tarafından katı durum teorisinin geliştirilmesi	1940
Barden, Brattain ve Schocttky tarafından transistörün keşfedilmesi	1949
Charpin, Puller ve Pearson silisyum hücre verimini %6 bulması	1954
Reynolds ve arkadaşları tarafından kadmiyum sülfid hücre tasarımı	1954
Hoffman Elektronik, %8 verimli silisyum PV hücre geliştirdi	1957
Vanguard 1 isimli yörüngeli uyduda hücrelerin ilk kez kullanılması	1958
Hoffman Elektronik, %14 verimli silisyum PV hücre geliştirdi	1960
New South Wales Üniversitesinde, %20 verimli silisyum PV hücreler geliştirdi	1985
Applied Solar Energy şirketi %19 verimli iki eklemli PV hücreler geliştirdi	1989
Spectrolab, %40 verimli üç eklemli PV hücreler geliştirdi	2006
NREL, %40,8 verimli üç eklemli PV hücre geliştirdi	2008
Spectrolab, %41,6 verimli üç eklemli PV hücre geliştirdi	2009



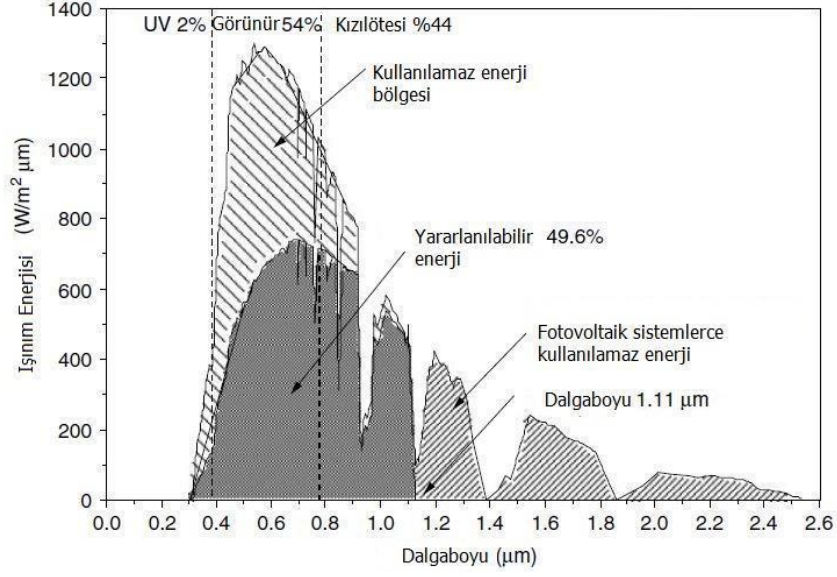
Şekil 3.1. Güneş enerjisinden üretilen elektrik, ısı ve hibrit uygulamalar

3.2. Güneş Spektrumu

Güneşten yayılan değişik dalga boylarının sıralı görünümü güneş spektrumu olarak isimlendirilir.

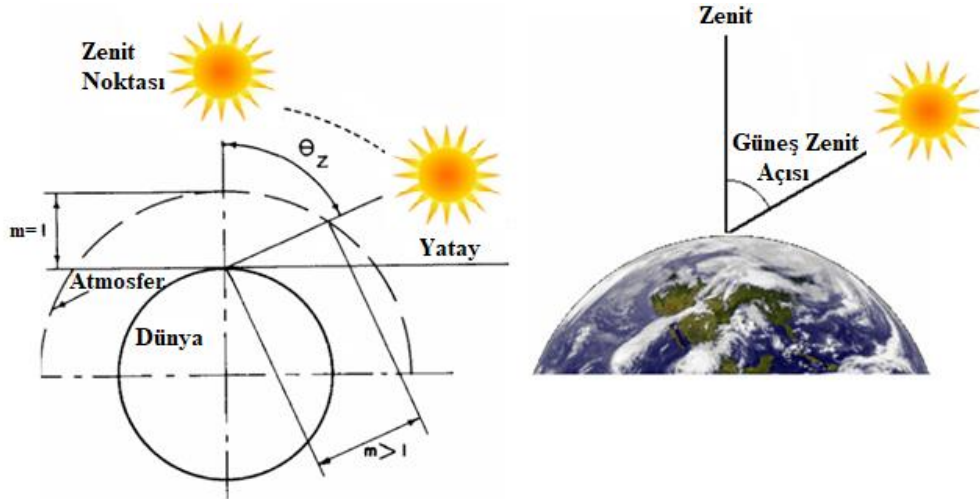
- . Radyo Dalgaları (En az olan enerji ve en uzun dalga boyudur)
- . Mikrodalgalar
- . Infrared (kızılötesi) Işık
- . Görünür (visible) Işık
- . Ultraviyole (morötesi) Işık
- . X-Işınları
- . Gama Işınları (En fazla olan enerji ve en kısa dalga boyudur)

Şekil 3.2’de güneş spektrumu verilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş spektrumu [54]

Yüzey sıcaklığı 5778 K olan güneşin dünyadan yaklaşık 150 milyon kilometre uzaklıktadır. Güneşten dünyaya gelen enerji miktarı 1377 W/m^2 'dir. Atmosferden geçen güneş ışınlarının bir bölümü soğrularak azalır. İçinden geçtiği atmosfer ne kadar fazla ise güneş ışınlarının zayıflaması da o denli artar. Fakat hava kütlesi (air mass, $AM=1/\cos\theta_z$) denen eşitlikle bu enerjisinin belirlenen yere gelme miktarı hesaplanır. Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasındaki açı θ_z 'dir. Şekil 3.3'te güneş ışınlarının gelme açısı verilmiştir.

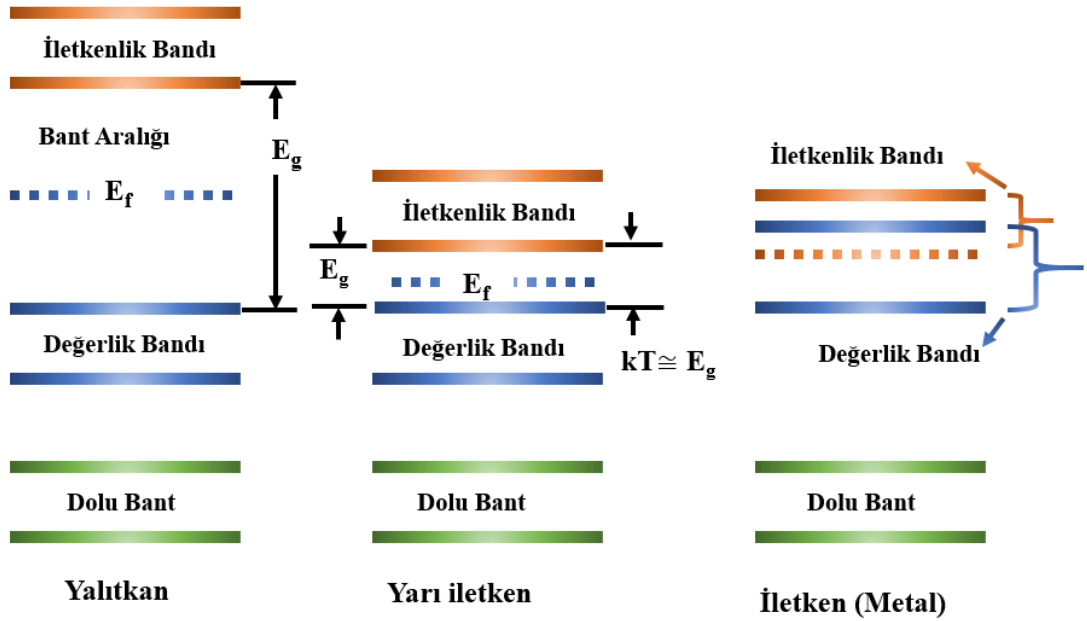


Şekil 3.3. Güneş ışınlarının gelme açısı (θ_z) [55]

3.3. Fotovoltaik Etki ve Hücrelerin Yapısı

Yalıtkanlar ile yarı iletken malzemelerde değerlik elektronlarının yer aldığı

enerji seviyesi ve bu elektronların yer alabileceği bir sonraki enerji seviyesi arasında yer alan enerji seviyeleri, elektronların yer almasının yasak olduğu enerjilerdir. Değerlik bandı elektronların yer aldığı band, iletkenlik bandı ise yasak enerji aralığından sonra elektronların yer alabileceği ilk enerji seviyelerinden başlayan enerji bandıdır. Malzemenin yalıtkan veya yarı iletken şeklinde sınıflandırılması yasak enerji aralığının genişliğine bağlıdır. Güneş ışınımında enerji nakletme birimleri olarak ifade edilen fotonların enerjisi, yasak enerji aralığıyla aynı veya daha büyük ise değerlik bandındaki bir elektrona enerjisini ileterek iletkenlik bandına yükseltir. Yalıtkan malzemenin yasak enerji bandı 2,5 eV'tan (elektron volt) daha fazladır. Güneş spektrumunda enerji 2,5 eV değerinden daha fazla olan bölgedeki güneş ışınlarının tutarı çok düşük olduğundan bu tarz materyaller fotovoltaiik çevrimde emici tabaka için kullanılmaya elverişli değildir. Faydalanılacak malzemenin yarı iletken seçilmesinin nedeni; güneş ışığını absorbe eden yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile entegre çalışabilen ve elektrik yüklerinin birbirinden uzaklaşmasına müsaade verebilecek kadar uzun bir bant aralığında olmasıdır [56]. Şekil 3.4'te iletken, yarı iletken ve yalıtkan için bant aralıkları verilmiştir.

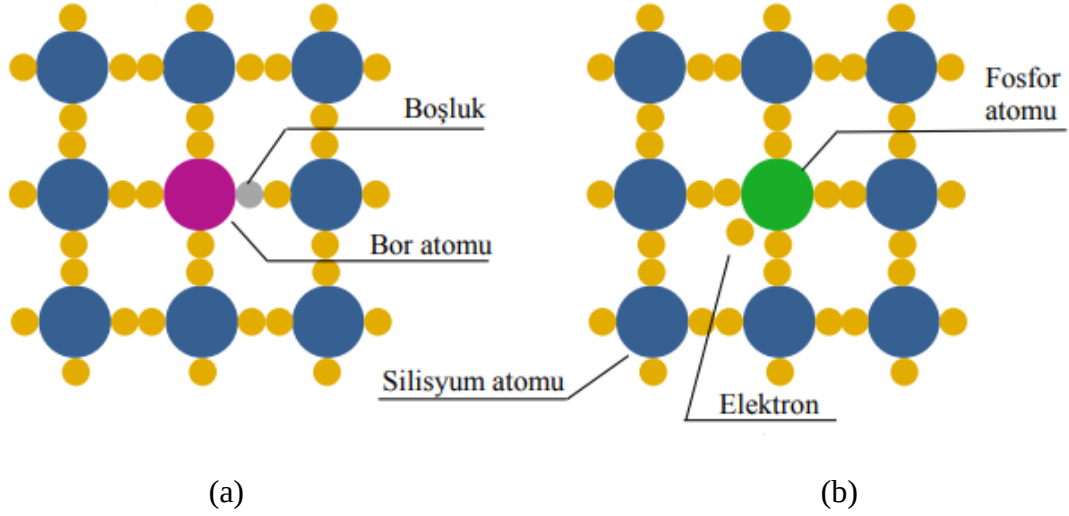


Şekil 3.4. Yalıtkan, yarı iletken ve metal için enerji bant aralıkları [57]

Bugün itibarıyla güneş pilleri de elektronik malzemelerde faydalandığımız doğrultucu diyotlar, transistörler gibi yarı iletken malzemelerden imal edilirler. Kadmiyum tellür, silisyum, galyum vb. maddeler güneş pili imal etmek için faydalanılan diğer malzemelere göre daha uygundur.

Güneş pili olarak faydalanılabilmesi için yarı iletken malzemelerin p veya n tipi katkılanmaları gerekir. Saf yarı iletken eriyiğe arzu edilen katkı maddelerinin kontrollü şekilde ilave edilmesi ile katkılama olur. Oluşturulan yarı iletkenin p veya n tipi olması katkı maddesine göre değişir. En sık kullanılan güneş pili malzemesi silisyumdan n tipi silisyum oluşturmak için periyodik cetvelin 5. grubundan bir element (örnek olarak fosfor) silisyum eriyiğine ilave edilir. Fosforun dış yörüngesinde 5, silisyumun son yörüngesinde 4 elektron var olduğundan dolayı, fosforda artık olan 1 elektronu kristal yapıya aktarır. Bundan dolayı 5. Grup elementlerine n tipi katkı maddesi veya verici denilmektedir. Eriyiğe 3. gruptan bir element (bor, alüminyum ve indiyum gibi) ilave edildiğinde p tipi silisyum oluşturulur. Son yörüngelerinde 3 elektron bulunduran bu elementler kristal 1 elektron eksikliği meydana getirir, bu elektron eksikliğine boşluk veya hol denilmektedir ve pozitif yük olarak kabul edilir. Bundan dolayı, bu tarz maddelere alıcı veya p tipi katkı maddesi denilmektedir [58].

Şekilde 3.5'te p tipi yarı iletken ve n tipi yarı iletken verilmiştir.

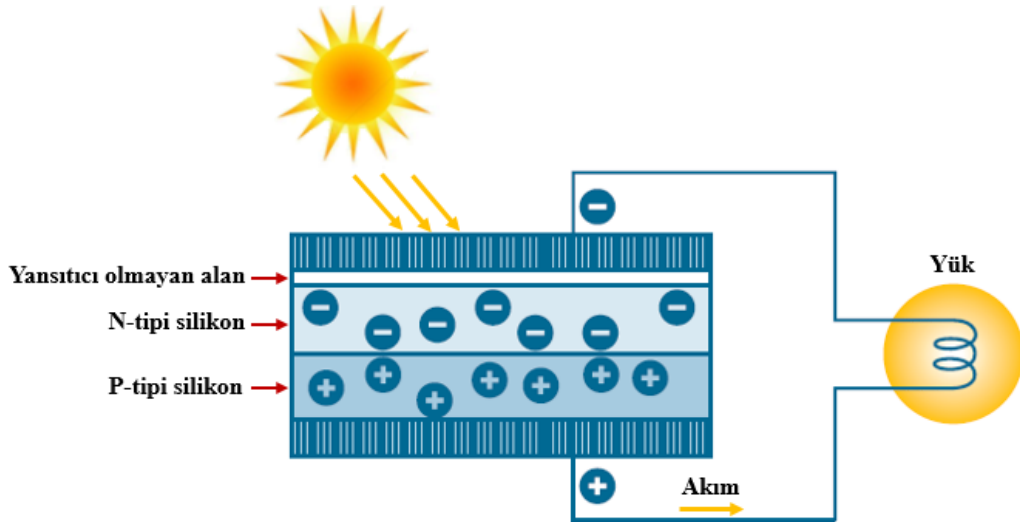


Şekil 3.5. (a) p tipi yarı iletken (b) n tipi yarı iletken [59]

Gereken katkı maddeleri n veya p tipi malzemelere eklenmesi ile yarı iletken eklemler meydana gelir. P tipi yarı iletkende boşluklar, n tipi yarı iletkende ise elektronlar çoğunluk taşıyıcı olur. N tipi ile p tipi buluşmadan önce, elektriksel yük açısından her iki madde de nötr durumundadır. Yani n tipinde elektron sayıları ve pozitif enerji seviyeleri aynı, p tipinde de hol sayıları ve negatif enerji seviyeleri aynıdır. N tipi içerisindeki çoğunluk taşıyıcı elektronlar, p tipine doğru akım oluşturduğunda PN eklem meydana gelir. Her iki bölgede de yük dengesi sağlanana kadar bu olay sürer. PN

tipi maddenin ara yüzeyinde yani eklem bölgesinde, n bölgesinde pozitif p bölgesinde negatif yük birikmesi olur. Oluşan bu eklem bölgesine yükten arındırılmış bölge veya geçiş bölgesi denilir. Ayrıca bu bölgede meydana gelen elektrik alan, yapısal elektrik alan olarak ifade edilir. Yarı iletken eklemine güneş pili olarak çalışabilmesi için eklem bölgesinde fotovoltaiik transformasyonunun sağlanması gerekir. Başta, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri meydana gelir, sonra da bunlar bölgedeki elektrik alan sayesinde birbirlerinden koparak bu dönüşümü 2 kademede oluşturur [58].

Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından bölünen 2 enerji bandından meydana gelir. Bunlar iletkenlik bandı ve valans bandları şeklinde adlandırılır. Enerjisi bu yasak aralığıyla aynı ya da fazla olan bir foton, yarı iletkeni absorbe edildiğinde, enerjisini valans bandındaki bir elektrona aktararak, elektroni iletkenlik bandına yükseltir. Böylelikle elektron-hol çifti meydana gelir. Bu durum, p-n eklem güneş pilinin ara yüzeyinde oluşmuşsa elektron-boşluk çiftleri buradaki elektrik alan ile birbirinden koparılır. Böylece güneş pili, holleri p tarafına, elektronları da n tarafına sevk eden bir pompa görevi görür. Birbirinden kopan elektron-boşluk çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı meydana getirir. Bu süreç tekrar bir fotonun pil yüzeyine değmesiyle benzer biçimde sürdürülür. Yarı iletkenin içinde de elektron-boşluk çiftleri meydana gelmektedir. Ama gereken elektrik alan yokluğundan ötürü yine birleşerek kaybolurlar [58]. Şekil 3.6'da bir güneş hücresinin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.6. Güneş hücresinin çalışma prensibi [60]

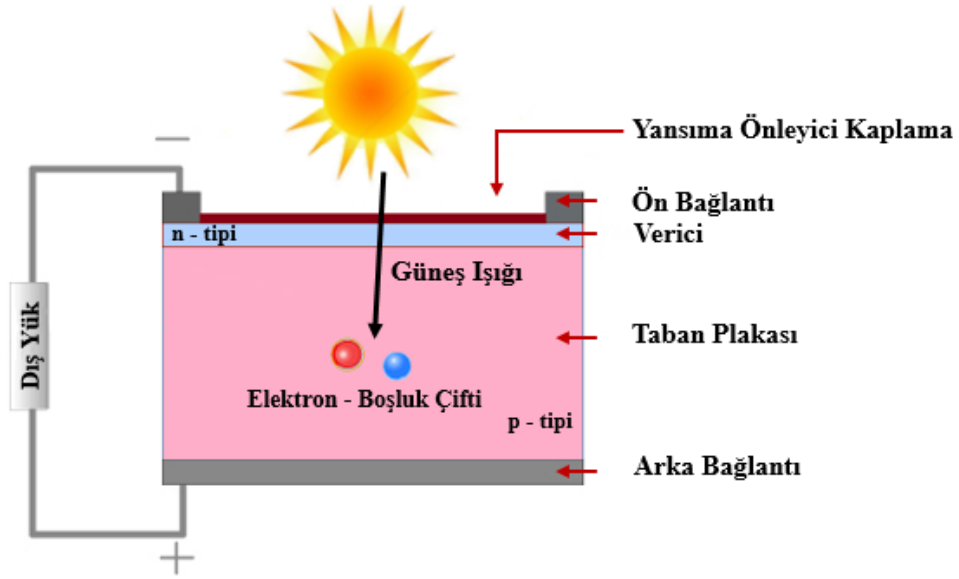
Güneş pili, güneş ışığını direkt elektriğe çeviren elektronik bir aygıttır. Güneş pili üstüne aldığı ışığı hem bir akım hem de bir voltaj oluşturarak elektrik enerjisi üretir.

Bu durum ilkin, ışığın soğrulmasının bir elektronu daha üst bir enerji düzeyine çıkarttığı bir materyali ve ikinci olarak bu büyük enerjili elektronun güneş hücresinden dış bir devreye akımını gerektirir. Elektron sonra enerjisini dış devrede yayar ve güneş piline geri gelir. Birçok materyal ve prosesler potansiyel olarak fotovoltaiik enerji transformasyonu ihtiyacını karşılayabilir, fakat pratikte hemen hemen bütün fotovoltaiik enerji transformasyonlarında p-n bağlantısı biçiminde yarı iletken materyallerden yararlanılır.

Bir güneş pilinin çalışmasındaki başlıca kademeler aşağıdaki gibidir:

1. Işık vasıtasıyla üretilen taşıyıcıların oluşması,
2. Bir akım meydana getirmek için üretilen ışığın toplanması,
3. Güneş hücresinde yüksek bir voltajın oluşturulması ve nihayetinde dış devrede gücün dağıtılması biçiminde olur.

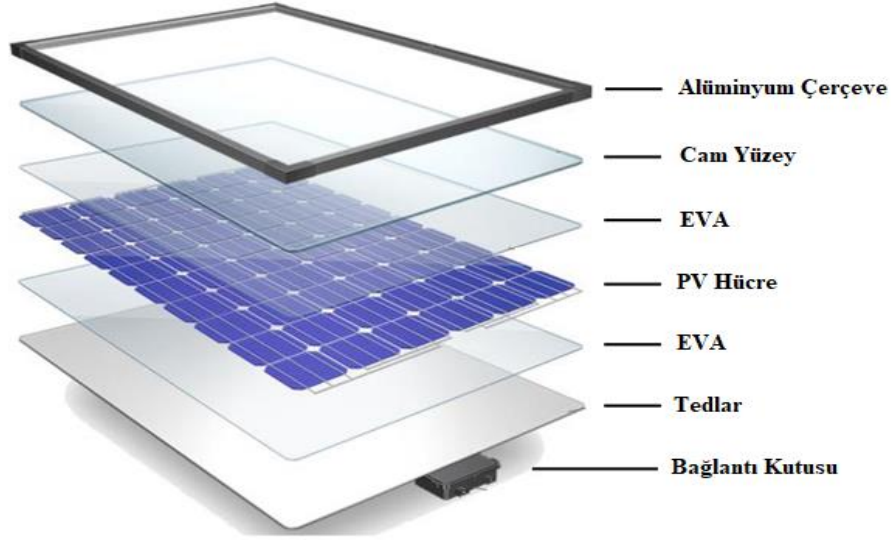
Şekil 3.7’de güneş hücresinin bir kesiti gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Bir güneş hücresinin kesit görünüşü [61]

3.4. Fotovoltaiik Panel Bileşenleri

PV panelin ısı direncini ve ısı kapasitesini tespit etmek için PV panelin tüm tabakalarını sıra ile belirlemek gerekir. Fotovoltaiik teknolojisine göre faydalanan PV panel değişik tabakaların farklı şekilde bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Panel alanı bakımından küçük yüzey alanı olan bu tabakalar sıcaklık reaksiyonuna karşı ihmal edilebilir seviyede etkileri olduğu için, tesirleri ihmal edilebilen metal bir çerçeveye yerleştirilmiştir [62]. Fotovoltaiik panelin katmanları kısaca Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Fotovoltaik hücre yapısını meydana getiren materyaller

Alüminyum Çerçeve: Güneş panelini kurmak için dayanıklı bir yapı oluşturan alüminyum çerçevenin önemli bir katkısı vardır. Ekstrüde alüminyum kısımlar, oldukça sert ve hafiftir. Dış kuvvetler ve aşırı rüzgârdan dolayı meydana gelen büyük zorlamalara ve yüklemeye direnebilecek şekilde dizayn edilmelidir [63].

Cam Kaplama: Ön cam levha, PV modüllerini elverişli olmayan hava şartlarına karşı korur. Kalınlıkları 3-4 mm aralığındaki cam, karakteristik olarak dayanıklılığı yüksek temperli cam olup yüksek sıcaklıklara ve mekanik yüklenmelere karşı direnebilecek şekilde dizayn edilmiştir. Sertleştirilmiş cam, büyük çarpmalar ve kazalar sırasında standart cama göre keskin kısımlar yerine ufak parçalara ayrıldığı için çok daha tehlikesizdir. Performansı ve verimliliği yükseltmek için yüksek geçirgen camın içerisinde oldukça düşük demir barındırır. Buna ilaveten ışık iletimini geliştirmek ve kayıpları düşürmek için arka kısmında yansıma engelleyici kaplama vardır [63].

Fotovoltaik (PV) hücre: PV hücreleri ya da fotovoltaik hücreleri, güneş ışığını doğrudan DC elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik teknolojinin ana birimidir. Yararlanılan silikonun özellik ve tipine göre güneş pillerinin verimi tespit edilir. Güneş panelleri polikristal ve monokristal olarak iki temel silikona ayrılmıştır. Tipik olarak PV hücresinin kalınlığı 0,1 mm, oldukça ince ve negatif n-tipi ya da pozitif p-tipi silikondan meydana gelmiştir [63].

EVA Katmanı: Panellerin temel malzemesi olan hücreleri muhafaza eder. Onların zamanla aşınmalarını önler. Esasında vakumlanarak havası alınmış bir kap meydana getirir. Hücreleri dışardan gelebilecek etkilerden koruyarak, hava almayan, bir kapsüle kapatarak uzun ömürlü olmalarını sağlar [64]. EVA materyali oldukça sağlam, neme ve

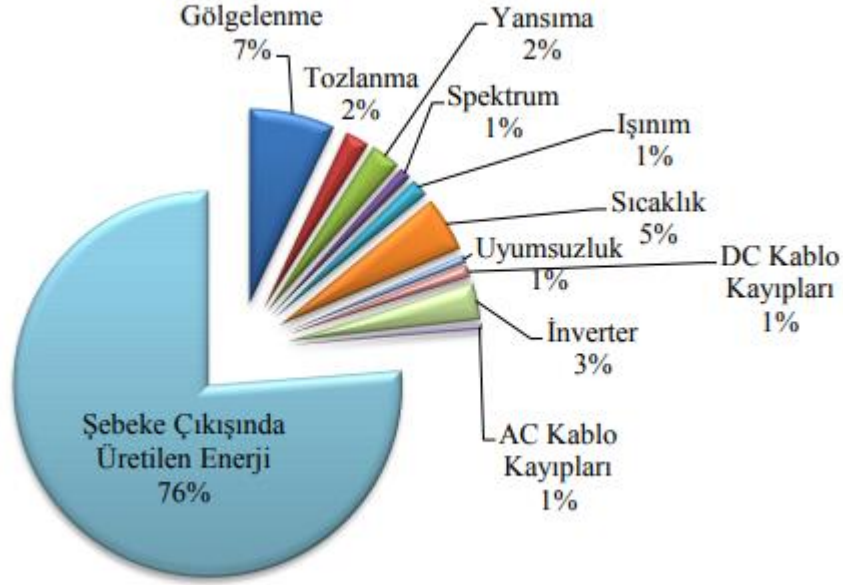
aşırı sıcaklıklara dayanıklı olmalıdır. Kir ve nem oluşumunu engelleyerek uzun ömürlü verimde önemli bir katkı sağlar. Üretim esnasında hücreler, cam ile arka levhanın içerisine kurulmadan önce EVA ile kapsülленir [63].

Tedlar: Hem elektrik izolasyonu hem de mekanik muhafaza sağlamak için arka tabaka, bir nem bariyeri görevi ve en dıştaki yüzey vazifesi görerek panellerin en dıştaki katmanıdır. Arka katman materyali, ısıl stabilite, çeşitli düzeylerde muhafaza ve uzun ömürlü UV direnci sağlayan PET, PVF ve PP şeklindeki plastiklerden ve polimerlerden meydana gelmiştir. Dupont'un "Tedlar" PVF (Polivinil florür) materyali, PV teknolojisi açısından başı çeken yüksek verimli arka katman olarak bilinmektedir [63].

Bağlantı Kutusu: Panelin arka kısmında yer alan küçük bağlantı kutusu, hava şartlarına karşı sağlamdır. Bütün hücrelerin birleştiği merkezi konumda olan bağlantı kutusu, kir ve nemden korunmalıdır. Buna ilaveten bağlantı kutusu kirlendiği zaman veya gölgelendiği zaman meydana gelen geri akımı engellemek için gerekli olan baypas diyotları da yer alır [63].

3.5. Fotovoltaik Sistemi Etkileyen Parametreler

Fotovoltaik sistemin ürettiği güç birçok karakteristiğe bağlıdır. Fotovoltaik sistemi meydana getiren bileşenlerin parametreleri; panel alanı, panel eğim açısı, coğrafi konumu, çevre sıcaklığı, sistemin kurulum noktasının etrafında yer alan yapılar, rüzgâr hızı ve panel yüzeyine ulaşan ışınım miktarı vb. karakteristiklere göre değişir [65]. Bir fotovoltaik sistemde meydana gelen kayıpları Şekil 3.9'daki gibi gruplandırabiliriz.



Şekil 3.9. Fotovoltaik sistemlerde meydana gelen kayıplar [66]

3.6. Güneş Pillerinin Kullanım Alanları

Her geçen gün genişleyen kullanım alanları güneş pillerine olan ilgiyi arttırmıştır. Elektrik hatlarının henüz erişemediği kırsal bölgelerden, enerji aktarımının olmadığı haberleşme uydularına kadar geniş bir kullanım alanı olan güneş pilleri, elektrik enerjisinin lüzumlu olduğu her alanda yararlanılabilir. Şekil 3.10'da güneş hücrelerinin kullanıldığı bazı alanlara yer verilmiştir [67].



Şekil 3.10. Güneş hücrelerinin bazı kullanım alanları [68]

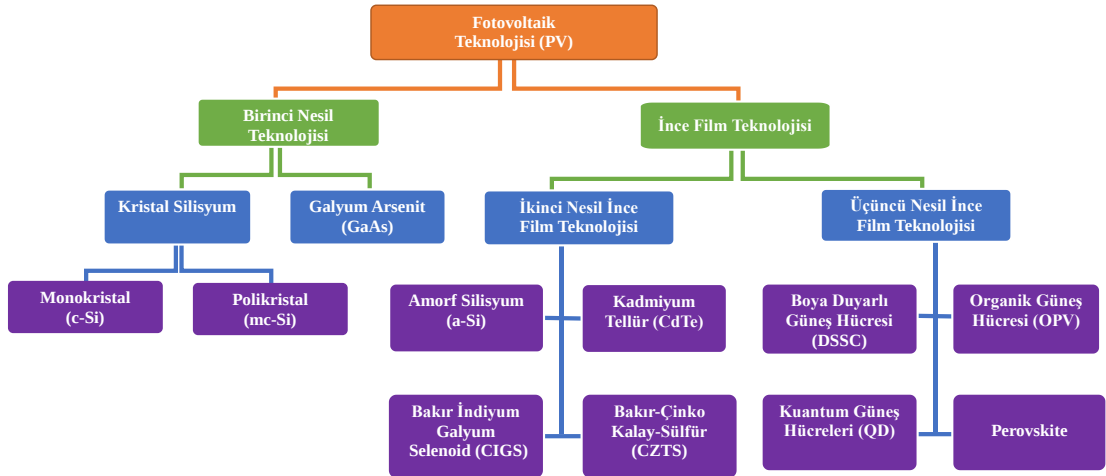
Güneş pillerinden günümüzde aşağıda sıralandığı üzere;

- Uzay ve uydu incelenmesinde,
- Kurutma alanında
- Ulaşım taşıtlarında,
- Çatı düzeneklerinde,
- Güvenlik, alarm ve İlkyardım alanında,
- Aydınlatma sistemlerinde,
- Sulama sistemlerinde,
- Toprak dezenfeksiyonunda,
- Metal sistemlerin (kuleler, köprüler vb.) aşınmaya karşı önleminde vb.

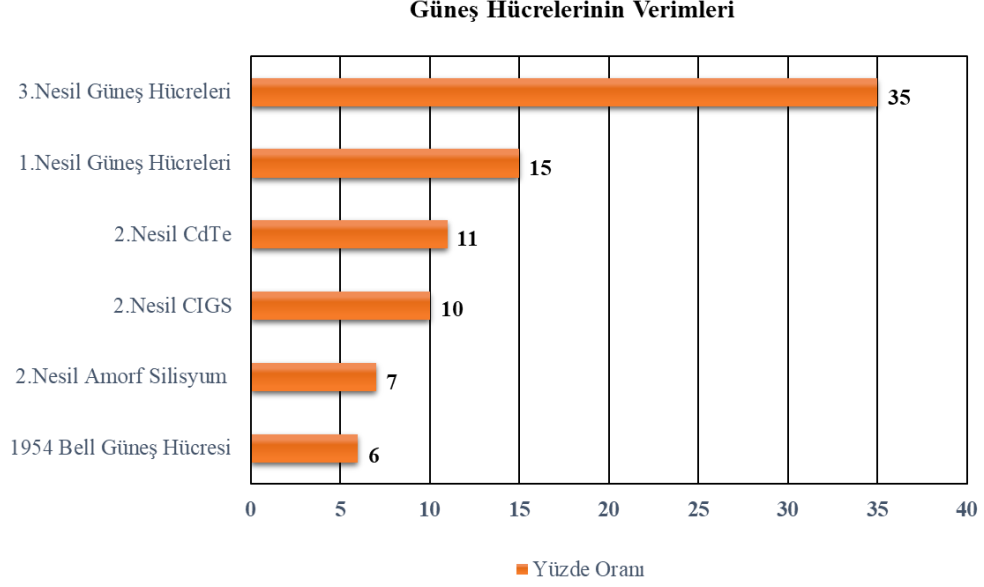
pek çok alanda faydalanılmaktadır [67].

3.7. Güneş Hücrelerinin Sınıflandırılması

Güneş hücrelerinin sınıflandırılmasına yönelik araştırmalar incelendiğinde bunlar çeşitli ölçütlere göre oluşturulmuştur. Güneş hücrelerinin optik parametreleri, kullanım alanları, teknolojik ilerleme kademeleri, hücre üretiminde kullanılan materyallerin cinsi vb. pek çok kriter altında gruplandırılmıştır. Güneş pillerinin teknolojik ilerleyişi bakımından gruplandırılması Şekil 3.11’de verilmiştir. Ayrıca şekil 3.12’de de güneş pillerinin verimleri verilmiştir [69].



Şekil 3.11. Nesilleri bakımından fotovoltaik sistemlerin gruplandırılması [70]



Şekil 3.12. Teknolojik kademelerine göre güneş pillerinin verimleri [71]

3.7.1. Birinci nesil fotovoltaik teknoloji

En eski üretilen güneş hücreleri bu gruptur. Galyum arsenit (GaAs) ile silisyum (Si) bu tür güneş hücrelerinin üretiminde en fazla yararlanılan materyallerdir. Verim olarak %20'leri aşmamalarına rağmen yapımındaki kolaylık ve maliyet bakımından piyasanın %86'sını oluşturur [72].

3.7.1.1. Kristal silisyum fotovoltaik hücreler

3.7.1.1.1. Monokristal güneş pilleri

Dünya da oksijenden sonra en fazla mevcut olan 2. element silikon olup genellikle, tabiatta silikatlar ile silisyum dioksit (SiO_2) şeklinde bulunur. Kuvars ve kum en çok bulunan biçimlerinden bazılarıdır. Yüksek dereceli kuvarsit yatakları neredeyse %99 katıksız silikat ihtiva etmesine rağmen kum genel itibarıyla silikon durumuna gelebilecek kadar saf değildir. Endüstriyel kullanımlarda faydalanılabilmesi için tabiatta mevcut olan SiO_2 ve diğer silikatların %98-%99 oranında çok kristalli silikonlara çevrilmesi lazımdır. Fakat PV kullanımları için çok kristalli silikon uygun değildir. Bundan ötürü çok kristalli duruma çevrilmiş silikon, Czochralski saflaştırma yöntemiyle tek kristalli duruma çevrilmektedir [73].

Czochralski saflaştırma yöntemi ile çok kristalli silikonun saflaştırılması çok fazla bir maliyete sebebiyet vermektedir. Fakat, ticari alanda %15-20 aralığındaki ve laboratuvar ortamında %24'lere varılan yüksek randıman, var olan hücre üretim

teknolojileri içerisinde monokristal PV hücrelerin en tercih edilir duruma gelmelerini sağlamaktadır. Şekil 3.13'te monokristallli bir fotovoltatik hücre verilmiştir [74].



Şekil 3.13. Monokristal bir fotovoltatik hücre [75]

Monokristal PV hücrenin yapısı, absorpsiyonu meydana getiren tabakanın yapısına göre farklılık gösterip, tek renkli ve koyu bir görünüşü vardır [74].

3.7.1.1.2. Polikristal güneş pilleri

Polikristalli materyalin damarların kristal yapılarının yönlenmeleri haricinde optik, yapıları ve elektriksel özellikleri aynıdır. Kristalin kalitesi damar büyüklüğüyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Elektriksel yük modifiyelerinin nakledilmesinde akım yolları (damar) arasındaki devamsızlık ciddi bir problemdir. Monokristal materyaller ile kıyaslandığında elektriksel özelliklerin küçülen damar büyüklüğü ile doğru orantılı olması randımanın daha az olmasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca yapımı kolay ve maliyeti daha ekonomiktir.

Çok kristalli silisyum güneş hücreleri dökme silisyum bloklardan dilim dilim edilerek elde edilir. Polikristal güneş hücrelerinin üretimi daha ekonomik olmasına rağmen verimleri daha düşüktür. Randımanları laboratuvar ortamında %18, ticari olarak ise yaklaşık %14'tür [76].

3.7.1.2. Galyum arsenit (GaAs)

Tabiatta galyum elementi silisyum elementi kadar çok olmamasından ötürü güneş hücresi malzemesi olarak silisyuma kıyasla daha az yararlanılmaktadır. Laboratuvar ortamında randımanı %25'i aşarken ticari olarak ise %22'dir. Başka yarı iletkenlerle beraber meydana getirilen çok eklemli GaAs hücrelerinde ise yaklaşık %30'luk bir randıman elde edilir. Yaygın olarak uzay kullanımları için yapılan optik

yoğunlaştırıcı sistemlerde ihtiyaç duyulur. Silisyuma kıyasla radyasyona ve sıcaklığa karşı daha sağlam oldukları için uzay kullanımlarında sıklıkla tercih edilir [77].

3.7.2. İnce film fotovoltaiik teknolojisi

3.7.2.1. İkinci nesil ince film fotovoltaiik hücreler

İnce film teknolojisi ile beraber güneş hücrelerin imal edilmesi daha ekonomik duruma gelmiştir. Daha ekonomik olmalarına rağmen verimleri yaklaşık %10 olduğu için çok tercih edilmemelerine sebebiyet vermiştir. Fakat araştırmacılar verimlerini yükseltmek için çeşitli çalışmalar sürdürmektedir. Atmosfer dışı randımanları yaklaşık %28-30 olduğundan dolayı uzay çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedir [72].

3.7.2.1.1. Amorf silisyum (a-Si)

Bugün itibarıyla artan enerji talebinin karşılanması için ince film silikon güneş pilleri önemli bir yer tutmaktadır. Hidrojen ilaveli amorf silikon (a-Si:H) güneş pilleri, n ile p tipi yarı iletkenler arasına yerleştirilerek fotonları soğuran ara bir tabaka şeklinde yararlanılmaktadır. a-Si:H güneş pillerinin randımanları, aşırı hata yoğunluğu, düşük hol hareketliliğinden ötürü temel dönüştürme verimliliği eşiğinin oldukça altında bir seviyededir. Verimi iyi olan a-Si:H güneş pilleri, %11'i aşan bir randımana ve %75'in üstünde bir dolum faktörü meydana getirirken, dolum faktörü ve nihayetinde verim ilk birkaç ayda karakteristik olarak %10-20 aralığında bir azalış gözlenir. Işığa bağlı olarak dejenerasyon bu güneş pilleri için tipiktir. Hesap makinesi gibi randımanın önemli olmadığı uygulamalar için silisyum ince film güneş pilleri tercih edilebilir. Silisyum ince film güneş pilleri özellikle esnek numunenin üstünde yapılırlar. a-Si:H; iyon demeti ile güçlendirilmiş buharlaşma, plazma spreyi, elektron siklotron rezonansı, plazma destekli kimyasal buhar biriktirme, yüksek basınç kimyasal buhar çökeltme, reaktif kimyasal buhar biriktirme, püskürtme vb. yollarla yapılırlar [78].

3.7.2.1.2. Kadmiyum tellür (CdTe)

Kadmiyum tellür (CdTe), güneş pili teknolojisinde bu materyal ideal bant aralığına ve büyük soğurma katsayısına sahiptir. Bu malzeme fotovoltaiik teknolojisine ilerde umut vadetmektedir. %15'i aşkın randımana sahiptir. Bu materyallerden meydana gelen güneş hücrelerinin verimi %9'dan daha yüksektir. Bu materyalden imal edilmiş güneş pilleri diğer ince film güneş pili teknolojilerine göre daha geniş ölçekte uygulanıp güneşi daha rahatlıkla depolayabilmektedir. Kadmiyum tellür (CdTe), periyodik tablonun 2. ve 6. grup elementlerinin birleşmesiyle meydana gelen yarı iletken bir

materyaldir. CdTe 1,45 eV yasak enerji band aralığında yer almaktadır. CdTe'nin band aralığı güneş pillerinden elektrik enerjisi oluşturmak için elverişlidir [79].

3.7.2.1.3. Bakır indiyum galyum selenoid (CIGS)

CuInSe₂ (CIS)'in bant aralığı 1,04 eV ve p tipi yarı iletken bir malzemedir. İlk CuInSe₂/CdS ince film güneş pili, %4-5'lik bir randımanla 1976'da yapılmıştır. Birkaç sene içinde birlikte buharlaştırma yöntemi ile CIS güneş pili %11,2'lik bir verim ile Boeing tarafından yapılmıştır. CIS ve Ga alaşımı ile CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ (CIGS) malzemesi teknolojinin ilerlemesiyle beraber daha ince CdS tabakası elde edilerek verimde kayda değer bir yükseliş olmuştur. Bugün itibarıyla elde edilen en iyi randıman %22,8'dir [80].

CIGS malzemesinin soğurma katsayısı 10⁵ cm⁻¹ bant aralığı ise 1-1,12 eV'dir. Soğurma katsayısı fazla olduğundan dolayı yararlanılan materyaller daha ekonomik kullanılabilir. Bant aralığı 2,4 eV olan CdS ulaşan ışık arasından enerjisi 2,4 eV ve daha büyük enerjili fotonları soğurur, 2,4 eV 'dan daha az olan enerjili fotonlar CIGS katmanına aktarılır. 1-2,4 eV aralığı değerindeki fotonlar CIGS malzemesinde eksiton meydana getirirler. Meydana gelen toplam eksiton p tipi CIGS/n tipi CdS eklemesinde ortaya çıkan elektrik alan aracılığıyla birbirinden koparak pilin iki ucu arasında bir potansiyel fark meydana getirirler [80].

3.7.2.1.4. Bakır-çinko-kalay-sülfür (CZTS)

CZTS güneş hücreleri kristalografik ve opto-elektronik özelliklerinin yanısıra üretim metotlarıyla da CIGS güneş hücreleriyle hemen hemen aynıdır. Ama CIGS güneş hücrelerinin verimleri ile karşılaştırıldığında, CZTS güneş hücreleri %10'luk laboratuvar randımanları ile CIGS güneş hücrelerinin neredeyse yarısı kadardır. Silikon kökenli güneş hücrelerine göre daha düşük randımanlı olmalarına karşın, faydalanılan materyallerinin tabiatda daha fazla yer alıyor olması ve daha ekonomik olmaları ince film teknolojisini daha üstün hale getiren özelliklerindendir [77].

3.7.2.2. Üçüncü nesil ince film fotovoltaiik hücreler

Günümüz itibarıyla inorganik materyallerle oluşturulan güneş hücrelerinin kaynak problemlerinin ortaya çıkması, esnek yapıda olmamaları, pahalı olmaları, uygulama alanlarının çok kısıtlı olması vb. nedenlerden ötürü bilim insanları değişik materyal bulma araştırmalarına yönelmiştir. Yapılan bu araştırmalar neticesinde;

ekonomik olması, iletkenliğinin ve moleköl ağırlığının oldukça yüksek olması gibi üstünlüklerinden ötürü, bilim insanlarının organik moleküllerle ilgilenmelerini sağlamıştır. Yarı iletken polimerlerle hazırlanan organik güneş hücreleri, iletken polimerlerin bulunmasından ve ilettilmesinden sonra bilim insanlarının yöneldiği önemli bir inceleme alanı haline gelmiştir [77].

3.7.2.2.1. Boya duyarlı güneş pilleri

Oldukça pahalı olan silikon güneş pillerine kıyasla, boya duyarlı güneş pilleri ekonomik materyal kullanılması ve kolay yapım metotlarıyla ilgi çekmiştir. Boya duyarlı güneş pilleri (DSSC), üçüncü nesil güneş pilleri grubunda kabul edilir [40].

DSSC'lerin randımanı, ince film güneş pilleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek, kristal güneş pillerinden ise daha düşüktür. 1991 senesinde ilk boya duyarlı güneş pili Gratzel ve O. Regan ve tarafından yapılmıştır. 1991 senesinde DSSC'lerin randımanı %7,1'lerde seyrederken, sıkı araştırmalar neticesinde 2014 senesinde ticari olarak %13 lük randımana ulaşmıştır [27].

DSSC'lerin içeriğinde 3 ana yapı yer almaktadır. Bunlardan ilki olan fotoanot, şeffaf iletken oksit (TCO) üstüne TiO_2 tabakası ve TiO_2 tarafından absorbe edilen boyadan meydana gelmektedir. ZnO da TiO_2 'nin yerine kullanılabilir. İkincisi iyot bazlı elektrolit ve üçüncü bileşen ise platin kaplı TCO'dur [81].

TiO_2 en fazla yararlanılan yarı iletken olup pek çok üstünlüğü vardır. Rahatça erişilebilirliği, ekonomik oluşu, toksik olmayışı ve biyolojik olarak uygun bir malzeme olması bu üstünlüklerinden birkaçıdır. DSSC'ler de elektrik üretimi esnasında ilk olarak boya tarafından bir foton soğrulur ve bir elektron-hol çifti meydana gelir. Uyarılan bu elektron TiO_2 katmanına, ondan sonra TCO ya aktarılır. TiO_2 de azalan elektron iyot tarafından karşılanır. Neticede fotoanot ve platin kaplı karşıt elektrot arasında bir potansiyel farkı meydana gelir. Bu da dış devrede bir akım oluşturur [81].

3.7.2.2.2. Organik güneş pilleri

Bu güneş pilleri organik bazlı materyallerin iki elektrot arasına konulmasıyla meydana gelir. Organik güneş pillerinde organik temelli materyal olarak yarı iletken polimerlerden yararlanılmıştır. Bu organik moleküller iletken olduğundan arzu edilen özelliğe göre ekonomik olması, rahatlıkla değiştirilebilir olması, hafif olmaları ve rahatlıkla yapılabilmesi gibi üstünlüklerinin olması onlara olan ilgiyi arttırmıştır [82].

İnorganiklerin çeşitliliği daha az iken organik moleküllerin miktarının milyonlar

seviyesinde olması bu materyalden meydana gelebilecek cihazların kararlılığını ve randımanını yükseltme olanağı tanır. Rezerv problemi olmamasından dolayı, organik materyaller bu tarz çalışmalar için çok detaylı olarak incelenmiştir. En çok uygulanan cihaz biçimi, biri verici (akseptör, n) diğeri alıcı (donör, p) materyallerin birleşerek oluşturulan p-n eklem biçimidir. Organik güneş pillerinde yararlanılan materyallerin kimyasal yapılarının rahatlıkla farklılaşabiliyor olması da üstünlüklerinden biridir. Organik materyallerde olan bu özellik yararlanılacak materyallerin absorpsiyon aralığı güneş spektrumuna elverişli duruma getirilerek, daha çok foton enerjisi absorpsiyonu sağlamıştır. Ama randımanları anorganik materyallerin yararlanıldığı güneş pillerine göre daha azdır. Ayrıca organik güneş pillerinin randımanlarının az olmasının yanında kararlılık problemleri de vardır. Yani ışık, oksijen ve su buharı maruz kalan organik güneş pillerinin randımanları hızlıca azalmaktadır [83]. Düşük olan randımanın iki tabakalı güneş pillerinde meydana gelen elektron-boşluk çiftlerinin kopmasının yalnızca tabakaların ara yüzeyinde oluştuğunun göstergesidir. Yani ara yüzeylerde elektron-boşluk çiftlerinin istenilen seviyede kopamamasıdır [84]. Güneş ışığının absorbe edilmesiyle ortaya çıkan eksitonlar, yük taşıyıcıların meydana gelmesini sağlar. Organik güneş pillerinde fotoakımın meydana gelebilmesi için eksitonların pozitif bir şekilde nakledilmesi lazım. Organik güneş pillerinde yaşam süreleri uzun olan eksitonlar fotoakıma katkıda bulunurlar. Organik güneş pillerinde kalıcı olabilen eksitonlar fotoakıma destek verirler. Organik güneş pillerinde hacimli heteroeklem ve tabakalı heteroeklem olarak isimlendirilen 2 metot yardımıyla ışığın aktif katmanda emilimi arttırılır. Bu organik güneş pillerinde akseptör ve donör gibi 2 değişik materyal elverişli olan çözücü yardımıyla karışım durumunda olmaktadır ve bundan ötürü yük ayrımı en yüksek kademelere ulaşır.

Uyumlu çözücülerden faydalanma haricinde güneş pillerine sıcaklık uygulanması da kayda değer bir faktördür. Fakat bu işlemler materyale göre farklılıklar gösterir. Ama aktif katman şeklinde yararlanılan filmlerin kusursuz şekilde olması için materyallerle katkılanması lazım. Organik materyallerin tüm bu hususlar göz önünde bulundurularak güneş pilleri için elverişli duruma dönüştürülmesi gerekir. Bundan dolayı organik güneş pillerinde güç dönüşüm randımanını yükseltmek için çeşitli polimerlerin yapımına odaklanılmıştır [85]. Polimer yapım teknolojisi bu uğraşlar neticesinde gelişme kat etmiştir. Ekonomik oldukları için ve ince film meydana getirebildiklerinden ötürü iletken polimerlerin yararlanma alanları gün geçtikçe artmaktadır. Yararlanılan alanlarına; yarı iletkenler, alan etkili transistörler (FET),

entegre devreler, organik fotovoltaiikler (OPV), çipler, fotodiyot teknolojisi, sensörler, lazer teknolojisi, bilgisayar vb. Çeşitli teknolojik cihazlar örnek olarak gösterilebilir [86].

3.7.2.2.3. Kuantum güneş hücreleri (QD)

Kuantum noktalı güneş pilleri teknolojisinde bulunan kristal yarı iletkenlerin büyüklüğü nanometre değerinde olup çeşitli metotlarla yapılabilmektedir. Kuantum güneş hücrelerinde kuantum noktaları basit bir çapı olup, ışığın absorbe olmasına imkân tanımaktadır. Bu güneş hücrelerinde var olan kuantum noktaları yapay atom olarak misyon taşımaktadır. Bu noktalar üç boyutlu sınırlama yaratarak taşıyıcıların denetlenmesine imkân tanımaktadır. Bu kuantum noktaları elektronlar için üç boyutlu engel işlevi görmektedir. Bu hücrelerin yasak enerji band seviyeleri farklılaşabilir. Teorikte verimi %63 olarak beklenmektedir. Kuantum noktalı güneş pillerinin randımanını yükseltmek için noktalar birleştirilerek absorbesi yükseltilebilir. Bu teknikle akım salındığında çok eklemli güneş pillerine kıyasla daha fazla bir randıman olur [79].

3.7.2.2.4. Perovskite

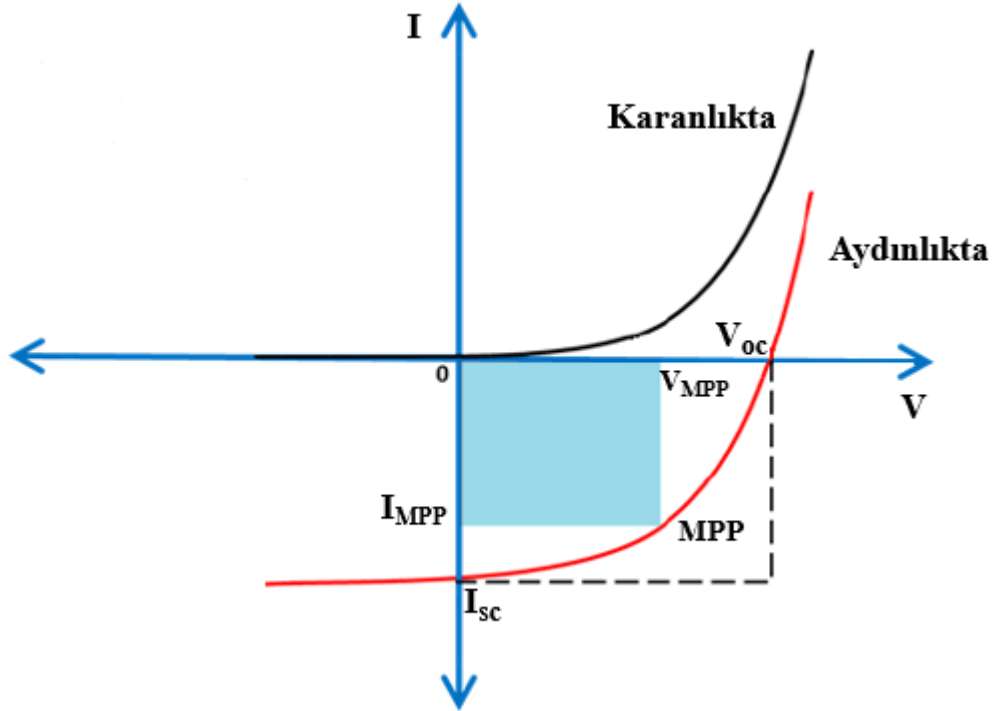
Kristal silikon güneş pillerinden piyasa payı için yarışabilmek için; alternatif teknolojilerin, ucuz maliyetli olması, yüksek randıman ve kusursuz stabilite gibi özelliklere barındırması gerekir. Dünya çapındaki artan inceleme gayretlerinin neticesinde, perovskite bazlı güneş hücrelerinin randımanları diğer fotovoltaiik teknolojilerine göre daha avantajlı hale gelmiştir. Buna ilaveten ucuz imal giderleri, kolay yapım metotları gibi özellikleri ile piyasada ağırlığı olan silikon teknolojileri ile yakın bir zamanda yarışabilecek seviyeye ulaşacağı tahmin edilmektedir. 1839’da “perovskite” tabiri, Alman mineralog Gustav Rose tarafından bulunup ve Rus mineralog Lev Perovsk’un onuruna isimlendirilen kalsiyum titanatın (CaTiO_3) kristal yapısını açıklar. Optoelektronik alanında, perovksitler ABX_3 formülü ile bilinen bir grup materyal olup, burada A; bir organik katyon (CH_3NH_3^+ veya $\text{NH}_2\text{CH}_3\text{NH}_2^+$), B; iki değerli bir metal katyonu (Pb^{+2} veya Sn^{+2}) ve X ise halojenür anyonudur (I^- , Br^- veya Cl^-) [87].

Perovskite güneş pillerini DSSC’lerden ayıran bir özelliği güneş ışınlarını soğuran malzeme olarak perovksitten yararlanılmaktadır. Bunun haricinde; DSSC’lerden ayıran en önemli özelliği, hol taşıyıcı katman olarak elektrolit yerine katı

hal hol taşıyıcı katmandan (HTM-Spiro-Ometad) yararlanılmaktadır. DSSC'lerdeki gibi elektron taşıyıcı katman olarak da genel itibarıyla (ETM) TiO_2 'den yararlanılır. Foton güneş piline ulaştığında perovskite tarafından soğrularak elektron-hol çifti meydana getirilir. Hol, hol taşıyıcı katmana, elektron ise elektron taşıyıcı katmana doğru ilerleyerek dış devrede bir akım meydana getirirler [87].

3.8. Güneş Pillerinin Karakteristiği

Güneş pillerinin güç çevirim randımanı, güneşten ulaşan ışığa emsal bir ışığa maruz kalan akım-gerilim (I-V) eğrisiyle karakterize edilir [88]. Akım-gerilim eğrisiyle hem güneş pillerinin randımanı hem de kısa devre akımı (I_{sc}), dolum faktörü (FF), maksimum güç noktası (MPP) ve açık devre gerilimi (V_{oc}) gibi güneş pilinin karakteristiklerine ilişkin kayda değer bilgilere ulaşmamızı sağlayan parametreleri de açıklamaktadır. Şekil 3.14'te ışığa maruz kalmış ve karanlıkta güneş hücrelerinin karakteristik I-V eğrisi verilmiştir. Bu eğriden saptanan parametreler birbiriyle alakalıdır. Şekilde verilen küçük dikdörtgenin büyük dikdörtgene oranı dolum faktörünü verir [89].



