



**ISI BORULU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE NANO AKIŞKANLARIN
PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ**

Sinan ÜNVAR

DOKTORATEZİ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sinan ÜNVAR

26/02/2021

ISI BORULU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE NANO AKIŞKANLARIN PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ

(Doktora Tezi)

Sinan ÜNVAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde elektrik üretimi ve su ısıtma amacıyla kullanılan güneş enerjisi dünyadaki kullanımı açısından büyük önem arz etmektedir. Güneş enerjisinden faydalanmanın en etkili yolu güneş kollektörleridir. Güneş kollektörleri genel anlamda düzlemsel yüzeyli (DYGK), vakum tüplü (VTGK), ısı borulu (IBGK) ve parabolik (PGK) olmak üzere dört ana tipe ayrılır ve bunların içerisinde en yaygın olarak DYGK'lar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kütleli olarak %2 Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartikül içeren nanoakışkanlar kullanılarak ısı borulu düzlem yüzeyli güneş kollektörünün (IBGK) performans artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan ısı borularının uzunluğu 100 cm, iç ve dış çapları sırasıyla 8 mm ve 10 mm'dir. Düzlem yüzeyli güneş kollektörü 8 adet ısı borusundan oluşmaktadır. Deneyler saf su ve nanoakışkanlar için ayrı ayrı yapılarak sonuçlar verim ve güç bakımından karşılaştırılmıştır. Deneylerin sonucunda iş akışkanı olarak saf su kullanıldığında anlık verim en yüksek %48, Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için %58, TiO_2 -saf su nanoakışkanı için %64 olarak belirlenmiştir. Deneylerde elde edilen en yüksek termal enerji, saf su için 135,66 W, Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için 167,96 W ve TiO_2 -saf su nanoakışkanı için 184,03 W olmuştur. Verimlerdeki iyileşmenin Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için %20,8, TiO_2 -saf su nanoakışkanı için %33,3; güçlerdeki iyileşmenin ise Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için %23,8, TiO_2 -saf su nanoakışkanı için %35,6 olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 92802
Anahtar Kelimeler : Isı Borusu, Güneş Kollektörü, Nano Akışkan, Performans
İyileştirilmesi
Sayfa Adedi : 93
Danışman : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

EFFECTS OF NANOFLUIDS ON PERFORMANCE IN HEAT PIPE SOLAR COLLECTORS

(Ph. D. Thesis)

Sinan ÜNVAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2021

ABSTRACT

The solar energy, which is used for electricity generation and water heating among renewable energy sources, is of great importance in terms of its use in the world. The most effective way to benefit from solar energy is solar collectors. Solar collectors are generally divided into four main types as follows: planar surface (DYGK), vacuum tube (VTGK), heat pipe (IBGK) and parabolic (PGK) and among these, DYGKs are the most commonly used. In this study, studies were carried out to increase the performance of the heat pipe plane surface solar collector (IBGK) by using nanoparticles containing 2% Al_2O_3 and TiO_2 nanoparticles by mass. The length of the heat pipes used in the study is 100 cm, their inner and outer diameters are 8 mm and 10 mm, respectively. The plane surface solar collector consists of 8 heat pipes. Experiments were done separately for pure water and nanofluids. Thus the results were compared in terms of efficiency and power. As a result of the experiments, when pure water is used as the work fluid, the instant efficiency was determined as the highest 48%, 58% for Al_2O_3 -pure water nanofluid and 64% for TiO_2 -pure water nanofluid. The highest thermal energy obtained in the experiments was 135.66 W for pure water, 167.96 W for Al_2O_3 -pure water nanofluid and 184.03 W for TiO_2 -pure water nanofluid. The improvement in yields was 20.8% for Al_2O_3 -pure water nanofluid, 33.3% for TiO_2 -pure water nanofluid; The improvement in powers was 23.8% for Al_2O_3 -pure water nanofluid and 35.6% for TiO_2 -pure water nanofluid.

Science Code : 92802

Key Words : Heat Pipe, Solar Collectors, Nanofluid, Performance Improvement

Page Number : 93

Supervisor : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca yardım ve katkılarıyla çalışmamda beni destekleyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Tayfun MENLİK'e ve kıymetli tecrübelerini benimle paylaşan sayın hocam Prof. Dr. Adnan SÖZEN'e teşekkürlerimi arz ederim. Tez çalışmam sırasında çeşitli fedakarlıklarda bulunan kıymetli eşim, çocuklarım ve Dr. Öğretim Üyesi Adem YILMAZ ile İlhan ÖZDEMİR'e canı gönülden teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
2.1. Güneş Kollektörlerinde Nanoakışkanların Kullanılması İle İlgili Yapılan Çalışmalar	11
2.2. Isı Boruları İle İlgili Yapılan Çalışmalar	23
2.3. Isı Borularında Nanoakışkanların Kullanılmasıyla İlgili Yapılan Çalışmalar	33
3. MATERYAL METOT	41
3.1. Nanoakışkanların Hazırlanması	41
3.2. Deneyde Kullanılan Saf Su ve Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	43
3.3. Isı borulu güneş kollektörünün (IBGK) imalatı	44
4. BELİRSİZLİK ANALİZİ	57
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	59
5.1. Deney Sonuçları ve Değerlendirme	59
6. SONUÇLAR VEÖNERİLER	71

	Sayfa
6.1. Sonuçlar	71
6.2. Öneriler	71
KAYNAKLAR	73
EKLER	83
EK-1. Saf su için deney sonuçları	84
EK-2. Al ₂ O ₃ -su için deney sonuçları	86
EK-3. TiO ₂ -su için deney sonuçları	88
EK-4. Nanoakışkanlarla ilgili yapılmış makale	90
ÖZGEÇMİŞ	91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Enerji kaynaklarının genel sınıflandırılması	2
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan nanopartiküllerin özellikleri	41
Çizelge 3.2. Ultrasonik banyo özellikleri	42
Çizelge 3.3. Hassas terazinin özellikleri	42
Çizelge 3.4. Çalışma sıvıların termofiziksel özellikleri	44
Çizelge 3.5. Deneyde kullanılan solarmetrenin teknik özellikleri	52
Çizelge 3.6. T tipi termokuplun özellikleri	55
Çizelge 4.1. Ölçümde kullanılan elemanların belirsizlik değerleri	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Başlıca fotovoltaik sistem bileşenleri	3
Şekil 1.2. Güneş kollektörlü sıcak su hazırlama sistemi	4
Şekil 1.3. Düzlem yüzeyli güneş kollektörü	6
Şekil 1.4. Vakum tüplü ısı borulu güneş kollektörü	7
Şekil 1.5. Isı borusu çalışma prensibi	7
Şekil 1.6. IBGK'lar içindeki termal süreçlerin şeması	8
Şekil 3.1. Isı borulu güneş kollektörü ısı performans deney seti teknik çizimi	45
Şekil 3.2. Termokuplların deney düzeneğine monte edilmesi	46
Şekil 3.3. Isı aktarma akışkanı giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için tavsiye edilen dönüştürücü konumları	47
Şekil 3.4. Termokupl devresi	54
Şekil 3.5. Kollektör ünitesi başına güç çıktısı	56
Şekil 5.1. Saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim	60
Şekil 5.2. Saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı	61
Şekil 5.3. Saf su için güneş ışıınımı ve sıcaklık grafikleri	61
Şekil 5.4. Al_2O_3 -saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim	62
Şekil 5.5. Al_2O_3 -saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı	63
Şekil 5.6. Al_2O_3 - saf su için güneş ışıınımı ve sıcaklık grafikleri	63
Şekil 5.7. TiO_2 -saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim	64
Şekil 5.8. TiO_2 -saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı	65
Şekil 5.9. TiO_2 -saf su için güneş ışıınımı ve sıcaklık grafikleri	65
Şekil 5.10. Al_2O_3 -saf su & saf su için verim grafiği	66
Şekil 5.11. TiO_2 -saf su & saf su için verim grafiği	67
Şekil 5.12. Al_2O_3 -saf su & saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı	67

Şekil	Sayfa
Şekil 5.13. TiO_2 -saf su & saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı	68
Şekil 5.14. Saf su, Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su için verim grafiği	69
Şekil 5.15. Saf su, Al_2O_3 -su ve TiO_2 -su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı	70



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Ultrasonik banyo	42
Resim 3.2. Hassas terazi	42
Resim 3.3. Kinematik viskozite cihazı (Polyscience)	44
Resim 3.4. Bakır boruların depo çıkışı ve emici plakalara yerleştirilmesi	47
Resim 3.5. Adyabatik bölge	48
Resim 3.6. Depo ve kollektörün ısı yalıtımı	48
Resim 3.7. Kollektörün tamamen yalıtılıp camla kapatıldıktan sonraki hali	49
Resim 3.8. IBGK deney düzeneği	49
Resim 3.9. Debimetre	51
Resim 3.10. Debimetrenin deney düzeneğine bağlantısı	51
Resim 3.11. Solarmetre	52
Resim 3.12. Solarmetrenin kollektör üzerindeki konumu	53
Resim 5.1. Isı borulu güneş kollektörü deney seti	59

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası	5



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A_a	Kollektör açıklık alanı (m^2)
A_c	Kollektör yüzey alanı (m^2)
A_g	Kollektör brüt açıklık alanı (m^2)
Al_2O_3	Alümina (Alüminyumoksit)
c	Özgül ısı (kJ/kgK)
C	Isı sığası (kJ/K)
G	Isınım Şiddeti (W/m^2)
H_2O	Su
K	Sönümlleme Katsayısı
TiO_2	Titanyumdioksit
T_i	Depo giriş suyu sıcaklığı (K)
T_o	Depo çıkış suyu sıcaklığı (K)
Q	Enerji miktarı
η_a	Anlık verim
ΔT	Akışkan çıkış ve girişi arasında sıcaklık farkı (K)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
W_s	Toplam belirsizlik

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers
CFD	Computational Fluid Dynamics
DARS	Direct Absorption Refrigeration System
DASC	Direk Absorpsiyon Güneş Kollektörleri
DYGK	Düzlem Yüzeyli Güneş Kollektörleri
FPSC	Flat Plate Solar Collector

Kısaltmalar**Açıklamalar****GNP**

Graphene Nanoplatelets Ppm: Part per Million

IBGK

Isı Borulu Güneş Kollektörleri

MWCNT

Mono Wall Carbon Nano Tube

PGK

Parabolik Güneş Kollektörleri

pH

Power of Hydrogen

PV

Fotovoltaik Panel

VTGK

Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri

VTIBGK

Vakum Tüplü Isı Borulu Güneş Kollektörleri

VTIBK

Vakum Tüplü Isı Borulu Kollektör

XRD

X Ray Diffraction

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfus oranı ve gelişen teknoloji ile birlikte insanların yaşam standartlarının yükselmesi paralellik göstermiş ve bu durumun sonucunda ihtiyaç duyulan enerji miktarı da artmıştır. İnsan ihtiyaçlarının sınırsız olmasına karşın ihtiyaç duyulan enerji miktarının sınırlı olması yeni kaynakların aranmasına yol açmış ve bu doğrultuda dünya genelinde çalışmalar başlamıştır.

Fosil enerji kaynaklarının zamanla tükenmeye başlaması ve iklim değişikliği sonuçları hakkındaki artan farkındalık-bilinçlenme, insanları dünya çapında sürdürülebilir enerji kaynağı alternatiflerini aramaya itmiştir [1].

Enerji kaynaklarının sınıflandırılması enerjinin elde ediliş şekillerine göre değerlendirilmekte, birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak iki şekilde ele alınmaktadır. Birincil enerji kaynakları; kömür, ham petrol, doğalgaz, biyokütle, güneş rüzgâr, su gücü gibi doğada bulundukları şekilde, doğrudan kullanılabilen kaynaklardır. Bu kaynaklar da kendi içlerinde yenilenemeyen (fosil enerji) ve yenilenebilir kaynaklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Yenilenemeyen ya da yeraltı enerji kaynakları olarak da adlandırılan fosil enerji kaynaklarını kömür, petrol, doğalgaz oluştururken, yenilenebilir enerji kaynaklarını ise güneş enerjisi, hidrolik enerji (su gücü), jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, biyokütle ve atık enerjisi oluşturmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte fosil ve nükleer enerji kullanımındaki artış oranı beraberinde çeşitli çevre sorunlarını da ortaya çıkarmıştır. Bunların başında küresel ısınma, iklim değişikliği, atmosfer kirliliği ve sera etkisi gibi değişik isimler altında hep aynı olumsuzluğu teşkil eden sorunlar bulunmaktadır. Bütün bu sorunlara karşın son yıllarda dünyada artan çevre bilincinin etkisiyle daha temiz, sürdürülebilir bir çevre anlayışı doğmuş ve çevresel sorunların çözümü için ülkelerin yenilenebilir enerji politikalarında önemli derecede değişimler meydana gelmiştir. Yenilenebilir enerjinin diğer enerji türlerine kıyasla, karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevreyi koruma faktörü dışında birçok farklı avantajı da bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri arasında; temiz ve zararsız enerji olmaları, yerli kaynaklar olmaları nedeniyle enerjide dışa bağımlılığın azalmasına ve istihdamın artmasına katkıda bulunmaları ve dünya kamuoyundan güçlü destek almaları yer almaktadır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kullanımı, sürdürülebilir iktisadi büyüme ve

gelişmeye katkıda bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı dünyadaki ülkeler, kademeli olarak fosil enerji kaynaklarının tüketimini azaltıp yenilenebilir enerji tüketimini artırmayı planlamaktadır [2].

Çizelge 1.1. Enerji kaynaklarının genel sınıflandırılması

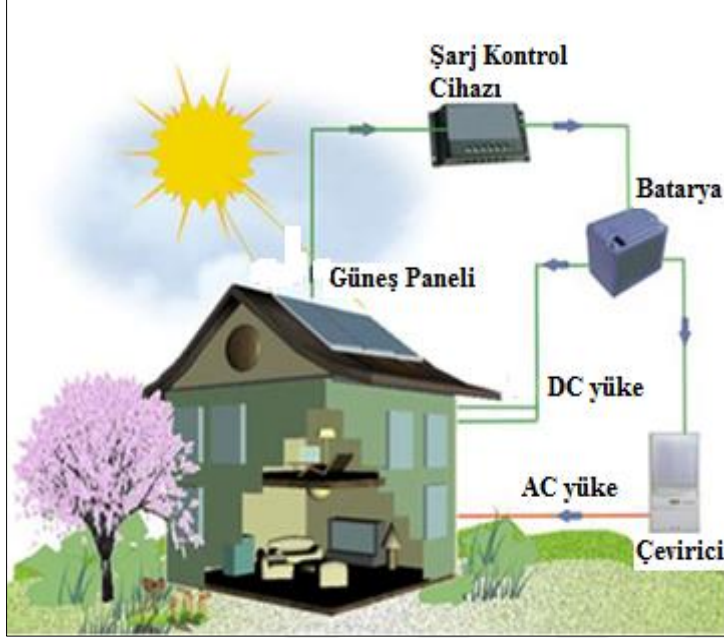
ENERJİ KAYNAKLARI	
Kullanışlarına Göre Enerji Kaynakları	Dönüştürülebilirliklerine Göre Enerji Kaynakları
A) Yenilenemez	A) Birincil (Primer)
a) Fosil Kaynaklı - Kömür - Petrol - Doğal gaz b) Çekirdek Kaynaklı - Uranyum - Toryum	- Kömür - Petrol - Doğalgaz - Nükleer - Hidrolik - Güneş - Rüzgar
B) Yenilenebilir	B) İkincil (Sekonder)
- Hidrolik - Güneş - Biyokütle - Rüzgar - Jeotermal - Dalgı, gel-git - Hidrojen	- Elektrik, benzin, mazot, motorin - İkincil kömür - Kok, petro kok - Hava gazı - Sıvılaştırılmış petrol gazı

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan güneş enerjisi, hem CO₂ salımı gibi zararlı etkisinin olmaması sebebiyle çevre dostu hem de tüm dünyanın enerji talebini karşılayacak kadar potansiyele sahip olan önemli bir enerji kaynağıdır [3]. Geleneksel enerji kaynaklarına göre birden fazla avantajlı yönü olan güneş enerjisinin sıcak su temininden elektrik enerjisi üretimine kadar birçok faydalı kullanım alanı bulunmaktadır [4].

Güneş enerjisi, yaklaşan enerji dönüşüm süreçleri için umut vaat eden bir kaynak olarak kabul edilmektedir [5]. Bununla birlikte, güneş enerjisi bedava ve bol bir kaynak olarak görülmesine rağmen, bu enerjiden faydalanmak için gerekli olan ekipmanların pahalı olması yaşam döngüsü faydası açısından problemler yaratmaktadır [6].

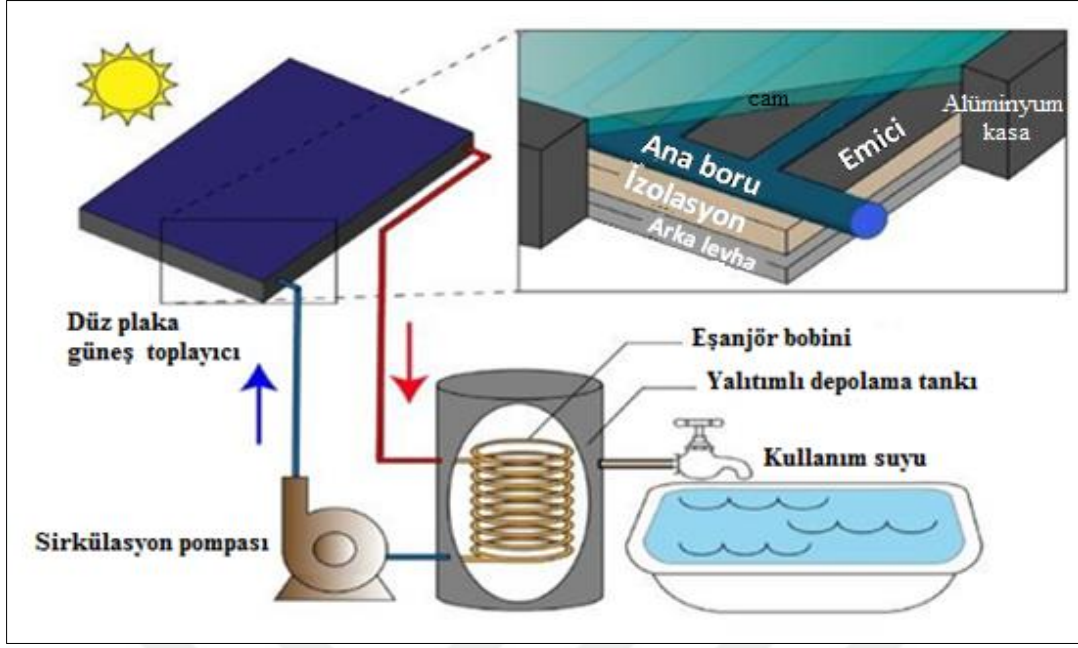
Güneş enerjisinden temel olarak güneş fotovoltaik (PV) sistemi ve güneş termal sistemi olmak üzere iki şekilde faydalanılmaktadır. PV sistemleri doğrudan elektrik enerjisi

üretirler ve enerjiyi depolamak için bataryaya ihtiyaç duyarlar, bu da çok maliyetlidir. Şekil 1.1’de fotovoltaik sistemin başlıca bileşenleri gösterilmiştir [7].



Şekil 1.1. Başlıca fotovoltaik sistem bileşenleri

Güneş enerjisi termal sistemleri ise ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi amaçlarına yönelik olarak kullanılmaktadır. Güneş termal sistemlerinin en büyük avantajlarından biri, sıcak sıvının kolayca depolanabilmesi ve depolama işleminin ucuz ve uygun maliyetli olarak yapılabilmesidir. Şekil 1.2’de güneş kollektörlü sıcak su hazırlama sisteminin genel çalışma durumu verilmiştir [8].



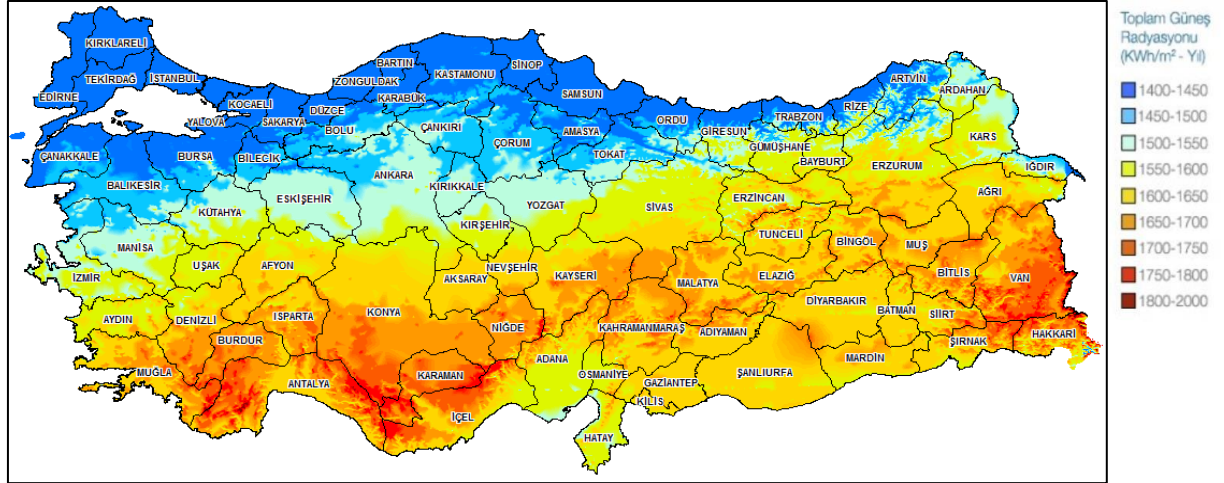
Şekil 1.2. Güneş kollektörlü sıcak su hazırlama sistemi

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeye göre çok şanslı durumdadır. Ülkemiz coğrafi konumu dolayısıyla diğer ülkelere nazaran enerji konusunda çok önde ve avantajlıdır. Güneş, dünyaya saniyede yaklaşık 170 milyon MW enerji göndermektedir. Yapılan birçok akademik ve bilimsel araştırmaya göre; dünyamıza saniyede gelen güneş enerjisinin, ülkemizin bir yıllık enerji üretiminin 1700 katı olduğu söylenmektedir. Türkiye'nin diğer bölgelerine nazaran en fazla ve en çok güneş alan bölgemiz Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Ardından Akdeniz Bölgesi en fazla güneş alan bölgedir. Bunları Doğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu bölgesi ve Ege bölgesi takip etmektedir. Marmara Bölgesi bu sayılan bölgelere göre daha az güneş alan bölgedir. Türkiye'nin neredeyse güneş enerjisi yok denecek kadar az olan bölgesi ise Karadeniz bölgesidir. Yapılan araştırmalara göre; ülkemizin en çok ve en az güneş enerjisi üretebildiği aylar Haziran ve Aralık aylarıdır. Türkiye'nin bölgeleri arasında, en fazla güneş alan ve en fazla güneş enerjisi üretebilen bölgeler arasında öncelik, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz sahillerininindir.

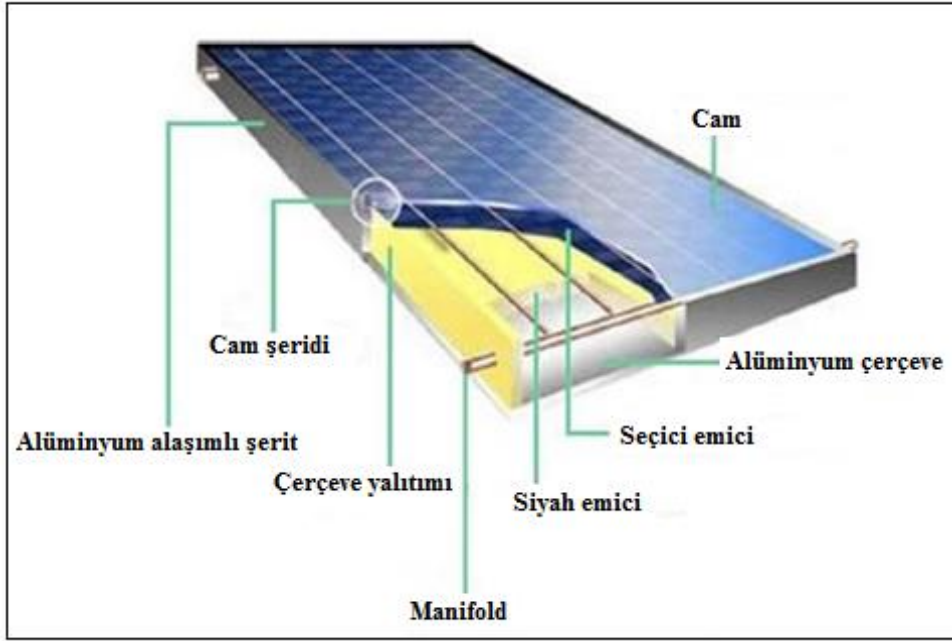
Ülkemizde yaygın olarak güneş enerjisi kullanımı yapılan alanlar su ısıtma sistemleridir. Sıcak su ısıtması ise güneş kollektörleri ile sağlanmaktadır. Güneş kollektörleri, Ege ve

Akdeniz bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli kullanımı açısından faydalandığı bir diğer araç ise güneş panelleridir. Güneş panelleri elektrik şebekesi olmayan, merkezi yerleşim yerlerine uzakta kalan bölgelerde ekonomik yönden de uygun olduğu için kullanılmaktadır [9, 10].



