



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK PANELLERİN NANOAKIŞKAN
İLE SOĞUTULARAK VERİME ETKİLERİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus ÖZDEMİR

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Ağustos, 2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

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.

Yunus ÖZDEMİR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK PANELLERİN NANOAKIŞKAN İLE SOĞUTULARAK VERİME ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Yunus ÖZDEMİR

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI

2022, 54 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Dr. Öğr. Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI

Dr. Öğr. Üyesi Halit Lütfü YÜCEL

Bu tez çalışmasında, PV panellerde ısınmadan kaynaklı kayıpları azaltmak ve panel verimini arttırmak amacıyla nanoakışkanla soğutma çalışması gerçekleştirilmiştir. PV panellerin arka yüzeyine döşenen bakır borulardan akışkan geçirerek panelin sıcaklığını düşürmek suretiyle yapılan çalışma su ve nanoakışkanlarla tekrar edilmiştir. Nanoakışkan olarak hacimce %1, %0,1 ve %0,01 partikül içeren Al_2O_3 ve TiO_2 kullanılmıştır. Yapılan testlerde iki özdeş güneş paneli aynı anda kullanılmış olup testlere başlamadan önce iki özdeş panel aynı anda çalıştırılıp akım ve gerilim değerlerini eşitleyecek bir katsayı belirlenmiştir. Bu katsayının belirlenme amacı üretimden kaynaklanan paneller arasındaki güç farkını bertaraf etmektir. Daha sonra soğutma sistemi çalıştırılıp panellerden çıkan akım ve gerilim değerleri kaydedilmiştir. Alınan ölçümlere göre soğutulan panelde gerilimin arttığı ve bu artışın su, Al_2O_3 (%0,01), Al_2O_3 (%0,1), Al_2O_3 (%1), TiO_2 (%0,01), TiO_2 (%0,1), TiO_2 (%1) için sırasıyla %7,58, %8,19, %7,71, %7,92, %8,34, %7,97 ve %8,13 şeklinde olduğu görülmüştür. Panel verimleri incelendiğinde Su için ortalama %7,30 daha fazla verim sağlanırken Al_2O_3 (%0,01), (%0,1), (%1) için sırasıyla %7,32, %6,89, %7,55 ve TiO_2 (%0,01), (%0,1), (%1) için ise sırasıyla %8,17, %7,39, %8,32 şeklinde gerçekleşmiştir. Değerler incelendiğinde TiO_2 nanoakışkanının Al_2O_3 nanoakışkanından daha fazla verim sağladığı görülmektedir. Akışkanların hacim fraksiyonları incelendiğinde %0,01 ile %1 partikül içeren nanoakışkanların verim değerlerinin birbirine yakın olduğu, %0,1 partikül içeren nanoakışkanın verim değerinin diğerlerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan testler neticesinde optimum nanoakışkan yüzdesinin %0,01 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Nanoakışkan, PV panel, Soğutma, Verim.

ABSTRACT

MS THESIS

EFFICIENCY ENHANCEMENT OF PHOTOVOLTAIC PANELS BY COOLING WITH NANOFLUID

Yunus ÖZDEMİR

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI

2022, 54 Pages

Jury

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Asst. Prof. Dr. Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI

Asst. Prof. Dr. Halit Lütfü YÜCEL

In this thesis, nanofluid cooling study was carried out in order to reduce the losses caused by heating and increase the panel efficiency in PV panels. The study was carried out by lowering the temperature of the panel by passing fluid through the copper pipes laid on the back surface of the PV panels. And repeated with water and nanofluids. Al_2O_3 and TiO_2 containing 1%, 0.1% and 0.01% particles by volume were used as nanofluids. In the tests, 2 identical solar panels were used at the same time, and before starting the tests, two identical panels were operated at the same time and a coefficient was determined to equalize the current and voltage values. The purpose of determining this coefficient is to eliminate the power difference between the panels resulting from production. Then, the cooling system was started and the current and voltage values of the panels were recorded. According to the results, the voltage increased in the cooled panel. From the voltage viewpoint, by using water, Al_2O_3 (0.01%), Al_2O_3 (0.1%), Al_2O_3 (1%), TiO_2 (0.01%), TiO_2 (0.1%) and TiO_2 (1%), the increase of the voltage of PV panels is 7.58%, 8.19%, 7.71%, 7.92%, 8.34%, 7.97% and 8.13%, respectively. When panel efficiencies are examined, an average efficiency is achieved 7.30% for water, while 7.32%, 6.89%, 7.55% by using Al_2O_3 (0.01%), (0.1%), (1%) respectively and by using TiO_2 (0.01%), (0.1%) and (1%), it is 8.17%, 7.39% and 8.32%, respectively. When the values are examined, it is seen that TiO_2 nanofluid provides more efficiency than Al_2O_3 nanofluid. When the nanofluid volume fractions were examined, it was observed that the efficiency values of nanofluids containing 0.01% and 1% particles were close to each other, and the efficiency value of nanofluids containing 0.1% particles was lower than the others. As a result of the tests, it was determined that the optimum nanofluid percentage is 0.01%.

Keywords: Cooling, Efficiency, Nanofluid, PV panel, Solar energy.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında ve yüksek lisans eğitimi gördüğüm süre boyunca desteğini esirgemeyen sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI'na, bilgi ve birikimiyle beni yönlendiren ve her konuda destek alabileceğim samimiyeti yaratan değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin AYDIN'a, tezi baştan sonuna kadar ilgiyle takip edip takıldığım her noktada yardıma hazır sayın meslektaşım Arş. Gör. Serkan BATI'ya ve bütün eğitim-öğretim hayatım boyunca sonsuz desteklerini arkamda hissettiğim aileme teşekkür borç bilirim.

Yunus ÖZDEMİR
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER TABLOSU	viii
1 GİRİŞ	1
1.1 Güneş Enerjisi	1
1.2 Nanoteknoloji ve Nanoakışkanlar	5
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
2.1 PV/T Sistemlerde Nanoakışkan Kullanılarak Yapılan Soğutma Çalışmaları	8
2.2 PV Sistemlerde Farklı Yöntemlerle Yapılan Soğutma Çalışmaları	14
3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1 Deney Düzenegi	18
3.2 Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları	24
3.2.1 Termokupl.....	24
3.2.2 Piranometre	24
3.2.3 Dijital Anemometre	25
3.2.4 İnfrared Termometre	25
3.3 Deneyin Yapılışı.....	25
4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1 Işınım miktarına bağlı akım ve gerilim değerleri	27
4.2 Panellerden elde edilen güç miktarı	32
4.3 Panel Verimleri	36
4.3.1 Su ile Yapılan çalışma	36
4.3.2 Al ₂ O ₃ /su nanoakışkanıyla yapılan çalışma	37
4.3.3 TiO ₂ /su nanoakışkanıyla yapılan çalışma	39
4.4 Ortalama Panel Yüzey Sıcaklıkları Düşüş Değerleri	43
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
5.1 Sonuçlar	48
5.2 Öneriler	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1.1. Dünya genelinde son 10 yılda toplam güneş enerjisi kurulu gücü	2
Şekil 1.2. Türkiye’de 2014-2020 yılları arası güneş enerjisi kurulu gücü	2
Şekil 1.3. Fotovoltaik panellerin katmanları.....	3
Şekil 1.4. Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi.....	4
Şekil 1.5. Fotovoltaik hücrenin yapısı	5
Şekil 1.6. Nanometre ölçeği ile ilgili bazı örnekler	6
Şekil 3.1. Direnç Düzeneği	18
Şekil 3.2. Güneş paneli ve boruların montaj hali.....	19
Şekil 3.3. Su Pompası	19
Şekil 3.4. Dispersiyondan alınacak miktarın hassas teraziyle tartılması	20
Şekil 3.5. Saf suya dispersiyonun eklenmesi	21
Şekil 3.6. Nanoakışkan homojenizasyonu için ultrasonik banyoda karıştırma	21
Şekil 3.7. Hazırlanan Al_2O_3 Nanoakışkanları	22
Şekil 3.8. Hazırlanan TiO_2 Nanoakışkanları.....	22
Şekil 3.9. Deney düzeneği kurulu hâli	23
Şekil 3.10. Deney Düzenekinin Şematik Gösterimi	23
Şekil 3.11. Termokupl termometre	24
Şekil 3.12. Piranometre (Solar metre)	24
Şekil 3.13. Anemometre	25
Şekil 3.14. İnfrared Termometre.....	25
Şekil 4.1. Su ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri.....	27
Şekil 4.2. Al_2O_3 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri	28
Şekil 4.3. Al_2O_3 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri	28
Şekil 4.4. Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri	29
Şekil 4.5. TiO_2 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri	29
Şekil 4.6. TiO_2 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri	30
Şekil 4.7. TiO_2 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri	30
Şekil 4.8. Su ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri	32
Şekil 4.9. Al_2O_3 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri.....	33
Şekil 4.10. Al_2O_3 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri.....	33
Şekil 4.11. Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri	34
Şekil 4.12. TiO_2 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri.....	34
Şekil 4.13. TiO_2 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri	35

Şekil 4.14. TiO_2 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri	35
Şekil 4.15. Su ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri	36
Şekil 4.16. Al_2O_3 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri	37
Şekil 4.17. Al_2O_3 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri	38
Şekil 4.18. Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri	38
Şekil 4.19. TiO_2 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri	39
Şekil 4.20. TiO_2 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri	40
Şekil 4.21. TiO_2 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri	40
Şekil 4.22. Nanoakışkanlara göre ortalama verim artışı	41
Şekil 4.23. Su soğutmalı panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları	43
Şekil 4.24. Al_2O_3 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları	44
Şekil 4.25. Al_2O_3 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları	44
Şekil 4.26. Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları	45
Şekil 4.27. TiO_2 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları	45
Şekil 4.28. TiO_2 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları	46
Şekil 4.29. TiO_2 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Q_e	:Panelden elde edilen güç (W)
V	:Gerilim (V)
I	:Akım (A)
G	:Işınım miktarı (W/m^2)
A	:Alan (m^2)
η_e	:Elektriksel Verim
ρ	:Yoğunluk (kg/m^3)
C_p	:Özgöl ısı (
k	:Isı iletim katsayısı (W/m^2K)
μ	:Dinamik viskozite (kg/ms)
β	:Isı iletiminin sıcaklık katsayısı (1/K)

Kısaltmalar

CPV/T	:Konsantre fotovoltaik termal
FDM	:Faz değıştiren malzeme
GW	:Gigawatt
KW	:Kilowatt
MW	:Megawatt
MWCNT	:Çok duvarlı karbon nanotüp
TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
PV	:Fotovoltaik
PV/T	:Fotovoltaik Termal

1 GİRİŞ

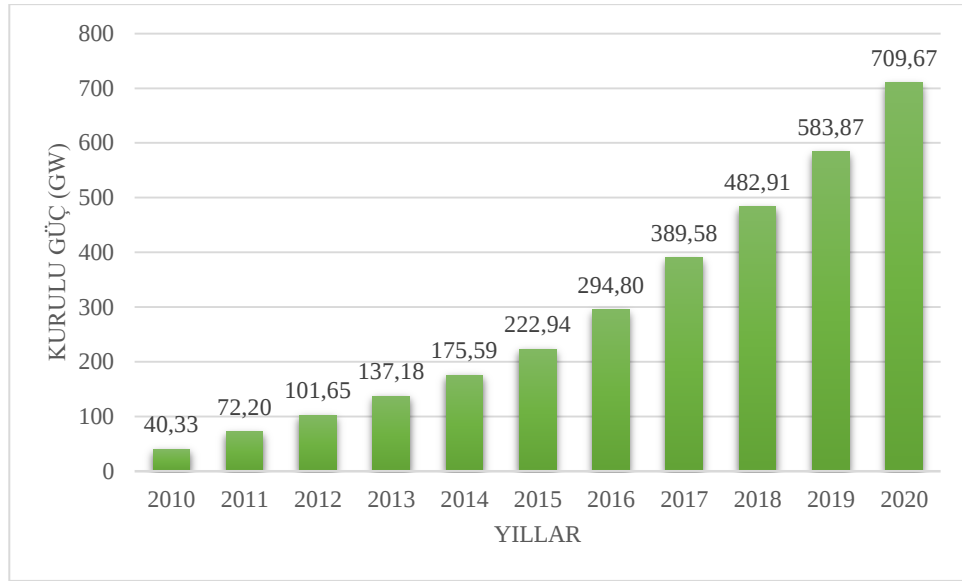
1.1 Güneş Enerjisi

Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Sanayi, gıda, tekstil, aydınlatma ve daha birçok alanda ana girdi olarak enerji ön plana çıkmaktadır. Gerekli olan enerji ihtiyacı son dönemlere kadar fosil yakıtlardan sağlanmaktaydı. Ancak fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve rezervin tükenmek üzere olması, insanları alternatif ve tükenmeyen (yenilenebilir) enerji kaynakları aramaya itmiştir. Bu kaynaklar; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi olarak gösterilebilir. Güneş enerjisi en iyi yenilenebilir enerji kaynağı olarak gösterilebilir çünkü dünya genelinde herkes tarafından kullanılabilir ve sera gazı emisyonu gibi zararlı çevresel etkileri yoktur (Gupta ve Pradhan, 2021).

Tükenmeyen ve bedava bir enerji kaynağı olan güneşten elde edilen güneş enerjisi, ürettiği enerjiyi yeni teknolojilerle insanlığa sunmaktadır. Bu teknolojiler aktif ve pasif olarak ikiye ayrılmaktadır. Pasif güneş teknolojileri, güneş ışığının veya termal enerjinin başka bir forma dönüştürülmeden biriktirilmesini ifade eder. Kışın evlerin ısıtılması buna bir örnek olarak verilebilir. Öte yandan aktif güneş teknolojileri, güneş enerjisini elektrik ve ısıya dönüştürmek için elektrikli ve mekanik donanımına ihtiyaç duyar (Güney, 2022).

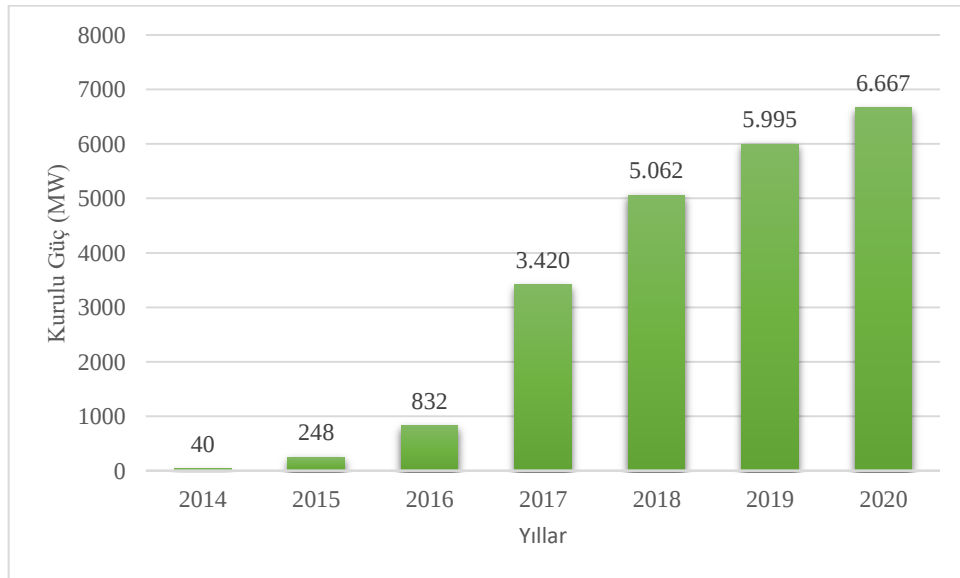
Doğaya verilen zararların önlenmesi nedeniyle ülkelerin elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması insanlık için son derece önemlidir. PV panellerin ürettiği her 1 kW elektrik enerjisi atmosferdeki 0,6 kg CO₂ emisyonunu azaltır. Bu bilgiye dayanarak, kurulan PV sistemleri sayesinde yılda 20.348,7 kg CO₂ salınımının azaldığı hesaplanmıştır (Elibol ve ark., 2017). Santrallerde enerji üretmek için kömür, gaz ve petrolün yakılması sonucu ortaya çıkan CO₂ oranı, tüm CO₂ emisyonlarının yaklaşık %38'ini oluşturmaktadır. Bu oran 2018 yılı için yaklaşık 13 Gt'dir. Ancak tüm dünyada kurulu toplam kapasite dikkate alındığında PV sistemleri çevreye yaklaşık 590 Milyon ton (Mt.) CO₂ salınımını engellemektedir (Coşgun, 2021).

Türkiye'de ve dünyada son yıllarda güneş enerjisine olan rağbet artmıştır. Son 10 yılın verileri incelendiğinde, 2010 yılında henüz kurulu gücü yokken 2020 yılında kurulu gücünü 254.000 MW'a çıkaran Çin şu anda en büyük kurulu güce sahiptir. 2020 verilerine göre ikinci sırada yaklaşık 74.000 MW kurulu güce sahip ABD gelmektedir (Anonim, 2022). Dünya genelinde son 10 yılda toplam güneş enerjisi kurulu gücü Şekil 1.1 de verilmiştir.



Şekil 1.1. Dünya genelinde son 10 yılda toplam güneş enerjisi kurulu gücü (<https://www.irena.org/solar>)

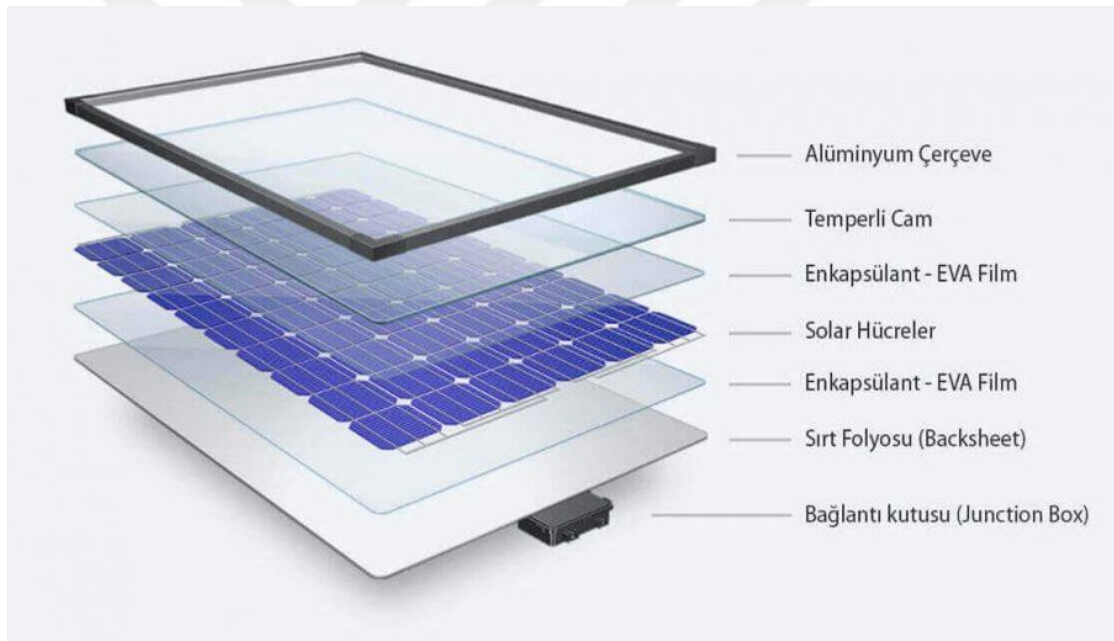
TEİAŞ bilgilerine 2020’de Türkiye’de toplam kurulu güç yaklaşık 96 GW’tır ve kurulu gücün %51,3’ünü yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır (Anonim, 2022). Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında %13,5’lik bir paya sahiptir. Ülkemizde ilk olarak 2014’te toplam 40,2 MW güce sahip güneş santralleri kurulmuştur ve bu değer yıldan yıla artış göstermiştir. 2014-2020 yılları arasındaki güneş enerjisi kurulu gücü Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Türkiye’de 2014-2020 yılları arası güneş enerjisi kurulu gücü (TEİAŞ bilgilerinden faydalanılarak hazırlanmıştır.)

Güneşten elektrik enerjisi üretimini mümkün kılan en yaygın teknolojilerinden biri güneş ışığını kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik (PV) sistemlerdir (Yau ve Lim, 2016).

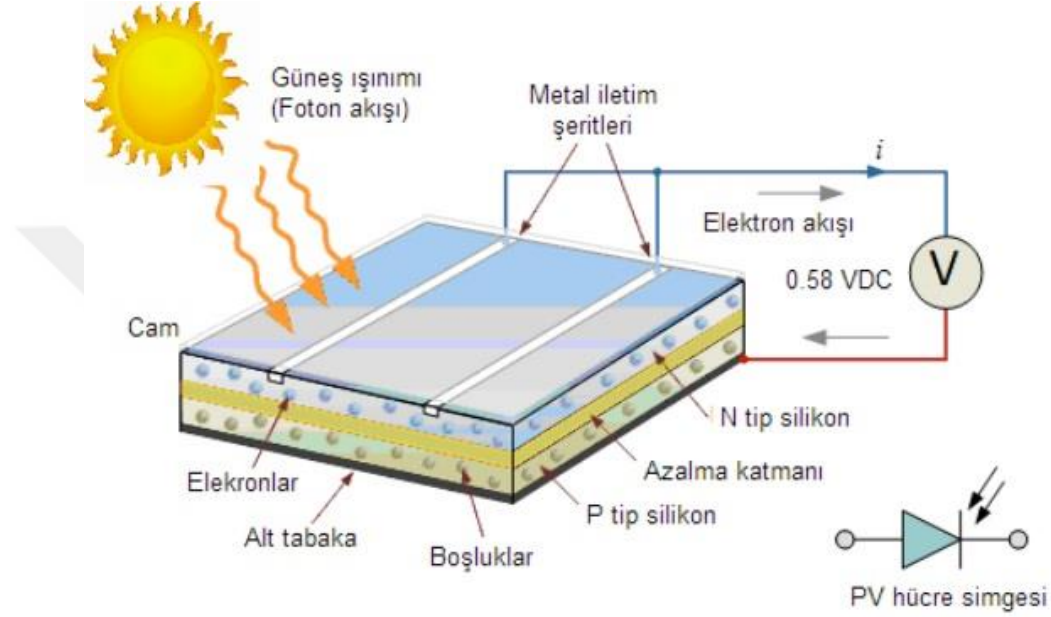
Fotovoltaik (PV) sistemler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren enerji üretim sistemleridir. Yani üzerlerine ışık düştüğünde uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Modülün verdiği enerjinin kaynağı doğrudan güneşten alınan enerjidir. Enerji üreten modüller seri ve paralel bağlanarak istenilen akım, gerilim ve güç değerleri elde edilir. Güneş pilleri kristal silikon, galyum arsenit, amorf silisyum, bakır indiyum diselenid, optik yoğunlaştırıcı hücreler kullanılarak üretilir (Kılıç ve Kekezoğlu, 2021). Şekil 1.3'te fotovoltaik panellerin katmanları (Hassan ve ark., 2020), Şekil 1.4 ve Şekil 1.5'de ise elektrik üretimini mümkün kılan fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi ve yapısı gösterilmiştir (Öztürk, 2017).