Şekil 3.14. Bir güneş hücresinin aydınlık ve karanlıktaki I-V karakteristiği [90]

Burada; V_{MPP} maksimum gerilim noktası (V) ve I_{MPP} maksimum akım noktasıdır (A).

a) Güç dönüşüm verimi

Güneş pilinin güç dönüşüm verimi η simgesiyle ifade edilir ve güneş piline uygulanan güneş ışığının gücü ile pilin çıkış gücünün birbirine oranı olarak açıklanır. Yani açık devre gerilimi; kısa devre akımı ve dolum faktörünün çarpımı yani pilden çıkan toplam gücün pile gelen ışığının gücüne oranıyla bulunur. Bu yüzden verim [89].

$$\eta = \frac{P_{Çıkış}}{P_{Giren}} = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{P_{Giren}} 100 \quad (3.1)$$

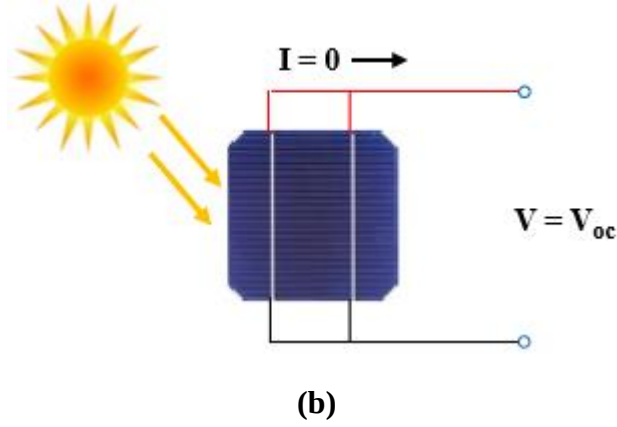
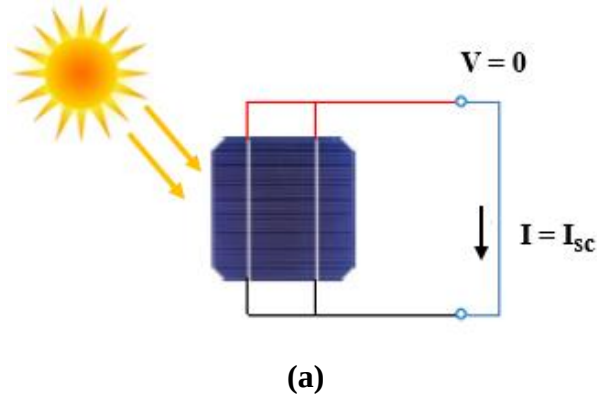
Burada; $P_{Çıkış}$ güneş pilinin çıkış gücü (W), P_{Giren} güneş piline uygulanan güneş ışığının gücü (W), I_{sc} kısa devre akımı (A), V_{oc} açık devre gerilimi (V) ve FF ise dolum faktörüdür.

b) Kısa devre akımı (I_{sc})

Üst ve alt katmanlara, direnci sıfır olan ya da sıfıra çok yakın bir tel ile bağlandığında elektronlar telin içinden akacak ve alt kısımdaki boşluklarla birleşecektir. Şekil 3.15'te (a)'da kısa devre akımı verilmiştir. Ampermetrenin iç direnci çok küçük olduğundan genellikle hücrenin iki kutup noktası arasına bağlanmaktadır.

c) Açık devre gerilimi (V_{oc})

Yüksüz haldeki PV sistemin eksi (-) ve artı (+) uçları arasındaki gerilim farkını ifade etmektedir. Şekil 3.15'te (b)'de açık devre voltajı verilmiştir. Ölçü aleti DCV kademesine alınarak paralel olarak bağlanır. Açık devre gerilim değeri; hücrenin ışınım şiddetine, imal edildiği materyale göre farklılık yaratabilir.



Şekil 3.15. PV pilinin (a) kısa devre akımı b) açık devre voltajı [48]

d) Maksimum akım değeri (I_m)

PV sistemin yük altında ulaşılan en büyük akım değeridir.

e) Maksimum gerilim değeri (V_m)

PV sistemin yük altında ulaşılan en büyük gerilim değeridir.

f) Maksimum güç noktası (maximum power point – MPP – $P_{mak.}$)

Hücre/modülün en büyük güçte çalıştığı yerdir. Yük direnci altında PV sistemden elde edilen en büyük gerilim ve akım değerlerinin çarpımına eşittir [48].

g) Dolum faktörü (FF)

Dolum faktörü, güneş pillerinin seri direnci ve organik tabakalardaki yük taşıyıcıların dinamikliğiyle saptanır. Güneş pillerinin kalitesinin bir ölçüsü dolum faktörüne bağlıdır. Dolum faktörü değeri organik güneş pillerinde takriben 0,55-0,7 değerleri aralığındadır. Dolum faktörü, açık devre gerilimi, kısa devre voltajı ve maksimum gerilim-akımın oranına doğrudan ilişkilidir [88].

Dolayısıyla Dolum faktörü [48];

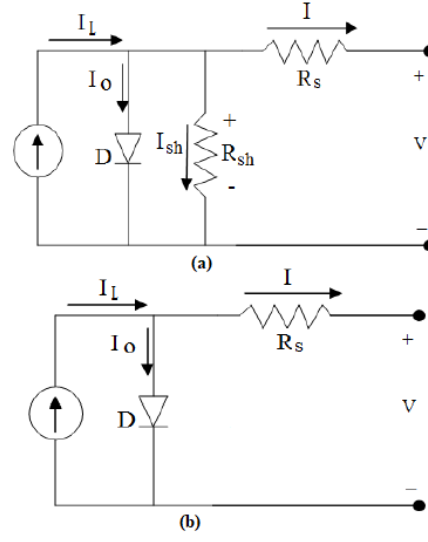
$$FF = \frac{V_{mak} I_{mak}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_{mak}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.2)$$

Burada; V_{mak} maksimum gerilim değeri (V), I_{mak} maksimum akım değeri (A), P_{mak} maksimum güç değeridir (W).

Bu değerin 1 çıkması yalnızca teoride olabilir. Bundan dolayı 0.8 ve üzerindeki durumlarda FF için iyi bir sonuç şeklinde görülür. Oluşturulan güneş pilleri ideal diyot karakteristiğine ne kadar çok yaklaşırsa dolum faktöründe o kadar fazla olur. Böylelikle dolum faktörü ne kadar yüksekse meydana gelen güneş hücrelerinin randımanı da o kadar yüksek olur. Güneş pilleri oluşturulmasında yararlanılan materyallerin kontak halinde meydana getirdiği iç direnç ve paralel direncin dolum faktörüne kayda değer bir etkisi vardır. Oluşturulan güneş hücrelerinde akımın aygıt üzerinden akması için paralel direnç yüksek olmalıdır. Güneş hücrelerinin randımanı dolum faktörü ile doğru orantılıdır [88].

3.9. Bir Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi

Lorenzo tarafından güneş pilinin eşdeğer devre modeli 1994 senesinde bitirilmiştir [91]. Model bir akım kaynağı ve bununla ilişkili olan bir diyottan meydana gelmektedir. Burada diyota paralel bağlı (R_{sh}) direnci toprağa olan kaçak akımlardan oluşan kayıpları açıklar ve oldukça düşük olduğundan genellikle göz ardı edilir. Seri direnç (R_s) ise akım akışından meydana gelen güneş pilinin iç kayıplarını açıklamaktadır ve maksimum güç oluşumu için düşük olması gerekmektedir. Güneş hücresinin eşdeğer devre modeli Şekil 3.16'(a) da basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli de Şekil 3.16'(b) de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. (a) Güneş hücresi eşdeğer devre modeli, (b) Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli [92]

Burada; I_L güneş pili akımı (A), I toplam modül akımı (A) ve I_o da diyot akımıdır (A).

4. NANOAKIŞKANLAR

Taşıyım ile ısı transferinin endüstriyel soğutma ve ısıtma sistemleri için kayda değer bir önemi vardır. Bu ısı geçiş düzeneklerinde akış türü, sınır şartları veya akışkanın termofiziksel özelliklerinin farklılaştırılması, başka bir deyişle pasif metotlardan yararlanarak oluşan ısı transferini iyileştirmek muhtemeldir. Bu durumda, özellikle yakın zamanda yapılan ısı transferi iyileştirme araştırmalarında katı durumdaki parçacıkların (genel itibarıyla metal oksitlerin) geleneksel akışkanlara katılarak akışkanın ısıl iletkenliği arttırılır. Mikron boyuttaki katı partiküllerin akışkana ilave edilmesiyle ısı transferinin arttırılmasına dönük araştırmalar çok önemli neticeler ortaya çıkarmasına rağmen parçacıklar hızla çökerek yararlanıldığı sistemlerde, düzeneklerin tıkanmasına sebebiyet vermektedir. İlk etapta kısıtlı yapım metotlarından dolayı mikron büyüklüğünde materyal yapılabilmesine rağmen, bugünkü ilerleme ile beraber materyal büyüklükleri rahatlıkla nano ölçeklere indirgenebilmektedir. Nano boyuta düşürülebilen bu katı partiküllerin etil alkol, saf su ve farklı yağlar gibi iş akışkanı şeklinde yararlanılabilecek akışkanlarla (temel akışkan) homojen şekilde hazırlanmasıyla nanoakışkan olarak ifade edilen süspansiyonlar oluşmaktadır. Sadece süspansiyon çözeltideki nanopartiküllerin asılı kalma zamanını ertelemek değil aynı zamanda akışkanın yüzey gerilimini düşürmek ve çökelen parçacıkların tekrar bir araya gelmesini önlemek amacıyla hazırlanan bu süspansiyon içerisine genel olarak yüzey aktif maddeleri de ilave edilmektedir. Yararlanılan temel akışkan cinsi ve çalışma koşulları hesaba katılarak kullanılması elverişli olan yüzey aktif maddenin de belli bir konsantrasyon oranında karışım içerisine ilave edilmesi gerekmektedir [93]. Yüzey aktifleştirici maddeler nanoparçacıkların yüzeylerini özdeş elektriksel yüklerle yükleyerek birleşmelerini önlemektedirler. Nanoakışkanlardan faydalanan temel yüzey aktifleştiriciler; sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS), akasya sakızı, sodyum dodesil sülfat (SDS), nanospere AQ, hegzadesiltrimetil amonyum bromit (CTAB) ve setil trimetil amonyum klorid (CTAC)'dir [94].

Nanoteknoloji kavramı, kullanıldığı alana göre bazen değişik biçimlerde açıklansa da genelde 100 nm'den daha küçük nanometrik boyutlarda materyallerin algılanması, denetimli ve temelde yeni fonksiyonlar ve özellikler vermek amacıyla yeniden imal edilmesi şeklinde ifade edilmektedir [95].

Yunanca'da nano ön eki nanos yani cüceler sözcüğüne dayanmaktadır ve bilimsel literatürde oldukça küçük olan şeyleri ifade etmek için kullanılır. Matematik dili olarak nano, bir büyüklüğün bir milyarda birini ifade etmektedir. Mesela; 1 nano saniye 1 saniyenin 1 milyarda biri ve 1 nanometre 1 metrenin 1 milyarda biridir. Bu büyüklük neredeyse 10 tane su molekülünün ya da 6 tane karbon atomunun büyüklüğüne denk gelmektedir [96].

Bütün bilim dallarını içeren nanoteknoloji, sistemlerin ve yapıların nano ölçekteki kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri atomik, bireysel ve moleküler etkileşimlerden ötürü makro ölçekteki emsallerinden oldukça farklıdır. Bu değişiklikler, bu boyuttaki materyallere benzersiz özellikler katar. Parçacığın boyutu nanometrik değerlere doğru azaldıkça, yüzey/hacim oranında oldukça büyük bir yükseliş olur ve bu da parçacığın reaktifliğini, yani kimyasal tepkimelere girme yatkınlığını yükselterek elektriksel, mekanik ve optik özelliklerini başkalaştırır [97].

Nanoakışkanların ısı transferini düzeltmesinin ana nedenleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [93].

- Temel akışkan içine ilave edilen nano boyuttaki katı partiküller akışkanın ısı iletim katsayısını yükseltir bu yüzden katıların ısı iletim katsayıları sıvılarla kıyaslandığında daha yüksektir.
- Akışkanın sahip olduğu özgül ısı ve etkin ısı transfer alanı, içerisine nanopartiküllerin ilave edilmesiyle yükselir.
- Akışkan içine ilave edilen nanopartiküllerin birbirleriyle olan çarpışmaları ve etkileşimleri neticesinde türbülansla rastlanan yükselişe ilave olarak akışkan akımı ile akışkan yüzeyi arasındaki yüzey temas alanlarının sayısı yükselir.

Hem nanoparçacık hem de temel akışkan çeşitliliği oldukça yüksektir. Nanoparçacık cinsine göre nanoakışkanlar 4 sınıfa ayrılır.

1. Seramik Nanoakışkanlar: TiO_2 , Fe_2O_3 , SiC , WO_3 , Al_2O_3 , Fe_3O_4 , CeO_2 , SiO_2 , ZnO_2 , CuO
2. Saf metal: Fe, Ag, Ni, Au, Cu
3. Alaşım: Al-Cu, Ag-Cu, Ag-Al
4. Karbon esaslı: Grafit, Karbon Nano Tüp, Elmas,

Yukarıdaki çeşitli nanoparçacıklar değişik temel akışkanlar ile bir araya gelerek çok farklı nanoakışkanlar meydana getirilir [98]. Tablo 4.1'de Nanoparçacıkların ısı

iletkenlik özellikleri gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 4.2’de ise ısı transferi iş akışkanı olarak kullanılan sıvıların ısı iletkenlik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Nanoparçacıkların ısı iletkenlik özellikleri [99]

Partikül	Isıl İletkenlik [W/mK]
Al ₂ O ₃	40
CuO	76,5
Fe ₂ O ₃	6
MgO	54,9
SiO ₂	1,34-1,38
TiO ₂	21,9
ZnO	29
Ag	429
Al	238-273
Au	310
Cu	401
Fe	75-80
SiC	490

Tablo 4.2. Isı transferi iş akışkanı olarak kullanılan sıvıların ısı iletkenlik özellikleri [99]

Sıvı	Isıl İletkenlik [W/mK]
Etilen glikol	0,257
Motor yağı	0,139 – 0,146
Etanol	0,161 – 0,171
Gliserol	0,285
Kerosen	0,145 – 0,168
Toluen	0,133
Su	0,608

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere bilinen ısı geçişi elde eden akışkanlar arasında yer alan etilen glikol, yağ, su gibi akışkanlar ısı geçiş katsayısı az olan akışkanlardır. Bundan dolayı birtakım metotlarla bu akışkanlara eklenen nano/mikro veya daha büyük parçacıklarla ısı geçişinde düzelme sağlayabilen süspansiyonlar meydana getirilebilmektedir. Nano parçacıklar büyük ısı iletimine sahip olan Ag (Gümüş), Cu (Bakır), Au (Altın) gibi metal veya TiO₂ (Titanyum oksit) Al₂O₃ (Alüminyum oksit), CuO (Bakır oksit), SiO₂ (Silisyum oksit) ve Al₂O₃ (Alüminyum oksit) oksit bileşikler gibi farklı elementlerden meydana gelmektedirler. Düşük derişimlerde elde edilen süspansiyonlarda bile ısı geçiş katsayısını kayda değer biçimde yükseltirler [100].

4.1. Nanopartikül Üretimi

Nanoparçacıkların yapımı kimyasal işlem ve fiziksel işlem şeklinde 2 temel sınıfa ayrılabilir. Mekanik aşındırma ve soy gaz yoğunlaştırma fiziksel metotlar kapsamında uygulanan yöntemlerdendir. Mikro emülsiyon, sprey piroliz, kimyasal buhar çökeltme, ısı sprey ve kimyasal çökeltme ise kimyasal metotlardandır. Nano ölçekli materyaller çoğunlukla toz halinde yapılır ve nanoakışkan yapımında toz formunda sulu ya da organik temel akışkanlara eklenirler.

4.2. Nanoakışkanın Hazırlanması

Nanoakışkanları hazırlamak için 2 temel metottan yararlanılmaktadır. Bu metotlar, iki aşamalı ve tek aşamalı metotlardır. Nanoparçacıklar tek aşamalı metotta yapılırken eş zamanlı şekilde de temel akışkanın içerisine dağıtılırlar. İki aşamalı metot da ise evvelce yapılan nanoparçacıklar, toz şeklinde temel akışkan içerisine sonradan eklenirler. Tek aşamalı metot iki aşamalı metotla karşılaştırıldığında daha az tercih edilmektedir. İki aşamalı metot da nanoparçacıkların temel akışkan içerisinde homojen şekilde karışımını elde etmek, çökmesini önlemek ve kararlılığını yükseltmek maksadıyla toz şeklinde olan nanoparçacıkların temel akışkan içerisine eklenmesinin ardından nanoakışkan ultrasonikasyon cihazları ve manyetik karıştırıcıdan yararlanılarak karıştırma işlemine maruz bırakılır.

İki aşamalı metotta toz şeklinde akışkanın içerisine eklenen nanoparçacıklar aralarındaki güçlü Van Der Waals kuvvetlerinden ötürü topaklanmalar oluşur. Topaklanmalardan ötürü yığın şekline dönüşen nanoparçacıklar akışkan içerisinde çökmeye başlar. Akışkan içerisinde homojen bir karışım oluşmadığından da akışkanın ısı özelliklerinde herhangi bir farklılık oluşmaz. Akışkanın ısı özelliklerinin düzeltilebilmesi nanoparçacıkların temel akışkan içerisinde olabildiğince homojen şekilde olmaları ve topaklanma meydana getirmemesi gerekmektedir.

İki aşamalı metot oksit nanoparçacığı içeren nanoakışkanların hazırlanması için uygun olmalarına rağmen, metal nanoparçacığı ihtiva eden nanoakışkanların yapımında tesirli değildir. Büyük ısı iletkenliği olan metal nanoparçacıkları içeren nanoakışkanlar için, iki aşamalı yöntemle kıyasla tek aşamalı yöntem daha üstündür [94]. Buna ilaveten, tek aşamalı yöntem iki aşamalı metota göre daha ekonomik ve daha hızlıdır [101].

4.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Bir materyalin kendine özgü ısı karakteristikleri (viskozite, yoğunluk vb.) ile termodinamik durum değişimlerini barındıran (özellik hacim, basınç sıcaklık vb.), ısı depolanması ve ısı transferiyle alakalı özellikleri termofiziksel özellikler şeklinde ifade edilirler. Temel akışkan içine ilave edilen nano ölçekteki partiküller akışkanın özgül ısı, yoğunluk, ısı iletkenlik (ısı iletim katsayısı) ve viskozite gibi özelliklerinin yükselmesine ve bununla beraber akışkanın yararlanıldığı sistemlerde de ısı performansın düzelmesini sağlamaktadır. Buna ilave olarak yararlanılan nanopartiküllerin fiziksel özellikleri (tür, şekil, büyüklük vb.) konsantrasyon, çalışma sıcaklığı ve temel akışkanın cinsi de nanoakışkan çözeltisinin termofiziksel özelliklerine kayda değer bir şekilde tesir etmektedir. Nanoakışkanın termofiziksel özelliklerinde gözlemlenen farklılıklar her bir özellik türü için aşağıda ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

4.3.1. Isı iletim katsayısı

Katıların sıvılara kıyasla, daha büyük ısı iletim katsayıları oldukları için temel akışkan içerisine süspanse edilen nanopartiküller akışkanın ısı iletim katsayısının yükselmesini sağlarlar. Yapılan araştırmalar neticesinde ısı iletim katsayısındaki bu yükselişin nanopartiküllerin yüzeylerinde bir nanotabanın meydana gelmesi ve bu tabaka vasıtasıyla katı ile sıvı arasında meydana gelen ısı köprüsünden dolayı olduğunu ispatlamıştır [102]. Bunun yanı sıra temel akışkanının ısı iletim katsayısının da yapılan nanoakışkan çözeltisinin ısı iletim katsayısı üstünde tesiri vardır. Temel akışkanın ısı iletim katsayısı ne kadar büyükse yapılan nanoakışkan çözeltisinin ısı iletim katsayısı da o kadar büyük olur. Nanopartiküllerin konsantrasyonu (akışkanının içindeki nanopartikül ölçüsü) nanoakışkan çözeltisinin ısı iletim katsayısına direkt tesir etmektedir. Fakat yüksek konsantrasyonda yapılan nanoakışkan çözeltilerinde tortulaşma ve çökme oluşumu gibi sorunlara sebebiyet vermektedir. Yararlanılan nanopartikül cinsi de yapılacak nanoakışkan çözeltisinin ısı iletim katsayısına kayda değer şekilde tesir eder. Çünkü katıların ısı iletim katsayıları büyük olsalar bile seramik bir materyalin ısı iletim katsayısı bir metalik materyal ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Nanopartiküllerin şeklinin küresel ya da silindirik halde olmasının da ısı iletim katsayısı üstünde küçük de olsa bir tesiri vardır [103]. Düşük boyutlu nanopartiküllerden yararlanılarak oluşturulan nanoakışkanların ısı iletim katsayıları bu

nanopartiküllerin akışkan içinde kolaylıkla hareket becerileri yüksek olduğu için daha büyük boyutlarda nanoparçacıklar ile meydana getirilen nanoakışkan çözeltilerine göre daha büyük olabilmektedir.

4.3.2. Özgül ısı

Bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1°C yükseltmek için o maddeye verilmesi gereken ısı enerjisi miktarı olarak ifade edilen özgül ısı, ısı sistemlerinde yararlanılan iş akışkanının tercih edilmesinde kayda değer bir parametredir. Nanoakışkan çözeltisinin özgül ısı kapasitesi yararlanılacak temel akışkanın konsantrasyonuna, akışkan cinsine ve nanopartikül cinsine göre değişmektedir. Buna rağmen yürütülen araştırmalar sonucunda nanopartikül boyutunun ve şeklinin yapılacak nanoakışkanın özgül ısı özelliği üstünde tesiri olmadığı saptanmıştır [104].

4.3.3. Viskozite

Özellikle akışkan akışının olduğu yapılar için çok önemli olan viskozite, yararlanılacak pompa türü, aşınma ve sistemdeki basınç düşüşü ile alakalı parametreler üstünde belirleyici rolü vardır. Yapısında nanopartiküller olan akışkanlar ele alındığında bu parçacıkların viskozite üstünde nasıl bir tesirinin olduğunun tespit edilmesi lazımdır. Yapılan araştırmalar nanoakışkan yapılırken yararlanılan nanopartiküllerin konsantrasyonunun, türünün, şeklinin ve boyutlarının çözeltinin viskozitesinde farklılık meydana getirdiği saptanmıştır. Bu parametreler içinde en yüksek tesir eden konsantrasyon oranıdır. Çünkü akışkan içindeki katı partikül miktarının düşük ya da yüksek olması akışkan akışına direkt tesir etmektedir. Yani konsantrasyon oranının yükselmesiyle nanoakışkan çözeltisinin viskozitesi de yükselmektedir [105]. Aynı şekilde, nanopartiküllerin boyut ile şekillerinin de viskoziteye kayda değer bir tesiri vardır. Aynı konsantrasyon oranı için nanopartikül boyutları değişik olan 2 nanoakışkan çözeltisi karşılaştırıldığında büyük boyutlarda nanopartiküller ihtiva eden nanoakışkanın viskozitesi daha yüksek olacaktır. Bunun sebebi küçük tanecik boyutu olan katıların sıvı akışkan ile benzeşen özellikler göstermesidir [106].

4.3.4. Yoğunluk

Yoğunluk, nanoakışkan çözeltileri için başka bir termofiziksel özelliktir ve en fazla nanoparçacıkların derişimine göre farklılık göstermektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar incelendiğinde nanoparçacık konsantrasyon oranının yükselmesiyle

nanoakışkan yoğunluğunun yükseldiği görülmüştür [107, 108]. Birim hacimdeki akışkan için nanopartikül eklenmiş ve eklenmemiş 2 çözelti hesaba katıldığında akışkan miktarı sabit kalmasına rağmen toplam kütlede bir yükseliş olduğundan nanopartiküller ihtiva eden çözelti diğerine göre daha yoğun olur. Yoğunluk madde miktarıyla değişebilen yeğin bir özellik olduğundan nanopartiküllerin şeklinin, cinsinin ve boyutunun nanoakışkanın yoğunluğuna hiçbir şekilde etkisi olmadığı söylenebilir. Aynı şekilde, nanoakışkan yapılırken seçilen temel akışkan cinsinin (etilen glikol, saf su vb.) nanoakışkanın yoğunluğuna hiçbir şekilde etkisi olmadığı söylenebilir.

4.4. Nanoakışkanların Uygulama Alanları

Nanoakışkanlar, geleneksel ısı transfer akışkanlarıyla karşılaştırıldığında ileri ısı transfer performansları ve termofiziksel özellikleri ile pek çok değişik ısı transfer uygulamasında yararlanılmak üzere araştırmacıların bu alanda çalışmalarını sağlamıştır. Bu uygulamalardan bazıları, yararlanma alanına nanoakışkanların sağlayabilecekleri faydalarla birlikte aşağıda örnekler verilmiştir.

Güneş enerjisi uygulamaları; güneş enerjisinin ısı uygulamalarında nanoakışkan kullanımı, fosil yakıt kullanımından dolayı meydana gelen sorunlardan ötürü alternatif enerji kaynaklarına eğilimin bir neticesi olarak oluşan metotlardan biridir. Nanoakışkanlar güneş enerjisinin ısı uygulamalarında genellikle güneş enerjili sıcak su sistemlerinde ve güneş kolektörlerinde kullanılır. Bunun dışında birkaç güneş pili uygulaması ve enerji depolama da literatürde mevcuttur. Güneş kolektörleri ile oluşturulan uygulamalarda nanoakışkan yararlanımının ısı performansı yükselttiği saptanmıştır. Çevresel ve ekonomik mantığıyla düşünüldüğünde bu uygulamanın CO₂ emisyonlarını azaltmaya oldukça yardımcı olduğu, yıllık elektrik ve yakıt tasarruflarını iyileştirdiği saptanmıştır [109].

Elektronik soğutma; soğutma işlemi sistemin performansını elektronik kullanımlarda yükseltirken bunun olabilmesi için gerekli yüzey alanını düşürmek oldukça zordur. Bu gereksinim, işlemci güçlerinin daimî olarak yükselmesi ile birlikte elektronik cihazların küçültülme çabasından dolayı olmaktadır. Bu sınırlı şartlara göre nanoakışkanlar, büyük ısı iletim özelliklerinden ötürü ciddi bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Fakat elektronik soğutmada yararlanılmak üzere nanoakışkan tercihi yapılırken birtakım noktalarda hassas davranılmalıdır. Tercih edilecek akışkan daha iyi ısı iletkenlik sağlamalı, kararlı olmalı, ucuz olmalı ve soğutma sistemi üstünde aşındırmaya sebebiyet vermemelidir [110].

Uzay ve savunma sanayi; ileri teknoloji uygulamalarının yer aldığı bu alanda nanoteknoloji çok kullanılmaktadır. Yüksek oranda soğutma gereksinimine sahip birtakım güç elektronikleri, askeri cihazlar ve enerji silahları bu sınıfta yer almaktadır. Nanoakışkanlar bu gereksinimi karşılama hususunda kayda değer bir yer kaplamaktadır. Bazen savunma sanayi kullanımlarında nanoakışkan ihtiyacı, birçok işlevi karşılamak üzere dizayn edilmiştir. Örneğin; belli başlı özelliklerin yanısıra kimyasal tepkimeler esnasında enerji toplama ya da enerji depolama gibi uygulamalar ifade edilebilir [111].

Kameralar, mikro cihazlar ve ekranlar; yeni yürütülen araştırmalarda nanoakışkanların elektrik alan etkisinde kalınca daha çok performans ve kararlılık sergiledikleri saptanmıştır [27]. Bunun da cep telefonu ekranlarının, yeni tür minyatür kamera lenslerinin ve diğer birtakım küçük boyutlu sıvı formdaki aletlerin geliştirilmesine olanak sağlayacağı öngörülmektedir. Bu araştırmalar, nanoakışkanların nano ya da mikro boyuttaki aletlerin tahrik mekanizmalarında uygulanabilme olanağını mümkün kılmaktadır.

Talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak; talaşlı imalat sırasında ortaya çıkan sürtünme ve ısı; yararlanılan takımların ömrü bakımından ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Kesme sıvıları bu problemi halletmek için uygulanan bilindik metotlardandır. Fakat bu sıvıların çevreye olan olumsuzlukları kullanımlarının kısıtlanmasına sebebiyet vermiştir. Nanoakışkanlar bu konuda, yağlama özellikleri ve ısı transfer karakteristikleriyle bu sorunun halledilmesinde önemli bir seçenek olarak görülmektedir [112].

Söz konusu olan uygulama bu alanlarının haricinde, değişik ısı değiştiricilerinin yararlanıldığı soğutma ve ısıtma sistemlerinde de bilindik ısı transfer akışkanlarının yerine nanoakışkanların uygulanması olasıdır. Fakat bu akışkanların faz değişim durumları da incelenmekte böylelikle buhar sıkıştırılmalı mekanik çevrimlerde yararlanma potansiyeli doğmaktadır [113, 114].

5. LİTERATÜR TARAMASI

Sopian ve diğerleri [115] şebekeye bağlı bir fotovoltaiik sisteminin soğutulmasında 2 değişik uygulamadan yararlanmışlardır. Sistemlerin elektriksel incelemesinin yanında ekserji ve birleşik verimini araştırmışlardır. Çalışmalarında nanoakışkan oluşturmak amacıyla %3 konsantrasyonunda SiC'den yararlanmışlardır. Netice olarak, nano-PCM (nano-faz değıştiren malzeme) ile nanoakışkanın sırasıyla %74,52 ve %73 elektriksel ekserjiye eriştiğini tespit etmişlerdir. Her iki durumda da su soğutmalı ve geleneksel şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemlerden daha büyük ekserjiler meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Nanoakışkanla soğutma sisteminin geleneksel su soğutmalı sistemlere göre daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir. Nanopartiküllere %0,1 parafin eklenmesinin termal iletkenliği yükselterek, nano-PCM için en elverişli oran olduğunu tespit etmişlerdir. Deneysel çalışmada nano-PCM ve nanoakışkan karışımının oldukça yüksek elektriksel verimde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Al-Shamani ve diğerleri [116] çalışmalarında, özel olarak dizayn edilmiş dikdörtgen boru emiciden meydana gelen PV/T kollektörünü tasarlamışlardır. PV/T kollektör, 1000 W/m^2 güneş ışınlımında, $0,170 \text{ kg/s}$ akış hızında ve değişik tipte nanoakışkanlarla (SiO_2 , TiO_2 ve SiC) test ettirilmiştir. Neticelere göre SiC nanoakışkanlı PV/T kollektör %13,52'lik elektriksel verimlilik ve %81,73'lük termal verimlilikle en iyi nanoakışkan olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla PVT- TiO_2 , PVT- SiO_2 ve PVT-Su'yun takip ettiğini tespit etmişlerdir.

Rejeb ve diğerleri [117] çalışmalarında, PV/T nanoakışkan esaslı bir kollektörün performansı üzerine sayısal ve deneysel bir çalışma yapmışlardır. Temel akışkan olarak etilen glikol ve saf su ile ağırlıkça %0,1, %0,2 ve %0,4 konsantrasyonlarında değişik türdeki nanoakışkanlardan (Al_2O_3 ve Cu) yararlanarak kollektörünün elektriksel ve termal verimini araştırmışlardır. Neticelere göre etilen glikolün ana akışkan olarak saf sudan daha az verimli olduğunu gözlemlemişlerdir. Nanopartiküllerin konsantrasyonu yükseldikçe termal ve elektriksel performansın da yükseldiği görülmüştür. Al_2O_3 /etilen glikol, Al_2O_3 /su ve Cu/etilen glikol ile kıyaslandığında Cu/su'nun en iyi elektriksel ve termal verim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Binti Rukman ve diğerleri [118] çalışmalarında, MWCNT (çok duvarlı karbon nanotüp) ve TiO_2 nanoakışkan bazlı PV/T teknolojisinin verimi üzerine bir inceleme yapmışlardır. Testler değişik güneş ışınlımının (500 W/m^2 - 900 W/m^2), değişik akış hızının ($0,012 \text{ kg/s}$ - $0,0255 \text{ kg/s}$) ve değişik konsantrasyonların nanoakışkan bazlı

PV/T sistemin verimi üzerindeki tesirini araştırmışlardır. En küçük PV modül sıcaklığı ve en büyük akışkan sıcaklık değişimi kollektör 2,01 °C ve 1,80 °C iken ve ağırlıkça %0,1 olan TiO₂ akışkanından yararlanıldığında tespit edilmiştir. Netice olarak yararlanılan bütün akışkanlar için kütle akış hızı yükseldikçe PV modül sıcaklığının daha çok azaldığını gözlemlemişlerdir. Su ile karşılaştırıldığında nanoakışkanların PV modül sıcaklığını daha çok düşürüp, PV/T sistemi daha verimli bir şekilde soğuttuğu görülmüştür.

Nandan [119] bu çalışmada, CuO bazlı bir nanoakışkanın bir PV modülünün soğutulmasına tesirini incelemiştir. Nanoakışkan olarak %3 konsantrasyonunda CuO/su nanoakışkanından yararlanılmıştır. Neticeye göre, su ile kıyaslandığında nanoakışkanın termal iletkenliğinin 0,617 W/mK'dan 0,678 W/mK'ya arttırdığını, böylece nanoakışkanın toplam termal iletkenliğini %9,88 yükselttiğini tespit etmiştir.

Michael ve Iniyan [120] çalışmalarında, yeni bir PV/T tasarlayıp %0.05 konsantrasyonunda CuO/su nanoakışkanını test etmişlerdir. Nanoakışkanın ısı verimliliğinin %45,76'ya kadar yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Su ile kıyaslandığında nanoakışkanın ısı veriminde oldukça önemli bir iyileşme gösterdiği görülmüştür. Bunun yanısıra daha büyük etkinliği olan bir ısı değiştiricisinden yararlanıldığı takdirde elektrik verimin yükselebileceğini ifade etmişlerdir.

Fudholi ve diğerleri [121] çalışmalarında; TiO₂/su nanoakışkanını ağırlıkça %0,5 ve %1, güneş ışınımının 500, 700 ve 900 W/m² olduğu ve kütle akış hızlarının 0,012 kg/s ile 0,025 kg/s arasında değiştiği bir PV/T kollektöründe soğutucu akışkan şeklinde yararlanmışlardır. Kütle akış hızının yükselmesi ile beraber PV/T kollektörünün elektriksel enerji verimliliği, termal verimliliği ve toplam performansının yükseldiği tespit edilmiştir. Ağırlıkça %1 TiO₂, 0,025 kg/s akış hızında, su kullanılan kollektörün enerji verimliliği %60-76 aralığında iken nanoakışkan kullanılan PV/T kollektörün enerji verimliliği ise %85-89 aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ağırlıkça %1 TiO₂, 0,025 kg/s akış hızında, su bazlı kollektörle kıyaslandığında nanoakışkanlı PV/T kollektörün ekserji verimliliğinin %6,02 daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Ağırlıkça %1,0 TiO₂ nanoakışkanlı PVT'nin termal verimliliği, sırası ile 900 ve 700 W/m² radyasyon yoğunlukları için su kullanılan kollektöre göre %12,77 ve %10,54'lük bir artış olduğu görülmüştür.

Abdollahi ve Rahimi [122] çalışmalarında, hibrit fotovoltaiik (PV)/PCM) soğutma kulesi sisteminde nanoakışkanın soğutma performansına tesirlerini araştırmışlardır. Temel akışkan olarak yararlanılan suda, ağırlıkça %0.02, %0.06 ve

%0,1 gibi düşük yoğunluklarda böhmit nano taneciğinden yararlanılmıştır. Saf su ile kıyaslandığında nanoakışkanın deneydeki bütün şartlarda daha verimli bir soğutucu olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanısıra nanoakışkanın akış hızı ve yoğunluğunun yükseltilmesiyle soğutma performansının yükseldiğini ve netice olarak PV güç çıkışında daha büyük bir yükseliş olduğunu gözlemlemişlerdir. Ağırlıkça %0,1, 18,91 mL/s akış hızında nanoakışkan kullanıldığında PV modülü sıcaklığındaki en büyük azalış tespit edilmiştir. Maksimum yoğunluk ve akış hızı durumunda en büyük elektriksel verim ve güç sırasıyla %58,8 ve 7,3W olarak gözlemlenmiştir.

Fayaz ve diğerleri [123] çalışmalarında, MWCNT-su nanoakışkanı ve su ile soğutulan bir PVT sisteminin verimini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. 1000 W/m²'deki güneş radyasyonunda PV modülünün elektriksel verimliliği deneysel ve sayısal olarak sırası ile %11,02 ve %11,29 iken maksimum hücre sıcaklığı da 84 °C ve 81 °C civarında tespit edilmiştir. Hücre sıcaklığındaki her 1 °C'lik azalış; verimlilikte ve çıkış gücünde deneysel olarak %0,064 ve 0.95 W, sayısal olarak da %0,067 ve 1.01 W'lık bir yükseliş gösterdiğini gözlemlemişlerdir. %0,75 MWCNT-su, 120 L/h akış hızında PV sistemde soğutucu olarak kullanıldığında elektriksel verimdeki yüzdesel iyileşme sayısal ve deneysel olarak yükselişin %12,25 ve %10,72 şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Nanoakışkanlı PVT sistem 120 L/h akış hızında deneysel olarak %79,1 ve sayısal olarak %81,24 civarında termal verim tespit edilmiştir. Su ile kıyaslandığında MWCNT-su nanoakışkanın toplam verimi deneysel olarak %5,73 ve sayısal olarak da %6,26 olduğu görülmüştür.

Jamal-Abad ve diğerleri [124] çalışmalarında, Cu-su nanoakışkanının ağırlıkça %0,05 ve %0,1 güneş kollektöründe kullanarak etkisini araştırmışlardır. Düşük ortalama güneş radyasyonunda nanoakışkanın daha tesirli olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre nanoakışkanın yoğunluğu yükseldikçe kollektörün de performansı yükselmiş ve saf su ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,05 durumunda kollektör veriminin %24 civarında arttığını gözlemlemişlerdir.

Sardarabadi ve diğerleri [29] enerji ve ekserji yönünden bir PV/T sistemde metal oksit/su nanoakışkanlarından soğutucu olarak yararlanarak verime etkilerini araştırmışlardır. Testler ağırlıkça %0,2 deiyonize suda karışım oluşturan ZnO, Al₂O₃ ve TiO₂ nanoparçacıklarıyla 30 kg/s'lik sabit bir kütle akış hızı ile gerçekleştirilmiştir. Neticeler, soğutmasız sistem ile kıyaslandığında PVT/ZnO, PVT/Al₂O₃, PVT/TiO₂ ve PVT/su sistemleri için toplam ekserji verimlilikleri sırasıyla %15,45, %18,27, %15,93 ve %12,34 oranında yükseldiği tespit edilmiştir. PVT/TiO₂ ve PVT/ZnO

nanoakışkanlarının genel itibarıyla ekserji ve enerji verimliliklerinin diğer durumlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra en büyük entropi üretiminin PVT/Al₂O₃ sistemi için gerçekleştiği görülmüştür. ZnO/su sistemi için ise en küçük entropi üretimi ve ekserji kaybı olduğu tespit edilmiştir.

Sardarabadi ve Passandideh-Fard [125] çalışmalarında, bir PV/T sistemde metal oksit/su nanoakışkanlarından soğutucu olarak yararlanarak verime etkilerini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Testler ZnO/su, Al₂O₃/su, TiO₂/su ve saf su ile ağırlıkça %0,2 konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir. Hem deneysel hem de sayısal neticelere göre elektriksel performans açısından TiO₂/su ve ZnO/su nanoakışkanlarının, Al₂O₃/su ve saf suya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Diğer nanoakışkanlar ve saf su ile kıyaslandığında en yüksek termal verimin ZnO/su nanoakışkanı için olduğunu tespit etmişlerdir. Akabinde sayısal model ZnO nanoparçacığının kütle yoğunluğunun PV/T sistemin verimine etkisini araştırmak için testler yapılmıştır. Neticeler, kütle yoğunluğu değişince elektriksel verimliliğin göz ardı edilebilir seviyede bir değişime maruz kaldığı, buna karşın PV/T sistemin termal veriminin dikkate değer bir oranda kütle yoğunluğuyla değiştiği tespit edilmiştir. Nanoparçacıkların kütle yoğunluğu ağırlıkça %0,05'ten %10'a yükseltince, sistemin termal verimliliğinin 4 kat civarında arttığı tespit edilmiştir.

Sardarabadi ve diğerleri [30] çalışmalarında, bir PV/T sistemin elektriksel ve termal verimliliğine bir soğutucu olarak nanoakışkan uygulanmasının tesirlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Testler ağırlıkça %1 ve %3 yoğunluklarında silika (SiO₂)/su ve saf su kullanılarak sabit bir güneş ışınlığında (855 W/m²) gerçekleştirilmiştir. Enerji açısından değerlendirildiğinde, saf su bulunan durum ile kıyaslandığında ağırlıkça %1 silika/su nanoakışkanı kullanıldığında toplam enerji verimliliği %3,6 civarında artmıştır. Ayrıca %3 silika/su nanoakışkanı durumunda ise artışın %7,9 civarında olduğu tespit edilmiştir. %3 silika/su nanoakışkanı, %1 silika/su nanoakışkanı ve saf su durumlarında sırasıyla %24,31, %22,61, %19,36 oranında bir yükseliş olduğu tespit edilmiştir.

Hasan ve diğerleri [126] çalışmalarında, temel akışkan olarak su ile nanoparçacıkların (TiO₂, SiO₂ ve SiC) bir PV/T kollektöründe ısı ve elektriksel verimlerine tesirlerini incelemişlerdir. Düzenekte, sıvıyı direkt PV/T'nin arkasına götüren 36 nozül ve 4 paralel tüp yaptırılmıştır. 0-0,1666 kg/s kütleli akış hızlarında PV/T'nin ısı performansının yükseldiği gözlemlenmiştir. En büyük elektriksel ve termal performansı sırasıyla PV/T-SiC nanoakışkanı, PV/T-TiO₂, PV/T-SiO₂ ve PV/T-su

şeklinde tespit edilmiştir. 0,167 kg/s akış hızında, 1000 W/m² güneş ışınlamında ve 30 °C ortam sıcaklığında termal, elektriksel ve kombine fotovoltaiik performanslar sırası ile %85, %12,75 ve %97,75 olarak tespit edilmiştir. Buna ilaveten geleneksel PV modülüyle karşılaştırıldığında, SiC nanoakışkanlı PVT'nin P_{max}'ın %62,5 arttığı görülmüştür. Soğutmasız PV modülünün en düşük elektriksel verime sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Ebaid ve diğerleri [31] çalışmalarında; değişik güneş ışımları altında, ağırlıkça %0,01, %0,05, %0,1 yoğunluklarında ve 500 ile 5000 mL/dk arasında değişen hava debisinde, su ve nanoakışkanlardan yararlanarak 50 W güç çıkışlı PV panelin soğutulmasını incelemişlerdir. Ph 9,7 de su-setrimonyum bromür karışımında TiO₂ ve Ph 5.7 de su-polietilen glikol karışımında Al₂O₃ şeklinde 2 değişik nanoakışkandan yararlanmışlardır. PV panelin arka yüzeyine daha iyi bir soğutma olması için alüminyum dikdörtgen kesitli bir eşanjör yerleştirilmiştir. Neticelere göre, su soğutmalı ve soğutmasız sistemle karşılaştırıldığında nanoakışkanlı soğutmanın hücre sıcaklığını daha fazla düşürdüğünü saptamışlardır. Bütün akış hızları ve yoğunluklara bakıldığında TiO₂ nanoakışkanının Al₂O₃'ten daha düşük verimde olduğu görülmüştür. Test sonuçları bütün akış hızı aralığı için nanoakışkan yoğunluğu yükseldikçe PV hücresinin daha iyi soğutulduğu tespit edilmiştir.

Cui ve Zhu [127] çalışmalarında, 870 W/m² civarındaki güneş ışımasıyla, ağırlıkça %0,02, %0,06 ve %0,1 yoğunluklarında Mg/su nanoakışkanını güneş hücrelerini soğutmak ve ısı amacıyla, silikon fotovoltaiik panelde kullanmışlardır. PV/T sistemdeki güneş pillinin çıkış gücünün, nanoakışkanın kütle yoğunluğu yükseldikçe düştüğü görülmüştür. Geleneksel PV modülü ile kıyaslandığında PV/T sisteminin toplam enerji dönüşüm verimliliği daha büyük olmasına rağmen, elektrik verimliliğinin daha az olduğu tespit edilmiştir.

Hussien ve diğerleri [128] çalışmalarında, 1000 W/m² güneş ışınlamında, 0,2 L/s sabit kütle akış hızında ve ağırlıkça %3 Al₂O₃-su nanoakışkanından yararlanarak PV/T hücresinin performansını incelemişlerdir. PV/T sistemin sıcaklığının nanoakışkan ile 79,1°C'den 42,2 °C'ye kadar azaldığını tespit etmişlerdir. Neticede panelin termal verimliliğinin %34,4'e, elektriksel verimliliğinin ise %12,1'e kadar çıktığını gözlemlemişlerdir.

Hamdan ve Kardasi [129] çalışmalarında 3 özdeş PV panelin, birini referans şeklinde, ikincisini nanoakışkan kullanarak ve üçüncüsünde saf su kullanarak soğutmanın PV panel performansına tesirini incelemişlerdir. Nanoakışkan olarak

ağırlıkça %0,1, %0,2, %0,3, %0,4, %0,5 ve %0,6 oranlarında Al_2O_3 ve ağırlıkça %0,2, %0,3, %0,4, %0,5, %0,6 ve %0,7 oranlarında da CuO /su kullanılmıştır. Saf su ile kıyaslandığında nanoakışkanların panel verimini daha çok iyileştirdiği tespit edilmiştir. Al_2O_3 nanoparçacığının genel itibarıyla panel soğutulması bakımından CuO 'ya göre daha az verimli olduğu görülmüştür. Ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 ve ağırlıkça %0,6 CuO kullanıldığında panelin en iyi verimlilik elde edildiği değerler olduğu tespit edilmiştir.

Karami ve Rahimi [130] çalışmalarında, 1000 W/m^2 sabit bir güneş ışınımında soğutucu akışkan olarak su ve ağırlıkça %0,01, %0,1 ve %0,5 yoğunluklarında böhmit ($\text{AlOOH-xH}_2\text{O}$) nanoakışkanından yararlanarak PV modül verimine tesirini incelemişlerdir. Neticelere göre su ile kıyaslandığında nanoakışkanın PV modül sıcaklığını daha çok düşürerek daha verimli olduğu görülmüştür. Referans sıcaklık baz alındığında ortalama sıcaklıktaki en büyük azalış (helisel ve düz kanal için sırasıyla $24,22^\circ\text{C}$ ve $18,33^\circ\text{C}$), her iki kanaldaki laminar akış için ağırlıkça %0,1 nanoakışkan yoğunluğunda tespit edilmiştir. Helisel ve düz kanal için sırası ile %37,67 ve %20,57'lik en büyük elektrik elde edilmiştir. Neticelere göre helisel kanalın düz kanala göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Tüm sonuçlar incelendiğinde nanoakışkan yoğunluğunun ve kanal geometrisinin soğutma performansına tesir eden iki ayrı parametre olduğu görülmüştür.

Said ve diğerleri [131] çalışmalarında, düz plaka kolektör üzerinde soğutucu akışkan olarak TiO_2 /su nanoakışkanı ve polietilen glikolden yararlanarak deneysel olarak performansı incelemişlerdir. Kütle akış hızlarının $0,5\text{-}1,5 \text{ kg/dk}$ arasında değiştiği, nanopartiküllerin ağırlıkça yoğunluklarının %0,1 ve %0,3 olduğu durumlar göz önüne alınmıştır. Su ile karşılaştırıldığında $0,5 \text{ kg/dk}$ akış hızında ve ağırlıkça %0,1 yoğunluğunda nanoakışkan kullanıldığında en büyük ekserji verimliliği %16,9, enerji verimliliğinin ise %76,6 yükseldiği görülmüştür. Su ile kıyaslandığında TiO_2 -su nanoakışkandan yararlanılan güneş kolektörünün daha büyük ekserji ve enerji performansı sergilediği tespit edilmiştir.

Said ve diğerleri [132] çalışmalarını düz plakalı bir güneş kolektörü için tek cidarlı karbon nanotüpler (SWCNT) soğutucu akışkanı ısı transferi ve entropi üretimi bakımından araştırmışlardır. Güneş ışımasını 1000 W/m^2 olarak referans almışlardır. Nanoakışkan yoğunluğu arttıkça daha yüksek ısı transferi elde edildiğini tespit etmişlerdir. Nanoakışkanın su ile karşılaştırıldığında ısı transfer katsayısını teorik olarak %15,33 oranında arttırdığını ve entropi üretimini ise %4,34 düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Radwan ve diğerleri [133] çalışmalarında, nanoakışkanlı bir mikrokanaldan yararlanarak, düşük konsantrasyonlu fotovoltaiik termal (LCPV/T) sistemini geliştirmek için araştırmışlardır. Deneylerinde değişik yoğunluklarda Silikon Karbür (SiC)-su ve Alüminyum Oksit (Al_2O_3)-su nanoakışkanlarından soğutma maksadıyla yararlanılmıştır. Al_2O_3 -su nanoakışkanına göre SiC-su nanoakışkanından yararlanıldığında hücre sıcaklığında daha büyük düşüşlerin yaşandığı gözlemlenmiştir. Yüksek yoğunluklardaki nanoakışkanlarda ve düşük Re durumlarında saf suya göre elektrik verimliliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Nanopartiküllerinin yoğunluğu artırıldığında termal güç azalırken net elektrik gücünün yükseldiği saptanmıştır. Neticelere göre kullanılan nanoakışkanlarla elektrik verimliliğinin %19'a kadar yükseldiği, güneş pili sıcaklığını 38 °C'ye kadar azalttığı görülmüştür.

Soltani ve diğerleri [134] Bu çalışmalarında, yeni bir nanoakışkan bazlı soğutma yöntemi olan hibrid bir fotovoltaiik/termoelektrik sistemini deneysel olarak araştırmışlardır. Bunun için su soğutma, doğal soğutma, cebri hava soğutma, Fe_3O_4 /su nanoakışkanlı soğutma ve SiO_2 /su nanoakışkanlı soğutma şeklindeki 5 değişik soğutma metoduyla incelemişlerdir. Testler 5 gün süresince; rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı değişimi ve güneş ışımasının ihmal edilebilir olduğu durumlarda yapılmıştır. Hava soğutma metotlarına göre, sıvı soğutma metotları kayda değer bir şekilde daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Doğal soğutma yöntemine kıyasla su soğutma yöntemi %47,7 daha çok güç ürettiği gözlemlenmiştir. Sıvı temelli metotlar için, nanoakışkan kullanımı soğutma verimini ve bununla ilişkili olarak toplam üretilen gücün yükseldiği gözlemlenmiştir. Güç üretiminde saf su soğutma yöntemi ile karşılaştırıldığında Fe_3O_4 /su ve SiO_2 nanoakışkanları ortalama %5,7'lik bir iyileşme sağladığı görülmüştür. Fe_3O_4 /su nanoakışkanına göre, SiO_2 nanoakışkanının %0.971'den biraz daha fazla güç üretimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin Fe_3O_4 /su nanoakışkanının daha düşük bir ısı taşınım katsayısına sahip olmasından dolayı olduğunu belirtmişlerdir.

Hussein ve diğerleri [135] ağırlıkça 5 değişik yoğunluğa sahip (%0,1, 0,2, 0,3, 0,4 ve 0,5) Zn-su nanoakışkanını, 1000 W/m² sabit güneş ışıması altında test etmişlerdir. PV arka yüzeyine yerleştirilmiş su sirkülasyon boruları ve ufak bir eşanjörden meydana gelen aktif bir soğutma tekniğini kullanmışlardır. 2/dk'lık optimal akış hızında PVT sistem aktif su soğutma metoduyla kullanıldığında sıcaklığın 76 °C'den 70 °C'ye kadar azaldığı görülmüştür. Neticelere göre termal verimlilik %60, elektriksel verimlilik ise %6,5 olarak tespit edilmiştir. 2 L/dk. akış hızındayken Zn/su nanoakışkanıyla hücre sıcaklığının 76 °C'den 58 °C'ye kadar azaldığı görülmüştür.

Ağırlıkça %0,3 nanoakışkan kullanıldığında, PV panelin elektrik verimliliğini %7,8'e yükselttiği gözlemlenmiştir.

Bayrak ve diğerleri [136] çalışmalarında, alüminyum kanatçıkların 10 değişik biçimdeki durumu için pasif soğutmanın polikristal PV panellerin güç çıkışı, yüzey sıcaklığı ve enerji-ekserji verimlilikleri üstündeki tesirleri incelemişlerdir. Kanatçıklı panellerin en büyük ekserji ve enerji verimlilik değerlerini sırasıyla %10,91 ve %11,55 olarak saptamışlardır. Gün içinde en yüksek sıcaklık farkını saat 10:00'da yaklaşık olarak 3,39 °C olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca güneş ışıınım değerinin panellerin güç ve verim değerinde olumlu bir etki yaptığını fakat artan güneş ışıınım değeriyle beraber panellerde ısınma meydana getirerek panel verimini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Fotovoltaik panellerin arkasına konulan alüminyum kanatçıkların, güneş pillerinden fazla ısıyı çekmek için verimli bir ısı emici misyonu taşıdığı ve PV panel sıcaklığını müsaade edilen maksimum sıcaklığın altında tuttuğunu saptamışlardır.

Mojumder ve diğerlerinin [137] çalışmalarında, ince dikdörtgen kanatçıklardan yararlanılan bir hava tipi tek geçişli PV/T kollektör sisteminin elektriksel ve ısı verimi analitik bir model tasarlanarak deneysel olarak araştırılmıştır. Testler farklı güneş ışıması (200 W/m^2 - 700 W/m^2), kütle akış hızları ($0,02 \text{ kg/sn}$ – $0,14 \text{ kg/sn}$) ve değişik kanatçık sayılarında (0-4) deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. PV verimliliği bakımından kıyaslandığında $0,02 \text{ kg/s}$ akış hızında kanatçıksız durum, $0,14 \text{ kg/s}$ kütle akış hızında dört kanatçıklı durumdan yaklaşık olarak %0,81 daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüksek ışıınım değerlerinde ısı kazancının daha çok olduğunu saptamışlardır. Kanatçık sayısının ve hava kütle akış oranının PV sistemin verimini kayda değer bir şekilde etkilediğini gözlemlemişlerdir. 700 W/m^2 ışıınım, $0,14 \text{ kg/s}$ kütle akış hızında ve dörtlü kanatçık kullanıldığında PV verimliliği ve termal verimlilik sırasıyla %13,75 ve %56,19 olarak görülmüştür.

Demir [138] çalışmasında, zorlanmış taşınım karşılaşılan değişik geometrilere (3 mm, 6 mm eksenel kanalı olan ve helisel şekli olan kanatçıklar) ve diziliş pozisyonları (şaşırtmalı dizilim ile düz dizilim) olan silindirik alüminyum kanatçıklardan yararlanmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde Işıınım miktarı yükseldikçe (1200 W/m^2 , 950 W/m^2 , 700 W/m^2) elektriksel verimin yükseldiği saptanmıştır. Yüzey alanı büyük olan alüminyum kanatçıktan yararlanıldığında en büyük performans gözlemlenmiştir. Fakat şaşırtmalı dizilimde yüzey alanı daha küçük olduğu halde daha yüksek bir performansa eriştiğini saptamıştır. Kanatçıklardan yararlandığında elektriksel verim, kontrol hacmine giren hava hızı ($4,5 \text{ m/s}$, $3,9 \text{ m/s}$, $3,3 \text{ m/s}$) ile ışıınım şiddetine (1200

W/m^2 , 950 W/m^2 , 700 W/m^2) ilişkili olarak %13,8-9,7 civarında olduğunu saptamıştır. Sıradan PV sistemindeki verimin ise %7,9-6,9 seviyelerinde kaldığını tespit etmiştir.