Harita 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası [10]

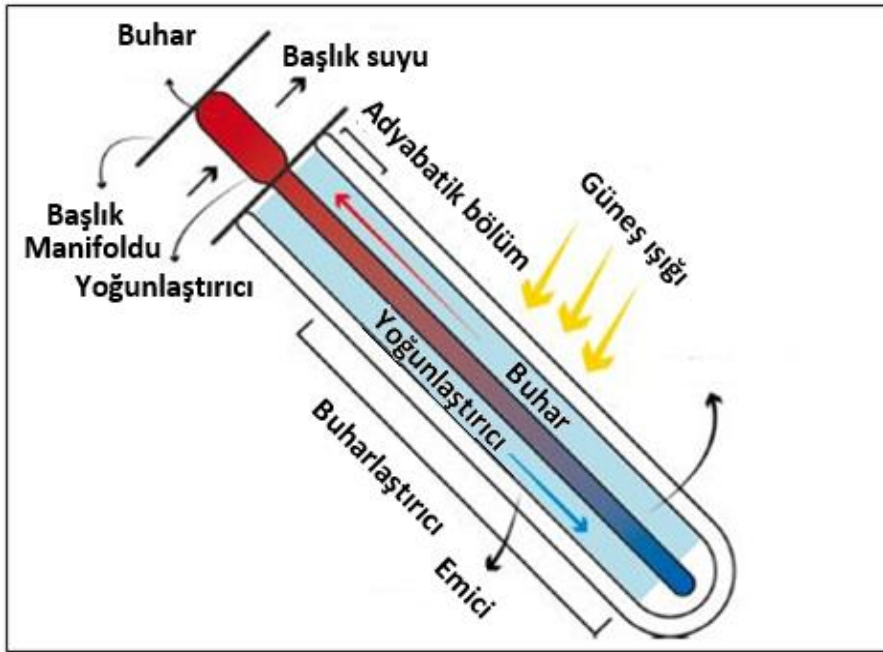
Güneş kolektörleri temel olarak düz plaka, vakum tüplü ve ısı borusu güneş kolektörleri olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır. Düz Plakalı Güneş Kolektörleri ucuzdur, kolayca üretilebilir ve çeşitli şekillerde uygulanabilmesi için esnek özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, özellikle soğuk iklim koşulları ve yüksek sıcaklık uygulamaları için teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliklerini etkileyen dezavantajları mevcuttur. DPGK'ların termal verimliliği; düşük ortam sıcaklığına sahip ideal olmayan iklim koşullarında %40'ın altına düşer [11]. Şekil 1.3'te düzlem yüzeyli güneş kolektörünün şematik diyagramı verilmiştir [12].



Şekil 1.3. Düzlem yüzeyli güneş kollektörü

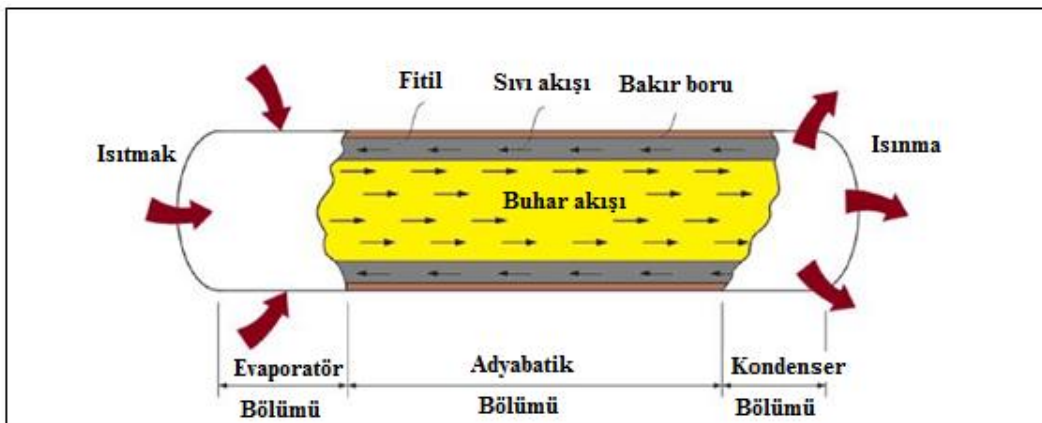
İkinci tip güneş kollektörü grubu, DYKG'ların dezavantajlarına karşı önerilen Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri'dir (VTGK). Kollektörü yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için uygun hale getirmek amacıyla tüplerin iki cam tabakası arasında bulunan hava, termal kayıpları azaltmak için termal yalıtım görevi gören bir vakum boşluğu oluşturmak üzere çıkarılır [13]. Seçilen bu strateji, seçici emici malzeme ve vericilerin kullanımı ile birlikte düşük güneş radyasyonu bulunan soğuk iklim koşullarında dahi güneş kollektörünün termal verimliliğini artırır [14, 15]. Düşük bakım maliyetine sahip olmaları VTGK'ların pazar paylarında önemli bir artışına yol açan diğer bir önemli avantajıdır [16-19].

Yukarıda belirtilen faydalarına ve avantajlarına rağmen, VTGK'ların aşırı ısınma olasılığı gibi bazı kritik dezavantajları da mevcuttur. Bu kollektörlerin sıcaklığının, ilave termal enerjiyi emmek için sürekli olarak çalışma sıvısının bulunmasını gerektiren evsel uygulamalar için belirtilen sınırı geçmesi olasılıklar dâhilindedir. Çalışan sıvının olmaması, vakum kaybı veya malzeme problemleri gibi kritik hasarlara yol açar. Ayrıca, VTGK'lar nispeten yüksek başlangıç maliyetlerine sahiptirler ve özel kırılğan bir camdan yapıldıkları için işlenirken özel dikkat gerektirirler [11-20]. Vakum tüplü ısı borulu güneş kollektörü şeması Şekil 1.4'de verilmiştir [21].



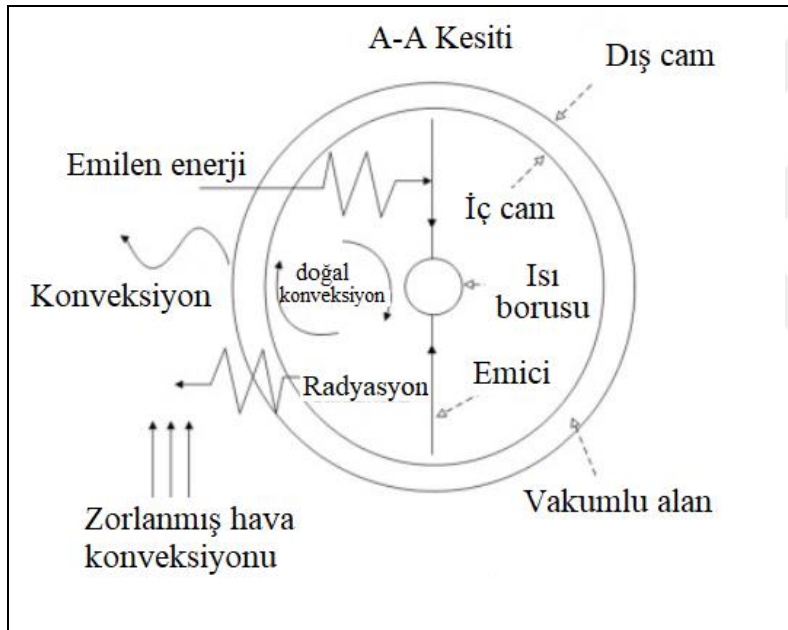
Şekil 1.4. Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü

Isı borulu güneş kolektörleri (IBGK'ler) ise, hem ısı borusu hem de VTGK teknolojilerinden faydalanarak ilk iki güneş kolektörü grubunun sınırlamalarının üstesinden gelmek için üretilmiştir. Düşük termal direnç, emici yüzeyden yüksek ısı giderme ve düşük hidrolik dirençler bu tip güneş kolektörlerinin avantajlarından bazılarıdır [22]. Şekil 1.5'te ısı borularının genel çalışma prensibini tanımlayan şematik ifade verilmiştir [23].



Şekil 1.5. Isı borusu çalışma prensibi

Isı borularının uygulanması, ısı borularının ısı transfer süreci, sıcaklık düşüşünü önemli ölçüde azaltan faz değişimine dayandığından, daha yüksek ısı transfer kapasitesi ve daha düşük ısı transfer ağırlığı ve alanı ile sonuçlanmaktadır [17]. Ayrıca, faz değişim sürecinin ısı transfer katsayısı yüksek olduğu için ısı boruları ısı transferinde son derece güçlüdür [24]. Isı boruları, herhangi bir mekanik cihazdan bağımsız olarak çalışır ve güneş sistemlerinde yaygın bir zorluk olan aşırı ısınmayı önlemek için çalışma sıcaklığını düzenler [17, 25-26]. Düşük donma ve korozyon olasılığı, yüksek çalışma ömrü, binalara kolay montaj, basit tasarım ve hafiflik IBGK'ların diğer önemli avantajlarıdır [27-28]. Isı borusu güneş kolektörlerinin termal süreçleri Şekil 1.6'da olduğu gibidir [29].



Şekil 1.6. IBGK'lar içindeki termal süreçlerin şeması

Isı borularının temel ısı transfer süreci, evaporatör bölümündeki çalışma sıvısının termal enerji alacak ve buharlaşacak şekilde çalışma akışkanının sürekli bir faz değişimine dayanmaktadır. Buhar yukarı doğru hareket eder ve gizli ısını aktardığı ve sıvıya dönüştüğü kondenser bölümüne ulaşır. Sıvı haldeki çalışma sıvısı fitil yapısı ile evaporatöre geri döner ve bu döngü devam eder [30].

Isı boruları, bakırın kendisine göre çok daha yüksek verimli termal iletkenliğe sahip en verimli ısı transfer cihazlarından biridir. Uygun çalışma sıvısının seçilmesi, ısı borularının performansını önemli ölçüde etkiler ve büyük ölçüde sıvı özelliklerine, ısı borusu malzemesine, çalışma sıcaklığına ve fitil yapısıyla uyumluluğa bağlıdır [31].

Çalışma akışkanının termal iletkenliği ısı borularının performansında önemli bir rol oynar ve ısı borularının içinde nanoakışkanlar kullanarak bu parametreyi geliştirmek için çeşitli araştırmacılar tarafından büyük bir araştırma payı ayrılmıştır [32-43].

İlk olarak Choi [44] tarafından tanıtılan nanoakışkanlar, ısı emme ve taşıma kapasitesini artırma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Isı transfer miktarını arttırmak için Fourier denkleminde yola çıkarak ısı transfer katsayısını artırmak, sıcaklık farkını artırmak ve alan artırmak seçenekleri vardır. Son ikisinin hem teknik hem de ekonomik sebepler ile mümkün olamadığı birçok durumda ısı transfer katsayısını artırmak tek seçenek olarak kalmaktadır. Bu durumlarda nanoakışkan kullanımı mümkün olabilmekte ve genelde metal veya metal oksit nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılarak hazırlanan süspansiyonların hem iletim hem de taşınım katsayıları artırılabilir [45].

Nanoakışkanların özellikleri temel olarak termo akışkanlar, ısı transferi, partiküller, koloit ve lubrikasyon olmak üzere 5 parametreye dayanır. Termo akışkan özellikleri sıcaklık, viskozite, yoğunluk, özgül ısı ve entalpi değerlerini kapsar. Isı transferi ise ısı iletim, ısı kapasitesi, Prandtl sayısı ve basınç düşüşünü içerir. Partiküller ise büyüklük, şekil, BET (yüzey alanı analizi) ve kristal faz olarak alt başlıklara ayrılmaktadır. Koloit özellikler ise karışımın stabilitesi, zeta potansiyeli ve pH değerlerinden oluşur. Lubrikasyon açısından ise viskozite, viskozite indeksi, sürtünme katsayısı, aşınma hızı ve üst basınç değerlerine bakmak gerekmektedir [46].

Ek olarak, yüzey aktif madde nanoparçacıkların yüzeyini hidrofobikten hidrofilik veya tam tersine değiştirmek için kullanılır. Bu modifikasyon nanoparçacıkların itici kuvvetlerini artırır, bu durum da nanoakışkanın stabilitesini geliştirir [47]. Nanopartiküllerin yüzeyini değiştirmek için tipik olarak kullanılan sürfaktanlar, sodyum dodesil sülfat (SDS) [48, 49], sodyum dodesilbenzensülfonat (SDBS) [50, 51], oleik asit, dodesiltrimetilamonyum bromür (DTAB), setiltrimetil-amonyum bromür (CTAB) ve polivinilpirrolindir [52-54].

Nanoakışkanların kullanımı sadece güneş kolektörlerinde değil başka birçok amaç doğrultusunda da kullanılmaktadır. Elektronik uygulamalarda soğutma, kamera-ekran gibi teknolojik ürünlerde lenslerin odaklanması amacıyla, uzay-savunma sanayi ve gemicilikte ve petrol arama sektöründe de çeşitli nanoakışkanlar tercih edilmektedir [45].

Isı borularındaki nanoakışkan çalışmaları üçe ayrılabilir;

1. Kılcal kuvvetlerin etkili olduğu ve taşınımın buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kısmında hâkim olduğu durumlar: Mikro-oluk, ağ (meshes) ve sinterlenmiş metal ısı boruları
2. Isı gradyanının olduğu basınç dalgalarına yol açtığı ve itme kuvvetlerinin etkili olduğu durumlar: Titreşimli ısı boruları
3. İki fazlı termosifon durumunda ise havuz kaynama karakteristiğine benzer bir yapıda ısı transferi gerçekleştiği durumlar: normal ısı borusu [55].

Bu çalışmada ayırık borulu düzlemsel yüzeyli güneş kolektörünün performansını artırmak amacıyla kütleli olarak %2 nanopartikül içeren Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su nanoakışkanları kullanılmıştır. Deneyler saf su ve nanoakışkanlar için yapılarak verim ve güçleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan nanoakışkanlar ultrasonik banyoda hazırlanarak işleme alınmıştır. Nanoakışkan kullanımının performans ve güç artırımı sağladığı yapılan deneylerle ortaya koyulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışma için yapılan literatür taraması güneş kolektörlerinde nanoakışkanların kullanılması, ısı boruları hakkında yapılan araştırmalar ve ısı borularında nanoakışkan kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları kapsamaktadır.

2.1. Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkanların Kullanılması İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Ojeda ve Messina yapısal bir güneş kolektöründe nanoakışkan olarak alümina-su kullanarak enerji depolamasını artırmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bunun için güneş kolektöründe dentritik geometri boruları ağı geliştirmişlerdir. Çalışmada termal iletkenlik Hamilton-Crosser modeli kullanılarak elde edilmiştir. Yoğunluk, özgül ısı kapasitesi, sıcaklık profilleri ve yapı elemanlarının en boy oranları gibi özellikler, sıvıdaki nanoparçacıkların hacimsel fraksiyonunun bir fonksiyonu olarak tarif edilmiştir. Her yapı seviyesi için sunulan ağın optimum boyutu, minimum termal direnç şartıyla belirlenmiştir. Nanopartiküllerin hacim fraksiyonu artırıldığında termal enerji kazanımının da arttığı ve alümina nanoparçacıkları kullanıldığında sıvının daha yüksek bir çıkış sıcaklığına ulaştığı tespit edilmiştir [56].

Khosravi ve arkadaşları parabolik oluklu bir güneş kolektöründe 0-500 G manyetik alan altında Fe_3O_4 -Therminol 66 ferro-akışkanının konvektif ısı transferini hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodunu kullanarak değerlendirmişlerdir. Farklı hacim fraksiyonuna sahip ferro-akışkan (%1-4) ve Therminol 66 (baz sıvı olarak) parabolik oluklu bir güneş kolektörü için çalışma sıvıları olarak kabul edilmiştir. Sayısal analiz öncelikle teorik sonuçlar kullanılarak doğrulanmış ve daha sonra manyetik alanın farklı parametreler üzerindeki etkisini analiz etmek için ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak, manyetik alanın kullanılmasının kolektör borusunun ısı transfer katsayısını, ısı verimini ve kolektörün çıkış sıcaklığını artırabildiği belirlenmiştir. Ayrıca, baz sıvıdaki nanoparçacığın hacim fraksiyonunun ve manyetik alan yoğunluğunun artırılması kolektörün performansını artırmıştır. Manyetik alanın sıvının hidrotermal özellikleri üzerindeki etkileri, tek fazlı bir model uygulanarak araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında en iyi performans %4 hacimli ferro-akışkan için elde edilmiştir.

Ahmadlouydarab ve arkadaşları düz plaka güneş kolektöründe temel sıvı olarak deiyonize su kullanmışlardır ve deiyonize su içerisinde %0,1 ila %5 arasında değişen farklı hacimlerdeki TiO_2 fraksiyonlarını nanoakışkan olarak kullanarak verimlilik konusunda incelemeler yapmışlardır. Çalışmada ayrıca düz plaka güneş kolektörünün cam yüzeyinin dış tarafına bir N- TiO_2 partikül tabakası uygulanmıştır. Bu tekniğin uygulanmasıyla, yüzeyin kendi kendini temizleme özelliklerini geliştirdiği ve ayrıca kolektörün termal verimliliğini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Başlangıç sıcaklığının 20°C olduğu kolektörde %5 oranında bir nanoakışkan kullanıldığında %49'luk bir verimlilik artışı tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçları göz önüne alarak güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının verimliliği artırdığı ve ekonomik anlamda ciddi fayda sağlayacakları konusunda sonuçlar elde etmişlerdir [58].

Saffarian ve arkadaşları farklı akış yolu şekillerine sahip düz plaka güneş kolektöründe nanoakışkan kullanarak ısı transferini geliştirmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada nanoakışkan kullanımına ek olarak konvektif ısı transfer katsayısını arttırmak için akış yönünün değiştirilmesi kapsamında aynı boru uzunluklarına sahip U şekilli, dalgalı ve spiral borular kullanılarak araştırmalar yapılmıştır. Sistemde $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ ve CuO/su nanoakışkanları %1 ve %4'lük hacim fraksiyonlarında kullanılmıştır. Reynolds sayısının düşük olduğu göz önüne alındığında, SST k-w türbülans modeli kullanılmış ve sonuçlar Gnielinski ve Dittus-Boelter korelasyonları ile doğrulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, dalgalı ve spiral borular kullanımının ısı transfer katsayısını ve Nusselt sayısını önemli ölçüde artırabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, basınç düşüşünün dalgalı borular için en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Her durumda, ısı transfer katsayısı su yerine nanoakışkan kullanıldığında artmıştır. Dalgalı borular ve %4 hacim fraksiyonuna sahip CuO/su nanoakışkan kullanıldığında, ısı transfer katsayısının %78,25'e kadar artabildiği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [59].

Fathabadi yeni bir parabolik oluklu güneş kolektörü üretmiş ve çalışma sıvısına eklediği nanopartiküllerle kolektörün termal verimliliği konusunda bir çalışma yürütmüştür. Kolektörde, güneş ısını yakalamak için buharlaşma ve yoğunlaşma kısımlarından oluşan iki fazlı kapalı bir termosifon (TPCT) ısı borusu kullanılmıştır. Kolektör reflektörünün ortasına yerleştirilmiş 240 cm uzunluğundaki buharlaşma kısmı, seçici kaplama ile kaplanmış ve çift cidarlı vakum cam tüp kullanılarak ortamdan yalıtılmıştır. Cam yünü kullanılarak termal olarak izole edilmiş silindirik bir manifoldun içine yerleştirilmiş 45 cm

uzunluğundaki yoğuşma kısmı, bu kısım içinde mevcut olan gizli buhar ısını manifoldun içinde akan HTF'ye aktarmış ve ısıtmıştır. Damıtılmış su ve CuO-H₂O nanoakışkanının etkisini değerlendirmek amacıyla nanopartikül ağırlık yüzdeleri farklı olan sekiz adet değişik çalışma sıvısı kullanılmıştır. Bu çalışmada sunulan teorik ve deneysel sonuçlar, çalışma sıvısına belirli bir yüzdeye kadar nanoparçacıkların eklenmesinin kollektörün termal verimliliğini arttırdığını göstermiştir. Ancak bu belirli yüzdeden fazlasını eklemek termal verimliliği azaltmıştır. Damıtılmış suya %1,5'a kadar CuO nanoparçacıklarının eklenmesinin kollektörün termal verimliliğini artırdığı ancak çalışma sıvısının viskozitesi ve buharlaşma gizli ısı katsayısındaki artış nedeniyle %1,5'tan fazla nanoparçacık eklenmesinin termal verimi azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca damıtılmış suya CuO nanoparçacıklarının %2,9'dan fazla eklenmesi, çalışma sıvısının viskozitesini ve buharlaşma gizli ısı katsayısını çok fazla arttırmış, böylece termal verimlilik, damıtılmış suyun sağladığı değer altına düşmüştür. HTF sıcaklığındaki artış, kollektörün termal verimliliğini azaltırken, akış hızındaki artış termal verimliliği artırmıştır [60].

Jamal-Abad ve arkadaşları doğrudan sentez yöntemiyle ürettikleri Cu-su nanoakışkanlarını düz plaka güneş kollektörlerinde kullanarak bu nanoakışkanların kollektör verimliliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Güneş kollektörünü test etmek için ASHRAE 93 standardı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre nanoparçacıkların konsantrasyonu artırıldığında kollektör veriminin de arttığı gözlemlenmiştir. Kollektör veriminin, 0,05 wt%'de belirli koşullar için saf baz sıvılarından yaklaşık olarak %24 daha fazla olduğunu göstermiştir. Nanoakışkanlar için verimlilik dalgalanmalarının saf baz sıvısından daha az olduğu da belirlenmiştir [61].

Kılıç ve arkadaşları titanyumdioksit/saf su nanoakışkan kullanımının düz plaka güneş kollektörünün termal performansına olan etkisini araştırmak için ağırlıkça %2'lik TiO₂/saf su nanoakışkan karışımı kullanmışlardır. Hazırlanan nanoakışkan süspansiyonunun stabilitesini korumak ve zaman içinde aglomerasyon/çökelme problemini ortadan kaldırmak için karışıma ağırlıkça %0,2 Triton X-100 yüzey aktif maddesi ilave edilmiştir. Nanoakışkan, ultrasonik banyoda 8 saat boyunca sürekli darbe yöntemiyle karıştırılmıştır. EN ISO 9806 standardına göre yapılan deneylerde, saf su ve nanoakışkan için en yüksek anlık artışlar belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Deneysel düz plaka güneş kollektörü kurulumunda, TiO₂ /saf su nanokışkanı için en yüksek anlık verim %48,67, saf su için en yüksek anlık verim %36,20 olarak tespit edilmiştir. Araştırmacılara

göre bu iyileşmenin nedeni, çalışma sıvısı temas yüzeyindeki artış ve TiO_2 / su nanoakışkanının yüksek özgül ısı kapasitesidir. Kollektör anlık verimliliğindeki performans artışının %34,43 ile %1,68 arasında olduğu ve kollektörden çekilen faydalı ısının da %30,06 ile %20,3 arasında olduğu tespit edilmiştir [62].

Zayed ve arkadaşları nanoakışkanlar kullanılarak düz plaka güneş kollektörünün termal performansını etkileyen faktörleri inceledikleri genel bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada DPGK'lar içinde ısı transfer sıvısı olarak kullanılan metal, metal oksitler, yarı iletken kristalize oksitler ve karbon bazlı nanoakışkanlar üzerinde yapılan çalışmaları incelemişler ve değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Nanoparçacık tipi, nanoparçacık konsantrasyonu, nanoparçacık büyüklüğü ve nanoakışkanın kütle akış hızı gibi DPGK'nın termal performansını etkileyen çeşitli parametreler kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu çalışmada gözden geçirilen sonuçlara dayanarak, DPGK'nın enerji ve ekserji verimliliğinde, aynı koşullar altında metal oksit nanoakışkanlara kıyasla karbon bazlı nanoakışkanlar (özellikle MWCNT ve SWCNT) kullanılmasıyla önemli derecede bir iyileşme elde edildiği belirlenmiştir. Bakır oksit nanoakışkanının metal oksit nanoakışkanlar arasında en iyisi olduğu bulunmuştur, çünkü konsantrasyon %0,025 ile %2 arasında değiştiğinde geleneksel akışkanlara kıyasla verimliliği %6, %3-37,3 oranında artırmıştır ve kütle akış hızı 1 ile 8,8 kg/dakika arasında değişmiştir. Ayrıca alüminyum oksit nanoakışkanının, DPGK'lar içinde ısı transfer sıvısı olarak en yaygın kullanılan nanoakışkan türü olduğu ve ağırlıkça %0,1 ile %3 konsantrasyon oranlarında kullanıldığında DPGK'nın verimliliğinde (%2-31.6) iyi bir iyileşme gösterdiği belirlenmiştir [63].

Mercan ve Yurddaş vakum tüplü güneş kollektörlerinde nanoakışkanlar kullanarak sayısal bir analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Analizler aracılığıyla, su bazlı $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ ve $\text{CuO-H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının, nanopartikülün farklı hacim fraksiyonları, farklı kollektör açıları, farklı kütle akış hızları ve farklı sayıda vakum tüpler için ısı transferi üzerindeki etkisi suya kıyasla incelenmiştir. Bu parametrelere göre, kollektörün termal ve hidrolik durumları Boussinesq yaklaşımı kullanılarak incelenmiş ve depo çıkış sıcaklıkları belirlenmiştir. Sonlu hacimler yöntemi ile farklı hacim fraksiyonları, farklı nanoakışkanlar, farklı tüp sayıları ve farklı açılarda VTGK'ların ısı ve akış analizleri incelenmiştir. 30° , 45° ve 60° eğimlerinde kollektör açıları karşılaştırılmış ve en iyi sonuç 30° için elde edilmiştir. Üç farklı kütle akış hızı analizinde (0,025 kg/s, 0,05 kg/s ve 0,07

kg/s), en iyi ısı aktarım hızının 0,025 kg/s akış hızı için gerçekleştiği belirlenmiştir. Sırasıyla 12, 24 ve 36 vakum tüpü kullanılmış ve tüp sayısı arttıkça ısı transferi de artmıştır. Bununla birlikte, tüp sayısındaki artış oranı, ısı transferindeki artışla aynı olmamıştır. Başka bir deyişle, tüp sayısı 12 tüpten 24 tüpe yükseltildiğinde meydana gelen artış, 24 tüpten 36 tüpe yükseltildiğinden daha fazla olmuştur. Araştırmacılar, vakum tüpte ve tankın içindeki tüpte dolaşan sıvılar aynı tipte olduğunda, eğer vakum tüpte su kullanılırsa ve tankın içindeki boruda nanoakışkan kullanılırsa, ısı transfer kapasitesinin çok daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. 24 tüplü kollektör için %5 hacim fraksiyonunda Al_2O_3 nanoparçacığı içeren Al_2O_3/H_2O nanoakışkanı için ısı transferindeki artış %4,13 iken, aynı koşullarda CuO/H_2O nanoakışkanı için artış %6,80 olarak belirlenmiştir [64].