Şekil 1.3. Fotovoltaik panellerin katmanları (Hassan ve ark., 2020)

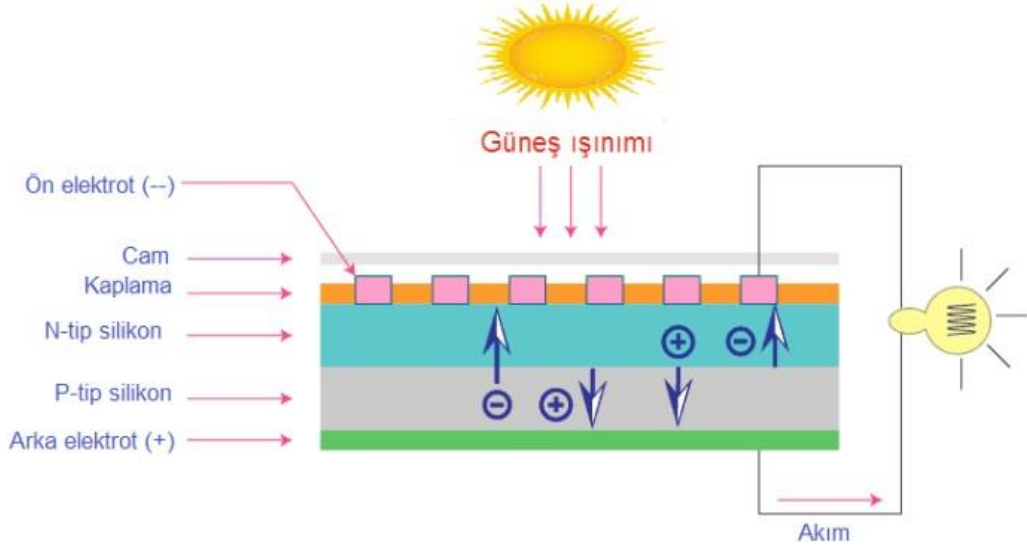
Solar hücreler elektrik üretiminin gerçekleştiği, güneş panellerinin en temel bileşenidir. Eva film güneş hücrelerini bir arada tutma ve kapsülleme görevi gören özel üretim şeffaf bir katmandır. Etilen vinil asetat anlamına gelen EVA tabakası hücrelerin her iki yüzeyinde bulunur ve hücrelerin ömrünü belirlemede kritik rolü olduğu için oldukça dayanıklı aynı zamanda yüksek sıcaklıklara toleranslı olması gerekmektedir. Temperli cam, solar hücrelerin üst yüzeyinde bulunmaktadır ve hücreleri olumsuz hava

şartlarından, dolu ve hava döküntülerinden korumaktadır. Sırt folyosu (Backsheet), hem mekanik koruma hem de elektriksel yalıtım görevi gören en dış katmandır. Alüminyum çerçeve hem hücreleri barındıran laminat bölümün kenarları koruma hem de panellerin istenilen yere monte etme görevi görmektedir. Bağlantı kutusu, panelin arka yüzeyinde bulunan, panelleri birbirine bağlayacak kabloların bağlandığı, hava koşullarına dayanıklı bir muhafazadır.



Şekil 1.4. Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi (Öztürk, 2017)

Güneş ışını yani fotonlar güneş hücresine çarptığında N tipi silikonda bulunan elektronları kopararak hareket etmesini sağlar. Serbest bir şekilde hareket eden elektronlar, P tipi silikon ve N tipi silikonun kesiştiği alandaki, P tipi silikonda bulunan boşlukları doldurarak bir boşaltma bölgesi oluşturur. Bu boşaltma bölgesi silikonlar arasında potansiyel fark oluşturarak serbest dolaşan elektronları boşaltma bölgesinden iterler. Sisteme bağlanan harici devre aracılığıyla itilen elektronlar P tipi silikona doğru hareket ederek elektrik akımı üretmiş olurlar.



Şekil 1.5. Fotovoltaik hücrenin yapısı (Öztürk, 2017)

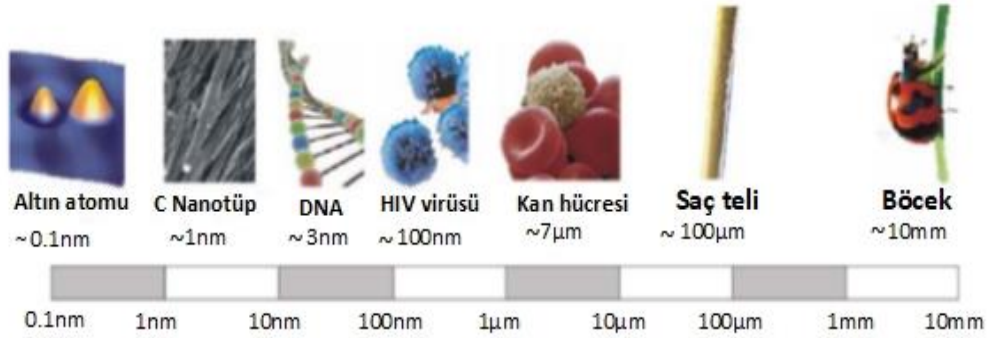
Güneş enerjisinden üretilebilecek iki tür enerji vardır: elektrik enerjisi ve ısı enerjisi. Elektrik enerjisi, gelen güneş ışınımının bir kısmını doğrudan elektriğe dönüştüren PV hücreleri kullanılarak üretilebilir. Güneş ışınımının kalan kısmı, hücrelerin sıcaklığını artıran ve PV modülünün performansını azaltan ısıya dönüştürülür. (Özcan ve ark., 2021).

Sürekli güneşlenme nedeniyle PV panelinin sıcaklığı artar. Araştırmacılara göre, kristal silikon PV hücresinin 1 °C sıcaklığındaki artışla bağlı verimlilik %0,45 düşmektedir (Purwant ve Badadhe, 2021). Bu verim düşüşünü engellemek adına farklı soğutma akışkanları (Su, hava, FDM, nanoakışkan vb.) ve farklı sistemler ile yapılan soğutma çalışmaları kaynak araştırması kısmında verilmiştir. Bunlardan, ısı iletkenliği klasik akışkanlardan (su, yağ, etilen glikol vb.) daha yüksek olan nanoakışkanlar çok fazla tercih edilmektedir. Yapılan çalışmada Al_2O_3 ve TiO_2 nanoakışkanlarla soğutma işlemi farklı hacim fraksiyonlarıyla denenerek PV panellerin verimi arttırılmaya çalışılacaktır.

1.2 Nanoteknoloji ve Nanoakışkanlar

Nanometre (nm), metrenin milyarda bir uzunluğuna eşittir. Yani 1 metre 10^9 nanometredir. Bir insan saçının 80.000 nm genişliğinde veya bir kırmızı kan hücresinin 7000 nm olduğu göz önüne alındığında nanometre ölçeği daha iyi anlaşılacaktır (Sahoo ve ark., 2007). Şekil 1.6’da nanometre ve mikrometre kıyaslaması ile ilgili bazı örnekler verilmiştir (Serrano ve ark., 2009). Nanometre kavramı ilk olarak 1925 yılında Richard Sigmondy tarafından ortaya atıldı. Nanoteknoloji fikri ise 1959 yılında Richard

Feynman'ın Caltech'teki Amerikan Fizik Derneği toplantısında 'Altta Çok Yer Var' başlıklı konferansında ortaya çıkmıştır. Feynman'ın konferansından yaklaşık 15 yıl sonra 1974'te Norio Taniguchi nanoteknoloji terimini literatüre kazandırmıştır (Hulla ve ark., 2015).



Şekil 1.6. Nanometre ölçeği ile ilgili bazı örnekler (Serrano ve ark., 2009)

Nanopartiküller (1-100 nm) ve nanoteknoloji, en başta sağlık bilimi olmak üzere, gıda endüstrisi ve elektrikli araçların batarya malzemeleri gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır (Soylu, 2018). Bunların yanı sıra bazı akışkanların içerisine nanopartikül ilavesiyle akışkanın ısı transfer hızını artırma çalışmaları mevcuttur. Su, etilen glikol ve ısı transfer yağı gibi yaygın akışkanlar enerji üretimi, ısıtma veya soğutma işlemleri, kimyasal işlemler ve mikro elektronik gibi birçok endüstriyel işlemde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu akışkanlar nispeten düşük ısıl iletkenliğe sahiptir ve bu nedenle ısıl mühendislik cihazlarında yüksek ısı transfer hızlarına ulaşamazlar. Bu bariyeri aşmanın bir yolu, termal iletkenliklerini iyileştirmek için sıvılarda asılı kalan ultra ince katı parçacıkları kullanmaktır. Nano boyutlu parçacıkların geleneksel bir baz sıvı içinde süspansiyonuna nanoakışkan denir (Mahian ve ark., 2013).

Bir akışkan içerisine mikro boyutta metal parçacıkların eklenmesiyle ısı transfer hızının artabileceği 1881 yılında Maxwell tarafından öne sürülmüştür. Bu bilgiye dayanarak 1995 yılında Choi ve Eastman tarafından yayımlanan makalede baz akışkan içerisine nano boyutta partikül eklenmesiyle ısı transfer hızının daha da artabileceği belirlenmiş ve nanoakışkan terimi ilk defa kullanılmıştır (Choi ve Eastman, 1995). Sonraki yıllarda nanoakışkan ile ilgili çalışmalar hız kazanmış ve kullanım alanları genişlemiştir. Çizelde 1.1'de bazı baz akışkan ve nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri verilmiştir (Hatami ve Jing, 2020).

Çizelge 1.1. Bazı nanopartikül ve baz akışkanların termofiziksel özellikleri (Hatami ve Jing, 2020)

Malzeme	ρ (kg m ⁻³)	C_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	k (W m ⁻¹ K ⁻¹)	μ (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	β (K ⁻¹) x 10 ⁻⁶
Su	997,1	4179	0,613	0,0010003	210
Etilen Glikol	1076	2664	0,261	0,003036	
CuO	6320	531,8	76,5	-	18
Al ₂ O ₃	3970	765	40	-	8,5
TiO ₂	4250	686,2	8,9538	-	9
Fe ₃ O ₄	5200	670	6	-	
Cu	8933	385	401	-	16,7
Ag	10500	235	429	-	18,9

Genel olarak nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinden bahsedilememektedir. Çünkü baz akışkan içerisindeki nanopartikül oranı, partikül boyutları ve partiküllerin geometrik şekli akışkan özelliklerini tamamen değiştirmektedir.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 PV/T Sistemlerde Nanoakışkan Kullanılarak Yapılan Soğutma Çalışmaları

Sardarabadi ve ark. (2014) PV/T paneli saf suyla ve ağırlıkça %1 ve %3 oranında partikül içeren SiO_2/su nanoakışkanıyla soğutup verim farklarını karşılaştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, çalışma sıvısı olarak %1 SiO_2/su ve %3 SiO_2/su nanoakışkanları kullanımının saf suya oranla sırasıyla %3,6 ve %7,9 oranında elektriksel verimi arttırdığı belirlenmiştir. Kolektördeki termal verimi ise saf suya kıyaslandığında %1 SiO_2/su kullanıldığında %7,6, %3 SiO_2/su kullanıldığında ise %12,8 arttırdığı gözlemlenmiştir.

Xu ve Kleinstreuer (2014), konsantre fotovoltaik termal sistem (CPV/T) üzerinde yaptıkları çalışmada iş akışkanı olarak nanoakışkan kullanımının verimi %70 düzeylerinde arttırdığını gözlemlemişlerdir. Nanoakışkan kullanımı maliyeti arttırsa da elde edilen verimin nanoakışkan maliyetini karşıladığını ve uzun vadede nanoakışkanın suya oranla çok daha verimli bir çalışma akışkanı olduğunu belirtmişlerdir.

Hussein ve ark. (2015) farklı konsantrasyonlarda nanoakışkan ile PV/T paneli soğutup yoğunluk farkının sonuçlarını gözlemlemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada 5 farklı yoğunlukta (%0,1, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı 0,2 l/s debide sirküle edilmiştir. Çalışma sonucunda en fazla panel sıcaklık düşüşü sağlayan ve elektriksel verim artışı sağlayan değer %0,3 olduğu görülmüştür. %0,3 nanopartikül içeren nanoakışkan kullanıldığında panel sıcaklığı 79,1 °C'den 42,2 °C'ye düşmüştür. Ayrıca elektriksel verim %12,1, termal verim ise %34,4 değerlerine yükselmiştir.

Sardarabadi ve Passandideh-Fard (2016) hem deneysel hem de nümerik olarak yaptıkları çalışmada PV/T sistemi deiyonize su ve metal oksit (Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO)/deiyonize su nanoakışkanlarıyla soğutmaya çalışmışlardır. Kütlece %0,2 oranında nanopartikül içeren akışkanlar 0,5 kg/dk debiyle sirküle edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde klasik PV panele kıyasla PV/T sistemin elektrik verimliliğindeki ortalama artış, deiyonize su, Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO için sırasıyla %5,48, %6,36, %6,54 ve %6,46 şeklinde gerçekleşmiştir.

Rejeb ve ark. (2016) yaptıkları geniş çaplı bir çalışmada, 3 farklı şehirde (Lyon, Munastır, Meşhed), 2 farklı baz akışkan kullanarak (su, etilen glikol), ağırlıkça farklı oranlarda (%0,1, %0,2, %0,4) 2 nanoakışkan (Al_2O_3 , Cu) ile soğutma çalışması yapıp bu parametreleri kıyaslamışlardır. Yapılan deneysel çalışmalara göre baz akışkan olarak su kullanımının etilen glikole oranla çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra nanoakışkan yoğunluğunun artması ısı transferini de arttırdığı

saptanmıştır. Yüksek termal iletkenlikten dolayı Cu/su nanoakışkanı Al_2O_3 /su nanoakışkanına oranla daha yüksek termal ve elektriksel verim sağlamıştır. Şehirler arası yapılan kıyaslama da ise en yüksek termal ve elektriksel verim Munastır'da gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak yıllık ortalama radyasyon miktarının diğer iki şehre kıyasla daha yüksek olduğu düşünülmüştür.

Radwan ve ark. (2016) yaptıkları simülasyon çalışmasında farklı yoğunluklardaki iki farklı nanoakışkanın PV panel sıcaklığına etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları analizler sonucunda nanoakışkan içerisindeki nanopartikül oranının artması, panel sıcaklığını düşürme anlamında daha başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca kullanılan akışkanlardan SiC/su nanoakışkanı, Al_2O_3 /su nanoakışkanından daha verimli olduğu anlaşılmıştır.

Al-Shamani ve ark. (2016) iş akışkanı olarak su, SiO_2 /su, TiO_2 /su ve SiC/su nanoakışkanı kullanarak PV/T paneli soğutma çalışması yapmışlardır. İş akışkanı farklı debilerde sirküle edilerek debi farkının soğutma performansı üzerinde etkileri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda debi artışının panel sıcaklığını daha fazla düşürdüğü gözlemlenmiştir. Örnek olarak SiO_2 /su nanoakışkanıyla gerçekleştirilen deneyde debi 0,068 kg/s olduğunda panel sıcaklığı 58,95 °C iken debi 0,170 kg/s'ye çıkarıldığında panel sıcaklığı 48,95 °C değerine düşmektedir. Bunun yanı sıra nanoakışkanlar arası yapılan kıyaslamada SiC nanoakışkanının diğer akışkanlara göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Su, SiO_2 /su, TiO_2 /su ve SiC/su akışkanlarıyla, debi 0,170 kg/s olarak ayarlanarak yapılan deneyler sonucunda elektriksel verim sırasıyla %9,608, %10,30, %10,97 ve %13,52 seviyelerinde olduğu görülmüştür.

Al-Waeli ve ark. (2017) yaptıkları deneysel çalışmada, nanoakışkan kullanılan PV/T sistem ile PV sistemi karşılaştırmışlardır. Ağırlıkça %3 SiC nanoakışkanı kullanılarak soğutulan PV/T panelde PV panele oranla %24 daha fazla elektriksel verim elde edilmiştir. Bunun yanında su ile soğutulan PV/T sisteme oranla nanoakışkan ile soğutulan PV/T sistemde %100,19 oranında ısı transferin arttığı gözlemlenmiştir.

Al-Waeli ve ark. (2017) laboratuvar ortamında bir deney düzeneği hazırlayarak PV/T paneli soğutmada hangi akışkanın daha verimli olduğunu ve akışkan içerisindeki nanopartikül miktarının optimum değerini bulmaya çalışmışlardır. Seçilen 3 farklı nanopartikül (Al_2O_3 , CuO, SiC) baz akışkan su olacak şekilde 5 farklı hacimsel oranda (%0,5, 1, 2, 3 ve 4) hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda hacimsel olarak nanopartikül oranının artması nanoakışkanın ısı iletkenliğini arttırdığı görülmüştür.

Bundan dolayı en iyi performansı %4 oranında hazırlanan nanoakışkan vermiştir. 1000 W/m² radyasyon şartlarında su, Al₂O₃, CuO, ve SiC nanoakışkanları kullanılan sistemde elektriksel verim sırasıyla %8,8, %9,2, %9,6 ve %10,2 olarak hesaplanmıştır.

Lari ve Sahin (2017) PV/T panellerde soğutma akışkanı olarak su ve %0,5 oranında nanopartikül içeren Ag/su nanoakışkanı kullanımının etkilerini analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar ağustos ve şubat ayları koşullarında tekrar edilmiştir. Debi 0,026 kg/s olarak ayarlanarak suyla yapılan soğutma çalışmalarında, ağustos ayında panel sıcaklığı ortalama 17 °C, şubat ayında ise ortalama 5°C düşmüştür. Ag/su nanoakışkanı ile yapılan çalışmalar sonucunda panel sıcaklığı ağustos ayında 19 °C, şubat ayında ise 6,3 °C düşmüştür. Ayrıca nanoakışkan ile yapılan çalışmada su ile yapılan çalışmaya oranla %18 daha fazla termal verim elde edilmiştir.

Hasan ve ark. (2017) PV/T panelin arkasına 36 adet nozul yerleştirerek yüksek hızda akışkan püskürtme yöntemiyle panel soğutma çalışması yapmışlardır. İş akışkanı olarak ağırlıkça %1 partikül içeren su bazlı SiC, TiO₂ ve SiO₂ nanoakışkanları kullanılmıştır ve akışkan debisi 0 ile 0,166 kg/s arasında değiştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en olumlu sonucu SiC/su nanoakışkanı vermiştir. 1000 W/m² radyasyon koşulları altında panel sıcaklığı 87 °C iken 0,166 kg/s debide SiC/su nanoakışkanıyla yapılan soğutma sonrası panel sıcaklığı 41 °C'ye düşmüştür. TiO₂/su nanoakışkanının kullanımı 45 °C, SiO₂/su nanoakışkanı kullanımı ise panel sıcaklığını 50 °C'ye düşürmüştür. Saf su kullanımında ise bu değer 57 °C seviyelerindedir. Elektriksel verim ise konvansiyonel PV panelde %8 seviyelerindeyken saf su, SiO₂/su, TiO₂/su ve SiC/su akışkanları kullanılarak soğutulan panelde sırasıyla %11,3, %11,8, %12,3 ve %12,8 seviyelerinde olduğu görülmüştür.

Sardarabadi ve ark. (2017) PV/T ve PVT/FDM sistemlerde soğutma amacıyla deiyonize su ve ağırlıkça %0,2 partikül içeren ZnO nanoakışkanın kullanımının etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda soğutucu akışkan kullanımının (su veya nanoakışkan) panel yüzey sıcaklığını ortalama 10 °C düşürdüğü, FDM içeren sistemde ise bu değer 16 °C'ye çıktığı görülmüştür. Ayrıca FDM/nanoakışkan tabanlı sistemde elektriksel verimin %13 arttığı gözlemlenmiştir. FDM/deiyonize su bazlı sistemde termal enerji çıktısı, FDM içermeyen sisteme oranla %42 artmıştır. Bu değer FDM/nanoakışkan içeren sistemde ise %48'e çıkmıştır.

Nasrin ve ark. (2018) laboratuvar ortamında hazırladıkları düzenekte MWCNT/su nanoakışkanıyla PV/T paneli soğutmaya çalışmışlardır. Ortam sıcaklığı 25 °C, akışkan giriş sıcaklığı 32 °C ve akışkan debisi 0,5 L/dk olarak sabitlenerek, radyasyon değeri ise

200 W/m² ile 1000 W/m² arasında değiştirilerek yapılan çalışma aynı zamanda COMSOL yazılımıyla analiz edilerek gerçek ve simülasyon arasındaki fark araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kütlece %1 oranında MWCNT içeren nanoakışkan, her 100 W/m² radyasyon artışında, panel elektrik gücünü deneysel çalışmada 17,48 W, simülasyon çalışmasında ise 17,66 W arttırdığı görülmüştür. Ayrıca su soğutmalı sisteme göre elektriksel verim %3,67 termal verim ise %0,14 oranında arttığı kaydedilmiştir. MWCNT/su nanoakışkanı kullanılan PV/T panelin genel verimliliği ise deneysel sonuçlara göre %4,11, simülasyon sonuçlarına göre ise %3,81 arttığı hesaplanmıştır.

Ömeroğlu (2018), laboratuvar ortamında hazırladığı deney düzeneğinde, sabit 900 W/m² seviyesinde radyasyon koşullarında, PV/T panelin arka yüzeyinde kontrol hacmi oluşturmuş ve kontrol hacmine kanatçık ekleyerek hava ile soğutma çalışması yapmıştır. Hazırlanan sistem aynı zamanda CFD analiziyle çözümlenmiş, reel ile simülasyon çalışmaları kıyaslanmıştır. Hazırlanan deney düzeneğinde kanatçıksız, 54 adet ve 108 adet kanatçık ve hava hızı 3,4,5 m/s olmak üzere 9 farklı durum kıyaslanmıştır ve kanatçıklar ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır malzemeden seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kanatçıksız panelde elektriksel verim %8 iken 58 kanatçıklı panelde %10,7, 108 adet kanatçık eklenen panelde ise %11 olarak hesaplanmıştır. Hızlar arasında yapılan mukayesede en iyi sonuç sırasıyla 5,4,3 m/s olarak belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak kanatçık sayısını ve hava akış hızını arttırmanın yüzeyden çekilen ısıyı ve buna bağlı olarak elektriksel verimi arttırdığını sonucuna ulaşılmıştır.

Abadeh ve ark. (2018), ağırlıkça %0,2 partikül içeren nanoakışkan kullanarak PV/T paneli soğutup verim ve maliyet analizi yapmışlardır. Deneysel olarak yapılan çalışmada saf su, Al₂O₃/su, TiO₂/su ve ZnO/su nanoakışkanı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en olumlu sonucu ZnO/su nanoakışkanı vermiştir ve konvansiyonel PV panelle kıyaslandığında %7; saf suyla soğutulan PV/T panele kıyasla ise %2 daha fazla enerji çıkışı gerçekleşmiştir. Yapılan maliyet analizinde ise 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bunlar; 1) Teşviksiz %10 yıllık fiyat artışı, 2) Teşviksiz doğrusal artan fiyat, 3) %10 yıllık fiyat artışı, %50 teşvik, 4) Lineer fiyat artışı, %50 teşvik ve 5) Lineer fiyat artışı, %75 teşvik şeklinde düşünülmüştür. Bu senaryolara göre 5. senaryo en verimli olandır ve amortisman süresi yaklaşık 2,5 yıl olarak hesaplanmıştır.