Nakışdüzler [139] çalışmasında, deney düzeneği dizaynına ısıyı panel yüzeyinden uzaklaştırarak yararlanılan akışkan sıcaklığını yükseltmek için 1,8 mm kalınlığında 16 mm çapında yarı silindirik ve silindirik alüminyum kanatçıkları 2 değişik diziliş biçiminde (şaşırtmalı ve düz), Reynolds değeri 3000, 2500, 2000, 1500 civarlarında olmak üzere 4 değişik hava hızında ve 1000 W/m^2 , 800 W/m^2 , 600 W/m^2 ışıınım değerlerinde deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel neticelere bakıldığında, hava debisi yükseldikçe fotovoltaik panel yüzeyinden oldukça yüksek oranda ısı enerji ortaya çıkmıştır. Reynolds 3000 iken, şaşırtmalı dizilimde ve tam silindirik kanatçıkla 1000 W/m^2 radyasyonda 66,60 W, 800 W/m^2 radyasyonda 49,95 W, 600 W/m^2 radyasyonda ise 38,85 W ısı enerji meydana gelmiştir. PV panelde radyasyon değeri yükseldikçe hem termal verim hem de elektriksel verim yükselmiştir. Reynolds 3000 değerinde tam silindirik kanatçıktan yararlanıldığı zamanki birleşik verimde, aktif soğutma olmayan PV panelin verimiyle karşılaştırıldığında 1000 W/m^2 radyasyon değeri için %39, 800 W/m^2 radyasyon değeri için %35, 600 W/m^2 radyasyon değeri için ise %32 yükseliş olduğu görülmüştür. Ayrıca yüzey alanı daha büyük olan silindirik kanatçıkla yapılan deneylerde daha etkin soğutma yapıldığını tespit etmiştir.

Ömeroğlu [140] çalışmasında, yapay güneş radyasyonu akısı altında (900 W/m^2), PV/T sistemin elektriksel ve ısı performansını araştırmıştır. Deneysel neticeler Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) çözümlemeleri ile kıyaslanarak doğruluğunu araştırmıştır. Deneyleri 3 farklı hava hızında (5 m/s, 4 m/s, 3 m/s) ve 2 farklı yüzey konfigürasyonunda denemiştir. Isı transfer ögesi olarak bakır kanatçıklardan yararlanmıştır. 54 adetli bakır kanatçığın en büyük termal verimi %56 civarında iken kanatçık sayısı 108 adet olduğunda en küçük hava debisinde bile bu değer %60 civarında olduğunu saptamıştır. İncelediği deneyler neticesinde en büyük termal verimi ise 0,03 kg/s hava debisinde %69 civarında olduğunu tespit etmiştir. 108 adet bakır kanatçık uygulandığında elektriksel verimin %11 seviyelerini aştığını gözlemlemiştir. Benzer şekilde 54 adet bakır kanatçık uygulandığında da elektriksel verimin %10,7 civarında olduğunu tespit etmiştir. Belirlenen radyasyon altında sisteme kanatçık uygulanmadığı durumda ise %8 civarında bir verime rastlamıştır. Bu neticelere dayanarak yüzey soğutmada yüksek hava hızının yüzeyi daha iyi soğuttuğu, kanatçık sayısına bağlı olarak da büyüyen yüzey alanı ile ısı transferinin daha verimli olacağını gözlemlemiştir.

Budak [141] düzlemsel güneş kolektörlü sıcak su güneş enerji sisteminde 200 lt/h, 150 lt/h ve 50 lt/h debi değerlerinde %0,8, %0,4 ve %0,2 hacimsel oranlarda hazırlanan CuO-saf su, Al₂O₃-saf su, TiO₂-saf su ve nanoakışkan kullanılması ısı verime tesirini deneysel olarak incelemiştir. Neticelere göre, su ile kıyaslandığında nanoakışkan kullanımının verimi arttırdığını gözlemlemiştir. Çok büyük hızlarda, akışkanın sıcaklık yükselişi göz ardı edilebilir seviyelerde olduğu için kolektör veriminin debiye bağlı olmadığını saptamıştır. Hacimsel olarak %0,2 CuO-su nanoakışkan ile 50 lt/h debide kullanıldığında en büyük verime ulaşmıştır.

Mehrali ve diğerleri [142] çalışmalarında, sabit duvarlı ısı akısında dairesel paslanmaz çelik bir boru içinde laminar zorlanmış konveksiyon koşulları altında 750 m²/g özgül yüzey alanına sahip bir grafit nanoplak nanoakışkanın ısı transfer karakteristikleri ve entropi üretimini araştırmışlardır. Analizler; 290 ile 2300 arasında değişen Re sayıları ve dört farklı konsantrasyonda (%0,025, %0,05, %0,075 ve %0,1) yapılmıştır. Nanoakışkan sıcaklığı yükseldikçe termal iletkenlikte %12 ile %28 arasında bir yükseliş gözlemlenmiştir. Bir temel akışkana nanopartiküllerin ilave edilmesi ile termal iletkenlikte %15'e kadar bir yükseliş gözlemlenirken, ısı transfer katsayısında ise %15'e kadar bir yükseliş gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, topaklanma tesiri ile ısı transfer katsayısında bir azalma görülmüştür. Entropi üretimi, sabit hızda nanoparçacıklar ilavesinde düşüş eğilimi gösterip, hız yükseldikçe toplam entropi üretimi düşmüştür. Bununla birlikte, hızın ve grafit nanoplak nanoakışkan derişiminin yükselmesiyle, sürtünme entropi oluşumunun yükselmesine sebep olur.

Kotcioglu ve diğerleri [143] çalışmalarında, dikdörtgen bir kanalda değişik kanatçık geometrilerini (altıgen, kare ve silindirik) zorlanmış akış altında deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında gövde kısmında ve boru kısmında çalışma akışkanı olarak sırasıyla hava ve su kullanmışlardır. Test sonuçlarına göre; Re sayısı arttıkça, ortalama alt ve üst plaka sıcaklıkları azalmıştır. Nusselt sayısı ise artan giriş havası sıcaklığı ile artmıştır. Kanatçıklar sayesinde artan yüzey alanıyla ısı transferinin arttığını gözlemlemişlerdir. Bununla beraber, altıgen kanatçıkların, dairesel ve kare kanatçıklara göre akış türbülansını yükselterek ısı transferini daha çok yükselttiğini tespit etmişlerdir.

Bianco ve diğerleri [144] çalışmalarında, bir PV/T panelin verimini yükseltmek amacıyla soğutucu akışkan olarak Al₂O₃-su nanoakışkanını kullanmışlardır. Deneylerini 250 ile 1000 arasında değişen Re sayılarıyla, 20-40 nm boyutlarındaki nanoakışkanlarla %0 ile %6 aralığındaki nanoakışkan derişimlerinde ve 295,15 K ve 323 K giriş

sıcaklıklarıyla laminer zorlanmış akış koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Nanoparçacıkların derişimlerinin artmasıyla ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir. Bunun da ısı transferini yükselterek PV/T verimliliğini iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca sabit Re sayısı koşullarında partikül yoğunluğu arttıkça nanoakışkanların çıkış sıcaklığının düştüğünü fark etmişlerdir. Bunun yanında partikül yoğunluğunun artması ile viskozitenin artarak, termal kapasiteyi düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca Re sayısının ve konsantrasyonun artması ile Nu sayısının arttığını tespit etmişlerdir.

Çevrim ve diğerlerinin [145] çalışmalarında, sabit ısı akısı sınır koşulu altında deiyonize su kullanılarak dikdörtgen kesitli kanatçıklı bir mini kanalda akışkan akışı ve ısı transferini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneylerinde çalıştıkları Re sayısı 70-190 aralığında değişmiştir. Deneysel sonuçlara göre, kanatçıklı yapıların hem ısı transferini hem de sürtünme faktörünü arttırdığını tespit etmişlerdir. Reynolds sayısının artışıyla Nusselt sayısında artış görüldüğü tespit etmişlerdir.

Naphon ve Wiriyasart [146] çalışmalarında, kolektif ısı transferi iyileştirme üzerine; nanoakışkanlar, mikrokanaçıklı tüpler ve titreşimli akış kullanarak ısı geçişi ve akış karakteristiklerini araştırmışlardır. Testler; 1000-2400 aralığında değişen Re sayısı koşullarında, %0,25 ve %0,5 nanoakışkan derişimleriyle çalışılmıştır. Deneylerde, duvar ısı akısı 120-160 W, nanoakışkan giriş sıcaklığı 20 °C ve 10-20 Hz aralığındaki titreşim hızları ile çalışılmıştır. Sonuçlara göre; nanoakışkan derişiminin artışıyla, manyetik alan kuvveti ve frekans titreşimlerinin artışıyla ısı transferinin arttığı tespit edilmiştir.

Çelik ve Parlak [147] çalışmalarında, geometrik parametrelerin ve nanoakışkan konsantrasyonunun kanatçıklı bir mikro kanalın ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri üzerindeki tesirini araştırmışlardır. Çalışmada temel akışkan olarak su seçilerek, %0-0,4 aralığındaki nanoakışkan derişimlerini kullanarak ısı transferi ve akışkan akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, nanopartiküllerin hacim derişimindeki artışla termal iletkenliğin, ısı transfer katsayısının ve basınç düşüşünün arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca nanoakışkanların giriş akış hızı yükseldiğinde ısı transferinin ve basınç düşüşünün arttığı tespit edilmiştir. Bunun yanında sabit Re sayısında kanatçıklı mikrokanaldaki ısı transfer katsayıları ve basınç düşüşünün düz mikrokanaldan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada; monokristalin bir PV panelde öncelikle ısı transfer yüzeyi sadece panelin alt yüzeyine yapıştırılan kanatçıklar ile (silindirik kanatçık ve levha kanatçık)

arttırılarak soğutma durumunda sıcaklık düşüşü ve panel verimine etkisi incelenmiştir. Daha sonra kanatçıklı durumda (sadece levha kanatçık) sabit bir akışkan debisinde, su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) Al_2O_3 , TiO_2 ve CuO nanopartikülleri temel akışkan olarak saf su seçilerek hazırlanan nanoakışkan kullanılarak toplam ısı transferi artırılmış ve panel daha yüksek düzeylerde soğutulmuştur. Ayrıca soğutma sırasında PV/T sistemde PV modüllerden uzaklaştırılan ısı akışkana aktarılacak suretiyle termal ısı kazancı da hesaplanmış ve nanoakışkan türünün hem elektriksel hem de termal verime olan etkileri deneysel olarak ölçülmüş ve sayısal olarak hesaplanmıştır.

6. MATERYAL-YÖNTEM

Çalışmada kullanılan sistemin tasarımı ve yapım aşaması Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği ile Teknik Bilimler MYO, Makine Programı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Genel itibarıyla PV hücrelerin güneş ışınlamı ile yükselen sıcaklığını azaltmak ve modül verimini arttırmak amacına yönelik olarak, farklı geometrideki alüminyum kanatçıklar (silindirik kanatçık ve levha kanatçık) ve su ve farklı nanopartiküllerden (CuO , Al_2O_3 ve TiO_2) oluşan nanoakışkanların soğutmaya olan etkisini araştırmak için sıvı soğutma olmak üzere 2 sistem oluşturulmuştur.

İki aşamalı olan bu çalışmada; öncelikle sadece kanatçıklar (silindirik kanatçıklar ve levha kanatçıklar) ile doğal taşınım ile soğutma durumunda sıcaklık azalışı ve bunun panel verimine etkisi incelenmiştir. Daha sonra hem kanatçıklar (levha kanatçıklar) hem de bu kanatçıkların üzerinden zorlanmış taşınım ile sabit bir akışkan debisinde, saf su ve nanopartikül-su karışımı geçirilerek gerçekleştirilen kolektif soğutmanın sıcaklık azalışı ve panel verimine etkisi incelenmiştir.

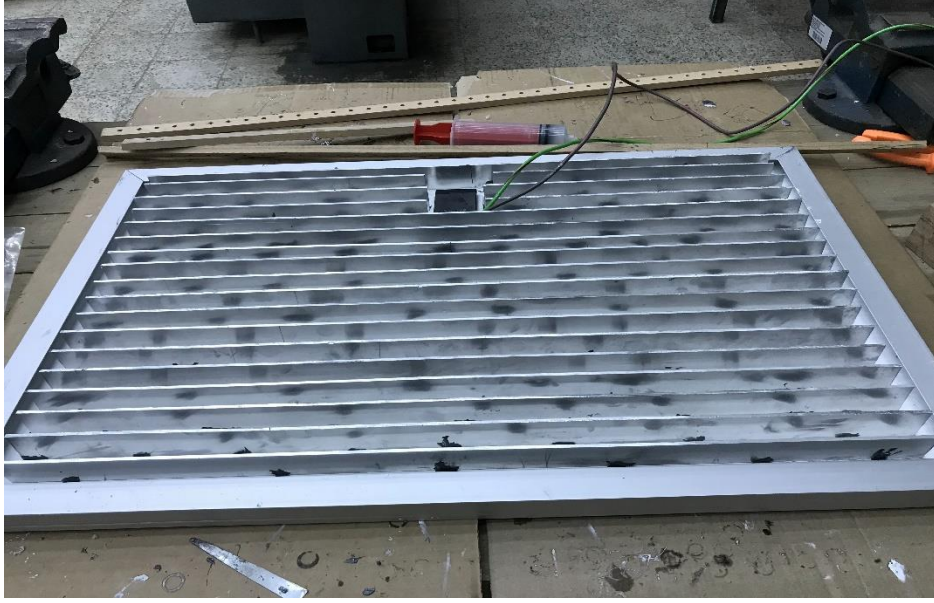
Yapılan çalışmada, verim bakımından en çok tercih edilen fotovoltaik panel tipi olan monokristal paneller tercih edilmiştir. Kanatçık olarak alüminyumdan üretilen silindirik ve levha olmak üzere iki tür kanatçık kullanılmıştır. Şekil 6.1’de kanatçıklara ait resimler gösterilmiştir. Kanatçıkların panelin arka kısmına yapıştırılması işleminden önce panelin arkası iyice temizlenip, panel kenarlarının su kaçırmaması ve elektriksel bağlantısının zarar görmemesi için silikon uygulanmıştır. Panel ile kanatçık arasındaki iletim katsayısının daha iyi olması için, kanatçıkların uç kısmına alüminyum termal macun sürülmüştür. Daha sonra bir panele uzunluğu 3 cm ve çapı 4 mm olan silindirik kanatçıklardan 600 adet ve başka bir panele de uzunluğu 60 cm, yüksekliği 3 cm ve kalınlığı 2 mm olan levha kanatçıklardan 18 adet yapıştırılmıştır. Yapıştırılan kanatçıkların sağlam tutunmaları için en az bir gün beklenmiştir. Başka bir üçüncü panele de hiçbir şey uygulanmadan kanatçıkların ve nanoakışkanların etkisinin görülmesi için referans olarak kullanılmıştır. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te silindirik kanatçıkların ve levha kanatçıkların panellere montajı gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Deneyde kullanılan alüminyum levha kanatçıklar



Şekil 6.2. Silindirik kanatçıkların panele yapıştırılması



Şekil 6.3. Levha kanatçıkların panele yapıştırılması

Ayrıca bu çalışmada üç farklı seramik nanopartikül (CuO , Al_2O_3 ve TiO_2) ağırlıkça belirlenen oranlarda (%0,2, %0,4 ve %0,6), iki adım yöntemi ile temel akışkan olarak da saf su kullanılarak 2 saat süre boyunca sürekli karıştırılmak suretiyle nanoakışkan haline getirilmiştir. Temel akışkan içerine ağırlıkça üç farklı oranda hazırlanan nanopartiküller NANOKAR firmasından satın alınmıştır. Nanopartiküllere ait özellikler Tablo 6.1’de gösterilmiştir. Ayrıca deneyde kullanılan nanoakışkanlara ait resimler Şekil 6.4’te gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Deneyde kullanılan nanopartiküllere ait özellikler

Partikül Adı	Molekül Formülü	Yoğunluk	Isıl İletkenlik	Partikül Boyutu
Alumina	Al_2O_3	3,987 g/cm ³	40 W/mK	48 nm
Titanyumdioksit	TiO_2	4,23 g/cm ³	21,9 W/mK	100 nm
Bakıroksit	CuO	6,315 g/cm ³	76,5 W/mK	100 nm



Şekil 6.4. Deneyde kullanılan nanoakışkanlara ait resimler

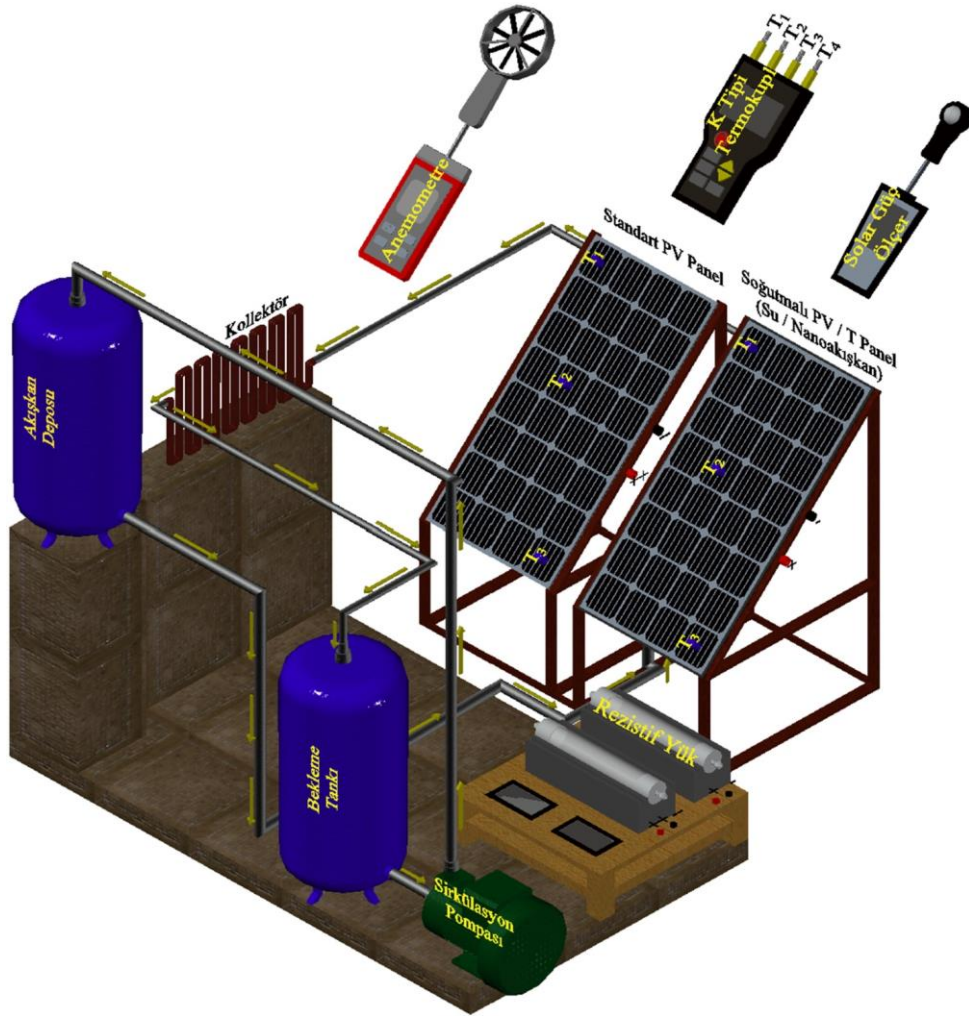
Fotovoltaik panellerin yerleştirildiği masaların eğim açıları Batman ili şartları için güneş açısına en ideal değer olan 32° olarak ayarlanarak masaların imalatı yapılmıştır [148]. Deneyler Batman ili şartlarında 2021 yılının Ağustos ve Eylül aylarında yapılmıştır. Deneylerdeki ölçümler, saat 10:00–16:00 arasında yarım saat aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ait resimler Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 6.7’de deney düzeneğinin şematik görünümü gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Deney düzeneğinin önden görünümü



Şekil 6.6. Deney düzeneğinin arkadan görünümü



Şekil 6.7. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Gerçekleştirilen deneysel çalışmanın amacı panellerin soğutulması yoluyla elde edilecek verim artışını incelemeye yönelik olduğundan, gerek tasarlanan rezistif yüklerin toleranslarının ve gerekse kullanılan ölçü aletlerinin hata oranlarının ölçüm sonuçlarını asgari düzeyde etkilemesi için, rezistif yüklerin birbirine çok yakın olması ve ölçüm yapacak ampermetre ve voltmetrelerin doğruluğundan emin olunan bir ölçü aletine göre kalibre edilmeleri ve aynı şartlarda eşit değerler göstermeleri için laboratuvar ortamında bir dizi işleme tabi tutulmuşlardır.

Deneysel çalışmada kullanılan fotovoltaiik paneller, standart test koşullarında 50 Watt güç ürettiğinden, her panel için optimum işletme geriliminde 50 Watt güç tüketecek bir yük tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Rezistif yük için uygun kesit ve uzunlukta krom nikel CN80 (%80 Ni, %20 Cr) tel kullanılmıştır. CN80 malzemesi, ısıl direnç katsayısı $\alpha=0,14$ ($1/^{\circ}\text{C}.10^{-3}$) değeriyle en düşük alaşımlardan biri olduğundan telin ısınması halinde direncinin çok değişmeyeceği ön görülmüştür. Ayrıca bu malzemenin oksijen ile tepkimeye girmeme özelliği, direnç değerinin uzun vadede sabit kalmasını sağlayarak, deneysel çalışmalar boyunca kaydedilecek verilerin hatasız olmasını sağlamıştır [149]. Şekil 6.8’de, tasarlanan rezistif yükün iç görüntüsü ve deney düzeneğinde kullanılacak hale getirilmek üzere, ısıya dayanıklı porselen sabitleyiciler vasıtasıyla cam boru içine alınmış ve alüminyum kaide üzerine tespit edilmiş hali gösterilmiştir.

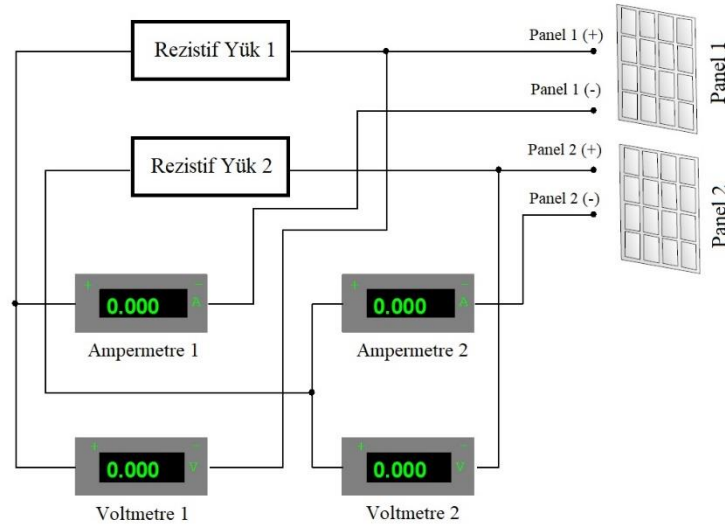


Şekil 6.8. Rezistif yük

Bir diğer önemli husus da; aynı üretim bantlarında, aynı zamanda ve aynı özellikteki malzemelerin kullanılması halinde bile üretilen PV panellerin elektriksel karakteristikler açısından birbirlerine göre küçük farklar gösterebilmeleridir. Bu fark, yarı iletken teknolojisi ile üretilen hücreler arasındaki çok küçük güç farklılıklarıyla beraber, bu hücrelerin panel haline getirilmesi esnasında hücreler arasındaki seri ve paralel bağlantılarda kullanılan iletkenlerin dirençleri ve bu iletkenlerin hücrelere tespit

edilmesi aşamasındaki temas dirençlerinin oluşturduğu elektriksel kayıplardan kaynaklanmaktadır. PV panel üreticileri, ürettikleri panellere ait katalog bilgilerinde bu durumu genellikle “pozitif tolerans” olarak belirtmektedirler. Eşdeğer panellerde görülen bu küçük farklar, PV panellerin güç üretimi uygulamalarında kullanılması durumunda ihmal edilebilecekken, çeşitli soğutma teknikleri kullanılarak panel veriminin arttırılmasına yönelik deneysel çalışmalarda bu küçük farklar elde edilen ölçümler üzerinde büyük hatalara yol açabilecektir. Bu farkların deneysel çalışmadaki etkisini yok etmek için, aynı güneş radyasyonu altında panellerin açık devre gerilimleri ve kısa devre akımları ölçülerek karşılaştırılmış ve daha düşük güç üreten panelin güç değeri, belirlenen bir katsayı oranında artırılarak büyük güç üreten panele eşit hale getirilmesi yöntemi tercih edilmiştir. Deney boyunca kullanılacak bütün paneller için bu işlem yapılmış olup, bu panellerin ürettikleri güç değeri verileri, kendilerine özel olarak elde edilmiş katsayılar ile tekrar düzenlemiştir.

Deneysel çalışmada aynı anda standart olarak üretilmiş bir PV panel ile üzerinde farklı soğutma işlemleri yapılacak olan panelin ürettikleri güç değerleri karşılaştırılmak üzere Şekil 6.9’deki elektriksel bağlantılar oluşturulmuştur.



Şekil 6.9. Elektriksel büyüklüklerin ölçülmesine ilişkin devre şeması

Standart olan PV panelin (+) ve (-) kutupları deney düzeneğine, soğutma tekniği uygulanan PV panelin (+) ve (-) kutupları ise Panel 2 girişine bağlanmış ve her farklı soğutma tekniğinde bu işlem tekrarlanmıştır. Hassas şekilde tasarlanmış ve gerçekleştirilmiş rezistif yükler her iki paneli ayrı şekilde yükleyecek şekilde bağlanmıştır. Ampermetreler, yüklerin panelden çektiği akımı ölçerken, voltmetreler ise

yükler üzerindeki gerilim değeri ölçmektedirler. Bu sayede her panelin ürettiği güç değeri, ölçülen akım ve gerilim değerlerinden bulunmaktadır. Kullanılan ampermetrenin hassasiyeti 1/100, voltmetrorenin hassasiyeti ise 1/10 değerinde olup kabul edilebilir sınırlar içindedir. Ampermetrelerin ölçme sınırı 10 Amper, voltmetrorelerin ölçme sınırı 100 Volt olup, deney boyunca ölçülmesi öngörülen sınır değerlerinin üzerindedir. Kullanılan ampermetre ve voltmetroreler bütünleşik bir devre olup 4,5 V'un altındaki değerleri ölçebilmeleri için harici bir beslemeye ihtiyaç duymaktadırlar. Bu beslemenin sağlanabilmesi için ölçü aletleri, panellerin ürettikleri gerilim ve akım değerlerinden bağımsız olarak 2 adet Li-İon pilin seri bağlanmasıyla elde edilen yaklaşık 8,4 V'luk harici bir kaynak ile beslenmişlerdir. Tablo 6.2'de kullanılan 3 adet panelin kalibrasyon testleri sonucunda ölçülen açık devre gerilimi ve kısa devre akımı değerleri ile Tablo 6.3'te ise panellerin yük altında gerçekleştirilen kalibrasyon testlerine ait veriler ile aralarında hesaplanan doğrulama katsayısı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Açık devre gerilimi ve kısa devre akımı

Panel	V _{oc}	I _{sc}
A	21,89	2,06
	22,51	
	21,94	
B	21,27	2,06
	21,91	
	21,17	
A	21,52	2,16
	21,73	
C	22,78	2,14
	22,57	
A	22,22	2,13
D	22,53	2,13

Tablo 6.3. Panellerin kalibrasyonu

İşınım	I_y	V_y	P_y	I_y	V_y	P_y	Güç doğrulama katsayıları
Panel türü							
702 W/m ²	2,11	17,25	36,40	2,09	17,4	36,37	1,011 B = A
A							
702 W/m ²	2,08	17,3	35,99	2,11	17,2	36,29	
B							
A	2,19	17,9	39,2	2,16	18,0	38,88	1,130 C = A
695 W/m ²	2,11	17,3					
C	2,04	17,0	34,68	2,05	16,8	34,44	
695 W/m ²	1,96	16,3					
706 W/m ²	2,11	17,1	36,08	2,08	17,3	35,984	1,129 C = B
B							
706 W/m ²	1,96	16,3	31,95	1,98	16,1	31,878	
C							

6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Monokristal Güneş Paneli; Deneyisel çalışmada, maksimum 50 W güç üretebilen monokristalin PV paneller kullanılmıştır. PV panele ait karakteristik özellikler Tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4. Monokristal PV modülün teknik özellikleri (Standart Test Koşulları: AM= 1,5, E=1000 W/m², Tc=25 C)

Parametre	Değer
Maksimum güç (P _{max})	50 W _p
Güç Tolerans Aralığı	%5
Açık Devre Gerilimi (V _{oc})	23,80 V
Maksimum Güç Voltajı (V _{mp})	20,70 V
Kısa devre akımı (I _{sc})	2,54 A
Maksimum Güç Akımı (I _{mp})	2,42 A
Maksimum Sistem Voltajı	1000 V
Ağırlık	3,8 kg
Boyut	1480 x 670 x 30 mm

Solar Güç Ölçer (Piranometre); Deney düzeneğinde ışıınım değerini ölçmek için solar güç ölçer kullanılmıştır. Solar güç ölçere ait teknik özellikler Tablo 6.5’te verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.10’da solar güç ölçere ait resim verilmiştir.

Tablo 6.5. Solar güç ölçer cihazının teknik özellikleri

Özellikler	Değer
Ölçüm Aralığı	0-1999 (W/m ²)
Kararlılığı	1 (W/m ²)
Ağırlık	260 g
Boyut	63 x 162 x 28 mm
Ölçülen	Güneş ışıınımı

**Şekil 6.10.** Deneyde kullanılan solar güç ölçer

Anemometre; hava hızını ölçmek için UNI-T UT363S marka anemometre vasıtasıyla hava hızı değişimleri belirlenmiştir. Anemometreye ait teknik özellikler Tablo 6.6’da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 6.11’de anemometreye ait resim verilmiştir.

Tablo 6.6. Anemometre aletinin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Hava Hızı Ölçüm Aralığı	0,4 – 30 m/sn
Hava Hızı Doğruluğu	±%5 + 0,5 m /sn
Hassasiyet	-10 - +50 °C
Ağırlık	356 g
Boyut	120mm x 53mm x 43mm



Şekil 6.11. Deneyde kullanılan anemometre

Su Pompası; sistemde suyun sirkülasyonunu sağlamak amacıyla Mur-cell marka QB-60 model su pompası kullanılmıştır. Kullanılan su pompasına ait teknik özellikler Tablo 6.7’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.12’de su pompasına ait resim verilmiştir.

Tablo 6.7. Su pompasına ait teknik özellikler

Özellik	Değer
Güç	0,37 Kw – 0,5 hp
Giriş Çapı	1 inç
Çıkış Çapı	1 inç
Maksimum Debi	1,6 m ³ /h
Maksimum Basma Yüksekliği	33 m
Emme Derinliği	6 m
Maksimum Basınç	6 Bar
Boyutlar	280 x 140 x 170
Ağırlık	5,3 kg



Şekil 6.12. Deneyde kullanılan su pompası

Termal Kamera; Paneller arasındaki sıcaklık farklarının görüntülerini daha iyi görmek için Testo marka 881 model termal kamera kullanılmıştır. Termal kameraya ait teknik özellikler Tablo 6.8’de gösterilmiştir. Ayrıca termal kameraya ait resim Şekil 6.13’te gösterilmiştir.

Tablo 6.8. Termal kameraya ait teknik özellikler

Özellik	Değer
Dedektör Çözünürlüğü	160 x 120 piksel
En İyi Sıcaklık Ölçümü Doğruluğu	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Yenileme Hızı	33 Hz
Ekran Boyutu	3,5 inç
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-20 - +350 $^{\circ}\text{C}$
Ekran Çözünürlüğü	320 x 240 piksel
Termal Hassasiyet	$\leq 50\text{ mK}$
Odak Tipi	Manuel motor
Ağırlık	900 g

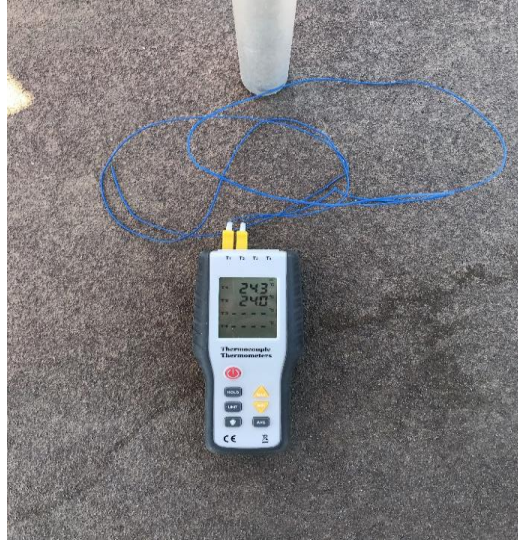


Şekil 6.13. Deneyde kullanılan termal kamera

Termo Eleman; Panel sıcaklığını ölçmek için K tipi termokupl termometre kullanılmıştır. Kullanılan cihazın teknik özellikleri Tablo 6.9’da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 6.14’te termokupl termometreye ait resim gösterilmiştir.

Tablo 6.9. Termokupl termometreye ait teknik özellikler

Özellik	Değer
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-200 $^{\circ}\text{C}$ – 1372 $^{\circ}\text{C}$
Hassasiyet	>100 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$; <100 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Boyut	200 x 85 x 38 mm
Ağırlık	230g



Şekil 6.14. Panel sıcaklıklarını ölçmek için kullanılan K tipi termokupl termometre

Hassas Terazi; Nanoparçacık ölçümünde 1 g hassasiyetindeki SF-400 hassas terazi kullanılmıştır. Hassas teraziye ait resim Şekil 6.15’te gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Deneylerde kullanılan hassas terazi

Sıcaklık Ölçer; Panel sıcaklıkları ve diğer deneysel malzemelerin sıcaklıklarını ölçmek için Infrared marka DT-8826 model temassız sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Temassız sıcaklık ölçere ait resim Şekil 6.16’da gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Deneylerde kullanılan temassız sıcaklık ölçer

6.2. Sayısal Hesaplamalar

6.2.1. Fotovoltaik sistemlerin enerji analizi

Fotovoltaik yapıların enerji verimliliği, sistemin çıkış enerjisinin (fotovoltaik yüzeydeki güneş ışıması) giriş enerjisine oranı şeklinde ifade edilir. Fotovoltaik yapıların enerji verimliliği ya da birinci yasa verimi şu şekildedir;

$$\eta = \frac{V_m I_m}{I_g A_p} \quad (6.1)$$

Burada; η panel verimliliği, A_p panel alanı (m^2) ve I_g ise PV yüzeydeki güneş ışımasıdır (W/m^2).

Elektrik gücü çıkışı, PV yapılarından gelen akım ile gerilimin bir sonucudur. Bu dönüşüm etkinliği, sabit güneş ışıması altında da sabit olmaz. Bununla beraber, bir maksimum güç noktası mevcuttur ve bu noktadaki gerilim değeri V_m , açık devre geriliminden (V_{oc}) daha azdır. Akım I_m (maksimum güç noktasındaki akım) ise, kısa devre akımından (I_{sc}) az ancak ona oldukça yakın bir değerdir. Maksimum güç noktası, aşağıda gösterildiği gibi doldurma faktörü (FF) olarak isimlendirilen bir terimle ifade edilmiştir [150, 151].

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (6.2)$$

Denklem (6.2), denklem (6.1)'de yerine konulduğunda,

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{I_g A} \quad (6.3)$$

denklemini bulunur. Denklem 6.1 ve Denklem 6.2’de yer alan V_m ve I_m değerlerinin çarpımı elektriksel güç şeklinde (P_m) ifade edilmektedir. Bir fotovoltaik yapının gücü, akım ve gerilim değerlerinin çarpımı ile elde edilebileceği gibi sıcaklığın bir fonksiyonu şeklinde de deneysel denklemlerle bulunabilir. Literatürde en fazla kullanılan veya tercih edilen maksimum güç denklemleri aşağıda gösterildiği gibi tanımlanmıştır [152].

$$P_m = P_m^{STC} \left[1 + (T - 25) \alpha_p \right] \quad (6.4)$$

$$P_m = V_m I_m \quad (6.5)$$

Burada; P_m maksimum güç (W), STC ise standart test koşullarıdır.

6.2.2. Deney sistemine ait güç ve verim hesaplamaları

Silindirik Kanatçıklı Panel İçin;

Deneylerde kullanılan silindirik kanatçıklı panelin gücü ve verimi için;

$$P = IV \quad (6.6)$$

$$P_{si} = IV(1,13) \quad (6.7)$$

$$P_a = \frac{(P_{si} - P)100}{P} \quad (6.8)$$

$$\eta_{si} = \frac{P_{si}}{I_g(0,229)} \quad (6.9)$$

$$\eta_a = (\eta_{si} - \eta)100 \quad (6.10)$$

Burada; P soğutmasız panelin gücü (W), P_{si} silindirik kanatçıklı panelin gücü (W), P_a güç artışı (W), I akım (A), V gerilim (V), η soğutmasız panelin verimi, η_{si} silindirik kanatçıklı panelin verimi, η_a verim artışı ve I_g Güneş ışınımıdır (W/m^2) [153].

Levha Kanatçıklı Panel İçin;

Deneylerde kullanılan levha kanatçıklı panelin gücü ve verimi için;

$$P = IV$$

$$P_L = IV(1,011) \quad (6.11)$$

$$P_a = \frac{(P_L - P)100}{P} \quad (6.12)$$

$$\eta_L = \frac{P_L}{I_g (0,229)} \quad (6.13)$$

$$\eta_a = (\eta_L - \eta) 100 \quad (6.14)$$

Burada; P_L levha kanatçıklı panelin gücü (W), η_L levha kanatçıklı panelin verimidir [153].

Levha Kanatçık-Su Soğutmalı Panel İçin;

Deneylerde kullanılan levha kanatçıklı-su soğutmalı panelin gücü ve verimi için;

$$P = IV$$

$$P_s = IV (1,011) \quad (6.15)$$

$$P_a = \frac{(P_s - P) 100}{P} \quad (6.16)$$

$$\eta_e = \frac{P}{I_g (0,229)} 100 \quad (6.17)$$

$$Q_R = \frac{150 (4,18) 1000 (T_g - T_\zeta)}{3600} \quad (6.18)$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_R 100}{I_g (0,229)} \quad (6.19)$$

$$\eta_T = \eta_e + \eta_{th} \quad (6.20)$$

$$\eta_a = \eta_{es} - \eta_e \quad (6.21)$$

Burada; P_s soğutmalı panelin gücü (W), η_e soğutmasız panelin elektriksel verimi, η_{es} soğutmalı panelin elektriksel verim, η_T toplam verim, η_{th} ısı verim, Q_R ısı kazancı (W) ve η_{th} ısı verimidir [153].

6.2.3. Zorlanmış akış için ısı transferi hesabı

Deneyde kullanılan panellerde akışkanın panele giriş sıcaklığı T_g ve çıkış sıcaklığı da T_ζ ise film sıcaklığı T_f ,

$$T_f = \frac{T_g - T_\zeta}{2} \quad (6.22)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Hidrolik çap (D_h); akışkanın aktığı (panel) kesit alanının (A_p), akışkanın kapladığı alanın duvarla temas ettiği çevrel uzunluğa (ζ) oranı olarak hesaplanmıştır [153].

$$D_h = \frac{4A_p}{\zeta} \quad (6.23)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Hacimsel debi ($\dot{V}$);

$$u = \frac{\dot{V}}{A_p} \quad (6.24)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Burada; u akışkanın hızı (m/s), ζ kanal çevre uzunluğudur (m).

Isı taşınım katsayısının hesaplanması için sırasıyla Reynolds sayısı (Re) ve Nusselt sayısı (Nu) hesaplanmıştır. Akış türünün belirlenebilmesi için (laminer, türbülanslı) Reynolds sayısına hesaplanır. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranı olarak ifade edilir.

$$Re = \frac{\rho u D_h}{\mu} \quad (6.25)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada; ρ yoğunluk (kg/m³), μ dinamik viskozitedir (Pa. s).

$$L_t = 0,05 Re Pr D_h \quad (6.26)$$

Nusselt sayısı taşınım ile meydana gelen ısı transferinin, iletimle yoluyla oluşan ısı transferine oranı olarak ifade edilmektedir. Paneldeki Nusselt sayısı şu şekilde hesaplanmıştır;

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (6.27)$$

$$Nu = 3,66 + \frac{0,065 (D_h / L) Re Pr}{1 + 0,04 [(D_h / L) Re Pr]^{2/3}} \quad (6.28)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada; L_t ısı gelişme uzunluğu (m), h ısı taşınım katsayısı (W/m²K), k ısı iletim kat sayısı (W/mK), Pr Prandtl sayısı ve L karakteristik uzunluktur (m).

Böylelikle ısı taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [153].

$$h = \frac{k}{D_h} Nu \quad (6.29)$$

$$A_{ps} = (EL_k) + [N(\zeta_k H)] - (N A_c) \quad (6.30)$$

$$\Delta T \ln = \frac{T_g - T_\zeta}{\ln \frac{T_s - T_\zeta}{T_s - T_g}} \quad (6.31)$$

$$Q = h A_s \Delta T \ln \quad (6.32)$$

Burada; A_{ps} akışkanın geçtiği ısı transfer yüzey alanının tümüdür (m^2). Yani kanal içindeki PV alt tabanı ve kanatçıkların ısı transfer yüzey alanlarının toplamıdır. E kanal eni (m), L_k kanal uzunluğu (m), H kanal yüksekliği (m), A_c kanatçık kesit alanı (m^2), ζ_k kanatçık çevresi (m), N kanatçık sayısı, $\Delta T \ln$ = Logaritmik ortalama sıcaklık farkı Q ısı geçişi, ısı miktarıdır (W).

Ayrıca nanoakışkanların dinamik viskozitesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [154].

$$\mu_{nf} = \frac{1}{(1-\phi)^{2,5}} \mu_w \quad (6.33)$$

$$\mu_{TiO_2} = \frac{\mu_{Al_2O_3} \rho_{TiO_2}}{\rho_{Al_2O_3}} \quad (6.34)$$

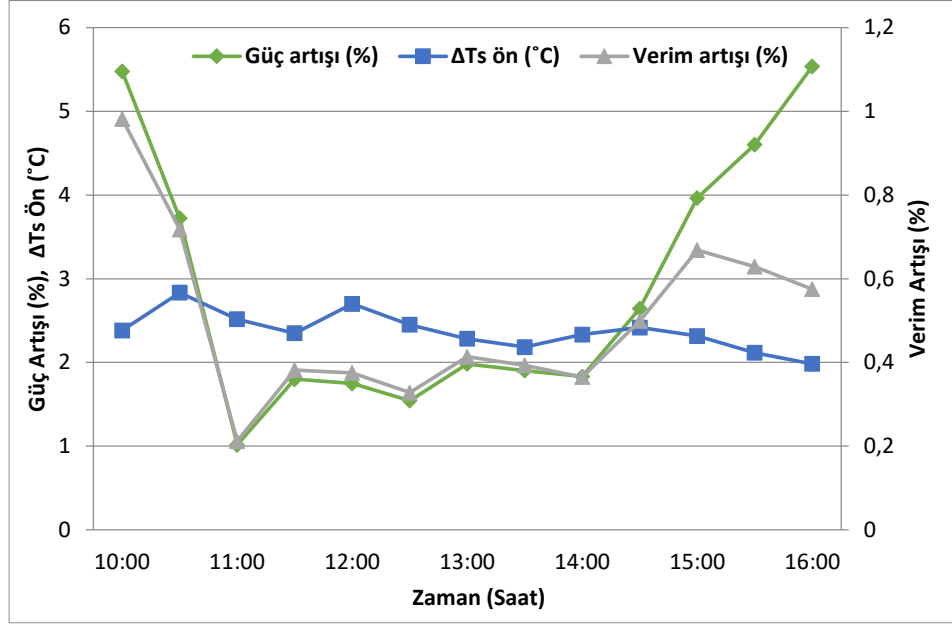
$$\mu_{CuO} = \frac{\mu_{Al_2O_3} \rho_{CuO}}{\rho_{Al_2O_3}} \quad (6.35)$$

Burada; μ_{nf} nanoakışkanın dinamik viskozitesi (Pa. s), μ_w temel akışkanın dinamik viskozitesi, ϕ hacimsel oran, ρ yoğunluk (kg/m^3), μ_{TiO_2} TiO_2 'nin dinamik viskozitesi, μ_{CuO} CuO 'nun dinamik viskozitesi, $\mu_{Al_2O_3}$ Al_2O_3 'ün dinamik viskozitesi, ρ_{TiO_2} TiO_2 'nin yoğunluğu, ρ_{CuO} CuO 'nun yoğunluğu, $\rho_{Al_2O_3}$ Al_2O_3 'ün yoğunluğudur.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Kanatçıklı Pasif Soğutma

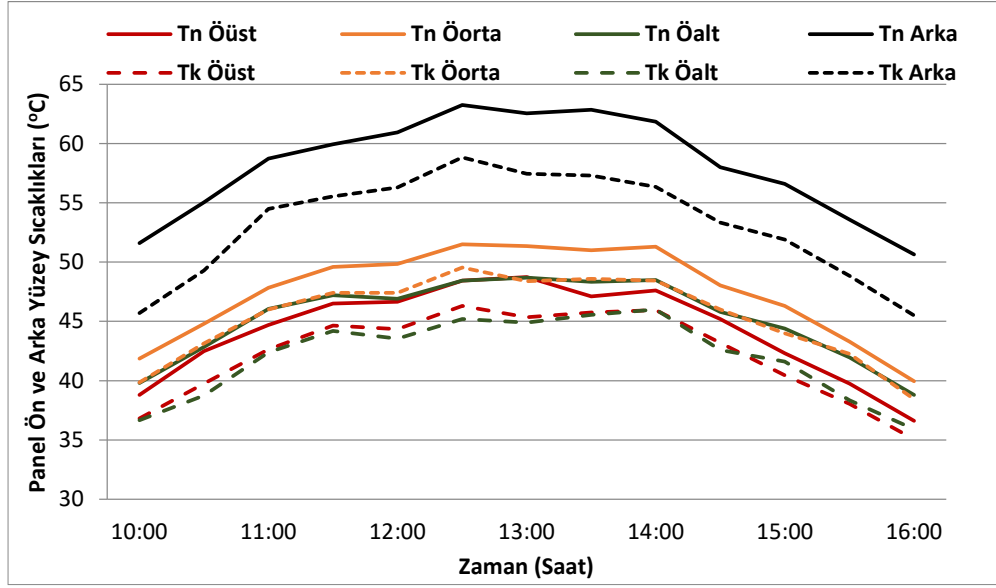
7.1.1. Silindirik kanatçıklı pasif soğutma



Şekil 7.1. Silindirik kanatçıklı panelin kanatçıksız panele göre güç artışı, verim artışı ve sıcaklık düşüşünün gün boyunca değişimi

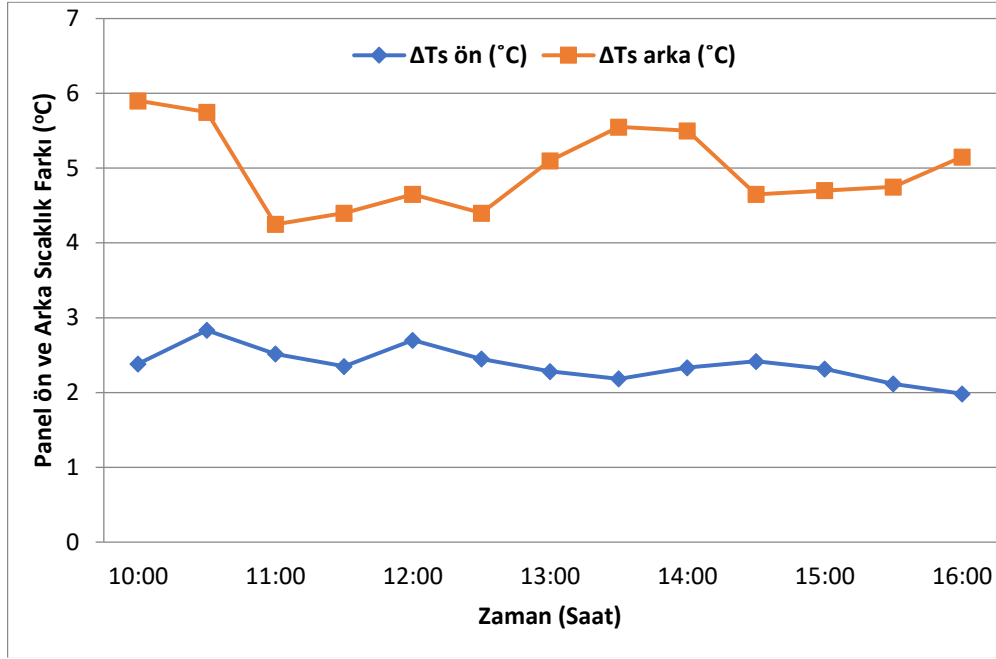
Şekil 7.1’de silindirik kanatçıklı panelin güç artışı, kanatçıksız panel ile silindirik kanatçıklı panelin ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışı ve silindirik kanatçıklı panelin verim artışının günün belli saatlerine göre değişimi görülmektedir. En yüksek güç artışı saat 16:00’da yaklaşık olarak %5,53, en düşük güç artışı ise saat 11:00’da yaklaşık olarak %1,01 olarak görülmektedir. Ayrıca gün boyunca kanatçıksız panele göre ortalama olarak %2,906’lık bir güç artışı olmuştur. Bayrak ve diğerleri de [136] yaptıkları çalışmada, panelin arkasına yapıştırılan kanatçıkların paneli soğutarak panel çıkış gücünü artırdığını tespit etmişlerdir. Öte yandan en yüksek verim artışı saat 10:00’da %0,98, en düşük verim artışı ise saat 11:00’da yaklaşık olarak %0,21 olarak görülmektedir. Ayrıca gün boyunca kanatçıksız panele göre ortalama olarak %0,503’lük bir verim artışı olmuştur. Şekilde görüldüğü gibi genel olarak güç ve verim değerleri paralel olarak değişmişlerdir. Ancak belli bir değerden sonra ışıının etkisiyle güç artarken, PV modül sıcaklığının artışıdan dolayı verimde düşüş yaşanmıştır. En yüksek sıcaklık azalışı saat 10:30’da 2,83 $^{\circ}\text{C}$, en düşük sıcaklık azalışı ise saat 16:00’da

yaklaşık olarak 1,98 °C olarak görülmektedir. Panel arkasına yapıştırılan silindirik kanatçıklar etkili bir soğutma yaparak panel verimine ve panel gücüne katkı sağlamıştır.



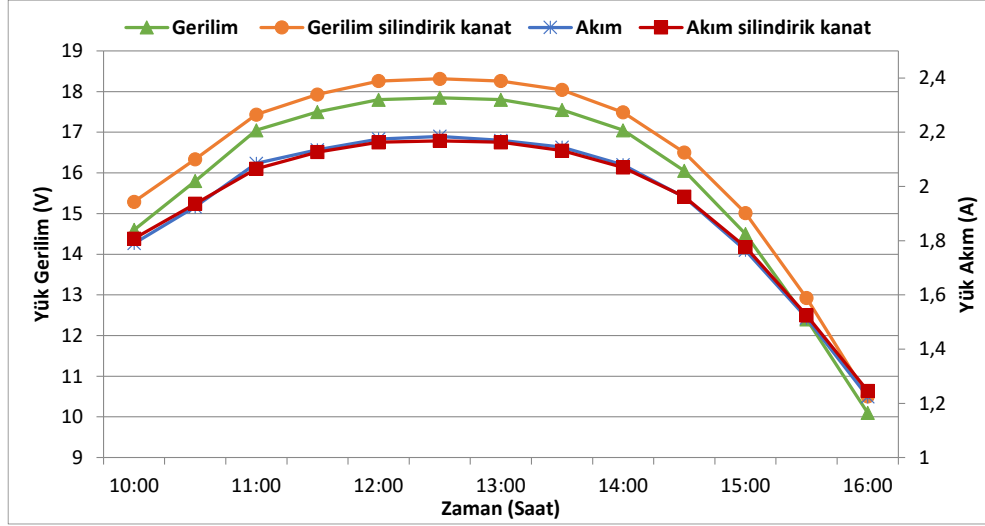
Şekil 7.2. Silindirik kanatçıklı ve kanatçıksız panelin ön ve arka yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.2’de kanatçıksız panelin ön yüz sıcaklıkları, silindirik kanatçıklı panelin ön yüz sıcaklıkları ve her iki panelin arka sıcaklıklarının gün içindeki değişimleri görülmektedir. Şekil 7.2’ye bakıldığında, genel itibarıyla silindirik kanatçıklı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Panelin arkasına yapıştırılan silindirik kanatçıkların panelin sıcaklığını çekerek paneli daha etkili soğuttuğu açıkça görülmektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınımla beraber panel sıcaklıklarında da düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçıksız panelin arka kısmının, silindirik kanatçıklı panelin arka kısmına göre daha sıcak olduğu görülmüştür. En yüksek arka panel sıcaklıkları saat 12:30’da kanatçıksız panel ve silindirik kanatçıklı panel için yaklaşık olarak sırasıyla 63,2 °C ve 58,8 °C olarak görülmüştür. Öte yandan en düşük arka panel sıcaklıkları saat 16:00’da kanatçıksız panelde yaklaşık olarak 50,6 °C, silindirik kanatçıklı panelde ise 45,5 °C olarak ölçülmüştür. Kanatçıksız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 12,30’da orta kısmında 51,5 °C, silindirik kanatçıklı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise orta kısmında yaklaşık olarak 49,5 °C olarak görülmüştür. En düşük sıcaklıklar ise kanatçıksız ve silindirik kanatçıklı panellerin sol üst kısımlarında saat 16:00’da sırasıyla 36,6 °C ve 35 °C olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 7.3. Silindirik kanatçıklı ve kanatçıksız panelin arka kısımları ve ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının gün boyunca değişimi

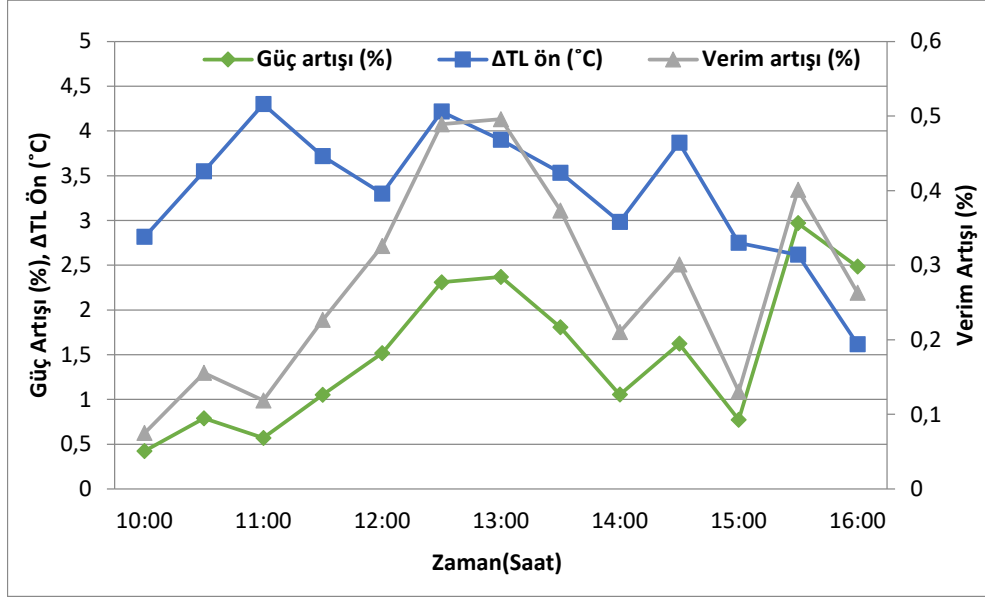
Şekil 7.3'te kanatçıksız panel ile silindirik kanatçıklı panelin arka kısımları ve ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının günün belli saatlerine göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.3'te görüldüğü gibi, panelin arkasına monte edilen silindirik kanatçıkların panelin sıcaklığını çekerek paneli soğuttuğu görülmektedir. Panel ön ve arka sıcaklık azalışlarına bakıldığında; kanatçıksız panel ile silindirik kanatçıklı panelin arka kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının daha yüksek olduğu görülmektedir. Panellerin arka kısımları arasındaki en yüksek sıcaklık farkı saat 10:00'da 5,9 °C, en düşük sıcaklık farkının ise saat 11:00'de yaklaşık olarak 4,2 °C olduğu görülmüştür. Öte yandan kanatçıksız panel ve silindirik kanatçıklı panelin ön kısımları arasındaki en yüksek sıcaklık farkı saat 10:30 civarlarında yaklaşık olarak 2,8 °C, en düşük sıcaklık farkının ise saat 16:00'da 1,9 °C olduğu görülmektedir. Bayrak ve diğerleri [136] yaptıkları çalışmada gün içinde en yüksek sıcaklık farkını saat 10:00'da yaklaşık olarak 3,39 °C olarak tespit etmişlerdir.