Kumar Gupta ve arkadaşları $Al_2O_3-H_2O$ nanoakışkan akış hızının doğrudan emilimli güneş kollektörünün verimliliği üzerindeki etkisinin araştırılması üzerine yaptıkları çalışmada hacimsel emilim prensibi etkisinde çalışan, brüt alanı $1,4 \text{ m}^2$ olan bir doğrudan emilimli güneş kollektörü prototipi geliştirmişlerdir. Deneyler, damıtılmış su ve 20 nm büyüklüğündeki Al_2O_3 nanoparçacıklarının % 0,005 hacim fraksiyonları kullanılarak 1,5, 2 ve 2,5 lpm'lik üç farklı akış hızında gerçekleştirilmiştir. Güneş kollektörünün anlık verimliliğinin hesaplanması için ASHRAE standardı 93-86 kullanılmıştır. Nanoakışkanın 1,5 ve 2 lpm akış hızında sırasıyla % 8,1 ve % 4,2'lik kollektör verim artışı gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar, maksimum kollektör verimliliği için optimum akış hızının, bu çalışmada su ve nanoakışkan için farklı akış hızında, yani sırasıyla 2,5 ve 2 lpm'de meydana geldiğini kanıtlamıştır. Çalışmada su yerine nanoakışkanlar kullanıldığında termal verimliliğin tüm durumlarda arttığı tespit edilmiştir [65].

Noghrehabadi ve arkadaşları %1 kütle fraksiyonuna sahip bir SiO_2/su nanoakışkanını soğutucu olarak kullanmışlardır ve bunun simetrik, kare düz plaka güneş kollektörünün performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler, hiçbir sürfaktan/yüzey aktif madde olmadan ASHRAE standardı altında gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanın kollektör verimliliği üzerindeki etkisi; güneş radyasyonu, kütle akış hızı ve sıcaklık değişimi açısından incelenmiştir. Sonuçlar, saf su ile karşılaştırıldığında, SiO_2/su nanoakışkanının termal verimliliği ve sıcaklık performansını arttırdığını göstermiştir. Kütle akış hızı artırılarak kare düz plaka güneş kollektörünün verimliliği arttırılmıştır. Bu davranış hem su hem de SiO_2/su nanoakışkanı için benzer olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, nanoakışkan akış hızının daha yüksek değerlerinde saf sudan daha verimli

sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca kütle akış hızı arttığında, giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark azalmıştır. Giriş ve çıkış sıcaklıklarının nanoakışkan için azalma eğiliminin saf sudakinden daha düşük olduğu da araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [66].

Joseph ve arkadaşları $\text{SiO}_2/\text{Ag-CuO}$ su bazlı nanoakışkan üzerinde foto-termal analiz ve termal iletkenlik incelemeleri yapmışlardır. Partikül konsantrasyonu ve yüzey aktif cismi konsantrasyonunun termo-optik özellikler üzerindeki etkisi deney konseptinin tasarımı kullanılarak araştırılmıştır. Proses parametrelerinin nanoakışkanın termal iletkenliği ve güneş ağırlıklı absorpsiyon fraksiyonu üzerindeki önemini incelemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. İyi termal iletkenlik ve güneş emilimi sağlayan nanopartiküllerin ve yüzey aktif cisimlerinin optimum kombinasyonunun SiO_2/Ag için 206,3 mg / L, CuO için 864,7 mg / L ve SDS (yüzey aktif madde) için 1996.2 mg / L olduğu bulunmuştur. Sonuçlar, CuO'nun varlığının, plazmonik SiO_2/Ag partiküllerinin güneş ışınımını emmede iyi olduğu ve termal iletkenliği artırdığını ortaya koymuştur. Nanoakışkanların stabilitesi, nanoakışkanın termal ve optik özelliklerini güçlü bir şekilde etkilemiştir. Deney sonuçlarında ayrıca bileşenlerin optimum kütle fraksiyonu 1,234 nispi termal iletkenlik ve %82,82 güneş ağırlıklı emme fraksiyonu vermiştir [67].

Ghaderian ve Sidik, Al_2O_3 /damıtılmış su nanoakışkanının vakum tüp güneş kollektöründe enerji verimliliği üzerindeki etkisini araştırmak için çalışma yapmışlardır. Nanopartiküllerin hacim fraksiyonu, 40 nm'lik nanopartiküller boyutuyla %0,03 ve %0,06 olarak kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada yüzey aktif madde olarak Triton X-100 kullanılmıştır. Bu çalışma, maksimum verimin hacim olarak % 0,06 nanoakışkan için % 57,63 ve kütle akış hızının ise 60 l/saat olduğunu ortaya koymuştur. Kollektör verimliliği, Al_2O_3 nanoparçacıklarının artan hacim fraksiyonları ve akış hızı ile daha fazla artış göstermiştir. Nanoakışkan içermeyen su için VTGK'nın toplam ortalama enerji verimliliği %13,95, %17,51 ve %22,85; hacimce %0,03 Al_2O_3 nanoakışkanları için %24,64, %32,72 ve %39,52 olarak; hacimce % 0,06 Al_2O_3 nanoakışkanları için kütle akış hızları 20, 40 ve 60 l/sa ile %30,07, %45,13 ve %58,65 olarak tespit edilmiştir [68].

Kim ve arkadaşları U-tüplü bir güneş kollektöründe çeşitli nanoakışkanlar kullanarak kollektör verimliliğini incelemişlerdir. Çalışmada %20 PG (propilen glikol)-su içeren bir çalışma sıvısı güneş kollektöründe donmayı önlemek için kullanılarak deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak, nano-sıvıların ısı iletkenliği, sıcaklık ve hacim konsantrasyonu arttıkça

artmıştır. %0,2 hacimdeki MWCNT nanoakışkan, en büyük termal iletkenliğe, 0,588 W/(mK) sahipti; bu, %20 PG-suyunkinden yaklaşık %10 daha büyüktü. Güneş kollektörüne çeşitli nanoakışkanlar uygulandığında, güneş kollektörü verimliliği sırasıyla MWCNT, CuO, Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ nanoakışkanları için en büyükten en aza doğru iyileşmiştir. %0,2 hacimde MWCNT nanoakışkan kullanıldığında, (T_i-T_a)/G = 0 ve 0,15 olduğunda sırasıyla güneş kollektörü verimi %62,8 ve %39 olmuştur; bu da aynı çalışma koşullarında sırasıyla %20 PG-su'dan %10,5 ve %4,2 daha yüksek bulunmuştur. (T_i-T_a)/G = 0 olduğunda, nanoakışkanların hacim konsantrasyonu CuO, Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ nanoakışkanları için hacim konsantrasyonu %1'den %2'ye veya MWCNT için hacimce %0,1'den %0,15'e yükseldiğinden güneş kollektörü verimliliği ortalama olarak %0,52 artmıştır. Çalışmadaki asıl konu Güney Kore'deki Gwangju'da 35° enlemde ve 126° boylamda bulunan 50 EA güneş kollektörüne bir yıl boyunca maksimum hacim konsantrasyonuna sahip çeşitli nanoakışkanların uygulanmasıdır. Sonuçlar kömür kullanımında yaklaşık 700,2-792,1 kg azalma ve CO₂ üretiminde 1841,6-2083,1 kg ve SO₂ üretiminde 6,0-6,7 kg azalma göstermiştir. Özellikle, %0,2 hacimde MWCNT nanoakışkan kullanan güneş kollektörü, kömür kullanımında en büyük düşüşü göstererek yılda yaklaşık 792,1 kg, CO₂ üretiminde 2083,1 kg ve SO₂ üretiminde 6,7 kg azalmaya yol açmıştır. Araştırmacılara göre bu sonuçlar, güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımının önemli enerji tasarrufu sağlama, CO₂ ve SO₂ üretimini azaltma ve geniş çevresel etkiye sahip olma potansiyeli olduğunu göstermektedir [69].

Yang Gana ve arkadaşları vakum tüplü güneş kollektöründe titanyumdioksit nanoakışkanının termal iletkenlik optimizasyonu ve entropi üretimi analizi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Termal verimliliği arttırmak için VTGK'da çalışma sıvısı olarak kullanılmak üzere optimum termal iletkenliğe sahip TiO₂ nanoakışkanı hazırlanmıştır. Nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonundaki artış, TiO₂ nanoakışkanının termal iletkenliğini önemli ölçüde artırmıştır. Yüksek PVP (polivinilpirolidon) yüzey aktif madde / nanoparçacık oranının, nanoakışkanın termal iletkenliğini artırmadığı aksine azalttığı tespit edilmiştir. VTGK'nın termal verimliliğinin, suyun kütle akış hızında ve TiO₂ nanoakışkanındaki bir artışla arttığı bulunmuştur. Sonuçlar, entropi üretiminin %1,23 azaldığını, VTGK'da optimum TiO₂ nanoakışkan kullanıldığında termal verimliliğin %16,5 arttığını göstermiştir. Sonuç olarak, VTGK'nın genel performansı, yüksek termal iletkenliği nedeniyle çalışma sıvısı olarak kararlı TiO₂ nanoakışkanı kullanılarak %44,85'e yükseltilmiştir [70].

Kumar Verma ve arkadaşları MgO/su nanoakışkanı kullanarak düz plaka güneş kollektöründe performans artırımı konusunda incelemeler yapmışlardır. Mevcut çalışmada, parçacık boyutu 40 nm ve parçacık hacmi konsantrasyonu 0,25-2,5 lpm aralık değerlerinde olan MgO/su çalışma sıvısı için güneş kollektörü testi yapılmıştır. MgO nanoakışkanı kullanımının, %0,75 partikül hacim fraksiyonu ve 1,5 lpm'de hacim akış oranı için çalışma sıvısı olarak su ile karşılaştırıldığında güneş kollektörünün verimliliğini %9,34 artırdığı ortaya koyulmuştur. % 0,75 partikül hacmi konsantrasyonu için pompalama gücü kaybı % 6,84 iken, % 1,5 konsantrasyon için % 12,84 olmuştur. Entropi oluşumu, 0,025 kg/s kütle akış hızı için 0,0611 W/K olarak olarak gözlenmiştir. Bejan sayısı optimum konsantrasyon ve hacim debisi için 0,96 değerine kadar ulaşmıştır [71]. Araştırmacıların başka bir çalışması düz plaka güneş kollektörünün nanoakışkanlar kullanılarak deneysel değerlendirilmesi konusuna dayanmaktadır. Deneyler, 0,025 kg/s kütle akış hızında %0,75 partikül hacmi konsantrasyonu için, çok cidarlı karbon nanotüp/su nanoakışkanı için ekserji verimliliğinin %29,32 arttığını ve ardından baz akışkan olarak su yerine sırasıyla grafen/su, bakır oksit/su, alüminyumoksit/su, titanyum oksit/su ve silikon oksit /su için %21,46, %16,67, %10,86, %6,97 ve %5,74 oranında arttığını göstermiştir. Dezavantaj olan entropi üretimi de çok cidarlı karbon nanotüp/su nanoakışkanlarında minimum değerde görülmüştür. Aynı termofiziksel parametreler altında entropi oluşumundaki maksimum düşüş, çok cidarlı karbon nanotüp/suda %65,55, ardından sırasıyla grafen/su için %57,89, bakır oksit/su için %48,32, alüminyum/su için %36,84, titanyum oksit/su için %24,49 ve silikon sıvı/su için %10,04 olarak ölçülmüştür [72].

Yurddaş yaptığı çalışmasında akışkan olarak su bazlı nanoakışkanların kullanıldığı tipik bir düzlemsel güneş kollektöründe ısı transferinin sayısal analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada %1 ve %5 hacimsel oranlarında Al_2O_3 ile Cu nanopartiküllerini içeren su bazlı nanoakışkanların ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir. Farklı ısı akıları, farklı Reynolds sayıları ve farklı kollektör açıları için analizler gerçekleştirilmiştir. Düzlemsel güneş kollektörünün geometrisi basitleştirilmiştir ve akışkan taşıyan bir boru ile bir yutucu plakanın simetrisi matematiksel olarak modellenmiştir. Sayısal çözümler FLUENT programı aracılığıyla sonlu hacimler metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanlar su ile karşılaştırıldığında ısı transferinde yaklaşık %1 ile %8 arasında değişen artışlar görülmüştür. Doğal taşınımın etkilerini görebilmek için karışık taşınım ile zorlanmış taşınım sonuçları karşılaştırılmıştır. Doğal taşınım etkilerinin ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğu görülmüştür [73].

Işık yaptığı çalışmada düzlemsel güneş kolektörlerinde TiO_2 -su nanoakışkanı kullanarak, nanoakışkanların ısı verim üzerindeki etkisini incelemiştir. Kurulan iki farklı sistemin birinde ısı transfer akışkanı olarak su, diğesinde ise TiO_2 -su nanoakışkanı kullanılmıştır. Deney sonuçları karşılaştırıldığında nanoakışkan kullanılan sistemde elde edilen ısı verimin su kullanılan sisteme göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca düzlemsel güneş kolektörlerinin net kullanım alanının ısı verimde etkisi kolektör alanı küçüldüğünde ısı verimi daha çok artırdığını göstermiştir. Deney sonuçları ele alındığında, tüm debi değerlerine göre TiO_2 -su için %0,2, %0,4, ve %0,8' lik hacimsel oranlarda suya göre verimde sırasıyla maksimum %61, %56, %51 artış elde edilmiştir. Nanoakışkan kullanılan sistemdeki deneyler ile su kullanılan sistemdeki deney sonuçları kıyaslandığında kolektör çıkış sıcaklıkları nanoakışkan kullanılan sistemde suya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir [74].

Budak yaptığı çalışmada düzlemsel güneş kolektörlü sıcak su güneş enerji sistemlerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkan ve suyu seçerek ısı verime etkilerini deneysel olarak incelemiştir. %0,2, %0,4 ve %0,8 hacimsel oranlarında Al_2O_3 , CuO ve TiO_2 nanopartikülleri saf suyun içerisine katılarak nanoakışkanlar hazırlanmış ve hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri (ısı iletkenlik, viskozite gibi) belirlenmiştir. Isı verimi karşılaştırmak üzere oluşturulan deney düzeneklerinde, verilen konsantrasyonlarda her bir nanoakışkan için 50, 150 ve 250 lt/h debi değerleri ayarlanarak kolektör giriş, çıkış, ortam ve kullanım suyu sıcaklıkları, ışıınım, nem, hız gibi veriler ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen verilerle, ASHRAE 93-2003 standartlarına göre verimler hesaplanmıştır. Sonuçlar, su ile karşılaştırıldığında nanoakışkan kullanımının verimi artırdığını göstermiştir. Partikül hacimsel oranının artışıyla ısı iletkenlik ve viskozite değerleri artmıştır. Isı transfer akışkanı olarak nanoakışkanın kullanıldığı deneylerin tümünde su kullanılan sisteme göre kolektör çıkış sıcaklıkları ve kullanım suyu sıcaklıklarının daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda hesaplanan maksimum verim değerlerindeki artışın yüzdelik oranlarının; Al_2O_3 -su için %0,2, %0,4 ve %0,8' lik konsantrasyonlarda suya göre sırasıyla %71, %63 ve %61,1 olduğu; CuO-su için sırasıyla %87,8, %84,61 ve %73,1 olduğu; son olarak TiO_2 -su için sırasıyla %52,5, %47,6 ve %35,7 olduğu tespit edilmiştir [75].

Colangelo ve arkadaşları yaptıkları çalışmada damıtılmış su ve Al_2O_3 ile damıtılmış su bazlı nanoakışkan kullanarak düz plaka güneş kolektörünün termal verimliliği konusunda

bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ilk kez, nanopartikül kümelerinin sedimentasyonunu azaltmak için düzgün biçimde şekillendirilmiş alt ve üst başlıklardan oluşan WO2011138752 A1 patentine dayanan modifiye edilmiş bir güneş enerjisi kollektörü sayesinde yüksek nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanılmıştır. Termal verim, EN 12975-2 standardına göre deney düzeneği ile ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, nanoakışkan kullanılarak su ile ölçülene kıyasla %11,7'ye varan bir termal verimlilik artışı elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca nanoakışkanın termal verim üzerindeki etkisinin yüksek sıcaklıklarda daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır [76].

Said ve arkadaşları kütlece 60:40 etilen glikol/su karışımı ve su bazlı alümina nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin elde edilmesi için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Düz plaka güneş kollektörü için yoğunluk ve viskozitenin pompalama gücü üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. %0,05-0,1 konsantrasyonlu nanoakışkanlar hazırlanmış ve karakterize edilmiştir. Su bazlı alümina nanoakışkanları, sedimentasyon ve agregasyona karşı etilen glikol/su karışımı bazlı nanoakışkanlardan daha tercih edilir bulunmuştur. Her iki nanoakışkan tipinin ölçülen termal iletkenlikleri konsantrasyonla neredeyse doğrusal olarak artmıştır ve farklı araştırmacılar tarafından daha düşük konsantrasyonlarda yapılan önceki çalışmalarla genel eğilimlerinde tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Termal iletkenliğin aksine, viskozite ölçümleri, Al_2O_3 -su nanoakışkanlarının viskozitesinin artan sıcaklıkla katlanarak azaldığını göstermiştir. Ayrıca, Al_2O_3 -su nanoakışkanlarının ölçülen viskoziteleri, 40 °C'nin altında %0,05 hacmi hariç, düşük hacim konsantrasyonunda bile konsantrasyon ile doğrusal olmayan bir ilişki göstermiştir. Öte yandan, Al_2O_3 -EG/su karışımı Newton davranışı sergilemiştir. Sonuçlar ayrıca, nanoakışkan akışlarının basınç düşmesi ve pompalama gücünün, düşük hacim konsantrasyonu için baz sıvıya çok yakın olduğunu göstermiştir [77].

Moghadam ve arkadaşları çalışma sıvısı olarak CuO-su nanoakışkanının düz plaka güneş kollektörünün performansı ve verimliliği üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Nanopartiküllerin hacim fraksiyonu %0,4'e ayarlanmıştır ve ortalama partikül boyutu 40 nm'de sabitlenmiştir. Çalışma sıvısı kütle akış hızı 1 ila 3 kg/dakika arasında değişmiştir. Deneyler, 36.19° enlemiyle İran Meşhed'de gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, nanoakışkan kullanımının, bir emici ortam olarak suya kıyasla kollektör verimliliğini artırdığını ortaya koymuştur. Kütle akış hızı 1 kg/dak olan

nanoakışkan, kollektör verimini yaklaşık %21,8 oranında artırmıştır. CuO-H₂O nanoakışkan kullanımının güneş kollektörü verimliliğini su ile karşılaştırıldığında %16,7 oranında artırdığı da tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar ayrıca kollektör tarafından en yüksek ısı emiliminin su ve nanoakışkan için farklı kütle akış hızlarında meydana geldiğini kanıtlamıştır [78].

Yousefi ve arkadaşları çalışma sıvısı olarak Al₂O₃-su nanoakışkanının düz plaka güneş kollektörünün verimliliği üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Nanopartiküllerin ağırlık oranı %0,2 ve %0,4 değerinde ve parçacıkların boyutu 15 nm olarak belirlenmiştir. Deneyler, sürfaktan olarak Triton X-100 ile ve Triton X-100 olmadan gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanın kütle akış hızı 1 ila 3 lt/dakika arasında değişmiştir. Verimliliği hesaplamak için ASHRAE standardı kullanılmıştır. Sonuçlar, çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanımının su ile karşılaştırıldığında verimliliği artırdığını göstermiştir. Ağırlıkça %0,2 için artırılmış verimlilik %28,3 olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilerden, sürfaktanın ısı transferinde artışa neden olduğu sonucuna varılmıştır. Sürfaktan kullanılarak maksimum artırılmış verimlilik %15,63 olarak tespit edilmiştir [79].

Farajzadeh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada nanoakışkanların kullanılmasının düz plaka güneş kollektörünün termal verimliliği üzerindeki etkisini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı tarafından yapılan sayısal çalışmaların sonuçları, deney sonuçları ile iyi bir uyum göstermiştir. İncelenen nanoakışkanlar, Al₂O₃-H₂O (ağırlıkça %20 nm %0,1), TiO₂-H₂O (ağırlıkça %15 nm %0,1) ve bunların eşit oranda karışımlarından oluşturulmuştur. Nanoakışkanlar iki aşamalı yöntemle göre hazırlanmış ve sürfaktan olarak setiltrimetilamonyum bromür (CTAB) kullanılmıştır. Hacim akış hızları, 1,5 l/dk, 2,0 l/dk ve 2,5 l/dk olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, suya kıyasla Al₂O₃ (ağırlıkça %0,1), TiO₂ (ağırlıkça %0,1) ve bu iki nanoakışkan karışımının kullanılmasıyla, termal verimliliğin sırasıyla %19, %21 ve %26 oranında arttığını göstermiştir [80].

Tong ve arkadaşları düz plakalı bir güneş kollektörünün performansını, çalışma sıvıları olarak su, Al₂O₃ nanoakışkan ve CuO nanoakışkan kullanarak araştırmışlardır. Enerji verimliliği, entropi üretimi ve ekserji verimliliği analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Düz plaka güneş kollektörü, çalışma sıvısı olarak Al₂O₃ nanoakışkan kullanıldığında en yüksek verimi göstermiştir. Bu değer su kullanıldığındaki verimden %21,9 daha yüksek olarak

belirlenmiştir. Entropi üretimi su için en yüksek ve hacimce %1,0 Al_2O_3 nanoakışkan için en düşük değerde saptanmıştır. Güneş kolektörünün ekserji verimliliği hacimce %1,0 Al_2O_3 ve %0,5 CuO nanoakışkan kullanılarak su ile karşılaştırıldığında sırasıyla %56,9 ve %49,6 oranında iyileştirilmiştir. Güneş kolektörünün en yüksek ekserji verimliliği, hacimsel olarak %1,0 Al_2O_3 nanoakışkan ile elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, düz plaka güneş kolektöründe Al_2O_3 ve CuO nanoakışkan kullanımının su kullanımına kıyasla termal verimliliği artırabildiğini ve düz plaka güneş kolektörünün maksimum performansının hacimce %1,0 Al_2O_3 nanoakışkan kullanıldığında elde edildiğini göstermiştir [81].

He ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı kütle fraksiyonu ve boyutlarına sahip Cu- H_2O nanoakışkanlarını iki aşamalı yöntemle hazırlamışlardır. Termal iletkenlikler ve Cu- H_2O nanoakışkanlarının düz plaka güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bununla birlikte, düz plaka güneş enerjili su ısıtıcısının su sıcaklığı, ısı kazancı ve çalışma akışkanının sürtünme direnci katsayısı da araştırılmıştır. Ortamın kütle akış hızı 140 L/s olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, termal iletkenliklerin gözle görülür şekilde artırılabilceğini göstermiştir. Güneş kolektörünün verimliliği, emici ortam olarak Cu- H_2O nanoakışkanları (25 nm, ağırlıkça %0,1) kullanılarak %23,83 oranında artırılmıştır. Cu- H_2O nanoakışkanlarının (25 nm, ağırlıkça %0,2) veriminin, Cu- H_2O nanoakışkanlarındakinden (25 nm, ağırlıkça %0,1) düşük olduğu belirlenmiştir. Nanoparçacık boyutu arttıkça, güneş kolektörünün verimliliği azalmıştır. Nanoakışkan bulunan (25 nm, ağırlıkça %0,1) tanktaki suyun en yüksek sıcaklık ve en yüksek ısı kazancı, su bulunan tanka kıyasla sırasıyla %12,24 ve %24,52'ye kadar artırılabilmiştir. Sürtünme direnci katsayısının artış oranı, tüm çalışma sıcaklığı alanında %1'den düşük değerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Cu- H_2O nanoakışkanlarının düz plaka güneş kolektörünün verimliliğini artırmak için uygun olduğu belirtilmiştir [82].

Mirzaei yapmış olduğu araştırmada çalışma sıvısı olarak CuO-su nanoakışkanının kullanılmasının düz plaka güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Nanopartiküllerin hacim fraksiyonu %0,1 ve partikül boyutu 40 nm olarak belirlenmiştir. Nanoakışkanın kütle akış hızları 1 ila 4 l/dakika arasında değişmiştir. CuO-su nanoakışkan kullanımının üç farklı akış hızı olan 1, 2, 4 l/dakika ile düz plaka güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kolektör verimliliği, tüm akış hızları için saf suya kıyasla nanoakışkan kullanıldığında artmıştır.

Nanoakışkanın 1, 2 ve 4 l/dakika akış hızı için kollektör verimini artırmaya yönelik ortalama değerleri sırasıyla %15,2, %17,1 ve %55,1 olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ayrıca, maksimum kollektör verimliliği için optimum akış hızının su ve nanoakışkan için farklı akış hızlarında meydana geldiğini kanıtlamıştır. Buna göre nanoakışkanın kullanılması durumunda, en yüksek verim 4 l/dakikaya ulaşırken, su kullanılması durumunda en yüksek değer 1 l/dakika olarak tespit edilmiştir [83].

Ayrıca, Sharafeldin ve Gróf [42], CeO_2 -su nanoakışkanı kullanarak düz plaka güneş kollektörünün deneysel incelenmesi konusunda çalışma yapmışlardır. CeO_2 -su kullanımının, %0,0167, %0,0333 ve %0,0666'lık üç farklı hacimde CeO_2 nanoparçacığı ile düz plaka güneş kollektörü verimliliği üzerindeki etkisini incelemek için deneyler yapılırken, ortalama partikül boyutu 25 nm'de sabit tutulmuştur. Araştırmadaki çalışma sıvısı kütle akı oranları 0,015, 0,018 ve 0,019 kg/s m^2 olarak belirlenmiştir. Deneyler $47^\circ 28'N$ enlemi ve $19^\circ 03'E$ boylamı ile Macaristan'ın Budapeşte kentinde gerçekleştirilmiştir. CeO_2 -su nanoakışkanı kullanıldığında, su uygulamasıyla elde edilen sonuçlara kıyasla daha yüksek kollektör verimi elde edilmiştir. Araştırmacılar, düşük sıcaklık parametresi olan $[(T_i - T_a) / GT]$ değerinin sıfıra eşit olduğunda maksimum verimliliğin %10,74, hacim fraksiyonunun (ϕ) %0,066 ve kütle akı oranının 0,019 kg/s m^2 olduğu sonucuna varmışlardır.