Al-Waeli ve ark. (2019) ısı iletimini arttırmak amacıyla FDM (Parafin) içine nanopartikül (SiC) ekleyerek PV/T panel soğutma çalışması yapmışlardır. Ağırlıkça

%0,1 nanopartikül FDM içerisine eklenmiş ve akış debisi 0,175 kg/s olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada nanopartikül-FDM kullanımı, konvansiyonel PV panele oranla elektriksel verimi %6,6 oranında arttırmıştır. Ayrıca maliyet analizi yapılan çalışmada geri ödeme periyodu 5-6 yıl olarak hesaplanmıştır.

Lee ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, çalışma akışkanı su olan bir PV/T sisteminde su debisinin değişiminin elektriksel ve termal verime olan etkisini ve çalışma akışkanı olarak su yerine ısıl iletkenliği daha fazla olan nanoakışkan kullanımının termal ve elektriksel verime olan etkilerini araştırmışlardır. Deney, 10 adet monokristal silikon hücrenin seri bağlanması ve ısı kaybını azaltmak için ön yüzeyin cam kapak tarafından kapatılması şeklinde yapılmıştır. PV panelin arka yüzeyine akışkanın dolaşacağı bakır borular yerleştirilmiştir. Çalışma akışkanı su seçilerek 1,2,3 ve 4 l/dk debilerinde soğutma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elektriksel verimde kayda değer bir fark olmadığı, termal anlamda en verimli sistemin 3 l/dk debi ile çalışan sistem olduğu gözlemlenmiştir. Termal verim değerleri sırasıyla; %8,82, %19,79, %23,59 ve %18,56 şeklindedir. Bunun nedeni olarak 3 l/dk'nın üzerindeki bir akış hızının, çalışma sıvısının emici tüpte yani bakır boruda kalma süresini kısalttığı ve bu nedenle yeterli güneş enerjisi elde edemediği tahmin edilmektedir. En iyi performans gösteren çalışma şartları belirlendikten sonra çalışma sıvısı olarak su yerine nanoakışkan kullanarak belirlenen şartlarda deney tekrar edilmiştir. Nanoakışkan olarak ağırlıkça %0,05, su bazlı CuO ve Al₂O₃ kullanılmıştır. Nanoakışkan ile yapılan deneyler sonucunda termal verim CuO/su için %48,88, Al₂O₃/su için ise %46,95, elektriksel verimde ise dikkate değer bir fark gözlemlenmemiştir.

Rajaei ve ark. (2020) PV/T-TEG sistem üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada altı farklı soğutma uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Birinci senaryoda saf su, %0,25, %0,5 ve %1 hacimsel oranda nanopartikül içeren Co₃O₄/su nanoakışkanı ile soğutma çalışması yapılmıştır. İkinci senaryoda ise %1 Co₃O₄/su-FDM (parafin), %1 Co₃O₄/su-geliştirilmiş FDM (parafin+Al₂O₃ tozu) içeren sistem sonuçları irdelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, maksimum elektrik çıkış gücünü %1 Co₃O₄/su-geliştirilmiş FDM vermiştir. %1 nanoakışkan/FDM içeren sistem, su ile soğutma çalışmasına kıyasla elektriksel verimde %14,99 artış sağlanmıştır. Faz değiştiren malzemeye Al₂O₃ tozu eklemek, eklenmemiş haline oranla %4,52 daha fazla elektrik gücü sağlamıştır. Bunun yanı sıra %0,25, %0,5, ve %1 yoğunluktaki nanoakışkanlarıyla yapılan soğutma çalışmasında sırasıyla %13,67, %14 ve %14,25 elektriksel verim artışı olmuştur. Termal verimde ise kayda değer bir fark görülmemiştir.

Karaaslan (2020), analiz yöntemiyle PV/T paneli nanoakışkan ile soğutma çalışması yapmıştır. Çalışma kapsamında CuO/su nanoakışkanın içerisine Fe parçaları ilave edilerek hibrit CuO-Fe/su nanoakışkanı oluşturulmuş ve hibrit nanoakışkan kullanımının tek fazlı nanoakışkana ve baz akışkana oranla elektriksel ve ısı verimi kıyaslanmıştır. Çalışmada sabit 1000W/m^2 ısı akısı ve nanoakışkan yoğunluğu hacimce %2 olarak belirlenmiştir. CFD simülasyonunda yapılan çalışmalar sonucunda, hibrit nanoakışkan tek fazlı nanoakışkana oranla %2, baz akışkana oranla ise %5,4 daha fazla ısı verim sağlanmıştır. Elektriksel verimde ise tek fazlı nanoakışkana oranla %1,32, baz akışkana oranla %2,14 seviyesinde artış sağlanmış ve bununla beraber hibrit nanoakışkan kullanımının basınç düşüşünü arttırdığı belirlenmiştir.

Naghdbishi ve ark. (2020) güneş panelini hem nanoakışkan ile aktif soğutma hem de FDM ile pasif soğutma çalışması yapmışlardır. Soğutma yapılan PV/T paneli, klasik PV panelle kıyaslayarak soğutma etkisini incelemişlerdir. Aktif soğutma çevriminde MWCNT, pasif soğutmada faz değiştiren malzeme olarak parafin kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, soğutma yapılan PV/T-FDM panelde, klasik PV panelle oranla %16 ile %21 derecelerinde panel yüzey sıcaklığı düşüşü yaşanmıştır. Saf suyla yapılan soğutma çalışmasıyla kıyaslandığında %0,2 ve %0,1 MWCNT içeren nanoakışkan sırasıyla %3,08 ve %2,5 daha fazla elektrik çıkış gücü sağlamıştır. Klasik PV panel ile kıyaslandığında PV/T-FDM panelde maksimum elektrik enerjisi çıktısı %0,2 MWCNT içeren durumda gerçekleşmiştir ki bu değer %9,72 düzeylerindedir.

Singh ve ark. (2021) yaptıkları deneysel çalışmada PV/T paneli 3 farklı yöntemle soğutmaya çalışmışlardır. Su, hava ve FDM kullanılan çalışma iki farklı iklim koşullarında yapılmıştır. FDM olarak parafin kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda FDM bazlı panelin havaya oranla %14,85, suya göre ise %23,08 daha fazla elektriksel verim sağladığı görülmüştür.

Karaaslan ve Menlik (2021) PV/T sistemlerde farklı çalışma sıvıları kullanımının sistem performansı üzerinde etkilerini analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma sıvısı olarak saf su, hacimsel oranda %2 partikül içeren CuO/su ve CuO+Fe/su nanoakışkanları kullanılmıştır. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda hibrit nanoakışkanın (CuO+Fe/su), tek fazlı nanoakışkana (CuO) ve saf suya oranla sırasıyla %2 ve %5,4 daha fazla termal verim elde edildiği görülmüştür. Elektriksel verim ise saf suda %11,36, CuO/su için %11,51, CuO+Fe/su için ise %11,60 değerlerinde olduğu görülmüştür.

Sangeetha ve ark. (2021), hacimce %0,3 oranda 3 farklı nanoakışkan kullanarak PV/T paneli soğutmaya çalışmışlardır. MWCNT, Al_2O_3 , TiO_2 kullanılarak yapılan çalışma, akış hızları değiştirilerek, debinin PV/T panel yüzey sıcaklığı ve termal verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda MWCNT %47, Al_2O_3 %33 ve TiO_2 nanoakışkanı ise %27 elektriksel verimde artış sağlamıştır. Ayrıca panel yüzey sıcaklıkları göz önüne alındığında MWCNT, Al_2O_3 , TiO_2 sırasıyla %48, %37, %36 oranında sıcaklığı düşürmüşlerdir. Ayrıca iş akışkanının debisinin verimlilik açısından çok önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Kütlesel debinin 0,08 kg/s'den 0,20 kg/s'ye çıkarılması durumunda sistemin verimliliği su ile karşılaştırıldığında MWCNT, Al_2O_3 ve TiO_2 için sırasıyla %60, %64 ve %68 oranında iyileştirildiği görülmüştür.

Sohani ve ark. (2021) PV/T paneli farklı akışkanlar kullanarak soğutmuş ve klasik PV panel ile kıyaslama yapmıştır. Soğutma akışkanı olarak saf su, ağırlıkça %0,2 partikül içeren ZnO/su, TiO_2 /su ve Al_2O_3 /su nanoakışkanları kullanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre klasik PV panelde %13,54 elektriksel verim elde edilirken; saf su, Al_2O_3 /su, TiO_2 /su ve ZnO/su ile soğutulan PV/T panelde sırasıyla %14,27, %14,34, %14,56 ve %14,65 elektriksel verim elde edilmiştir. Çalışmanın termal verimi incelendiğinde de ZnO/su nanoakışkanının en verimli sonuçları sağladığı görülmüştür. Çalışmada aynı zamanda maliyet analizi yapılmış olup, ZnO/su nanoakışkanı için yapılan maliyete göre sistemin amortisman süresi 5,12 yıl olarak hesaplanmıştır.

Venkatesh ve ark. (2022) 13 W gücündeki güneş panelini GnP (Grafen)/su nanoakışkanıyla soğutmaya çalışmışlardır. %0,3 hacimsel yoğunlukta ve 3 farklı debi değerlerinde sistem çalıştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda debi 0,075 kg/s iken panel çıkış gücü 7 W'tan 10 W değerine çıktığı; panel sıcaklığı ise 60 °C'den 43 °C'ye düştüğü görülmüştür. Debi 0,065 kg/s değerinden 0,085 kg/s'ye çıkarıldığında ise panel çıkış gücü 8 W'tan 11 W değerlerine çıkmıştır.

2.2 PV Sistemlerde Farklı Yöntemlerle Yapılan Soğutma Çalışmaları

Moharram ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada PV panelin üst yüzüne su püskürtme yöntemiyle paneli soğutmaya çalışmışlardır. Çalışmanın amacı soğutma için gerekli olan enerji ve su ihtiyacını minimize etmektir. Yapılan çalışmada panel yüzey sıcaklığının 45 °C iken soğutmaya başlanması gerektiği görülmüştür.

Tham ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada 5 W gücündeki PV paneli ön ve arka taraftan eşzamanlı olarak su ile soğutmaya çalışmışlardır. Havanın açık olduğu günlerde elektriksel verimin %10-22 arasında arttığı görülürken bulutlu günlerde ise %3-20

arasında azaldığı görülmüştür. Bulutlu günlerde elektriksel verimin azalma nedeni olarak bulutların maskeleye yapmasından kaynaklı yanlış veri ölçümleri olduğunu düşünmüşlerdir.

Baloch ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, PV panele yakınsayan bir kanal tasarlayarak, PV paneli su ile soğutma çalışması yapmışlardır. Haziran ayında panel sıcaklığı soğutma öncesi 71,2 °C iken soğutma sonrası panel sıcaklığı 45,1 °C'ye düşmüştür. Aralık ayında tekrar edilen deneyde soğutmasız panel sıcaklığı 48,3 °C iken soğutmalı panel sıcaklığı ise 36,4 °C seviyelerinde olduğu belirlenmiştir. Panel güç çıkışı ise haziran ayında %35,5; aralık ayında %26,1 arttığı gözlemlenmiştir.

Nizetić ve ark. (2016), PV panelin hem ön hem de arka yüzeyine eşzamanlı olarak su püskürtme yöntemiyle soğutma çalışması yapmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda elektrik çıkış gücünün %16,3, panel elektriksel verimin de %14,1 oranında arttığı görülmüştür.

Altınışik (2016) yaptığı çalışmada 2 farklı ortam koşulları için, su püskürtme yöntemiyle soğutma çalışması yapmıştır. Eylül ayında, ortam sıcaklığı 33 °C ve radyasyon düzeyi $E = 1000 \text{ W/m}^2$ iken 20 l/dk debide panelin ön yüzeyine 13 dakika boyunca su püskürtülmüştür. Soğutma işlemi öncesinde panel yüzey sıcaklığı 51°C iken soğutma sonrasında yüzey sıcaklığı 26 °C'ye düşmüştür. Aynı zamanda PV panelden çekilen güç %24 oranında artmıştır. Aynı çalışma Kasım ayında, ortam sıcaklığı 22 °C, radyasyon değeri $E = 700 \text{ W/m}^2$, akış hızı 20 l/dk şartlarında tekrar edilmiştir. 10 dakika süren su püskürtme işlemi sonucunda panel sıcaklığı 43,8 °C'den 25 °C'ye düşmüştür. Panelden çekilen güç ise yaklaşık %11,5 oranında artmıştır.

Kasaeian ve ark. (2017) 5 gün boyunca yaptıkları deney çalışmasında doğal taşınım, hava, su, SiO_2/su nanoakışkanı ve $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı ile PV paneli soğutmuş, bu 5 farklı soğutma yöntemini kıyaslamıştır. Doğal taşınımda herhangi bir işlem yapılmamış, hava ile soğutma çalışmasında fan kullanılmış; su, SiO_2/su ve $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ ile yapılan soğutmada akışkan sirkülasyonunu sağlamak için pompa ve bakır boru kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sıvı soğutmalı sistemlerin hava soğutmalı sistemlere nazaran daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Sıvı soğutmalı sistemlerde ağırlıkça %0,5 oranında hazırlanan SiO_2/su ve $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanları saf suya göre ortalama %5,7 daha fazla güç ürettiği ortaya konmuştur. Nanoakışkanlar arasında da SiO_2/su akışkanı $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{su}$ akışkanına göre %0,971 daha fazla güç ürettiği belirlenmiştir.

Kızıllan (2017), yaptığı çalışmada panelin arka yüzeyini polikarbon yalıtkan malzeme ile kapatıp içinden su geçirerek panel yüzey sıcaklığını düşürmeye çalışmıştır.

Bu çalışma sonucunda, su filmi ile soğutmanın elektriksel verimi %10-15 arasında arttırdığı görülmüştür.

Fernandes ve ark. (2018), PV panelin üst yüzeyine su püskürtme yöntemi ile soğutma çalışması yapmıştır. Yapılan deneyler neticesinde soğutulan panelde, soğutma yapılmayan panele göre %15 güç artışı olduğu görülmüştür.

Zilli ve ark. (2018) yüksek ve düşük radyasyon değerlerinde yine su püskürtme yöntemiyle panel soğutma çalışması yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek güneş ışıınımı şartlarında %12,17 düşük güneş ışıınımı şartlarında ise %9,09 verim artışı gözlemlenmiştir.

Ebaid ve ark. (2018) farklı yoğunluklarda ve farklı debilerde nanoakışkan kullanarak debi ve yoğunluk farkının panel soğutma performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Al_2O_3 ve TiO_2 nanoakışkanları kullanılarak yapılan çalışmada 3 farklı yoğunluk (%0,1, %0,05, %0,01) ve 6 Farklı debi (0,5, 1, 2, 3, 4, 5 lt/dk) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda her iki akışkan için de yoğunluk %0,1 iken panel sıcaklığındaki maksimum düşüş 5lt/dk debide meydana gelmiştir. Ancak yoğunluk %0,01 ve %0,05 iken maksimum sıcaklık düşüşü 2 lt/dk debide gerçekleşmiştir. Maksimum sıcaklık düşüşü %0,1 oranında nanopartikül içeren Al_2O_3 nanoakışkanında 5 lt/dk debide 18 °C olarak gerçekleşmiştir. Aynı şartlarda %0,1 TiO_2 nanoakışkanında ise sıcaklık düşüşü 16,8 °C seviyelerinde olmuştur.

Kerem ve ark. (2020), PV panelin üst kısmına homojen bir şekilde su dağıtabilecek bir boru sistemi tasarlamışlardır. 5 gün boyunca yapılan çalışmalar sonucunda panelin elektriksel veriminde %14,47 artış olduğu görülmüştür.

Özcan ve ark. (2021) yaptıkları simülasyon çalışmasında PV panelin arka yüzeyine kanatçıklı hava kanalları monte ederek hava sirkülasyonu yöntemiyle paneli soğutmaya çalışmışlardır. MATLAB ve PV Sol yazılımları kullanılarak yıllık sıcaklık ve radyasyon verileri kullanılarak bir yıl boyunca saatlik elektrik üretimi, PV verimliliği ve hücre sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Soğutmasız durum için maksimum hücre sıcaklığı, saatlik hesaplamalar sonucunda 21 Temmuz saat 13.00'de 57.91 °C olarak belirlenmiştir. Düz ve Kavisli olmak üzere 2 farklı geometrideki hava kanalları için ANSYS Fluent programında modelleme ve analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kavisli hava kanallarının, düz hava kanallarından daha iyi soğutma sağladığı ve panel yüzey sıcaklığını 57.91 °C'den 36.33 °C'ye düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Shalaby ve ark. (2022) yaptıkları deneysel çalışmada, 1,5 inç (0,0381 m) çapındaki 15 adet yarım daire kesitli PVC tüpü PV panelin arkasına monte ederek, 0,15 kg/s

debide su sirkülasyonu ile soğutmaya çalışmışlardır. 250 W gücündeki paneller üzerinde yapılan deneyler sonucunda soğutma işleminin, güç üretimini %14,1 oranında arttırdığı görülmüştür. Aynı zamanda soğutma olmaksızın çalışan PV panelde elektriksel verim %17,4 civarındayken, soğutma yapılan özdeş panelde bu değer %19,8'e çıkmıştır.



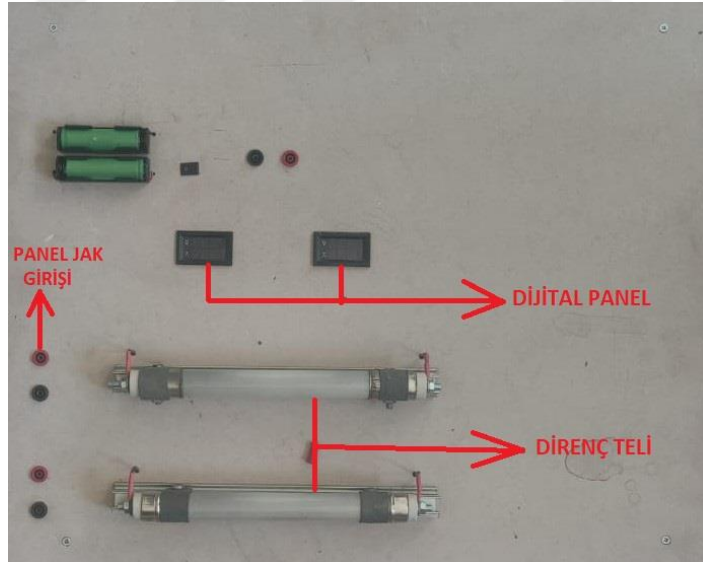
3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Deney Düzeneği

Bu tez çalışmasında 50 W gücünde 2 adet özdeş güneş paneli kullanılmıştır. Panel özellikleri çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Test sırasında bir panel soğutulma işlemine tabi tutulurken diğer panel soğutulmadan çalıştırılmıştır. Böylelikle aynı şartlar altında soğutma etkisinin net olarak incelenilebilmesi planlanmıştır. Panellerden çıkan akım ve gerilim değerleri hazırlanan direnç düzeneğiyle (Şekil 3.1) ölçülmüştür.

Çizelge 3.1. Güneş paneli teknik özellikleri

Türü	Açıklama
Model	SP-50M
Maksimum Güç (P_{max})	50 W _p (+/- %5)
Maksimum Voltaj (V_{mp})	20.70 V
Maksimum Akım (I_{mp})	2.42 A
Açık devre voltajı (V_{oc})	23.80 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	2.54 A
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V
Ağırlık	3,8 kg
Boyutlar	670x430x30



Şekil 3.1. Direnç Düzeneği

Soğutma işlemi panel arka yüzeyine 3 mm çapında boru döşenerek gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Boru, ısı transferini arttırmak amacıyla ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır malzemeden seçilmiştir. Panel ve boruların montaj hali şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş paneli ve boruların montaj hali

Akışkan sirkülasyonunu sağlamak amacıyla Sarkch Marka QB60 model su pompası kullanılmıştır. Pompa görseli Şekil 3.3'te, teknik özellikleri çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Su Pompası

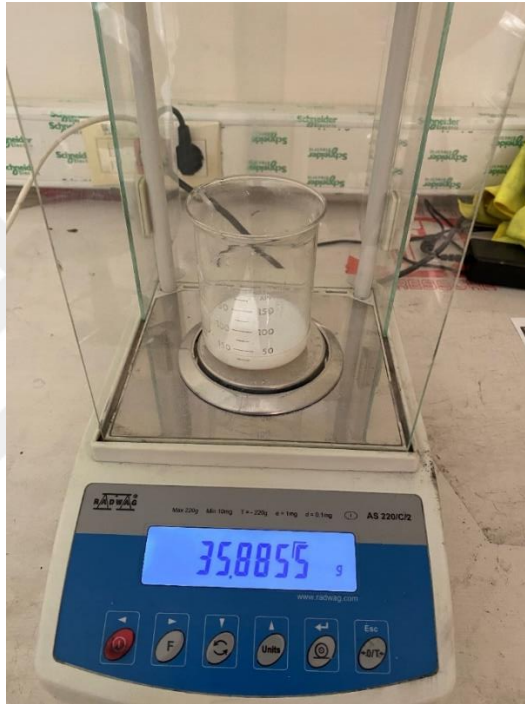
Çizelge 3.2. Pompa teknik özellikleri

Türü	Açıklama
Marka	Sarkch
Model	QB60
Güç	0,37 kW–0,5 HP
Maksimum Debi	27 l/dk
Maksimum Basma Yüksekliği	16 m
Devir	2900 dk ⁻¹

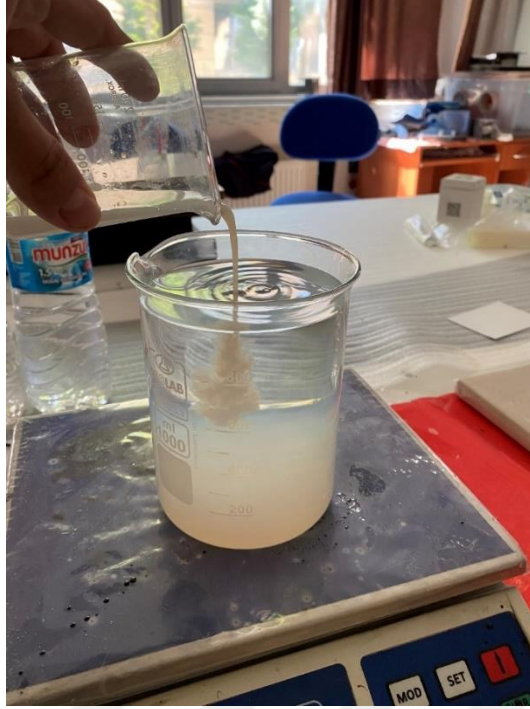
Sistemde soğutucu akışkan olarak su, TiO_2 ve Al_2O_3 nanoakışkanları kullanılmıştır. Nanoakışkanlar hacimce %1, %0,1 ve %0,01 yoğunlukta olması kararlaştırılmıştır. Nanopartikül oranının hacimsel olarak belirlenmesinin nedeni

nanopartiküller arasındaki özkütle farkından kaçınıp her bir dispersiyon içerisinde eşit miktarda nanopartikül olmasının istenmesidir.