Şekil 7.4. Silindirik kanatçıklı ve kanatçıksız panelin gerilim ve akım değerlerinin gün boyunca değişimi

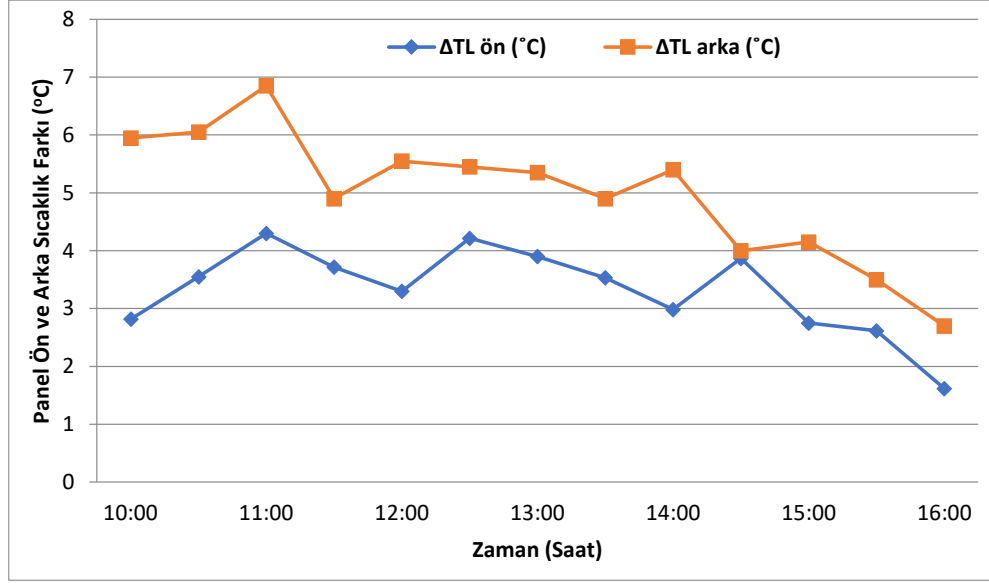
Şekil 7.4'te kanatçıksız ve silindirik kanatçıklı panellerin gerilim ve akım değerleri görülmektedir. Şekil 7.4'e bakıldığında akım ve gerilim değerlerinde genel itibarıyla ışıınım değerinin yükseldiği öğle saatlerine doğru bir artış gösterip, öğle saatlerinden sonra azalan ışıınım değeriyle birlikte düşüş görülmüştür. En yüksek panel gerilimleri saat 12:30'da silindirik kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 18,315 V ve 17,85 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri ise saat 16:00'da silindirik kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 10,505 V ve 10,1 V olarak görülmektedir. Panel geriliminin artan ışıınımla beraber arttığı, buna karşın artan sıcaklıkla düştüğü görülmüştür. En yüksek panel akımları saat 12:30'da silindirik kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 2,168 A ve 2,185 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları ise saat 16:00'da silindirik kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 1,246 A ve 1,225 A olarak görülmektedir. Genel olarak incelendiğinde kanatçıksız panel ile silindirik kanatçıklı panelin akım değerleri birbirine çok yakın olduğu soğutmanın pozitif etkilerinin çoğunlukla gerilim üzerinde olduğu ortaya çıkmıştır.

7.1.2. Levha kanatçıklı pasif soğutma



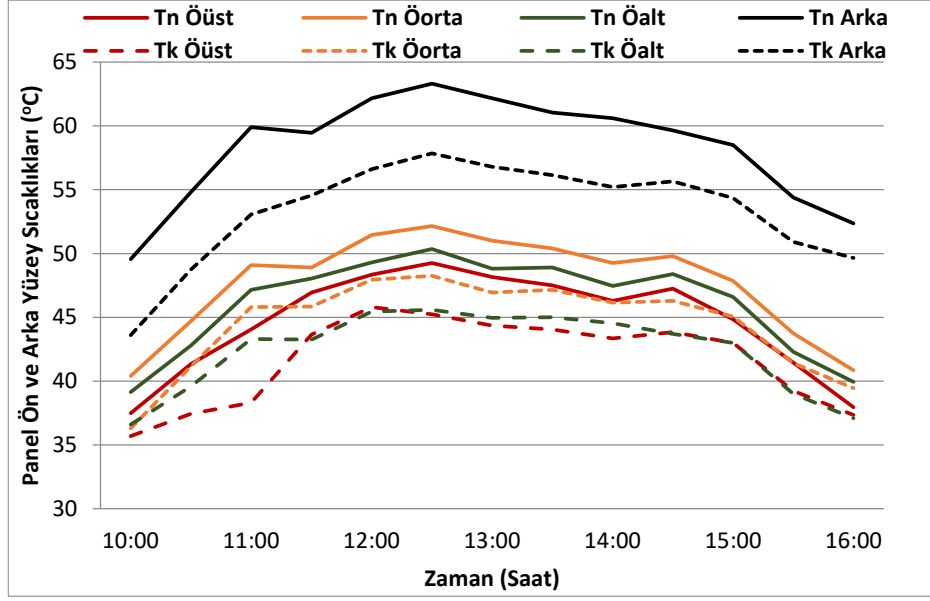
Şekil 7.5. Levha kanatçıklı panelin kanatçıksız panele göre güç artışı, verim artışı ve sıcaklık düşüşünün gün boyunca değişimi

Şekil 7.5'te levha kanatçıklı panelin güç artışı, kanatçıksız panel ile levha kanatçıklı panelin ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışı ve levha kanatçıklı panelin verim artışının günün belli saatlerine göre değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi genel olarak güç ve verim değerlerinin, ısınım değeriyle orantılı değiştiği görülmüştür. Fakat sıcaklık artışından verim daha çok etkilenmiştir. Panel sıcaklığının artmasıyla verimde keskin bir düşüş yaşanmıştır. Standart ve levha kanatçık soğutmalı paneller karşılaştırıldığında en yüksek güç artışı saat 15:30'da yaklaşık olarak %2,9, en düşük güç artışı ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %0,4 olarak görülmektedir. Ayrıca gün boyunca kanatçıksız panele göre ortalama olarak %1,517'lik bir güç artışı olmuştur. Öte yandan en yüksek verim artışı saat 13:00'da %4,9, en düşük verim artışı ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %0,07 olarak ölçülmüştür. Ayrıca gün boyunca kanatçıksız panele göre ortalama olarak %0,274'lük bir verim artışı olmuştur. En yüksek sıcaklık azalışı saat 11:00'da 4,3 °C, en düşük sıcaklık azalışı ise saat 16:00'da yaklaşık olarak 1,6 °C olarak görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi panellerin ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı ısınım değerinin yüksek olduğu öğlen saatlerinde yükseldiği görülmüştür. Ayrıca panel arkasına yapıştırılan levha kanatçıklar daha etkili bir soğutma yaparak panel verimine ve panel gücüne katkı sağlamıştır. Bayrak ve diğerleri de [136] yaptıkları çalışmada, panelin arkasına yapıştırılan kanatçıkların paneli soğutarak panel çıkış gücünü artırdığını tespit etmişlerdir.



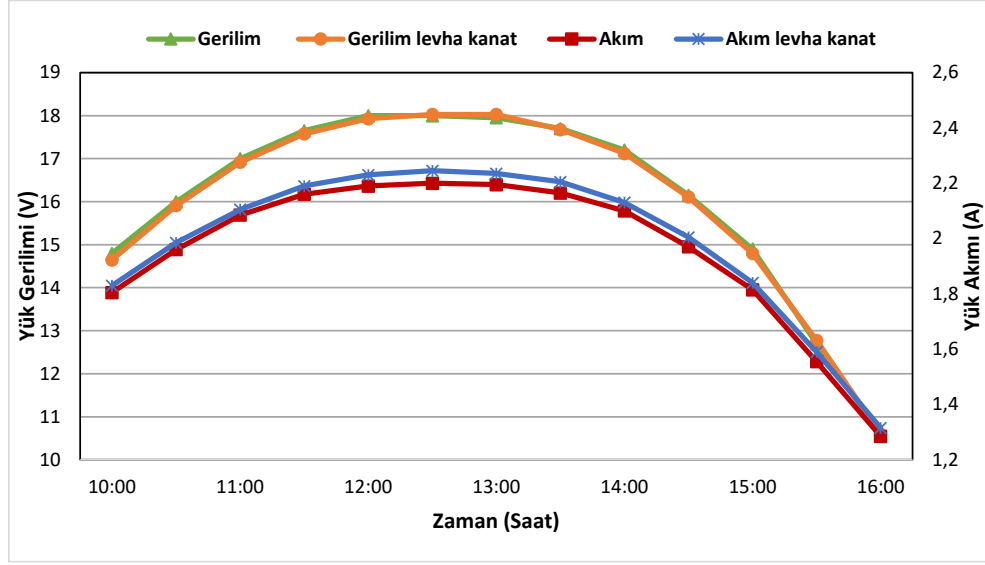
Şekil 7.6. Levha kanatçıklı ve kanatçıksız panelin arka kısımları ve ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının gün boyunca değişimi

Şekil 7.6’da kanatçıksız panel ile levha kanatçıklı panelin arka kısımları ve ön kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının günün belli saatlerine göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.6’ya bakıldığında, panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların panelin sıcaklığını çekerek paneli soğuttuğu açıkça görülmektedir. Panel ön ve arka sıcaklık azalışlarına bakıldığında; kanatçıksız panel ile levha kanatçıklı panelin arka kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalışının daha yüksek olduğu görülmektedir. Panellerin arka kısımları arasındaki en yüksek sıcaklık farkı saat 11:00’da yaklaşık olarak 6,8 °C, en düşük sıcaklık farkının ise saat 16:00’da 2,7 °C olduğu görülmüştür. Öte yandan kanatçıksız panel ve levha kanatçıklı panelin ön kısımları arasındaki en yüksek sıcaklık farkı saat 11:00’de 4,3 °C, en düşük sıcaklık farkının ise saat 16:00’da yaklaşık olarak 1,6 °C olduğu görülmektedir. Bayrak ve diğerleri [136] yaptıkları çalışmada gün içinde en yüksek sıcaklık farkını saat 10:00’da yaklaşık olarak 3,39 °C olarak tespit etmişlerdir. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi levha kanatçıkların panelin arka kısmını daha iyi soğuttuğu görülmüştür.



Şekil 7.7. Levha kanatçıklı ve kanatçıksız panelin ön ve arka yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

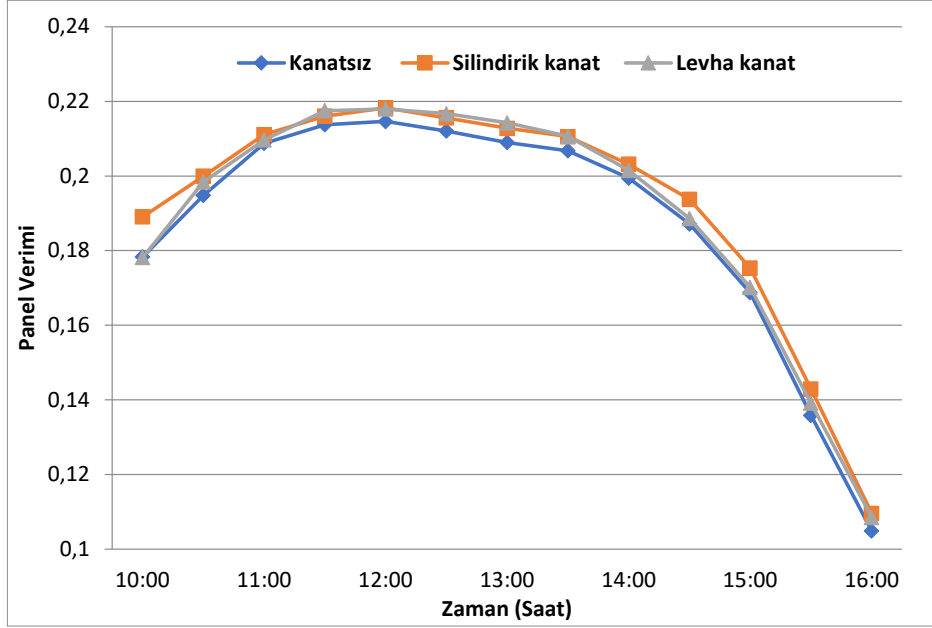
Şekil 7.7’de kanatçıksız panelin ön yüz sıcaklıkları, levha kanatçıklı panelin ön yüz sıcaklıkları ve her iki panelin arka sıcaklıkları görülmektedir. Şekil 7.7’ye bakıldığında, genel itibarıyla levha kanatçıklı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Panelin arkasına monte edilen levha kanatçıkların ısı transferini artırarak paneli soğuttuğu görülmektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ısınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ısınımla beraber panel sıcaklıklarında da düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçıksız panelin arka kısmının, levha kanatçıklı panelin arka kısmına göre daha sıcak olduğu görülmüştür. En yüksek arka panel sıcaklıkları saat 12:30’da kanatçıksız panel ve levha kanatçıklı panel için yaklaşık olarak sırasıyla 63,3 °C ve 57,8 °C olarak görülmüştür. En düşük arka panel sıcaklıkları saat 10:00’da kanatçıksız panelde yaklaşık olarak 49,5 °C, levha kanatçıklı panelde ise 43,6 °C olarak görülmüştür. Kanatçıksız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 12:30’da orta kısmında yaklaşık olarak 52,1 °C, levha kanatçıklı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise orta kısmında yaklaşık olarak 48,2 °C olarak görülmüştür. Kanatçıksız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklıklar ise saat 10:00 ve 16:00’da sol üst kısmında sırasıyla 37,5 °C ve 37,9 °C olarak görülmektedir. Öte yandan levha kanatçıklı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklıklar saat 10:00’da sol üst kısmında 35,7 °C ve saat 16:00’da sağ alt kısmında 37,1 °C olarak görülmektedir.



Şekil 7.8. Levha kanatçıklı ve kanatçıksız panelin gerilim ve akım değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.8’de kanatçıksız ve levha kanatçıklı panellerin gerilim ve akım değerleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde akım ve gerilim değerlerinin genel itibarıyla ısıtım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ısıtım ile beraber düşüş gösterdikleri gözlemlenmiştir. En yüksek panel gerilimleri saat 12:30’da levha kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 18,315 V ve 17,85 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri ise saat 16:00’da levha kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 10,505 V ve 10,1 V olarak görülmektedir. Panel geriliminin artan ısıtım ile beraber arttığı, buna karşın artan sıcaklıkla düştüğü görülmüştür. Genel olarak bakıldığında kanatçıksız panel ile levha kanatçıklı panelin gerilim değerleri birbirine paralel ve oldukça yakın çıkmıştır. En yüksek panel akımları saat 12:30’da levha kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 2,168 A ve 2,185 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları ise saat 16:00’da levha kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 1,246 A ve 1,225 A olarak görülmektedir.

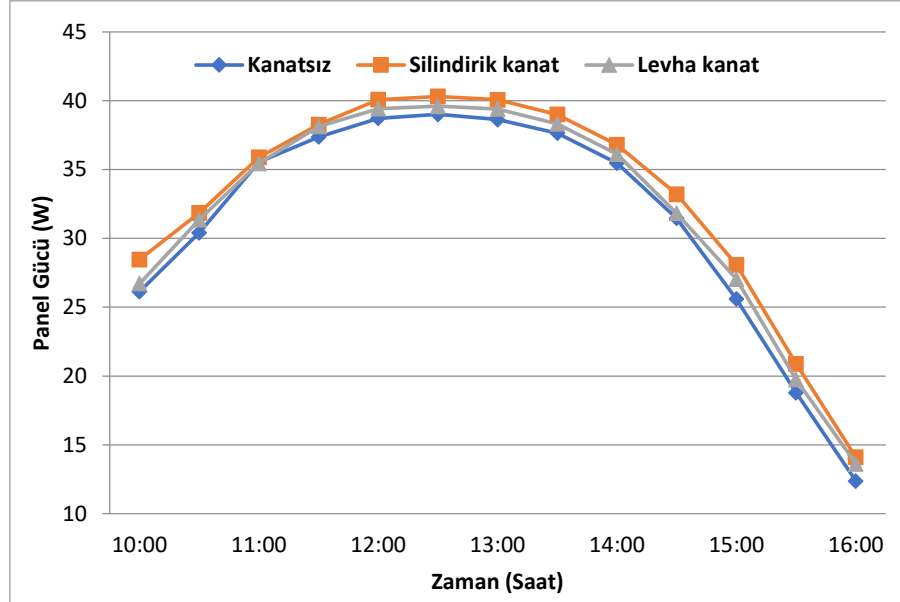
7.1.3. Kanatçık türü karşılaştırma



Şekil 7.9. Kanatçıksız ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait verim değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.9’da kanatçıksız bir panele ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait verim değerleri görülmektedir. Fotovoltaik güneş modüllerinin yükselen modül sıcaklığıyla beraber verimleri azaltmaktadır. Bu verim düşüşünün önüne geçmek için PV panel arkasına silindirik ve levha kanatçıklar yapıştırılarak PV panel sıcaklığı azaltılarak verim artışı düşünülmüştür. Ömeroğlu [140] yaptığı çalışmada, kanatçık sayısına bağlı olarak büyüyen yüzey alanı ile ısı transferinin daha verimli olacağını tespit etmiştir. Ayrıca Kotcioglu ve diğerleri [143] kanatçıklar sayesinde artan yüzey alanıyla ısı transferinin arttığını gözlemlemişlerdir. Şekil 7.9’a bakıldığında genel itibarıyla kanatçıklı panellerin verimi kanatçıksız panele göre daha yüksek görülmektedir. Ayrıca panel verimleri genel itibarıyla ışınlama paralellik göstermiştir. Panel verimleri öğle saatlerine kadar ışınlamanın artmasıyla bir yükseliş gösterip, öğle saatlerinden sonra ışınlama değerinin düşmesiyle panel verimlerinde de genel itibarıyla bir düşüş görülmüştür. Panellerdeki en yüksek verimler saat 12:00’da silindirik kanatçıklı panel için yaklaşık olarak %21,82, levha kanatçıklı panel için yaklaşık olarak %21,79, kanatçıksız panel için ise yaklaşık olarak %21,46 olarak gözlemlenmiştir. En düşük verimler ise saat 16.00’da silindirik kanatçıklı panel, levha kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; %10,9, %10,8 ve %10,4 olarak görülmüştür. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak verim değerlerine

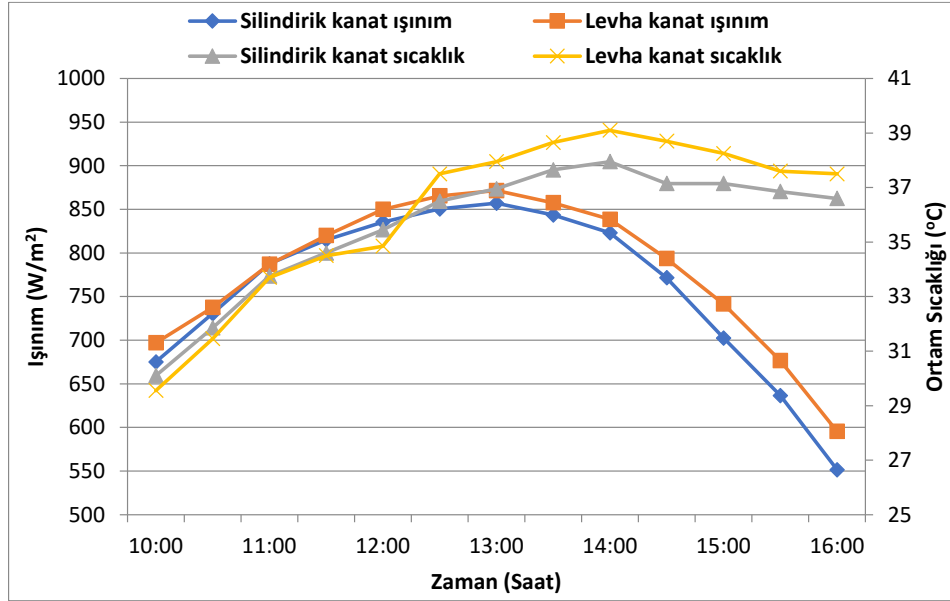
bakıldığında silindirik kanatçıklı panel, levha kanatçıklı panele ve kanatçıksız paneller için sırasıyla %19,21, %19,01 ve %18,72 olarak görülmüştür. Sonuçlara göre genel itibarıyla kanatçıksız panel ile karşılaştırıldığında silindirik ve levha kanatçıklı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %2,62 ve %1,52'lik bir verim artışı olmuştur. Ayrıca silindirik kanatçıklı panelde, levha kanatçıklı panele göre %1,08'lik bir verim artışı meydana gelmiştir. Mojumder ve diğerleri [137] yaptıkları çalışmada, PV verimliliği bakımından kıyaslandığında 0,02 kg/s akış hızında kanatçıksız durumun, 0,14 kg/s kütle akış hızında ince dikdörtgen kanatçık durumdan yaklaşık olarak %0,81 daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Demir [138] yaptığı çalışmada, kanatçıklardan yararlandığında elektriksel verim, kontrol hacmine giren hava hızı ile ısıtım şiddetine bağlı olarak %13,8-9,7 civarında olduğunu tespit etmiştir. Kanatçıksız PV sistemindeki verimin ise %7,9-6,9 seviyelerinde kaldığını tespit etmiştir.



Şekil 7.10. Kanatçıksız ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.10'da kanatçıksız bir panele ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait güç değerleri görülmektedir. Fotovoltaik güneş modüllerinin yükselen modül sıcaklığıyla beraber verimleri azaltmaktadır. Bu verim düşüşünün önüne geçmek için PV panel arkasına silindirik ve levha kanatçıklar yapıştırılarak PV panel sıcaklığı çekilerek verim artışı düşünülmüştür. Şekilden de görüldüğü gibi genel itibarıyla kanatçıklı panellerin gücü kanatçıksız panele göre daha yüksek görülmektedir. Ayrıca panel güçleri genel itibarıyla ısıtım ile paralellik göstermiştir. Panel güçleri öğle

saatlerine kadar ışıının artmasıyla bir yükseliş gösterip, öğle saatlerinden sonra ışıının değeri düşmesiyle panel güçlerinde de genel itibarıyla bir düşüş görülmüştür. En yüksek panel güçleri saat 12:30'da silindirik kanatçıklı panel, levha kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 40,3 W, 39,6 W ve 39 W olduğu görülmüştür. En düşük panel güçleri ise saat 16.00'da silindirik kanatçıklı panel, levha kanatçıklı panel ve kanatçıksız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 14,09 W, 13,62 W ve 12,37 W olduğu görülmüştür. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak güç değerlerine bakıldığında silindirik kanatçıklı panel, levha kanatçıklı panele ve kanatçıksız paneller için sırasıyla 32,84 W, 32,05 W ve 31,31 W olarak görülmüştür. Bayrak ve diğerleri [136] yaptıkları çalışmada, panelin arkasına yapıştırılan kanatçıkların paneli soğutarak panel çıkış gücünü artırdığını tespit etmişlerdir. Sonuçlara göre genel itibarıyla kanatçıksız panel ile karşılaştırıldığında silindirik ve levha kanatçıklı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %4,87 ve %2,36'lık bir güç artışı olmuştur. Ayrıca silindirik kanatçıklı panelde, levha kanatçıklı panele göre %2,45'lik bir güç artışı meydana gelmiştir.



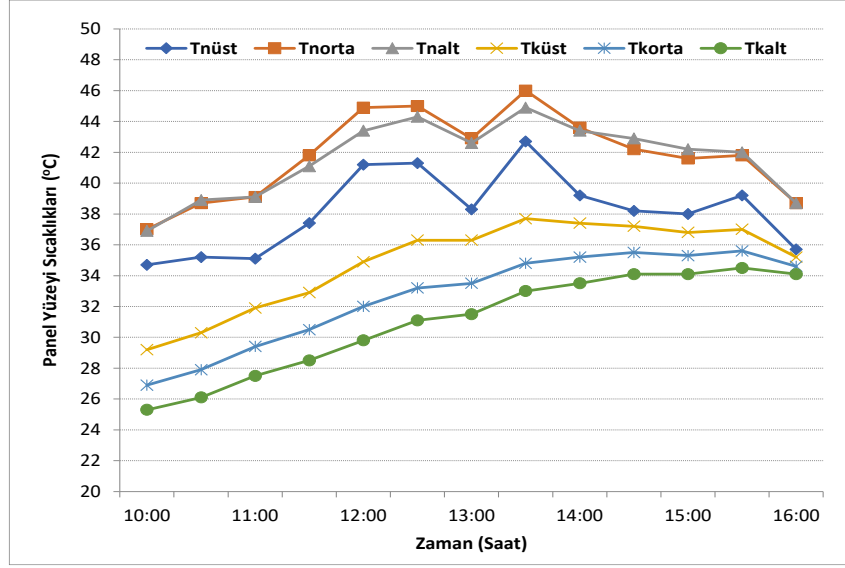
Şekil 7.11. Kanatçıksız ve kanatçıklı panellere (silindirik kanatçık-levha kanatçık) ait ışıının ve ortam sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.11'de silindirik kanatçıklı ve levha kanatçıklı panellerin zamana göre ortam sıcaklığı ve ışıının değerleri görülmektedir. ışıının değerleri öğle saatlerine kadar bir yükseliş gösterip, öğle saatlerinden sonra ışıının değerleri düşüş göstermiştir. Bu da panel hücre verimliliğiyle paralellik gösterir. Bayrak ve diğerleri [136] yaptıkları çalışmada, güneş ışıının değerinin panellerin güç ve verim değerinde olumlu bir etki

yaptığını fakat artan güneş ışıınım değeriyle beraber panellerde ısınma meydana getirerek panel verimini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Şekil 7.11'e göre en yüksek ışıınım değeri levha kanatçıklı panel ve silindirik kanatçıklı panel için saat 13.00'da sırasıyla $871,5 \text{ W/m}^2$ ve 857 W/m^2 olarak görölmektedir. En düşük ışıınım değeri ise levha kanatçıklı panel ve silindirik kanatçıklı panel için saat 16.00'da sırasıyla $595,5 \text{ W/m}^2$ ve $551,5 \text{ W/m}^2$ olarak görölmektedir. Öte yandan en yüksek ortam sıcaklıkları da levha kanatçıklı panel ve silindirik kanatçıklı panel için saat 14.00'da sırasıyla $39,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $37,95 \text{ }^{\circ}\text{C}$ şeklinde görölmektedir. En düşük ortam sıcaklıkları ise silindirik kanatçıklı panel ve levha kanatçıklı panel için sırasıyla $30,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $29,55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak görölmektedir. Genel itibarıyla levha kanatçıklı panelde ortam sıcaklığı daha yüksek olduğundan dolayı ışıınım değeri de silindirik kanatçıklı panele göre yüksek görölmüştür.

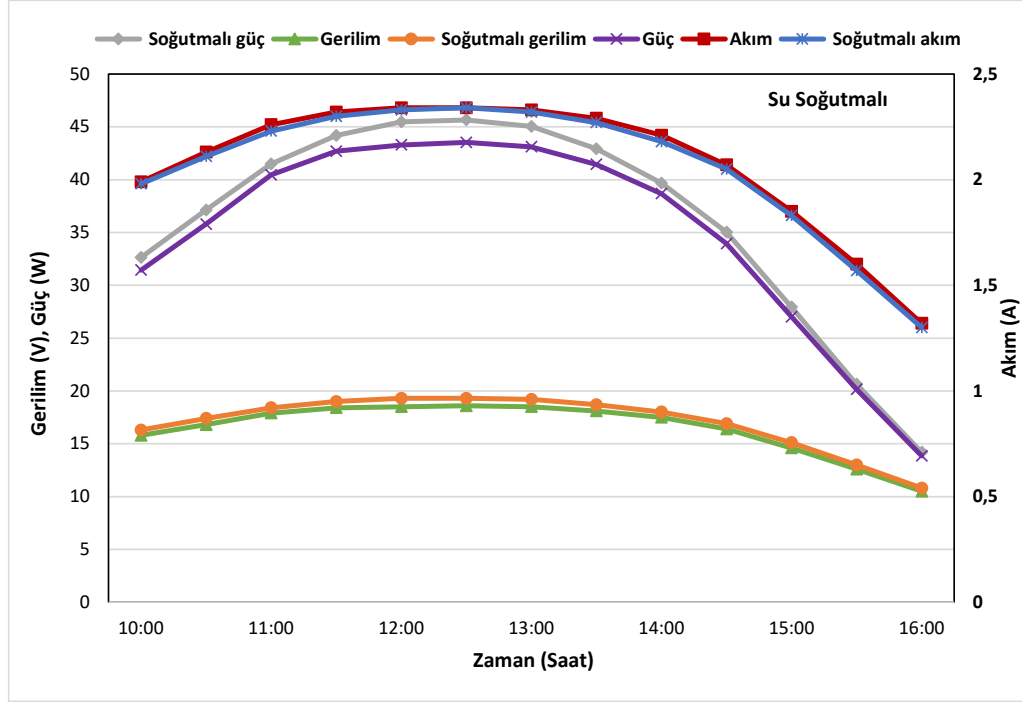
Sonuç olarak, güneş radyasyonu arttığında panel gücü ve buna bağılı olarak panel veriminin arttığı tespit edilmiştir. Fakat güneş radyasyonu miktarı arttıkça PV panel modül sıcaklığının da çok yükselerek verimi olumsuz etkilediği görölmüştür. PV panelin yüzey sıcaklığının düşürölüp soğutulmasında kullanılan kanatçıkların etkili olduğu görölmüştür. Monokristalin panelin soğumasıyla beraber güç ve veriminin de arttığı görölmüştür. Genel itibarıyla bakıldığında silindirik kanatçıkların levha kanatçıklara göre yüzey alanının daha büyük olmasından ötürü daha etkili bir soğutma yaparak panel gücü ve verimine daha çok katkı sağladığı görölmüştür. Nakışdüzer de [139] yaptığı çalışmada yüzey alanı daha büyük olan kanatçıkçığın sistemi daha etkili soğuttuğunu tespit edilmiştir.

7.2. Su Soğutmalı Panel



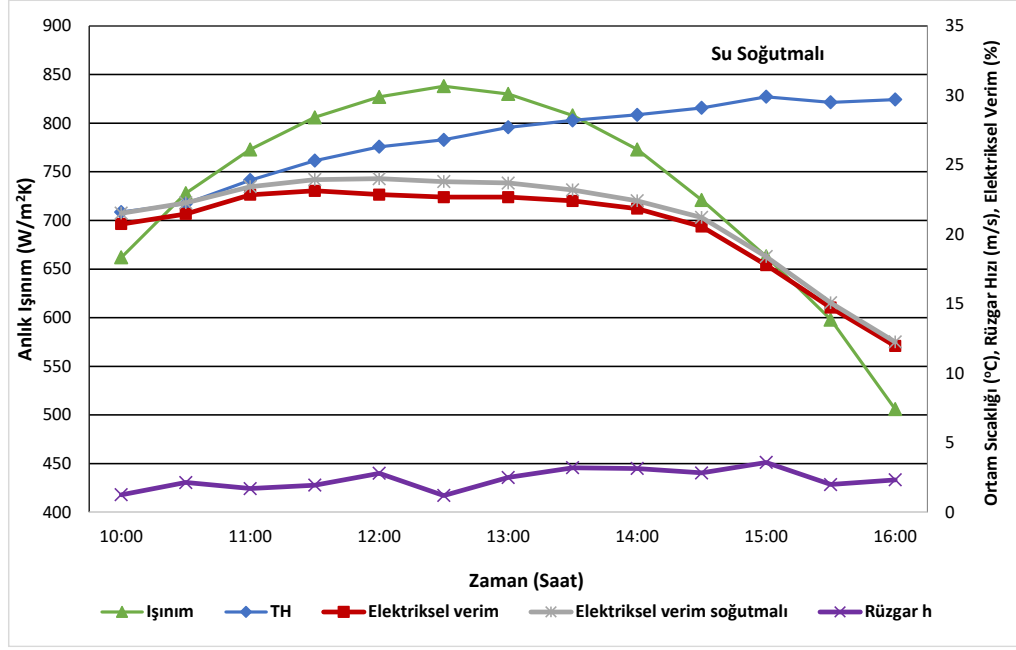
Şekil 7.12. Kanatçıksız ve levha kanatçıklı su soğutmalı panellerin ön yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.12’de kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve levha kanatçıklı su soğutmalı panelin ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. Panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın, panelin ısınıp çekerek paneli soğuttuğu açıkça görülmektedir. Çevrim ve diğerleri [145] yaptıkları çalışmada kanatçıklı yapıların ve akışkanın ısı transferini arttırdığını tespit etmişlerdir. Şekil 7.12’ye bakıldığında sıcaklıklar genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınım ile beraber panel sıcaklıklarında da düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 13:30’da orta kısmında 46 °C, su soğutmalı-kanatçıklı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise sol üst kısmında 37,7 °C olarak görülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sol üst kısmında 34,7 °C olarak görülmektedir. Ayrıca su soğutmalı-kanatçıklı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sağ alt kısmında 25,3 °C olarak görülmektedir. Kanatçıksız panel ile su soğutmalı panel arasında yaşanan en yüksek sıcaklık düşüşleri saat 12:00’da panellerin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla; 13,6 °C, 12,9 °C ve 6,3 °C şeklinde görülmüştür.



Şekil 7.13. Kanatçıksız ve levha kanatçıklı su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.13'te kanatçıksız-soğutmasız panel ve levha kanatçıklı su soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Şekil 7.13'e bakıldığında akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar yükselip, öğle saatlerinden sonra azalan ışıınımla beraber düştüğü görülmektedir. En yüksek panel güçleri saat 12:30'da su soğutmalı-kanatçıklı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 45,65 W ve 43,52 W olarak görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00'da su soğutmalı-kanatçıklı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 14,1 W ve 13,8 W olarak görülmektedir. Neticelere göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile kıyaslandığında su soğutmalı-kanatçıklı panelde %3,63'lük bir güç artışı olmuştur. En yüksek panel gerilimleri saat 12:30'da su soğutmalı-kanatçıklı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için sırasıyla; 19,3 V ve 18,6 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da su soğutmalı-kanatçıklı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 10,8 V ve 10,5 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 12:30'da su soğutmalı-kanatçıklı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için aynı ve 2,34 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları saat 16:00'da su soğutmalı-kanatçıklı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için aynı ve 1,3 A olarak görülmektedir.



Şekil 7.14. Kanatçıksız-soğutmasız ve levha kanatçıklı su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

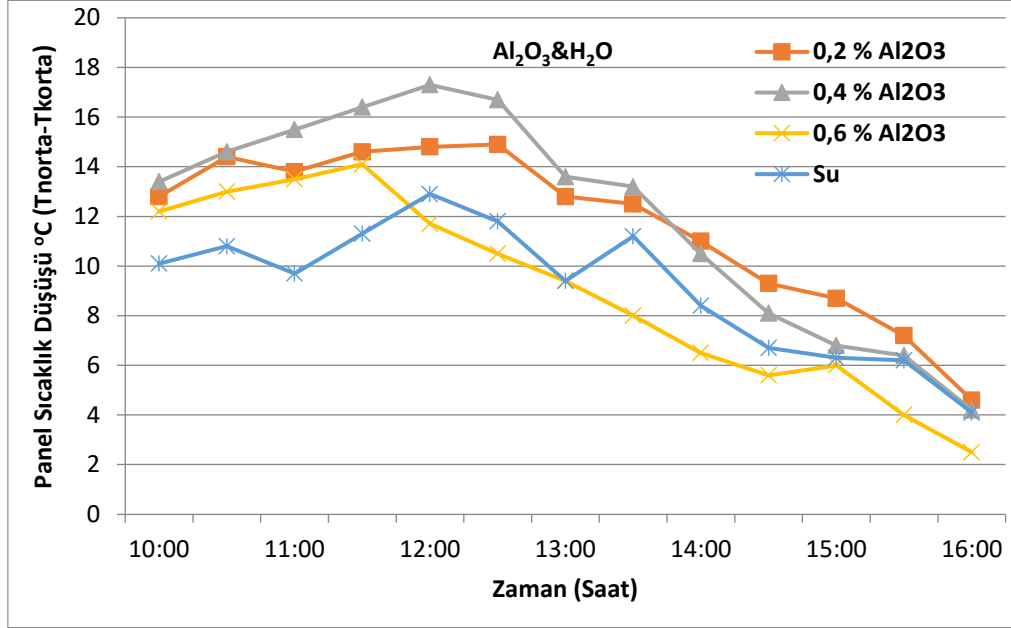
Şekil 7.14'te kanatçıksız-soğutmasız panel ve levha kanatçıklı su soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.14'e bakıldığında genel itibarıyla su soğutmalı-kanatçıklı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. PV panelin elektriksel verimi genel itibarıyla öğle saatlerine kadar ışınlam değerinin yükselmesiyle arttığı, öğle saatlerinden sonra ışınlamın azalması ile elektriksel verimde de bir düşüş olmuştur. Ayrıca PV hücrelerinin yükselen sıcaklığı nedeniyle de elektriksel verimde düşüş yaşanmıştır. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. Bunun yanında panelin arkasına monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırarak, ısınlamın daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın, panelin ısınınlamı çekerek paneli soğutup elektriksel verime katkı sağladığı düşünülmektedir. Çevrim ve diğerleri [145] yaptıkları çalışmada kanatçıklı yapıların ve akışkanın ısı transferini arttırdığını tespit etmişlerdir. En yüksek elektriksel verimler, su soğutmalı-kanatçıklı panelde saat 12:00'da yaklaşık olarak %24 iken, kanatçıksız-soğutmasız panelde ise saat 11:30'da yaklaşık olarak %23,12 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da su soğutmalı-kanatçıklı panelde ve kanatçıksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %12,2 ve %11,9 olarak

görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında su soğutmalı-kanatçıklı panelde yaklaşık olarak %3,57'lik bir elektriksel verim artışı olmuştur. Ayrıca Şekil 7.15'te su soğutmalı panele ait termal kamera görüntüsü gösterilmiştir. Sonuçlara göre genel itibarıyla bakıldığında levha kanatçıklı su soğutmalı panelin hem kanatçıksız panele göre hem de kanatçıklı (silindirik kanatçıklı ve levha kanatçıklı) panellere göre panel sıcaklığını düşürerek paneli daha etkili soğuttuğu görülmüştür. Buna bağlı olarak da levha kanatçıklı-su soğutmalı panelin hem kanatçıksız hem de kanatçıklı (silindirik kanatçıklı ve levha kanatçıklı) panellere göre daha büyük güç artışı ve verim artışı sağladığı görülmüştür.



Şekil 7.15. Levha kanatçıklı su soğutmalı ve kanatçıksız-soğutmasız panele ait termal kamera görüntüsü

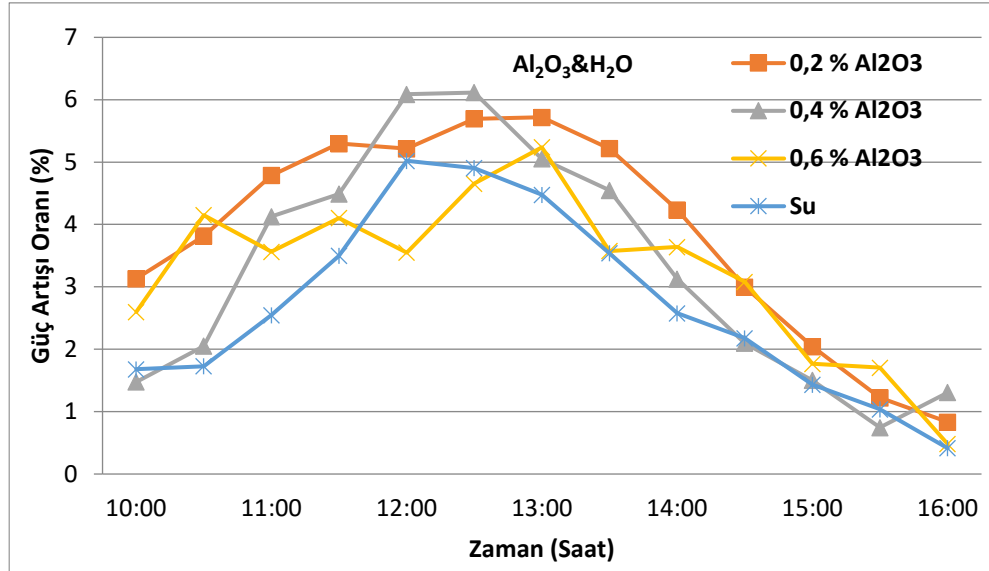
7.3. Al₂O₃-Su Nanoakışkanlı Panel Soğutma



Şekil 7.16. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al₂O₃-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.16’da levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan Al₂O₃-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız-soğutmasız panele göre sıcaklık düşüşleri görülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşü sistemin verim artışıyla doğru orantılıdır. Panel sıcaklığı düşüşleri genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınımla beraber panel sıcaklıklarındaki düşüşlerde azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısıнын daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Çevrim ve diğerleri [145] yaptıkları çalışmada kanatçıklı yapıların ve akışkanın ısı transferini arttırdığını tespit etmişlerdir. En yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 12:00’da ağırlıkça %0,4 Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelde 17,3 °C olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 12:30’da ağırlıkça %0,2 Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelde 14,9 °C olarak gözlemlenmiştir. Su soğutmalı paneldeki en yüksek panel sıcaklığı düşüşü ise saat 12:00’da 12,9 °C olarak görülmüştür. Sonuçlara göre Al₂O₃-su nanoakışkanlı soğutmanın su soğutmalı panele göre daha büyük sıcaklık düşüşü sağladığı görülmüştür. Bu durumun nedeninin nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Fakat ağırlıkça %0,6 Al₂O₃-su nanoakışkanlı panel başlarda su

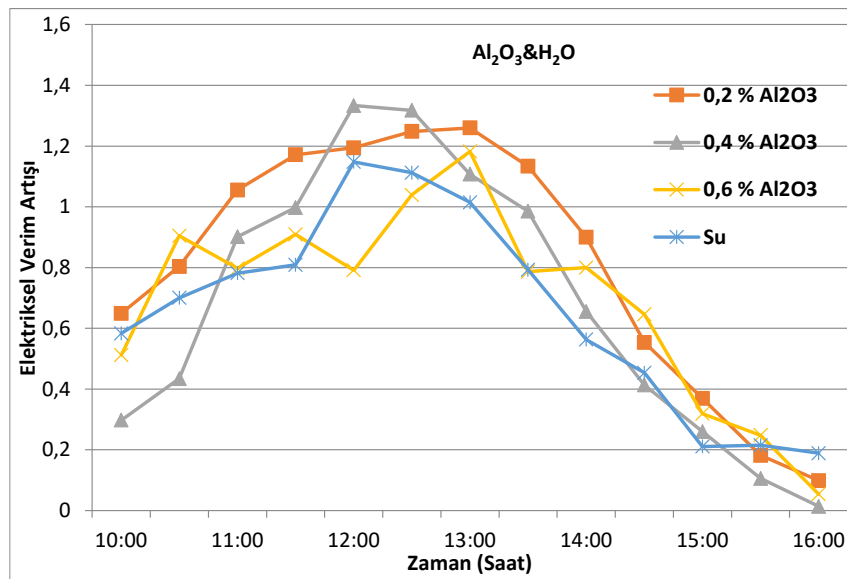
soğutmalı panelden daha fazla panel sıcaklığını düşürürken, Al_2O_3 -su nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskozitesi nedeniyle sistemde ısı taşınım katsayısının azalmasına veya tıkanmalara sebebiyet vermiştir. Bianco ve diğerleri [144] yaptıkları çalışmada partikül yoğunluğunun artmasıyla viskozitenin artarak termal kapasiteyi düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Yaşanılan bu olumsuzluktan ötürü su soğutmalı sisteme göre daha az panel sıcaklığını düşürmüştür. Genel itibarıyla en etkili soğutma ağırlıkça %0,4 ve ardından ağırlıkça %0,2 oranında görülmüştür. En düşük panel orta noktası sıcaklığı düşüşleri ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel, ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel, su soğutmalı panel ve ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel için sırasıyla 4,6 °C, 4,2 °C, 4,1 °C ve 2,5 °C olarak gözlemlenmiştir. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçıksız panele göre panellerin orta noktalarının sıcaklık düşüşlerine bakıldığında; Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,4, %0,2 oranları, su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranlı paneller için sırasıyla 12,05 °C, 11,64 °C, 9,14 °C ve 9 °C'lik bir panel sıcaklığı düşüşü meydana gelmiştir. Radwan ve diğerleri [133] yaptıkları çalışmada, soğutma sisteminde su kullanımına kıyasla nanoakışkan (Al_2O_3 -su ve SiC -su) kullanımının panelin sıcaklığını önemli derecede düşürdüğünü tespit etmişlerdir.



Şekil 7.17. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi

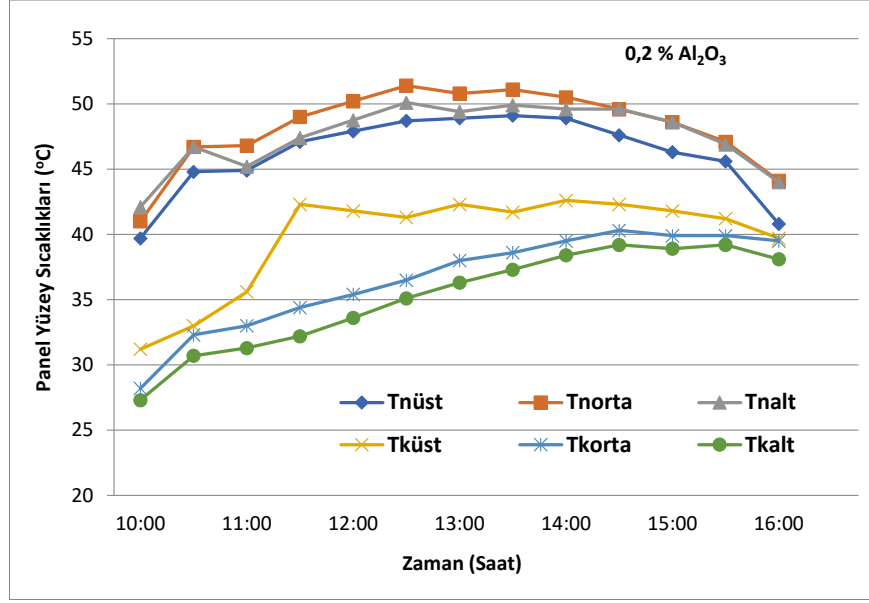
Şekil 7.17’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre güç artış oranları görülmektedir. Şekil 7.17’ye göre

panel güçleri genel itibarıyla ışınlama paralellik göstermiştir. Panel güçleri öğle saatlerine kadar ışınlamanın artmasıyla bir yükseliş gösterip, öğle saatlerinden sonra ışınlam değerinin düşmesiyle panel güçlerinde de bir düşüş görülmüştür. Ayrıca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panel gücünde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanısıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısınmın daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek güç artışı oranı saat 12:30'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %6,11 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek güç artışı oranı saat 13:00'da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %5,71 şeklinde gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde ise saat 13:00'da yaklaşık olarak %5,23 olarak gözlemlenmiştir. Su soğutmalı panelde olan güç artış oranı da saat 12:00'da yaklaşık olarak %5,02 olarak görülmektedir. Genel olarak bakıldığında Al_2O_3 -su nanoakışkanın tüm oranlarında, su soğutmalı sisteme göre daha büyük güç artışı elde edilmiştir. Bu durumun nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Fakat Al_2O_3 -su nanoakışkanının yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskozitesi nedeniyle sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek güç artış oranını etkilediği görülmüştür. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçıksız panele göre güç artış oranlarına bakıldığında; Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,2, %0,4, %0,6 oranları ve su soğutmalı panel için sırasıyla %3,862, %3,286, %3,238 ve %2,693'lük bir güç artış oranı meydana gelmiştir.



Şekil 7.18. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi

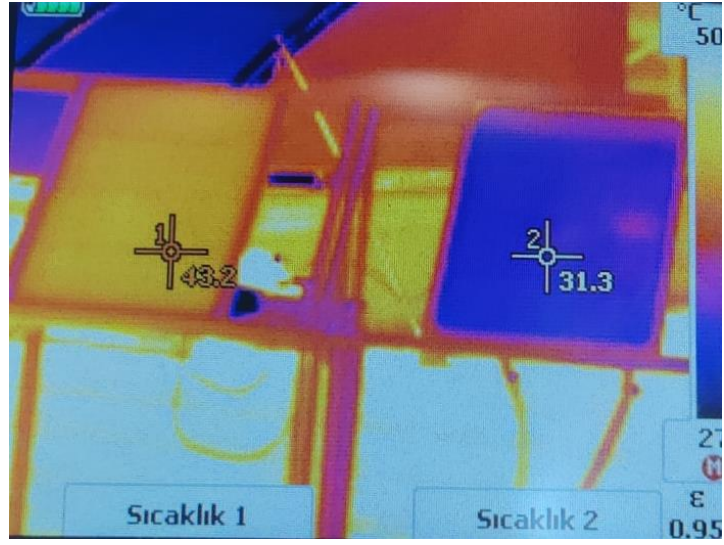
Şekil 7.18’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışları görülmektedir. Genel itibarıyla PV panelin elektriksel verimleri ışınlama paralellik göstermiştir. Panelin elektriksel verimleri öğle saatlerine kadar ışınlamanın artmasıyla bir yükseliş gösterip, öğle saatlerinden sonra ışınlama değerinin düşmesiyle panel verimlerinde de genel itibarıyla bir düşüş görülmüştür. Ayrıca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panelin elektriksel veriminde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanı sıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısıya daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek elektriksel verim artışı saat 12:00’da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,33 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek elektriksel verim artışı saat 13:00’da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,26 şeklinde gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde ise saat 13:00’da yaklaşık olarak %1,18 olarak gözlemlenmiştir. Su soğutmalı panelde olan elektriksel verim artışı da saat 12:00’da yaklaşık olarak %1,14 olarak görülmektedir. Genel itibarıyla bakıldığında Al_2O_3 -su nanoakışkanının tüm oranlarında, su soğutmalı sisteme göre daha yüksek elektriksel verim artışı elde edilmiştir. Bu durumun nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarına bakıldığında; Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,2, %0,6, %0,4 oranları ve su soğutmalı panel için sırasıyla %0,816, %0,691, %0,678 ve %0,659’luk bir elektriksel verim artışı olmuştur.



Şekil 7.19. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.19’da kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve sabit bir debide ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. Şekil 7.19’a bakıldığında, ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısıнын daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, kanatçıkların ve ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkanının, panelin ısını çekerek paneli soğuttuğu açıkça görülmektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıının değeri arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınınla beraber panel sıcaklıklarında da düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 12:30’da orta kısmında 51,4 °C, ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 14:00’da sol üst kısmında 42,6 °C olarak görülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sol üst kısmında 39,7 °C olarak görülmektedir. Öte yandan ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sağ alt kısmında 27,3 °C olarak görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.20 ve Şekil 7.21’de ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız

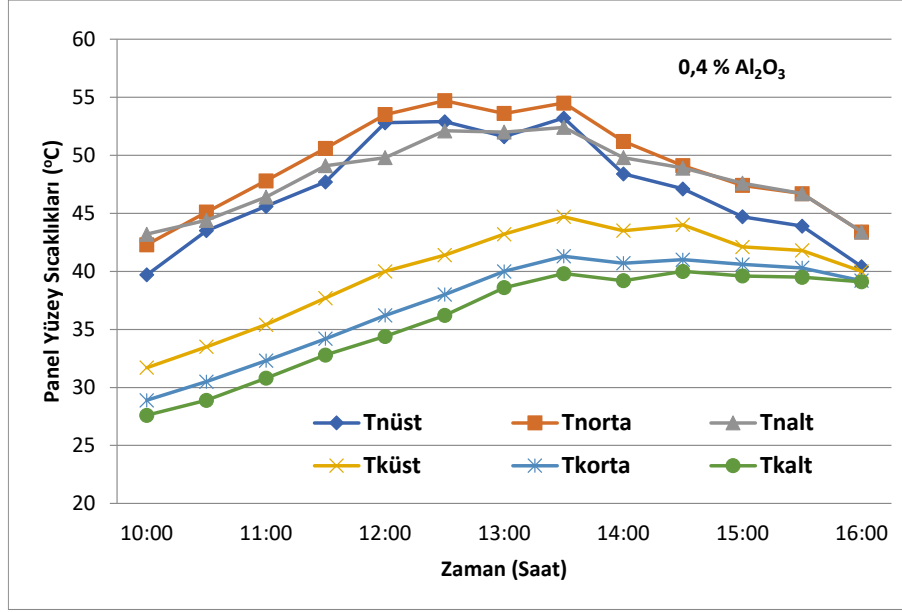
panellere ait ön taraftan ve arka taraftan çekilen termal kamera görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.20. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



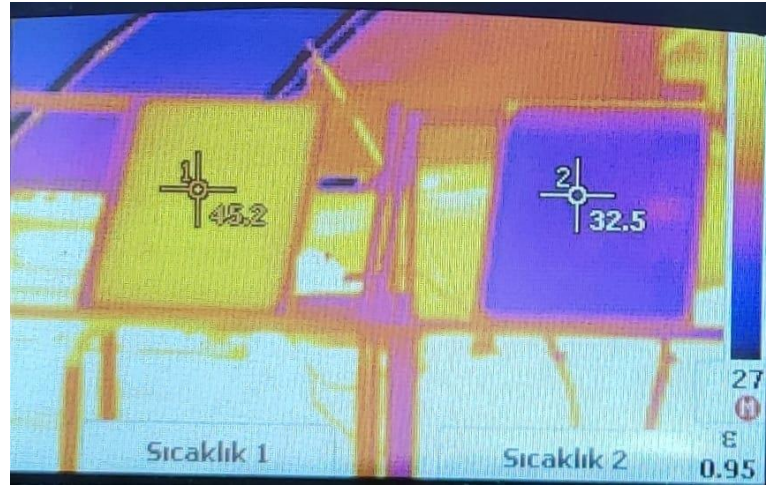
Şekil 7.21. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan termal kamera görüntüsü



Şekil 7.22. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı- panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.22’de sabit bir debide kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. Şekil 7.22’ye bakıldığında, ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, kanatçıkların ve ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkanının, panelin sıcaklığını çekerek paneli soğuttuğu açıkça görülmektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınımla beraber panel sıcaklıklarında da düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 12:30’da orta kısmında 54,7 °C, ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 13:30’da sol üst kısmında 44,7 °C olarak görülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sol üst kısmında 39,7 °C olarak görülmektedir. Öte yandan ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sağ alt kısmında 27,6 °C olarak görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.23 ve Şekil 7.24’te ağırlıkça %0,4 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız

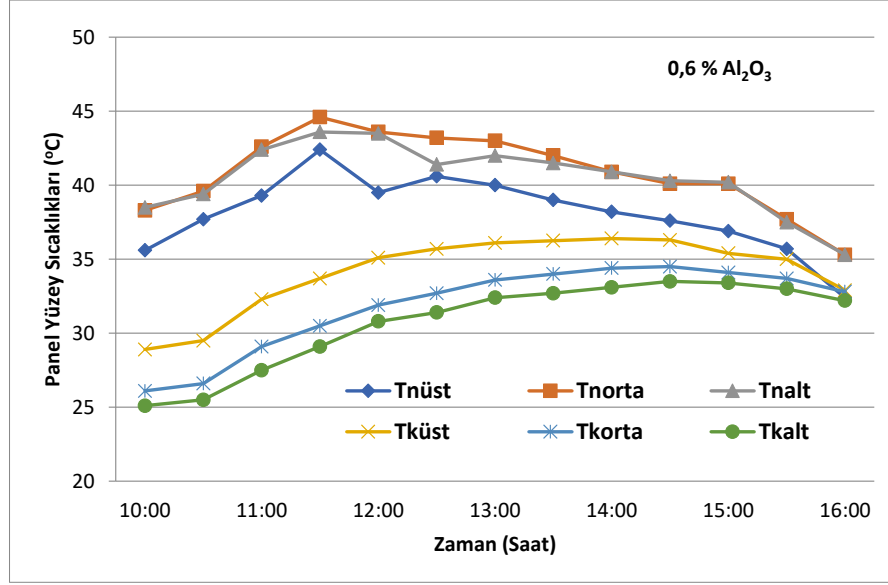
panellere ait ön taraftan ve arka taraftan çekilen termal kamera görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.23. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü

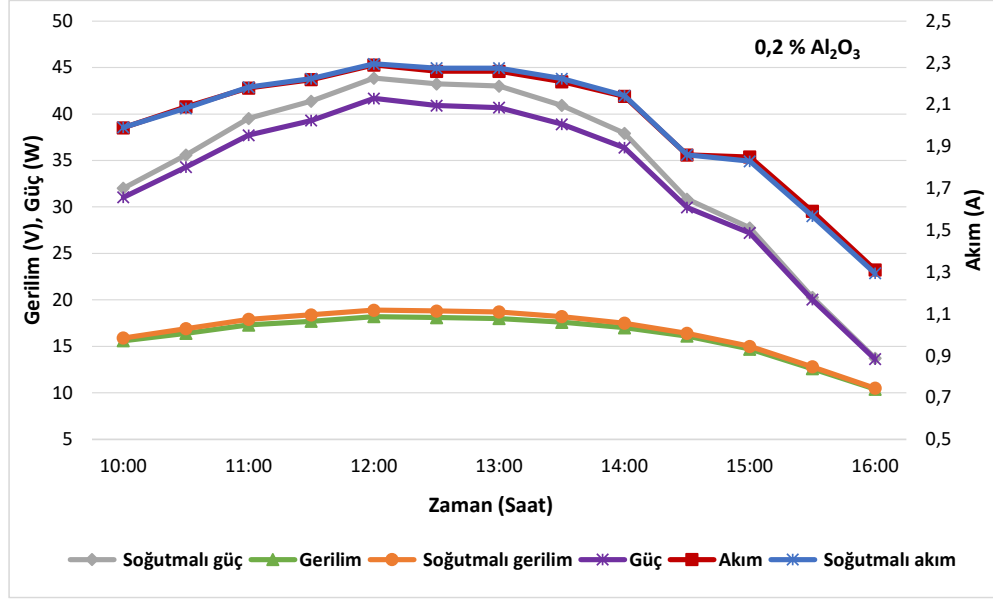


Şekil 7.24. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



Şekil 7.25. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

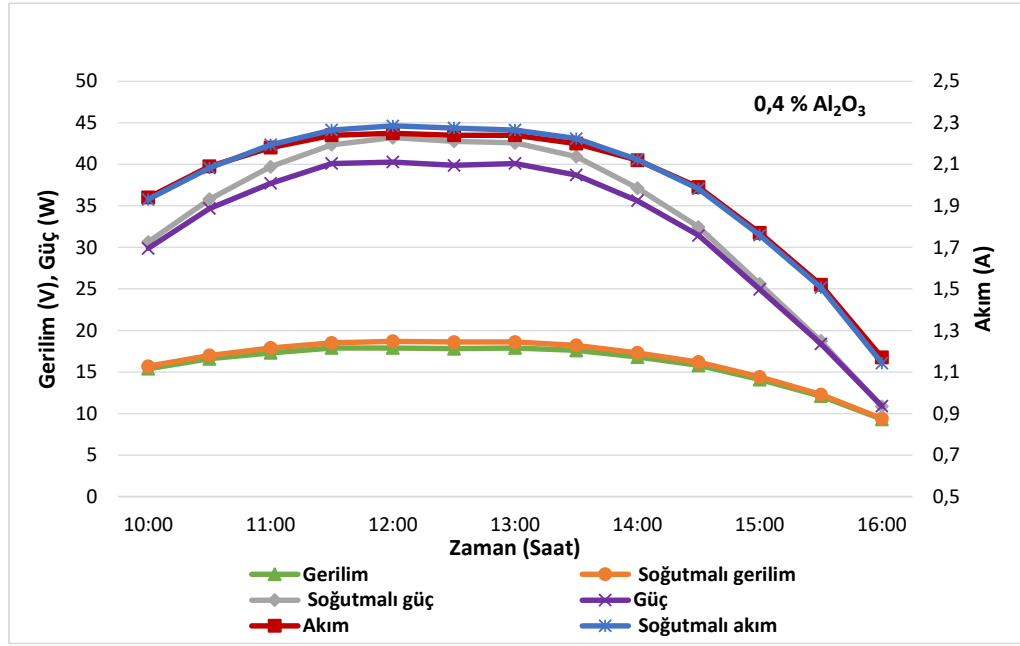
Şekil 7.25'te sabit bir debide kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. Şekil 7.25'e bakıldığında, ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısı'nın daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ısı'nın değeri arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ısı'nınla beraber panel sıcaklıklarında da düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 12:30'da orta kısmında 44,6 °C, ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 14:00'da sol üst kısmında 36,4 °C olarak görülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 16:00'da sol üst kısmında 32,4 °C olarak görülmektedir. Öte yandan ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00'da sağ alt kısmında 25,1 °C olarak görülmektedir. Genel itibarıyla gün boyunca ortalama olarak gerçekleşen en yüksek panel sıcaklığı düşüşleri ağırlıkça %0,4 ve %0,2 oranında Al_2O_3 -su, su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panellerde sırasıyla 10,47 °C, 10,14 °C, 7,67 °C ve 7,56 °C olarak görülmüştür.