2.2. Isı Boruları İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Fertahi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada vakum tüplü kollektörleri ısı borularıyla birleştiren özgün güneş enerjili su ısıtıcılarında ana cihaz olarak kabul edilen yatay tankın yeni ve optimal bir tasarımını önermeyi amaçlamış ve bu doğrultuda araştırmalar yapmışlardır. Bu bağlamda bir termal kamera kullanarak ısı borularının maksimum sıcaklığını ölçmek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Daha sonra, CFD simülasyonları daha önceden kaydedilmiş deneysel sonuçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmalar, deponun yan iç kısmına entegre edilen ısı borusu sayısının, boşaltma verimliliği gibi enerji performansları üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Isı borusunda değerlendirilen ısı transfer katsayısı, sıcaklık konturları ve akış çizgileri, depolama tankında tanımlanan belirli yollara göre sıcaklık gelişimi ve boşaltma verimliliği gibi optimum konfigürasyonu tanımlamak için çeşitli performans göstergeleri tanımlanmıştır. Yapılan deneylerle ısı borusu sayısındaki artışla yatay tankın ortalama sıcaklığının arttığı

tespit edilmiştir. Öte yandan, akış alanının laminer yapısı bozulmuş ve sıcak yüklü suyun çıkış sıcaklığı da etkilenmiştir. Yapılan hesaplamalarda; $n = 6$ için depolama tankının çıkışına yakın ısı borusu için hesaplanan ısı transfer katsayısı $212,5 \text{ W/Km}^2$ 'ye ulaşırken, $n = 8$ ve $n = 10$ için sırasıyla 300 W/Km^2 ve 230 W/Km^2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yatay depolama tankının deşarj/boşaltım verimliliğinin esas olarak suyun sıcaklığındaki anlık değişime bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, tankın çıkışının yanında sağda bulunan ısı borusundaki ısı transfer katsayısı değerlerinin, soğuk su girişinin yanında bulunan ilk ısı borusundan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Isı borusunun sayısının artırılması, yatay tank içindeki akış alanının laminar yapısını bozmuş, böylece sıcak yüklü suyun çıkış sıcaklığı da etkilenmiş ve dalgalanma eğilimi göstermiştir [84].

Chopra ve arkadaşları faz değişim malzemesi olarak stearik asit ile entegre yeni bir güneş kollektörünün termal performansı araştırmışlardır. Bu tasarımda, güneş radyasyonu vakum tüplü ısı borusu ile toplanmış ve daha sonra faz değişim malzemesi ile entegre manifoldda depolanmıştır. Geliştirilen sistem farklı kütle akış hızları ile incelenmiş ve değişken kütle akış hızının sistemin termal performansı üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Kütle akış hızları dikkate alındığında, sistemin termal verimliliğinin tam gün şarj modu için yaklaşık %52-62 aralığında, gün ortası şarj modunda ise %55 ila %72 arasında değiştiği gözlenmiştir. Gün ortası şarj modu için maksimum ısı verim değeri 24 LPH kütle akış hızında yaklaşık %72,52 olarak saptanmıştır. Her iki mod için faz değiştirme malzemesinin verimliliği yaklaşık olarak %61-64 aralığında değişmiştir. Araştırmacılara göre, geliştirilen sistemin yıllık maliyeti ve yıllık yakıt maliyeti geleneksel sistemden çok daha düşüktür. Ayrıca, geliştirilen sistem için ilk sermaye maliyeti 6 yıllık faaliyetin ardından geri kazanılabilir [85]. Araştırmacılar başka bir çalışmalarında ise aynı hava koşullarında su ısıtma uygulaması için faz değiştirme malzemesi olan ve olmayan ısı borusu vakum tüp güneş kollektörünün deneysel bir araştırmasını yapmışlardır. Bu çalışmada, aynı hava koşulunda iki sistemin karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Birinci sistemin vakum tüpleri (vakum tüp toplayıcı-A) faz değiştirme malzemesi olmadan bırakılmış ve ikinci sistem (vakum tüp toplayıcı-B) faz değiştirme malzemesi olarak SA-67 ile entegre edilmiştir. Seçilen faz değişim malzemesinin termal ve kimyasal stabilitesini sağlamak için termal çevrim işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar SA-67'nin 1500 termal döngü uygulamasından sonra bile mükemmel kimyasal ve termal kararlılığa sahip olduğunu göstermiştir. Tasarlanan sistemlerin termal performansını analiz etmek için deney beş farklı su akış hızı (saatte 8, 12, 16, 20 ve 24 L) ile gerçekleştirilmiştir. Faz değişim malzemesi olan ve

olmayan vakum tüp güneş kolektörünün günlük termal verimliliği sırasıyla %42-55 ve %79-87 aralığında değişmiştir. Her iki sistem için günlük termal verimliliğin, saatte 20 L akış hızında maksimum olduğu belirlenmiştir [86].

Corumlu ve arkadaşları hidrojen üretimi için ısı borusu vakum tüplü güneş kolektörlerine dayalı entegre bir prosesin ayrıntılı termodinamik değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Güneş enerjisi ısı borusu kolektörü, fotovoltaiik paneller, PEM elektrolizörü ve Linde-Hampson hidrojen sıvılaştırma işleminden oluşan entegre bir süreç, hidrojen üretimi ve sıvılaştırma amaçları için termodinamik olarak değerlendirilerek analiz edilmiştir. Bu entegre sürecin enerjik ve ekserjetik verimleri sırasıyla 0,2297 ve 0,1955 olarak hesaplanmıştır. Güneş radyasyon yoğunluğunun 500'den 1000 W/m²'ye çıkarılması, güneş enerjisine dayalı hidrojen üretimi ve sıvılaştırma sürecinin enerji ve ekserji verimliliklerinde doğrusal artışa neden olmuştur. PEM elektroliz sıcaklığının 60'tan 120⁰C'ye çıkarılması, elektrolizin enerjisini ve ekserji verimliliğini artırmıştır. Ortam sıcaklığının 0 ⁰C'den 40 ⁰C'a çıkarılması, entegre sistemin enerji ve ekserji verimliliğinde ve ayrıca hidrojen üretim oranında bir artışa neden olmuştur. Sonuç olarak güneş ısı borusu, PEM elektrolizörü, fotovoltaiik sistem ve hidrojen sıvılaştırma işleminin ekserji verimlilikleri sırasıyla 0,2735, 0,5933, 0,1238 ve 0,6254 olarak bulunmuştur [87].

Allaouhia ve arkadaşları ısı borularını bir ısı ekstraksiyon cihazı aracı olarak yaygın olarak kullanan düz plaka kolektörlerine entegre ederek geleneksel sistemlere umut verici bir alternatif olarak sunmuşlardır. HPFPC (Heat pipe integrated flat plate collector) dahil tüm SWH sisteminin termal davranışı şiddetli kış çalışma koşulları altında araştırılmıştır. Bu amaçla, enerji performansını analiz etmek için MATLAB kullanılarak bir simülasyon platformu geliştirilmiştir. Simülasyon ortamında Fas'ın saatlik ortalama meteorolojik verileri METEONORM veritabanı kullanılarak çizilmiştir. Yapılan deneylerde ısı borusunun emici ve evaporatör bölümü arasındaki düşük termal direnç, 0,2 ⁰C'den daha düşük bir minimum sıcaklık farkına işaret etmiştir. Ayrıca, evaporatör ve kondenser bölümleri arasındaki maksimum sıcaklık farkının 2,7 ⁰C civarında olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca tipik bir kış günü için maksimum %55'e karşılık gelen maksimum anlık termal verim ile 57⁰C'lik bir maksimum çıkış sıcaklığı elde edilmiştir. Araştırmacılar önerilen uygulama için optimum ısı borusu sayısının 15 olduğunu tespit etmişlerdir. Isı borularının sayısı ile ilgili daha kesin bir optimizasyon için, SWH'nin ayrıntılı bir yaşam döngüsü maliyet analizinin de yapılabileceğini ifade etmişlerdir [88].

Zhang ve arkadaşları 1,5 mm kalınlığında yeni bir ultra ince alüminyum düz ısı borusu ile çalışarak termal performans incelemelerinde bulunmuşlardır. Sinterlenmiş alüminyum fiberler ve yüzey işlemeli alüminyum fiber ağlar, karşılaştırma için ekstra fitiller olarak ultra ince ısı borusunun her boşluğuna yerleştirilmiştir. Fabrikasyon alüminyum ısı borularının sıcaklık homojenliği, termal direnç, fitil yapısının ve eğim açılarının etkileri de dahil olmak üzere termal tepki özellikleri araştırılmıştır. Büyük eğim açısı (90^0) altında, ekstra fitili olmayan pürüzsüz ısı borusu, alüminyum fiber fitil ile karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklık farkı, daha düşük ısı direnci ve daha yüksek ısı taşıma kapasitesi sağlarken, sıvı geri akış artışı nedeniyle fitilli ısı boruları daha küçük eğim açıları (60^0 ve 30^0) altında üstünlük sağlamıştır. Ayrıca karşılaştırmalı çalışma, fitil yapı optimizasyonunun bu ultra ince iki fazlı cihazın termal performansını artırma potansiyeline sahip olduğunu da göstermiştir [89].

Huang ve arkadaşları ısı kalkanlarının ısı borusu vakum tüp güneş kollektörü üzerindeki etkilerini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, ısı kalkanları yaklaşık 20^0C - 150^0C giriş suyu sıcaklığında termal verimliliği artırmış ve güneş kollektörü daha yüksek giriş suyu sıcaklıklarında daha iyi performans göstermiştir. Termal verimlilik, giriş sıcaklığında ve yaklaşık 150^0C ve 820 W/m^2 'lik güneş radyasyonunda %11,8 oranında artmıştır. Bu arada, simüle edilmiş sonuçlar, yeni kollektörün geleneksel olana göre termal verimlilik artışlarının daha zayıf güneş radyasyonunda ve her giriş suyu sıcaklığında daha düşük ortam sıcaklığında arttığını da göstermiştir [90].

Maraj ve arkadaşları Akdeniz iklim koşulları altında basınç dolaşımına sahip vakum tüp kollektörü ile donatılmış bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin yıllık performansını araştırmışlardır. Seçilen bölgede, güneş kollektörü düzleminde dikkate alınan zaman dilimi için yıllık ışıınım $2,212\text{ kWh/yıl}$, yıllık ortalama ortam hava sıcaklığı $17,9^0\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Bir yıl boyunca yapılan incelemeler sonucunda ısı borusu vakum güneş tüpü kollektörü için yıllık faydalı ısı kazancı, güneş devresi tarafından depolama tankına verilen faydalı enerji ve tüketiciye verilen termal enerji sırasıyla $Q_u = 1,345\text{ kWh/yıl}$, $Q_{sc} = 1,311\text{ kWh/yıl}$ ve $LS = 1,009\text{ kWh/yıl}$ olarak tespit edilmiştir. Söz konusu süre zarfında, ısı borusu vakum tüp kollektöründeki yıllık termal kayıplar 867 kWh/yıl iken, güneş devresindeki ve depolama tankındaki yıllık termal kayıplar sırasıyla 34 kWh/yıl ve 302 kWh/yıl olmuştur. Ayrıca ısı borusu vakum güneş tüp kollektörünün aylık verimlilik

değerleri 0,602-0,636 arasında değişirken, sistem için verimlilik değerleri 0,499-0,553 arasında değişmiştir [91].

Chen ve arkadaşları iç yüzey işlemi ile üretilen mikro oluklu alüminyum düz plaka ısı boruları (MFPHP'ler) kullanarak incelemelerde bulunmuşlardır. Sıcaklık dağılımı, maksimum ısı transfer kapasitesi ve termal direnç dahil olmak üzere MFPHP'lerin termal performansları deneysel olarak test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, iç yüzey işleminin MFPHP'lerin termal performansını önemli ölçüde artırabildiğini ve iç yüzeylerin farklı işlem morfolojilerinin termal performans artışında farklılıklara yol açtığını göstermiştir. Optimal işlem parametrelerinin, 1,5 mol/L'lik bir çözelti konsantrasyonu ile 10 dakikalık bir işlem süresi dahilinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum optimum termal performans artışı ile sonuçlanmış ve işlenmemiş MFPHP'ye kıyasla ısı transfer kapasitesinde yaklaşık %80'lik bir artış ve termal dirençte %44'ün üzerinde bir azalma tespit edilmiştir. Bu çalışma, güneş kolektörlerinde uygulanan MFPHP'lerin termal performansını artırmak için uygun, etkili ve düşük maliyetli bir yöntem sunmuştur [92].

Shafieian ve arkadaşları Batı Avustralya'da ideal olmayan iklim koşullarında bir konut sıcak su tüketim modelini teorik ve deneysel olarak incelemek için bir ısı borusu güneş enerjili su ısıtma sisteminin performansını değerlendirmişlerdir. Isı borusu güneş kolektörünün optimum cam tüp sayısını hesaplamak için bir matematiksel bir model geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak, 25 tüpten oluşan deneysel bir donanım tasarlanmış, inşa edilmiş ve teste tabi tutulmuştur. Sonuçlar, sıcak su ekstraksiyonunun, absorbe edilen enerji miktarını ve genel verimliliği artırarak ve ekserji tahribatını azaltarak güneş enerjili su ısıtma sisteminin termal performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Kolektörün teorik ve deneysel çıkış sıcaklığının karşılaştırılması sonucunda maksimum mutlak ve standart hataların sırasıyla %5,6 ve %1,77 olduğu tespit edilmiştir. Sıcak su ekstraksiyonu, sistemin termal verimliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahipken, düşük güneş radyasyonu sistem verimliliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Ek olarak, en yüksek ekserji yıkımı günün başında meydana gelmiştir [93].

Zhang ve arkadaşları bir ısı borusu fotovoltaiik/termal sisteminin deneysel, çalışma ve tasarım hassasiyet analizi konusunda çalışma yapmışlardır. HP-PV/T sisteminin fototermal ve fotovoltaiik performanslarını değerlendirmek için deneysel verilerle onaylanan dinamik bir sayısal model geliştirilmiştir. Onaylanmış modele dayanarak, temel tasarım

parametrelerinin duyarlılık analizi yapılmış ve en uygun tasarım parametreleri önerilmiştir. Simülasyon sonuçları ile deneysel veriler arasındaki ortalama sapmanın %4,5'ten fazla olmadığı tespit edilmiştir. Sistemin fototermal ve fotovoltaiik performansları, su kütle akış hızının, ısı borusu kondenser bölümünün çapının ve ısı borularının sayısının artmasıyla artmıştır. Kütle akış hızı 0,075 L/s'den büyük olduğunda ve ısı borusu kondenser bölümünün çapı 24 mm'den büyük olduğunda fototermal verimliliğin büyümesi yavaşlamıştır. Isı borusu evaporatör bölümünün çapı ve ısı borusu çalışma sıvısı türleri, sistemin performansını küçük bir aralıkta etkilemiştir [94].

Abd-Elhady ve arkadaşları ısı borusu vakum tüp kolektörlerinin ısıtma kapasitesini geliştirmek amacıyla yağ ve köpüklü metal kullanmışlardır. Yağ ve köpüklü metallerin, ısı boruları ile vakum tüplerin performansı üzerindeki etkisini incelemek için bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Vakum tüpün içine yağ sokulması ve kanatlı yüzeyin köpüklü bakır ile değiştirilmesi durumunda, sıcaklığın ve vakum tüp ısı borusunun ısıtma verimliliğinin arttığı bulunmuştur. Ayrıca, termal yağ ısı depolama görevi görmüştür. Isı borusunun sıcaklığı yaklaşık %25 oranında artış göstermiştir. Köpüklü metaller, vakum tüpün iç borusu ile ısı borusu arasında kanatlı yüzeylere göre daha iyi bir temas sağlamıştır [95].

Fang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir vakum tüp ısı borusu güneş kolektöründe ısı aktarma ortamı olarak mikro kapsüllenmiş faz değiştirici materyalin (PCM) performansını değerlendirmişler ve sonuçları su kullananlarla karşılaştırmışlardır. Kolektör verimliliği deneysel olarak EN 12975-2:2006 Avrupa Standardı'na dayanan yöntemle göre belirlenmiştir. Faz değişim sıvısı kullanıldığında güneş kolektörü verimliliğini tahmin etmek için uygun olan modifiye edilmiş bir test yöntemi önerilmiştir. PCM süspansiyonu kullanıldığında ortalama güneş kolektör verimliliği su kullandandan daha yüksek bulunmuştur. 4 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, MPCM süspansiyon kolektörü ortalama verimliliği ~%76 iken, geleneksel güneş kolektörünün ortalama verimliliği ~%72 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, güneş kolektörlerinin çalışma sıcaklıkları tipik olarak 40° C'den çok daha yüksek olduğu için, bu yararın pratik öneminin pek önemli olmadığı belirtilmiştir. Bundan dolayı araştırmacılar MPCM süspansiyonlarının farklı tiplerdeki güneş kolektörlerinde kullanılarak verimlilik tespitlerinin yapılmasını önermişlerdir [96].

Gao ve arkadaşları düz plaka yapısında titreşimli bir ısı borusu içeren bir güneş kolektörünü deneysel olarak tasarlamış ve incelemişlerdir. Termal özellikler ayrıntılı olarak incelenmiş ve başlangıç sıcaklığını ve anlık verimliliğin ekspresyonunu %5 nispi bir hata ile elde etmişlerdir. Sonuçlar, eğim açılarının güneş kolektörünün başlatma özellikleri üzerindeki etkisinin termal özellikler için de önemli olduğunu göstermiştir. Isı transferi verimliliğini artırmak ve korozyon ve basınca dayanıklılık sorunlarını çözmek için bu sistemin tasarım sürecinde bazı iyileştirmeler (örneğin, yüzey malzemesi ve montaj yöntemi) yapılmıştır. Sonuçlar, kolektörün anlık verimlilik eğrisi kesişiminin 0,743 olduğunu ve anlık verimliliğin 0,501 olduğunu, giriş suyu sıcaklığının ise 60°C olduğunu göstermiştir ve bunun da diğer birçok benzer tasarımdan daha üstün olduğu belirtilmiştir. Deney sonuçlarına göre, titreşimli ısı borusu güneş kolektörleri ve su ısıtma sistemi bina entegrasyonunda gelecekteki su ve ısı tedarik sistemleri için ve düşük sıcaklık koşullarında güneş enerjisinin son derece etkili kullanımı için büyük potansiyel göstermektedir [97].

Karaca yaptığı çalışmada, termosifon tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak saf su kullanmış, ısı borusunun farklı parametrelere göre performansını deneysel olarak incelemiş ve optimum çalışma şartlarını belirlemiştir. Deneysel çalışmada ısı borusu üzerinde farklı noktalardan alınan sıcaklık ölçümleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deneyler; 44,2 ml, 35,36 ml ve 17,68 ml'lik üç farklı şarj oranında; 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s'lik üç farklı kütleli debide; 200 W, 300 W ve 400 W'lık üç farklı güç girişinde; 60°, 75° ve 90°'lik üç farklı eğim açısında yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilerin sayısal analizi yapılarak performansa etkileri incelenmiştir. Isı borusu deneylerinde elde edilen sonuçlardan en ideal çalışma şartlarının 90° eğim açısı, 44,2 ml şarj oranı ve 5 g/s debide elde edildiği görülmüştür [98].

Köse yaptığı çalışmada hem konut ısıtmasında hem de kullanım için sıcak su hazırlanmasında faydalanılabilecek ısı borulu iki farklı kolektör hazırlamış ve bunların verimini araştırmıştır. Isı borulu güneş kolektörleri ile alınan güneş enerjisi ilk kolektörde hava ısıtma amaçlı, ikinci kolektörde de su ısıtma amaçlı kullanılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda su ısıtma amaçlı sistemden %72, hava ısıtma amaçlı sistemden de %74 verim elde edilmiştir. Yapılan araştırmadan ve elde edilen değerlerden bu tür basit sistemlerde bile, daha iyi yalıtımın yapılması ve emici yüzeylerin biraz daha geliştirilmesi durumunda vakum tüplü ve maliyeti oldukça yüksek kolektörler kadar olmasa bile, sistem veriminin daha da artacağı sonucuna ulaşılmıştır [99].

Sakallı yaptığı çalışmada ısı verimin yükseltilmesi amacıyla ve karşılaştırma yapmak için vakumlu, ısı borulu güneş kolektörü ile doğrudan dolaşimli güneş kolektörü tasarlayıp imal etmiştir. Her iki sistem üzerinde aynı anda, aynı ortamda ve aynı şartlarda deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda vakumlu, ısı borulu sistemin verimi %43,6 ve doğrudan dolaşimli sistemin verimi ise %37,9 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, vakumlu, ısı borulu sistemin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Eşit kolektör alanına ($0,2 \text{ m}^2$) ve eşit depo kapasitesine (10 l) sahip olacak şekilde tasarlanan doğrudan dolaşimli ve ısı borulu sistemlerin ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasında ısı borulu sistemin maksimum verim değerinin %56, klasik doğrudan dolaşimli sistemin maksimum verim değerinin %49 olduğu belirlenmiştir [100].

Acar ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada sıcak su elde etmede kullanılan güneş kolektörlerinde, ısı borulu sistemlerin kolektör verimine etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda birleşik ısı borulu ve ayırık ısı borulu olmak üzere iki farklı kolektör tipi imal edilmiştir. İmalatı yapılan kolektörler ile Karabük il şartlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneyler toplamda altı gün sürmüştür. Deneyler sırasında her iki kolektördeki depo su sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, ışıyım şiddeti değerleri ölçülerek kolektörlerin verimleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda birleşik ısı borulu güneş kolektörünün ortalama verimi %57,6 olarak bulunurken, ayırık ısı borulu güneş kolektörünün ortalama verimi %48,5 olarak bulunmuştur. Eşit kolektör alanına ve eşit depo kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanan birleşik ısı borulu ve ayırık ısı borulu sistemlerin ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasında, birleşik ısı borulu sistemin maksimum verim değerinin, ayırık ısı borulu sistemin verimine kıyasla %8,66 daha iyi olduğu bulunmuştur [101].

Ayompe ve arkadaşları Dublin, İrlanda'da aynı hava koşullarında çalışan 4 m^2 düz plakalı ve 3 m^2 ısı borulu vakum tüp kolektörlü iki güneş enerjili su ısıtıcısının yıl boyunca enerji performansını izlemişler ve çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir. İki sistemin enerji performansı günlük, aylık ve yıllık olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, toplam 1087 kWhm^{-2} toplam düzlem içi güneş enerjisi izolasyonu için 4 m^2 düz plakalı ve 3 m^2 ısı borulu sistemleri tarafından sırasıyla 1984 kWh ve 2056 kWh ısı enerjisinin toplandığını göstermiştir. Yıl boyunca, düz plakalı ve ısı borulu sistemlerin bir birim alanları sırasıyla 496 kWhm^{-2} ve 681 kWhm^{-2} ısı üretmiştir. Düz plaka ve ısı borusu sistemlerine sağlanan 3149,7 kWh ve 3053,6 kWh yardımcı enerji için yıllık güneş fraksiyonları sırasıyla %38,6

ve %40,2 olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama kollektör verimleri %46,1 ve %60,7 iken, sistem verimleri düz plaka ve ısı borusu sistemleri için sırasıyla %37,9 ve %50,3 olarak tespit edilmiştir [102].

Wei ve arkadaşları yan yana ayrı ısı boruları yerine bir adet büyük entegre fitilsiz ısı borusu kullanan bir kollektör imal ederek deneysel çalışmalar yapmışlardır. İlk olarak yeni kollektörün termal performansını test etmek için deneyler yapılmıştır. Temmuz ayında gerçekleştirilen çalışma sonucunda maksimum kollektör verimliliği %66'ya ulaşılabilirken, depolama tankındaki 200 kg'lık suyun sıcaklığı yaklaşık 25,0 °C artmıştır. Kollektörün içindeki ısı transferi sürecini anlamak için kollektörün her bir bileşeni için enerji dengesi üzerine teorik bir analiz gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar iş verimini hesaplamak için ısı transfer katsayılarının makul ampirik korelasyonlarını benimsemişlerdir. Simülasyon sonuçlarından yola çıkarak, suyun ve emici plakanın sıcaklıklarının zamanla arttığını da tespit etmişlerdir [103].

Naghavi ve arkadaşları şarj/deşarj modlarında gizli ısı depolama özelliğine sahip kompakt tasarımlı ısı borusu güneş kollektörünün termal performansını araştırmışlardır. Bu tasarımda, ısı borusu güneş kollektöründe meydana gelen güneş enerjisi LHS tankının içindeki kondenser uçlarına kanatçıklar takılı olan bir ısı borusu vasıtasıyla LHS tankında toplanmış ve depolanmıştır. Depolanan ısı daha sonra LHS tankının içine yerleştirilmiş bir dizi kanatlı boru vasıtasıyla besleme suyuna aktarılmıştır. Güneşli günlerde sistemin termal verimliliği %38-42 aralığında belirlenmiş, bulutlu yağmurlu günlerde bu verimlilik %34-36 aralığına düşmüştür, bu da farklı koşullarda yaklaşık %8'lik bir dalgalanmayı göstermiştir. Çalışmada ayrıca şu önemli sonuçlar da elde edilmiştir; HP ve PCM'nin avantajları, HP'nin aşırı ısınması ve PCM'nin düşük ısı iletkenliği gibi dezavantajlarını kapsamaktadır, HP tarafından kollektörden LHS tankına ısı iletimi hızlı ve verimlidir, kanatçıklar, HP'den PCM ortamına ısı iletimini genişletmiş ve PCM'nin kütlesinde sıcaklık değişim derecesini azaltmıştır. LHS tankından (erimiş PCM) düşük ısı dağılımı, sistemi sıcak suyu gecenin herhangi bir saatinde veya sabah güneş ışınlarının hala zayıf olduğu ertesi gün sabahın erken saatlerinde kullanabilir duruma getirmiştir. Yüksek viskozite, daha az ağırlık ve daha düşük PCM hacmi, SHS tankına kıyasla LHS tankından daha az ısı kaybına neden olmuştur. Geleneksel sıcak su depolama tankındaki termal

tabakalaşma prensibi, SWH sistemlerinin verimliliğini büyük ölçüde etkilerken, LHS deposunda tabakalaşma etkisinin olmadığı tespit edilmiştir [104].