Nanografi firmasından 500 ml hacminde sipariş edilen nanoakışkanlar ağırlıkça %17 partikül içeren TiO_2 ve ağırlıkça %22 oranında partikül içeren Al_2O_3 şeklinde teslim edilmiştir. Daha sonra bu nanoakışkanlar sistemde kullanılacak konsantrasyonlara eşitlenmesi için saf suyla seyreltilmiştir. Seyreltme işleminin homojenize olabilmesi için ultrasonik banyoda 60 dakika boyunca karıştırılmış olup her bir akışkandan 2000 ml hazırlanmıştır. Seyreltme işlemlerinin adımları Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6'da; hazırlanan nanoakışkanlar ise Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



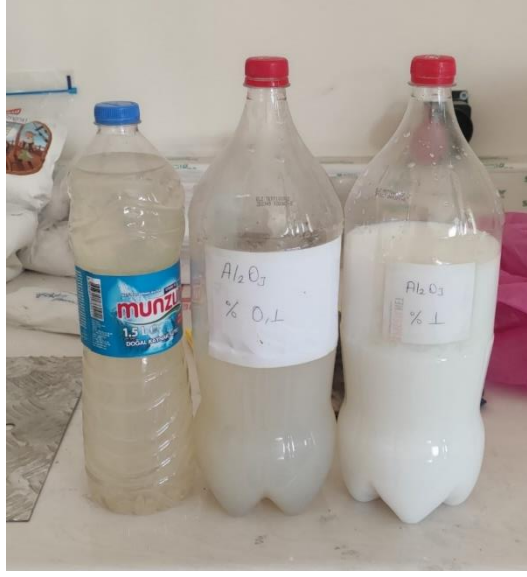
Şekil 3.4. Dispersiyondan alınacak miktarın hassas teraziyle tartılması



Şekil 3.5. Saf suya dispersiyonun eklenmesi



Şekil 3.6. Nanoakışkan homojenizasyonu için ultrasonik banyoda karıştırma



Şekil 3.7. Hazırlanan Al_2O_3 Nanoakışkanları



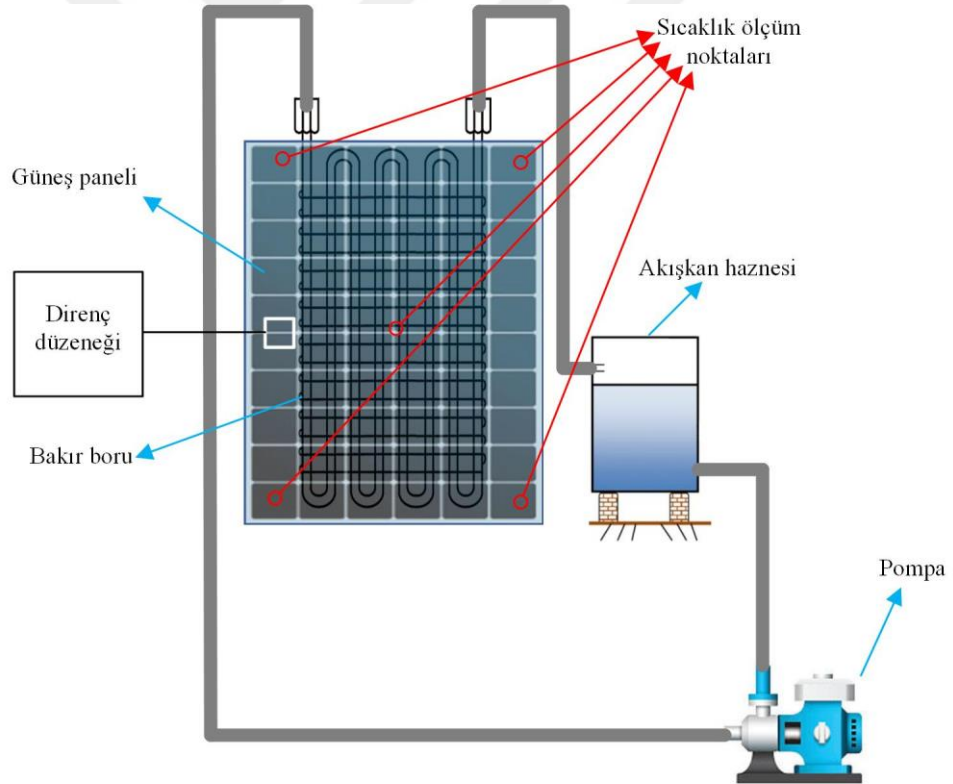
Şekil 3.8. Hazırlanan TiO_2 Nanoakışkanları

Testler sabit akış debisinde gerçekleştirilmiştir ve debi 0,78 lt/dk olarak belirlenmiştir.

Deney düzeneğinin kurulu hali ve şematik gösterimi Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'de verilmiştir.



Şekil 3.9. Deney düzeneği kurulu hâli



Şekil 3.10. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi

3.2 Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları

3.2.1 Termokupl

Deney düzeneğinde Wellhise marka HT 9815 model 4 kanallı termokupl boru giriş ve çıkış sıcaklıklarını ve hazne içerisinde bulunan akışkan sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Kullanılan termolupl resmi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Termokupl termometre

3.2.2 Piranometre

Deney düzeneğinde Cem marka DT-1307 model piranometre, her 30 dakikada bir güneş ışıınım miktarını ölçmek için kullanılmıştır. Piranometrede ölçüm yapılırken güneş paneline eşit bir eğimde ve aynı yöne bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Kullanılan piranometre Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Piranometre (Solar metre)

3.2.3 Dijital Anemometre

Deney esnasında ortam şartlarını belirlemek için UNI-T marka UT363S model anemometre kullanılmıştır (Şekil 3.13). Bu cihaz sayesinde hem rüzgâr hızı hem de ortam sıcaklığı belirlenmiştir.



Şekil 3.13. Anemometre

3.2.4 İnfrared Termometre

Panel arka yüzey sıcaklıkları 5 farklı noktadan (4 köşeden ve ortadan) her 30 dakikada bir ölçülmüştür. Panel sıcaklığını ölçmek için Hello marka kızılötesi termometre kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. İnfrared Termometre

3.3 Deneyin Yapılışı

Deney Batman İli Batman Üniversitesi Batı Raman Yerleşkesinde gerçekleştirilmiştir. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Batman İli Csa olarak yani kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim olarak adlandırılmaktadır. Bu tanımlamaya dayanarak deneyler 28 Haziran 2022 – 6 Temmuz 2022 tarihleri arasında

gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Batman İlinin 37.88 enleminde ve 41.12 boylamında olmasından kaynaklı paneller 35 derece eğimle ve güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney yapılma aşamasında yapılan ölçümler 30 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Saat 10.00'da başlatılan deney 16.00'da sonlandırılmış olup gün içerisinde toplamda 13 ölçüm alınmıştır.

Paneller öncelikle üretimden kaynaklanan hataları bertaraf etmek adına herhangi bir işlem yapılmadan çalıştırılmıştır. Çıkan akım ve gerilim değerlerine göre bir katsayı belirlenmiş olup, bulunan katsayı ile akım ve gerilim değerleri dolayısıyla güç değerleri eşitlenmiştir.

Deney düzeneği hazırlanırken pompa akışkan çıkış çapını düşürmek amacıyla özel bir parça üretilmiştir. Pompa ile bakır borular arasındaki bağlantı ince hortumlarla sağlanmıştır. Hazneden pompaya gelen akışkan pompada basılarak bakır boruya ve oradan da tekrar hazneye dökülmektedir. Boru giriş ve çıkış ve haznede bulunan akışkan sıcaklığı K tipi termokupl aracılığıyla ölçülüp kaydedilmiştir. Kızılötesi termometre ile hem soğutulan panel hem de normal panel arka yüzey sıcaklıkları 5 farklı noktadan ölçülmüş olup alınan sonuçlar kaydedilerek panel yüzey sıcaklıkları arasındaki farklar incelenmiştir.

Panellerden çıkan akım ve gerilim değerleri direnç düzeneği yardımıyla ölçülüp kaydedilmiştir ve iki panelin ürettiği güç kıyaslanarak soğutma etkisinin panellerdeki elektriksel güç çıktısına etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda ölçülen ışıyım miktarına ve panel yüzey alanına bağlı olarak panel verimleri hesaplanmış olup soğutmanın panel verimi üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Panel elektriksel gücü denklem 3.1 kullanılarak panel verimi ise denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_e = V \times I \quad (3.1)$$

Burada;

Q_e :Elde edilen elektriksel güç (Watt)

V :Üretilen gerilim (Volt)

I :Üretilen akım (Amper)

$$\eta_e = \frac{Q_e}{G \times A} \quad (3.2)$$

Burada;

η_e :Elde edilen elektriksel verim

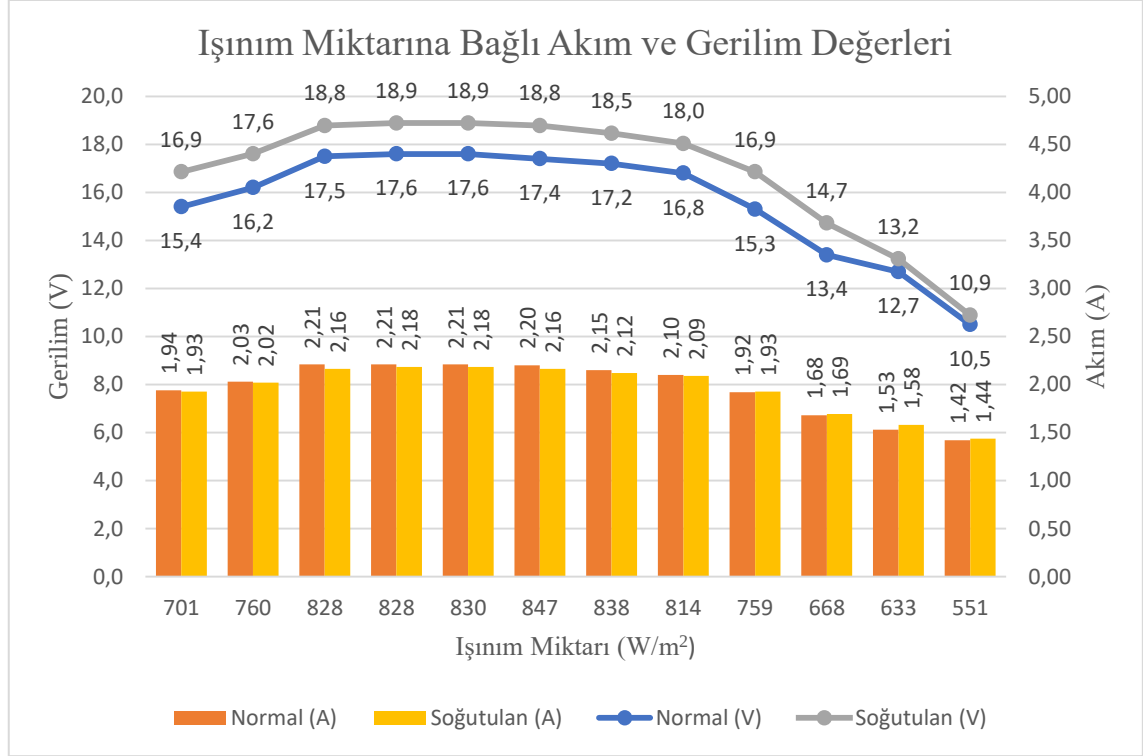
G :Işıyım miktarı (W/m^2)

A :Panel yüzey alanı (m^2) olarak verilmiştir.

4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

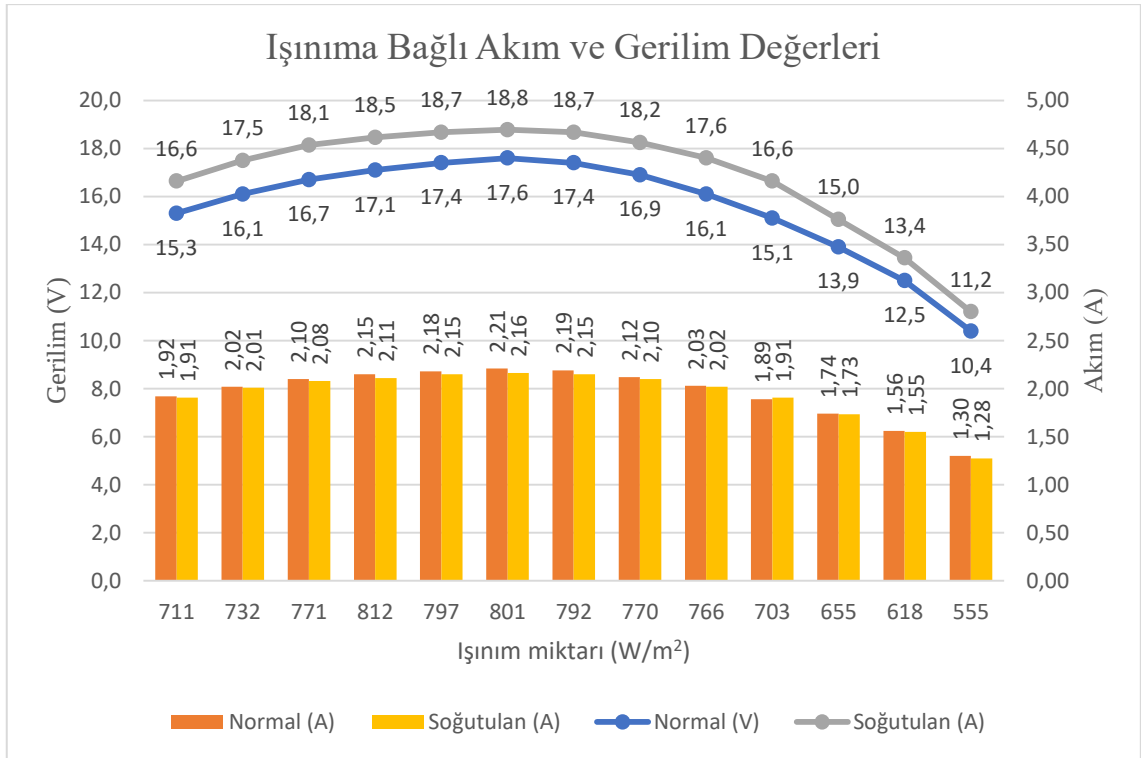
4.1 Işınım miktarına bağlı akım ve gerilim değerleri

Su ile gerçekleştirilen deneylerde ışınlm miktarına bağılı olarak panellerden çekilen akım ve gerilim değeri Şekil 4.1’de verilmiştir.

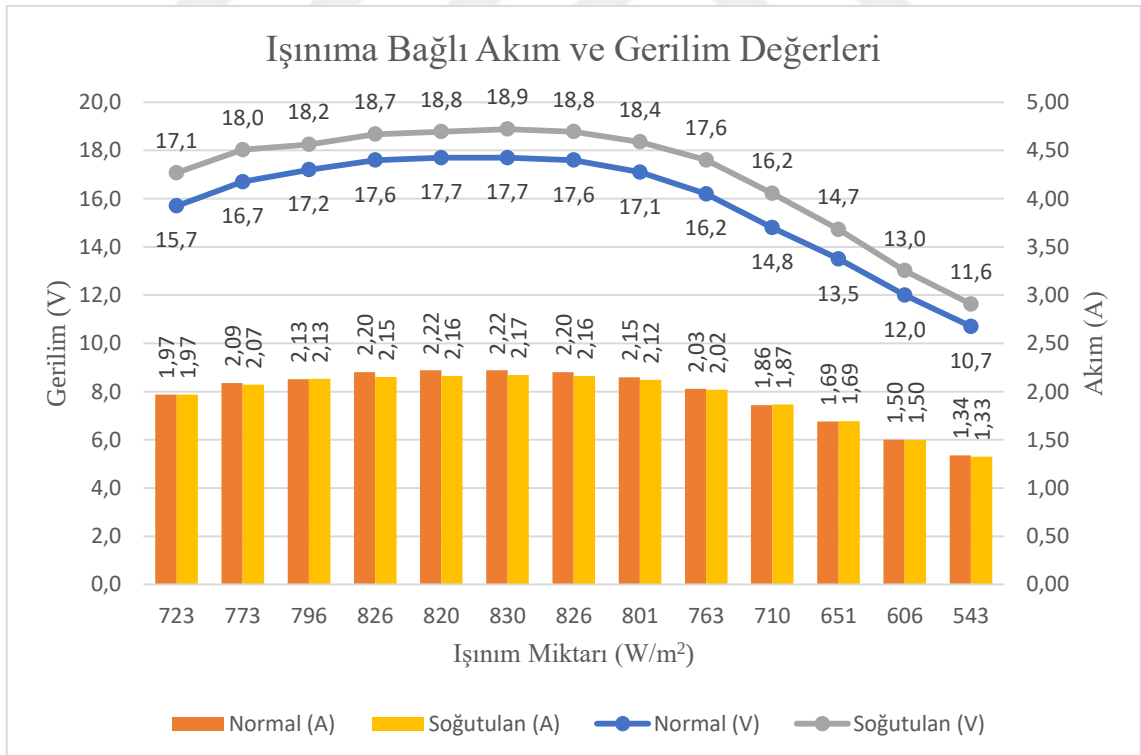


Şekil 4.1. Su ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri

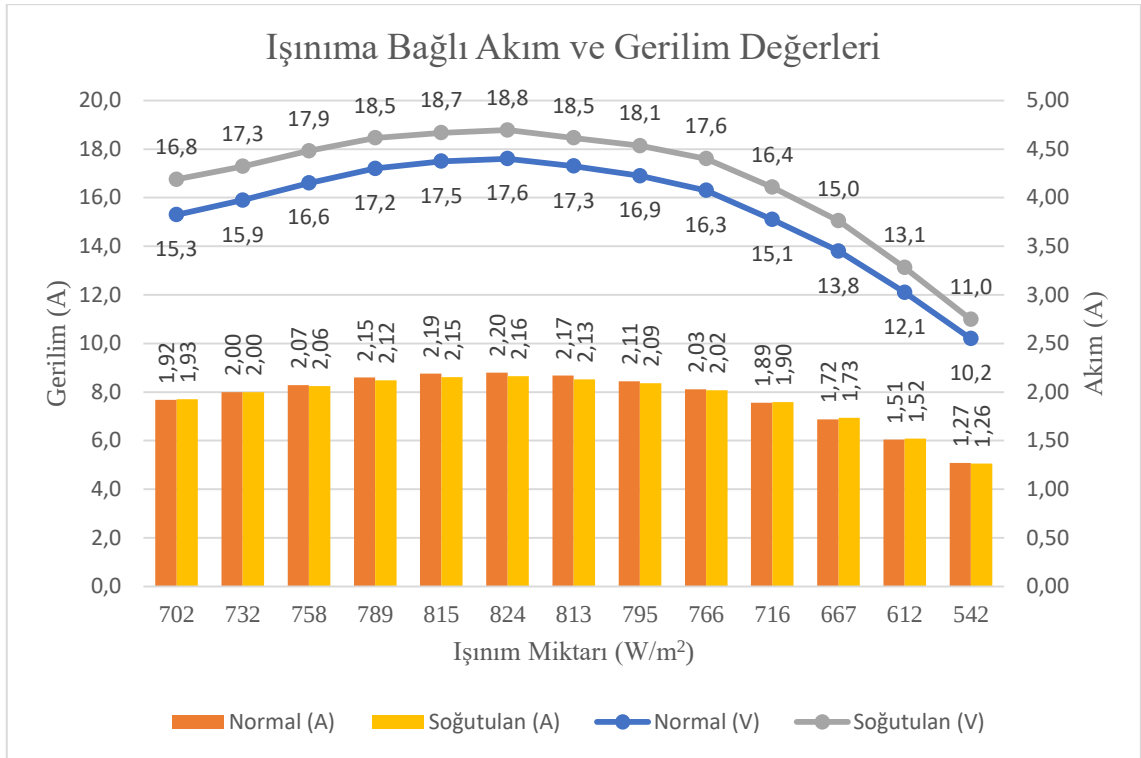
Şekil 4.2’de Al_2O_3 (%0,01), Şekil 4.3’te Al_2O_3 (%0,1) ve Şekil 4.4’te Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı kullanılarak panellerden çekilen akım ve gerilim değeri gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Al₂O₃ (%0,01) nanoakışkan ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri

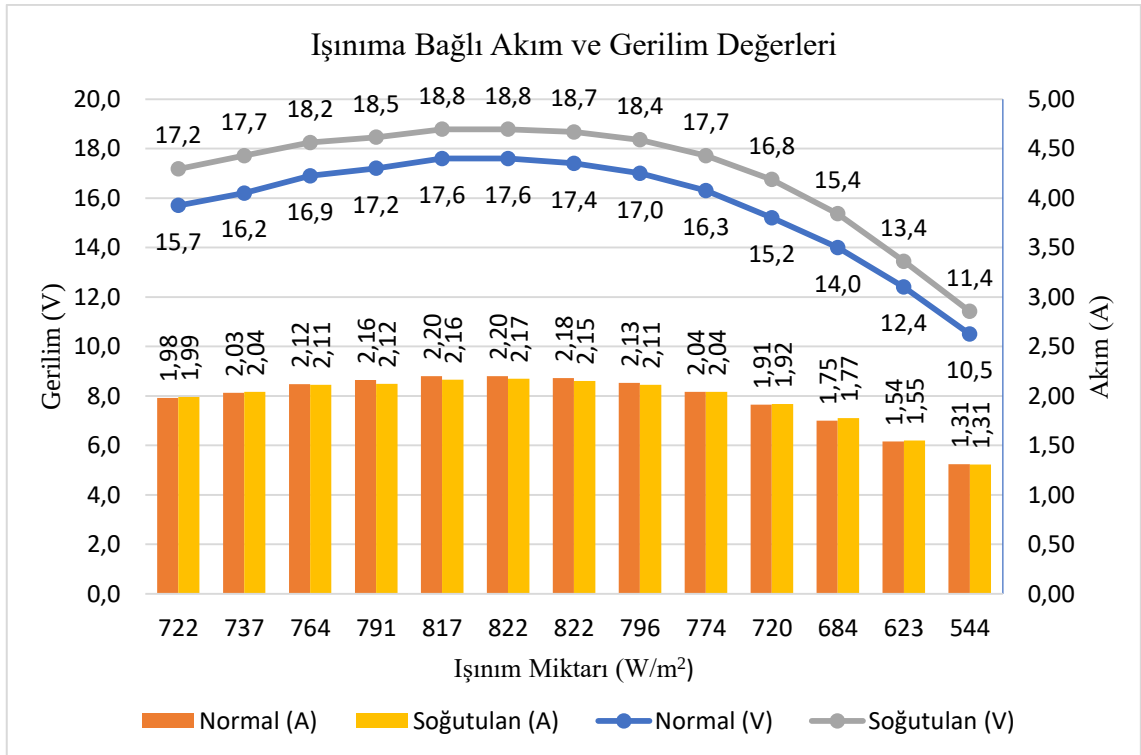


Şekil 4.3. Al₂O₃ (%0,1) nanoakışkan ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri

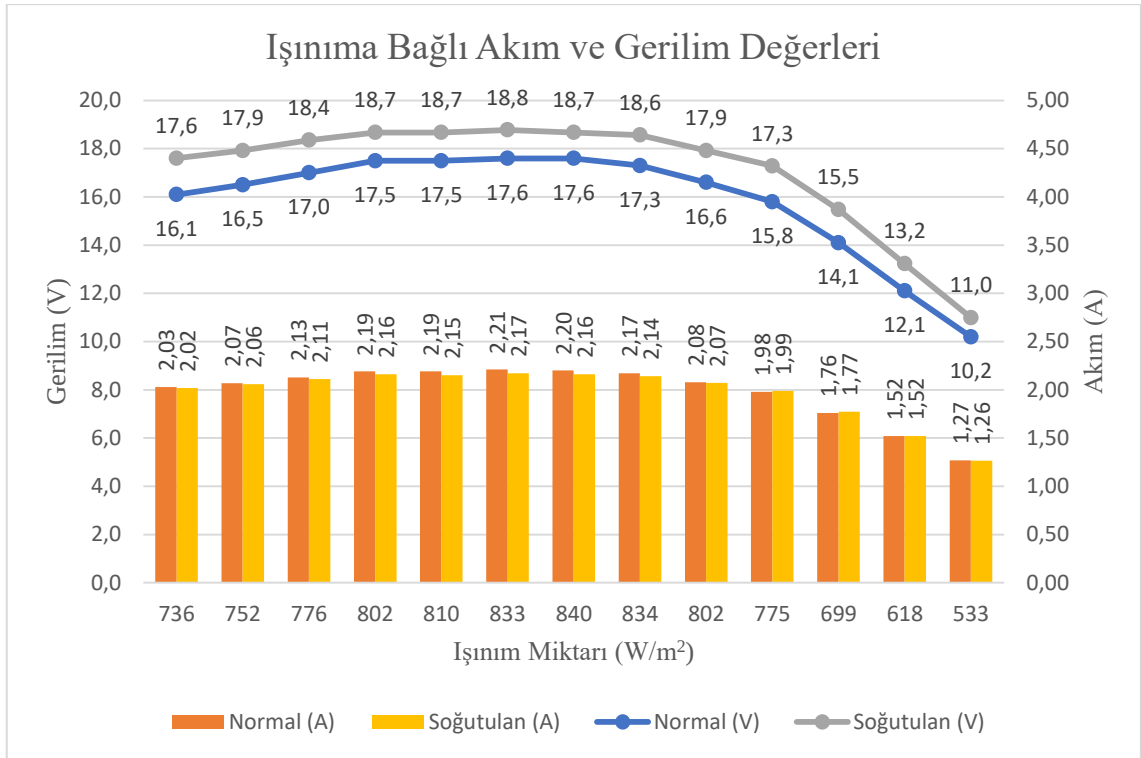


Şekil 4.4. Al₂O₃ (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri

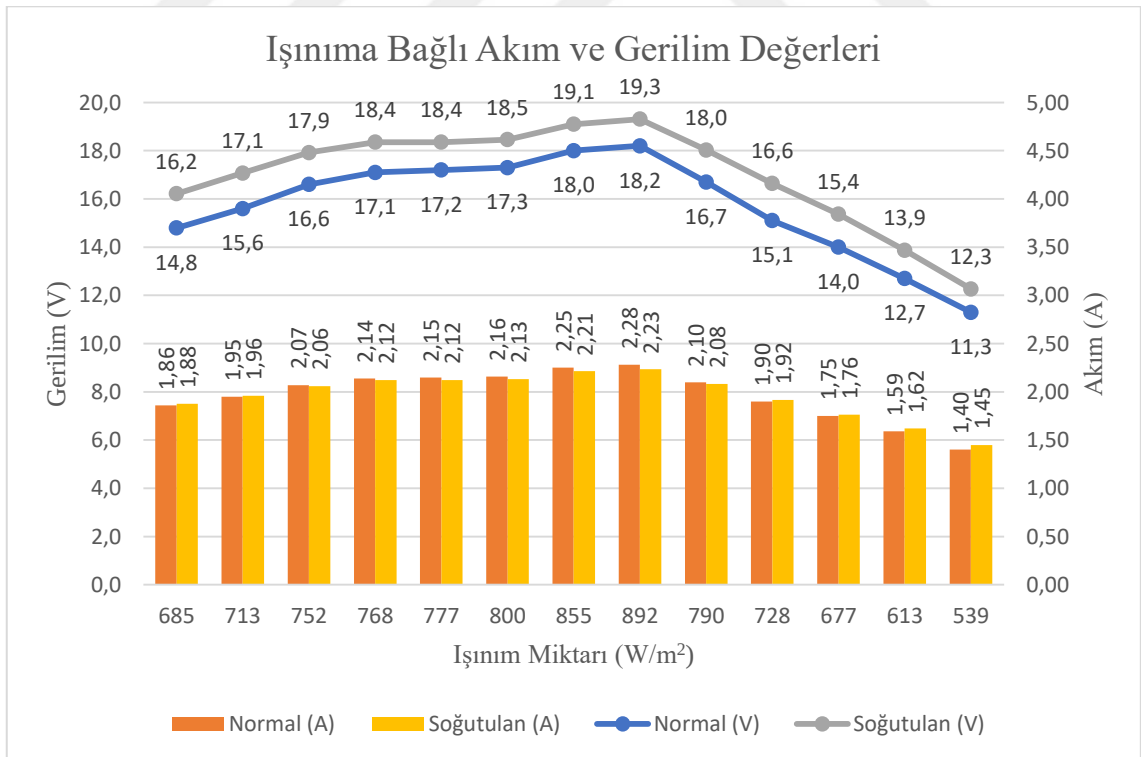
TiO₂ nanoakışkanı kullanılarak yapılan çalışmalarda panellerden çekilen akım ve gerilim değerleri Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.5. TiO₂ (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri



Şekil 4.6. TiO₂ (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri



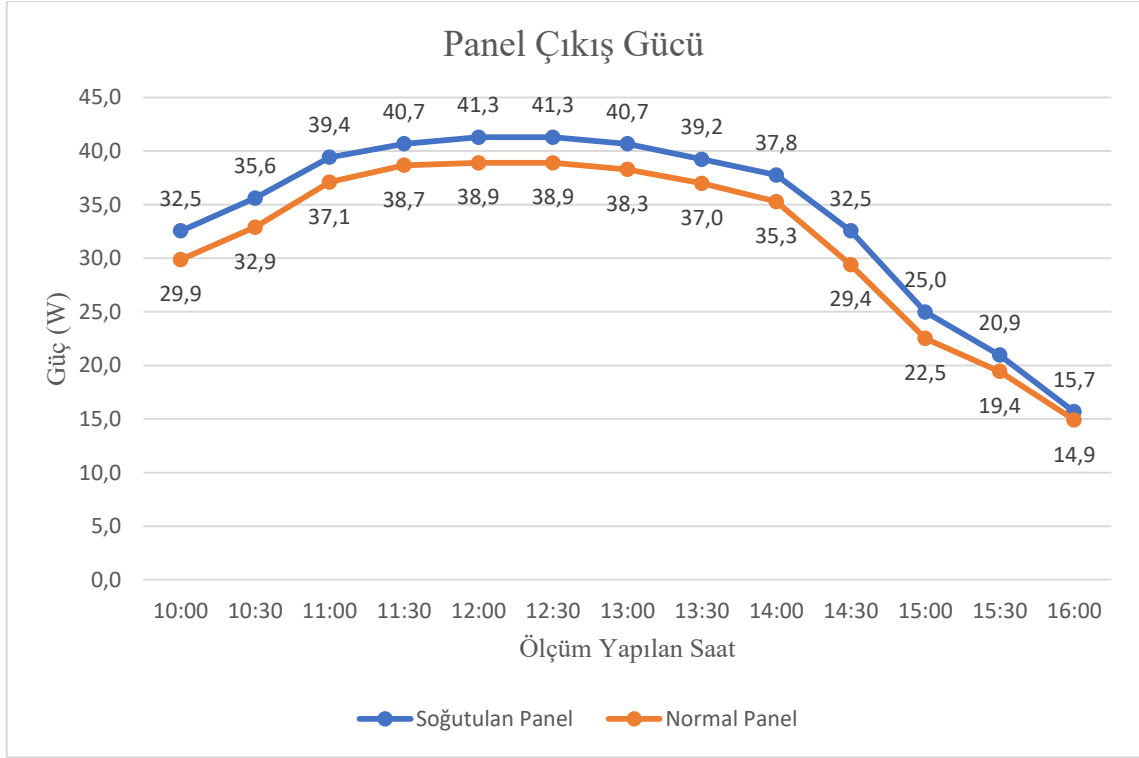
Şekil 4.7. TiO₂ (%) nanoakışkanı ile soğutulan panelden ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen akım ve gerilim değerleri

Grafikler incelendiğinde soğutma sistemi kullanıldığında gerilim değerlerinin arttığı görülmüştür. Gerilim değerlerindeki ortalama artış su, Al_2O_3 (%0,01), Al_2O_3 (%0,1), Al_2O_3 (%1), TiO_2 (%0,01), TiO_2 (%0,1), TiO_2 (%1) için sırasıyla %7,58, %8,19, %7,71, %7,92, %8,34, %7,97 ve %8,13 şeklinde olduğu görülmüştür. Gerilim artış oranı en fazla TiO_2 (%0,01) nanoakışkanında gerçekleşmiştir. Gerilim değerlerindeki farkın en fazla olduğu nokta ise TiO_2 (%1) nanoakışkanıyla yapılan testlerde ve saat 14.30'da %10,23 olarak kaydedilmiştir.

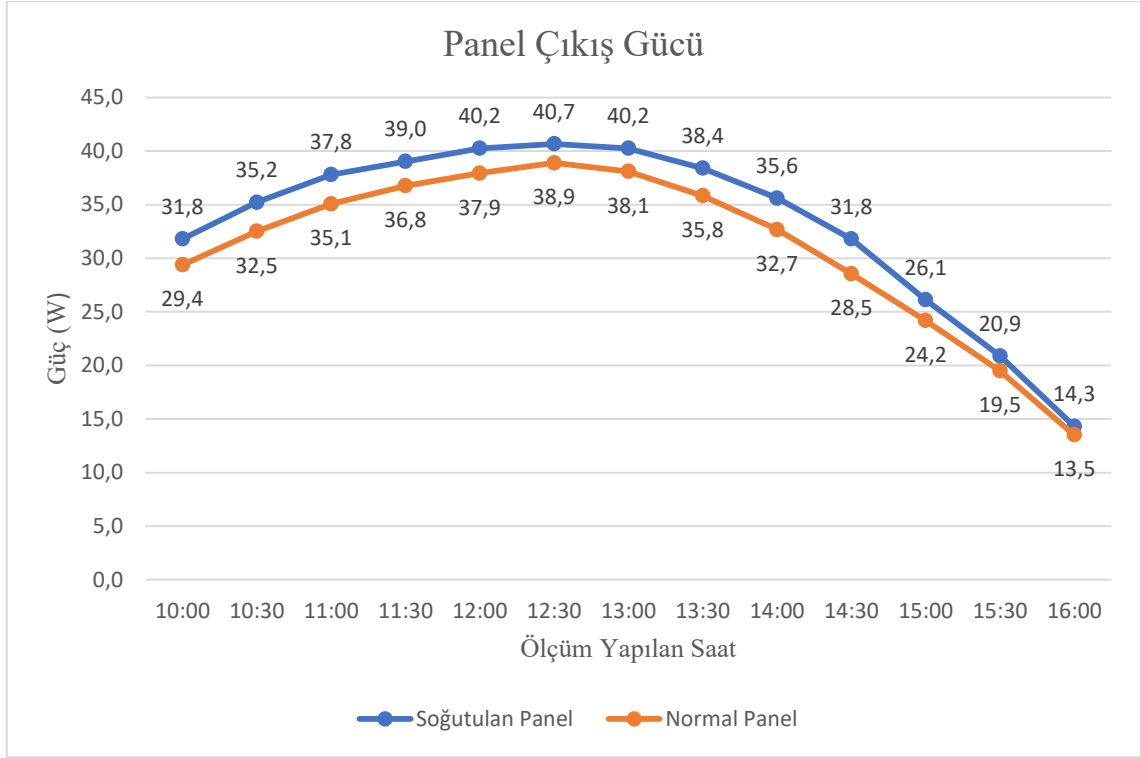
Akım değerleri incelendiğinde, soğutma işleminin sistemden çekilen akım değerlerini azalttığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak 'azınlık taşıyıcılar' denebilir. Güneş hücrelerini oluşturan yarı iletken malzemeler P-tip silikon ve N-tip silikon olarak adlandırılırlar. P-tip silikon boşlukların (proton denebilir), N-tip silikon ise elektronların bulunduğu yarı iletken malzemelerdir. Hücrenin çalışma prensibinde elektronlar N-tip silikondan harici devre aracılığıyla P-tip silikona doğru akar. Bu akım sayesinde elektrik üretilmiş olur. N-tip silikonda bulunan elektronlara ve P-tip silikon malzemede bulunan boşluklara çoğunluk taşıyıcıları denir. Ancak az miktarda da olsa P-tip silikon malzeme içerisinde elektron, N-tip silikon içerisinde de boşluklar mevcuttur ve bunlara da azınlık taşıyıcılar denmektedir. Azınlık taşıyıcılar sistemde ters etki yaratarak harici devreden geçen akım değerini olumsuz etkilerler. Çoğunluk taşıyıcıların miktarı silikon malzemelere eklenen minerallerle -örneğin fosfor ve bor- ilişkili olup ısı ve termik uyarılardan bağımsızken azınlık taşıyıcıların miktarı ise doğrudan ısı ve ışığa bağlıdır (Rauschenbach, 1980). Yapılan çalışma, panel sıcaklığıyla azınlık taşıyıcıların miktarının ters orantılı olduğunu göstermektedir. Panel ısındıkça azınlık taşıyıcıları miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Normal şartlarda rezistif yüklemde akımın bir miktar artması beklenir ancak azınlık taşıyıcılar olumsuz etki yaparak akımın artmasına engel olmuştur.

4.2 Panellerden elde edilen güç miktarı

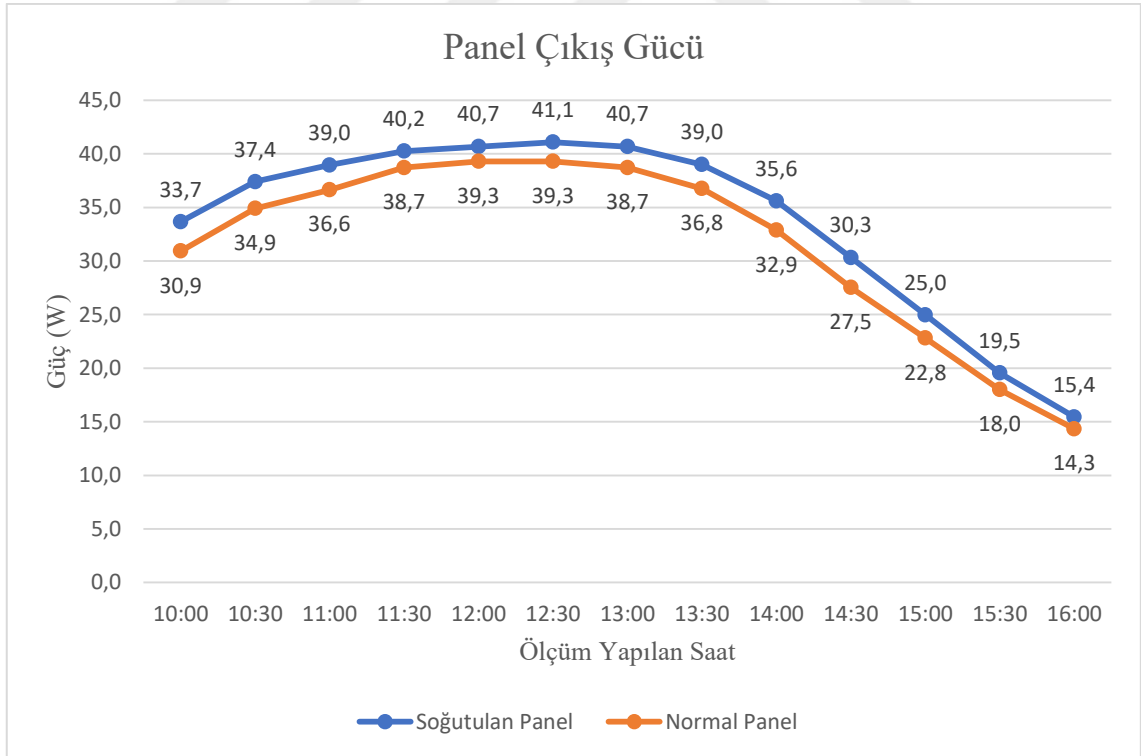
Soğutma çalışması yaparak PV panellerdeki çıkış güçleri arasındaki fark Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



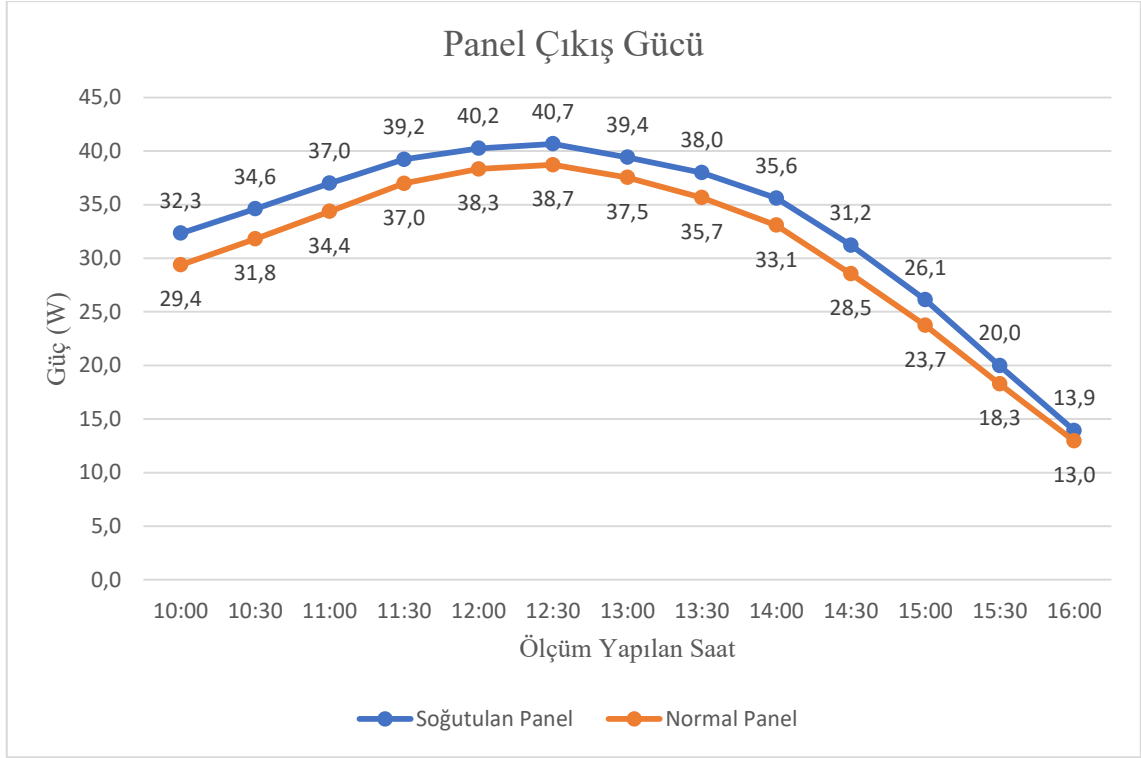
Şekil 4.8. Su ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri



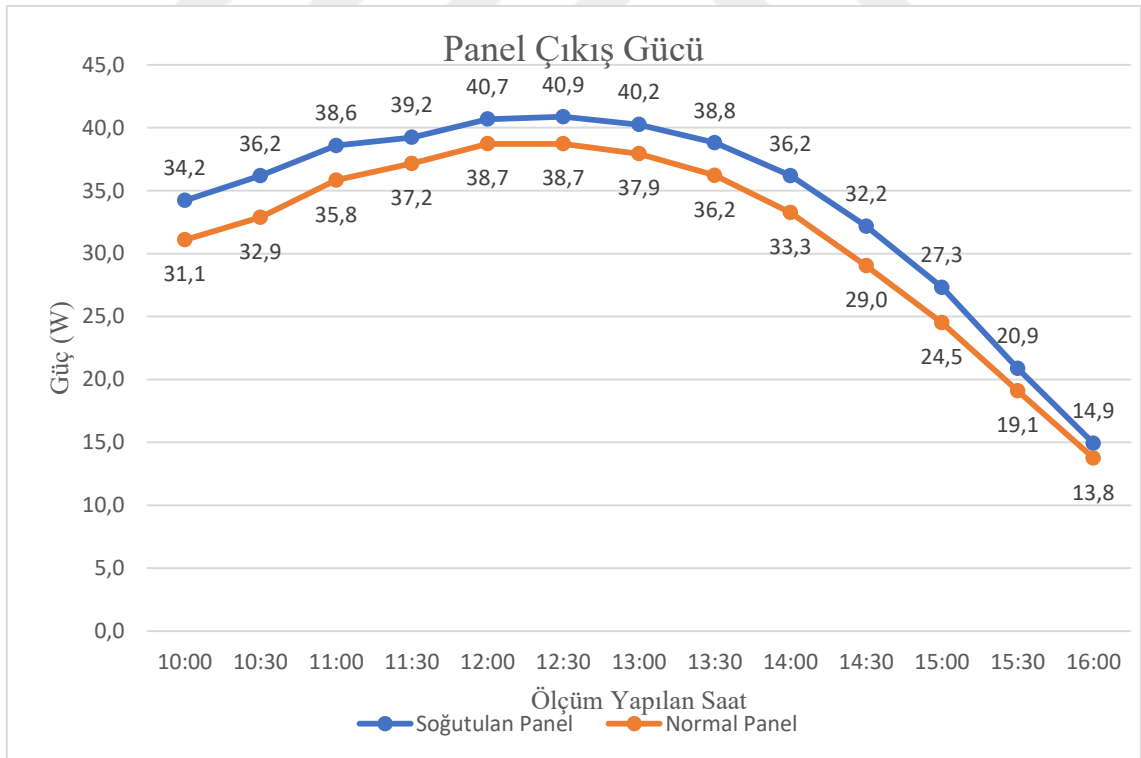
Şekil 4.9. Al_2O_3 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri



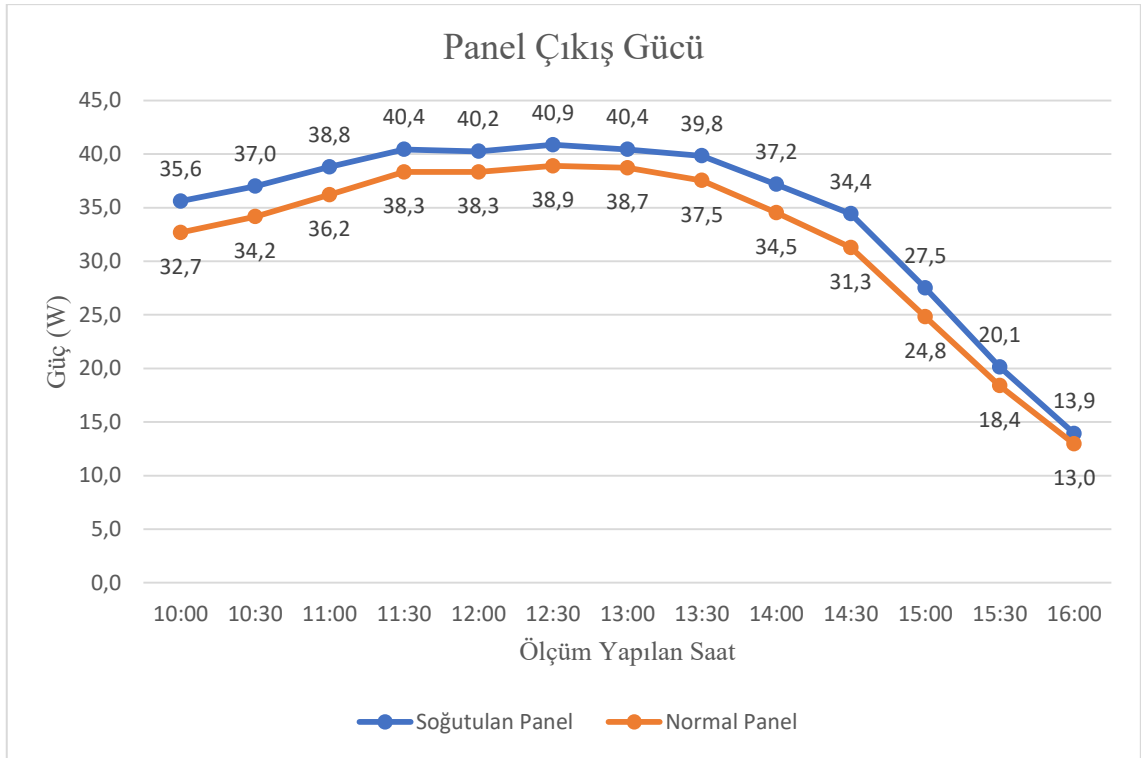
Şekil 4.10. Al_2O_3 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri



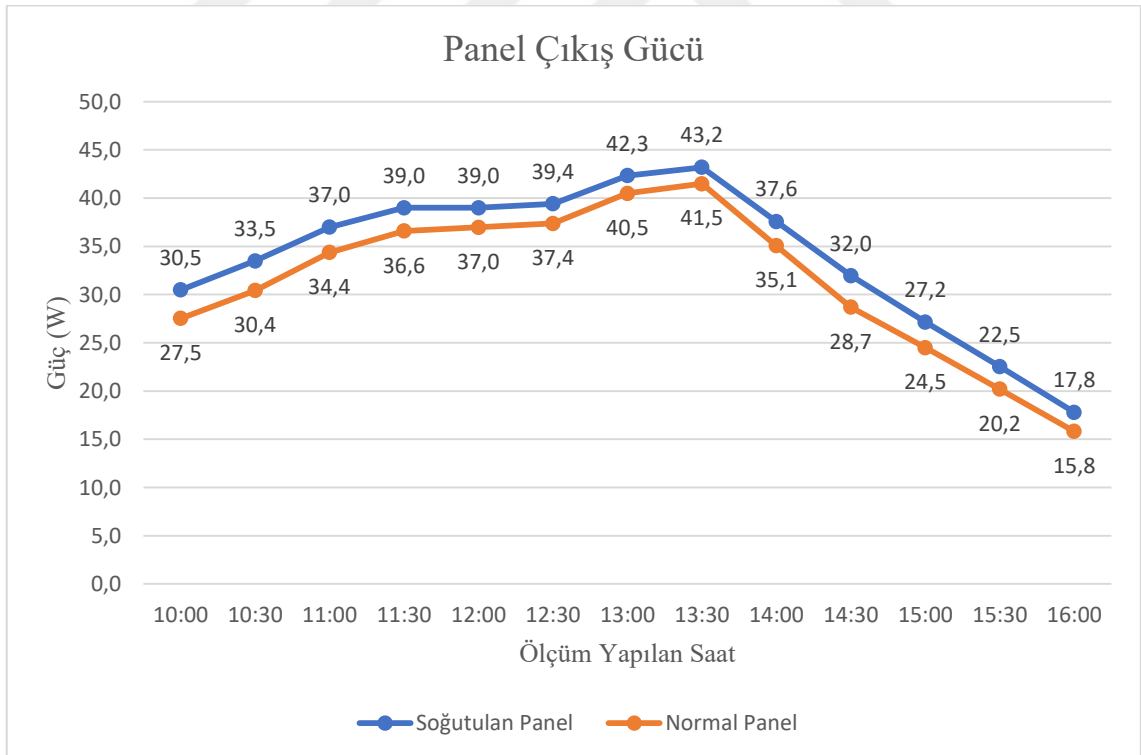
Şekil 4.11. Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri



Şekil 4.12. TiO_2 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri



Şekil 4.13. TiO_2 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri



Şekil 4.14. TiO_2 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden çekilen güç değerleri

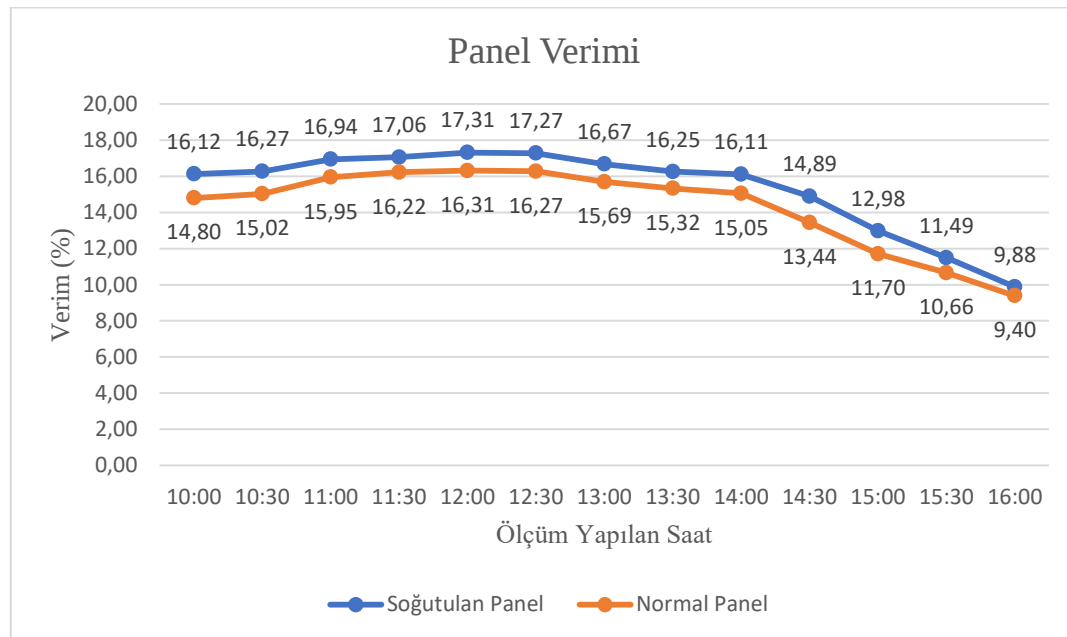
Panel çıkış güçleri ile ilgili grafikler incelendiğinde soğutmanın, panellerden daha fazla güç çıkartısı sağladığını görmekteyiz. Su için ortalama %7,30 daha fazla güç

çıkışı sağlanırken Al_2O_3 (%0,01), (%0,1), (%1) için sırasıyla %7,32, %6,89, %7,55 ve TiO_2 (%0,01), (%0,1), (%1) için ise sırasıyla %8,17, %7,39, %8,32 şeklinde gerçekleşmiştir. Nanoakışkanlar arası kıyaslama yapıldığında TiO_2 nanoakışkanının Al_2O_3 nanoakışkanından daha fazla güç çıkışı sağladığı görülmektedir. Su ile kıyaslandığında Al_2O_3 nanoakışkanı için kayda değer bir fark olmadığı ancak TiO_2 nanoakışkanın soğutma ve güç çıkışı bağlamında daha efektif bir akışkan olduğu görülmektedir. Ayrıca testler esnasında maksimum güç çıkış farkının olduğu saatler 14.30-15.00 saatleri arasında olduğu görülmüştür. Bu saatlerde çıkış gücü farkları; su için %10,92, Al_2O_3 (%0,01), (%0,1), (%1) için sırasıyla %11,42, %10,14, %10,07 ve TiO_2 (%0,01), (%0,1), (%1) için ise sırasıyla %11,47, %10,82 ve %11,57 seviyelerinde olduğu görülmüştür.

4.3 Panel Verimleri

4.3.1 Su ile Yapılan çalışma

Su ile soğutma yapılarak gerçekleştirilen deney sonuçları (Şekil 4.15) incelendiğinde panelin su ile soğutulması verimi ortalama olarak %7,1 arttırdığı maksimum verim artışının %10,92 ile saat 15.00'deki ölçümde kaydedildiği görülmüştür. Minimum verim artışı ise %5,14 ile saat 16.00'da kaydedilmiştir. Panellerden elde edilen maksimum verim ise saat 12.30'da yani ışınımın maksimum olduğu değerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.15. Su ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri

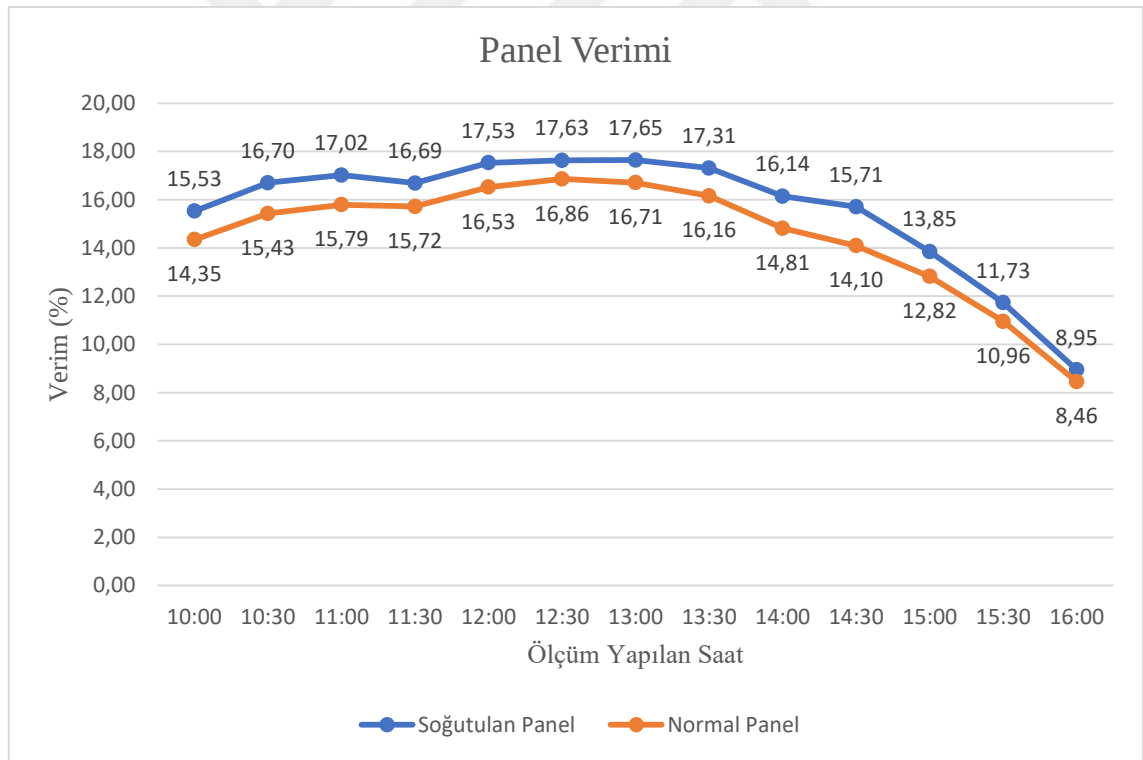
Literatürde su kullanılarak panel soğutma çalışmalarında elde edilen verimler ve debiler çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Suyu PV panel soğutma çalışmaları ve elde edilen verimler

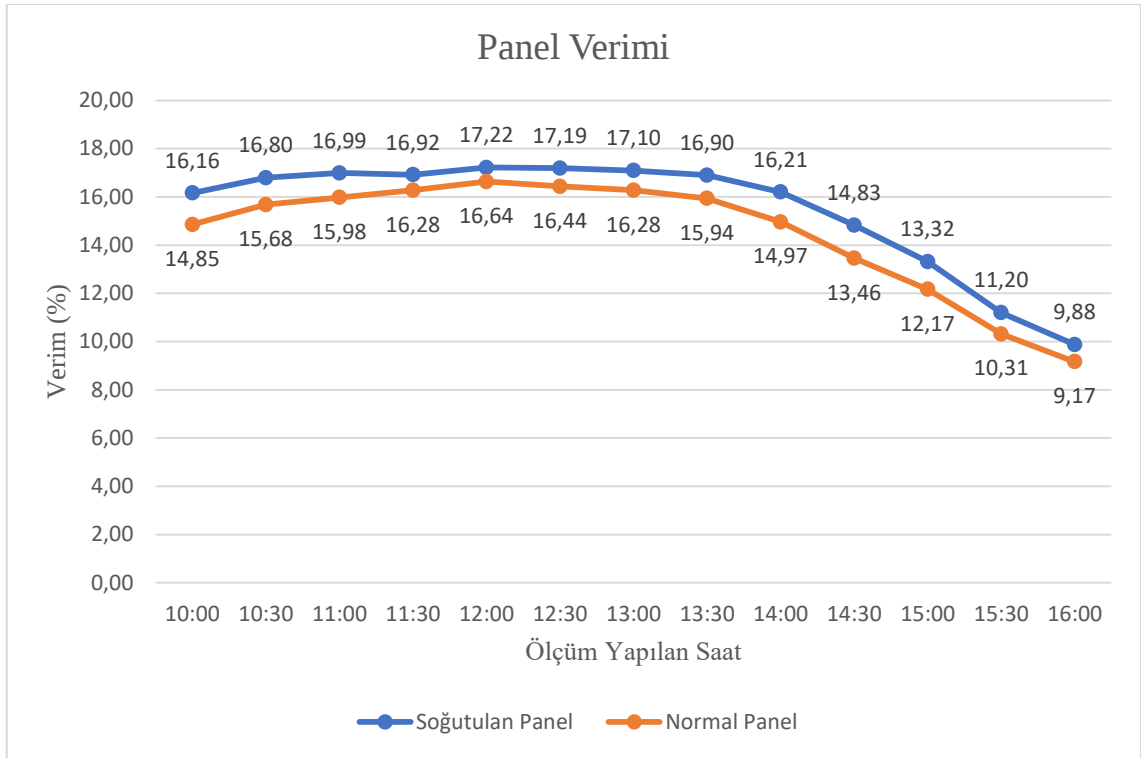
Çalışma	Debi	Verim (%)
Sardarabadi-Passandideh-Fard (2016)	0,0083 kg/sn	5,48
Al-Shamani ve ark. (2016)	0,17 kg/sn	9,61
Nizetic ve ark. (2016)	-	14,1
Altınışık (2016)	0,33 kg/s	11,5
Hasan ve ark. (2017)	0,166 kg/s	11,3
Kızıllıkan (2017)	-	10-15
Karaaslan ve Menlik (2017)	-	11,36
Zilli ve ark. (2018)	-	9,09
Kerem ve ark. (2020)	-	14,47
Sohani ve ark. (2021)	-	5,39
Shalaby ve ark. (2022)	0,15kg/s	13,8

4.3.2 Al₂O₃/su nanoakışkanıyla yapılan çalışma

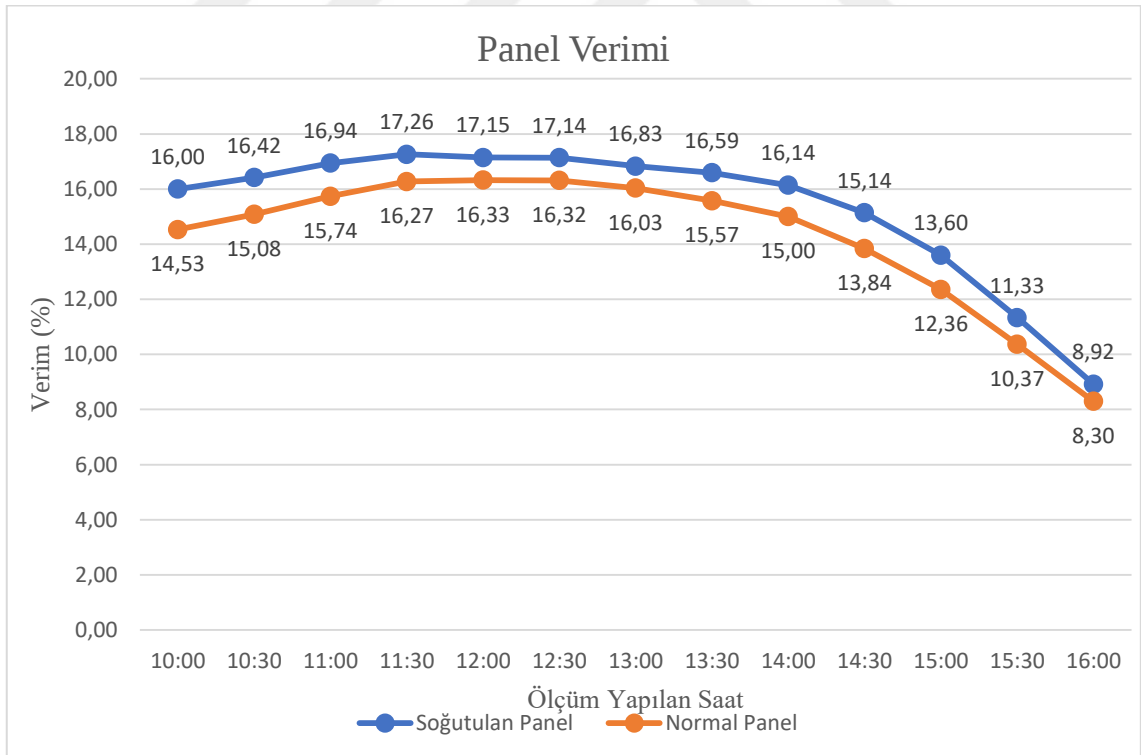
Al₂O₃/su nanoakışkanı kullanılarak yapılan testlerden alınan ölçümlerle hesaplanan verimlerin grafiği Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.16. Al₂O₃ (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri



Şekil 4.17. Al_2O_3 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri



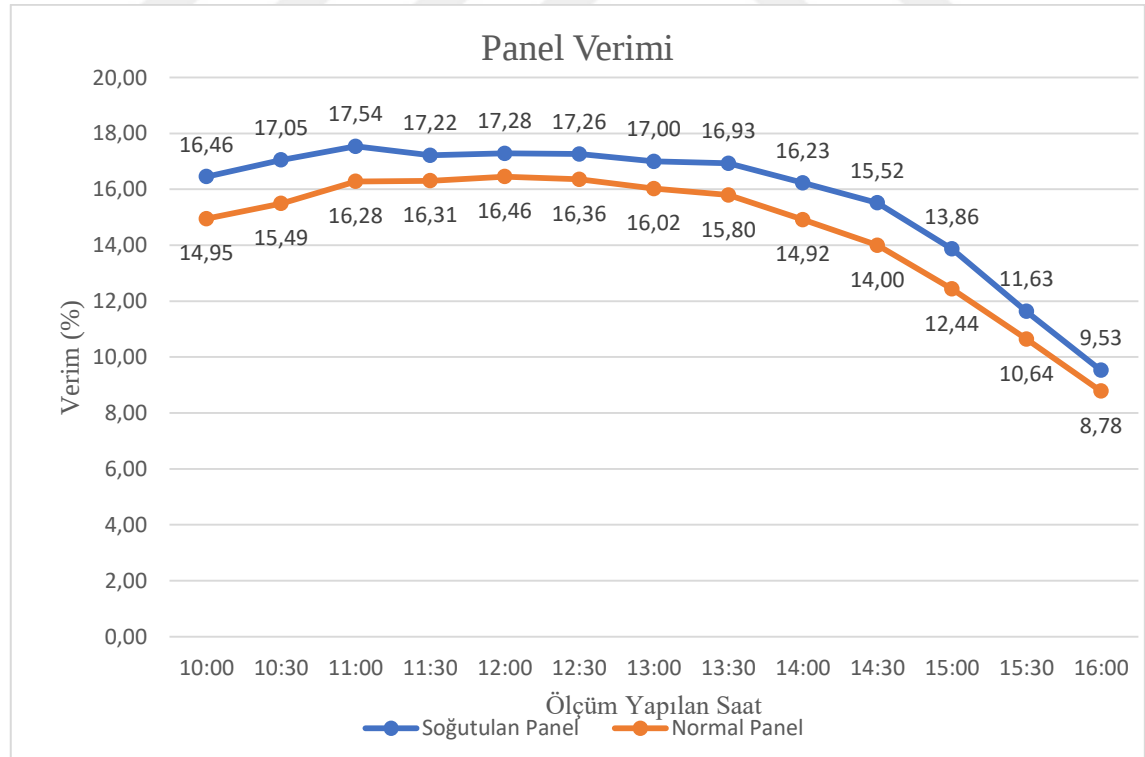
Şekil 4.18. Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri

Al_2O_3 /su nanoakışkanı kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre ortalama verim artışı %0,01, %0,1 ve %1 için sırasıyla %7,32, %6,89 ve %7,55 değerlerinde

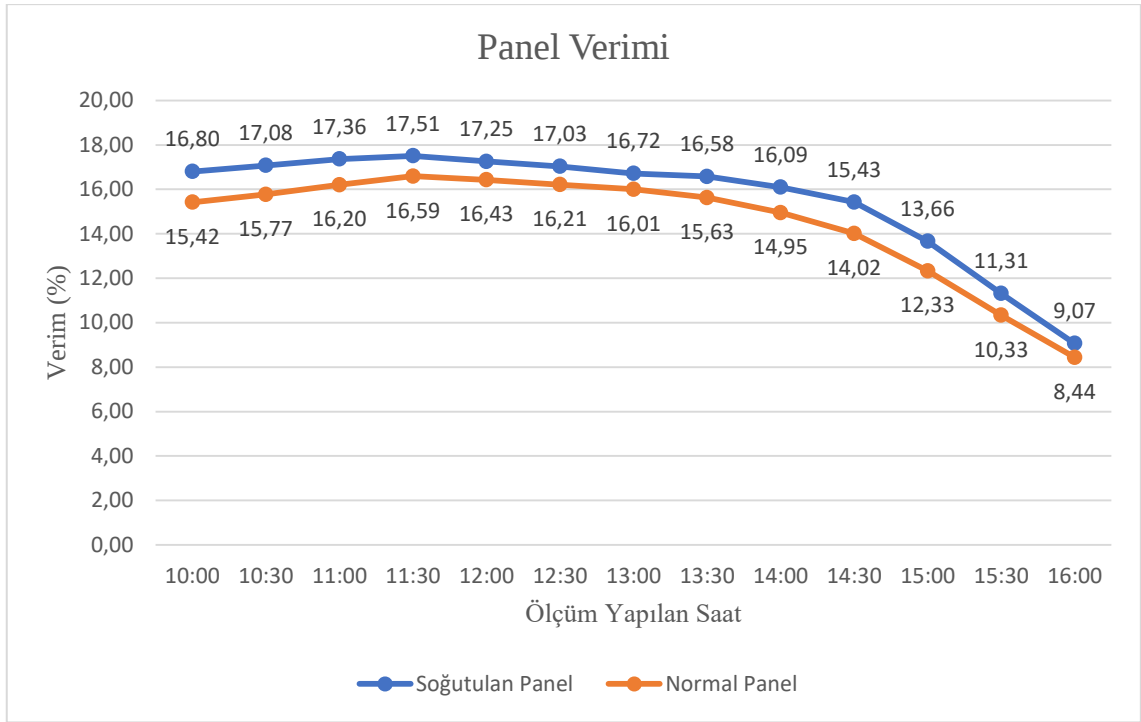
gerçekleşmiştir. Grafikler incelendiğinde panellerde maksimum verimin öğle vakitleri saat 12.00 ile 13.00 arasında olduğu görülmektedir. Panel verim farkının en fazla olduğu saatler 14.30-15.00 saatleri arasında, en düşük verim farkı ise ışıının maksimum olduğu noktalarda görülmüştür. Bunun nedeni olarak ışıının miktarının panel sıcaklığını aşırı derecede arttırması, akışkanın ise paneli soğutma bağlamında yetersiz kalması olarak düşünülmektedir. Hussein ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada 0,2 l/s debide %0,3 yoğunlukta Al_2O_3 nanoakışkanıyla panel soğutma çalışması yaparak %12,1 elektriksel verim elde etmişlerdir. Sardarabadi ve Passandideh-Fard (2016) kütlece %0,2 nanopartikül içeren Al_2O_3 nanoakışkanıyla panel soğutma çalışması yapmışlardır. Test sonuçlarında %6,36 elektriksel verim elde etmişlerdir. Al-Waeli ve ark. (2017) hacimsel olarak %4 nanopartikül içeren Al_2O_3 nanoakışkanıyla panel verimini %8,8 arttırmışlardır. Sohani ve ark. (2021) ağırlıkça %0,2 nanopartikül içeren nanoakışkanla yaptığı çalışmada panel verimini %5,91 oranında arttırmışlardır.