Şekil 7.26. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.26’da kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Şekle bakıldığında, ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Şekle bakıldığında akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınımla beraber düşüş gösterdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanı sıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısıının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek panel güçleri saat 12:00’da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 43,85 W ve 41,67 W olarak görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00’da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 13,73 W ve 13,62 W olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde %4,25’lik bir güç artışı olmuştur. En yüksek panel gerilimleri saat 12:00’da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak

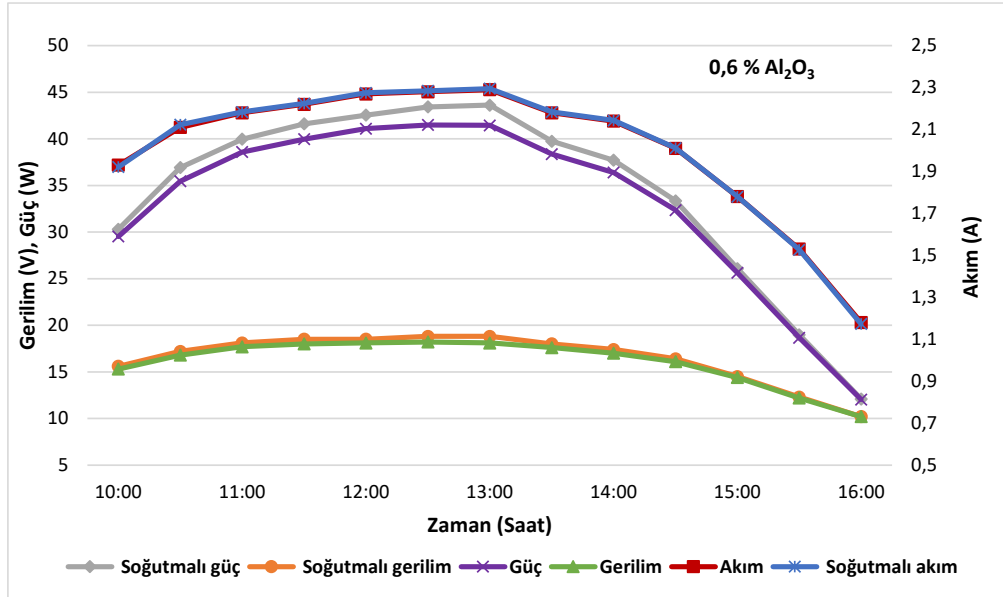
sırasıyla 18,9 V ve 18,2 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 10,5 V ve 10,4 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 12:00'da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 2,294 A ve 2,29 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,29 A ve 1,31 A olarak görülmektedir.



Şekil 7.27. Kanatçiksız ve %0,4 oranındaki levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.27'de kanatçiksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Şekil 7.27'e bakıldığında, ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Şekle bakıldığında akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınımla beraber düşüş gösterdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanısıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırır. Yüzey alanında meydana gelen

bu artış ısının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek panel güçleri saat 12:00'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 43,19 W ve 40,27 W olarak görülmektedir. En düşük panel güçleri ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 10,85 W ve 10,88 W olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde %4,76'lık bir güç artışı olmuştur. En yüksek panel gerilimleri saat 12:00'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 18,9 V ve 17,9 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 9,4 V ve 9,3 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 12:00'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 2,28 A ve 2,25 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,14 A ve 1,17 A olarak görülmektedir.



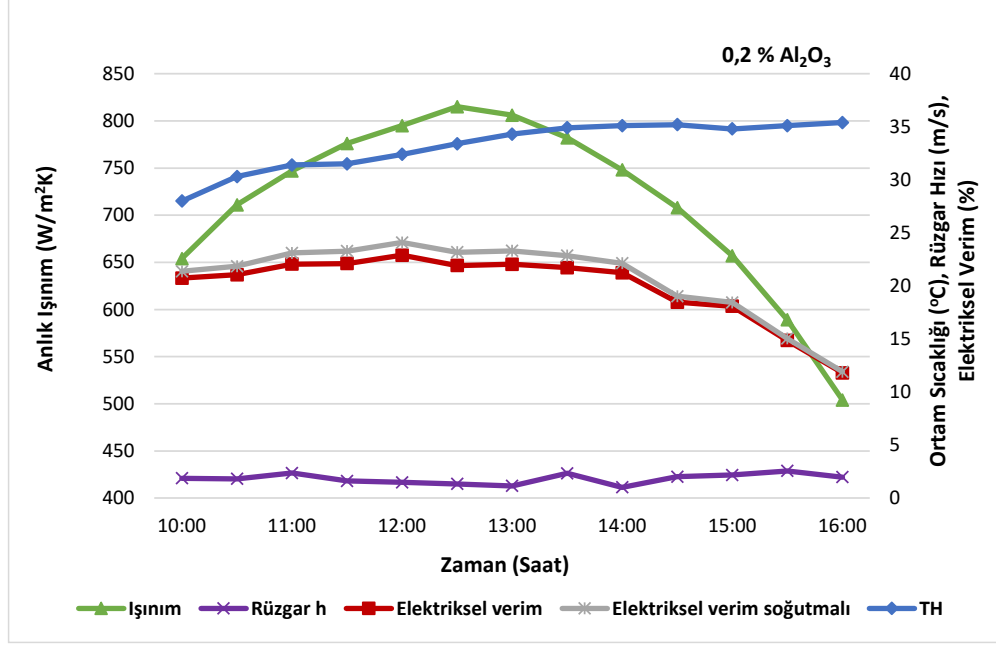
Şekil 7.28. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.28'de kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve

güç değerleri görülmektedir. Şekil 7.28'e bakıldığında, kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ısınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ısınımla beraber düşüş gösterdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanı sıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısınmın daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek panel güçleri saat 13:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel için yaklaşık olarak 43,62 W iken, kanatçıksız-soğutmasız panel için ise saat 12:30'da yaklaşık olarak 41,49 W olarak görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 12,09 W ve 12,03 W olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde %3,55'lik bir güç artışı olmuştur. En yüksek panel gerilimleri saat 12:30-13:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel için 18,8 iken, kanatçıksız-soğutmasız panel için saat 12:30'da 18,2 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için aynı ve 10,2 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 12:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 2,294 A ve 2,29 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,172 A ve 1,18 A olarak görülmektedir.

Grafikler genel olarak incelendiğinde kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça her 3 oranında da (%0,2, %0,4 ve %0,6) daha yüksek güç değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında ise Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelin ağırlıkça %0,2 ve %0,4 oranlarında daha büyük güç artışı yaşanırken ağırlıkça %0,6 oranında daha düşük güç artışı olmuştur. En yüksek güç artış değeri ağırlıkça %0,4 oranında elde edilmiştir. En düşük güç artış değeri de ağırlıkça %0,6 oranında elde edilmiştir. Fakat ağırlıkça

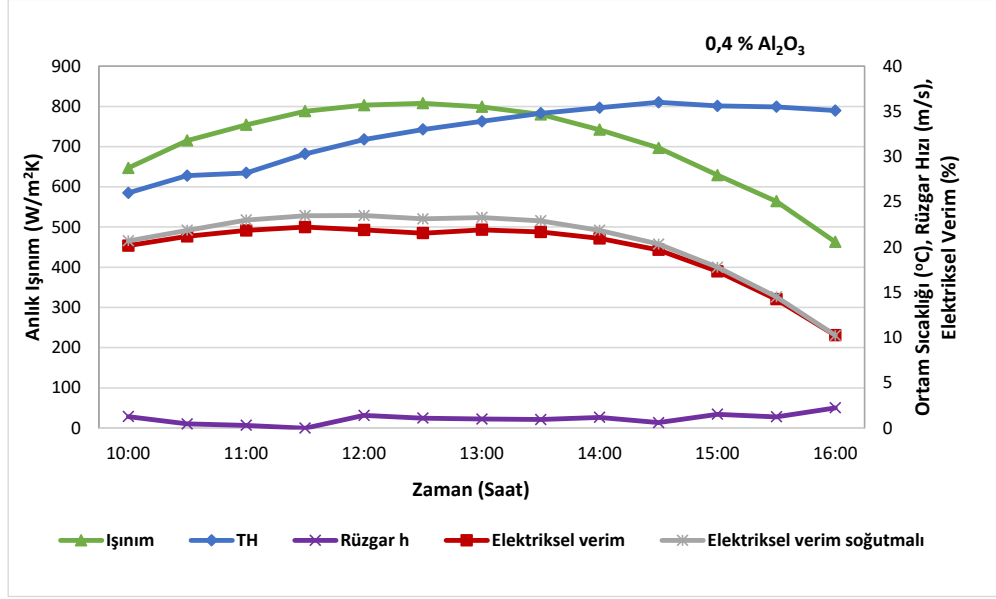
%0,6 oranında nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber artan viskoziteden dolayı akışkanın ısı taşınım katsayısını olumsuz etkilediği ve ayrıca sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek güç değerini olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir.



Şekil 7.29. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al₂O₃-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ısıtım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.29’da kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı Al₂O₃-su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ısıtımına, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Şekle bakıldığında genel itibarıyla ağırlıkça %0,2 Al₂O₃-su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi elektriksel verimin anlık ısıtım değeriyle paralel olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca PV hücreleri, ısıtımın pik yaptığı saatlerde artan PV hücre sıcaklığı nedeniyle elektriksel verimde biraz düşüş yaşanmıştır. Bunun yanında panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısıtımın daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın, panelin ısınıp soğutmasını sağlayarak elektriksel verime katkı sağladığı düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler saat 12:00’da ağırlıkça %0,2 Al₂O₃-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak

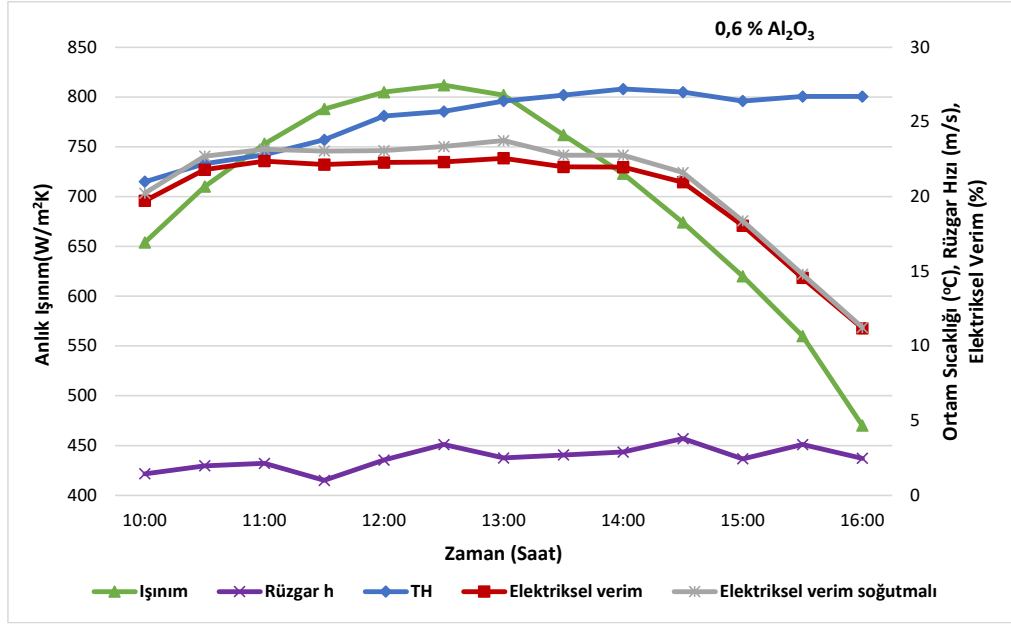
sırasıyla %24,08 ve %22,89 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçıksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %11,9 ve %11,8 olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,2 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde yaklaşık olarak %4,09'luk bir elektriksel verim artışı olmuştur.



Şekil 7.30. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışıınım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.30'da kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışıınım, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.30'da görüldüğü gibi genel itibarıyla ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ışıınım değeriyle paralel olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca PV hücreleri, ışıınının pik yaptığı saatlerde artan PV hücre sıcaklığı nedeniyle elektriksel verimde biraz düşüş yaşanmıştır. Bunun yanında panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında meydana gelen artış ısıının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın, panelin ısını çekerek paneli soğutup elektriksel verime katkı sağladığı düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler ağırlıkça

%0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel için saat 12:00'da yaklaşık olarak %23,49, kanatçiksız-soğutmasız panel için ise saat 11:30'da yaklaşık olarak %22,21 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçiksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %10,23 ve %10,26 olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,4 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde yaklaşık olarak %4,54'lük bir elektriksel verim artışı olmuştur.



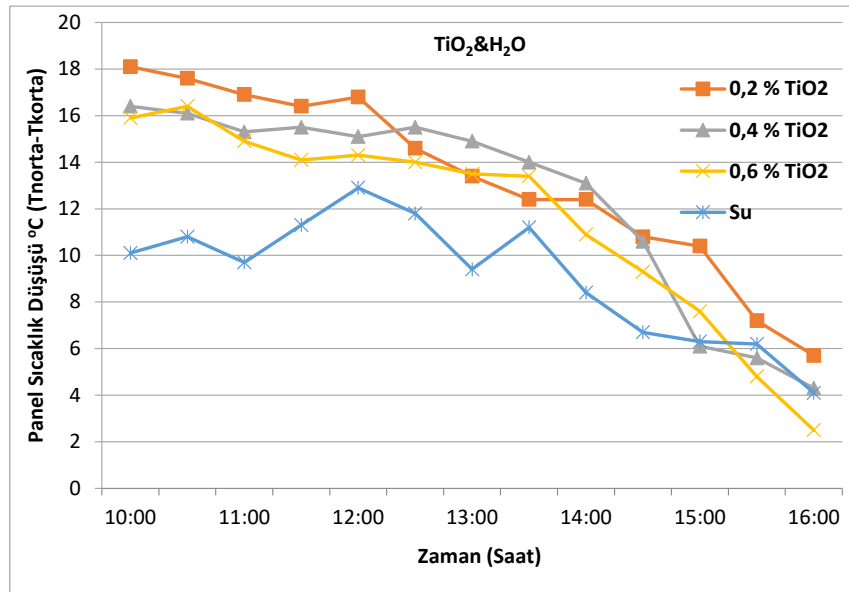
Şekil 7.31. Kanatçiksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatıklı Al_2O_3 -su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışıınım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.31'de kanatçiksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatıklı Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışıınımına, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçiksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ışıınım değeriyle paralel olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca PV hücreleri, ışıınının pik yaptığı saatlerde artan PV hücre sıcaklığı nedeniyle elektriksel verimde biraz düşüş yaşanmıştır. Bunun yanında panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısıının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın, panelin sıcaklığını azaltarak paneli soğutup elektriksel verime katkı

sağladığı düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler saat 13:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla %23,75 ve %22,56 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçiksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %11,23 ve %11,18 olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,6 Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde yaklaşık olarak %3,43'lük bir elektriksel verim artışı olmuştur.

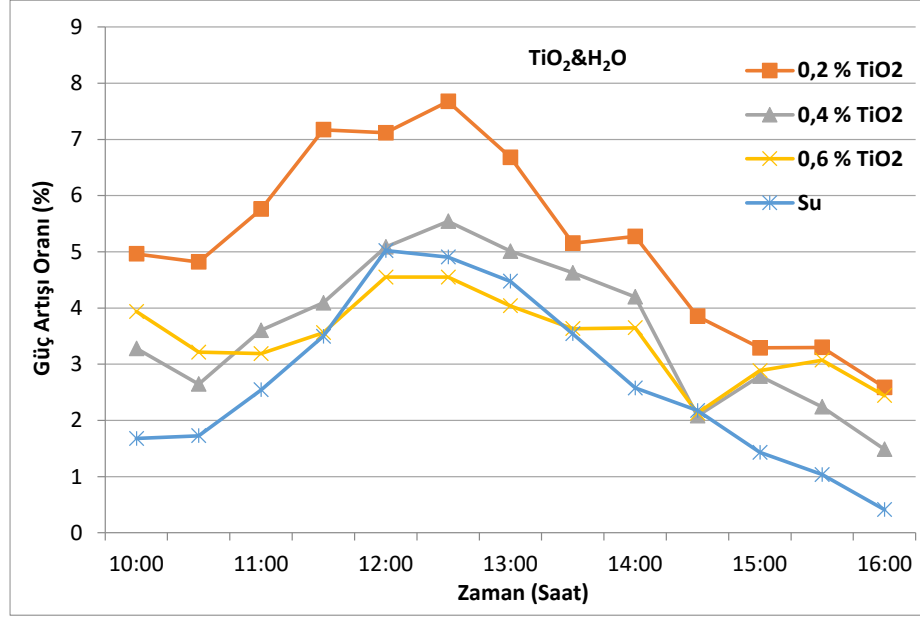
Grafikler genel olarak incelendiğinde kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça her 3 oranında da (%0,2, %0,4 ve %0,6) daha yüksek elektriksel verim elde edilmiştir. Ayrıca su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında ise Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelin ağırlıkça %0,2 ve %0,4 oranlarında daha yüksek elektrik verim elde edilirken ağırlıkça %0,6 oranında daha düşük elektriksel verim meydana gelmiştir. En yüksek elektriksel verim değeri ağırlıkça %0,4 oranında elde edilmiştir. En düşük elektriksel verim değeri ise ağırlıkça %0,6 oranında elde edilmiştir.

7.4. TiO_2 -Su Nanoakışkanlı Panel Soğutma



Şekil 7.32. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin kanatçiksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi

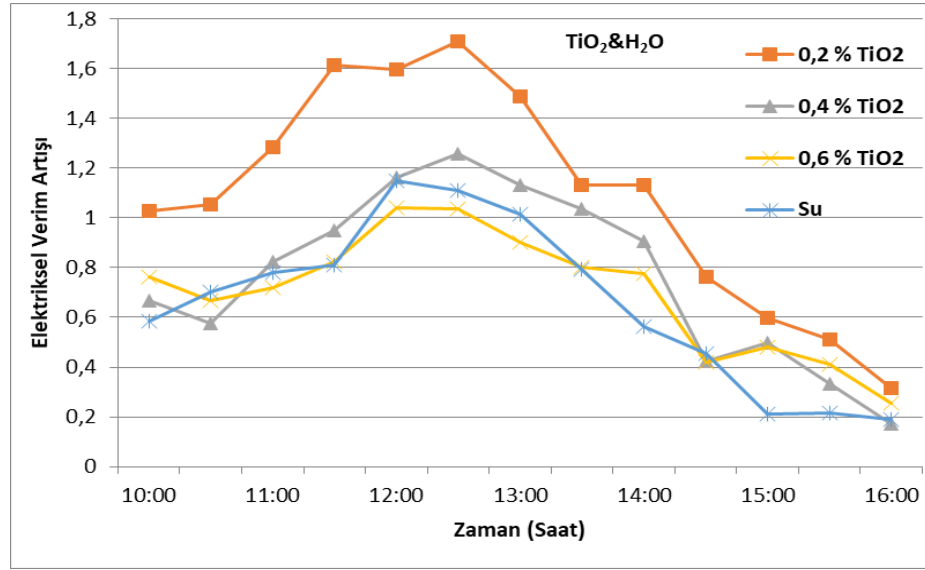
Şekil 7.32’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız-soğutmasız panele göre panel sıcaklık düşüşleri görülmektedir. Panel sıcaklığı azalışı sistemin verim artışıyla paralel olarak gerçekleşir. Panel sıcaklığı düşüşleri genel itibarıyla ışıınım değeriyle paralellik göstermiştir. Işıınım değerinin arttığı öğle saatlerine doğru artış görülüp, öğle saatlerinden sonra azalan ışıınımla birlikte panel sıcaklıklarındaki düşüşlerde azalma görülmüştür. Ayrıca panelin arkasına monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırarak, ısıının daha iyi transfer olmasına imkân sağlamaktadır. En yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 10:00’da ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde 18,1 °C olarak gözlemlenmiştir. Akabinde en yüksek panel sıcaklığı düşüşleri saat 10:00’da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkanlı panel ve saat 10:30’da ağırlıkça %0,6 TiO_2 -su nanoakışkanlı panel için aynı ve 16,4 °C olarak ölçülmüştür. Su soğutmalı sistem için en yüksek sıcaklık düşüşü ise saat 12:00’da 12,9 °C olarak görülmektedir. Bu neticelere göre tüm TiO_2 -su nanoakışkanlı panel soğutmanın bütün oranlarında su soğutmalı panele kıyasla daha çok panel sıcaklığını azalttığı tespit edilmiştir. En düşük panel sıcaklığı düşüşleri ise saat 16:00’da ağırlıkça %0,6 TiO_2 -su nanoakışkanlı panel, su soğutmalı panel, ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkanlı panel ve ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkanlı panel için sırasıyla 2,5 °C, 4,1 °C, 4,3 °C ve 5,7 °C olarak gözlemlenmiştir. Neticelere göre TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmanın su soğutmalı panele kıyasla daha büyük sıcaklık düşüşü sağladığı görülmüştür. Bu durumun nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçıksız panele göre panellerin orta noktalarının sıcaklık düşüşlerine bakıldığında; TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,2, %0,4, %0,6 oranları ve su soğutmalı paneller için sırasıyla 13,28 °C, 12,5 °C, 11,66 °C ve 9,14 °C’lik bir panel sıcaklığı düşüşü meydana gelmiştir.



Şekil 7.33. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO₂-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.33'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan TiO₂-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre güç artış oranları görülmektedir. Panel güçleri genel itibarıyla ışınlama oranlı olmaktadır. Panel güçlerinde öğle vakitlerine kadar ışınlamanın yükselmesiyle bir artış görülüp, öğle saatlerinden sonra ışınlama miktarının azalmasıyla panel güçlerinde de bir azalış gözlemlenmiştir. Buna ilaveten PV hücre sıcaklığının yükselmesinden ötürü de panel gücünde azalış görülmüştür. Bununla beraber panelin arkasına konulan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artmasını sağlayarak ısınlamanın daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. En yüksek güç artışı oranı saat 12:30'da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %7,67 olarak gözlemlenmiştir. Akabinde en yüksek güç artışı oranı saat 12:30'da ağırlıkça %0,4 TiO₂-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %5,54 olarak görülmüştür. Su soğutmalı panelde olan güç artışı oranı ise saat 12:00'da yaklaşık olarak %5,02 şeklinde gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkanlı panelde ise saat 12:00 ve 12:30'da yaklaşık olarak %4,54 şeklinde görülmüştür. Ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkanlı panel durumunda yoğunluğun yükselmesi ile beraber yükselen viskozite sebebiyle güç artışı oranını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. En düşük güç artışı oranları ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkanlı panel, ağırlıkça %0,4 TiO₂-su nanoakışkanlı panel ve su soğutmalı panel için sırasıyla %2,58, %1,48 ve %0,4 şeklinde gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkanlı panel durumunda ise

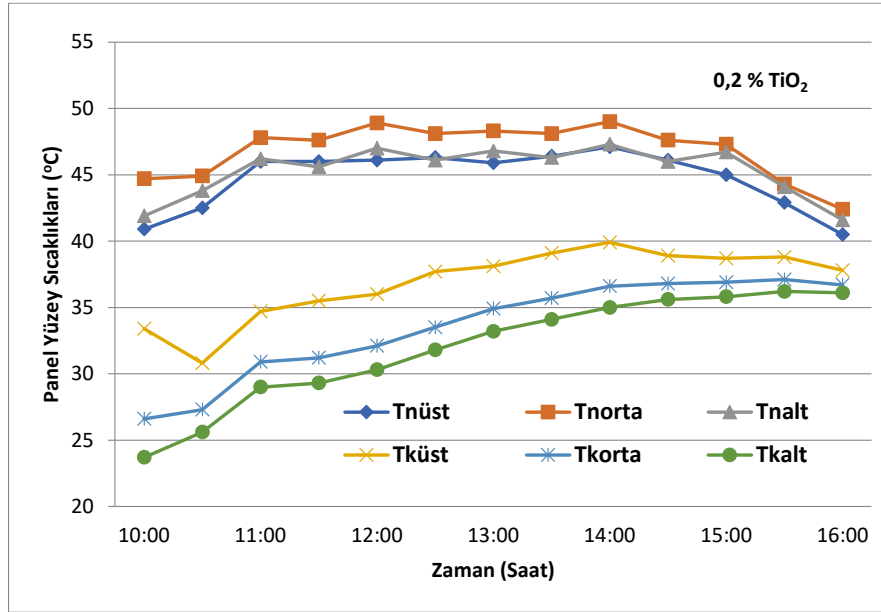
en küçük güç artış oranı saat 14:30'da yaklaşık olarak %2,13 olarak tespit edilmiştir. Sonuçlara göre TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmanın su soğutmalı panele kıyasla daha büyük güç artış oranları sağladığı görülmüştür. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha yüksek olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçıksız panele göre güç artış oranlarına bakıldığında; TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,2, %0,4, %0,6 oranları ve su soğutmalı panel için sırasıyla %5,202, %3,590, %3,449 ve %2,693'lük bir güç artış oranı meydana gelmiştir.



Şekil 7.34. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.34'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışları görülmektedir. Genel itibarıyla PV panelin elektriksel verimleri ışınlama ile doğru orantılı bir şekilde değişim göstermiştir. Panelin elektriksel verimleri öğle vakitlerine kadar ışınlama miktarının yükselmesi ile bir artış sağlamış, öğle vakitlerinden sonra da ışınlama miktarının azalmasıyla panel verimlerinde de genel itibarıyla bir azalış tespit edilmiştir. Ayrıca PV modül sıcaklığı artışından ötürü de panelin elektriksel veriminde azalış görülmüştür. Buna ilaveten panelin arkasına monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artırarak ısıyı daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek elektriksel verim artışı oranı saat 12:30'da ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,70 şeklinde görülmüştür. Akabinde en yüksek elektriksel verim artışı saat

12:30'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,25 olarak görülmüştür. Su soğutmalı panelde olan elektriksel verim artışı da saat 12:00'da yaklaşık olarak %1,14 olarak görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde ise saat 12:00'da yaklaşık olarak %1,04 şeklinde görülmüştür. Genel itibarıyla incelendiğinde TiO_2 -su nanoakışkanının tüm oranlarında, su soğutmalı sisteme kıyasla daha büyük elektriksel verim artışı olmuştur. Bu durumun nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Fakat genel itibarıyla nanoakışkanlı panel durumunda partikül yoğunluğunun yükselmesi ile birlikte artan viskozite nedeniyle ısı taşınım miktarlarının azalmasına sebebiyet vererek sıcaklık azalışının önüne geçmiş ve elektriksel verim artışını olumsuz etkilediği görülmüştür. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarına bakıldığında; TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,2, %0,4, %0,6 oranları ve su soğutmalı panel için sırasıyla %1,094, %0,764, %0,7 ve %0,659'luk bir elektriksel verim artışı olmuştur.



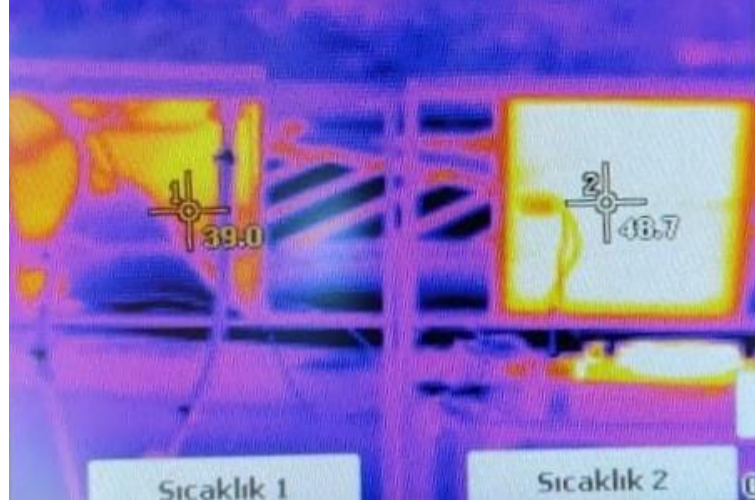
Şekil 7.35. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin ön yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.35'te kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve sabit bir debide ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. Ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküller ile hazırlanmış nanoakışkan sıvının suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması

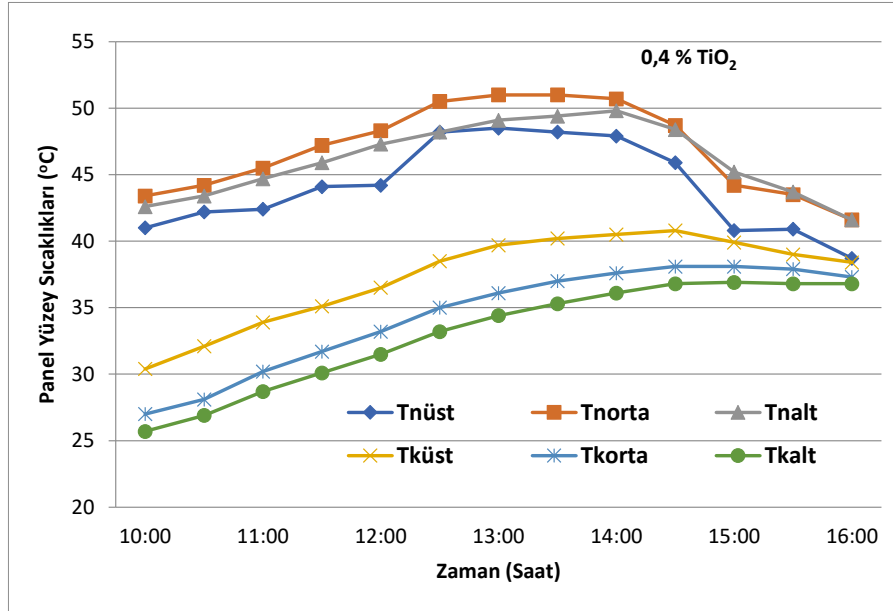
ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Panelin arkasına yerleştirilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artmasını sağlayarak ısıнын daha iyi transfer olmasına imkân tanımaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi, kanatçıkların ve ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ısınıını çekerek paneli soğuttuğu görülmektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıının değeri arttığı öğle saat 12:30'lara kadar yükseliş gösterip, bu saatten sonra düşen ışıınınla birlikte panel sıcaklıklarında da azalış olduğu görülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 14:00'da orta kısmında $49\text{ }^{\circ}\text{C}$, ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 14:00'da sol üst kısmında $39,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 16:00'da sol üst kısmında $40,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak görülmektedir. Öte yandan ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00'da sağ alt kısmında $23,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ şeklinde tespit edilmiştir. Ayrıca Şekil 7.36 ve Şekil 7.37'de ağırlıkça %0,2 oranında TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan ve arka taraftan çekilen termal kamera görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.36. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



Şekil 7.37. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



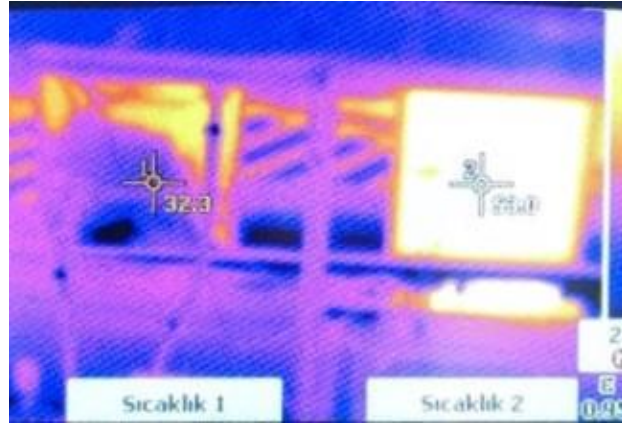
Şekil 7.38. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.38’de kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. Şekle bakıldığında, ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküller ile hazırlanan akışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Panelin arkasına yerleştirilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artmasını sağlayarak ısıнын daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, kanatçıkların ve

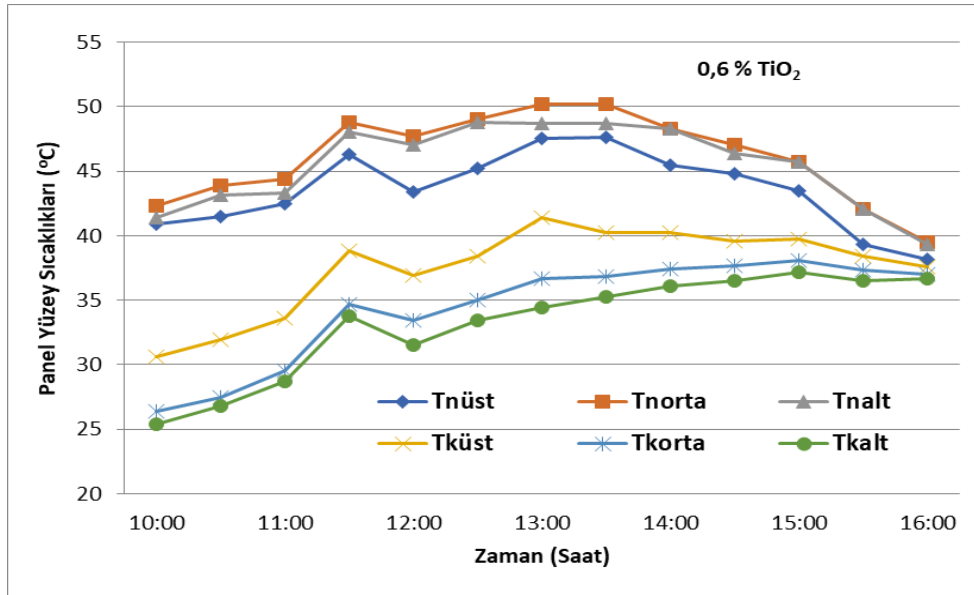
ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin sıcaklığını azaltarak paneli soğuttuğu görülmektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıınım değeriinin yükseldiği öğle saatlerine kadar yükselip, öğle sonra ise azalan ışıınım değeriyle birlikte panel sıcaklıklarında da azalış olduğu görülmüştür. Kanatçksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 13:00-13:30'da orta kısmında $51\text{ }^\circ\text{C}$, ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 14:30'da sol üst kısmında $40,8\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Kanatçksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 16:00'da sol üst kısmında $38,7\text{ }^\circ\text{C}$ şeklinde görülmektedir. Öte yandan ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00'da sağ alt kısmında $25,7\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Ayrıca Şekil 7.39 ve Şekil 7.40'ta ağırlıkça %0,4 oranında TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan ve arka taraftan çekilen termal kamera görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.39. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



Şekil 7.40. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



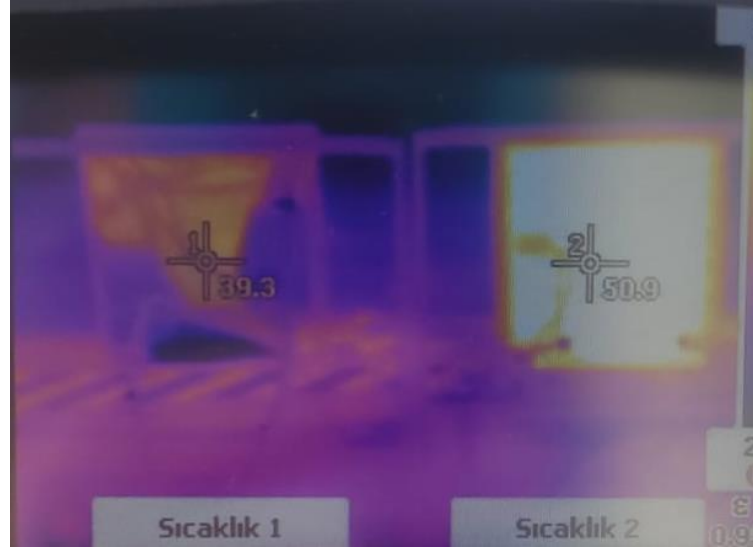
Şekil 7.41. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.41’de kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve sabit bir debide ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüzey sıcaklıkları görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküller ile yapılan akışkanların suya göre ısı iletim katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Panelin arkasına yerleştirilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artmasını sağlayarak ısıнын daha iyi iletilmesini sağlar ve böylece panel daha iyi soğur. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıınım değeriinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınım ile beraber panel sıcaklıklarında da düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 13:00-13:30’da orta kısmında 50,2 °C, ağırlıkça %0,6 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 13:00’da sol üst kısmında 41,4 °C olarak ölçülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 16:00’da sol üst kısmında 38,2 °C olarak görülmektedir. Öte yandan ağırlıkça %0,6 TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sağ alt kısmında 25,4 °C olarak ölçülmüştür. Genel itibarıyla gün boyunca ortalama olarak gerçekleşen en yüksek panel sıcaklığı düşüşleri ağırlıkça %0,2, %0,4, %0,6 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panellerde ve su soğutmalı panelde sırasıyla 11,50 °C, 10,78 °C, 9,97 °C ve 7,67 °C olarak görülmüştür.

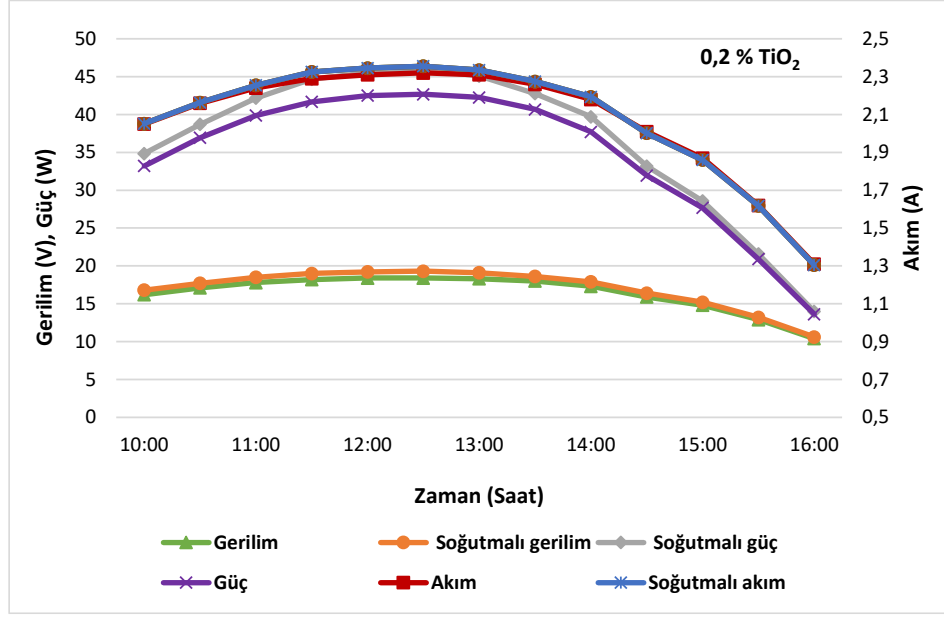
Ayrıca Şekil 7.42 ve Şekil 7.43'te ağırlıkça %0,6 oranında TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan ve arka taraftan çekilen termal kamera görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.42. Ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



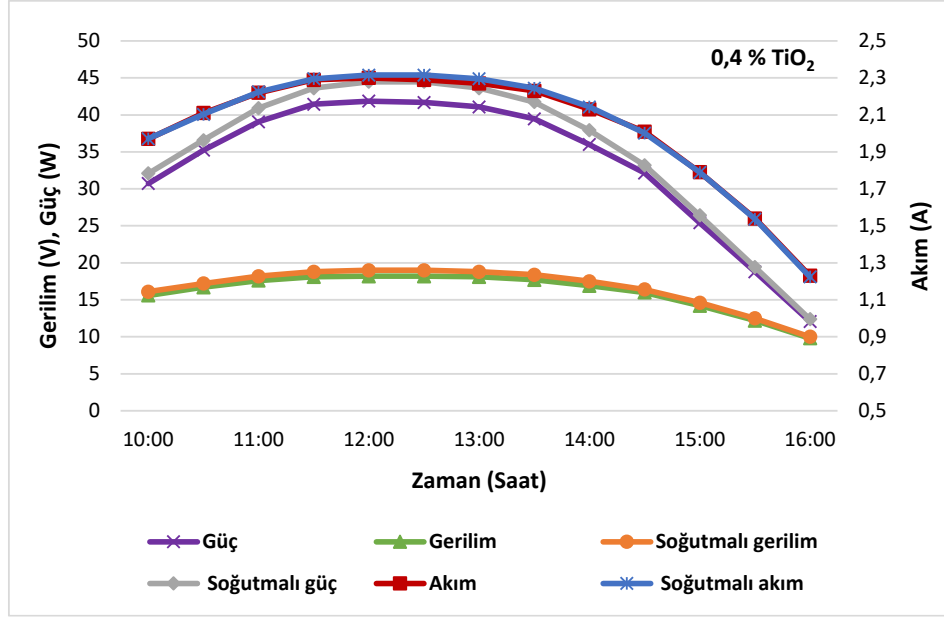
Şekil 7.43. Ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



Şekil 7.44. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO₂-su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.44'te sabit bir debide kanatçıksız-soğutmasız panel ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Burada %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerle oluşturulan akışkanların suya göre ısı iletim katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Şekle bakıldığında akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değeriyle orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca PV modül sıcaklığının yükselmesinden ötürü de panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Bunun yanısıra panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırdığı için ısıнын daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek panel güçleri saat 12:30'da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 45,96 W ve 42,68 W olarak görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 13,97 W ve 13,62 W şeklinde gözlemlenmiştir. Neticelere göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile kıyaslandığında ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelde %5,55'lik bir güç artışı meydana gelmiştir. En yüksek panel gerilimleri saat 12:30'da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel için 19,3 V iken, kanatçıksız-soğutmasız panel için ise saat 12:00-12:30'da yaklaşık 18,4 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su

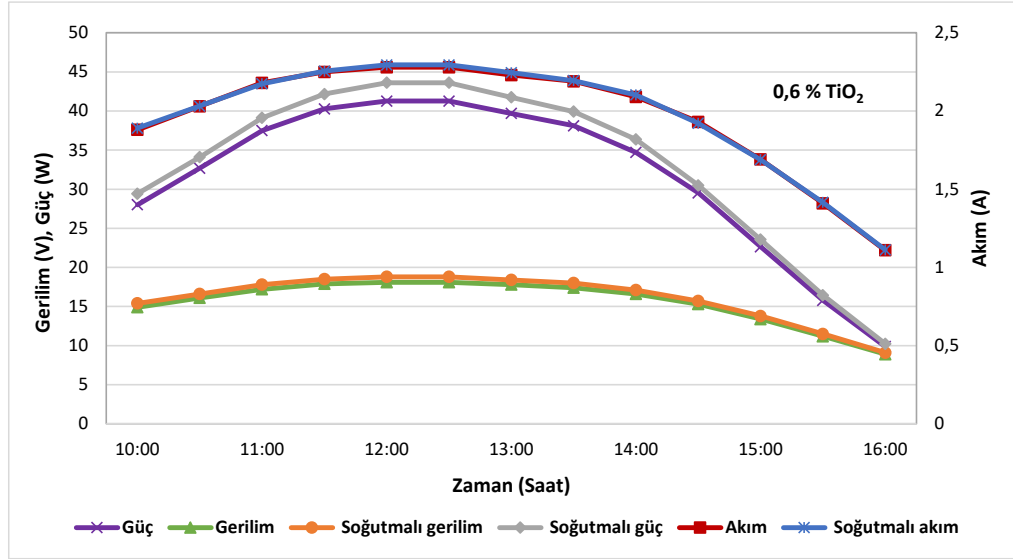
nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 10,6 V ve 10,4 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 12:30'da ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 2,35 A ve 2,32 A olarak ölçülmüştür. En düşük panel akımları saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,3 A ve 1,31 A olarak görülmektedir.



Şekil 7.45. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.45'te kanatçıksız-soğutmasız panele ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Şekil 7.45'e bakıldığında, ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerle oluşturulan sıvıların suya göre ısı iletim katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değeriyle orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panelin akım, gerilim ve güç değerlerinde azalış olduğu görülmüştür. Bunun yanısıra panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırdığı için ısıнын daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek panel güçleri saat 12:00-12:30'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel için yaklaşık olarak %44,47 iken, kanatçıksız-

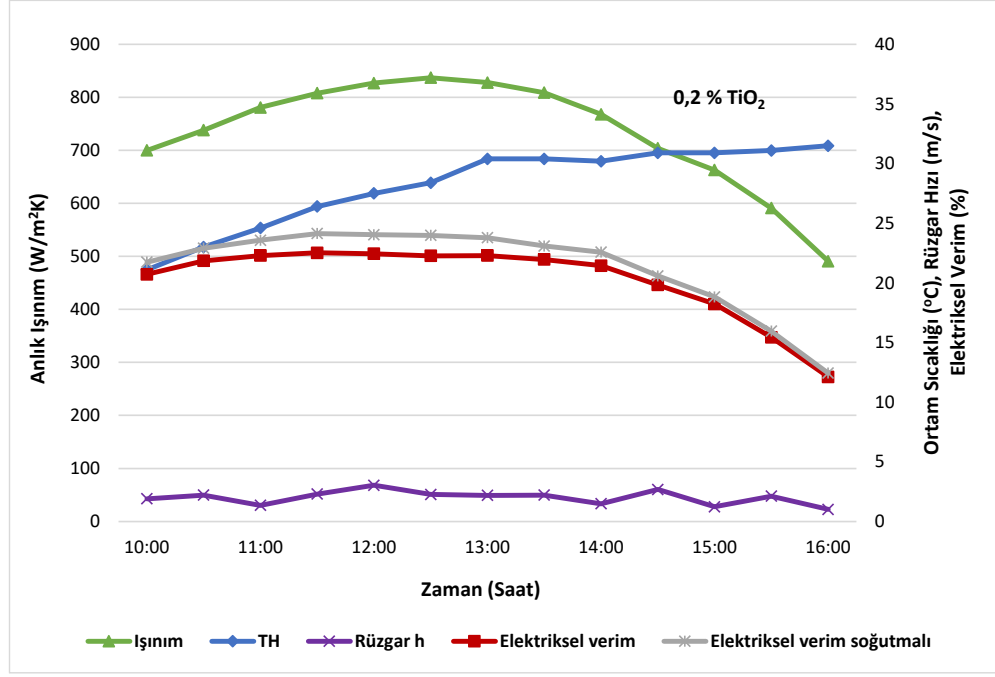
soğutmasız panel için saat 12:00'da yaklaşık olarak %41,86 olarak görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; %12,36 ve %12,05 olarak ölçülmüştür. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde %5,01'lik bir güç artışı meydana gelmiştir. En yüksek panel gerilimleri saat 12:00-12:30'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 19 V ve 18,2 V şeklinde olmuştur. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 10 V ve 9,8 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 12:00-12:30'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel için yaklaşık olarak 2,31 A iken, kanatçıksız-soğutmasız panel için 2,31 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,22 A ve 1,23 A olarak görülmektedir.



Şekil 7.46. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.46'da kanatçıksız-soğutmasız panele ve sabit bir debide ağırlıkça %0,6 oranında hazırlanan levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. %0,6 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerle oluşturulan sıvıların suya göre ısı iletim katsayısının daha büyük olması ile ilişkili

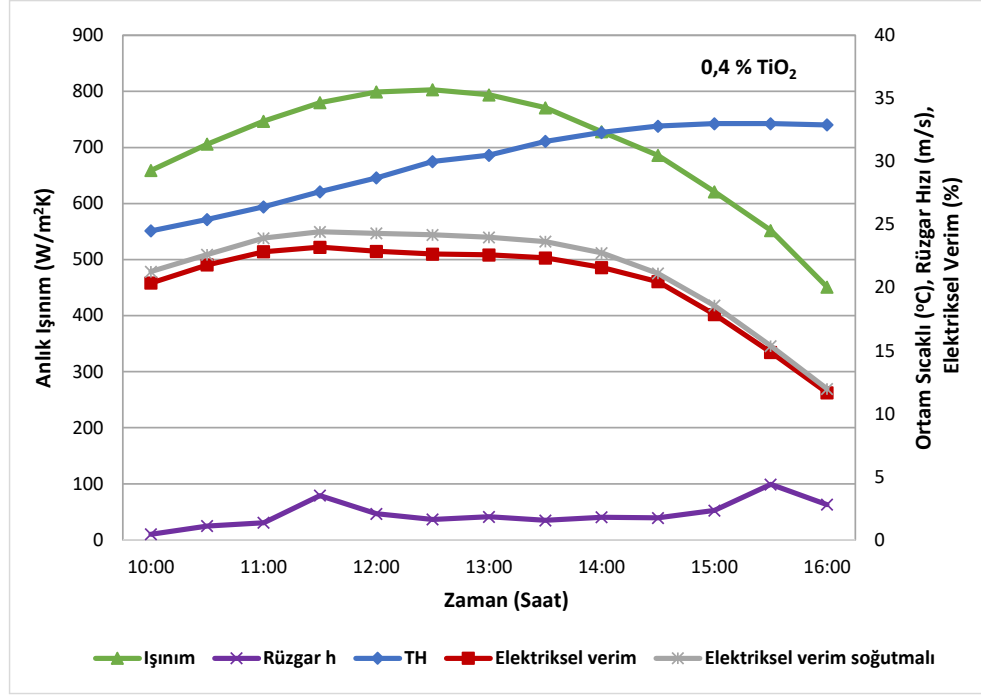
olduğu düşünülmektedir. Akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değeriyle orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca PV modül sıcaklığının yükselmesinden ötürü de panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Bunun yanısıra panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırdığı için ısıнын daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek panel güçleri saat 12:00-12:30'da ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel için yaklaşık olarak %43,62, kanatçıksız-soğutmasız panel için ise yaklaşık olarak %41,26 olarak görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; %10,23 ve %9,87 olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelde %4,73'lük bir güç artışı meydana gelmiştir. En yüksek panel gerilimleri saat 12:00-12:30'da ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel için ve kanatçıksız-soğutmasız panel için sırasıyla 18,8 V ve 18,1 V şeklinde görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için sırasıyla 9,1 V ve 8,9 V olarak tespit edilmiştir. En yüksek panel akımları saat 12:00-12:30'da ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 2,294 A ve 2,28 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,112 A ve 1,11 A olarak görülmektedir. Grafikler genel olarak incelendiğinde kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında, TiO₂-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça her 3 oranında da (%0,2, %0,4 ve %0,6) daha yüksek güç değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında ise TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelin ağırlıkça her 3 oranında da daha büyük güç artışları meydana gelmiştir. En yüksek güç değeri ağırlıkça %0,2 oranında elde edilmiştir. En düşük güç değeri de ağırlıkça %0,6 oranında elde edilmiştir.