Jafari Mosleh ve arkadaşları ısı borusu, vakum tüp ve parabolik oluk kollektör kombinasyonundan faydalananak tuzdan arındırma sistemi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Sonuçlar, boru ve kollektörden ısıyı aktarmak için ısı borusu ve çift camlı vakum tüp kollektörü arasındaki boşlukta alüminyum iletken folyolar kullanıldığında üretim ve verimlilik oranının $0,27 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$ ve %22,1'e ulaşabileceğini göstermiştir. Maksimum üretim hızının, havzadaki 150 mL su ile elde edilebildiğini, burada su seviyesinin, havzadaki ısı borusu kondansatörünün uzunluğu ile aynı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ilave edilen sıvının ısı borusu ve TETC arasındaki boşluğa etkisini araştırmak için üç farklı deney gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, yağ ile dolu alanlı sistemin üretim oranının diğerleri arasında en iyi olduğunu göstermiştir. Alüminyum folyo parçaları yerine HP ve TETC arasındaki boşluğa yağ ilave edilerek üretim oranı $0,48 \text{ kg/s}$ 'den $1,68 \text{ kg/s}$ 'ye ve ayrıca sistemin verimliliği %21,7'den %65,2'ye yükseltilebilmiştir [105].

Yukarıda belirtilen çalışmaların dışında Allouhia ve Benzakour Amineb [23] ısı boruları kullanarak bir güneş düz plaka kollektörünün enerji, ekserji ve finansal parametrik analizlerini kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Kollektör performansını değerlendirmek için MATLAB'da onaylanmış 1-D matematik modeli oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Çeşitli iklim verileri, çalışma ve tasarım parametrelerinin kombine etkileri, saatlik ve aylık performans endekslerine dayanarak enerjik ve ekserjik olarak analiz sonuçları edilmiştir. Termal/ekserji performansları arasındaki en iyi uzlaşma, gelen güneş radyasyonu için $986,93 \text{ W/m}^2$, ortam sıcaklığı için $12,18^\circ\text{C}$ ve rüzgar hızı için $1,50 \text{ m/s}$ olarak elde edilmiştir. Ayrıca, çalışma koşullarının en iyi kombinasyonunun 45°C giriş sıcaklığı ve 0.036 kg/s kütle akış hızında olduğu bulunmuştur. Isı borularının sayısını 13'e sabitlemek, enerjik, ekserjik ve finansal performanslar açısından optimize edilmiş bir kollektör tasarımına yol açmıştır.

Elsheniti ve arkadaşları [29] da yaptıkları çalışmada ısı borusu vakum tüplü güneş kollektörünün termal performansını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada sıcak su, adsorpsiyon ve emme sistemleri gibi güneş soğutma uygulamalarında kullanılan kollektör performansını tahmin etmek için $70-90^\circ\text{C}$ 'lik nispeten yüksek bir giriş sıcaklığına hedeflenilmiştir. Sistemin matematiksel modeli, İskenderiye'nin hava koşulları altında

deneysel olarak geliştirilmiş ve onaylanmıştır. Kollektörün teorik modeli, sistemin termal kütlelerinin etkisi dikkate alınarak güçlendirilmiştir, bu nedenle deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki maksimum göreceli hata %12,5'dan %4,4'e düşürülmüştür. Hem giriş suyu hem de ortam sıcaklıkları, vakum tüp sayısı, su kütle akış hızı ve güneş ışıınının hem çıkış suyu sıcaklığı hem de kollektörün verimliliği üzerindeki etkileri kapsamlı çalışmalarla ele alınmıştır. Sonuçlar, kollektör performansının yukarıdaki parametrelerden farklı şekilde etkilendiğini göstermiştir. Örneğin, su kütlesi, akış hızı ve güneş ışıınının belirli değerlerinde, çıkış sıcaklığı; çıkış suyu sıcaklığındaki artışın ortadan kaldırılacağı belirtilen bir sayıya ulaşan vakum tüplerin sayısındaki artışla artmıştır. Bununla birlikte, daha az sayıda tüpte termal verimliliğin her zaman daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, farklı seriler ve paralel düzenlemeler için vakum tüplerin toplam sayısı, modelin sonuçlarına dayanarak belirtilen çalışma koşullarında en aza indirgenerek minimum sermaye maliyetine yol açabileceği önerilmiştir.

2.3. Isı Borularında Nanoakışkanların Kullanılmasıyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Eidan ve arkadaşları Al_2O_3 ve CuO /aseton nanoakışkanlarını kullanarak ısı borusu vakum tüp güneş kollektörünün performansını iyileştirmeye yönelik deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma, vakum tüp güneş kollektör sistemine monte edilen yerçekimi destekli ısı borusunun iki deneysel parçasını içermektedir. İlk bölüm, ısı borusu içinde çalışma sıvısı olarak aseton ile doldurulmuş ısı borusu-vakum tüp güneş kollektörü için optimum performans koşullarına ulaşmak üzere tasarlanmıştır. Çeşitli doldurma oranları (%40, 50, 60, 70 ve 80) ve eğim açıları (30° , 45° ve 60°) dikkate alınmıştır. Sonuçlar, çalışma sırasındaki diğer değerlerle karşılaştırıldığında %70'e eşit dolum oranında ve 45° 'ye eşit eğim açısında optimum performans sağlandığını göstermiştir. İkinci deneysel araştırmanın temel amacı olarak iki tip nanoakışkanın (Al_2O_3 ve CuO /aseton bazlı) ısı borusu-vakum tüp güneş kollektörünün termal performansı üzerindeki etkisini analiz etmektir. Bu iki nanoakışkan ısı borusu içinde çalışma sıvısı olarak ve ilk deney kısmından optimal koşullarda iki konsantrasyon değeri baz alınarak (%0,25 ve %0,5 hacim) kullanılmıştır. Bu çalışmaya dayanarak, termal performans artışı (%20-54) ve verimlilik (%15-38) için ısı borusu-vakum tüp güneş kollektörü sistemlerine nanoakışkanlar ilave edilmesi tavsiye edilmiştir. Al_2O_3 (%0,25 ve %0,5) ve CuO (%0,25 ve %0,5) aseton bazlı nanoakışkanlar kullanılarak ısı borusunun iyileştirme yüzdesi, sırasıyla yaklaşık %36, %64, %32 ve %56'ya kadar çıkmıştır. İncelenen tüm durumlar,

ortalama su tankı sıcaklığının, iki tip nanoakışkan için asetona göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Isı borusu-vakum tüp güneş kollektörü verimliliği, aynı test koşullarındaki nanoakışkanlarda asetona kıyasla her zaman daha iyi bulunmuştur. Çalışmada ayrıca, CuO nanoakışkanı için daha yüksek hacimsel konsantrasyonda, nispeten büyük bir ağırlığa sahip nanoparçacıkların çökmesi problemi, Al_2O_3 nanoakışkanınkinden daha ciddi olmuştur sonucuna ulaşılmıştır [106].

Jin ve arkadaşları AuNPs'ler (altın nanoparçacıkları) ve MWCNT nanoakışkanları ile doldurulmuş şeffaf titreşimli ısı boruları üretmişler ve aynı anda verimli güneş enerjisi toplanması ve taşınması için deneysel olarak incelemelerde bulunmuşlardır. Deneyde, titreşimli ısı borusunun çalışma sıcaklığı için klasik yarı sinüs salınım davranışı, uygun dolgu oranı ve nanoakışkanların hacim konsantrasyonu altında gözlemlenmiştir. Titreşimli ısı borusu için nanoakışkanın optimal bir doldurma oranı tespit edilmiştir, burada çalışma akışkanının tek yönlü sirkülasyonu gözlenmiş ve ısı borusunun termal direnci minimum seviyeye ulaşmıştır. Au veya MWCNT nanoparçacıklarının suya eklenmesi, hacimsel emilim yoluyla titreşimli ısı borusunun güneş enerjisi yakalamasını önemli ölçüde artırmıştır. Nanoakışkan konsantrasyonundaki artış sadece daha fazla güneş enerjisi yakalanmasına yol açmakla kalmamış, aynı zamanda ısı borusunun termal direncini de azaltmıştır. Ağırlıkça 3,0 wt% MWCNT nanoakışkan ile doldurulan ısı borusu, son derece yüksek bir termal iletkenliğe, yani, substrat malzemesinin (kuvars camı) termal iletkenliğinin neredeyse 4300 katı olan 6000 W/(m.K)'ya ulaşmıştır. Bu şartlar altında, kondenserin soğutma suyu 30 dakika içinde kaynamaya başlamıştır. Maksimum enerji dönüşüm verimliliği, ağırlıkça 3.0 wt% MWCNT nanoakışkan ile doldurulmuş titreşimli ısı borusu için %92'ye ulaşmıştır [107].

Kaya ve arkadaşları farklı hava hızlarında (1, 2, 3 m/s) vakum tüplü ısı borulu konsantre bir hava kollektörünün enerjik ve ekserjetik analizi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu amaçla çalışmada CuO-metanol nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, nano-sıvı uygulamasının termal özellikleri artırdığını ve ısı borusu uygulamaları için daha iyi performans sağladığını açıkça göstermiştir. Tüm hava hızları birlikte düşünüldüğünde, temiz metanol ve CuO-metanol nanoakışkanı için ortalama verim sırasıyla %65 ve %64 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, saf metanol ve CuO-metanol nanoakışkanı için ortalama spesifik ekserji çıkış değerleri sırasıyla 206 J/kg ve 298 J/kg olarak hesaplanmıştır. Deneylerde, CuO-metanol nanoakışkanı kullanan sistemin verimlilik değerlerinin, güneş

radasyonu değerleri daha yüksek olduğu için daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Çalışma sıvısı olarak CuO-metanol nanoakışkan kullanılan ısı borusu deneylerinde, ortalama ortam hava sıcaklığı 9° C olduğu için, hibrid sistemin (konsantre hava kollektörü + ısı borusu) ıkış hava sıcaklığı 20 °C olarak ölçülmüştür [108].

Dehaj ve Mohiabadi ısı borusu güneş kollektöründe su bazlı CuO nanoakışkan akışının deneysel çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın temel amacı ısı borusu güneş kollektörünün farklı yüksek su debilerinde termal performansını ve çeşitli hacim fraksiyonları ile CuO-su nanoakışkanının termal performansının deneysel değerlendirilmesine dayanmaktadır. Nano yapının yapısal ve optik zellikleri; X-ışını kırınımı, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi, taramalı elektron mikroskopisi ve UV-görünür analiz yoluyla karakterize edilmiştir. Kollektör verimliliği ve pompalama gücü nanoakışkanlar için hesaplanmış ve sonuçlar su çalışma sıvısı ile karşılaştırılmıştır; deneysel sonuçlara dayanarak, 0,017 hacim fraksiyonunda ve 14 L dk⁻¹ akış hızında bakır oksit nanoakışkan ve deiyonize suyun, güneş kollektörünün verimliliğinde en büyük gelişmeyi sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar ayrıca, güneş kollektörü veriminin nanoakışkanın akış hızı ve hacim fraksiyonu ile arttığını göstermiştir [109]. Dehaj ve Mohiabadi yapmış oldukları başka bir çalışmada iki adım metoduyla MgO ve deiyonize su hazırlayarak ısı borusu güneş kollektrn deneysel olarak incelemişlerdir. XRD analizi, magnezyum oksit nanopartiküllerinin ortalama boyutunun 74,5 nm olduğunu ve magnezyum oksit yapısının monoklinik olduğunu göstermiştir. Daha sonra iki aşamalı yöntem kullanılarak magnezyum oksit/deiyonize su nanoakışkanları farklı hacim fraksiyonları ile hazırlanmış ve ısı borusunda farklı akış hızlarına sahip nanoakışkanlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmalardan ısı borusunun termal performansının akış hızına ve çalışma akışkanına bağlı olduğu, debinin (akış hızı) artırılmasının, ısı borusunun daha yüksek termal performansıyla sonuçlandığı, saf su kullanımına kıyasla ısı borusunun çalışma sıvısı olarak su-nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun verimliliğinin daha yüksek olduğu ve ısı borusu güneş kollektörünün etkinliğinin, yüksek nanoakışkan konsantrasyonlarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [110].

Ozsoy ve Corumlu ticari uygulamalar için gümüş-su nanoakışkanı kullanarak termosifon ısı borusu vakum tp güneş kollektörünün termal verimliliğini belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ilk olarak, uzun süreli stabilitesini koruyabilen gümüş-su nanoakışkan sentezi gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanın tanımlanması X-ışını

kırınımı, tarayıcı elektron mikroskopisi, UV-görülebilir spektroskopi ve termofiziksel analiz ile belirlenmiştir. İkinci olarak, gümüş-su nanoakışkan ve saf su ile yüklü silindirik bakır termosifon ısı borularının ısı transfer özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Gümüş-su nanoakışkan ile yüklü ısı borusu deneyleri, termosifon ısı borularının performansındaki değişiklikleri gözlemlemek için iki haftalık aralıklarla dört kez tekrarlanmıştır. Gümüş-su nanoakışkan ile yüklenen ısı borusunun deneylerde geliştirilmiş ısı transfer özelliğini koruduğu gözlenmiştir. Nanoakışkan çalışma sıvısı saf su ile karşılaştırıldığında güneş kollektörünün verimini %20,7 ile %40 arasında artırmıştır. Sonuç olarak, deneysel sonuçlar gümüş-su nanoakışkan kullanımının termosifon ısı borusu vakum tüp güneş kollektöründe önemli bir gelişme sağladığını göstermiştir. Ayrıca nanoakışkan sentezinden bir yıl sonra elde edilen zamana bağlı deneysel bulgular, nanoakışkanın stabilitesini ve ısı transfer özelliklerini koruduğunu göstermiştir. Deneysel sonuçlar nanoakışkanların ticari termosifon ısı borusu-vakum tüp güneş kollektörü uygulamalarında uzun süre kullanılabileceğini desteklemiştir [111].

Sarafraz ve Safaei vakum tüp güneş kollektörünün termal performansı ve verimliliği üzerine yaptıkları çalışmada ısı borularına grafen-metanol nanoakışkan yüklemiş ve kollektörün montaj eğim açısı, dolum oranının değeri, grafen nanoplateletlerin kütle fraksiyonu ve kollektör döngüsünün termal ısı üzerindeki akış hızı dahil olmak üzere çeşitli çalışma koşullarının etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, grafen nanoplateletlerin mevcudiyetinin metanolün termal iletkenliğini ($wt\% = 0,1$ 'de %19) artırırken, nanoakışkanın ısı kapasitesinin grafenin kütle fraksiyonunda bir azalma ($wt\% = 0,1$ 'de % 4 azaldığı) yaptığını göstermiştir. Ayrıca, güneş termal kollektörünün ısı veriminin nanoakışkan ile $wt\% = 0,1$ ve 3 litre / dakika akış hızında % 95'e ulaştığı belirlenmiştir. Kollektörün giriş ve çıkışı arasındaki en büyük sıcaklık farkının, en düşük ısı kapasitesini temsil eden ağırlıkça $wt\% = 0.1$ olan grafen-metanol nanoakışkanına ait olduğu belirlenmiştir. Kollektörün değerlendirilmesinde, eğim açısının değerinin ve dolum oranının kollektörün biriktirdiği termal enerjiyi büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu nedenle, ısı borularının doldurma oranı için en iyi değer %60 ve optimum eğim açısı değeri 35° olarak belirlenmiştir [112].

Kalkan yapmış olduğu çalışmada, ısı boruları, iki farklı nanoakışkan ve saf su ile doldurulmuş iki fazlı bir termosifon güneş enerjili su ısıtıcısının termal performansını belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Deneylerde $Al_2O_3-H_2O$, $CuO-H_2O$

nanoakışkanlar ve saf su kullanılmıştır. Ayrıca, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile doldurulmuş bir gizli ısı depolama ünitesi bu iki fazlı termosifon güneş enerjili su ısıtıcısının kondenser ünitesine eklenmiştir. En düşük termal performans saf su için elde edilirken, en yüksek termal performans $\text{CuO-H}_2\text{O}$ nanoakışkanı için elde edilmiştir [113].

Çaylıoğlu yaptığı çalışmasında tasarım ve imalatı gerçekleştirilen ısı borulu güneş kolektörlerinde R134a, R22 ve metanol çalışma akışkanları ve farklı fitil yapılarını değerlendirmiştir. Verim deneyleri TS 12975 standardına göre yapılarak; farklı yapılardaki ısı borulu güneş kolektörlerinin verim eğrileri çıkarılarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, ısı borulu güneş kolektörlerinde çalışma akışkanı olarak seçilen R134a ve R22 akışkanlarının verim değerlerinin, konvansiyonel sistemlere göre daha düşük kaldığı tespit edilmiştir. Isı borulu güneş kolektörlerinde çalışma akışkanı olarak seçilen R134a ve R22 gazlarının ısı iletim katsayılarının düşük değerlerde olması, ısı borulu güneş kolektörlerinin verim değerlerinin düşük çıkmasına sebep olduğu belirlenmiştir. Aynı sistem düzeneği içerisinde ısı iletim katsayısı daha büyük akışkanlar kullanılarak verim değerinin artırılabilceği tespit edilmiştir [114].

Ersöz ve Yıldız ısı borusu çapı 16, 22 ve 18 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörleri imal etmişlerdir. Termosifon tipi ısı borularında iş akışkanı olarak etanol ve ısıtılan akışkan olarak endüstriyel kurutma ve bina ısıtmasında ihtiyaç duyulan hava kullanılmıştır. İmal edilen her bir güneş kolektörü Uşak/Türkiye eş koşullarında, kolektör hava çıkış hızı 3m/s olmak üzere 5 gün süre ile deneysel olarak incelenmiştir. Isı borusunun yoğunlaştırıcı kısmı (300 mm'lik boru bölümü) 300 mm boyunda 1mm saçtan hazırlanmış tek zıt akımlı (tek giriş tek çıkış) depo içerisine yerleştirilmiştir. Deponun ısı yalıtımı yapıldıktan sonra ısı borusunun buharlaştırıcı ve adyabatik kısmı (depo dışında kalan 1500 mm boru bölümü) hazır olarak temin edilen 1500 mm boyunda ve Ø 57 mm vakum tüp içerisine yerleştirilmiştir. Ortalama günlük güneş ışıınımı $775,45 \text{ W/m}^2$ 'nin altına düştüğü günlerde ısı borusu Ø 28 olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektöründe işgören akışkan etanolün yoğunlaşması artmış yani buharlaşma için güneş ışıınımı şiddeti yeterli olmadığı için ısı verimi düşmüştür. Ortalama günlük güneş ışıınımı $775,45 \text{ W/m}^2$ 'nin üzerinde olduğu günlerde ise ısı borusu Ø16 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe, işgören akışkan etanol tamamen buharlaşmış yoğunlaştırıcuda ısı atamadığı için ısı transferi azalmış ve buna bağlı olarak ısı verimi düşmüştür [115].

Çiftçi ve arkadaşları nano boyutta TiO_2 (Titanyum dioksit) parçacıkları içeren nanoakışkan kullanarak çift fazlı kapalı bir termosifon ısı borusunun ısı performansının iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada ısı borusunun toplam hacminin 1/3'lük kısmı çalışma akışkanı ile doldurulmuştur. Yoğuşma bölümünden çekilen ısıyı saptamak amacıyla 3 farklı soğutma suyu debisi (5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s) ve buharlaşma bölgesi için 3 farklı ısıtıcı gücü (200 W, 300 W ve 400 W) kullanılarak deneyler tamamlanmıştır. Deneyler su ve nanoakışkan için ayrı ayrı yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç, ısı performansında %16,5 oranında iyileşme sağlayan, çalışma akışkanı olarak nanoakışkanın kullanıldığı 200 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisinde elde edilmiştir. Saf su yerine TiO_2 nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun duvar sıcaklıklarındaki dağılım daha dar bir aralıkta sınırlandırılmıştır. Benzer şekilde, yoğuşma ve buharlaşma bölgelerinin duvar sıcaklıkları, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanıldığında daha küçük değerlerde seyretmiştir. Nanoakışkan kullanımı ile buharlaşma sıcaklığı ortalama 10°C daha düşük olmuştur. Nanoakışkan içerisindeki metal oksit parçacıklarının çalışma akışkanının iletkenliğini artırdığı, bunun sonucunda da ısı borusunun veriminde artış olduğu görülmüştür. Bu artış miktarı yaklaşık olarak %11,76 civarında tespit edilmiştir [116].

Menlik ve arkadaşları MgO /su nano-sıvısının çeşitli çalışma durumlarında iki fazlı kapalı bir termosifon ısı borusunun termal performansını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Triton X-100 noniyonik sürfaktan, doğrudan sentez yoluyla %5 (hacim) MgO /su nanoakışkanını üretmek için kullanılmıştır. Deney düzeneğinde ısı borusu olarak iç çapı 13 mm, cidar kalınlığı 2 mm ve uzunluğu 1 m olan düz bakır boru kullanılmıştır. Nano sıvı, ısı borusunun hacminin %33,3'ünü (44,5 ml) doldurmuştur. Deneylerde üç farklı ısıtma gücü seviyesi (200 W, 300 W ve 400 W) sistemi soğutmak için kondenserde kullanılan üç farklı akış hızında soğutma suyu (5, 7,5 ve 10 g/s) ile kullanılmıştır. Sisteme su yerine nano sıvı yüklendiğinde, çalışmada kullanılan ısı borusunun etkinliği için 200 W ısıtma gücü ve 7,5 g/s akış hızında % 26'lık bir iyileşme seviyesi tespit edilmiştir. İyileşme oranı, değişen ısı yüklerine ve kondenser soğutma suyunun değişen akış hızına göre değişmiştir. Nano-sıvı içeren MgO 'nun termal performansı, deiyonize sudan daha iyi olmuştur. Verimlilikteki en yüksek gelişme %26 olarak belirlenmiştir. Nanoakışkan içeren MgO 'nun, ısı borusunun verimliliğini, nanoakışkan içeren alümina içerene kıyasla ortalama %6,6-11,5 oranında artırdığı belirlenmiştir [117].

Sözen ve arkadaşları su, alümina nanoakışkan ve uçucu külü ısı borusunda çalışma sıvıları olarak kullanmışlardır. Çalışma, uçucu kül ve alümina nanoakışkanların, çeşitli çalışma durumlarında iki fazlı kapalı bir termosifon ısı borusunun termal performansını nasıl etkilediğini araştırmaktadır. Bu çalışma, SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve MgO gibi çeşitli metal oksitler içeren Yatağan Termik Santrali'nin (Türkiye) siklonlarından salınan baca gazından elde edilen uçucu külün çeşitli şekillerde kullanılmasının etkisini deneysel olarak incelemektedir. Çalışmada, doğrudan sentez yoluyla %2 (ağırlıkça) uçucu kül/su nanoakışkanı üretmek için Triton X-100 dispersanı kullanılmıştır. Isı borusu olarak iç çapı 13 mm, dış çapı 15 mm ve uzunluğu 1 m olan düz bir bakır boru kullanılmıştır. Deneysel karşılaştırmalar yapabilmek için, aynı ısı borusunda aynı koşullar altında hazırlanan üç farklı çalışma sıvısı, üç farklı ısıtma gücünde (200 W, 300 W ve 400 W) ve üç farklı soğutucu su akış hızında (5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s) test edilmiştir. Suyu 400 W ısıtma gücünde ve 5 g/s soğutucu su akış hızıyla değiştirmek için nanoakışkan içeren uçucu kül kullanıldığında termal dirençte (R) % 30,1'lik bir azalma sağlanmıştır. Benzer şekilde, alümina nanoakışkan çalışma sıvısı olarak kullanıldığında, 400 W'lık bir ısıtma gücü ve 5 g/s soğutucu su akış hızı altında termal dirençte %5,2'lik bir azalma elde edilmiştir [118].

Yukarıdaki çalışmaların dışında, Pise ve arkadaşları [38] serpantin şekilli termosifon ısı borusu düz levha güneş kollektörünün gerçek çalışma koşulları altında termal performansını araştırmak amacıyla çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Değişen konsantrasyonlarda (ağırlıkça 0,05, 0,25 ve 0,5), (Al_2O_3 -su) nanoakışkan, (Al_2O_3 -su) + yüzey aktif madde, su + yüzey aktif madde çalışma sıvıları olarak kullanılmıştır. Sonuçlardan, soğutucu akış hızının belirli bir limite kadar arttıkça kollektörün verimliliğinin arttığı, daha sonra azaldığı gözlemlenmiştir. Su- Al_2O_3 , saf suya kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Kollektör için gözlemlenen artış, ağırlıkça %0,05, %0,25, %0,5'de saf suya kıyasla sırasıyla %3,79, %10,72 ve %15,24 olarak bulunmuştur. Su- Al_2O_3 + yüzey aktif maddesi saf suya göre daha iyi performans göstermiş, kollektör için saf su ve nanoakışkanlara göre artış gözlemlenmiş ve suya kıyasla artış % 20 olarak bulunmuştur. Su-yüzey aktif maddesi, tüm çalışma sıvılarına kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Suyu kıyasla artış %45,23 olarak bulunmuştur.

Zhao ve arkadaşları [43] grafen/su nanoakışkanı sentezleyerek yer çekimi destekli ısı borusunun ısı başlatma performansı üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çeşitli grafen nanoplateletlerin (GNP'ler) konsantrasyonları ile nanoakışkanın

termofiziksel özellikleri-termal iletkenliği ve viskozitesi dahil farklı analizlerde farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür. Ayrıca, tek bir ısı borusunun başlatma süreci üzerindeki operasyonel değerlendirmeye dayanarak, farklı konsantrasyonlarda GSMH kullanan nanoakışkanla zenginleştirilmiş güneş yerçekimi destekli ısı borularının performansı, su ısıtma deneyleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, su yerine ağırlıkça % 0,05 grafen/su nanoakışkan kullanımının, 30 ve 60 W giriş ısıtma koşullarında başlatma süresinde sırasıyla %15,1 ve %10,7 oranında azalma sağlayabildiğini göstermiştir.