4.3.3 TiO_2 /su nanoakışkanıyla yapılan çalışma

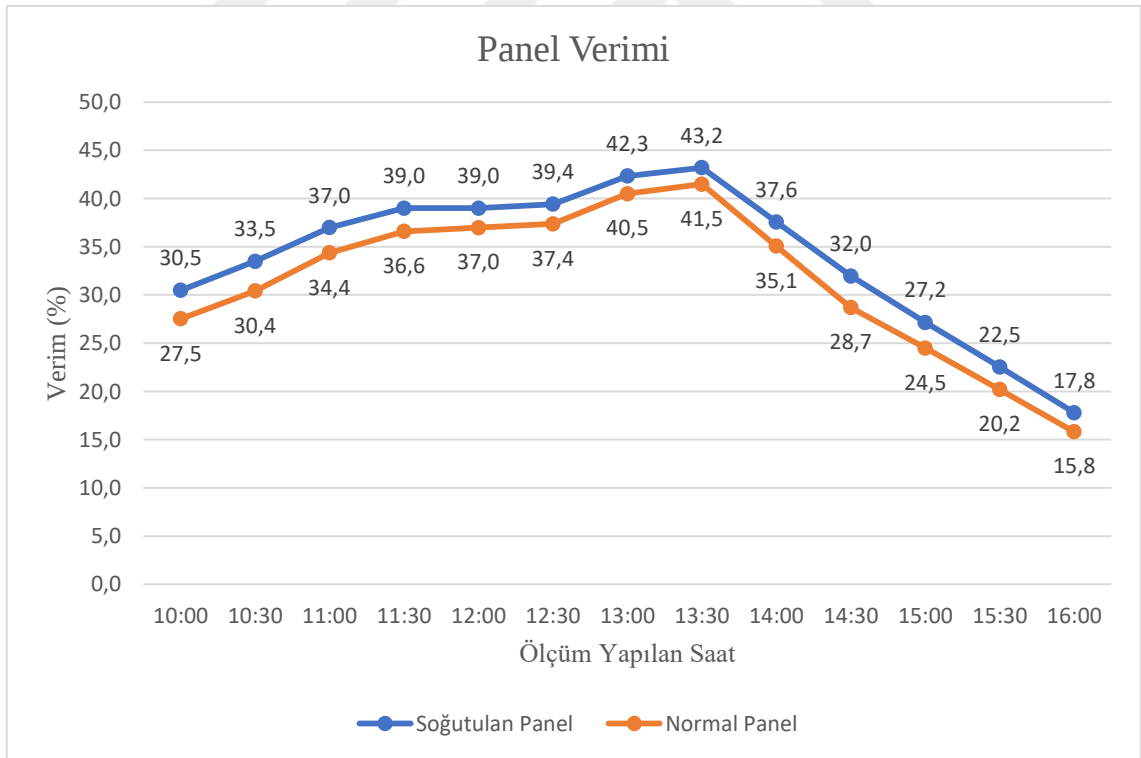
TiO_2 nanoakışkanıyla yapılan testlere ait grafikler Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.19. TiO_2 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri



Şekil 4.20. TiO_2 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri

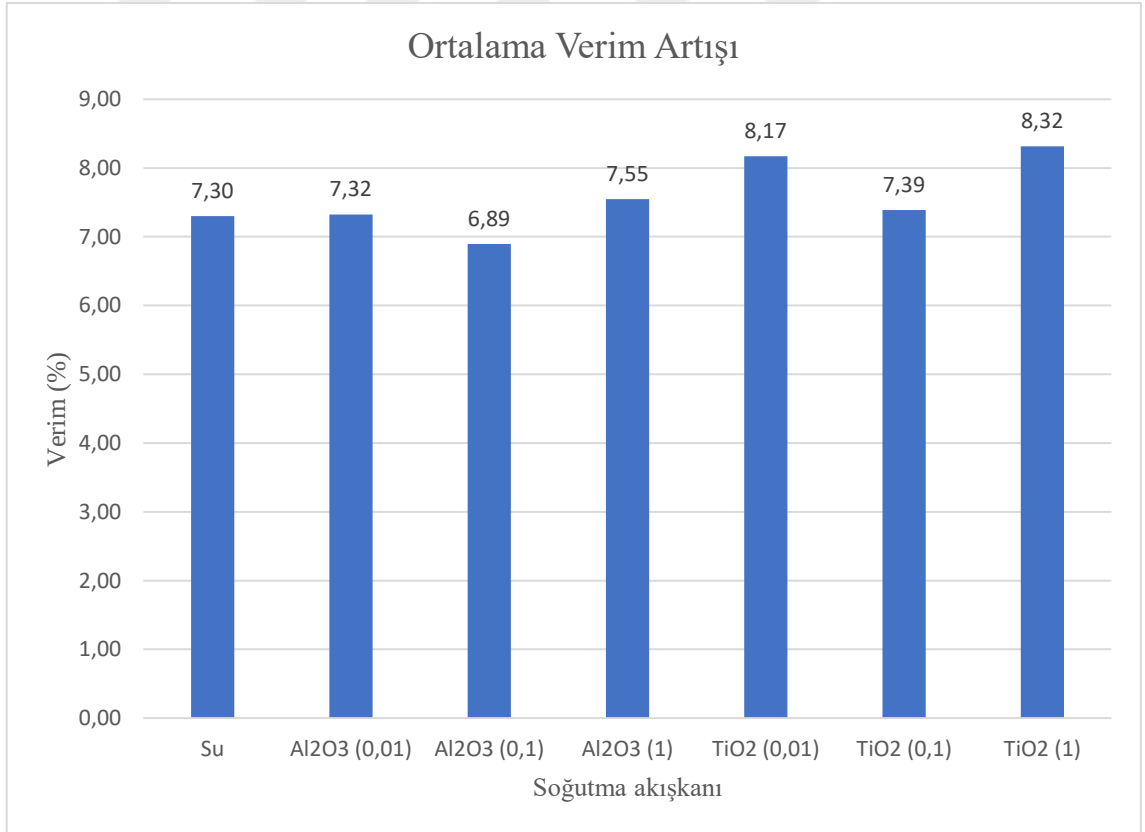


Şekil 4.21. TiO_2 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ve soğutma işlemi yapılmayan panelden elde edilen verim değerleri

Grafikler incelendiğinde verim artışının en fazla TiO_2 %1’de gerçekleştiği görülmüştür. TiO_2 %1, %0,1 ve %0,01 değerleri için sırasıyla ortalama verim artışı,

%8,32, %7,39 ve %8,17 şeklinde gerçekleşmiştir. Maksimum verim artışı önceki durumlarla benzerlik göstererek saat 14.30-15.00 saatleri arasında gerçekleştiği görülmektedir. Verim artışının minimum olduğu noktalar aynı şekilde öğle saatlerinde (12.00-13.00) gerçekleşmiştir. Literatürde TiO_2 nanoakışkanı kullanılarak yapılan çalışmalardan; Sardarabadi ve Pssandideh-Fard (2016) 0,5 kg/s debiyle ağırlıkça %0,2 partikül içeren TiO_2 nanoakışkanıyla güneş panelinde %6,54 verim artışı kaydetmişlerdir. Al-Shamani ve ark. (2016) 0,17 kg/s debiyle TiO_2 nanoakışkanı sirküle edip %10,97 verim artışı kaydetmiştir. Hasan ve ark. (2017) ağırlıkça %1 partikül içeren TiO_2 nanoakışkanı panel arka yüzeyine püskürtme işlemiyle soğutma çalışması yapmıştır. Bu çalışma neticesinde panel elektriksel veriminde %12,3 artış sağlanmıştır. Sohani ve ark. (2021) ağırlıkça %0,2 partikül içeren TiO_2 kullanarak yaptıkları güneş paneli soğutma çalışmasında %14,56 verim artışı kaydetmişlerdir.

Nanoakışkanlara bağlı olarak ortalama verim artışı Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Nanoakışkanlara göre ortalama verim artışı

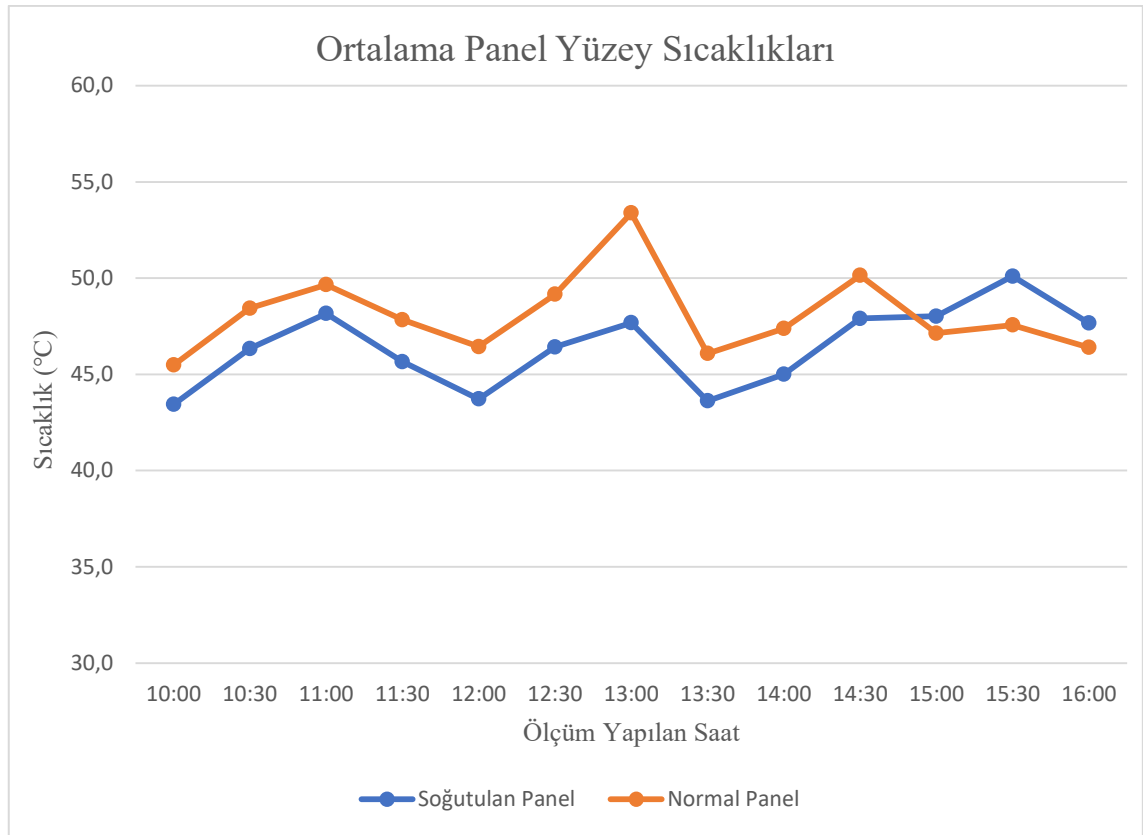
Verim değerleri incelendiğine TiO_2 (%1) nanoakışkanıyla en yüksek verim değerleri elde edilmiştir. Akışkanlar arası kıyas yapıldığında TiO_2 nanoakışkanının Al_2O_3 nanoakışkanından soğutma anlamında daha etkili olduğu, Al_2O_3 nanoakışkanı

suyla karşılaştırıldığında ise arada çok anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. TiO_2 nanoakışkanı suyla kıyaslandığında %0,01, %0,1 ve %1 hacimsel oranlarda sırasıyla %11,92, %1,23 ve %13,97 verim artışı olduğu kaydedilmiştir. Nanoakışkanlardaki oran incelendiğinde %0,1 nanopartikül içeren nanoakışkanların diğer oranlara göre daha düşük verim artışı sağladığı görülmektedir.

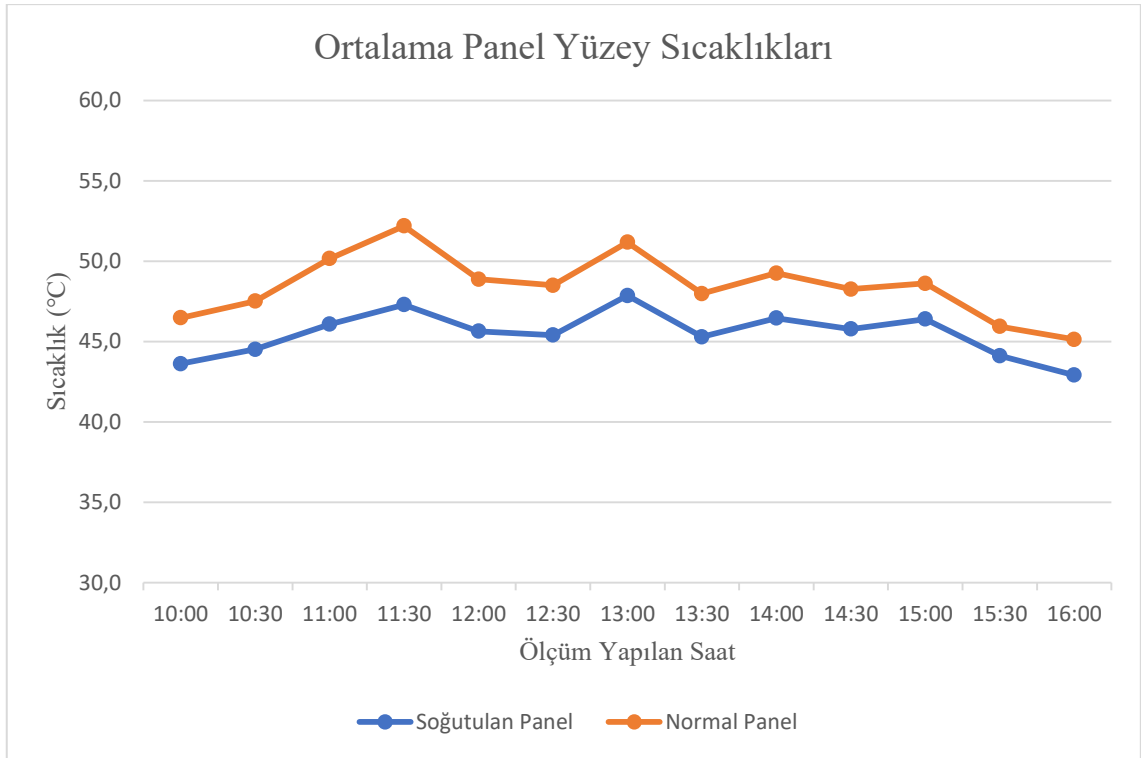


4.4 Ortalama Panel Yüzey Sıcaklıkları Düşüş Değerleri

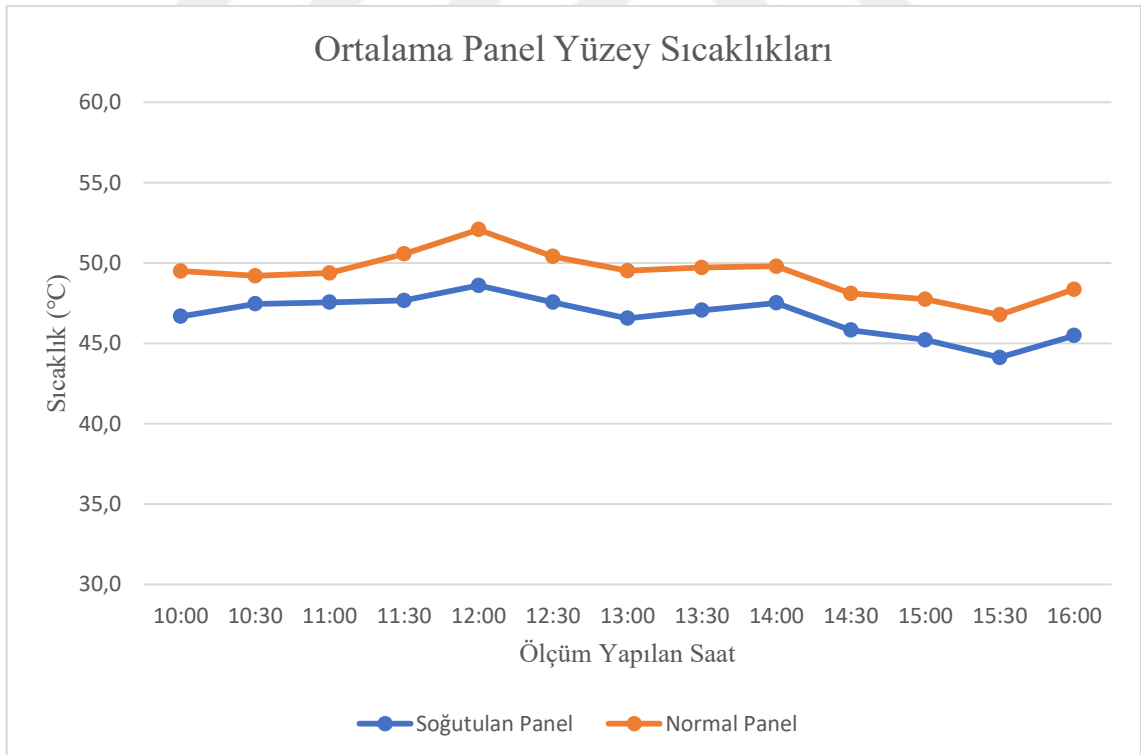
Testler aşamasında panel arka yüzeyinden 5 farklı noktadan (sağ üst, sağ alt, sol üst, sol alt ve orta) sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak her bir ölçüm anı için bir ortalama panel sıcaklığı belirlenmiş olup kullanılan akışkana bağlı panel sıcaklık düşüşleri su, Al_2O_3 (%0,01), Al_2O_3 (%0,1), Al_2O_3 (%1), TiO_2 (%0,01), TiO_2 (%0,1), TiO_2 (%1) için sırasıyla Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



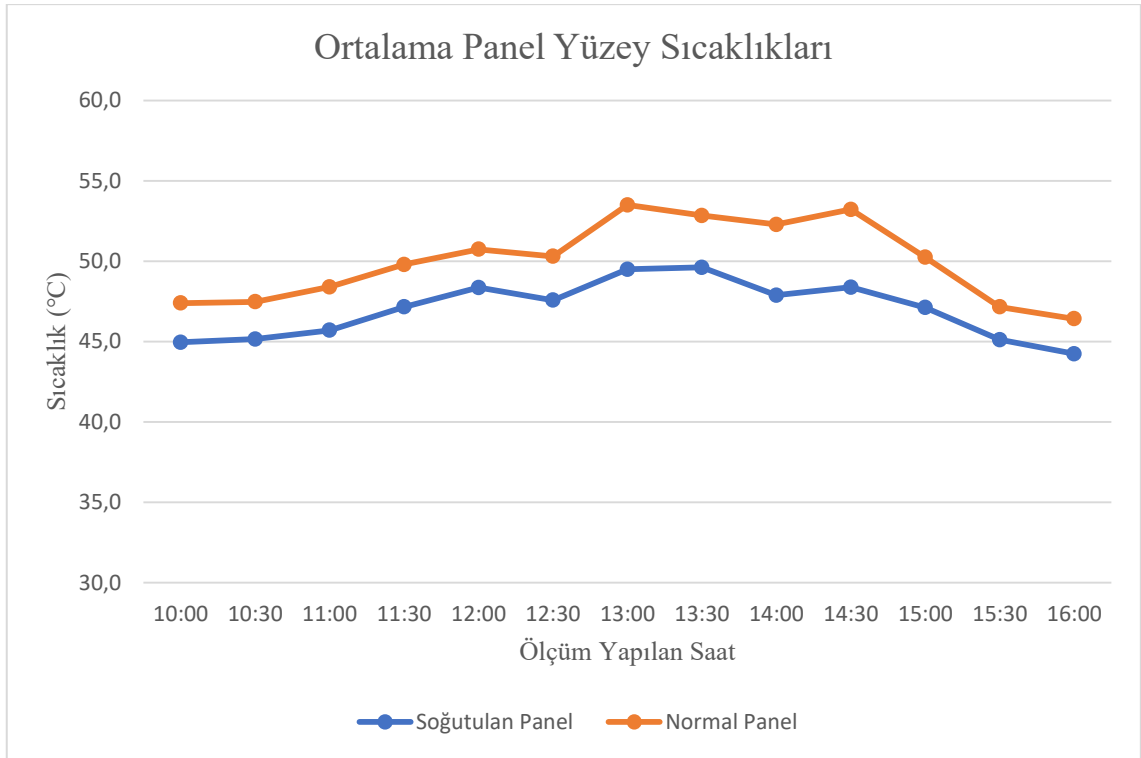
Şekil 4.23. Su soğutmalı panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları



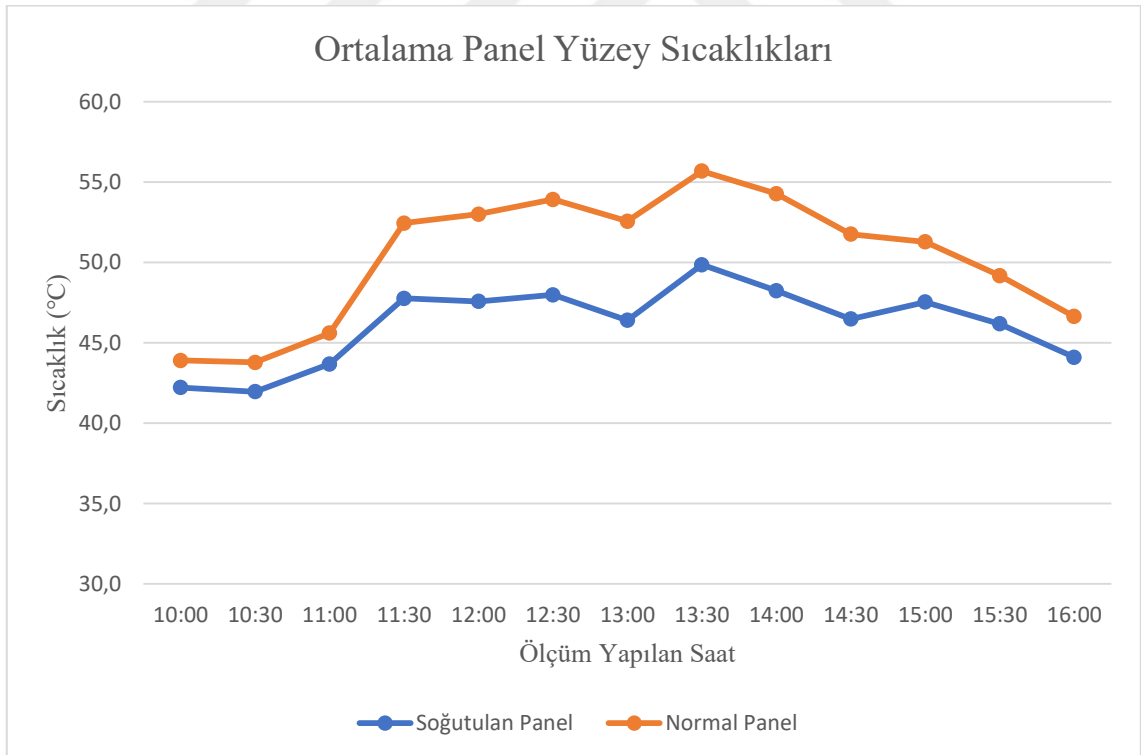
Şekil 4.24. Al_2O_3 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları



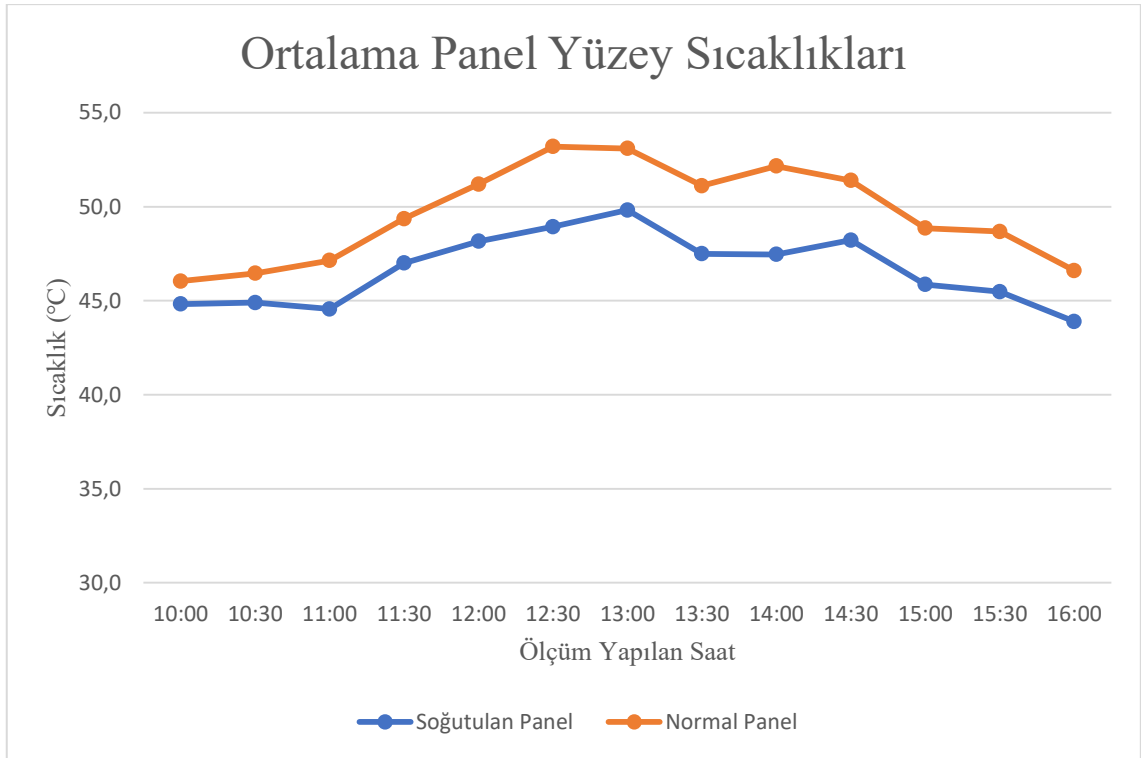
Şekil 4.25. Al_2O_3 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları



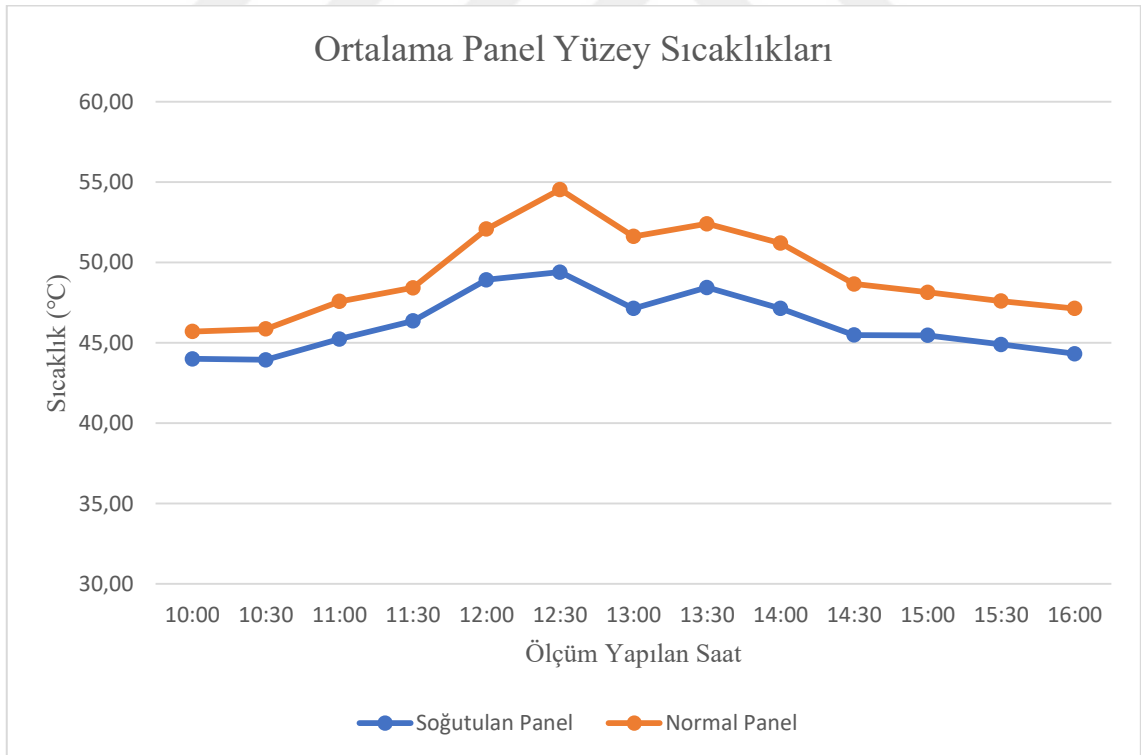
Şekil 4.26. Al_2O_3 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları



Şekil 4.27. TiO_2 (%0,01) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları



Şekil 4.28. TiO_2 (%0,1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları



Şekil 4.29. TiO_2 (%1) nanoakışkanı ile soğutulan panel ile soğutma işlemi yapılmayan panel yüzey sıcaklıkları

Grafikler incelendiğinde TiO_2 nanoakışkanının panel soğutma anlamında daha etkili olduğu görülmektedir. Özellikle 12.00'den sonra alınan ölçümlerde TiO_2

nanoakışkanıyla yapılan çalışmalarda normal panel ile soğutulan panel arasındaki sıcaklık farkının arttığı ve belirginleştiği görülmektedir. Sıcaklık düşüşü oransal olarak incelendiğinde su, Al_2O_3 (%0,01), Al_2O_3 (%0,1), Al_2O_3 (%1), TiO_2 (%0,01), TiO_2 (%0,1), TiO_2 (%1) için sırasıyla %3,34, %6,10, %5,27, %5,95, %8,05, %5,94, %6,19 olduğu görülmektedir. Tüm akışkanlar için sıcaklık farkının maksimum olduğu noktaların öğle vakitleri ışıının maksimum olduğu noktalarda gerçekleştiği görülmektedir.



5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, PV panellerin nanoakışkan ile soğutularak verime etkileri incelenmiştir. Deneyler su, Al_2O_3 ve TiO_2 nanoakışkanlarıyla gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanlar hacimsel olarak %0,01, %0,1 ve %1 oranında partikül içermektedir. Deneyler 28 Haziran 2022 – 6 Temmuz 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde;

- PV panelleri soğutmanın panelden çıkan gerilim değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Gerilim değerleri artışı su, Al_2O_3 (%0,01), Al_2O_3 (%0,1), Al_2O_3 (%1), TiO_2 (%0,01), TiO_2 (%0,1), TiO_2 (%1) için sırasıyla %7,58, %8,19, %7,71, %7,92, %8,34, %7,97 ve %8,13 şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca soğutma işleminin, panellerden çıkan akım değerini olumsuz etkilediği, bu olumsuz etkinin nedeni ise azınlık taşıyıcılar olduğu tespit edilmiştir.
- Panellerden elde edilen güç değerleri ve verimleri kıyaslandığında TiO_2 nanoakışkanı kullanıldığında Al_2O_3 nanoakışkanından daha fazla güç çıktısı sağladığı belirlenmiş olup dolayısıyla panelin sıcaklığını daha fazla düşürdüğü sonucuna ulaşılmaktadır.
- Nanoakışkanların hacimsel oranları kıyaslandığında %1 ile %0,01 nanopartikül içeren akışkanların verim değerlerinin yakın olduğu, %0,1 partikül içeren nanoakışkanların ise diğerlerine nazaran daha verimsiz olduğu tespit edilmiştir.
- Bu sonuçlara dayanarak soğutma çalışmasının hem ekonomik anlamda hem de partikül miktarının az olması nedeniyle akışkan viskozitesini çok fazla değiştirmemesinin pompayı daha rahat çalıştırması yani ergonomik açıdan düşünüldüğünde optimum akışkan yüzdesi %0,01 olarak belirlenmiştir.

5.2 Öneriler

Yapılan çalışma farklı nanoakışkanlarla ve farklı debilerle tekrar edilebilir. Akış debisi değiştirilerek Reynolds sayısı, dolayısıyla de ısı taşınım katsayısı artırılarak panelden daha fazla ısı çekmemiz sağlanabilir. Bunun yanı sıra ışıının azınlık taşıyıcıları üzerinde etkisini inceleyebilmek adına farklı ışıının değerleri altında akım değerleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abadah, A., Rejeb, O., Sardarabadi, M., Menezo, C., Passandideh-Fard, M., Jemni, A., 2018, Economic and environmental analysis of using metal-oxides/water nanofluid in photovoltaic thermal systems (PVTs), *Energy*, 159, 1234-1243.
- Al-Shamani, A.N., Sopian, K., Mat, S., Hasan, H.A., Abed, A.M., Ruslan, M.H., 2016, Experimental studies of rectangular tube absorber photovoltaic thermal collector with various types of nanofluids under the tropical climate conditions, *Energy Conversation and Management*, 124, 528-542.
- Altınışık, U., 2016, Su soğutma ile fotovoltaiik panellerin verimliliğinin artırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt, 15-26.
- Al-Waeli, A.H.A., Chaichan, M.T., Kazem, H.A., Sopian, K., 2017, Comparative study to use nano-(Al₂O₃, CuO, and SiC) with water to enhance photovoltaic thermal PV/T collectors, *Energy Conversation and Management*, 148, 963-973.
- Al-Waeli, A.H.A., Kazem, H.A., Chaichan, M.T., Sopian, K., 2019, Experimental investigation of using nano-PCM/nanofluid on a photovoltaic thermal system (PVT): Technical and economic study, *Thermal Science and Engineering Progress*, 11, 213-230.
- Al-Waeli, A.H.A., Sopian, K., Chaichan, M.T., Kazem, H.A., Hasan, H.A., Al-Shamani, A.N., 2017, An experimental investigation of SiC nanofluid as a base-fluid for a photovoltaic thermal PV/T system, *Energy Conversation and Management*, 142, 547-558.
- Baloch, A.A.B., Bahaidarah, H.M.S., Gandhidasan, P., Al-Sulaiman, F.A., 2015, Experimental and numerical performance analysis of a converging channel heat exchanger for PV cooling, *Energy Conversion and Management*, 103, 14-27.
- Castanheira, A. F. A., Fernandes, J. F. P., Branco, P. J. C., 2018, Demonstration project of a cooling system for existing PV power plants in Portugal, *Applied Energy*, 211, 1297-1307.
- Choi, S.U.S., Eastman, J.A., 1995, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 66, 99-105.
- Coşgun, A.E., 2021, The potential of Agrivoltaic systems in TURKEY, *Energy Reports*, 7, 105-111.
- Çelik, A.N., Özgür, E., 2020, Review of Turkey's photovoltaic energy status: Legal structure, existing installed power and comparative analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110344.
- Ebaid, M.S.Y., Ghair, A.M., Al-Busoul, M., 2018, Experimental investigation of cooling photovoltaic (PV) panels using (TiO₂) nanofluid in water -polyethylene glycol mixture and (Al₂O₃) nanofluid in water- cetyltrimethylammonium bromide mixture, *Energy Conversation and Management*, 155, 324-343.
- Elibol, E., Özmen, Ö.T., Tutkun, N., Köysal, O., 2017, Outdoor performance analysis of different PV panel types, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 651-661.
- Erkan, O., Özkan, M., Arslan, O., 2018. Mini-Channel Cooling of a Photovoltaic Cell, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2, 34-38.
- Gupta, S.K., Pradhan, S., 2021, A review of recent advances and the role of nanofluid in solar photovoltaic thermal (PV/T) system, *Materials Today: Proceedings*, 44, 782-791.

- Güney, T., 2022, Solar energy, governance and CO2 emissions, *Renewable Energy*, 184, 791-798.
- Hamzat, A.K., Sahin, A.Z., Omisanya, M.I., Alhems, L.M., 2021, Advances in PV and PVT cooling technologies: A review, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101360.
- Hasan. H.A., Sopian, K., Jazz, A.H., Al-Shamani, A.N., 2017, Experimental investigation of jet array nanofluids impingement in photovoltaic/thermal collector, *Solar Energy*, 144, 321-334.
- Hassan, Y.B., Orabi, M., Alshreef, A., Al-Rabghi, O.M., Habeebullah, B.A., El Aroudi, A., Ismeil, M.A., 2020, Improvement of Extracted Power of Pole Mounted Solar Panels by Effective Cooling Using Aluminum Heat Sink Under Hot Weather and Variable Wind Speed Conditions, *Energies*, 13, 3159.
- Hatami, M., Jing, D., 2020, Nanofluids: Mathematical, Numerical, and Experimental Analysis, 1, *Elsevier*, ABD – Birleşik Krallık, 1-7.
- Hulla, J.E., Sahu, S.C., Hayes, A.W., 2015, Nanotechnology: History and future, *Human and Experimental Toxicology*, 34(12), 1318-1321.
- Hussein, H.A., Noman, A.H., Abdulmunem, A.R., 2015, Indoor Investigation for Improving the Hybrid Photovoltaic /Thermal System Performance Using Nanofluid (AL2O3-Water), *Engineering and Technology Journal, Part (A):Engineering*, 33:889-901.
- IRENA, International Renewable Energy Agency, Solar Energy Data, <https://www.irena.org/solar>, [Ziyaret Tarihi: 22 Şubat 2022]
- Karaaslan, İ., 2020, Nanoakışkan kullanımı ile fotovoltaik panellerin performansının artırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 49-68.
- Karaaslan, İ., Menlik, T., 2021, Numerical study of a photovoltaic thermal (PV/T) system using mono and hybrid nanofluid, *Solar Energy*, 224, 1260-1270.
- Kasaeian, A., Soltani, S., Sarrafha, H., Wen, D., 2017, An experimental investigation of a hybrid photovoltaic/thermoelectric system with nanofluid application, *Solar Energy*, 155, 1033-1043.
- Kerem, A., Atik, M., Bayram, A., 2020, Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 565-578.
- Kılıç, U., Kekezoğlu, B., 2021, A review of solar photovoltaic incentives and Policy: Selected countries and Turkey, *Ain Shams Engineering Journal*, 13(5), 101669
- Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut, K., 2019, Grafen Tabanlı Nanoakışkanların Araç Radyatörü Soğutma Performansı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Analizi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 1046-1056.
- Kızılkıran, Ö., 2017, Arkadan su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt, 27-48.
- Lari, M.O., Sahin, A.Z., 2017, Design, performance and economic analysis of a nanofluid-based photovoltaic/thermal system for residential applications, *Energy Conversation and Management*, 149, 467-484.
- Lee, G.H., Lee, J.H., Hwang, S.G., 2019, Efficiency Improvement of a Photovoltaic Thermal (PVT) System Using Nanofluids, *Energies*, 12, 3063.
- Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S.A., Pop, I., Wongwises, S., 2013, A review of the applications of nanofluids in solar energy, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57, 582-594.

- Manjunath, C., Reddy, J., Reddy, K.S.R., Kumar, I.R.G., Sanketh, S., 2022, Energy, exergy performance and analysis of 50w solar photovoltaic module, *Materials Today: Proceedings*, 54, 531-536.
- Moharram, K. A., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A., El-Sherif, H., 2013, Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling, *Ain Shams Engineering Journal*, 4, 869-877.
- Naghdbishi, A., Yazdi, M.E., Akbari, G., 2020, Experimental investigation of the effect of multi-wall carbon nanotube – Water/glycol based nanofluids on a PVT system integrated with PCMcovered collector, *Applied Thermal Engineering*, 178, 115556.
- Nasrin, R., Rahim, N.A., Fayaz, H., Hasanuzzaman, M., 2018, Water/MWCNT nanofluid based cooling system of PVT: Experimental and numerical research, *Renewable Energy*, 121, 286-300.
- Nižetić, S., Čoko, D., Yadav, A., Grubišić-Čabo, F., 2016, Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response, *Energy Conversion and Management*, 108, 287-296.
- Ömeroğlu, G., 2018, Fotovoltaik-Termal (PV/T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 161-167.
- Özcan, Z., Gülgün, M., Şen, E., Çam, N.Y., Bilir, L., 2021, Cooling channel effect on photovoltaic panel energy generation, *Solar Energy*, 230, 943-953.
- Öztürk, H. H., 2017, Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler, *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 1, 1-14.
- Purwant, N.K., Badadhe, A.M., 2021, Significance of phase change material and nanofluid in photovoltaic panel cooling technique: SWOC analysis, *Materials Today: Proceedings*, 44, 326-335.
- Radwan, A., Ahmed, M., Ookawara, S., 2016, Performance enhancement of concentrated photovoltaic systems using a microchannel heat sink with nanofluids, *Energy Conversion and Management*, 119, 289-303.
- Rajaei, F., Vaziri Rad, M.A., Kasaeian, A., Mahian, O., Yan, W., 2020, Experimental analysis of a photovoltaic/thermoelectric generator using cobalt oxide nanofluid and phase change material heat sink, *Energy Conversion and Management*, 212, 112780.
- Rauschenbach, H.S., 1980, *Solar Cell Array Design Handbook - The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion*, Van Nostrand Reinhold Company, ABD.
- Rejeb, O., Sardarabadi, M., Mênêzo, C., Passandideh-Fard, M., Dhaou, M.H., Jemni, A., 2016, Numerical and model validation of uncovered nanofluid sheet and tube type photovoltaic thermal solar system, *Energy Conversion and Management*, 110, 367-377.
- Sahoo, S.K., Parveen, S., Panda, J.J., 2007, The present and future of nanotechnology in human health care, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 3, 20-31.
- Said, Z., Arora, S., Bellos, E., 2018, A review on performance and environmental effects of conventional and nanofluid-based thermal photovoltaics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 302-316.
- Sangeetha, M., Manigandan, S., Ashok, B., Brindhadevi, K., Pugazhendhi, A., 2021, Experimental investigation of nanofluid based photovoltaic thermal (PV/T) system for superior electrical efficiency and hydrogen production, *Fuel*, 286, 119422.

- Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., Maghrebi, M.J., Ghazikhani, M., 2017, Experimental study of using both ZnO/ water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 161, 62-69.
- Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., 2016, Experimental and numerical study of metal-oxides/water nanofluids as coolant in photovoltaic thermal systems (PVT), *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 157, 533-542.
- Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., Heris, S.Z., 2014, Experimental investigation of the effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units), *Energy*, 66, 264-272.
- Serrano, E., Rus, G., García-Martínez, J., 2009, Nanotechnology for sustainable energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2373-2384.
- Shalaby, S.M., Elfakharany, M.K., Moharram, B.M., Abosheisha, H.F., 2022, Experimental study on the performance of PV with water cooling, *Energy Reports*, 8, 957-961.
- Siecker, J., Kusakana, K., Numbi, B.P., 2017, A review of solar photovoltaic systems cooling technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 192-203.
- Singh, S., Sharma, R., Mehra, K.S., Kumar, R., 2021, Performance enhancement of solar photovoltaic system using different cooling techniques, *Materials Today: Proceedings*, 46 (20), 11023-11028.
- Sirin, S.M., Sevindik, İ., 2021, An analysis of Turkey's solar PV auction scheme: What can Turkey learn from Brazil and South Africa?, *Energy Policy*, 148, 111933.
- Skoplaki, E., Palyvos, J.A., 2009, On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations, *Solar Energy*, 83(5), 614-624.
- Sohani, A., Shahverdian, M.H., Sayyaadi, H., Samiezadeh, S., Doranehgard, M.H., Nizetic, S., Karimi, N., 2021, Selecting the best nanofluid type for A photovoltaic thermal (PV/T) system based on reliability, efficiency, energy, economic, and environmental criteria, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 124, 351-358.
- Soylu, S.K., 2018, Otomobil radyatöründe TiO₂ esaslı nanoakışkan kullanımının ısı transfer performansı üzerine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, 1-5.
- Tembhare, S.P., Barai, D.P., Bhanvase, B.A., 2022, Performance evaluation of nanofluids in solar thermal and solar photovoltaic systems: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111738.
- Tham, Y., Chinamhora, T., Cheng, G., Irshad, W., 2013, PV panel cooling system for Malaysia climate conditions, *Proceedings of International Conference on Energy and Sustainability*, Karachi – Pakistan.
- Venkatesh, T., Manikandan, S., Selvam, C., Harish, S., 2022, Performance enhancement of hybrid solar PV/T system with graphene based nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 130, 105794.
- Xu, Z., Kleinstreuer, C., 2014, Concentration photovoltaic–thermal energy co-generation system using nanofluids for cooling and heating, *Energy Conversion and Management*, 87, 504-512.,
- Yau, Y.H., Lim, K.S., 2016, Energy analysis of green office buildings in the tropics— Photovoltaic system, *Energy and Buildings*, 126, 177-193.
- Yazdanifard, F., Ameri, M., Ebrahimnia-Bajestan, E., 2017, Performance of nanofluid-based photovoltaic/thermal systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 323-352.

Zilli, B.M., Lenz, A.M., Melegari de Souza, S.N., Secco, D., Nogueira, C.E.C., Junior, O.H.A., Nadaleti, W.C., Siqueira, J.A.C., Gurgacz, F., 2018. Performance and effect of water-cooling on a microgeneration system of photovoltaic solar energy in Paraná, Brazil, *Journal of Cleaner Production*, 192, 477-485.



ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Yunus ÖZDEMİR
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Akdeniz Üniversitesi, Muratpaşa, Antalya	2018
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI**Enerji****YABANCI DİLLER****İngilizce****YAYINLAR**