Şekil 7.47. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO₂-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.47’de kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ışınlam değeriyle orantılı bir şekilde değiştiği görülmüştür. İlaveten PV hücreleri, ışınlamın pik yaptığı saatlerde artan PV modül sıcaklığından dolayı elektriksel verimde biraz düşüş gözlemlenmiştir. Bunun yanında panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artmasını sağlayarak ısınlamın daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın paneli soğutmak suretiyle elektriksel verim artırdığı düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler saat 11:30’da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla %24,13 ve %22,52 olarak hesaplanmıştır. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00’da ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçıksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %12,43 ve %12,11 olarak tespit edilmiştir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile kıyaslandığında ağırlıkça %0,2 TiO₂-su nanoakışkan

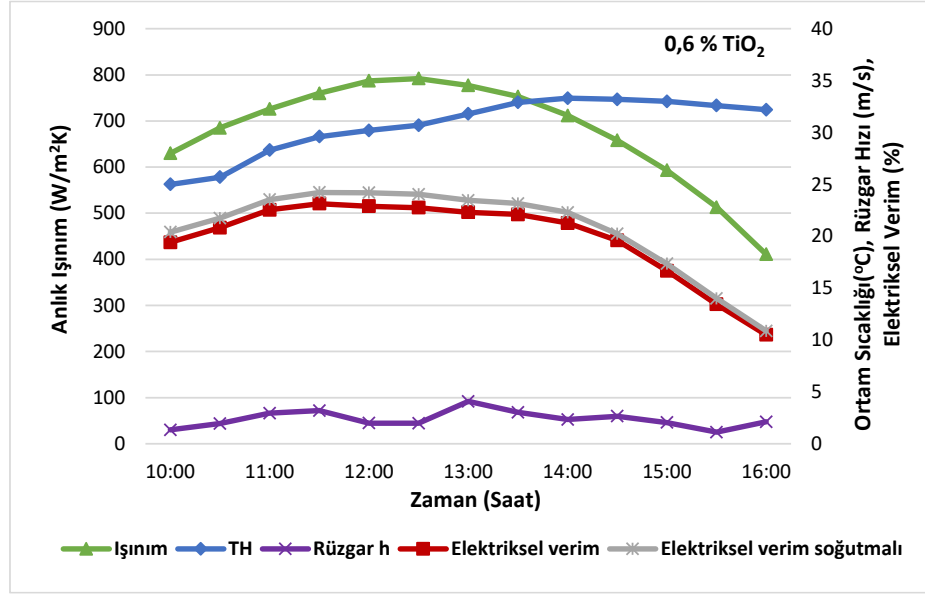
soğutmalı panelde yaklaşık olarak %5,39'luk bir elektriksel verim artışı meydana gelmiştir.



Şekil 7.48. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO₂-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.48’de kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde genel itibarıyla ağırlıkça %0,4 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ışınlam değeriyle orantılı bir şekilde değiştiği görülmüştür. İlâveten PV hücreleri, ışınlamın pik yaptığı saatlerde artan PV modül sıcaklığından dolayı elektriksel verimde biraz düşüş gözlemlenmiştir. Bunun yanında panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artmasını sağlayarak ısının daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın paneli soğutmak suretiyle elektriksel verim artırdığı düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler saat 11:30’da ağırlıkça %0,4 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla %24,42 ve %23,20 şeklinde

gözlemlenmiştir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçiksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %11,97 ve %11,67 şeklinde hesaplanmıştır. Sonuçlara göre genel olarak kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,4 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde yaklaşık olarak %4,89'luk bir elektriksel verim artışı meydana gelmiştir.

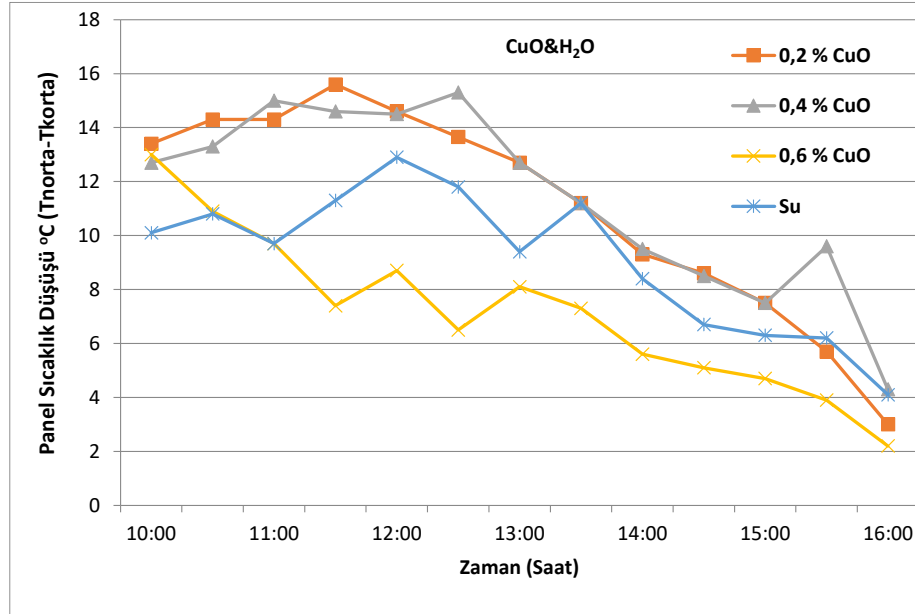


Şekil 7.49. Kanatçiksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su soğutmalı-panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.49'da kanatçiksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide %0,6 oranında levha kanatçıklı TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. %0,6 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçiksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ışınlam değeriyle orantılı bir şekilde değiştiği görülmüştür. İlaveten PV hücreleri, ışınlamın pik yaptığı saatlerde artan PV modül sıcaklığından dolayı elektriksel verimde biraz düşüş gözlemlenmiştir. Bunun yanında panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artmasını sağlayarak ısınlamın daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve su ile soğutmanın paneli soğutmak suretiyle elektriksel verim artırdığı düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler saat 11:30'da ağırlıkça %0,6 TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel

ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla %24,22 ve %23,14 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçiksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %10,87 ve %10,49 şeklinde hesaplanmıştır. Sonuçlara göre genel olarak kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,6 TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelde yaklaşık olarak %4,67'lik bir elektriksel verim artışı meydana gelmiştir. Şekiller genel olarak incelendiğinde kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında, TiO₂-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça her 3 oranında da (%0,2, %0,4 ve %0,6) daha yüksek elektriksel verim elde edilmiştir. Ayrıca su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında ise TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelin ağırlıkça her 3 oranında da daha büyük elektriksel verim meydana gelmiştir. En yüksek elektriksel verim değeri ağırlıkça %0,2 oranında elde edilmiştir. En düşük elektriksel verim değeri de ağırlıkça %0,6 oranında elde edilmiştir. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber artan viskoziteden dolayı elektriksel verim değerinin olumsuz etkilendiği tahmin edilmektedir.

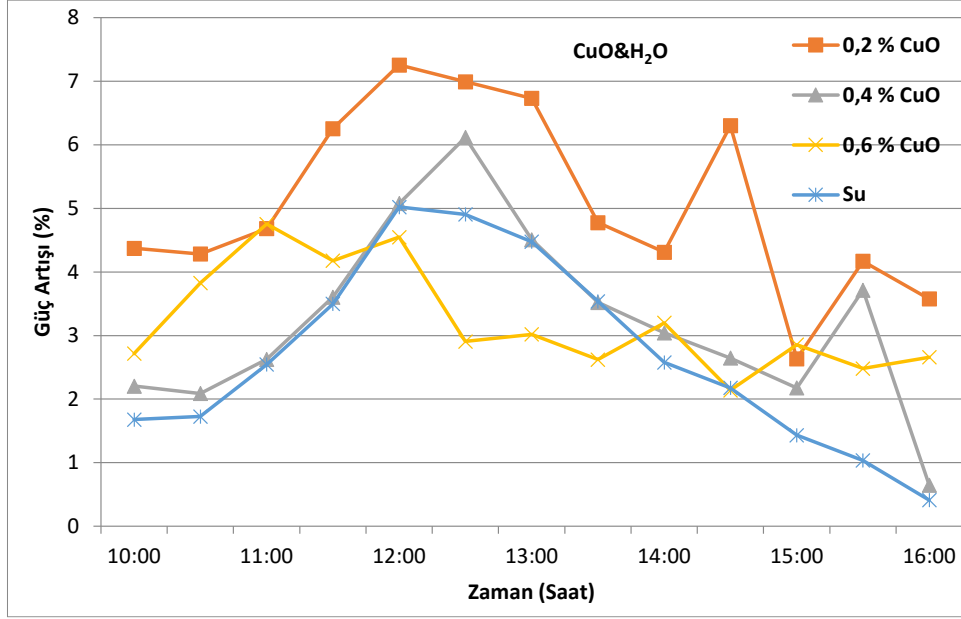
7.5. CuO-Su Nanoakışkanlı Panel Soğutma



Şekil 7.50. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin kanatçiksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.50'de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan CuO-su nanoakışkan soğutmanın kanatçiksız-soğutmasız panele göre panel sıcaklık düşüşleri görülmektedir.

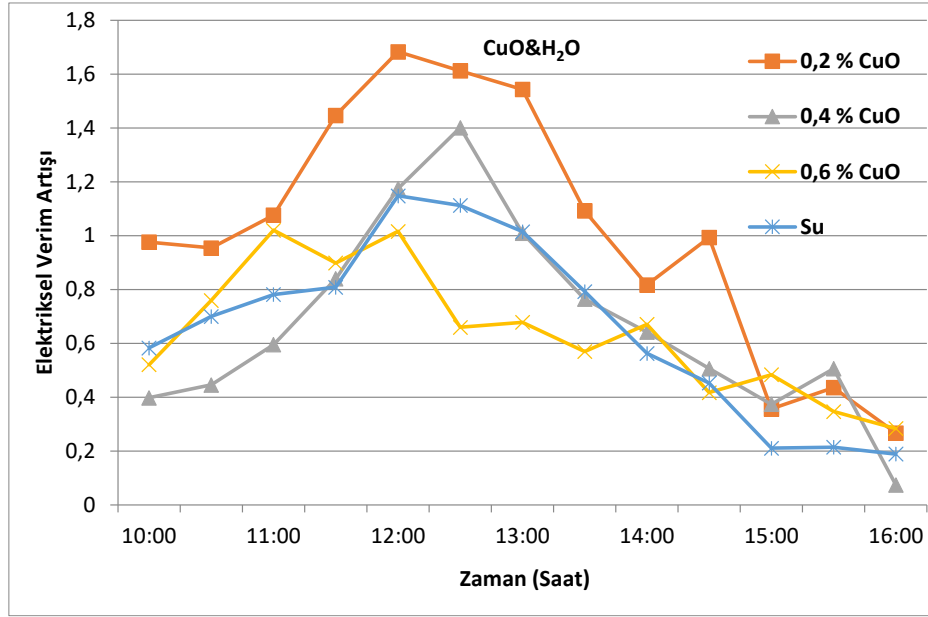
Panel sıcaklığı düşüşü panelin verim artışıyla paralellik gösterir. Panel sıcaklığı düşüşleri genellikle ışıının değerin arttığı öğle vakitlerine doğru yükselip, öğle saatlerinden sonra azalan ışıınınla beraber panel sıcaklıklarındaki düşüşlerde azalma gözlemlenmiştir. İlâveten panelin arkasına konulan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırır. Yüzey alanının artması da ısıının daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek panel sıcaklığı azalışı saat 11:30'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panelde 15,6 °C olarak görülmüştür. Ardından en yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 12:30'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panelde 15,3 °C olarak ölçülmüştür. Günün Saat 12:00'dan sonraki saatlerinin hepsinde ağırlıkça %0,4 CuO, ağırlıkça %0,2 CuO nanoakışkanlı soğutmaya göre daha fazla panel sıcaklığında düşüş sağlamıştır. Su soğutmalı paneldeki en yüksek panel sıcaklığı düşüşü ise saat 12:00'da 12,9 °C şeklinde görülmüştür. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelde en yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 10:00'da 13 °C olarak ölçülmüştür. Su soğutmalı paneldeki en yüksek panel sıcaklığı azalışı saat 12:00'da 12,9 °C olarak görülmüştür. Sonuçlara göre CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın su soğutmalı panele kıyasla daha büyük sıcaklık düşüşü gösterdiği görülmüştür. Bu durumun nanopartiküllerin suya kıyasla ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu tahmin edilmektedir. Fakat ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelde yoğunluğun yükselmesi ile birlikte yükselen kinematik viskozite sebebiyle su soğutmalı sisteme göre panel sıcaklığını daha az düşürmüştür. En düşük panel sıcaklığı düşüşleri ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panel, su soğutmalı panel, ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panel ve ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panel için sırasıyla 4,3 °C, 4,1 °C, 3 °C ve 2,2 °C şeklinde ölçülmüştür. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçıksız panele göre panellerin orta noktalarının sıcaklık düşüşlerine bakıldığında; CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,4, %0,2 oranları, su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranlı paneller için sırasıyla 11,43 °C, 11,06 °C, 9,14 °C ve 7,16 °C'lik bir panel sıcaklığı düşüşü meydana gelmiştir.



Şekil 7.51. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı kanatçıklı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.51’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre güç artış oranları görülmektedir. Panel güçleri genel itibarıyla ışınlama ile paralel olarak değişkenlik göstermiştir. Panel güçleri öğle saatlerine kadar ışınlama değerinin yükselmesiyle bir artış sağlayıp, öğleden sonra ışınlama düşmesiyle panel güçlerinde de bir azalış gözlemlenmiştir. İlaveten PV hücre sıcaklığının yükselmesinden ötürü de panel gücünde düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artmasını sağlayarak ısınlama daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. En yüksek güç artışı oranı saat 12:00’da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %7,25 olarak hesaplanmıştır. Ardından en yüksek güç artışı oranı saat 12:30’da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %6,11 olarak görülmüştür. Su soğutmalı panelde olan güç artış oranı ise saat 12:00’da yaklaşık olarak %5,02 şeklinde gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelde ise saat 11:00’da yaklaşık olarak %4,75 olarak gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelde ise yoğunluğun artmasıyla birlikte artan kinematik viskozite sebebiyle güç artış oranını etkilediği görülmüştür. En düşük güç artış oranları ise saat 15:00’da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panel için %3,57, ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panel ve su soğutmalı panel için sırasıyla %0,64 ve %0,41 şeklinde görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panel için ise en düşük güç artışı

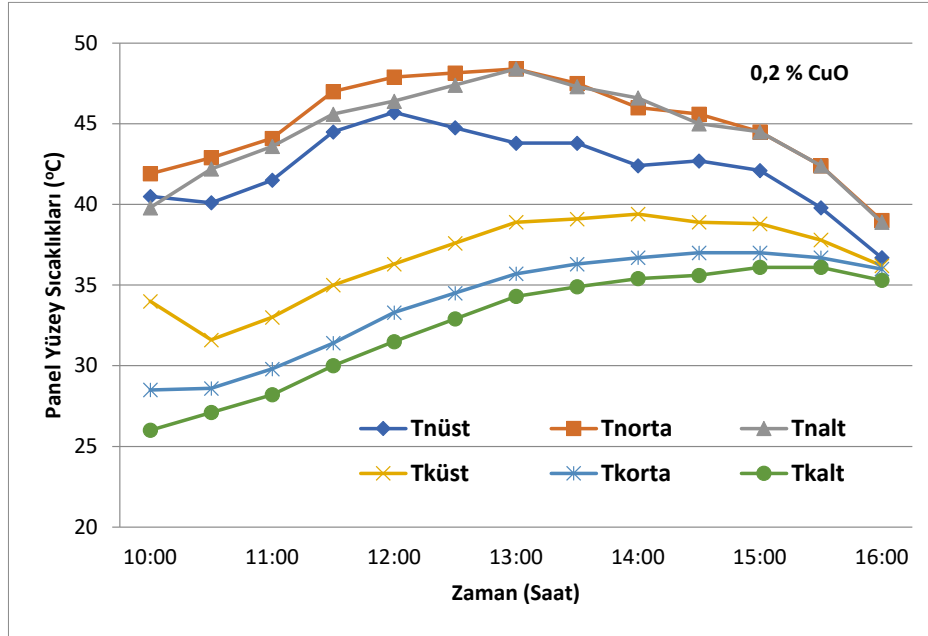
oranı saat 14:30'da yaklaşık olarak %2,13 olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın, su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında daha büyük güç artışları sağladığı tespit edilmiştir. Bunun da nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha yüksek olması ile ilintili olduğu tahmin edilmektedir. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçiksız panele göre güç artış oranlarına bakıldığında; CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,2, %0,4, %0,6 oranları ve su soğutmalı panel için sırasıyla %5,102, %3,228, %3,223 ve %2,693'lük bir güç artış oranı meydana gelmiştir.



Şekil 7.52. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin kanatçiksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.52'de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçiksız panele göre elektriksel verim artışları görülmektedir. Genel itibarıyla PV panelin elektriksel verimleri ışınlama ile paralellik göstermiştir. Panelin elektriksel verimleri öğle saatlerine kadar ışınlamanın artmasıyla bir yükseliş gösterip, öğle saatlerinden sonra ışınlama değerinin düşmesiyle panel verimlerinde de genel itibarıyla bir düşüş görülmüştür. Ayrıca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panelin elektriksel veriminde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanı sıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısınlamanın daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek elektriksel verim artışı oranı saat 12:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak

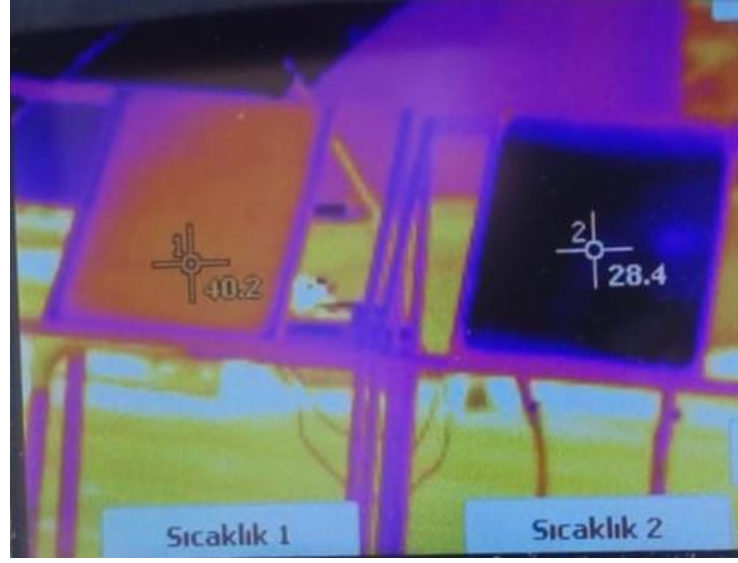
%1,68 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek elektriksel verim artışı saat 12:30'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,40 şeklinde gözlemlenmiştir. Su soğutmalı panelde olan elektriksel verim artışı da saat 12:00'da yaklaşık olarak %1,14 olarak görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelde ise saat 11:00'da yaklaşık olarak %1,02 olarak gözlemlenmiştir. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskozite nedeniyle elektriksel verim artışını etkilediği görülmüştür. Genel olarak gün boyunca ortalama olarak kanatçiksız panele göre elektriksel verim artışlarına bakıldığında; CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın ağırlıkça %0,2, %0,4, su soğutmalı ve %0,6 panel için sırasıyla %1,019, %0,671, %0,659, %0,640'lık bir elektriksel verim artışı olmuştur.



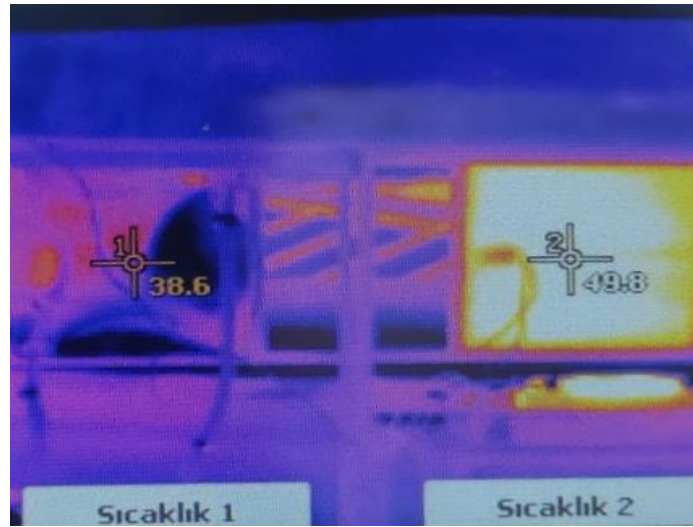
Şekil 7.53. Kanatçiksız ve %0,2 oranındaki levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.53'te sabit bir debide kanatçiksız-soğutmasız panelin ön yüzey sıcaklıkları ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Panelin arkasına monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında bir artış gerçekleştirerek, ısıнын daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, kanatçıkların ve ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panelin sıcaklığını azaltarak paneli soğuttuğu görülmektedir. Sıcaklıkların genellikle ışıının değeriyle paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Kanatçiksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat

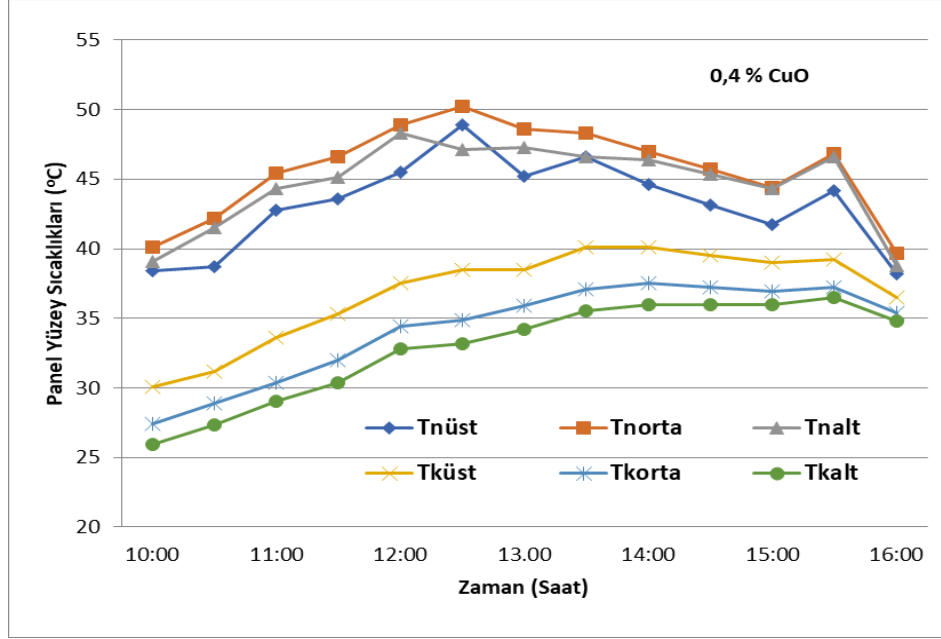
13:00'da orta kısmında 48,4 °C, ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 14:00'da sol üst kısmında 39,4 °C şeklinde görülmüştür. Kanatçiksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 16:00'da sol üst kısmında 36,7 °C olarak ölçülmüştür. Öte yandan ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00'da sağ alt kısmında 26 °C şeklinde gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 7.54 ve Şekil 7.55'te ağırlıkça %0,2 oranında CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve kanatçiksız-soğutmasız panellere ait ön taraftan ve arka taraftan çekilen termal kamera görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.54. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü

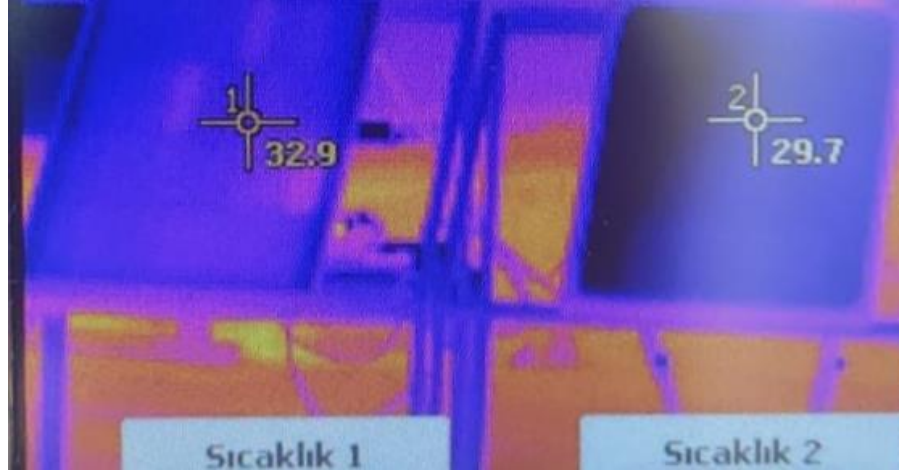


Şekil 7.55. Ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



Şekil 7.56. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin ön yüzey sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

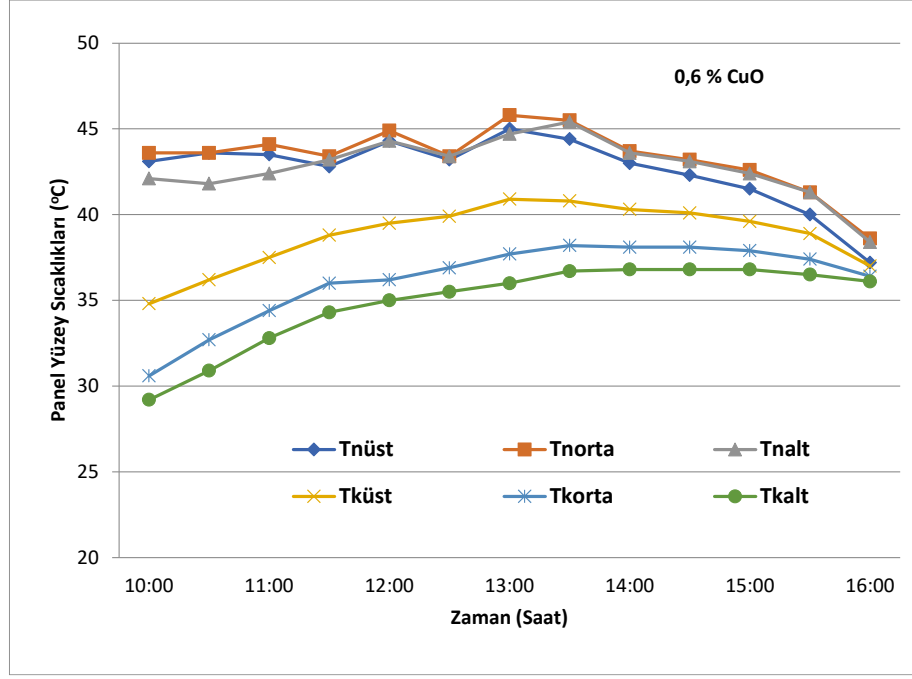
Şekil 7.56’da kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüz sıcaklıkları görülmektedir. Şekle bakıldığında, ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerden üretilen nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında artış meydana getirerek ısıнын daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi, kanatçıkların ve ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panelin sıcaklığını düşürerek paneli soğuttuğu gözlemlenmiştir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıınım değeriyle paralellik göstermiştir. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 12:30’da orta kısmında 50,2 °C, ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 13:30-14:00’da sol üst kısmında 40,1 °C şeklinde gözlemlenmiştir. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 16:00’da sol üst kısmında 38,2 °C olarak ölçülmüştür. Öte yandan ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00’da sağ alt kısmında 25,9 °C olarak görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.57 ve Şekil 7.58’de ağırlıkça %0,4 oranında CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve kanatçıksız-soğutmasız panellere ait ön taraftan ve arka taraftan çekilen termal kamera görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.57. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait ön taraftan çekilen termal kamera görüntüsü



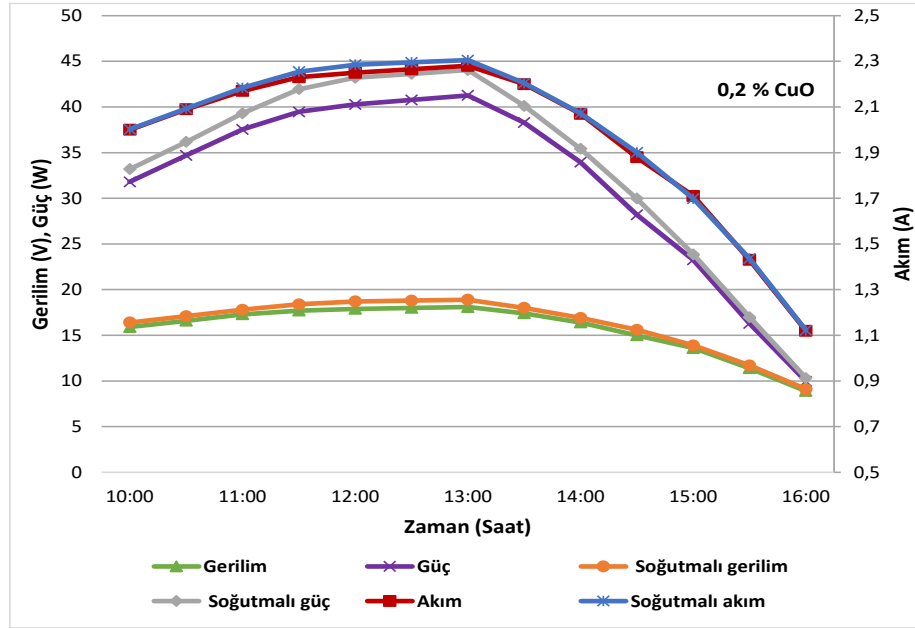
Şekil 7.58. Ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı ve soğutmasız panellere ait arka taraftan çekilen termal kamera görüntü



Şekil 7.59. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin ön yüz sıcaklıklarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.59'da kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüz sıcaklıkları ve sabit bir debide ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait ön yüzey sıcaklıkları görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerle hazırlanan sıvıların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında artış meydana getirerek ısıнын daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi, kanatçıkların ve ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelin sıcaklığını çekerek paneli soğuttuğu açıkça görülmektedir. Sıcaklıklar genel itibarıyla ışıının değeriyle paralellik gösterdiği görülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık saat 13:00'da orta kısmında 45,8 °C, ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en yüksek sıcaklık ise saat 13:00'da sol üst kısmında 40,9 °C olarak görülmüştür. Kanatçıksız-soğutmasız panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 16:00'da sol üst kısmında 37,2 °C olarak görülmektedir. Öte yandan ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkanlı panelin ön yüzündeki en düşük sıcaklık ise saat 10:00'da sağ alt kısmında 29,2 °C olarak görülmektedir. Genel itibarıyla gün boyunca ortalama olarak gerçekleşen en yüksek panel sıcaklığı düşüşleri ağırlıkça %0,4, %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı

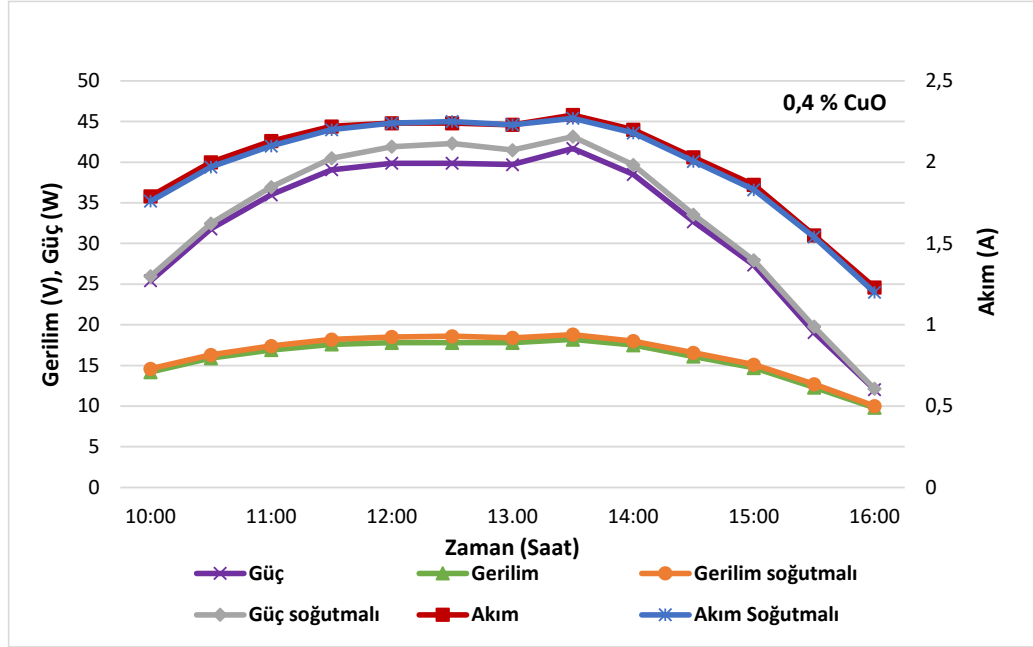
panellerde ve ağırlıkça %0,6 oranında CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde sırasıyla 9,85 °C, 9,49 °C, 7,67 °C ve 6,29 °C olarak görülmüştür.



Şekil 7.60. Kanatçıksız ve %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.60'ta kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanopartiküller ile meydana getirilen akışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınımla beraber düşüş gösterdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca PV modülü sıcaklığı yükselmesinden dolayı da panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanısıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında artış sağlayarak ısıнын daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek panel güçleri saat 13:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 44,04 W ve 41,26 W şeklinde görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 10,32 W ve 9,96 W şeklinde gözlemlenmiştir. Neticelere göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile kıyaslandığında ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan

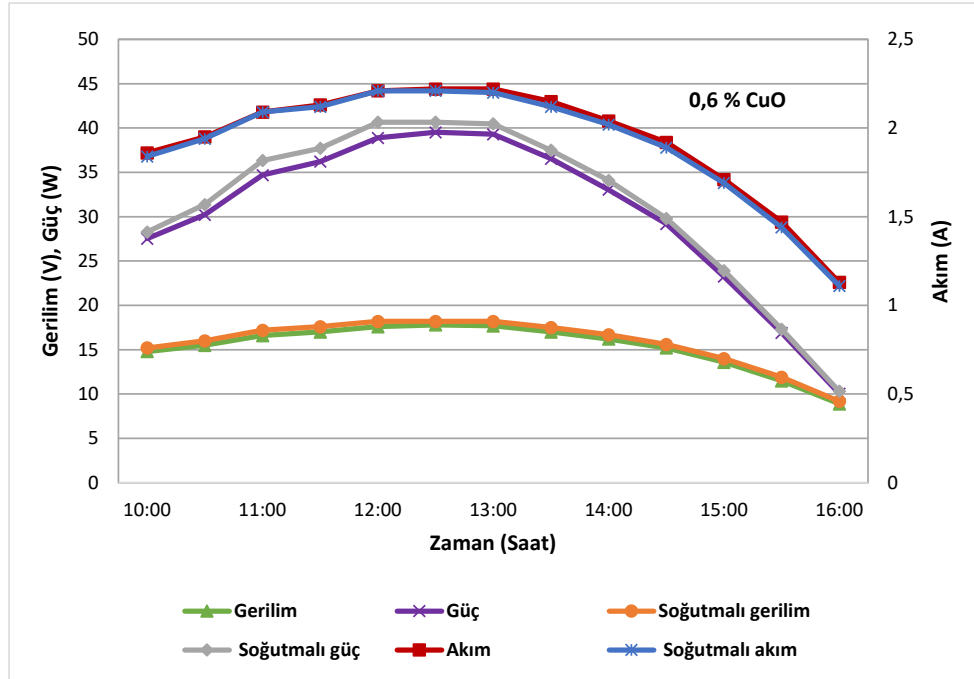
soğutmalı panelde %5,38'lik bir güç artışı meydana gelmiştir. En yüksek panel gerilimleri saat 13:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel için ve kanatçıksız-soğutmasız panel için sırasıyla 18,9 V ve 18,1 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 9,1 V ve 8,9 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 13:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 2,30 A ve 2,28 A olarak ölçülmüştür. En düşük panel akımları saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,122 A ve 1,12 A olarak görülmektedir.



Şekil 7.61. Kanatçıksız ve %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.61'de kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanopartiküller ile meydana getirilen akışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ışıınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ışıınımla beraber düşüş gösterdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca PV modülü sıcaklığı yükselmesinden dolayı da panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş

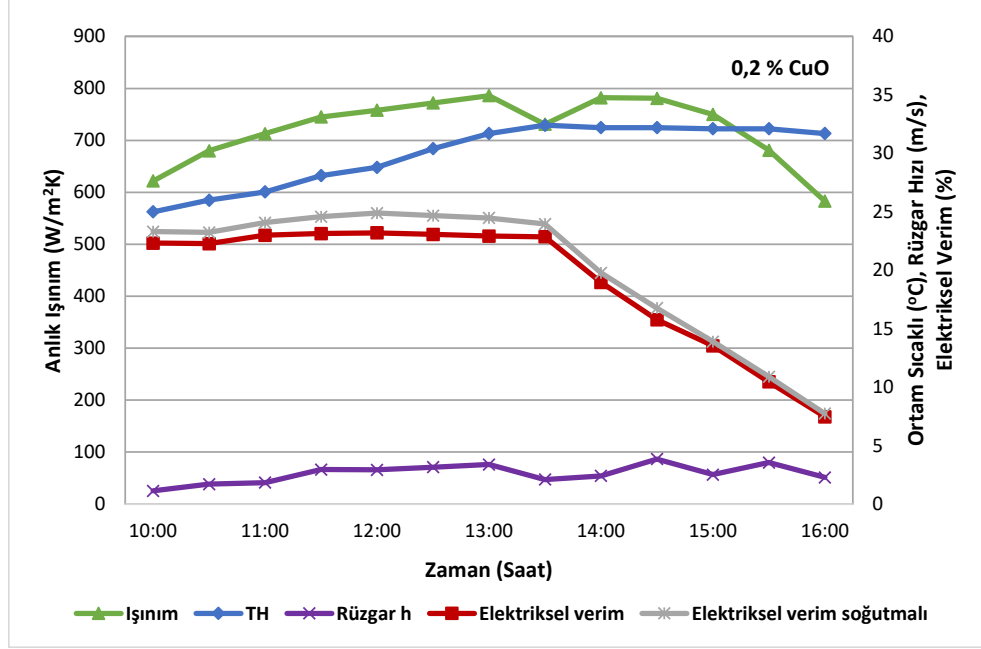
yaşanmıştır. Bunun yanısıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında artış sağlayarak ısıнын daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek panel güçleri saat 13:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 43,14 W ve 41,67 W olarak ölçülmüştür. En düşük panel güçleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 12,13 W ve 12,04 W şeklinde gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde %3,47'lik bir güç artışı meydana gelmiştir. En yüksek panel gerilimleri saat 13:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel için ve kanatçıksız-soğutmasız panel için sırasıyla 18,8 V ve 18,2 V olarak görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 10 V ve 9,8 V olarak görülmektedir. En yüksek panel akımları saat 13:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 2,27 A ve 2,29 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,2 A ve 1,23 A olarak görülmektedir.



Şekil 7.62. Kanatçıksız ve %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellerin akım, gerilim ve güç değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.62’de kanatçiksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde güç değerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun nanopartiküller ile meydana getirilen akışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Şekle bakıldığında akım, gerilim ve güç değerlerinin genel itibarıyla ısınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ısınımla beraber düşüş gösterdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca PV modülü sıcaklığı yükselmesinden dolayı da panelin akım, gerilim güç değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanı sıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında artış sağlayarak ısınımın daha iyi transfer olmasını sağlamaktadır. En yüksek panel güçleri saat 12:00-12:30’da ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel için yaklaşık olarak 40,66 W iken, kanatçiksız-soğutmasız panel için ise saat 12:30’da yaklaşık olarak 39,51 W şeklinde görülmektedir. En düşük panel güçleri saat 16:00’da ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla; 10,32 ve 10,05 W şeklinde ölçülmüştür. Sonuçlara göre genel olarak kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde %3,32’lik bir güç artışı meydana gelmiştir. En yüksek panel gerilimleri saat 12:00-13:00 aralığında ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel için 18,2 W iken, kanatçiksız-soğutmasız panel için ise saat 12:30’da 17,8 W şeklinde görülmektedir. En düşük panel gerilimleri saat 16:00’da ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 9,2 ve 8,9 V olarak ölçülmüştür. En yüksek panel akımları saat 13:00’da ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için aynı ve 2,22 A olarak görülmektedir. En düşük panel akımları saat 16:00’da ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçiksız-soğutmasız panel için yaklaşık olarak sırasıyla 1,11 A ve 1,13 A olarak görülmektedir. Grafikler genel olarak incelendiğinde kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında, CuO-su nanoakışkan panelin ağırlıkça her 3 oranında da (%0,2, %0,4 ve %0,6) daha yüksek güç değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında ise CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelin ağırlıkça %0,2 oranında daha büyük güç artışı yaşanırken ağırlıkça %0,4 ve %0,6 oranlarında daha düşük güç artışı meydana gelmiştir. En yüksek güç değeri ağırlıkça %0,2 oranında elde edilmiştir. En düşük güç değeri de

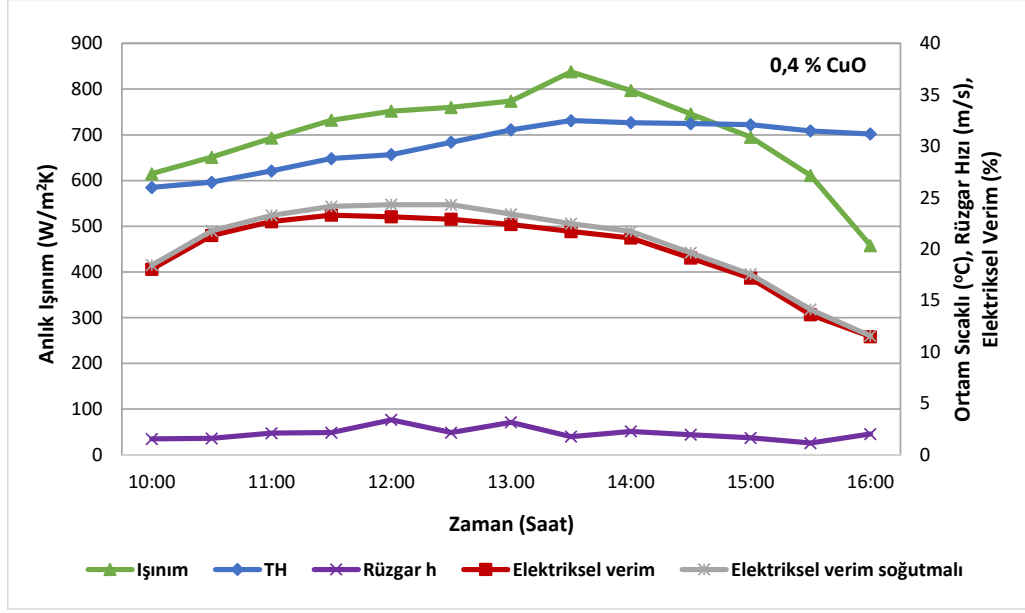
ağırlıkça %0,6 oranında elde edilmiştir. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber artan viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek güç değerini olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir.



Şekil 7.63. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ısıtım, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.63'te kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,2 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ısıtımına, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ısıtım değeriyle paralel olarak değiştiği görülmüştür. İlaveten PV hücreleri, ısıtımın pik yaptığı saatlerde yükselen PV modülü sıcaklığından kaynaklı olarak elektriksel verimde biraz düşüş yaşanmıştır. Bunun yanında panelin arkasına monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırarak ısıtımın daha iyi transfer olmasına sağlamaktadır. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıklar ve akışkan ile soğutmanın, panelin sıcaklığında düşüş sağlayarak paneli soğutup elektriksel verimi yükselttiği düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler saat 12:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel ve kanatçıksız-soğutmasız panel için yaklaşık

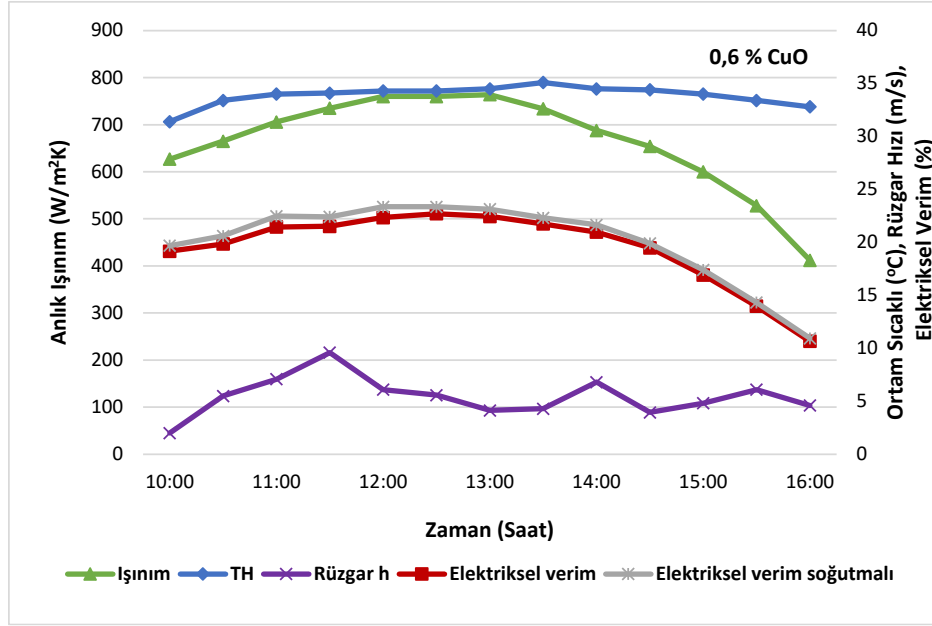
olarak sırasıyla %24,88 ve %23,20 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçıksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %7,73 ve %7,46 olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,2 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde yaklaşık olarak %5,32'lik bir elektriksel verim artışı olmuştur.



Şekil 7.64. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.64'de kanatçıksız-soğutmasız panel ve sabit bir debide ağırlıkça %0,4 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ışınlam değeriyle paralel olarak değiştiği görülmüştür. İlaveten PV hücreleri, ışınlamın pik yaptığı saatlerde yükselen PV modülü sıcaklığından kaynaklı olarak elektriksel verimde biraz düşüş yaşanmıştır. Bunun yanında panelin arkasına monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırarak ısınlamın daha iyi transfer olmasına sağlamaktadır. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıklar ve akışkan ile soğutmanın, panelin sıcaklığında düşüş sağlayarak paneli soğutup elektriksel verimi yükselttiği düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı

sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel için saat 12:00'da yaklaşık olarak %24,32, kanatçıksız-soğutmasız panel için ise saat 11:30'da yaklaşık olarak %23,30 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçıksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %11,56 ve %11,49 olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçıksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,4 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde yaklaşık olarak %3,38'lik bir elektriksel verim artışı olmuştur.

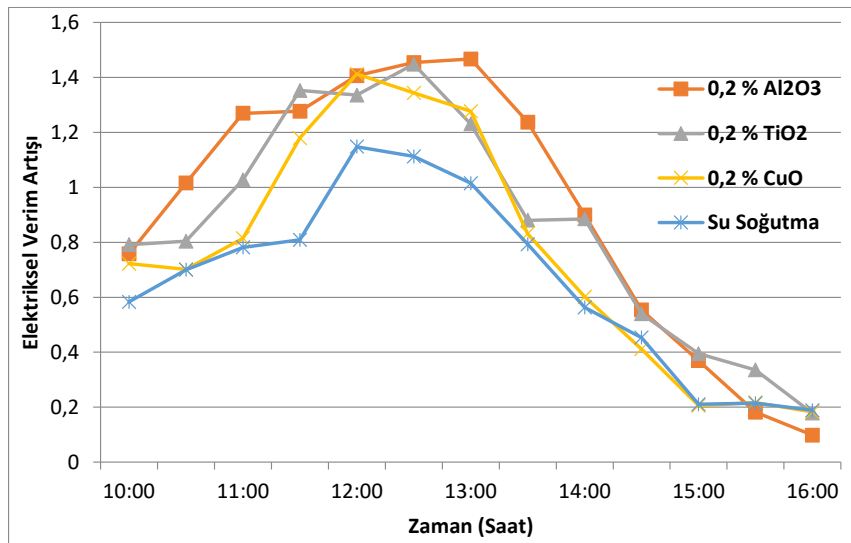


Şekil 7.65. Kanatçıksız-soğutmasız ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su soğutmalı panellere ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığı ve rüzgâra göre gün boyunca değişimi

Şekil 7.65'te sabit bir debide kanatçıksız-soğutmasız panel ve ağırlıkça %0,6 oranında levha kanatçıklı CuO-su nanoakışkan soğutmalı panele ait elektriksel verimin anlık ışınlam, ortam sıcaklığına ve rüzgâra göre değişimi görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelin elektriksel veriminin, kanatçıksız-soğutmasız panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca elektriksel verimin anlık ışınlam değeriyle paralel olarak değiştiği görülmüştür. İlaveten PV hücreleri, ışınlamın pik yaptığı saatlerde yükselen PV modülü sıcaklığından kaynaklı olarak elektriksel verimde biraz düşüş yaşanmıştır. Bunun yanında panelin arkasına monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırarak ısınlamın daha iyi transfer olmasına sağlamaktadır. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıklar ve akışkan ile soğutmanın, panelin sıcaklığında düşüş sağlayarak paneli soğutup elektriksel verimi

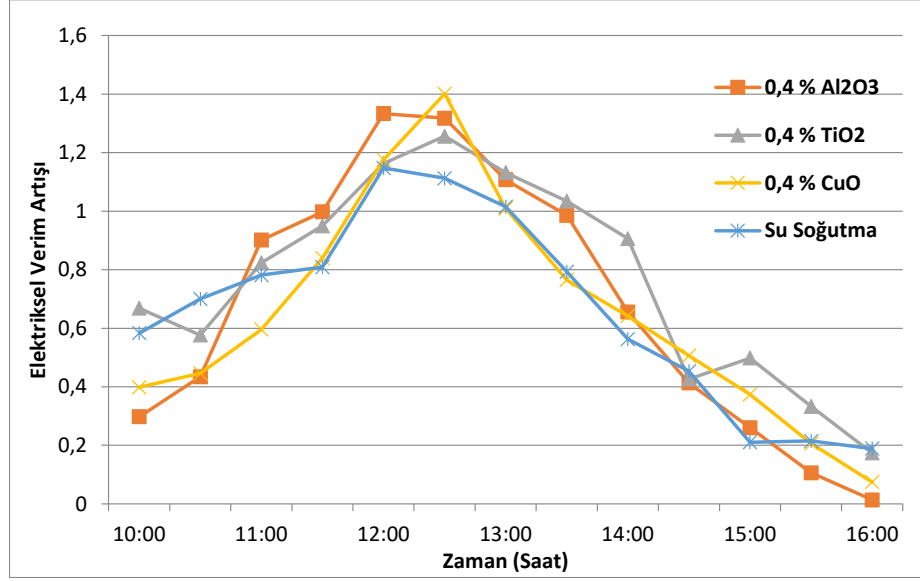
yükselttiği düşünülmektedir. Öte yandan rüzgârın da ısı transfer katsayısında artış sağlayarak ısı taşınım yoluyla PV panel hücrelerini soğutarak elektriksel verime katkı sağladığı söylenebilir. En yüksek elektriksel verimler ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panel için saat 12:00-12:30'da yaklaşık olarak %23,36, kanatçiksız-soğutmasız panel için ise saat 12:30'da yaklaşık olarak %22,7 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verimler ise saat 16:00'da ağırlıkça %0,6 CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelde ve kanatçiksız-soğutmasız panelde yaklaşık olarak sırasıyla %10,94 ve %10,65 olarak görülmektedir. Sonuçlara göre genel olarak kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %0,6 CuO-su nanopartiküllü soğutmalı panelde yaklaşık olarak %3,28'lik bir elektriksel verim artışı olmuştur. Grafikler genel olarak incelendiğinde kanatçiksız-soğutmasız panel ile karşılaştırıldığında, CuO-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça her 3 oranında da (%0,2, %0,4 ve %0,6) daha yüksek elektriksel verim elde edilmiştir. Ayrıca su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında ise CuO-su nanoakışkan soğutmalı panelin ağırlıkça %0,2 oranında daha büyük elektriksel verim yaşanırken ağırlıkça %0,4 ve %0,6 oranlarında daha düşük elektriksel verim meydana gelmiştir. En yüksek elektriksel verim değeri ağırlıkça %0,2 oranında elde edilmiştir. En düşük elektriksel verim değeri de ağırlıkça %0,6 oranında elde edilmiştir. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber artan viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek elektriksel verim değerini olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir.

7.6. Al₂O₃, TiO₂, CuO esaslı Nanoakışkanlarının Karşılaştırılması



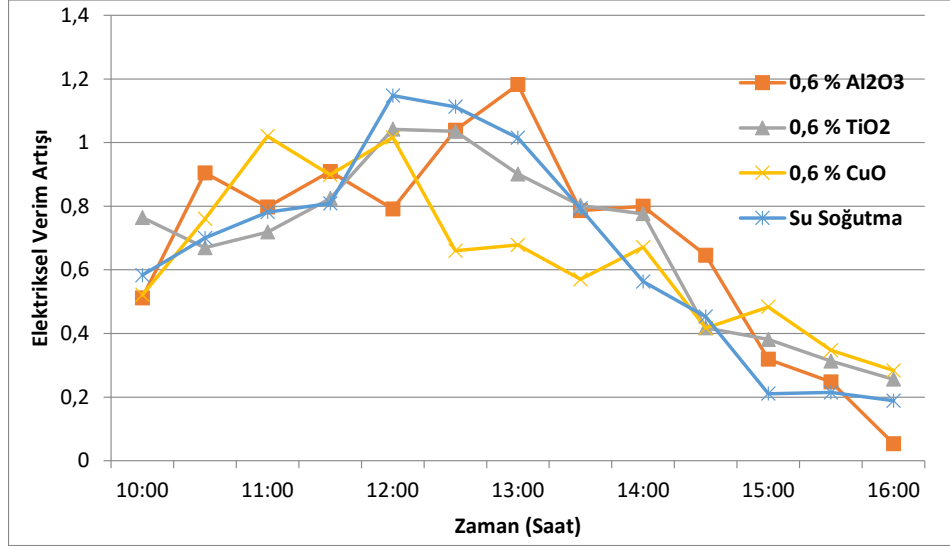
Şekil 7.66. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al₂O₃-su-TiO₂-su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçiksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.66'da levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,2 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışları görülmektedir. Şekil 7.66'da görüldüğü gibi genel olarak bütün nanoakışkanlı soğutma türlerinin su soğutmalı sisteme kıyasla daha büyük elektriksel verim artışına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun nanopartiküllerle hazırlanan sıvıların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Panelin elektriksel verimleri öğle saatlerine kadar ısınımın artmasıyla bir yükseliş gösterip, öğle saatlerinden sonra ısınım değerinin düşmesiyle panel verimlerinde de genel itibarıyla bir düşüş görülmüştür. Ayrıca PV hücre sıcaklığının yükselmesinden ötürü de panelin elektriksel veriminde düşüş yaşanmıştır. Bunun yanısıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanındaki artış ısının aha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek elektriksel verim artışı saat 13:00'da Al_2O_3 -su nanopartiküllü panelde yaklaşık olarak %1,467 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek elektriksel verim artışı saat 12:30'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,448 şeklinde hesaplanmıştır. CuO -su nanoakışkanlı panelde ise en yüksek elektriksel verim artışı da saat 12:00'da yaklaşık olarak %1,412 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek elektriksel verim artışı ise saat 12:00'da yaklaşık olarak %1,147 olmuştur. En düşük elektriksel verim artışları ise saat 16:00'da su soğutmalı panel, CuO -su nanoakışkanlı panel, TiO_2 -su nanoakışkanlı panel ve Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel için sırasıyla %0,188, %0,182, %0,178 ve %0,098 olarak görülmektedir. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,2 oranında ortalama olarak en yüksek elektriksel verim artışlarına bakıldığında; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su ve su soğutmalı paneller için sırasıyla %0,922, %0,861, %0,761 ve %0,659 olarak görülmüştür. Ebaid ve diğerleri [31] bir PV sistem üzerinde yaptıkları çalışmada, genel itibarıyla TiO_2 nanoakışkanlı soğutmanın Al_2O_3 nanoakışkanlı soğutmaya göre daha düşük verimde olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 7.67. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al₂O₃-su-TiO₂-su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi

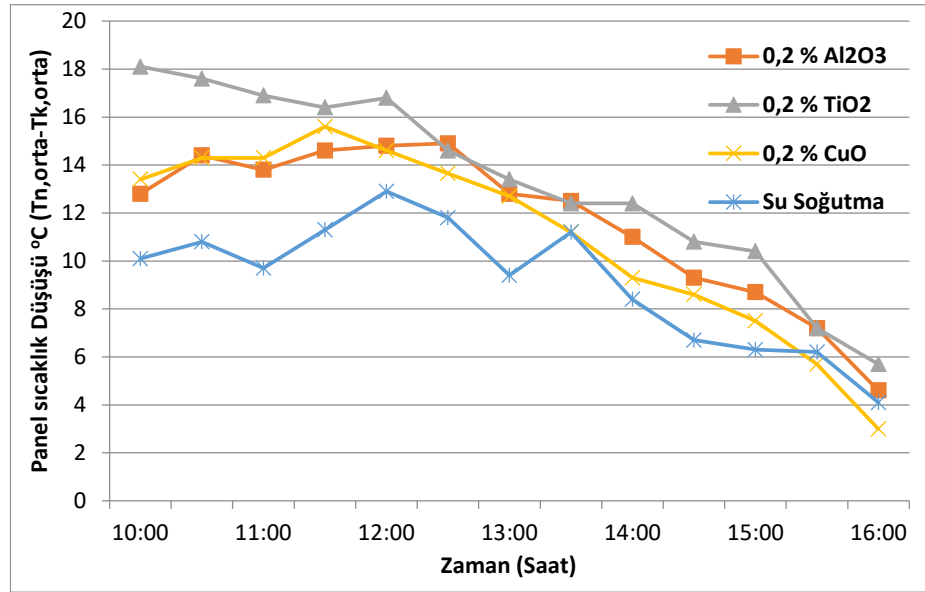
Şekil 7.67’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,4 oranında hazırlanan Al₂O₃-su, TiO₂-su, CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışları görülmektedir. Panelin elektriksel verimleri öğle saatlerine kadar ışıınımdaki artışla bir yükselip, öğle saatlerinden sonra da ışıınımdaki düşüşle panel verimlerinde de genel itibarıyla bir azalış yaşanmıştır. Ayrıca PV modül sıcaklığının yükselmesinden dolayı da panelin elektriksel veriminde azalış yaşanmıştır. En yüksek elektriksel verim artışı saat 12:30’da CuO-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,401 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek elektriksel verim artışı saat 12:00’da Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,333 şeklinde görülmüştür. TiO₂-su nanoakışkanlı panelde ise en yüksek elektriksel verim artışı da saat 12:30’da yaklaşık olarak %1,256 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek elektriksel verim artışı ise saat 12:00’da yaklaşık olarak %1,147 şeklinde hesaplanmıştır. En düşük elektriksel verim artışları ise saat 16:00’da su soğutmalı panel, TiO₂-su nanoakışkanlı panel, CuO-su nanoakışkanlı panel ve Al₂O₃-su nanoakışkanlı panel için sırasıyla %0,188, %0,173, %0,074 ve %0,013 olarak görülmektedir. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,4 oranında ortalama olarak en yüksek elektriksel verim artışlarına bakıldığında TiO₂-su, Al₂O₃-su, su soğutmalı ve CuO-su soğutmalı paneller için sırasıyla %0,764, %0,678, %0,659 ve %0,648 olarak görülmüştür.