Su [55] yapmış olduğu çalışmada; amorf yapıdaki TiO_2 nano partiküller ve temel akışkan olarak su tercih ederek iki aşamalı yöntemle nanoakışkan hazırlamıştır. Sonrasında bir vakum tüp ısı borusuna saf su, diğerine ise hazırlanan nanoakışkan şarj edilmiştir. Soğutma suyu deposunda giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve farklı soğutma suyu debilerinde sıcaklık değişimleri ölçülerek ısı verimleri hesaplanmıştır. Nanokışkanlı vakum tüp ısı borusu güneş kolektörlerinin verimleri su kullanılanların verimleri ile karşılaştırılarak nanoakışkan kullanımıyla elde edilen fayda ortaya konmuştur. Deneylerin sonucunda nanoakışkan kullanımıyla vakum tüp ısı borusu güneş kolektörlerinde düşük ısı direnç, yüksek ısı iletkenlik, yüksek çalışma sıcaklıklarının kısa sürede istenen sıcaklık değerlerine ulaştığı gözlemlenmiş ve verimin arttığı belirlenmiştir. En yüksek çıkış sıcaklığı 3 g/s su debisinde ve nanoakışkan kullanıldığında gerçekleşmiş olup giriş sıcaklığından 11,7 derece fazla olarak 28,1 °C olarak belirlenmiştir. Aynı koşullarda vakum tüp ısı borusu içerisinde saf su olduğu durumda ise 26,1 °C olmuştur. En yüksek verim soğutma suyu debisinin 7 g/s olduğu ve nanoakışkan kullanıldığı durumda %49,214 gerçekleşmişken, saf su kullanıldığı durumda ise %37,496 olarak hesaplanmıştır [55].

Bu çalışmada da ısı borulu düz plaka güneş kolektöründe performansı artırmak amacıyla kütleli olarak %2 nanopartikül içeren Al_2O_3 ve TiO_2 nanoakışkanları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar ve deneyler ayrıntılı bir şekilde açıklanarak çalışma hakkında gerekli bilgiler verilmiştir.

3. MATERYAL METOT

Bu bölümde, tez çalışmasının ana konusunu oluşturan nanoakışkanların hazırlanması ve yapılan deneylerin matematiksel işlemlerle açıklanması gerçekleştirilerek elde edilen sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Nanoakışkanların Hazırlanması

Yapılan bu çalışmada, Al_2O_3 -saf su, TiO_2 -saf su nanoakışkanlarının ısı borulu güneş kollektörleri (IBGK) performansı üzerindeki etkisi iki aşamalı olarak ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan Al_2O_3 -saf su, TiO_2 -saf su nanoakışkanlarda görülen en önemli problemlerden bir tanesi saf su ile yapılan karışımlarda tortulaşmanın meydana gelmesini engellemek için Triton X-100 yüzey aktifleştirici sıvı kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılacak olan Al_2O_3 ve TiO_2 nanoakışkanlarının boyutları sırasıyla 18 nm ve 38 nm olarak Nanografi firmasından temin edilmiştir. Nano boyutta temin edilen Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartikülleri %2 (kütle/kütle) oranında saf su karışımı ile elde edilmiştir. Karışımın içinde nanopartiküllerin tortulaşmasını önlemek için karışımın içine kütlece %0,2 oranında Triton X-100 yüzey aktifleştirici madde ilave edilerek ultrasonik banyoda sürekli titreşim şeklinde 10 saat süre ile karıştırma işlemi yapılmıştır. Bu karıştırma işlemi sırasında ultrasonik banyonun içerisinde sıcaklığın artmasına bağlı olarak yüzey aktifleştirici maddenin buharlaşmasını engellemek amacıyla düzenli aralıklarla ultrasonik banyo soğutulmuştur. Nanografi firmasından temin edilen nanopartiküllerin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir [119].

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan nanopartiküllerin özellikleri

Nanopartikül adı	Saflık (%)	Boyut (nm)
Al_2O_3	99,5	18
TiO_2	99,55	38

Nanoakışkanların kararlı hale getirilmesinde kullanılan ultrasonik banyoya ait cihazın üzerinde verilen özellikleri Çizelge 3.2’de ve fotoğrafı ise Resim 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Ultrasonik banyo özellikleri

Özellik	Değer
Gerilimi	230 V- 50 /60 Hz
Ultrasonik Gücü	160/640 Watt
Isıtıcı Gücü	280 Watt
Ultrasonik Frekansı	35 kHz
İç hacmi	5,5 litre

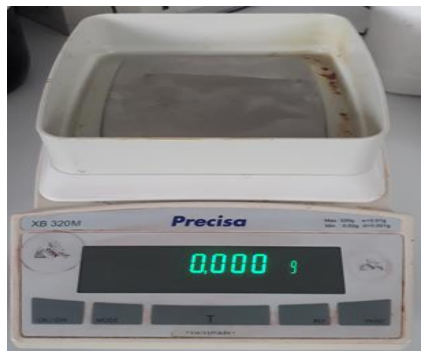


Resim 3.1. Ultrasonik banyo (Bandelin DT 255 H)

Nanoakışkan karışımlarının miktarlarını hassasiyetle ölçmek için hassas terazi (Precisa XB 320M) kullanılmıştır. Hassas terazinin üzerinde verilen özellikler Çizelge 3.3’de ve terazide Resim 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Hassas terazinin özellikleri

Serisi: 320 XB	Model; 320M	Max; 320 g	Min; 0,02 g
e = 0,01 g	d = 0,001 g	12VDC 6W	10°C / 30°C



Resim 3.2. Hassas terazi (XB 320M)

3.2. Deneyde Kullanılan Saf Su ve Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Yoğunluk

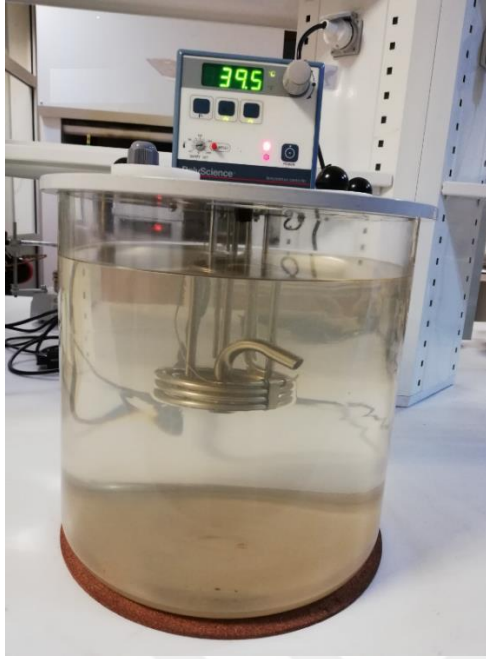
Deneylerde kullanılacak olan çalışma akışkanları deneye hazır hale getirildikten sonra akışkanların yoğunlukların ağırlığı hassas terazide tartılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Özgül ısı kapasitesi

Aynı miktardaki farklı maddelere verilen ısı miktarı aynı olsa bile sıcaklık değişimi farklılık gösterir. Kısaca tanımını yapacak olursak, 1 gr maddenin sıcaklığını 1 °C artırmak için gerekli olan ısı miktarı olup, “c” harfi ile gösterilir. İş akışkanlarının özgül ısı değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Viskozite

Fiziksel olarak homojen yapıya sahip sıvı haldeki maddelerin akışkanlığa karşı gösterdikleri direçtir. Başka bir ifadeyle viskozite uygulanan bir kuvvet karşısında maddenin akmaya gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. İş akışkanlarının 20°C, 40°C, 60°C, 80°C sıcaklıklarında viskozite değerleri, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesinde mevcut olan kinematik viskozite (Polyscience) cihazı (Resim 3.3) ile ölçümü, viskozite değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.



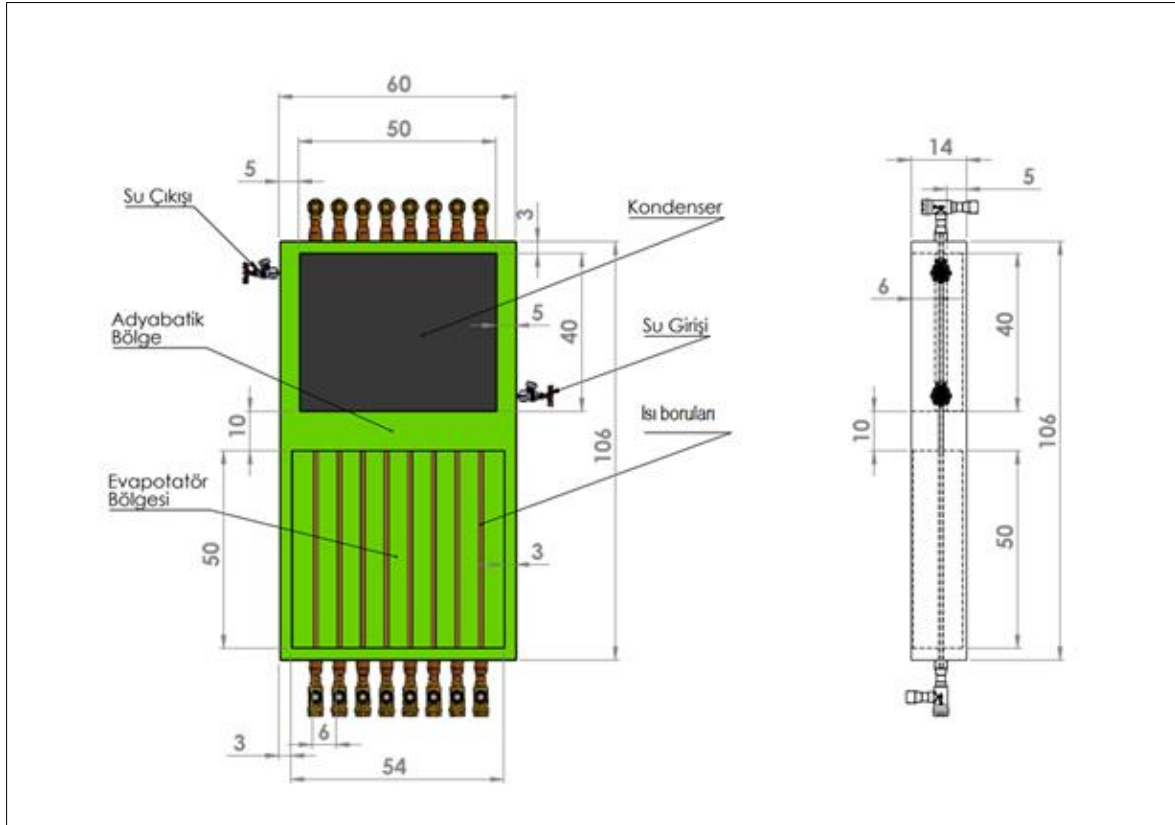
Resim 3.3. Kinematik viskozite cihazı (Polyscience)

Çizelge 3.4. Çalışma sıvıların termofiziksel özellikleri

Çalışma sıvısı	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (kJ/kgK)	Viskozite (kgm ⁻¹ s ⁻¹)			
			20°C	40°C	60°C	80°C
Saf su	998	4,18	0,98	0,64	0,45	0,35
Al ₂ O ₃ /saf su	1056	4,32	1,02	0,82	0,61	0,42
TiO ₂ /saf su	1015	4,26	1,01	0,92	0,67	0,54

3.3. Isı borulu güneş kolektörünün (IBGK) imalatı

Şekil 3.1’de deneyde kullanılan ısı borulu güneş kolektörünün şematik çizimi verilmiştir.



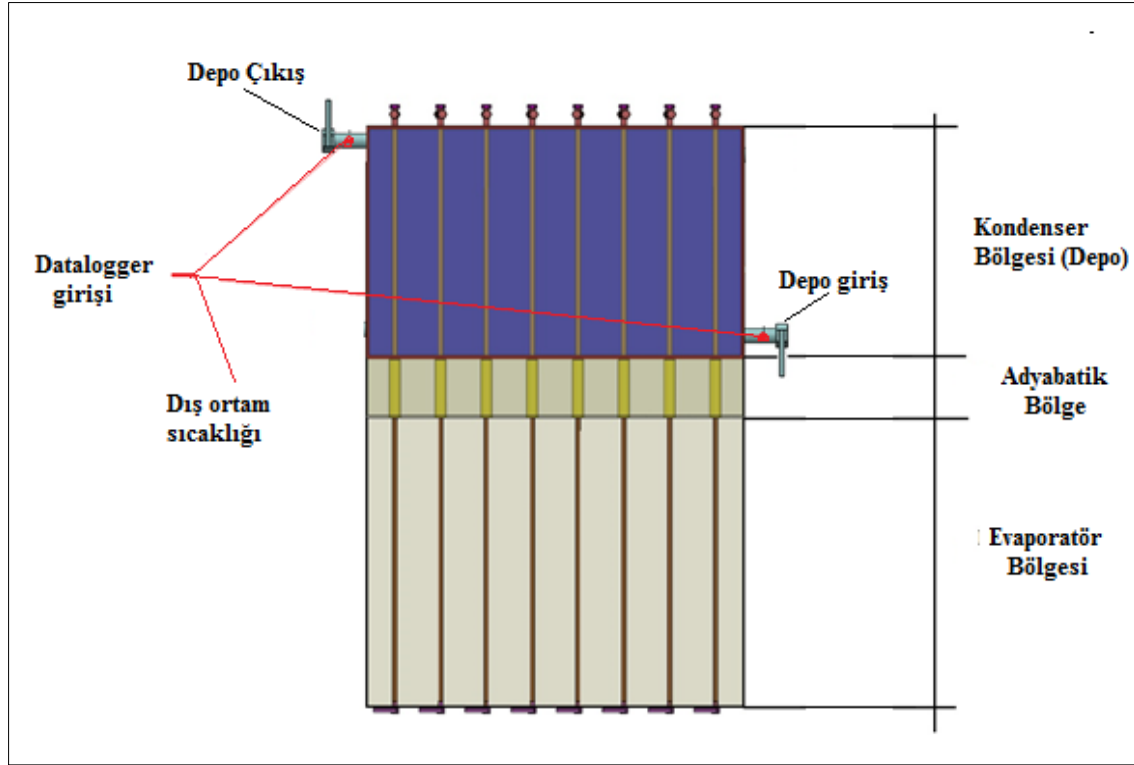
Şekil 3.1. Isı borulu güneş kollektörü ısıl performans deney seti teknik çizimi

Sistemde yapılan deneylerde çalışma akışkanı olarak saf su, Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su nanoakışkanları kullanılmıştır. Kollektör montaj çerçevesi hiçbir şekilde kollektör açıklığını engellemeyecek ve kollektör alt kenarı bölgesel yer yüzeyinden en az 0,5 m yukarıda olacak şekilde imal edilmiştir.

3.4. Deney Setinin Bileşenleri ve Teknik Özellikleri

Termokuplların deney düzeneğine monte edilmesi

Deneylerde kullanılacak düzenek evaporatör bölge (50 cm), adyabatik bölge (10 cm) ve kondenser bölge (40 cm) olmak üzere 3 bölgeden oluşmaktadır. Ölçüm alınacak noktalar Şekil 3.2’de görülmektedir.

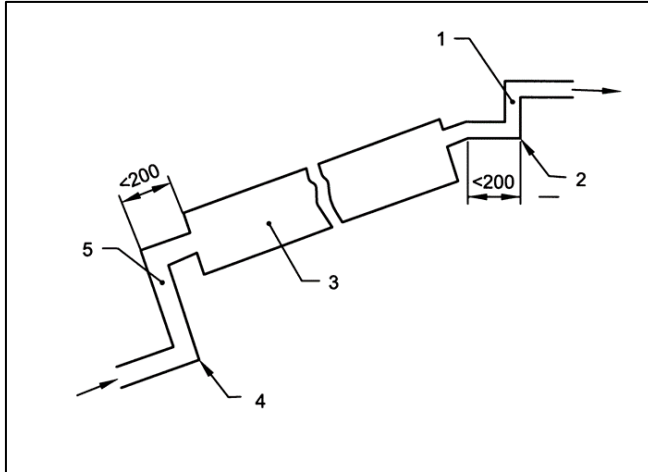


Şekil 3.2. Termokuplların deney düzeneğine monte edilmesi

Deney setinde yukarıda Şekil 3.2’de görüldüğü gibi depo giriş ve çıkış notalarında birer adet ve dış otam sıcaklığını T tipi termokupl kullanılarak veriler datalogger aracılığıyla kaydedilmiştir.

Isıl çiftlerin montajı

Sıcaklık ölçümü için algılayıcı Şekil 3.3’te gösterildiği gibi kollektör girişinden en fazla 200 mm uzağa montajı yapılmış olup algılayıcının giriş ve çıkış tarafındaki boru tesisatı yalıtılmıştır [120].

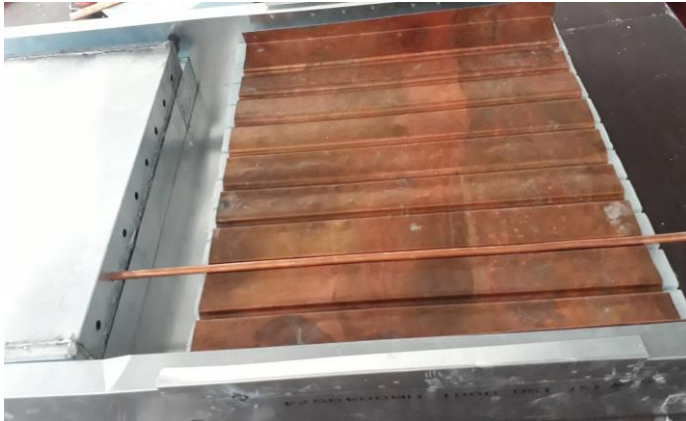


Şekil 3.3. Isı aktarma akışkanı giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için tavsiye edilen dönüştürücü konumları

1. Sıcaklık dönüştürücü ($t_e \Delta T$)
2. Borulama dirseği veya karıştırma aleti
3. Güneş enerjisi kollektörü
4. Borulama dirseği veya karıştırma aleti
5. Sıcaklık dönüştürücü ($t_{in} \Delta T$)

Deneyde kullanılan kollektörün özellikleri;

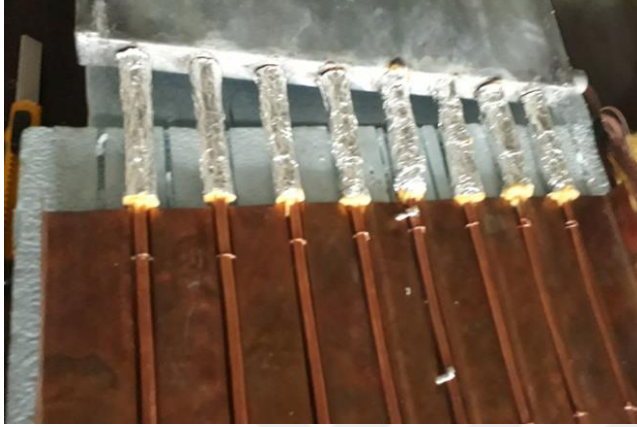
Deney düzeneği hazırlanırken ilk önce kasa imal edilmiştir. Kasa 0,45 mm kalınlığında, galvaniz saçıtan, depo 6 litre hacminde olacak şekilde 2 mm kalınlığında saçıtan yapılmıştır. boruların depo içerisine montajı Resim 3.3’de görülmektedir.



Resim 3.4. Bakır boruların depo çıkışı ve emici plakalara yerleştirilmesi

Bakır boruların emici plaka kısmında bakır plaka kullanılmıştır. Bakır plakaya ısı borusu dış çapında kanallar açılarak ısı borusunun kanallara sabitlemesi yapılmış olup, Resim 3.4'deki gibi yerleştirilmiştir.

10 cm'lik adyabatik bölge Resim 3.5'de görüldüğü gibi yalıtılmıştır.



Resim 3.5. Adyabatik bölge

Depo ve emici plakanın arka yüzeyinin ısı yalıtımı, 5 cm kalınlığında taş yünü kullanılarak yapılmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6. Depo ve kollektörün ısı yalıtımı

Emici plaka siyah mat boya ile boyandıktan sonra 4 mm cam ile kapatılmış ve Resim 3.7'da gösterildiği gibi kollektör tamamlanmıştır.



Resim 3.7. Kollektörün tamamen yalıtılıp camla kapatıldıktan sonraki hali

Eğim açısını ayarlayabilmek için Resim 3.8’de görülen kaidenin üzerine Isı Borulu Güneş Kollektörünün (IBGK) montajı yapılmıştır. Deney yapılacak yer seçilirken düzeneğe gölge oluşturulmayacak ve kollektör tabanının yerden en az 50 cm yükseklikte olmasını sağlayacak platform düzeneği üzerine monte edilmiştir.



Resim 3.8. IBGK deney düzeneği

Eğim açısı

Kollektör, kollektör için gelme açısı değiştirici dik gelmedeki değerinden $\pm \% 2$ 'den daha fazla değişme olmayacak eğim açılarındaki deneye tabi tutulmalıdır. Bu eğim açısı, bölgenin coğrafik konumuna ve mevsimlere göre değişir. Isı borularında eğim açısı 90° iken verim daha etkilidir. Bu doğrultuda kollektör 70° açı ile ayrılarak ısı borularından daha yüksek performans elde etmek amaçlanmıştır.

Kollektör bina dışında ekvatora dönük sabit bir konumda monte edilebilir, ancak bu deneye tabi tutmak için sağlanabilen zamanın gelme açılarının kabul aralığı ile sınırlanması sonucunu verir. Daha esnek bir yaklaşım elle veya otomatik izleme kullanılarak kollektörü güneşi azimutta takip edecek şekilde hareket ettirmektir [120]. Deney düzeği 70° açı ile elle kontrolle sistem üzerindeki tekerlekler sayesinde güneşi takip edecek şekilde döndürülmüştür.

Gölgeleme

Deney tezgâhının yeri, deney sırasında kollektör üzerine hiçbir gölge düşmeyecek şekilde olmalıdır [120]. Deney esnasında kollektör üzerine gölge düşmeyecek şekilde alan seçilerek, deneylerde bu hususa azami dikkat edilmiştir.

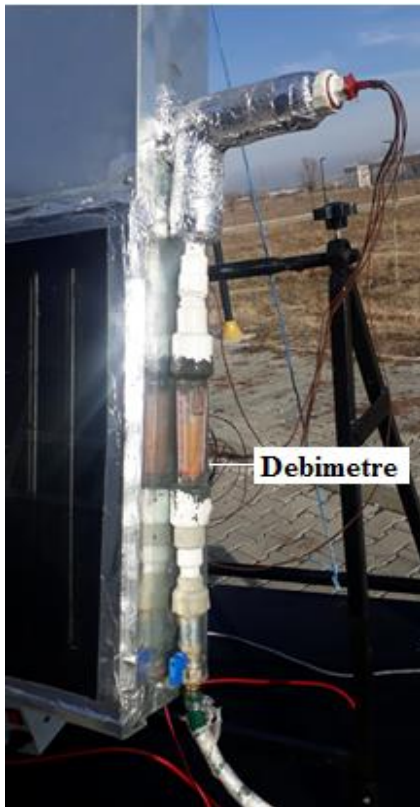
Debimetre

Sistem performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi de akışkan debisidir. Bu amaçla deneylerde akışkan kontrolünü sağlamak amacıyla akış ölçer kullanılmıştır. Bu amaçla deneylerde akışkan kontrolünü sağlamak amacıyla LZS-15 akış ölçer tüp şamandıralı debimetre kullanılmış olup Resim 3.9'te gösterilmiştir.



Resim 3.9. Debimetre

Sistemde dolaşan suyun kollektör açıklık alanının birim metre karesi başına 0,02 kg/s olacak şekilde [120] kontrol edebilmesi için kullanılan akış ölçer Resim 3.10'da görüldüğü gibi montajı yapılmıştır. LZS-15 akış ölçer tüp şamandıralı debimetre, 0-60 °C sıcaklığı arasında ve $\pm\% 4$ hassasiyet ile kontrol sağlamaktadır.



Resim 3.10. Debimetrenin deney düzeneğine bağlantısı

Solarmetre

Hem güneş ve hem de gökyüzünden gelen global kısa dalga ışımayı ölçmek için solarmetre kullanılır. Her bir deneyden önce solarmetre dış kubbesinin üzeri toz, toprak vb. için kontrol edilerek gerekli temizleme işlemi yapılmıştır. Güneşten gelen ışıma şiddetini ölçmek için (BONAD SM206) solarmetre kullanılmış olup Resim 3.11’de gösterilmiştir.



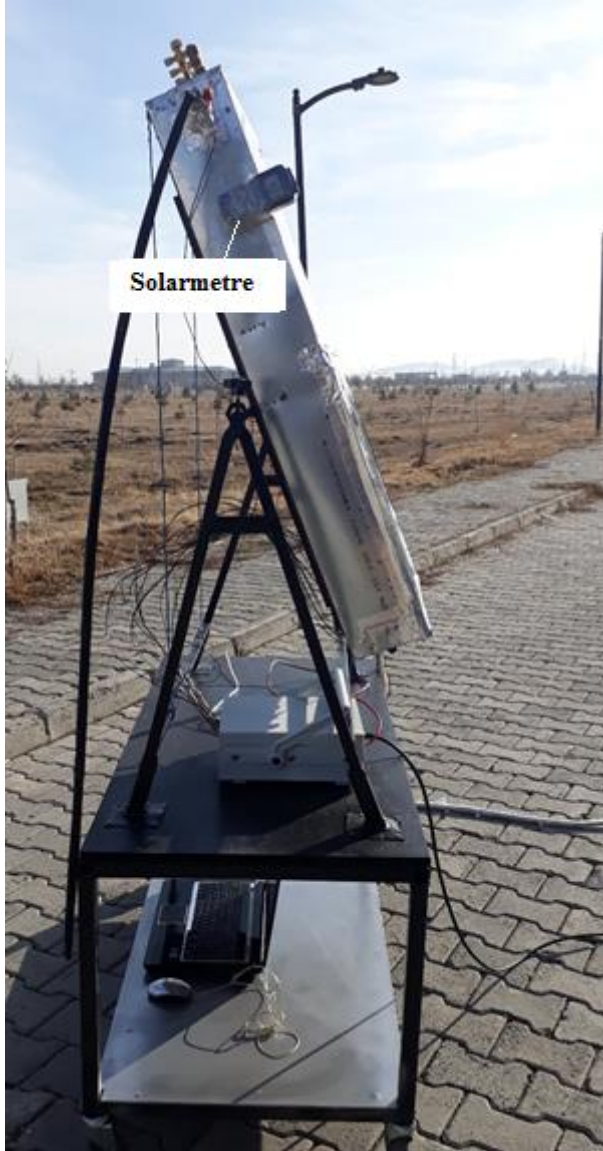
Resim 3.11. Solarmetre

Deneyler sırasında kullanılan solarmetre tipik bir deney konumuna yerleştirilmiş ve dengeye gelmesi için veri almaya başlamadan önce en az 30 dakika beklenerek ölçme işlemlerine başlanmıştır.

Deneyde kullanılan solarmetrenin teknik özellikleri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir. Hem güneş hem de gökyüzünden gelen global kısa dalga ışımayı ölçmek için solarmetre Resim 3.12’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Yapılan her bir deneye başlamadan önce solarmetrenin kollektör eğim açısı ile aynı olacak şekilde kontrolleri yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Deneyde kullanılan solarmetrenin teknik özellikleri

Kararlılık	0,1 W/m ²
Doğruluk	± 10 W/m ² , ±%5
Sapma	± %3/year
Sıcaklık kaynaklı hata	± 0,38 W/m ² /°C
Ölçüm aralığı	1 – 3999 W/m ²
Örnekleme oranı	0,25s
Çalışma ortamı	0°C – 50 °C ,<80%RH



Resim 3.12. Solarmetrenin kollektör üzerindeki konumu

Data logger (veri kaydedici)

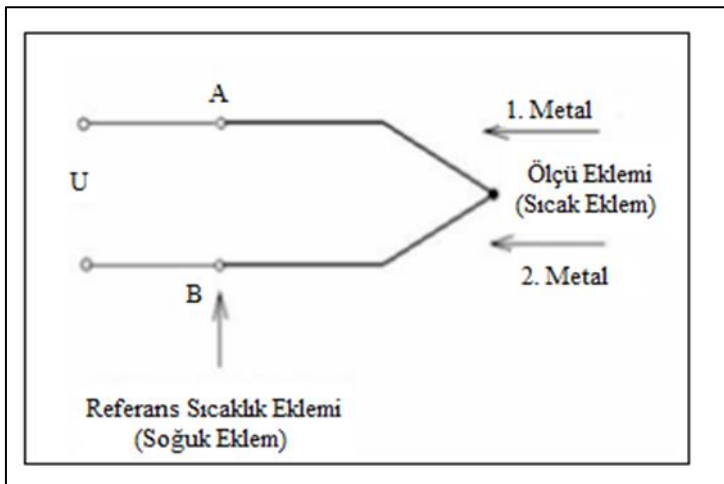
Deneyleerde depo giriş çıkış suyu sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı ölçülürken T tipi termokupl kullanıldı. Data logger olarak 15 girişli Ordell UDL200 ve USB dönüştürücü olarak Ordell SBA200 kullanılmıştır (Resim 3.13).



Resim 3.13. Deneylerde kullanılan Usb dönüştürücü ve Datalogger

Isıl Çiftler (Termokupl)

Farklı iki iletken malzemeden oluşan, termokupl veya ısıl çift, bir tür sıcaklık sensörüdür. Bu farklı iletken malzemelerin uçları lehimle birleştirme işlemi yapıldıktan sonra ısı kaynağına tabi tutulduğunda diğer uçlarda gerilim elde edilir. İki ayrı metalin ısınması sonucunda sıcaklık ve soğukluk farkına bağlı olarak potansiyel fark oluşur. Elde edilen bu potansiyel fark bir milivoltmetre ile ölçülerek belirlenen noktalardaki sıcaklık değerleri ölçülür. Isıl çiftlerin çalışma prensibi Şekil 3.4'te basit bir şekilde gösterilmiştir[121].



Şekil 3.4. Termokupl devresi

Genellikle kullanılan 12 adet standart termokupl vardır. ISO 9806 standardının gereği, yapılan deney düzeneğinde sıcaklık ölçümlerini kollektör giriş ve çıkışlarından 200 mm

mesafeden 350°C'ye kadar sıcaklar için kullanılabilen T tipi ısı çiftler (± 0.5 °C) kullanılarak yapılmış olup, özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. T tipi termokuplun özellikleri

Tip	+ Uç	-Uç	Seeback Katsayısı ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Sıcaklık aralığı ($^\circ\text{C}$)
T	Cu	Cu, 45% Ni	43	(-40) ~(+350)

Deney değerlendirme metodları

Isıl performans hesaplamalarında TS EN ISO 9806 standardı referans alınmıştır. TS EN ISO 9806 standardına göre,

Kollektörde ısı taşıyıcı akışkana aktarılan ısıyı, sıvı ısıtan ısı borulu güneş kolektörünün verimi ve akışkan debisi Eş 3.1 ve Eş 3.2 esas alınarak hesaplanmıştır.

Kollektörde ısı taşıyıcı akışkana aktarılan ısı;

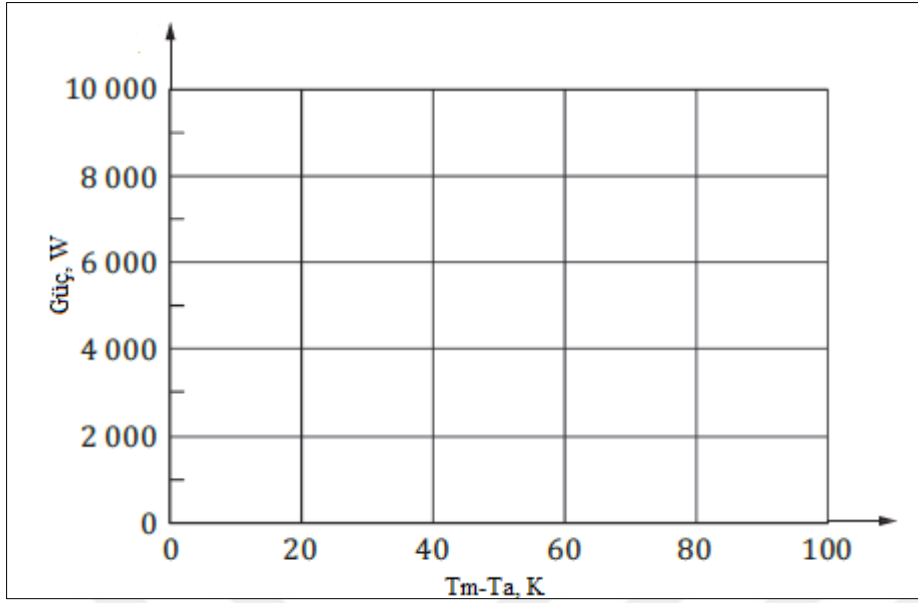
$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

Kollektöre dolaşan ısı taşıyıcı akışkan debisi;

$$\dot{m} = 0,02 \cdot A_G \quad (3.2)$$

Metot standardına göre;

- Sonuçların değerlendirilmesinde düşürülmüş sıcaklık farkındaki anlık verim ve anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı grafikleri verilmiştir.
- Grafikler referans standart olan TS EN ISO 9806'da [120] belirtildiği şekilde, yatay ekseninde $(T_m - T_a)/G$, düşey ekseninde % verim olarak ve yatay ekseninde $(T_m - T_a)$ düşey ekseninde güç değeri olacak şekilde verilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kollektör ünitesi başına güç çıkışı [120]

Düşürülmüş sıcaklık farkı

Ortalama ısı aktarma akışkan sıcaklığı t_m ;

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta t}{2} \quad (3.3)$$

düşürülmüş sıcaklık farkı;

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \quad (3.4)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanır [120].

Kollektörün anlık verimi (η) ise depodan geçen iş akışkanına birim zamanda aktarılan ısı $\dot{Q}$, kollektörün açıklık alanına düşen ışıyım değerine (I) oranı ile hesaplanır [122]. Kollektörün açıklık alanına düşen ışıyım değeri (I) yerine $A_G \cdot G$ de yazılarak düzenleme yapılabilir. Burada A_G ; kollektörün açıklık alanı, G ; ışıyım yoğunluğudur.

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_G \cdot G} \quad (3.5)$$

4. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Deneyisel parametrelerin belirsizliğini belirlemek için Kline ve McClintock [123] tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, R sisteminde ölçülecek sonuç işlevidir ve $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 'nin R değerini etkileyen bağımsız değişkenlerdir. Bu durumda;

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (4.1)$$

olarak ifade edilebilir.

$w_1, w_2, \dots, w_n$ bağımsız değişkenlerin belirsizlikleri olarak kabul edilerek, R sistemin toplam belirsizliğini vermek üzere aşağıdaki gibi ifade edilebilir [123];

$$W = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.1'de ölçümde kullanılan elemanların belirsizlik değerleri verilmiştir. Bu çalışmadaki parametrelerin (sıcaklık, ışıınım, debi, datalogger) belirsizlikleri Çizelge 4.1'de verilen parametreler esas alınarak hesaplanmış olup, hesaplamalarda toplam belirsizlik $\pm 0,5139$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Ölçümde kullanılan elemanların belirsizlik değerleri

Cihaz İsmi	Ölçüm Aralığı	Doğruluk	Toplam Belirsizlik
Termokupl T tipi	-40 / +350 °C	± 0.5 °C	$\pm \% 0,5139$
Datalogger UDL200	-200/ +400 °C	$\pm \% 0,2$	
Solarmetre (SM-206)	1-3999 W/m ²	$\pm \% 5$	
Debimetre (LZS-15)	10-100 kg/h	$\pm \% 4$	

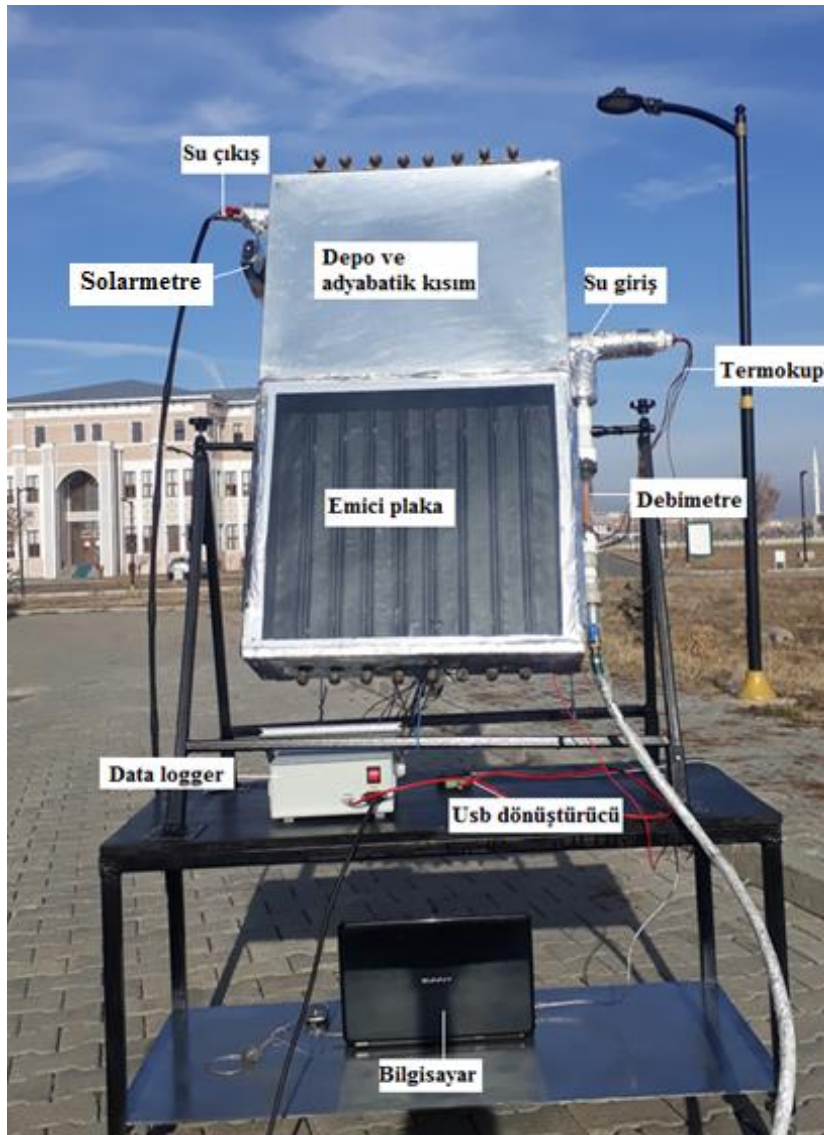
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, deneyisel verilerin belirsizliğinin kabul edilebilir aralıkta olduğunu göstermektedir [124].



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5.1. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

Isı borulu güneş kolektörlerinde nanoakışların ısı verime etkisini araştırmak için deneyler iki aşamada yapılmıştır. Birinci kısım deneyler saf su ile ikinci kısım deneyler nanoakışkanlar ile yapılmıştır. Deneyler Eylül (2019) ayı içerisinde, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nun bahçesinde enlem $39^{\circ} 41' 31,3''$ kuzey ve boylam $42^{\circ} 59' 22,2''$ doğu koordinatlarında yapılmıştır. Deney düzeneği Resim 5.1'de verilmiştir.

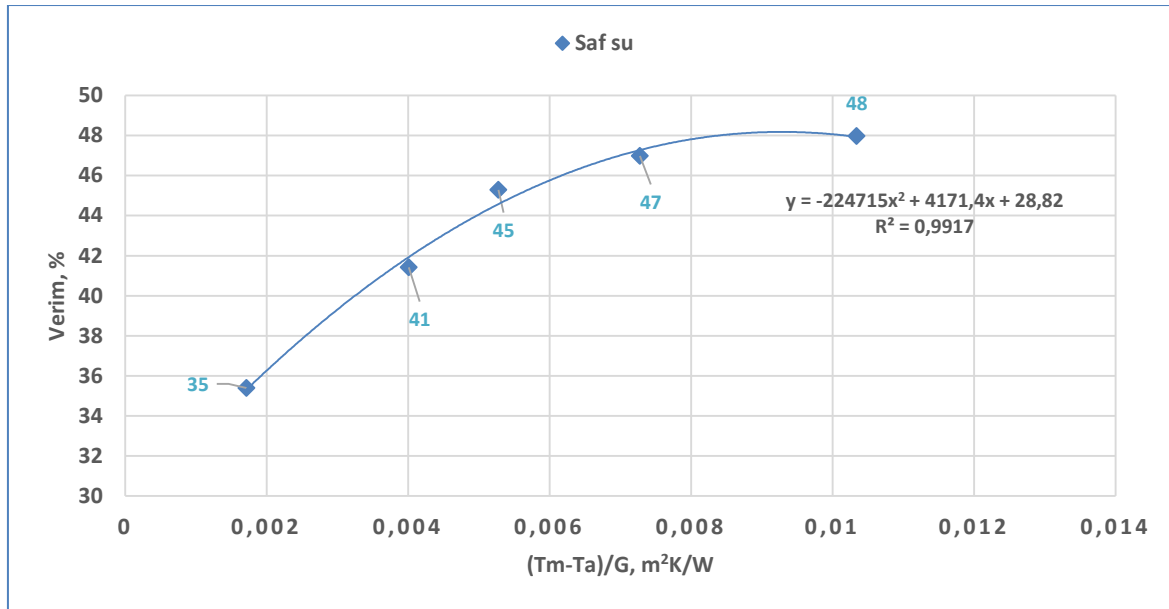


Resim 5.1. Isı borulu güneş kolektörü deney seti

Kollektör yüzey alanı $0,27 \text{ m}^2$ olup, sistemde dolaşan iş akışkanı debisi Eşitlik 3.2 kullanılarak $0,0054 \text{ kg/s}$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan deneylerden sonra sistem boşaltılarak sistem basınçlı su ile akışkan kalıntılarından temizlenmiştir.

Deneyler saf su, Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su için ayrı ayrı 3'er kez tekrar edilmiştir. Sonuçlar, üç deney sonucunun ortalaması alınarak belirlenmiştir (Ek-1, Ek-2 ve Ek-3). Deneyler sonucunda elde edilen veriler grafiklerle Şekil 5.1 ile Şekil 5.15'te verilmiştir.

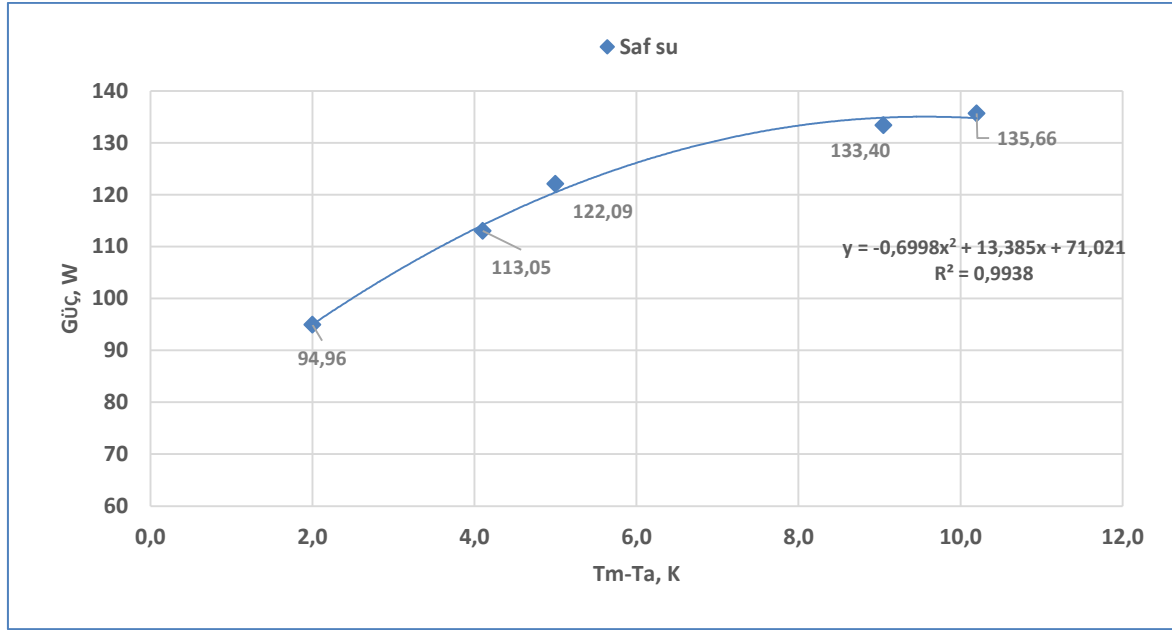
Şekil 5.1'de saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.1. Saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim

Saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim grafiğine bakıldığında indirgenmiş sıcaklık farkı belli bir artıştan sonra verim değerinin düştüğü görülmektedir. İndirgenmiş sıcaklık farkı arttıkça deneydeki verimde artış olmaktadır

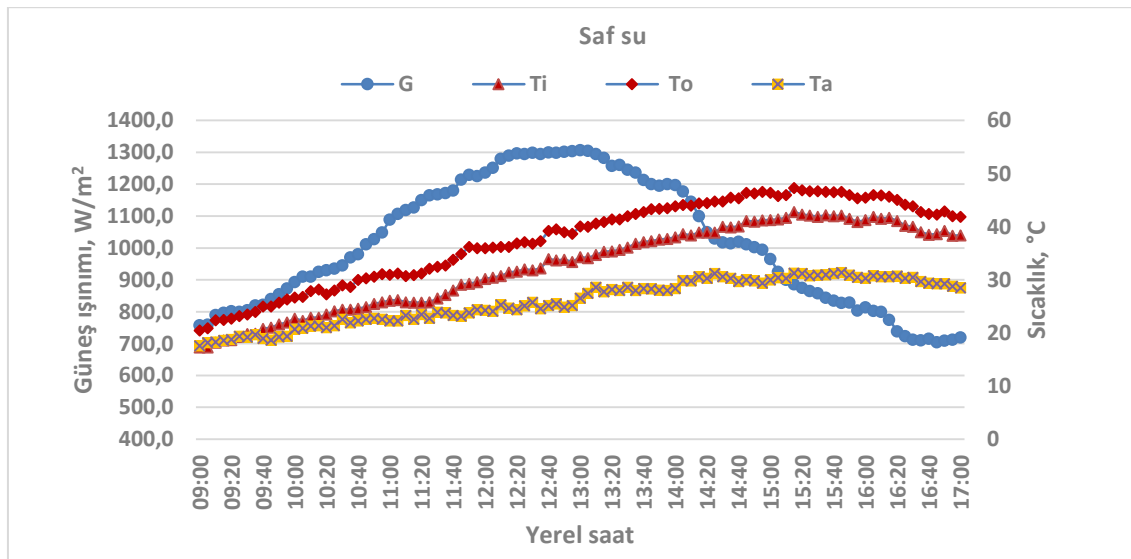
Şekil 5.2'de saf su için anlık sıcaklık farkındaki güç çıktısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5.2. Saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı

Saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı olarak adlandırılan çizilen grafikte anlık sıcaklık farkı artışına paralel olarak güç değerinde artış olduğu görülmektedir. Saf su deneyinden elde edilen en yüksek güç çıktısının 135,66 W olduğu grafikte görülmektedir. Güç değeri anlık sıcaklık farkı 10,20 K'ya kadar yükselirken 10,20 K 'dan sonra düşme eğilimindedir.

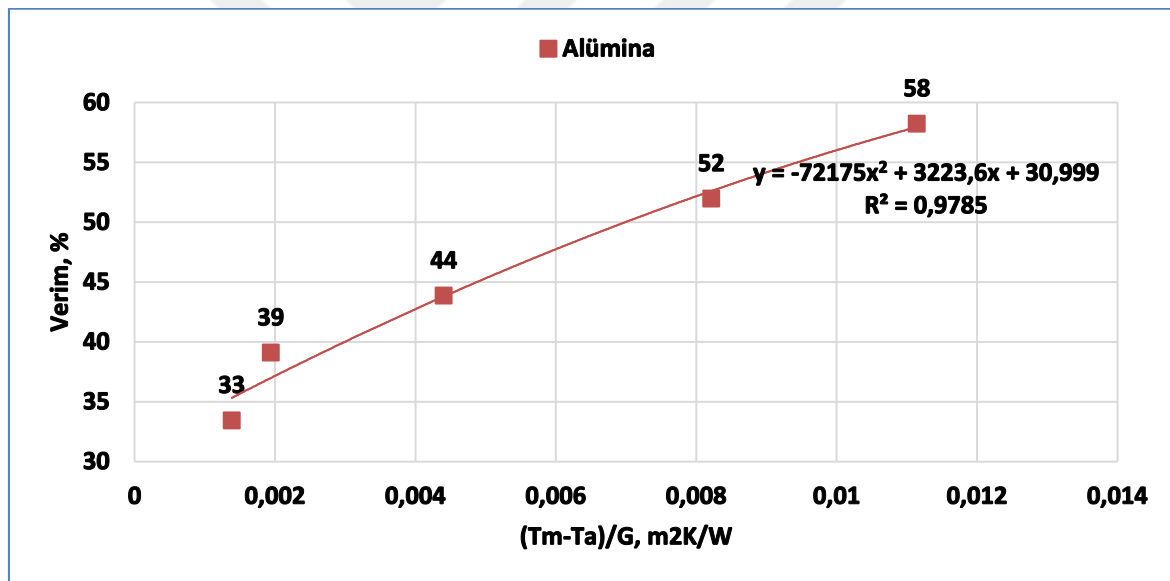
Şekil 5.3'te Saf su için güneş ışınlamı ve sıcaklık grafiği verilmiştir.



Şekil 5.3. Saf su için güneş ışınlamı ve sıcaklık grafikleri

Kollektör sıcaklığı artmasına rağmen verim devamlı azalma eğiliminde olmasını daha iyi açıklamak için Şekil 5.3’de çizilmiştir. Şekil 5.3’de yerel saat 09:00 ila 17:00 aralığındaki veriler görülmektedir. Veriler 5 dakikada bir alınmıştır. Güneş ışıınımı (G) değeri birincil eksen, kollektör giriş sıcaklığı (Ti), kollektör çıkış sıcaklığı (To) ve çevre sıcaklığı (Ta)’da ikincil eksenle birimleri ile birlikte gösterilmiştir. Saf su için deneyin yapıldığı günün dış hava ortalama sıcaklık değeri 25,98 °C olarak ölçülmüştür. Deney düzeneği açık sistem olduğu için depo giriş sıcaklığı şebekeden gelen suyun sıcaklığına ve bağlantı uzaklığına bağlı olarak değişmiştir. Kollektör giriş-çıkış sıcaklıkları saat 15:20’den sonra düşmeye başlamıştır. Bunun sebebi güneş ışıınımındaki oldukça yüksek düşüş miktarıdır.

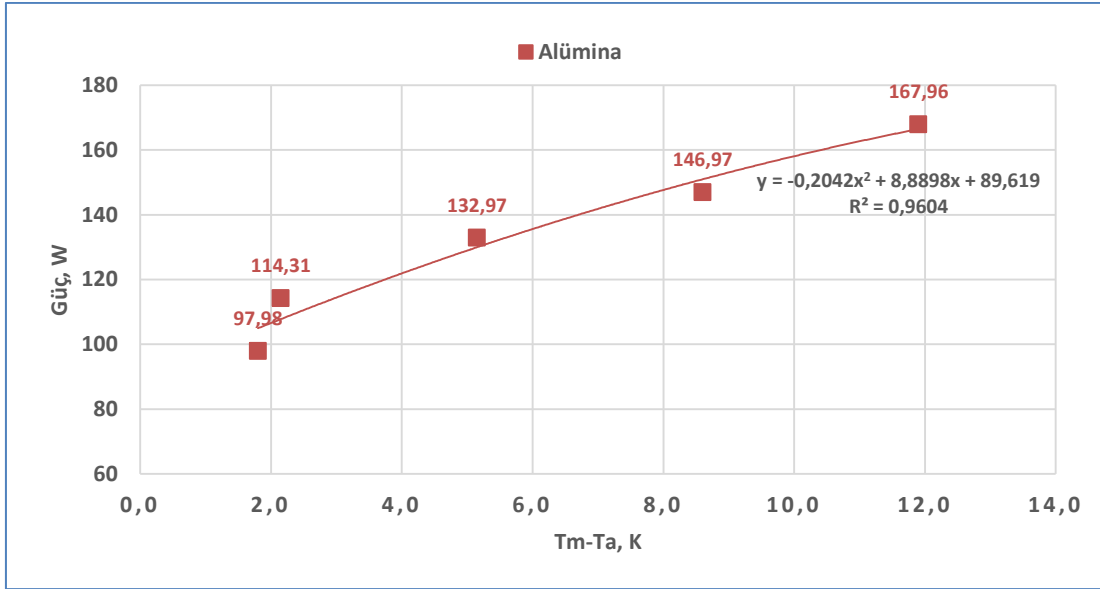
Al₂O₃-saf su deneyleri saf suyun deneyi ile benzer şekilde yapılmış olup, Şekil 5.4'te Al₂O₃-saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.4. Al_2O_3 -saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim

Al₂O₃-saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim grafiği olarak adlandırılan bu grafiğe bakıldığında indirgenmiş sıcaklık farkı belli bir artıştan sonra verim değerinin düştüğü görülmektedir. Al₂O₃-saf su deneyinden elde edilen en yüksek verim %58 olduğu görülmektedir. İndirgenmiş sıcaklık farkı 0,0111 m²K/W değerine kadar arttıkça verim değerinde artış olduğu görülmüştür.