Şekil 7.68. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al₂O₃-su-TiO₂-su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.68’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranında hazırlanan Al₂O₃-su, TiO₂-su, CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre elektriksel verim artışları görülmektedir. Panelin elektriksel verimleri öğle saatlerine kadar ışıınının değerindeki artışla bir yükseliş yaşayıp, öğle saatlerinden sonra ışıınının azalması ile panel verimlerinde de genel itibarıyla bir azalış görülmüştür. İlaveten PV hücre sıcaklığı yükselişinden dolayı da panelin elektriksel veriminde azalma görülmüştür. Bunun yanısıra panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırarak ısıının daha iyi transfer olmasına imkân tanımaktadır. En büyük elektriksel verim artışı saat 13:00’da Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %1,182 şeklinde gözlemlenmiştir. Ardından en büyük elektriksel verim artışı saat 12:00’da su soğutmalı panelde yaklaşık olarak %1,147 şeklinde gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra TiO₂-su nanoakışkanlı panelde ise en yüksek elektriksel verim artışı da saat 12:00’da yaklaşık olarak %1,04 olarak görülmektedir. CuO-su nanoakışkanlı panelde de en yüksek elektriksel verim artışı da saat 11:00’da yaklaşık olarak %1,02 olarak görülmektedir. En düşük elektriksel verim artışları ise saat 16:00’da CuO-su nanoakışkanlı panel, TiO₂-su nanoakışkanlı panel, su soğutmalı panel ve Al₂O₃-su nanoakışkanlı panel için sırasıyla %0,283, %0,256, %0,188 ve %0,053 olarak görülmektedir. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,6 oranında ortalama olarak en yüksek elektriksel verim artışlarına bakıldığında Al₂O₃-su, TiO₂-su, su soğutmalı ve CuO-su soğutmalı paneller için sırasıyla %0,691, %0,684, %0,659 ve %0,640 olarak görülmüştür.

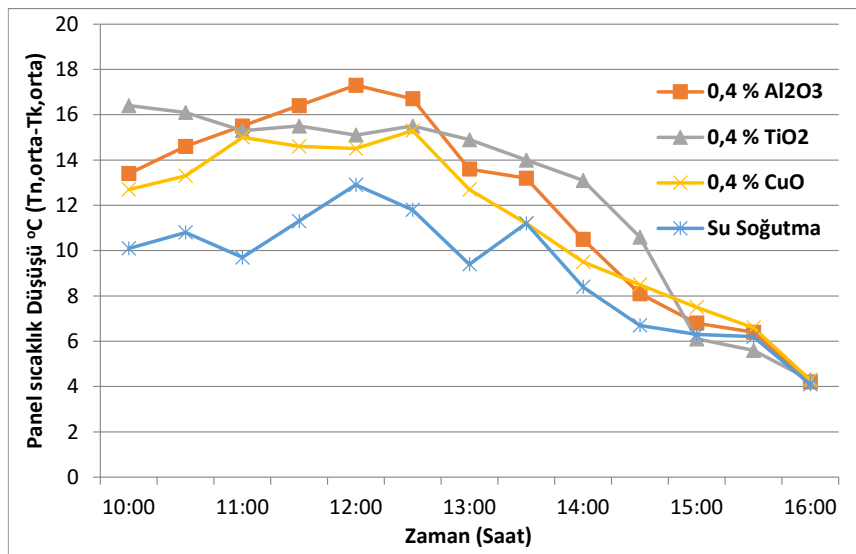
Sonuç olarak tüm elektriksel verim artışı grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha yüksek elektriksel verim artışı yaşanmıştır. Fakat CuO nanoakışkanlı panelde ağırlıkça %0,2 oranında su soğutmalı panele göre daha yüksek elektriksel verim artışı yaşanırken, ağırlıkça %0,4 ve %0,6 oranlarında su soğutmalı panele çok yakın bir elektriksel verim artışı yaşanmıştır. Özellikle CuO kullanımında nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek elektriksel verimi olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir. Bianco ve diğerleri [144] yaptıkları çalışmada partikül yoğunluğunun artmasıyla viskozitenin artarak termal kapasiteyi düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek elektriksel verim artışları ağırlıkça %0,2 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça elektriksel verim artışında düşüş yaşandığı görülmüştür. Ortalama olarak bakıldığında TiO_2 -su ve Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panellerin elektriksel verim artışları birbirine yakın değerler çıkmıştır. Neticede en yüksek elektriksel verim artışı ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.



Şekil 7.69. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su- CuO -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi

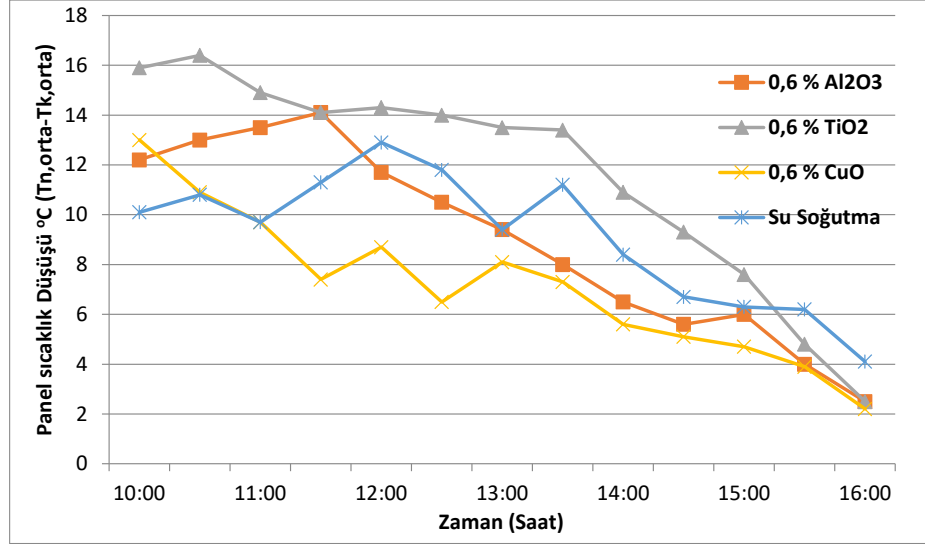
Şekil 7.69’da levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,2 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız-soğutmasız panele göre orta noktalarındaki panel sıcaklık

düşüşleri görülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşü sistemin verim artışıyla paralel bir şekilde olmuştur. Genel olarak bütün nanoakışkanlı soğutma şekillerinin su soğutmalı panele kıyasla daha büyük sıcaklık düşüşü meydana getirdiği görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerle oluşan sıvıların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşleri genel itibarıyla ışıınım değeriyle paralellik gösterdiği görülmüştür. Ayrıca panele monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artmasını sağlayarak ısıнын daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 10:00'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde $18,1\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Ardından en yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 11:30'da CuO -su nanoakışkanlı panelde $15,6\text{ }^\circ\text{C}$ olarak gözlemlenmiştir. Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde de olan en yüksek panel sıcaklığı düşüşü ise saat 12:30'da $14,9\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Su soğutmalı paneldeki en yüksek panel sıcaklığı düşüşü ise saat 12:00'da $12,9\text{ }^\circ\text{C}$ olarak görülmüştür. En düşük panel sıcaklığı düşüşleri ise saat 16:00'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panel, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel, su soğutmalı panel ve CuO -su nanoakışkanlı panel için sırasıyla $5,7\text{ }^\circ\text{C}$, $4,6\text{ }^\circ\text{C}$, $4,1\text{ }^\circ\text{C}$ ve $3\text{ }^\circ\text{C}$ olarak gözlemlenmiştir. Genel olarak panellerin orta noktalarının kanatçıksız panele göre gün boyunca ortalama olarak ağırlıkça %0,2 oranında gerçekleşen en yüksek panel orta nokta sıcaklığı düşüşlerine bakıldığında; TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerde ve su soğutmalı panel için sırasıyla $13,28\text{ }^\circ\text{C}$, $11,64\text{ }^\circ\text{C}$, $11,06\text{ }^\circ\text{C}$ ve $9,14\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir panel sıcaklığı düşüşü meydana gelmiştir.



Şekil 7.70. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su- CuO -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi

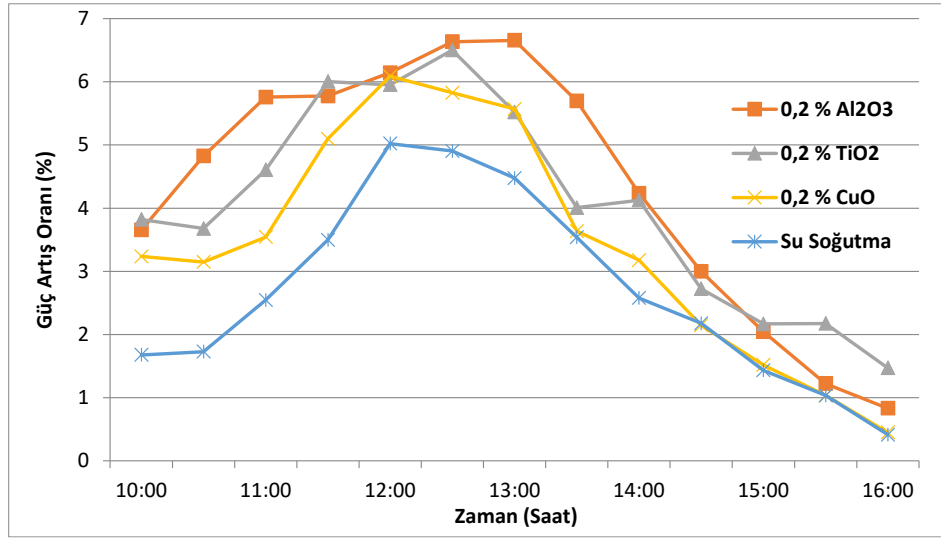
Şekil 7.70'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,4 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız-soğutmasız panele göre panel sıcaklık düşüşleri görülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşü sistemin verim artışıyla doğru orantılıdır. Tüm nanoakışkanlı soğutma türlerinin su soğutmalı panele göre daha büyük sıcaklık düşüşü meydana getirdiği görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerle oluşan akışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşleri genel itibarıyla ısınım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar arttığı, ondan sonra da düşen ısınımla beraber panel sıcaklıklarındaki düşüşlerde azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanının artmasını sağlayarak ısı'nın daha iyi transfer olmasına imkân vermektedir. En yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 12:00'da Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde $17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Hussien ve diğerleri [128] yaptıkları çalışmada, ağırlıkça %3 oranında nanoakışkan kullanarak PV/T sistemin sıcaklığını yaklaşık olarak $36,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ düşürmüşlerdir. Ardından en yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 10:00'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde $16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak görülmüştür. CuO -su nanoakışkanlı panelde de olan en yüksek panel sıcaklığı düşüşü ise saat 12:30'da $15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ şeklinde gözlemlenmiştir. Su soğutmalı paneldeki en yüksek panel sıcaklığı düşüşü ise saat 12:00'da $12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak görülmüştür. En düşük panel sıcaklığı düşüşleri ise saat 16:00'da TiO_2 -su- CuO -su nanoakışkanlı paneller, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel ve su soğutmalı panel için sırasıyla $4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Genel olarak panellerin orta noktalarının kanatçıksız panele göre gün boyunca ortalama olarak ağırlıkça %0,4 oranında gerçekleşen en yüksek panel sıcaklığı düşüşlerine bakıldığında; TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerde ve su soğutmalı panel için sırasıyla $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $12,05\text{ }^{\circ}\text{C}$, $11,20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $9,14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik bir panel sıcaklığı düşüşü meydana gelmiştir.



Şekil 7.71. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al₂O₃-su-TiO₂-su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre orta noktalarındaki sıcaklık düşüşlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.71’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranında hazırlanan Al₂O₃-su, TiO₂-su ve CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız-soğutmasız panele göre panel sıcaklık düşüşleri görülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşü sistemin verim artışıyla paralellik göstermiştir. En yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 10:30’da TiO₂-su nanoakışkanlı panelde 16,4 °C olarak ölçülmüştür. Akabinde en yüksek panel sıcaklığı düşüşü saat 11:30’da Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelde 14,1 °C şeklinde gözlemlenmiştir. CuO-su nanoakışkanlı panelde de olan en yüksek panel sıcaklığı düşüşü de saat 10:00’da 13 °C olarak görülmüştür. Su soğutmalı paneldeki en büyük panel sıcaklığı düşüşü ise saat 12:00’da 12,9 °C olarak ölçülmüştür. En düşük panel sıcaklığı düşüşleri ise saat 16:00’da su soğutmalı panel, TiO₂-su- Al₂O₃-su nanoakışkanlı paneller ve CuO-su nanoakışkanlı panel için sırasıyla 4,1 °C, 2,5 °C ve 2,2 °C olarak gözlemlenmiştir. Genel olarak panellerin orta noktalarının kanatçıksız panele göre gün boyunca ortalama olarak ağırlıkça %0,6 oranında gerçekleşen en yüksek panel sıcaklığı düşüşlerine bakıldığında; TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panel, su soğutmalı panel, Al₂O₃-su ve CuO-su nanoakışkan soğutmalı paneller için sırasıyla 11,66 °C, 9,14 °C, 9 °C ve 7,16 °C’lik bir panel sıcaklığı düşüşü meydana gelmiştir. Sonuç olarak tüm panel sıcaklık düşüşü grafikleri incelendiğinde; TiO₂-su nanoakışkan soğutmalı panelin orta noktasının tüm oranlarda su soğutmalı panele göre daha çok panel sıcaklığını düşürerek etkili soğutma yaptığı görülmüştür. Fakat Al₂O₃-su, CuO nanoakışkanlı panellerin orta noktasının ağırlıkça %0,2 ve %0,4 oranlarında su soğutmalı panele göre daha çok panel sıcaklığını

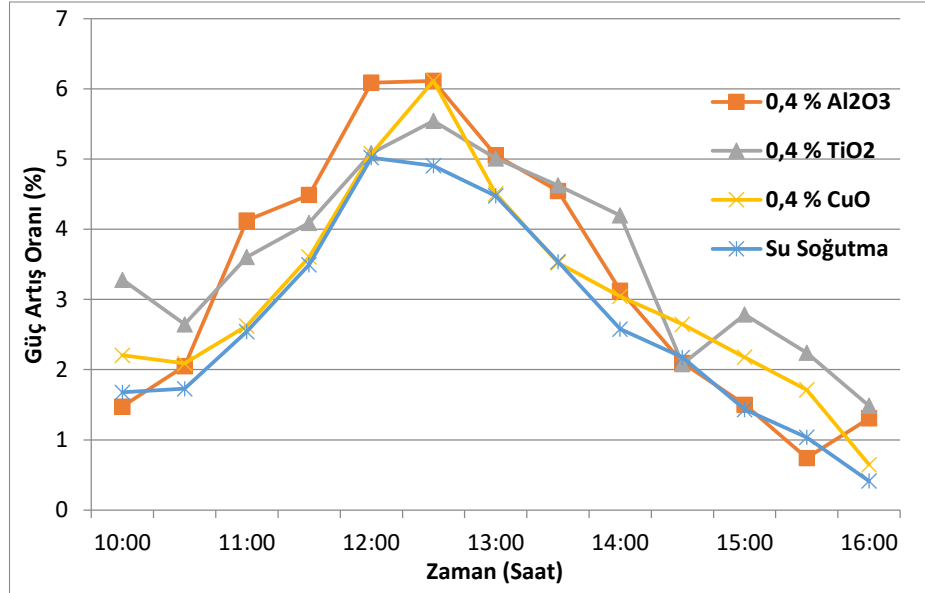
düşürürken, ağırlıkça %0,6 oranında su soğutmalı panele göre daha az bir panel sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür. Özellikle CuO kullanımında nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek soğutma sistemini olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek panel sıcaklığı düşüşleri ağırlıkça %0,2 oranında görülmüştür. Ortalama olarak en yüksek panel sıcaklığı düşüşleri sırasıyla; TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO-su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panelde görülmüştür. Neticede en yüksek panel sıcaklığı düşüşü ise ağırlıkça %0,2 oranında TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.



Şekil 7.72. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.72’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,2 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre güç artış oranları görülmektedir. Burada tüm nanoakışkanlı soğutma türlerinde su soğutmalı panele göre daha yüksek güç artış oranı olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerden yararlanılarak hazırlanan sıvıların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilintili olduğu düşünülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşleri genel itibarıyla ısıyınım değeriyle paralellik göstermiştir. Bununla beraber PV modül sıcaklığı artışından ötürü de panel gücünde düşüş yaşanmıştır. Ayrıca panelin arkasına yerleştirilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında meydana gelen artış ısıyının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek güç artışı oranı saat 13:00’da Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %6,65 olarak bulunmuştur. Ardından en yüksek güç artışı oranı saat

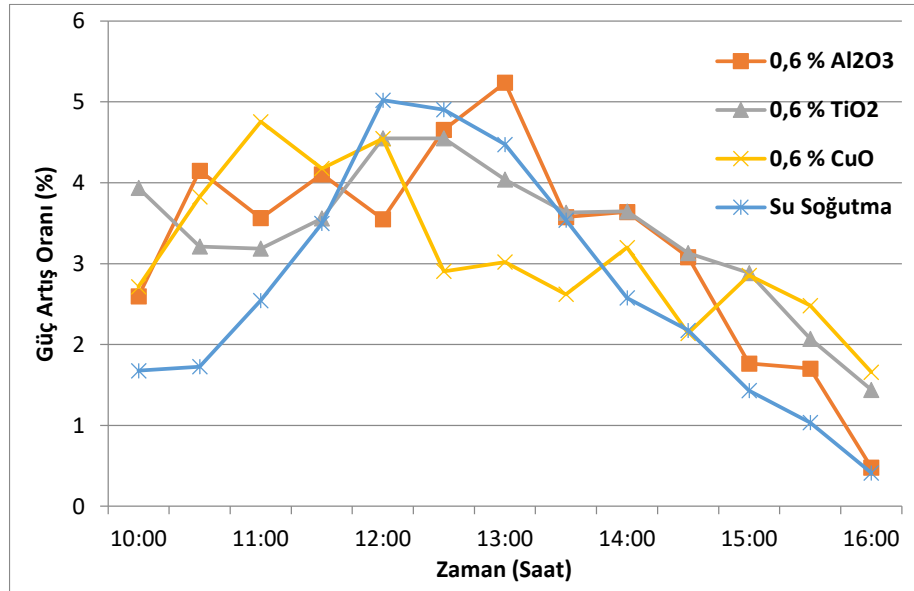
12:30'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %6,5 şeklinde görülmektedir. CuO -su nanoakışkanlı panelde ise en yüksek güç artışı oranı da saat 12:00'da yaklaşık olarak %6,08 olarak bulunmuştur. Su soğutmalı panelde olan en yüksek güç artışı oranı ise saat 12:00'da yaklaşık olarak %5,02 olarak görülmektedir. En düşük güç artışı oranları ise saat 16:00'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panel, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel, CuO -su nanoakışkanlı panel ve su soğutmalı panel için sırasıyla %1,47, %0,83, %0,44 ve %0,41 şeklinde bulunmuştur. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,2 oranında ortalama olarak en yüksek güç artışı oranlarına bakıldığında Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su ve su soğutmalı paneller için sırasıyla %4,344, %4,058, %3,420 ve %2,693 olarak görülmüştür.



Şekil 7.73. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su- CuO -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artışı oranlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.73'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,4 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre güç artışı oranları görülmektedir. Nanoakışkanlı soğutma türlerinde su soğutmalı panele göre daha yüksek güç artışı oranı olduğu görülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşleri genel itibarıyla ısıtım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ısıtım ile beraber panel sıcaklıklarındaki düşüşlerde azalma gözlemlenmiştir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panel gücünde azalma yaşanmıştır. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan kanatçıkların akışkanın temas ettiği yüzey alanındaki artış ısıtımın daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. En yüksek güç artışı oranları saat

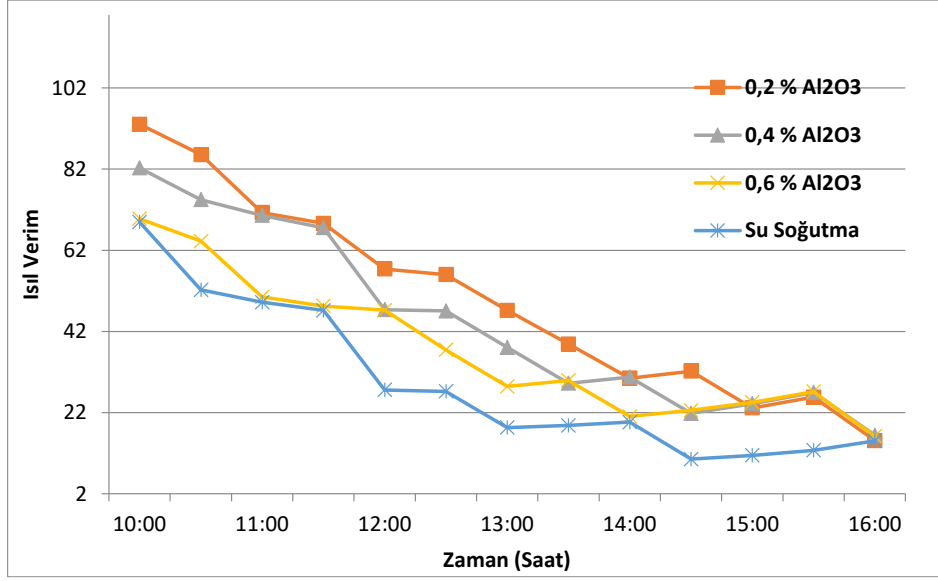
12:30'da Al_2O_3 -su ve CuO -su nanoakışkanlı panellerde aynı ve yaklaşık olarak %6,11 olarak bulunmuştur. Ardından en yüksek güç artışı oranı saat 12:30'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %5,54 şeklinde hesaplanmıştır. Su soğutmalı panelde olan en yüksek güç artış oranı ise saat 12:00'da yaklaşık olarak %5,02 olarak görülmektedir. En düşük güç artış oranları ise saat 16:00'da TiO_2 -su nanoakışkanlı panel, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel, CuO -su nanoakışkanlı panel ve su soğutmalı panel için sırasıyla %1,48, %1,3, %0,64 ve %0,41 olarak görülmektedir. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,4 oranında ortalama olarak en yüksek güç artış oranlarına bakıldığında TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO -su ve su soğutmalı paneller için sırasıyla %3,590, %3,286, %3,074 ve %2,693 olarak görülmüştür.



Şekil 7.74. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su- CuO -su soğutmalı panellerin kanatçıksız panele göre güç artış oranlarının gün boyunca değişimi

Şekil 7.74'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmanın kanatçıksız panele göre güç artış oranları görülmektedir. Şekil incelendiğinde tüm nanoakışkanlı soğutma türlerinde su soğutmalı panele göre daha yüksek güç artış oranı olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Panel sıcaklığı düşüşleri genel itibarıyla ısıyım değerinin arttığı öğle saatlerine kadar artış gösterip, öğle saatlerinden sonra düşen ısıyım ile beraber panel sıcaklıklarındaki düşüşlerde azalma gözlemlenmiştir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da panel gücünde düşüş yaşanmıştır. Ayrıca panelin arkasına yapıştırılan

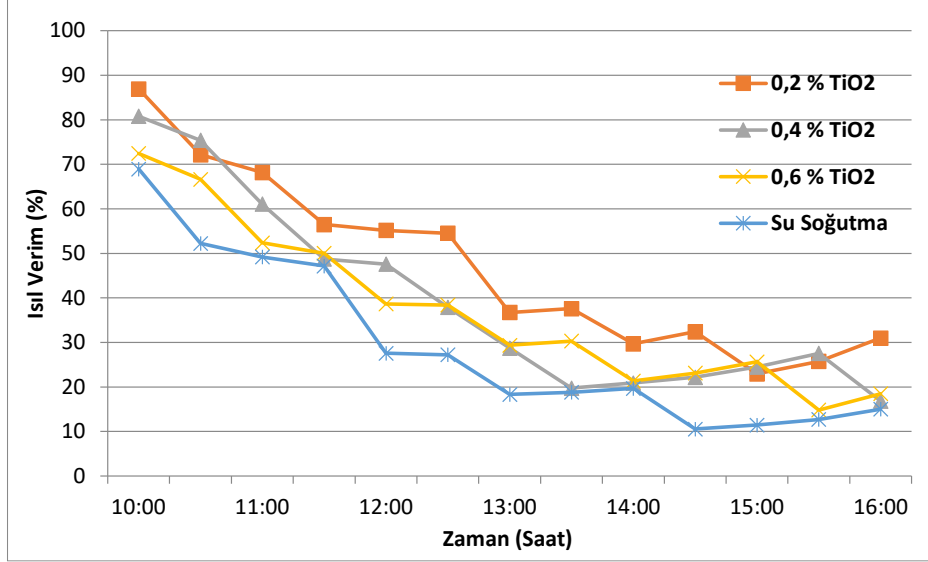
kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanındaki artış ısının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Çevrim ve diğerleri [145] yaptıkları çalışmada kanatçıklı yapıların ve akışkanın ısı transferini arttırdığını tespit etmişlerdir. En yüksek güç artışı oranı saat 13:00'da Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak %5,23 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek güç artışı oranı da saat 12:00'da su soğutmalı panelde yaklaşık olarak %5,02 şeklinde görülmektedir. CuO -su nanoakışkanlı panelde olan en yüksek güç artış oranı da saat 11:00'da yaklaşık olarak %4,75 olarak görülmektedir. Ayrıca TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde olan en yüksek güç artış oranı ise saat 12:00-12:30'da yaklaşık olarak %4,54 olarak görülmektedir. En düşük güç artış oranları ise saat 16:00'da CuO -su nanoakışkanlı panel, TiO_2 -su nanoakışkanlı panel, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panel ve su soğutmalı panel için sırasıyla %1,65, %1,44, %0,47 ve %0,41 olarak görülmektedir. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,6 oranında ortalama olarak en yüksek güç artış oranlarına bakıldığında TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO -su ve su soğutmalı paneller için sırasıyla %3,372, %3,238, %3,146 ve %2,693 olarak görülmüştür. Sonuç olarak tüm güç artış oranı grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha yüksek güç artış oranı meydana gelmiştir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek güç artış oranları ağırlıkça %0,2 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça elektriksel verimde düşüş yaşandığı görülmüştür. Bianco ve diğerleri [144] yaptıkları çalışmada partikül yoğunluğunun artmasıyla viskozitenin artarak termal kapasiteyi düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Fakat CuO nanoakışkan soğutmalı panelde ağırlıkça %0,4 ve %0,6 oranlarında birbirine yakın güç artış oranları görülmekle beraber %0,6 oranında biraz daha büyük bir güç artış oranı görülmüştür. Bunun sebebinin CuO nanoakışkan soğutmalı panelde partikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek soğutma sistemini olumsuz etkilediğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ortalama olarak en yüksek elektriksel verim artışları sırasıyla; TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO -su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panelde görülmüştür. Neticede en yüksek güç artış oranı ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.



Şekil 7.75. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al₂O₃-su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.75'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan Al₂O₃-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait ısı verim görülmektedir. Al₂O₃-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait tüm oranların su soğutmalı panele göre daha yüksek ısı verime sahip olduğu görülmektedir. Bu durum nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile açıklanabilir. Bunun yanı sıra panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında oluşan bu artış ısının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve akışkan ile soğutmanın, paneli soğutup ısı verime katkı sağladığı değerlendirilmektedir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da ısı verimde düşüş yaşanmıştır. En yüksek ısı verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,2 oranında yaklaşık olarak %93,03 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek ısı verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,4 oranında yaklaşık olarak %82,28 şeklinde gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %0,6 oranında olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %69,77 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %68,93 olarak görülmektedir. En düşük ısı verimler ise saat 16:00'da Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,4, %0,6 ve %0,2 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla; %16,42, %16,18 ve %15,09 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük ısı verim ise saat 14:30'da yaklaşık olarak %10,54 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranları için yaklaşık olarak

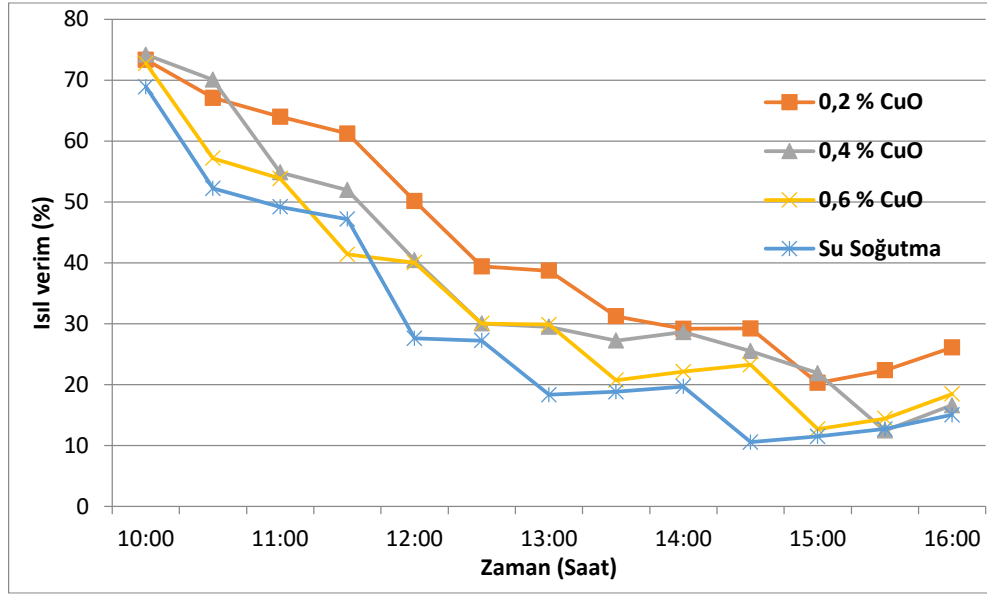
sırasıyla %70,13, %52,21 ve %28,61'lik bir ısı verim artışı olmuştur. Radwan ve diğerleri de [133] yaptıkları çalışmada, nanopartikül derişimi arttıkça ısı veriminde düşüş yaşandığını tespit etmişlerdir. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek ısı verimi olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir.



Şekil 7.76. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO₂-su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişim

Şekil 7.76'da levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan TiO₂-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait ısı verim görülmektedir. Genel olarak TiO₂-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait tüm oranların su soğutmalı panele göre daha yüksek ısı verime sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Panelin arkasına monte edilen levha kanatçıkların paneli soğutup ısı verimi olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Bununla beraber PV modül sıcaklığının yükselmesinden ötürü de ısı veriminde düşüş yaşanmıştır. En büyük ısı verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,2 oranında yaklaşık olarak %86,92 olarak bulunmuştur. Akabinde en yüksek ısı verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,4 oranında yaklaşık olarak %80,78 şeklinde bulunmuştur. Ağırlıkça %0,6 oranında olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %72,43 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %68,93 olarak görülmektedir. En düşük ısı verimler ise saat 16:00'da TiO₂-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2 ve %0,4 oranları için yaklaşık

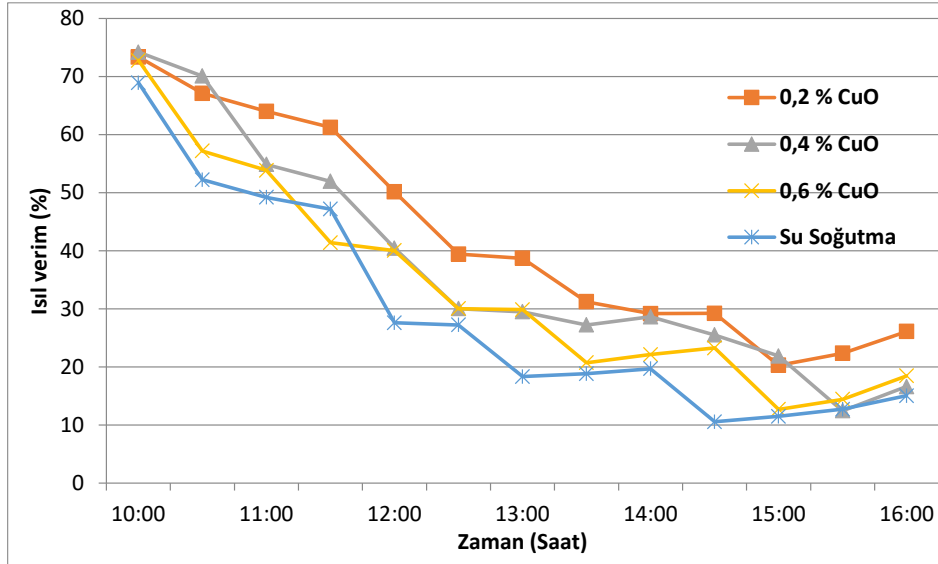
olarak sırasıyla; %30,97 ve %16,86 iken ağırlıkça %0,6 oranında ise saat 15:30'da yaklaşık olarak %14,82 şeklinde hesaplanmıştır. Su soğutmalı panelde olan en düşük ısı verim ise saat 14:30'da yaklaşık olarak %10,54 olarak bulunmuştur. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla %60,84, %35,09 ve %27,10'luk bir ısı verim artışı yaşanmıştır. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek ısı verimi olumsuz etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 7.77. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişim

Şekil 7.77'de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait ısı verim görülmektedir. CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait tüm oranların su soğutmalı panele göre daha yüksek ısı verime sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerden oluşan sıvıların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilintili olduğu tahmin edilmektedir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığının yükselmesinden dolayı da ısı verimde azalış görülmüştür. En yüksek ısı verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,4 oranında yaklaşık olarak %74,2 olarak gözlemlenmiştir. Akabinde en yüksek ısı verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,2 oranında yaklaşık olarak %73,36 olarak bulunmuştur. Ağırlıkça %0,6 oranında olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %72,78 olarak hesaplanmıştır. Su soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %68,93 olarak

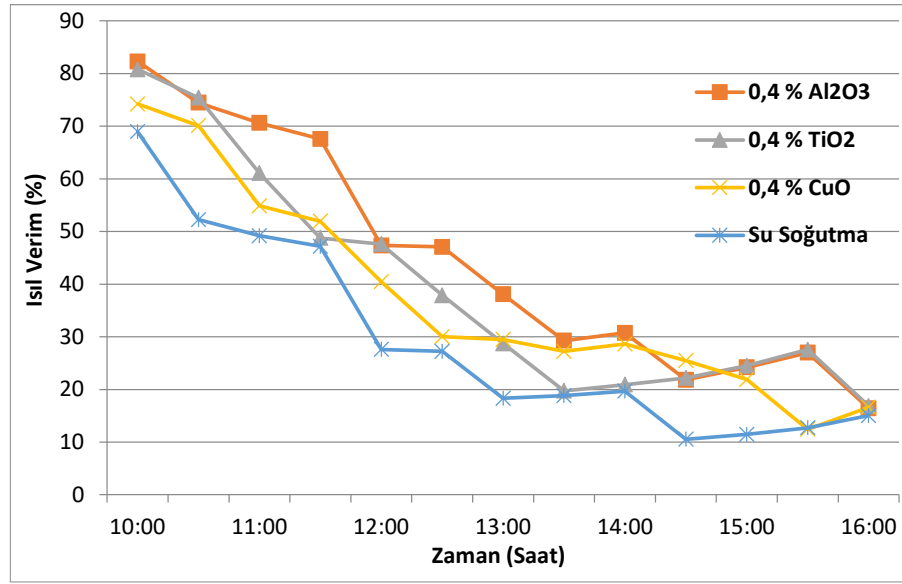
görülmektedir. En düşük ısı verimleri ise saat 15:00'da CuO-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2 oranı için yaklaşık olarak %20,28 iken, ağırlıkça %0,6 oranı için ise saat 15:00'da yaklaşık olarak %12,67 ve ağırlıkça %0,4 oranı için ise saat 15:30'da yaklaşık olarak %12,44 şeklinde görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük ısı verimi ise saat 14:30'da yaklaşık olarak %10,54 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, CuO-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla %45,74, %27,54 ve %15,25'lik bir ısı verim artışı olmuştur. Michael ve Iniyan bir PV/T sistemde CuO-su nanoakışkanını test ettikleri çalışmalarında ısı verimliliğin %45,76'a kadar yükseldiğini tespit etmişlerdir [120]. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek ısı verimi olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir.



Şekil 7.78. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su-CuO-su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.78'de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,2 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panellere ait ısı verimleri görülmektedir. Genel olarak nanoakışkanlı soğutmalı panellere ait bütün oranların su soğutmalı panele göre daha yüksek ısı verime sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerle oluşturulan akışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında panelin arkasına yapıştırılan kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır. Yüzey alanında meydana gelen bu artış ısı transferine daha iyi transfer olmasına

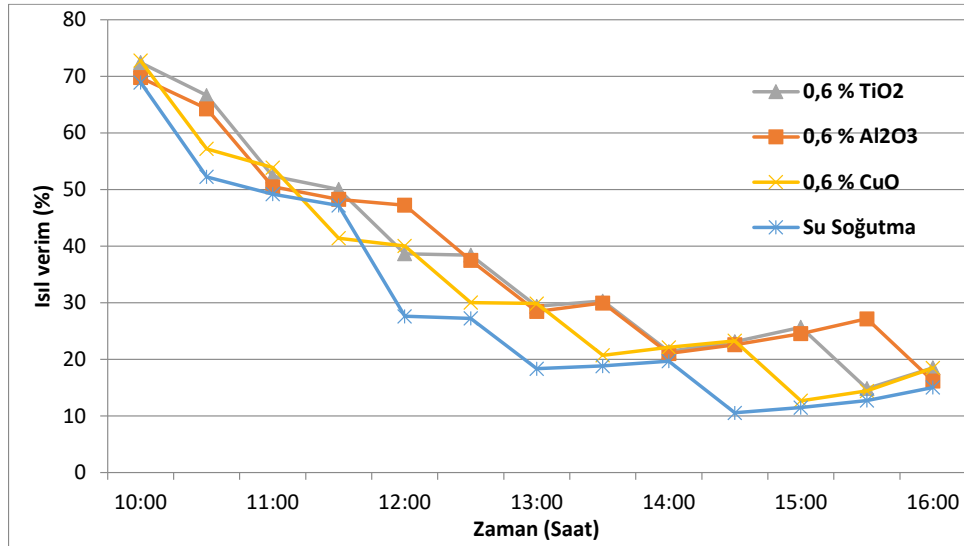
olarak vermektedir. Panelin arkasındaki levha kanatçıkların ve sıvı ile soğutmanın, paneli soğutup ısı verime fayda sağladığı düşünülmektedir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığı artışından ötürü de ısı verimde azalma olmuştur. En büyük ısı verim Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %93,03 şeklinde gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek ısı verim TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %86,92 olarak bulunmuştur. CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %73,36 olarak görülmüştür. Su soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %68,93 olarak görülmektedir. En düşük ısı verimler ise saat 15:00'da TiO_2 -su- CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı paneller için aynı ve yaklaşık olarak sırasıyla %22,94, %20,28 iken, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmalı panel için ise saat 16:00'da yaklaşık olarak %15,09 şeklinde görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük ısı verim ise saat 14:30'da yaklaşık olarak %10,54 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %70,13, %60,84 ve %45,74'lük bir ısı verim artışı olmuştur.



Şekil 7.79. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su- CuO -su soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi

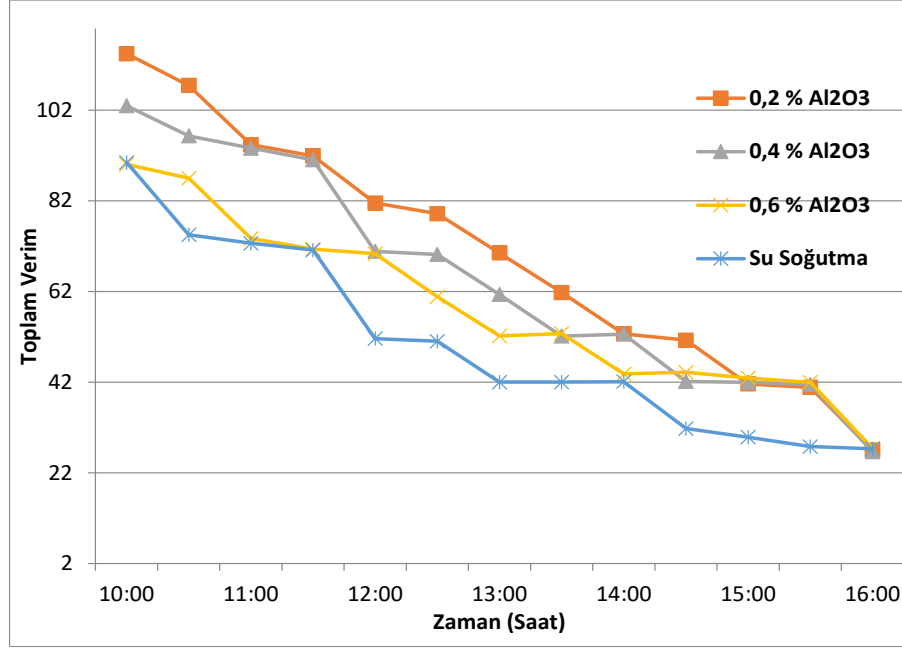
Şekil 7.79'da levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,4 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panellere ait ısı verimler görülmektedir. Buradan anlaşılabacağı üzere nanoakışkanlı soğutmalı panellere ait tüm oranların su soğutmalı panele göre daha yüksek ısı verime

sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında panele monte edilen kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanını arttırarak ısının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasındaki levha kanatçıkların ve sıvı ile soğutmanın, panelin sıcaklığını düşürerek paneli soğutup ısı verimi etkilediği düşünülmektedir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da ısı verimi azalttığı görülmüştür. En yüksek ısı verim Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %82,28 şeklinde bulunmuştur. Akabinde en yüksek ısı verim TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %80,78 şeklinde gözlemlenmiştir. CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %74,20 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %68,93 olarak görülmektedir. En düşük ısı verimler ise saat 16:00'da TiO_2 -su ve Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmalı paneller için yaklaşık olarak sırasıyla %16,86 ve %16,42 iken, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panel için ise saat 15:30'da yaklaşık olarak %12,44 şeklinde görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük ısı verim ise saat 14:30'da yaklaşık olarak %10,54 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %52,21, %35,09 ve %27,54'lük bir ısı verim artışı olmuştur.



Şekil 7.80. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 - TiO_2 - CuO soğutmalı panellerin ısı verimlerinin gün boyunca değişimi

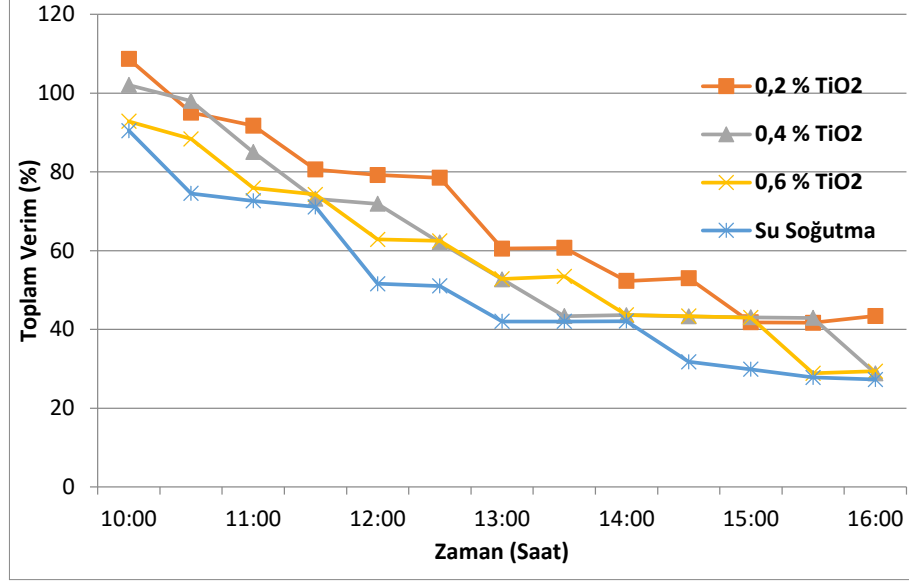
Şekil 7.80’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panellere ait ısı verimleri görülmektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve akışkan ile soğutmanın, panelin sıcaklığını çekerek paneli soğutup ısı verime katkı sağladığı düşünülmektedir. Bununla beraber gün boyunca PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da ısı veriminde düşüş yaşanmıştır. En yüksek ısı verim CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00’da yaklaşık olarak %72,78 şeklinde gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek ısı verim TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00’da yaklaşık olarak %72,43 şeklinde gözlemlenmiştir. Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00’da yaklaşık olarak %69,77 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek ısı verim ise saat 10:00’da yaklaşık olarak %68,93 olarak görülmektedir. En düşük ısı verimleri ise saat 16:00’da Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmalı panel için yaklaşık olarak sırasıyla %16,18 iken, TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panel için saat 15:30’da yaklaşık olarak %14,82 iken, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panel için saat 15:00’da yaklaşık olarak %12,67 şeklinde görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük ısı verim ise saat 14:30’da yaklaşık olarak %10,54 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %28,61, %27,10 ve %15,25’lik bir ısı verim artışı olmuştur. Sonuç olarak tüm ısı verim grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha yüksek ısı verim değerleri elde edilmiştir. Budak [141] doktora tez çalışmasında, sonuçlara göre su ile kıyaslandığında nanoakışkan kullanımının ısı verimi arttırdığını gözlemlemiştir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek ısı verim değerleri ağırlıkça %0,2 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça ısı verim değerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek ısı verimi olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir. Bianco ve diğerleri [144] yaptıkları çalışmada, partikül yoğunluğunun artması ile viskozitenin artarak, termal kapasiteyi düşürdüğünü gözlemlemiştir. Ortalama olarak en yüksek ısı verim değerleri sırasıyla; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panelde görülmüştür. En yüksek ısı verim değeri ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.



Şekil 7.81. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki Al₂O₃-su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.81’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan Al₂O₃-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait toplam verim görülmektedir. Al₂O₃-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait tüm oranların su soğutmalı panele göre toplam veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kanatçıklar sayesinde akışkanın temas ettiği yüzey alanında meydana gelen artış ısının daha iyi transfer olmasına olanak vermektedir. Panelin arkasına yapıştırılan levha kanatçıkların ve akışkan ile soğutmanın, panelin sıcaklığını azaltmak suretiyle ısı verime katkı sağladığı düşünülmektedir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da ısı veriminde düşüş yaşanmıştır. En yüksek toplam verim saat 10:00’da ağırlıkça %0,2 oranında yaklaşık olarak %114,41 olarak gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek toplam verim saat 10:00’da ağırlıkça %0,4 oranında yaklaşık olarak %102,97 şeklinde gözlemlenmiştir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek toplam verim de saat 10:00’da yaklaşık olarak %90,45 olarak görülmektedir. Ağırlıkça %0,6 oranında olan en yüksek toplam verim ise saat 10:00’da yaklaşık olarak %90 olarak görülmektedir. En düşük toplam verimler ise saat 16:00’da Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,6, %0,2 ve %0,4 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla; %27,41, %26,99 ve %26,66 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük toplam verim ise saat 16:00’da yaklaşık olarak %27,28

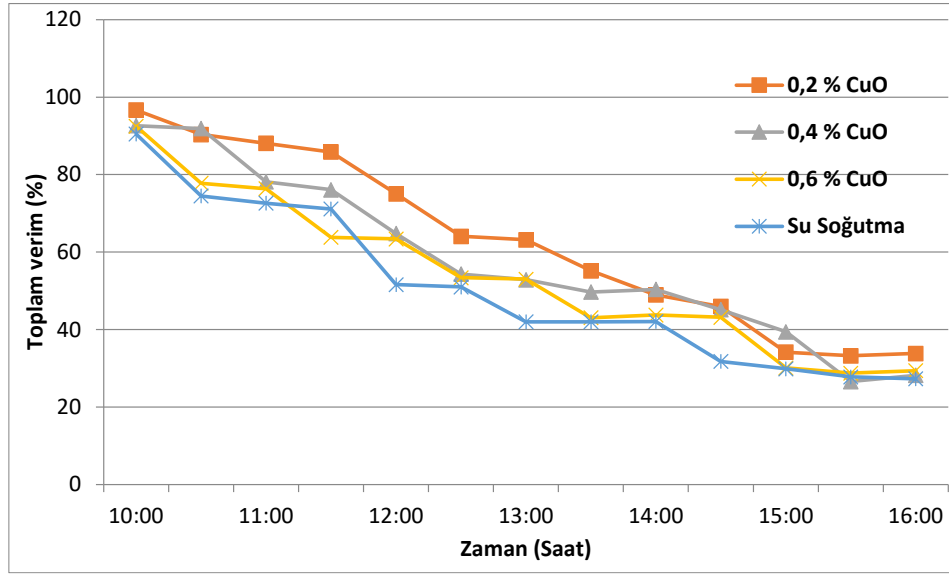
olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla ortalama %39,77, %28,92 ve %15,92’lik bir toplam verim artışı olmuştur.



Şekil 7.82. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki TiO_2 -su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.82’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait toplam verim değişimi görülmektedir. TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait tüm oranların nanoakışkanların suya kıyasla ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması sebebi ile su soğutmalı panele göre toplam veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca panelin arkasındaki kanatçıklar akışkanın temas ettiği yüzey alanında meydana gelen artış ısının daha iyi transfer olmasını sağlar. Panelin arkasına konulan levha kanatçıkların ve sıvı ile soğutmanın, ısı verime fayda sağladığı değerlendirilmektedir. Bununla beraber PV modül sıcaklığının yükselmesinden dolayı da ısı veriminde düşüş yaşanmıştır. En büyük toplam verim saat 10:00’da ağırlıkça %0,2 oranında yaklaşık olarak %108,66 bulunmuştur. Akabinde en yüksek toplam verim saat 10:00’da ağırlıkça %0,4 oranında yaklaşık olarak %102,05 şeklinde görülmüştür. Ağırlıkça %0,6 oranında olan en yüksek toplam verim de saat 10:00’da yaklaşık olarak %92,83 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek toplam verim ise saat 10:00’da yaklaşık olarak %90,45 olarak görülmektedir. En düşük toplam verimler ise saat 15:30’da TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2 oranında yaklaşık olarak 41,68 iken, ağırlıkça %0,4 oranında saat 16:00’da ve ağırlıkça

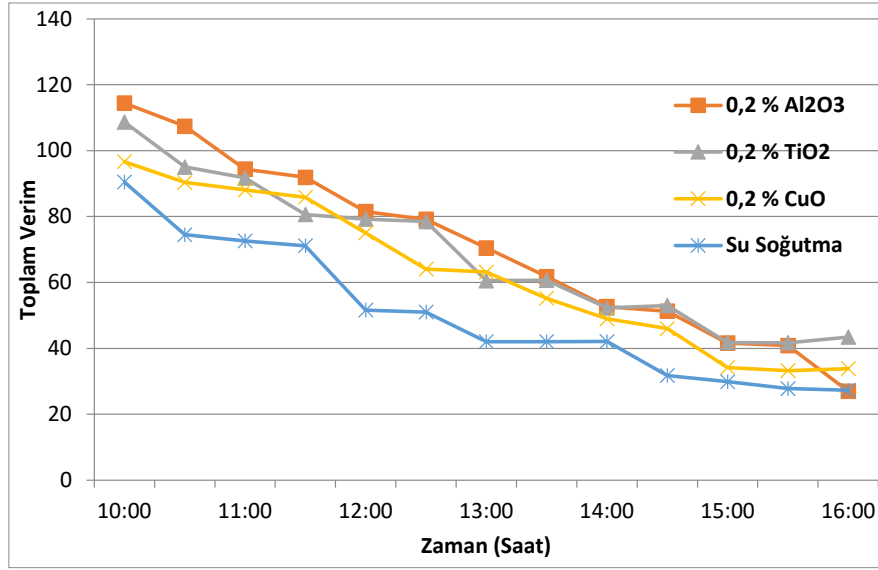
%0,6 oranında saat 15:30'da aynı ve yaklaşık olarak %28,83 şeklinde görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük toplam verim ise saat 16:00'da yaklaşık olarak %27,28 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, TiO_2 -su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla %35,62, %20,78 ve %14,83'lük bir toplam verim artışı olmuştur. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı toplam verimin olumsuz etkilendiği tahmin edilmektedir.



Şekil 7.83. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve farklı oranlardaki CuO-su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.83'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait toplam verim görülmektedir. CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panele ait tüm oranların su soğutmalı panele göre toplam veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Panele monte edilen levha kanatçıkların ve sıvı ile soğutmanın, panelin ısı verimi olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığının artışıdan dolayı da ısı veriminde azalış görülmüştür. En büyük toplam verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,2 oranında yaklaşık olarak %96,66 olarak bulunmuştur. Ardından en yüksek toplam verim saat 10:00'da ağırlıkça %0,4 oranında yaklaşık olarak %92,64 olarak bulunmuştur. Ağırlıkça %0,6 oranında olan en yüksek toplam verim de saat 10:00'da yaklaşık olarak %92,47 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en büyük toplam verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %90,45 olarak görülmektedir. En düşük toplam verimler ise saat 15:30'da CuO-su

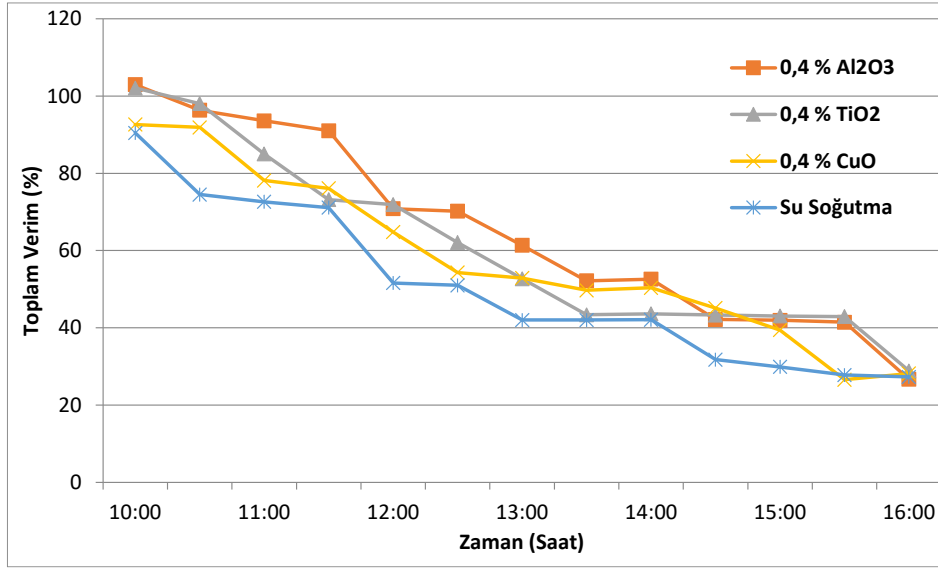
nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2, %0,6 ve %0,4 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla %33,22, %28,73 ve %26,57 şeklinde görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük toplam verim ise saat 16:00'da yaklaşık olarak %27,28 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, CuO-su nanoakışkanlı panelin ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranları için yaklaşık olarak sırasıyla %24,52, %14,67 ve %6,76'lık bir toplam verim artışı olmuştur. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı toplam verimin olumsuz etkilendiği tahmin edilmektedir.



Şekil 7.84. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al₂O₃-su-TiO₂-su-CuO-su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.84'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,2 oranında hazırlanan Al₂O₃-su, TiO₂-su, CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panellere ait toplam verimler görülmektedir. Genel olarak, nanoakışkanlı soğutmalı panellere ait tüm oranların su soğutmalı panele göre daha büyük bir toplam verime sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da ısı veriminde düşüş yaşanmıştır. En yüksek toplam verim Al₂O₃-su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %114,41 olarak bulunmuştur. Ardından en yüksek toplam verim TiO₂-su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %108,66 şeklinde gözlemlenmiştir. CuO-su nanoakışkanlı soğutmalı panelde olan en yüksek toplam verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %96,66 olarak bulunmuştur. Su soğutmalı panelde olan en yüksek toplam verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %90,45 olarak görülmektedir. En düşük toplam verimler ise saat

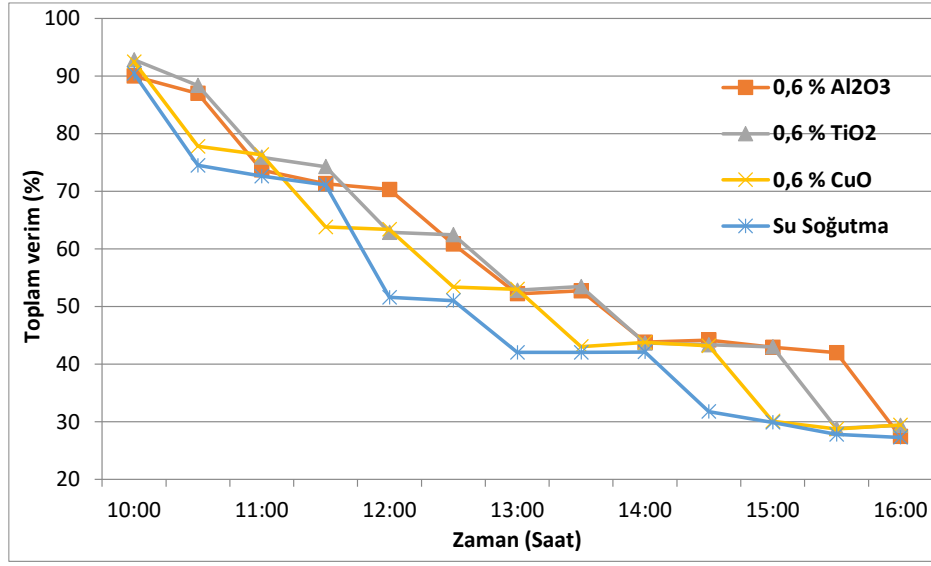
15:30'da TiO_2 -su nanoakışkanlı soğutmalı panel için yaklaşık olarak %41,68 iken, CuO -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde saat 15:30'da yaklaşık olarak %33,22 ve Al_2O_3 -su nanoakışkanlı soğutmalı panelde ise saat 16:00'da yaklaşık olarak %26,99 şeklinde görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en düşük toplam verim ise saat 16:00'da yaklaşık olarak %27,28 olarak görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %39,77, %35,62 ve %24,52'lik bir toplam verim artışı olmuştur



Şekil 7.85. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su- CuO -su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.85'te levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,4 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellere ait toplam verimler görülmektedir. Şekil incelendiğinde nanoakışkan soğutmalı panellerin su soğutmalı panele göre daha yüksek bir toplam verime sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun nanopartiküllerin suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber PV hücre sıcaklığı artışından dolayı da ısı veriminde düşüş yaşanmıştır. En yüksek toplam verim Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %102,97 şeklinde gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek toplam verim TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %102,05 şeklinde gözlemlenmiştir. CuO -su nanoakışkan soğutmalı panelde olan en yüksek toplam verim ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %92,64 olarak görülmektedir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek

toplam ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %90,45 olarak görülmektedir. En düşük toplam verimler ise saat 16:00'da TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panel, su soğutmalı panel ve Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı paneller için yaklaşık olarak sırasıyla %28,83, %27,28 ve %26,66 iken, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panelde ise saat 15:30'da yaklaşık olarak %26,57 şeklinde görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %28,92, %20,78 ve %14,67'lik bir toplam verim artışı olmuştur.

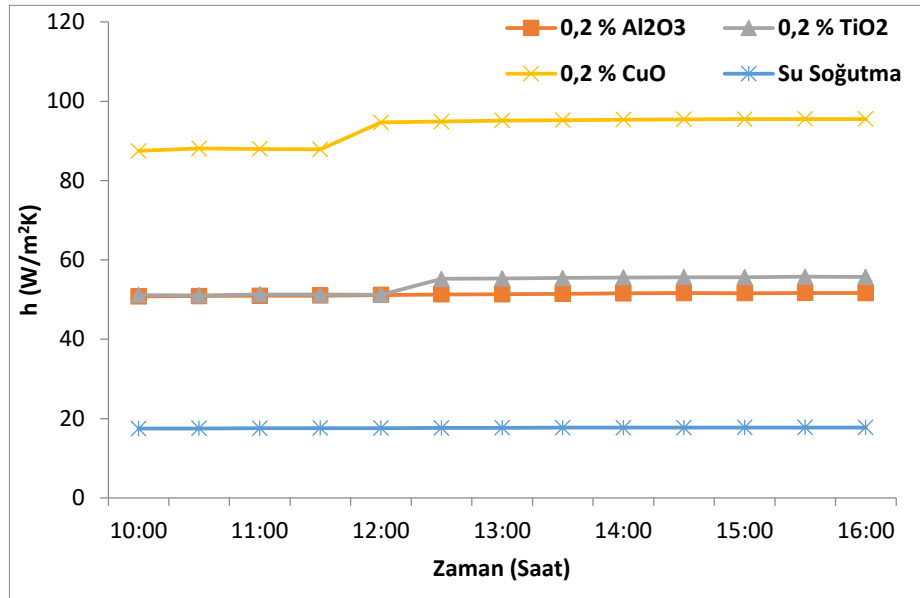


Şekil 7.86. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su- TiO_2 -su- CuO -su soğutmalı panellerin toplam verimlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.86'da levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellere ait toplam verimler görülmektedir. Genel olarak nanoakışkan soğutmalı panellerin su soğutmalı panele göre daha yüksek toplam verime sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun kullanılan nanoakışkanların suya göre ısı iletkenlik katsayısının daha büyük olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, PV modül sıcaklığı artışından ötürü de ısıl verimde düşüş yaşanmıştır. En yüksek toplam verim TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %92,83 şeklinde gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek toplam verim CuO -su nanoakışkan soğutmalı panelde saat 10:00'da yaklaşık olarak %92,47 şeklinde gözlemlenmiştir. Su soğutmalı panelde olan en yüksek toplam verim de saat 10:00'da yaklaşık olarak %90,45 olarak görülmektedir. Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde olan en yüksek toplam verim

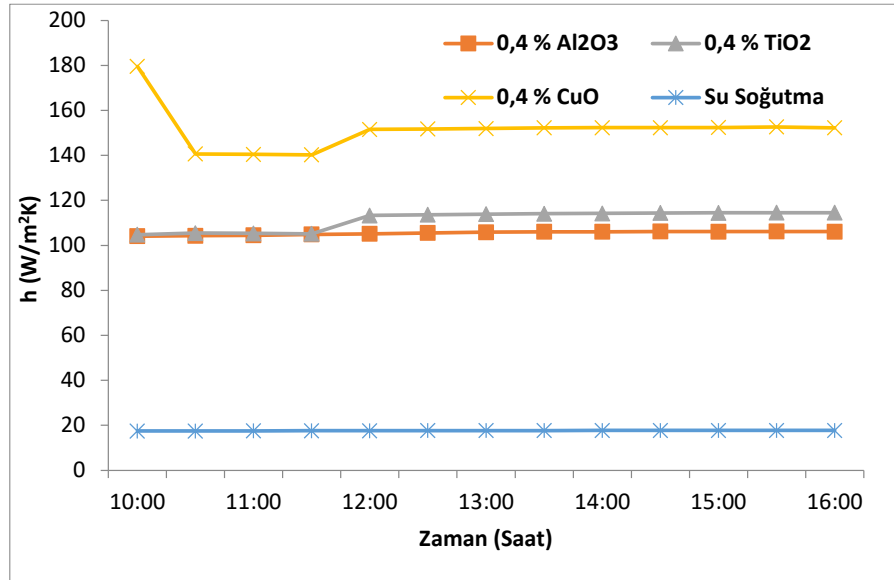
ise saat 10:00'da yaklaşık olarak %90 olarak görülmektedir. En düşük toplam verimler ise saat 15:30'da TiO_2 -su ve CuO -su nanoakışkan soğutmalı paneller için yaklaşık olarak sırasıyla %28,83 ve %28,73 iken, Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panel ve su soğutmalı panel için ise saat 16:00'da yaklaşık olarak %27,41 ve %27,28 şeklinde görülmektedir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %0,6 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %15,92, %14,83 ve %6,76'lık bir toplam verim artışı olmuştur.

Sonuç olarak tüm toplam verim grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha yüksek toplam verim değerleri elde edilmiştir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek toplam verim değerleri ağırlıkça %0,2 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça toplam verim değerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı sistemde tıkanmalara sebebiyet vererek toplam verimi olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir. Bianco ve diğerleri [144] yaptıkları çalışmada, partikül yoğunluğunun artması ile viskozitenin artarak, termal kapasiteyi düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Ortalama olarak en yüksek toplam verim değerleri sırasıyla; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panelde görülmüştür. Neticede en yüksek toplam verim değeri ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.



Şekil 7.87. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,2 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su soğutmalı panellerin ısı taşınım katsayısı değerlerinin gün boyunca değişimi

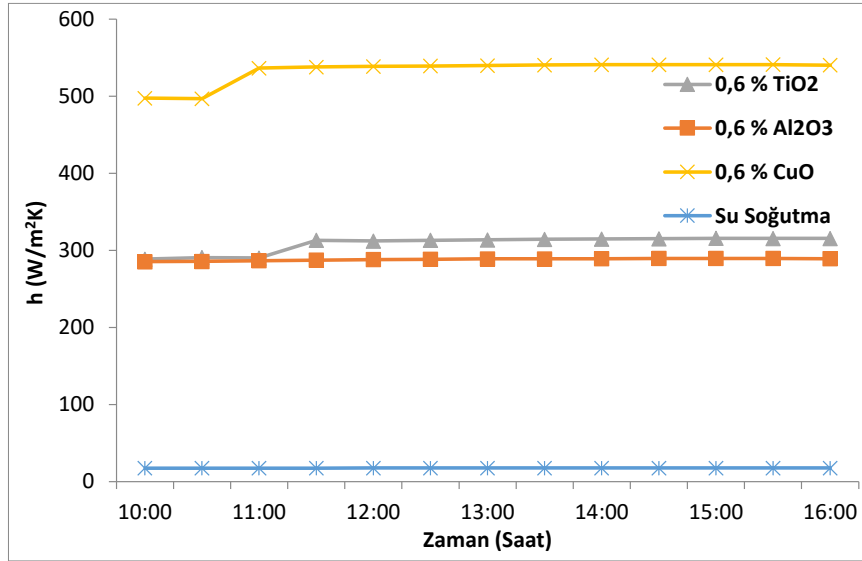
Şekil 7.87’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,2 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı soğutmanın ısı taşınım katsayısı değerleri görülmektedir. Genel olarak tüm nanoakışkanlı soğutma türlerinin su soğutmalı sisteme göre daha büyük ısı taşınım katsayısı değerleri olduğu görülmüştür. En yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri saat 15:30’da CuO -su, TiO_2 -su ve Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla; 95,52 $\text{W/m}^2\text{K}$, 55,74 $\text{W/m}^2\text{K}$, ve 51,66 $\text{W/m}^2\text{K}$ olarak gözlemlenmiştir. Su soğutmalı paneldeki en yüksek ısı taşınım katsayısı ise saat 15:30 ve 16:00’da aynı ve yaklaşık olarak 17,74 $\text{W/m}^2\text{K}$ olarak gözlemlenmiştir. En düşük ısı taşınım katsayısı değerleri ise saat 10:00’da CuO -su nanoakışkanlı panel için 87,46 $\text{W/m}^2\text{K}$ olarak görülmektedir. TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde olan en düşük ısı taşınım katsayısı da saat 10:30’da yaklaşık olarak 51,05 olarak görülmektedir. Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panelde ve su soğutmalı panelde olan en düşük ısı taşınım katsayıları ise saat 10:00’da yaklaşık olarak sırasıyla 50,08 $\text{W/m}^2\text{K}$ ve 17,47 $\text{W/m}^2\text{K}$ olarak görülmektedir. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,2 oranında ortalama olarak en yüksek ısı taşınım katsayılarına bakıldığında; CuO -su, TiO_2 -su, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panel için sırasıyla 92,97 $\text{W/m}^2\text{K}$, 53,87 $\text{W/m}^2\text{K}$, 51,30 $\text{W/m}^2\text{K}$ ve 17,63 $\text{W/m}^2\text{K}$ olarak görülmüştür.



Şekil 7.88. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,4 oranındaki Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su soğutmalı panellerin ısı taşınım katsayısı değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.88’de levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,4 oranında hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkanlı

soğutmanın ısı taşınım katsayısı değerleri görülmektedir. Tüm nanoakışkanlı soğutma türlerinin su soğutmalı sisteme göre daha büyük ısı taşınım katsayısı değerleri olduğu görülmüştür. En büyük ısı taşınım katsayısı değerleri saat 15:30'da CuO-su ve TiO₂-su nanoakışkanlı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla; 152,62 W/m²K ve 114,54 W/m²K olarak gözlemlenmiştir. Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelde olan en yüksek ısı taşınım katsayısı değeri de saat 14:30 ve 15:30'da aynı ve yaklaşık olarak 106,14 şeklinde bulunmuştur. Su soğutmalı paneldeki en yüksek ısı taşınım katsayısı ise saat 15:30 ve 16:00'da aynı ve yaklaşık olarak 17,74 W/m²K olarak hesaplanmıştır. En düşük ısı taşınım katsayısı değerleri ise saat 11:30'da CuO-su nanoakışkanlı panel için 140,23 olarak görülmektedir. TiO₂-su, Al₂O₃-su nanoakışkanlı panelde ve su soğutmalı panelde olan en düşük ısı taşınım katsayıları ise saat 10:00'da yaklaşık olarak 104,76 W/m²K, 104,07 W/m²K ve 17,47 W/m²K olarak bulunmuştur. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,2 oranında ortalama olarak en yüksek ısı taşınım katsayılarına bakıldığında; CuO-su, TiO₂-su, Al₂O₃-su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panel için sırasıyla 151,56 W/m²K, 111,36 W/m²K, 105,45 W/m²K ve 17,63 W/m²K olarak görülmüştür.



Şekil 7.89. Levha kanatçıklı bir panelde su soğutmalı ve %0,6 oranındaki Al₂O₃-su, TiO₂-su, CuO-su soğutmalı panellerin ısı taşınım katsayısı değerlerinin gün boyunca değişimi

Şekil 7.89'da levha kanatçıklı bir panelde sabit bir debide su soğutmalı ve ağırlıkça %0,6 oranında hazırlanan Al₂O₃-su, TiO₂-su, CuO-su nanoakışkanlı soğutmanın ısı taşınım katsayısı değerleri görülmektedir. Genel olarak tüm nanoakışkanlı soğutma türlerinin su soğutmalı sisteme göre daha büyük ısı taşınım

katsayısı değerleri olduğu görülmüştür. En yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri saat 15:30'da CuO-su nanoakışkanlı panelde yaklaşık olarak $540,98 \text{ W/m}^2\text{K}$ şeklinde gözlemlenmiştir. Ardından en yüksek ısı taşınım değerleri de TiO_2 -su ve Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panellerde saat 15:00'da yaklaşık olarak sırasıyla; $315,58 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $289,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ şeklinde gözlemlenmiştir. Su soğutmalı paneldeki en yüksek ısı taşınım katsayısı ise saat 15:30 ve 16:00'da aynı ve yaklaşık olarak $17,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak gözlemlenmiştir. En düşük ısı taşınım katsayısı değerleri ise saat 10:30'da CuO-su nanoakışkanlı panel için $496,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak görülmektedir. Ardından TiO_2 -su, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı panellerde ve su soğutmalı panelde olan en düşük ısı taşınım katsayıları ise saat 10:00'da yaklaşık olarak $288,71 \text{ W/m}^2\text{K}$, $285,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $17,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak görülmektedir. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,6 oranında ortalama olarak en yüksek ısı taşınım katsayılarına bakıldığında; CuO-su, TiO_2 -su, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panel için sırasıyla $533,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, $308,66 \text{ W/m}^2\text{K}$, $105,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $288,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak görülmüştür.

Sonuç olarak tüm ısı taşınım katsayısı grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha büyük ısı taşınım katsayısı değerleri elde edilmiştir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri ağırlıkça %0,6 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça ısı taşınım katsayısı değerinin arttığı görülmüştür. Bianco ve diğerleri [144] yaptıkları çalışmada, nanopartiküllerin derişimlerinin artmasıyla ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlenmişlerdir. Bunun da ısı transferini yükselterek PV/T verimliliğini iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca Naphon ve Wiriyaart [146] yaptıkları çalışmada, nanoakışkan derişiminin artışıyla, manyetik alan kuvveti ve frekans titreşimlerinin artışıyla ısı transferinin arttığı tespit edilmiştir. Çelik ve Parlak [147] nanopartiküllerin hacim derişimindeki artışla termal iletkenliğin ve ısı transfer katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Ortalama olarak en yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri sırasıyla; CuO-su, TiO_2 -su, Al_2O_3 -su nanoakışkanlı paneller ve su soğutmalı panelde görülmüştür. Neticede en yüksek ısı taşınım katsayısı değeri ağırlıkça %0,6 oranında CuO-su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, monokristalin yapılu bir PV panelin, bir PV/T sistemde kolektif soğutma ve nanoakışkan ile soğutulması durumunda PV panel verimine etkileri deneysel ve matematiksel olarak incelenmiştir. Bir PV panelde öncelikle sadece kanatçıklar ile (silindirik kanatçık ve levha kanatçık) soğutma gerçekleştirildiğinde sıcaklık düşüşü ve panel verim artışı incelenmiştir. Daha sonra levha kanatçıklı sabit bir akışkan debisinde, su soğutmalı ve ağırlıkça 3 farklı oranda (%0,2, %0,4 ve %0,6) hazırlanan Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO -su seramik nanoakışkanlı soğutma durumunda sıcaklık azalışı ve panel verimine etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre;

Kanatçıklı pasif soğutma durumunda;

Genel itibarıyla kanatçıksız panel ile kıyaslandığında kanatçıklı (silindirik kanatçıklı ve levha kanatçıklı) panellerin, paneldeki sıcaklığı çekerek paneli daha etkili soğuttuğu görülmüştür. Kanatçıksız panel ile karşılaştırıldığında silindirik ve levha kanatçıklı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %4,87 ve %2,36'lık bir güç artışı olmuştur. Silindirik kanatçıklı panelde de levha kanatçıklı panele göre %2,45'lik bir güç artışı olmuştur. Ayrıca kanatçıksız panel ile karşılaştırıldığında silindirik ve levha kanatçıklı panellerde yaklaşık olarak sırasıyla %2,62 ve %1,52'lik bir verim artışı olmuştur. Silindirik kanatçıklı panelde de levha kanatçıklı panele göre %1,08'lik bir verim artışı olmuştur. Sonuçlara bakıldığında silindirik kanatçıkların levha kanatçıklara göre yüzey alanının daha büyük olmasından ötürü daha etkili bir soğutma yaparak panel gücü ve verimine daha çok katkı sağladığı görülmüştür.

Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı ve su soğutmalı sistemlerin karşılaştırılması;

- Sonuç olarak tüm elektriksel verim artışı grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha yüksek elektriksel verim artışı yaşanmıştır. Fakat CuO -su nanoakışkanlı panelde ağırlıkça %0,2 oranında su soğutmalı panele göre daha yüksek elektriksel verim artışı yaşanırken, ağırlıkça %0,4 ve %0,6 oranlarında su soğutmalı panele çok yakın bir elektriksel verim artışı yaşanmıştır. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek

elektriksel verim artışları ağırlıkça %0,2 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça elektriksel verim artışında düşüş yaşandığı görülmüştür. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,2 oranında ortalama olarak en yüksek elektriksel verim artışlarına bakıldığında; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su ve su soğutmalı paneller için sırasıyla %0,922, %0,861, %0,761 ve %0,659 olarak görülmüştür. Neticede en yüksek elektriksel verim artışı ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde görülmüştür.

- Sonuç olarak tüm panel orta noktası sıcaklık düşüşü grafikleri incelendiğinde; TiO_2 -su nanoakışkan soğutmalı panelin orta noktasının tüm oranlarda su soğutmalı panele göre daha çok panel sıcaklığını düşürerek etkili soğutma yaptığı görülmüştür. Fakat Al_2O_3 -su, CuO nanoakışkanlı panellerin orta noktasının ağırlıkça %0,2 ve %0,4 oranlarında su soğutmalı panele göre daha çok panel sıcaklığını düşürürken, ağırlıkça %0,6 oranında su soğutmalı panele göre daha az bir panel sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür. Özellikle CuO kullanımında nanopartikül yoğunluğunun artmasıyla beraber yükselen viskoziteden dolayı soğutma sistemini olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek panel orta noktası sıcaklığı düşüşleri ağırlıkça %0,2 oranında görülmüştür. Genel olarak panellerin orta noktalarının kanatçıksız panele göre gün boyunca ortalama olarak ağırlıkça %0,2 oranında gerçekleşen en yüksek panel orta nokta sıcaklığı düşüşleri TiO_2 -su, Al_2O_3 -su, CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerde ve su soğutmalı panelde sırasıyla 13,28 °C, 11,64 °C, 11,06 °C ve 9,14 °C'lik bir panel orta noktası sıcaklığı düşüşü meydana gelmiştir. Neticede en yüksek panel orta noktası sıcaklığı düşüşü ise ağırlıkça %0,2 oranında TiO_2 -su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.
- Sonuç olarak tüm güç artış oranı grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha yüksek güç artış oranı meydana gelmiştir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek güç artış oranları ağırlıkça %0,2 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça elektriksel verimde düşüş yaşandığı görülmüştür. Genel olarak gün boyunca ağırlıkça %0,2 oranında ortalama olarak en yüksek güç artış oranlarına bakıldığında Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su ve su soğutmalı paneller için sırasıyla %4,344, %4,058, %3,420 ve

%2,693 olarak görülmüştür. Neticede en yüksek güç artış oranı ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde görülmüştür.

- Sonuç olarak tüm ısı verim ve toplam verim grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha yüksek ısı verim ve toplam verim değerleri elde edilmiştir. Genel olarak su soğutmalı panel ile karşılaştırıldığında, Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO -su nanoakışkan soğutmalı panellerde görülen en yüksek ısı verim ve toplam verim değerleri ağırlıkça %0,2 oranında görülüp, yaklaşık olarak sırasıyla %70,13, %60,84 ve %45,74 bir ısı verim artışı ve %39,77, %35,62, %24,52'lik bir toplam verim artışı görülmüştür. Nanopartikül derişimi arttıkça ısı verim ve toplam verim değerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Neticede en yüksek ısı verim ve toplam verim değeri ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su nanoakışkan soğutmalı panelde görülmüştür.
- Sonuç olarak tüm ısı taşınım katsayısı grafikleri incelendiğinde; Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CuO nanoakışkan soğutmalı panellerin tüm oranlarında su soğutmalı panele göre daha büyük ısı taşınım katsayısı değerleri elde edilmiştir. Tüm nanoakışkan çeşitleri ve oranlarına bakıldığında genel itibarıyla en yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri ağırlıkça %0,6 oranında görülüp, nanopartikül derişimi arttıkça ısı taşınım katsayısı değerinin arttığı görülmüştür. Neticede en yüksek ısı taşınım katsayısı değeri ağırlıkça %0,6 oranında CuO -su nanoakışkanlı panelde görülmüştür.

8.2. Öneriler

Bu tez konusuna benzer çalışmalarda yapılabilecek öneriler aşağıda özetlenmiştir;

- Farklı tür güneş panelleri veya panel boyutu değiştirilerek verimlilik açısından karşılaştırma yapılabilir.
- Kanatçık olarak farklı metaller kullanılarak panel verimine ve soğutmaya etkileri araştırılabilir.
- Kanatçık şekli, boyu, kesiti, çapı ve sayıları değiştirilerek deneysel ve sayısal çalışmalar yapılarak panel verimi ve soğutmaya etkileri araştırılabilir.
- Mevcut sistem için farklı nanoakışkanlar kullanılarak panel verimi ve soğutma açısından karşılaştırma yapılabilir.
- Aynı sistem ve nanoakışkanlar ağırlıkça farklı oranlarda denenerek panel verimi ve soğutma açısından karşılaştırma yapılabilir.

- Mevcut sistem için aynı güçteki panel ve soğutma şekilleri değişik yerlerde eş zamanlı olarak deneyler yapılarak iklim şartlarının panel verimi ve soğutmaya etkileri araştırılabilir.
- Deney sabit bir debide yapılmıştır. Aynı sistem farklı debilerde kullanılarak panel verimi ve soğutmaya etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] S. M. Ladjevardi, A. Asnaghi, P. S. Izadkhast, and A. H. Kashani, "Applicability of graphite nanofluids in direct solar energy absorption," *Sol. Energy*, vol. 94, pp. 327–334, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.012>.
- [2] M. Thind, C. Tessum, I. Azevedo, and J. Marshall, "Fine Particulate Air Pollution from Electricity Generation in the US: Health Impacts by Race, Income, and Geography," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, Nov. 2019, doi: [10.1021/acs.est.9b02527](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02527).
- [3] R. Saidur, T. C. Meng, Z. Said, M. Hasanuzzaman, and A. Kamyar, "Evaluation of the effect of nanofluid-based absorbers on direct solar collector," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 21, pp. 5899–5907, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.05.087>.
- [4] F. Johnsson, J. Kjärstad, and J. Rootzén, "The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels," *Clim. Policy*, vol. 19, pp. 1–17, Jun. 2018, doi: [10.1080/14693062.2018.1483885](https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1483885).
- [5] N. L. Panwar, S. C. Kaushik, and S. Kothari, "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1513–1524, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>.
- [6] M. Hasanuzzaman, A. B. M. A. Malek, M. M. Islam, A. K. Pandey, and N. A. Rahim, "Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review," *Sol. Energy*, vol. 137, pp. 25–45, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.010>.
- [7] A. Royne, C. J. Dey, and D. R. Mills, "Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 86, no. 4, pp. 451–483, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.09.003>.
- [8] V. Khare, S. Nema, and P. Baredar, "Solar–wind hybrid renewable energy system: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 23–33, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.223>.
- [9] T. M. Razykov, C. S. Ferekides, D. Morel, E. Stefanakos, H. S. Ullal, and H. M. Upadhyaya, "Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 8, pp. 1580–1608, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.002>.

- [10] F. Kreith, P. Norton, and D. Brown, "A comparison of CO₂ emissions from fossil and solar power plants in the United States," *Energy*, vol. 15, no. 12, pp. 1181–1198, 1990, doi: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(90\)90110-N](https://doi.org/10.1016/0360-5442(90)90110-N).
- [11] S. Hegedus and A. Luque, "Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics," 2005, pp. 1–43.
- [12] F. Huide, Z. Xuxin, M. Lei, Z. Tao, W. Qixing, and S. Hongyuan, "A comparative study on three types of solar utilization technologies for buildings: Photovoltaic, solar thermal and hybrid photovoltaic/thermal systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 140, pp. 1–13, May 2017, doi: [10.1016/j.enconman.2017.02.059](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.059).
- [13] E. Pérez-Aparicio, I. Lillo-Bravo, S. Moreno-Tejera, and M. Silva-Pérez, "Economical and environmental analysis of thermal and photovoltaic solar energy as source of heat for industrial processes," in *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1850, no. 1, p. 180005.
- [14] O. Anthony, N. Ogueke, G. Nwaji, and E. Anyanwu, "Hybrid Solar Water Heating/Nocturnal Radiation Cooling System I: A Review of the Progress, Prospects and Challenges," *Energy Build.*, vol. Volume 198, pp. 412–430, Jun. 2019, doi: [10.1016/j.enbuild.2019.06.017](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.017).
- [15] R. Syahputra and I. Soesanti, "Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia," *Energy Reports*, vol. 7, pp.472–490, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.015>.
- [16] G. Kidegho, F. Njoka, C. Muriithi, and R. Kinyua, "Evaluation of thermal interface materials in mediating PV cell temperature mismatch in PV–TEG power generation," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 1636–1650, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.03.015>.
- [17] A. Özakın, M. Yeşilyurt, V. Oner, and K. Yakut, *Fotovoltaik Termal (PVT) Sistemlerin Isıl Performansının DeneySEL Olarak İncelenmesi*. 2017.
- [18] L. Liu, L. Zhu, Y. Wang, Q. Huang, Y. Sun, and Z. Yin, "Heat dissipation performance of silicon solar cells by direct dielectric liquid immersion under intensified illuminations," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 5, pp. 922–930, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.02.007>.

- [19] L. Zhu, R. F. Boehm, Y. Wang, C. Halford, and Y. Sun, "Water immersion cooling of PV cells in a high concentration system," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 95, no. 2, pp. 538–545, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.08.037>.
- [20] F. Grubišić-Čabo, S. Nizetic, and G. Tina, "Photovoltaic panels: A review of the cooling techniques," *Trans. FAMENA*, vol. 40, pp. 63–74, Jun. 2016.
- [21] K. Wang *et al.*, "Highly-efficient nanofluid-based direct absorption solar collector enhanced by reverse-irradiation for medium temperature applications," *Renew. Energy*, vol. 159, pp. 652662, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.167>.
- [22] J. C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [23] A. Albojamal and K. Vafai, "Analysis of particle deposition of nanofluid flow through porous media," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 161, p. 120227, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120227>.
- [24] M. A. Sheremet and M. M. Rashidi, "Thermal convection of nano-liquid in an electronic cabinet with finned heat sink and heat generating element," *Alexandria Eng. J.*, vol. 60, no. 3, pp. 2769–2778, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.01.013>.
- [25] M. Moravej *et al.*, "Enhancing the efficiency of a symmetric flat-plate solar collector via the use of rutile TiO₂-water nanofluids," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 40, p. 100783, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100783>.
- [26] K. Khanafer and K. Vafai, "Analysis of turbulent two-phase flow and heat transfer using nanofluid," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 124, p. 105219, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105219>.
- [27] R. Saidur, K. Y. Leong, and H. A. Mohammed, "A review on applications and challenges of nanofluids," *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1646–1668, 2011.
- [28] S. Mokhtari *et al.*, "Copper-containing glass polyalkenoate cements based on SiO₂–ZnO–CaO–SrO–P₂O₅ glasses: glass characterization, physical and antibacterial properties," *J. Mater. Sci.*, vol. 52, no. 15, pp. 8886–8903, 2017, doi: [10.1007/s10853-017-0945-5](https://doi.org/10.1007/s10853-017-0945-5).

- [29] M. Sardarabadi, M. Hosseinzadeh, A. Kazemian, and M. Passandideh-Fard, "Experimental investigation of the effects of using metal-oxides/water nanofluids on a photovoltaic thermal system (PVT) from energy and exergy viewpoints," *Energy*, vol. 138, pp. 682695, 2017, doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.046>.
- [30] M. Sardarabadi, M. Passandideh-Fard, and S. Zeinali Heris, "Experimental investigation of the effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units)," *Energy*, vol. 66, pp. 264–272, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.102>.
- [31] M. S. Y. Ebaid, A. M. Ghrair, and M. Al-Busoul, "Experimental investigation of cooling photovoltaic (PV) panels using (TiO₂) nanofluid in water -polyethylene glycol mixture and (Al₂O₃) nanofluid in water- cetyltrimethylammonium bromide mixture," *Energy Convers. Manag.*, vol. 155, pp. 324–343, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.074>.
- [32] S. Yahya, A. Rezaei, and B. Aghel, "Forecasting of water thermal conductivity enhancement by adding nano-sized alumina particles," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 145, Jan. 2021, doi: 10.1007/s10973-020-10452-0.
- [33] L. Colla, L. Fedele, O. Manca, L. Marinelli, and S. Nardini, "Experimental and Numerical Investigation on Forced Convection in Circular Tubes With Nanofluids," *Heat Transf. Eng.*, p. 0, Nov. 2015, doi: 10.1080/01457632.2015.1112617.
- [34] H. A. Sarode, D. P. Barai, B. A. Bhanvase, R. P. Ugwekar, and V. Saharan, "Investigation on preparation of graphene oxide-CuO nanocomposite based nanofluids with the aid of ultrasound assisted method for intensified heat transfer properties," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 251, p. 123102, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123102>.
- [35] O. Erkan, M. Özkan, O. Arslan, O. Erkan, and M. Özkan, "O. Erkan , M. Özkan ve O. Arslan , 'Mini Kanal İle Fotovoltaik Hücre Soğutma', International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, c. 2, sayı. 2, ss. 34-38, Ara. 2018."
- [36] "Adıyaman, Ç; 2012. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde."

- [37] Şenel, M. C. 2012. “Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış,” *Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.*
- [38] Anonim, “Dünya Enerji Konseyi (IEA). (2021. ABD 2021 Yenilenebilir Enerji Sanayi Görünümü Raporu, ABD: IEA. <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/2020-Yenilenebilir-Enerji-Raporu-.pdf> (20.03.2021).”
- [39] Anonim, “T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021. Güneş - Bilgi Merkezi, <https://enerji.gov.tr/gunes-bilgimerkezi> (25.03.2021).”
- [40] Anonim, “T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Güneş, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (25.03.2021).”
- [41] Anonim, “GEPA, 2021. Güneş Potansiyeli Atlası, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (25.03.2021).”
- [42] Anonim, “Güneş Enerjisi, 2021. <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=705>, (25.03.2021).”
- [43] Anonim, “Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), 2021. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim İstatistikleri, <https://www.enerjiportali.com/turkiye-elektrik-enerjisi-uretim-istatistikleri-aralik-2020/> (25.03.2021).”
- [44] R. F. Graf, *Modern dictionary of electronics*. Newnes, 1999.
- [45] Messenger, R.A. ve Ventre, J., 2004, *Photovoltaic systems engineering*, Taylor & Francis, Florida.
- [46] O. Oparaku, “Assessment of the cost-effectiveness of photovoltaic system for telecommunication in Nigeria,” *Int. J. Sol. Energy*, vol. 22, pp. 123–129, Sep. 2002.
- [47] D. O., “Güneş Pilleri, Süleyman Demirel Üniversitesi,” *Seminer*, 2002.
- [48] “Yerli, B., 2011. İstanbul iklim şartlarında meteorolojik parametrelerin PV (fotovoltaikpil) elektrik üretimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.”
- [49] “Özkılıç Keleş, C., ‘Türkiyede Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme’ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 33,57-58 (2008).”

- [50] M. Bruch and M. Müller, “Calculation of the Cost-effectiveness of a PV Battery System,” *Energy Procedia*, vol. 46, pp. 262–270, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.181>.
- [51] Y. E. Abu Eldahab, N. H. Saad, and A. Zekry, “Enhancing the design of battery charging controllers for photovoltaic systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 646–655, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.061>.
- [52] D. Öztürk, H.H. ve Kaya, *Güneş enerjisinden elektrik üretimi: Fotovoltaik teknoloji*. Kocaeli: Umuttepe Yayınları, 2013.
- [53] “Leque, A. ve Hegedus, S., 2003. Handbook of photovoltaic science and engineering, John Wiley and Sons Ltd., England.”
- [54] Masters, G.M., 2004. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. John Wiley & Sons Inc., 676, Canada.
- [55] “Kıncay, O., 2021. Güneş Enerjisi Ders Notları, Güneş Enerjisi, II. bölüm <http://www.solar-academy.com/menuis/Gunes-Enerjisi.021720.pdf> (25.03.2021).”
- [56] “Erkul A (2010). Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.”
- [57] “Karşı, A.; 2011. Politiyofen ve Fulleren İçeren Organik Fotovoltaik Hücrelerin Optimum Çalışma Şartlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.”
- [58] Anonim, “Wikipedia, 2021. Güneş pili, https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_pili (20.01.2021).”
- [59] “Bayrak, F. (2017). Fotovoltaik Panellere Bütünleştirilmiş Farklı Pasif Yöntemlerin Sistem Verimliliğine Etkisinin Sayısal Ve Deneysel Analizi. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ.”
- [60] Anonim, “Cibse Journal, 2021. Fotovoltaik Hücreler, <https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2010-01/> (20.04.2021).”
- [61] Anonim, “PV Education, 2021. Solar Cell Structure, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-structure> (15.04.2021).”
- [62] A. D. Jones and C. P. Underwood, “A thermal model for photovoltaic systems,” *Sol. Energy*, vol. 70, no. 4, pp. 349–359, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00149-3](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00149-3).

- [63] Anonim, “Cleaner Energy Review, 2021. Solar Panel Construction, <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction> (05.04.2021).”
- [64] Anonim, “Orbit Enerji, 2021. Fotovoltaik Panel Yapısı, <https://www.orbitenerji.com/orbit-akademi/fotovoltaik-panel-yapisi-nasildir> (05.01.2021).”
- [65] “Kayri, İ. (2017). Güneş Panelleri İle Üretilen Enerjinin Ortam Bilgileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ.”
- [66] İ. Deniz, E., Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar, Akademi Enerji, “Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar,” vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2013.
- [67] T. Tsoutsos, N. Frantzeskaki, and V. Gekas, “Environmental impacts from the solar energy technologies,” *Energy Policy*, vol. 33, no. 3, pp. 289–296, 2005, doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6).
- [68] Anonim, “Wikipedia, 2021. Photovoltaic system, https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system (07.04.2021).”
- [69] “Bozkurt, A., Güneş pilleri, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.,” pp. 100–104.
- [70] Anonim, “Perovskite, 2021. Perovskite Solar, <https://www.perovskite-info.com/perovskite-solar> (25.01.2021).”
- [71] Anonim, “Explainthatstuff, 2021. Solarcells <https://www.explainthatstuff.com/solarcells.html> (16.04.2021).”
- [72] H. Doğan, “Fotovoltaik Güneş Pilleri.” Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ..., 2014.
- [73] G. Cook *et al.*, *Photovoltaic fundamentals*. Washington, DC; Springfield, VA: National Renewable Energy Laboratory ; Available from National Technical Information Service, 1995.
- [74] M. Yılmaz, “Yılmaz M., 2013. Güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin belirlenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.”
- [75] Anonim, “Tindo Solar, 2021. Poly Vs Mono Crystalline, <https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/> (09.04.2021).”

- [76] E. Radziemska, “The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells,” *Renew. Energy*, vol. 28, no. 1, pp. 1–12, 2003, [Online]. Available: <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:renene:v:28:y:2003:i:1:p:1-12>.
- [77] E. Akman, S. Akin, G. Karanfil, and S. Sönmezoğlu, “Organik güneş pilleri,” *Trak. Univ J Sci*, vol. 14, no. 1, pp. 1–30, 2013.
- [78] M. Stuckelberger, R. Biron, N. Wyrsh, F.-J. Haug, and C. Ballif, “Progress in solar cells from hydrogenated amorphous silicon,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, pp. 1497–1523, 2017.
- [79] H. Ozturk, *Öztürk, H., 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, 1. baskı. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2013. Polymer Solar Cells. Degree of Master of Science in Material Science and Engineering, University of Texas at Arlington, USA.*
- [80] J. Ramanujam and U. P. Singh, “Copper indium gallium selenide based solar cells—a review,” *Energy Environ. Sci.*, vol. 10, no. 6, pp. 1306–1319, 2017.
- [81] J. Gong, K. Sumathy, Q. Qiao, and Z. Zhou, “Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, pp. 234–246, 2017.
- [82] H. Hoppe and N. S. Sariciftci, “Organic solar cells: An overview,” *J. Mater. Res.*, vol. 19, no. 7, pp. 1924–1945, 2004, doi: DOI: 10.1557/JMR.2004.0252.
- [83] J. M. Kroon *et al.*, “Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–18, 2007.
- [84] C. W. Tang, “Two-layer organic photovoltaic cell,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 48, no. 2, pp. 183–185, 1986.
- [85] Y. Liang *et al.*, “For the Bright Future-Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells with Power Conversion Efficiency of 7.4%,” *Adv. Mater.*, vol. 22, pp. E135-8, May 2010, doi: 10.1002/adma.200903528.
- [86] E. Moons, “Conjugated polymer blends: linking film morphology to performance of light emitting diodes and photodiodes,” *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 14, no. 47, p. 12235, 2002.
- [87] Z. Song, S. C. Watthage, A. B. Phillips, and M. J. Heben, “Pathways toward high-performance perovskite solar cells: review of recent advances in organo-metal halide perovskites for photovoltaic applications,” *J. Photonics Energy*, vol. 6, no. 2, p. 22001, 2016.

- [88] T. Kietzke, “Recent advances in organic solar cells,” *Adv. Optoelectron.*, vol. 2007, 2007.
- [89] J. Liu, Y. Shi, and Y. Yang, “Solvation-induced morphology effects on the performance of polymer-based photovoltaic devices,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 11, no. 6, pp. 420–424, 2001.
- [90] S. Karuthedath, “Tracing degradation effects in organic solar cells, PhD thesis, IMDEA Nanociencia Madrid,” 2015.
- [91] E. Lorenzo, *Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems*. Spain: Artes Graficas Gala, S.L, 1994.
- [92] “Hansen A. D., Sørensen P., Hansen L. H., Bindner H., ‘Models for a Stand-Alone PV System’, Risø National Laboratory, Roskilde, December 2000.”
- [93] A. Sözen, H. I. Variyenli, M. B. Özdemir, and M. Gürü, “Upgrading the thermal performance of parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers using MgO nanofluid,” *Heat Transf. Res.*, vol. 48, no. 5, 2017.
- [94] S. K. Das, S. U. Choi, W. Yu, and T. Pradeep, *Nanofluids: science and technology*. John Wiley & Sons, 2007.
- [95] F. Sanchez and K. Sobolev, “Nanotechnology in concrete—a review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 11, pp. 2060–2071, 2010.
- [96] S. K. Sahoo, S. Parveen, and J. J. Panda, “The present and future of nanotechnology in human health care,” *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 3, no. 1, pp. 20–31, 2007.
- [97] S. Neethirajan and D. S. Jayas, “Nanotechnology for the food and bioprocessing industries,” *Food bioprocess Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 39–47, 2011.
- [98] E. K. Goharshadi, H. Ahmadzadeh, S. Samiee, and M. Hadadian, “Nanofluids for heat transfer enhancement-a review,” 2013.
- [99] M. M. Tawfik, “Experimental studies of nanofluid thermal conductivity enhancement and applications: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, pp. 1239–1253, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.111>.
- [100] R. A. K. Prajapati O.S., *Heat Transfer with Nanofluid*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011.
- [101] H. Zhu, Y. Lin, and Y. Yin, “A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 277, no. 1, pp. 100–103, 2004.

- [102] “Khanları, A. (2018). Plakalı Isı Değiştiricilerin Deneysel ve Sayısal Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-12.”
- [103] S. M. S. Murshed, K. C. Leong, and C. Yang, “Enhanced thermal conductivity of TiO₂—water based nanofluids,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 44, no. 4, pp. 367–373, 2005.
- [104] B.-X. Wang, L.-P. Zhou, and X.-F. Peng, “Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles,” *Int. J. Thermophys.*, vol. 27, no. 1, pp. 139–151, 2006.
- [105] L. S. Sundar, M. K. Singh, and A. C. M. Sousa, “Investigation of thermal conductivity and viscosity of Fe₃O₄ nanofluid for heat transfer applications,” *Int. Commun. heat mass Transf.*, vol. 44, pp. 7–14, 2013.
- [106] C. T. Nguyen *et al.*, “Viscosity data for Al₂O₃—water nanofluid—hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 47, no. 2, pp. 103–111, 2008.
- [107] T.-P. Teng and Y.-H. Hung, “Estimation and experimental study of the density and specific heat for alumina nanofluid,” *J. Exp. Nanosci.*, vol. 9, no. 7, pp. 707–718, 2014.
- [108] M. J. Pastoriza-Gallego, C. Casanova, R. Páramo, B. Barbés, J. L. Legido, and M. M. Piñeiro, “A study on stability and thermophysical properties (density and viscosity) of Al₂O₃ in water nanofluid,” *J. Appl. Phys.*, vol. 106, no. 6, p. 64301, 2009.
- [109] O. Mahian, A. Kianifar, S. A. Kalogirou, I. Pop, and S. Wongwises, “A review of the applications of nanofluids in solar energy,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 57, no. 2, pp. 582–594, 2013,
doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.10.037>.
- [110] R. B. Ganvir, P. V Walke, and V. M. Kriplani, “Heat transfer characteristics in nanofluid—a review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, pp. 451–460, 2017.
- [111] W. Yu, D. M. France, S. U. S. Choi, and J. L. Routbort, “Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications,” 2007.
- [112] R. R. Srikant, D. N. Rao, M. S. Subrahmanyam, and V. P. Krishna, “Applicability of cutting fluids with nanoparticle inclusion as coolants in machining,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.*, vol. 223, no. 2, pp. 221–225, 2009.

- [113] K.-J. Park and D. Jung, “Boiling heat transfer enhancement with carbon nanotubes for refrigerants used in building air-conditioning,” *Energy Build.*, vol. 39, no. 9, pp. 1061–1064, 2007.
- [114] S. Bi, L. Shi, and L. Zhang, “Application of nanoparticles in domestic refrigerators,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 28, no. 14–15, pp. 1834–1843, 2008.
- [115] K. Sopian, A. H. A. Alwaeli, A. N. Al-Shamani, and A. M. Elbreki, “Thermodynamic analysis of new concepts for enhancing cooling of PV panels for grid-connected PV systems,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 136, no. 1, pp. 147–157, 2019, doi: 10.1007/s10973-018-7724-7.
- [116] A. N. Al-Shamani, K. Sopian, S. Mat, H. A. Hasan, A. M. Abed, and M. H. Ruslan, “Experimental studies of rectangular tube absorber photovoltaic thermal collector with various types of nanofluids under the tropical climate conditions,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 124, pp. 528–542, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.07.052.
- [117] O. Rejeb, M. Sardarabadi, C. Ménézo, M. Passandideh-Fard, M. H. Dhaou, and A. Jemni, “Numerical and model validation of uncovered nanofluid sheet and tube type photovoltaic thermal solar system,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 110, pp. 367–377, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.11.063.
- [118] N. S. Binti Rukman, A. Fudholi, N. F. Mohd Razali, M. Hafidz Ruslan, and K. Sopian, “Investigation of TiO₂ and MWCNT Nanofluids-based Photovoltaic-Thermal (PV/T) System,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, p. 12076, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012076.
- [119] G. Nandan, “Performance of Solar Photovoltaic panel using Forced convection of water-based CuO nanofluid: An Understanding,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 691, p. 12088, 2019, doi: 10.1088/1757-899x/691/1/012088.
- [120] J. J. Michael and S. Iniyan, “Performance analysis of a copper sheet laminated photovoltaic thermal collector using copper oxide – water nanofluid,” *Sol. Energy*, vol. 119, pp. 439–451, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.028>.
- [121] A. Fudholi *et al.*, “TiO₂/water-based photovoltaic thermal (PVT) collector: Novel theoretical approach,” *Energy*, vol. 183, pp. 305–314, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.143>.

- [122] N. Abdollahi and M. Rahimi, "Heat transfer enhancement in a hybrid PV/PCM based cooling tower using Boehmite nanofluid," *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, 2019, doi: 10.1007/s00231-019-02754-3.
- [123] H. Fayaz, R. Nasrin, N. A. Rahim, and M. Hasanuzzaman, "Energy and exergy analysis of the PVT system: Effect of nanofluid flow rate," *Sol. Energy*, vol. 169, pp. 217–230, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.05.004.
- [124] M. T. Jamal-Abad, A. Zamzamian, E. Imani, and M. Mansouri, "Experimental study of the performance of a flat-plate collector using cu-water nanofluid," *J. Thermophys. Heat Transf.*, vol. 27, no. 4, pp. 756–760, 2013, doi: 10.2514/1.T4074.
- [125] M. Sardarabadi and M. Passandideh-Fard, "Experimental and numerical study of metal-oxides/water nanofluids as coolant in photovoltaic thermal systems (PVT)," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 157, pp. 533–542, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.07.008>.
- [126] H. A. Hasan, K. Sopian, A. H. Jaaz, and A. N. Al-Shamani, "Experimental investigation of jet array nanofluids impingement in photovoltaic/thermal collector," *Sol. Energy*, vol. 144, pp. 321–334, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.01.036.
- [127] Y. Cui and Q. Zhu, "Study of Photovoltaic/Thermal Systems with MgO-Water Nanofluids Flowing over Silicon Solar Cells," in *2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 2012, pp. 1–4, doi: 10.1109/APPEEC.2012.6307203.
- [128] H. A. Hussien, M. Hasanuzzaman, A. H. Noman, and A. R. Abdulmunem, "Enhance photovoltaic/thermal system performance by using nanofluid," in *3rd IET International Conference on Clean Energy and Technology (CEAT) 2014*, 2014, pp. 1–5, doi: 10.1049/cp.2014.1515.
- [129] M. Hamdan and K. Kardas, "Improvement of photovoltaic panel efficiency using nanofluid," *Int. J. Therm. Environ. Eng.*, vol. 14, pp. 143–151, Jan. 2017, doi: 10.5383/ijtee.14.02.008.
- [130] N. Karami and M. Rahimi, "Heat transfer enhancement in a PV cell using Boehmite nanofluid," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 275–285, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.05.037.

- [131] Z. Said *et al.*, “Performance enhancement of a Flat Plate Solar collector using Titanium dioxide nanofluid and Polyethylene Glycol dispersant,” *J. Clean. Prod.*, vol. 92, pp. 343–353, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.007>.
- [132] Z. Said, R. Saidur, N. A. Rahim, and M. A. Alim, “Analyses of exergy efficiency and pumping power for a conventional flat plate solar collector using SWCNTs based nanofluid,” *Energy Build.*, vol. 78, pp. 1–9, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.061>.
- [133] A. Radwan, M. Ahmed, and S. Ookawara, “Performance enhancement of concentrated photovoltaic systems using a microchannel heat sink with nanofluids,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 119, pp. 289–303, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.045>.
- [134] S. Soltani, A. Kasaeian, H. Sarrafha, and D. Wen, “An experimental investigation of a hybrid photovoltaic/thermoelectric system with nanofluid application,” *Sol. Energy*, vol. 155, pp. 1033–1043, 2017, doi: [10.1016/j.solener.2017.06.069](https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.069).
- [135] H. A. Hussein, A. H. Numan, and R. A. Abdulrahman, “Improving the Hybrid Photovoltaic/Thermal System Performance Using Water-Cooling Technique and Zn-H₂O Nanofluid,” *Int. J. Photoenergy*, vol. 2017, 2017, doi: [10.1155/2017/6919054](https://doi.org/10.1155/2017/6919054).
- [136] F. Bayrak, H. F. Oztop, and F. Selimefendigil, “Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection,” *Sol. Energy*, vol. 188, pp. 484–494, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.036>.
- [137] J. C. Mojumder, W. T. Chong, H. C. Ong, K. Y. Leong, and Abdullah-Al-Mamoon, “An experimental investigation on performance analysis of air type photovoltaic thermal collector system integrated with cooling fins design,” *Energy Build.*, vol. 130, pp. 272–285, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.040>.
- [138] “Demir, M; 2017. Silindirik Kanatçıklar ile Soğutulan Fotovoltaik Panelin Enerji Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. (Y.lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum,” 2017.
- [139] “Nakişdüzer, K; 2019. PV/T Panelin Alüminyum Kanatçık Elemanları İle Soğutularak Enerji Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.”

- [140] G. Ömeroğlu, “Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneyisel Analizi,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 30, no. 1, pp. 161–167, 2018.
- [141] “Budak, N; 2016. Güneş Kollektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Isıl Verime Etkisinin Deneyisel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.”
- [142] M. Mehrali *et al.*, “Heat transfer and entropy generation for laminar forced convection flow of graphene nanoplatelets nanofluids in a horizontal tube,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 66, pp. 23–31, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.05.007>.
- [143] I. İ. Kotcioglu, G. Ömeroğlu, and S. Caliskan, “Thermal performance and pressure drop of different pin-fin geometries,” *Hittite J. Sci. Eng.*, vol. 1, pp. 13–20, Dec. 2015, doi: 10.17350/HJSE19030000003.
- [144] V. Bianco, F. Scarpa, and L. A. Tagliafico, “Numerical analysis of the Al₂O₃-water nanofluid forced laminar convection in an asymmetric heated channel for application in flat plate PV/T collector,” *Renew. Energy*, vol. 116, pp. 9–21, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.067>.
- [145] B. Çevrim, A. Guvenc Yazicioglu, and S. Kakaç, “Experimental Analysis of Laminar Flow and Heat Transfer in Multi-Port Finned Mini-Channel,” *Hittite J. Sci. Eng.*, vol. 3, pp. 51–60, Jan. 2016, doi: 10.17350/HJSE190300000032.
- [146] P. Naphon and S. Wiriyaart, “Experimental study on laminar pulsating flow and heat transfer of nanofluids in micro-fins tube with magnetic fields,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 118, pp. 297–303, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.131>.
- [147] H. Celik and N. Parlak, “A Numerical Investigation Of Nanofluid Flow In Rectangular Finned Microchannel,” *Isı Bilim. ve Tek. Derg.*, vol. 41, no. 1, pp. 89–99, 2021.
- [148] Anonim, “PVGIS, 2016. Photovoltaic Geographical Information System, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> 13 Ekim 2016.”
- [149] I. Kayri and M. T. Gencoglu, “Predicting power production from a photovoltaic panel through artificial neural networks using atmospheric indicators,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 31, no. 8, pp. 3573–3586, 2019.

- [150] A. Hepbasli, “A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 3, pp. 593–661, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.001>.
- [151] B. Kilis, “Exergy metrication of radiant panel heating and cooling with heat pumps,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 63, pp. 218–224, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.043>.
- [152] E. Skoplaki and J. A. Palyvos, “Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations,” *Renew. Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 23–29, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.009>.
- [153] F. P. Incropera, A. S. Lavine, T. L. Bergman, and D. P. DeWitt, *Fundamentals of heat and mass transfer*. New York: Wiley, 2007.
- [154] H. C. Brinkman, “The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions,” *J. Chem. Phys.*, vol. 20, no. 4, p. 571, 1952, doi: [10.1063/1.1700493](https://doi.org/10.1063/1.1700493).