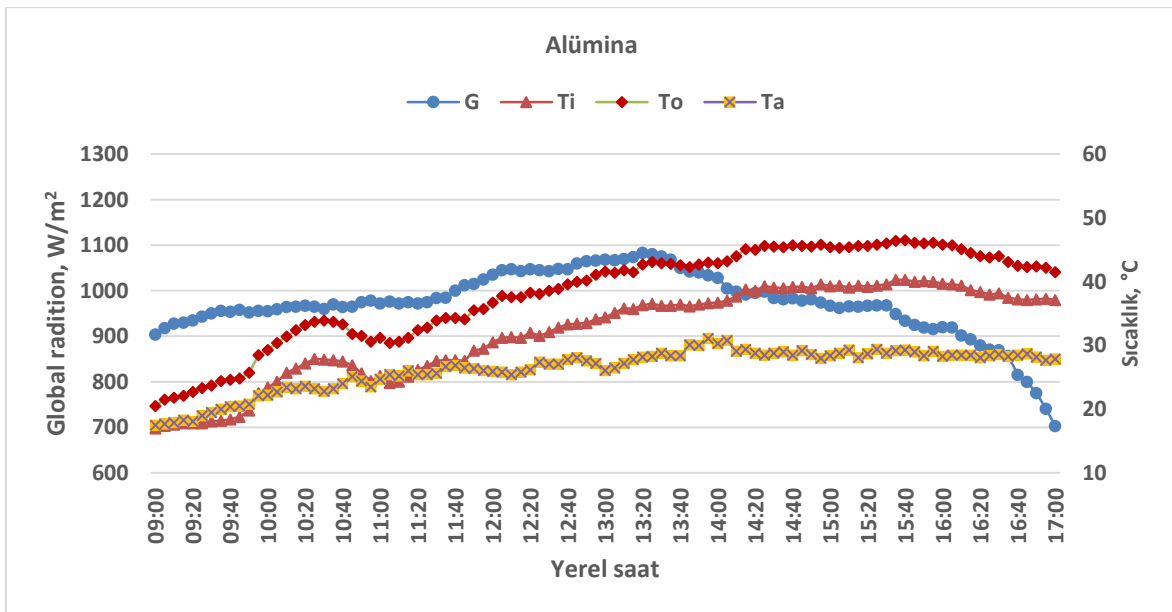
Şekil 5.5'te Al_2O_3 -saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5.5. Al₂O₃-saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı

Al₂O₃-saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı olarak adlandırılan çizilen grafiğe bakıldığında indirgenmiş sıcaklık farkı belirli bir artıştan sonra elde edilen güçte azalma olduğu görülmektedir. Al₂O₃- saf su deneyinden elde edilen en yüksek güç çıktısının 167,96 W olduğu görülmektedir. Güç değeri anlık sıcaklık farkı 11,90 K'ya kadar yükselirken, güç değerinde doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

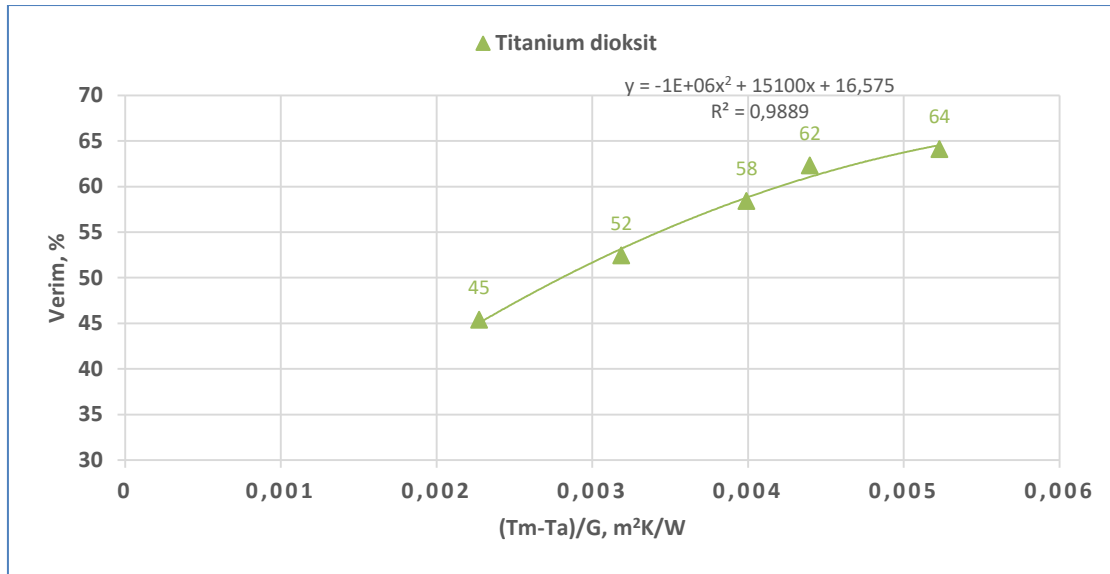
Şekil 5.6'da . Al₂O₃-su için güneş ışıınımı ve sıcaklık grafiği verilmiştir.



Şekil 5.6. Al₂O₃- saf su için güneş ışıınımı ve sıcaklık grafikleri

Şekil 5.6’da ise Al_2O_3 -saf su nanoakışkanının kullanıldığı deneyin yapıldığı günün dış ortam sıcaklığının ortalaması 26,28 °C olarak ölçülmüştür. Depo çıkış suyu sıcaklığının (T_0) saat 16:00’a kadar yükseldiği, bu saatten sonra ise azaldığı görülmektedir. Güneş ışıyım değerleri saat 12:00 ile 14:00 arası en yüksek değerlerde ölçülmüştür. Daha sonra radyasyonda düşüş başlamıştır. Bu düşüşe paralel olarak su çıkış sıcaklığında düşüş başlamıştır.

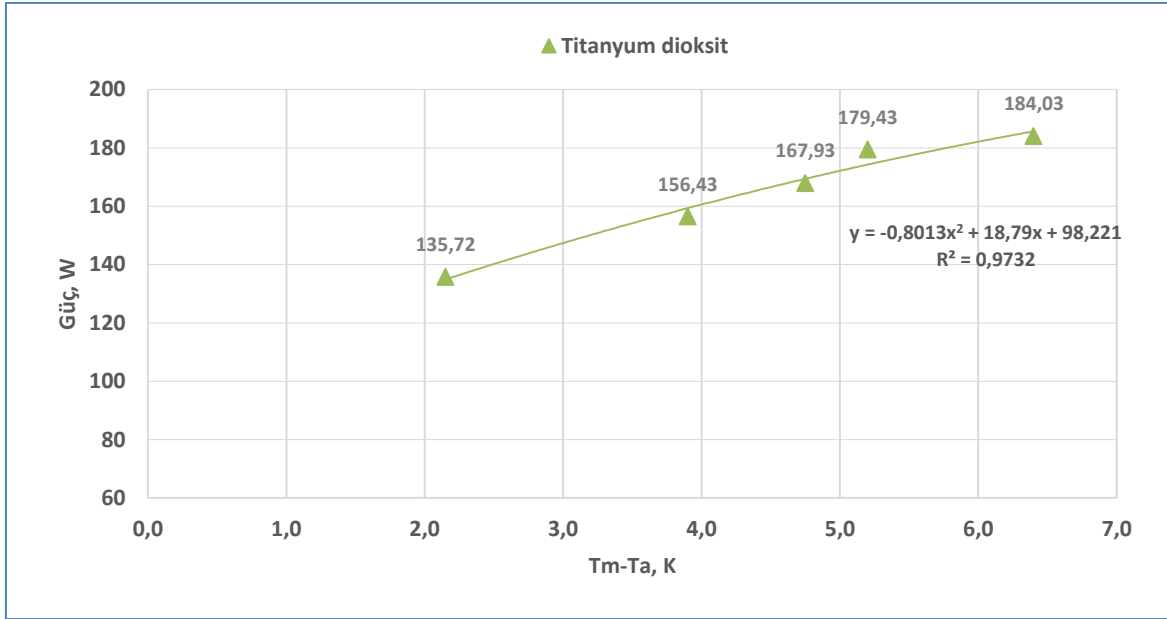
TiO_2 -saf su deneyleri saf suyun deneyi ile benzer şekilde yapılmış olup, Şekil 5.7’de TiO_2 -saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.7. TiO_2 -saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim

TiO_2 -saf su için indirgenmiş sıcaklık farkındaki anlık verim grafiği olarak adlandırılan bu grafiğe bakıldığında indirgenmiş sıcaklık farkı 0,0023 $\text{m}^2\text{K/W}$ – 0,0052 $\text{m}^2\text{K/W}$ değerleri arasında verim değerinde artış olduğu görülmüştür. TiO_2 -saf su deneyinden elde edilen en yüksek verim % 64 olduğu görülmektedir.

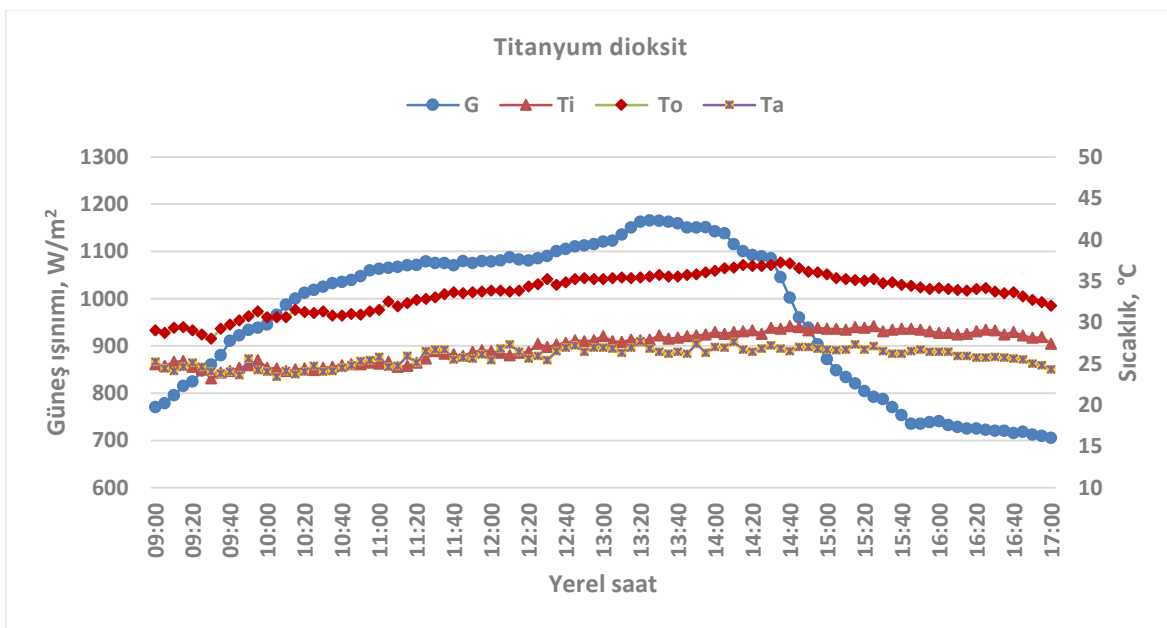
Şekil 5.8’de TiO_2 -saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5.8. TiO₂-saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı

TiO₂-saf su için indirgenmiş anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı olarak adlandırılan grafiğe bakıldığında indirgenmiş sıcaklık farkı 2,40 K değerinde minimum değerde iken, 6,40 K değerinde maksimum değere ulaşmış olduğu görülmektedir. TiO₂-saf su deneyinden elde edilen en yüksek güç çıktısının 184,03 W olduğu görülmektedir.

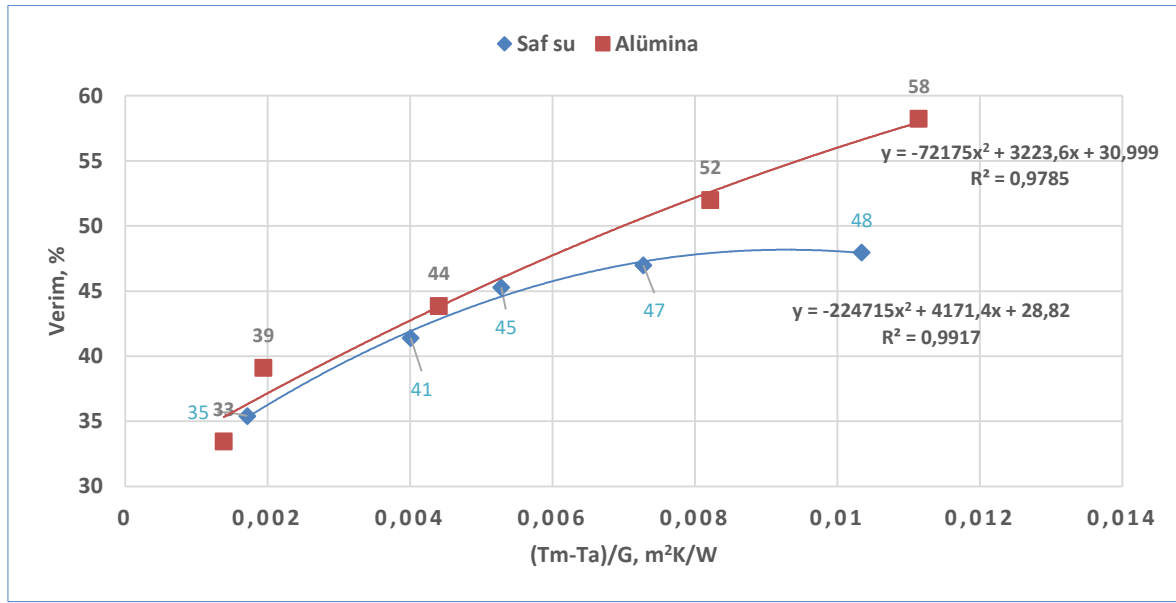
Şekil 5.9'da . TiO₂- saf su için güneş ışıınımı ve sıcaklık grafiği verilmiştir.



Şekil 5.9. TiO₂-saf su için güneş ışıınımı ve sıcaklık grafikleri

Şekil 5.9’da TiO₂-saf su nanoakışkanı kullanıldığı deneyin yapıldığı günün dış ortam sıcaklığının ortalaması 25,83 °C olarak ölçülmüştür. Depo çıkış suyu sıcaklığının (T_o) saat 14:00’a kadar yükseldiği, bu saatten sonra ise azaldığı görülmektedir. Daha sonra radyasyonda düşüş başlamıştır.

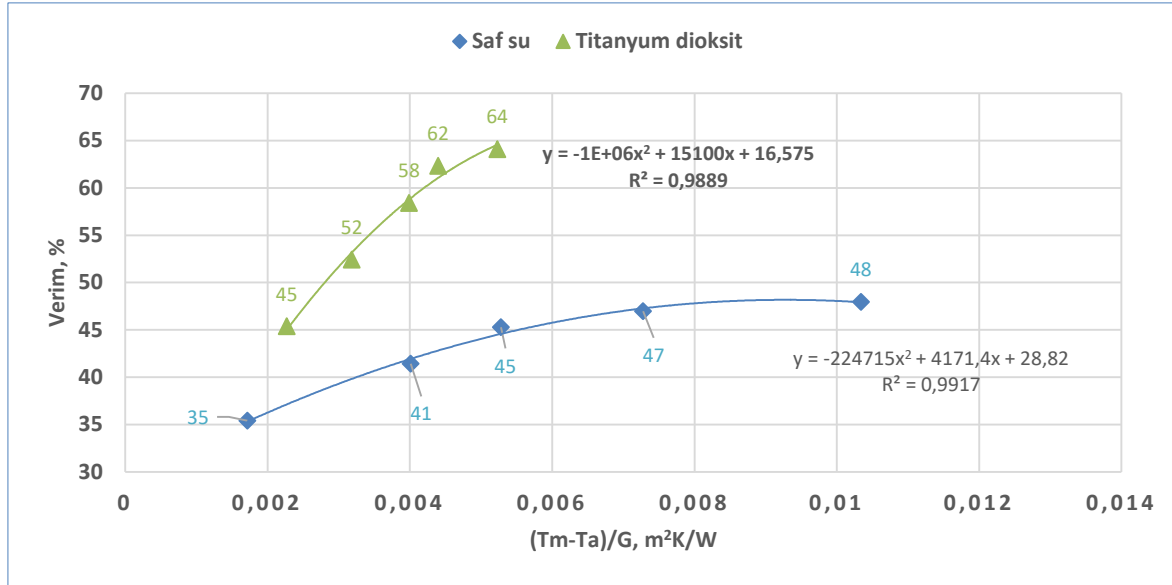
Şekil 5.10’de Al₂O₃-saf su ve saf su verim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.10. Al₂O₃-saf su & saf su için verim grafiği

Şekil 5.10’da IBGK’de yapılan deneylerde Al₂O₃-saf su ve saf su için en yüksek anlık verim sırasıyla %58 ve %48 değerleri elde edilmiştir. Değerler doğrultusunda ısıtılma performansta %20,8 oranında iyileşme olduğu belirlenmiştir.

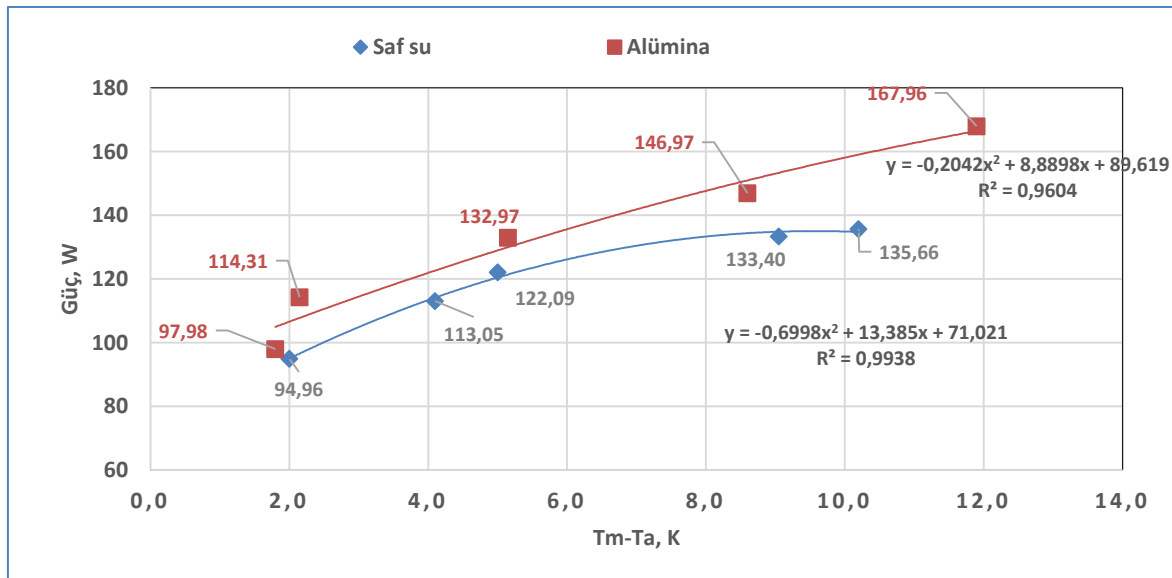
Şekil 5.11’de TiO₂-saf su ve saf su verim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.11. TiO₂-saf su & saf su için verim grafiği

Şekil 5.11’de IBGK’de yapılan deneylerde TiO₂-saf su ve saf su için en yüksek anlık verim sırasıyla %64 ve %48 değerleri elde edilmiştir. Değerler doğrultusunda ısı performansında %33,3 oranında iyileşme olduğu belirlenmiştir.

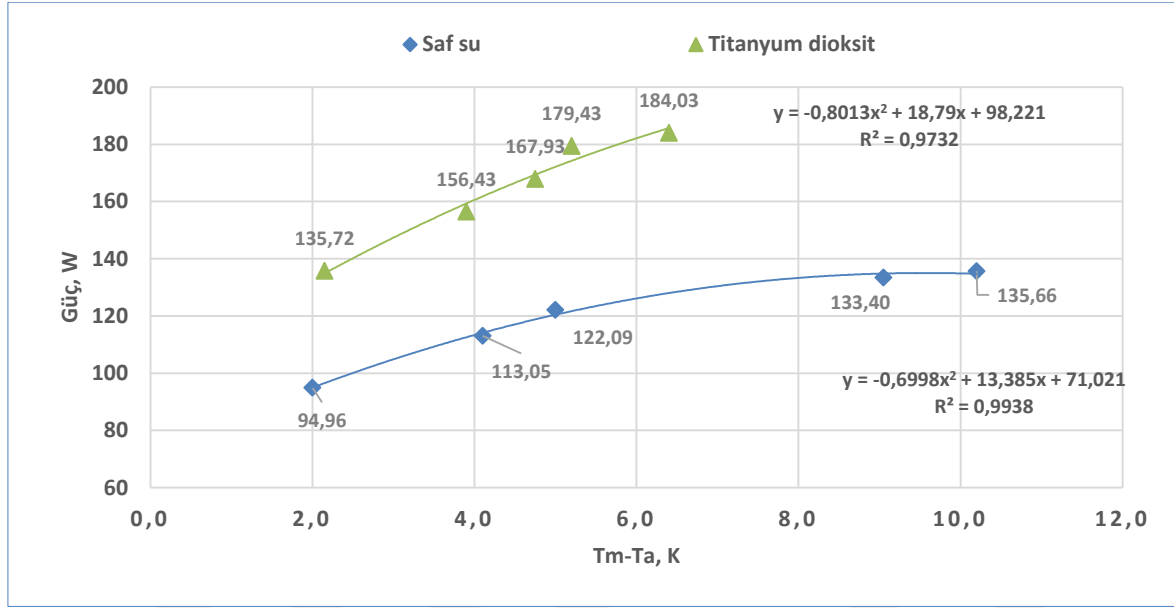
Şekil 5.12’de Al₂O₃-saf su ve saf su anlık sıcaklık başına güç çıktısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5.12. Al₂O₃-saf su & saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı

Şekil 5.12’de IBGK’de yapılan deneylerde Al_2O_3 -saf su ve saf su için en yüksek güç çıktısı sırasıyla 167,96 W ve 135,66 W değerleri elde edilmiştir. Değerler doğrultusunda güç çıktısında %23,8 oranında iyileşme olduğu belirlenmiştir.

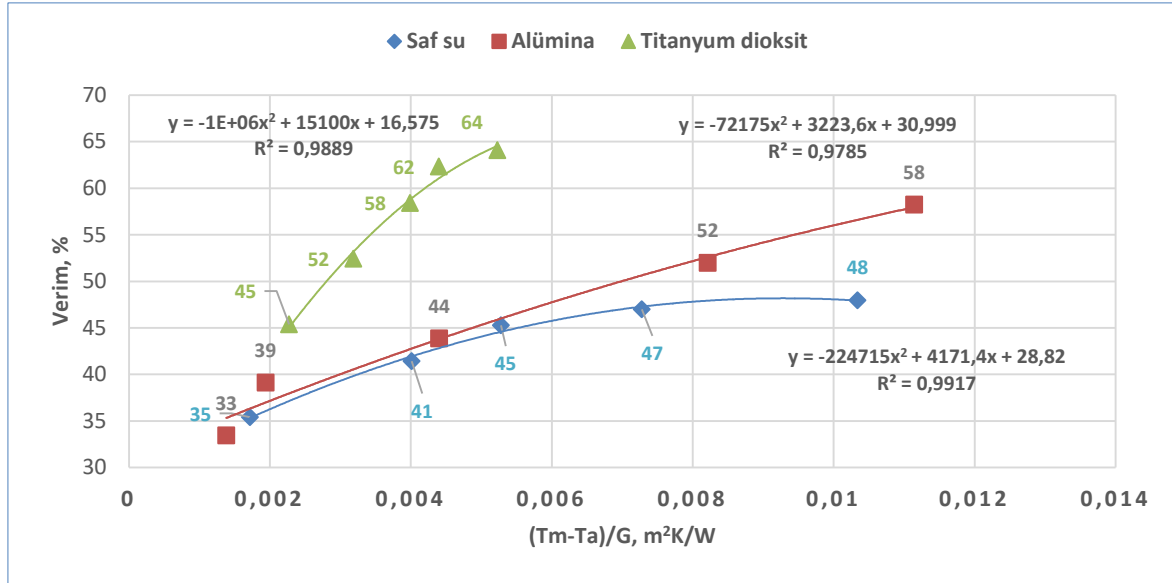
Şekil 5.13’de TiO_2 -saf su ve saf su anlık sıcaklık başına güç çıktısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5.13. TiO_2 -saf su & saf su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı

Şekil 5.13’de IBGK’de yapılan deneylerde TiO_2 -saf su ve saf su için en yüksek güç çıktısı sırasıyla 184,03 W ve 135,66 W değerleri elde edilmiştir. Değerler doğrultusunda güç çıktısında %35,6 oranında iyileşme olduğu belirlenmiştir.

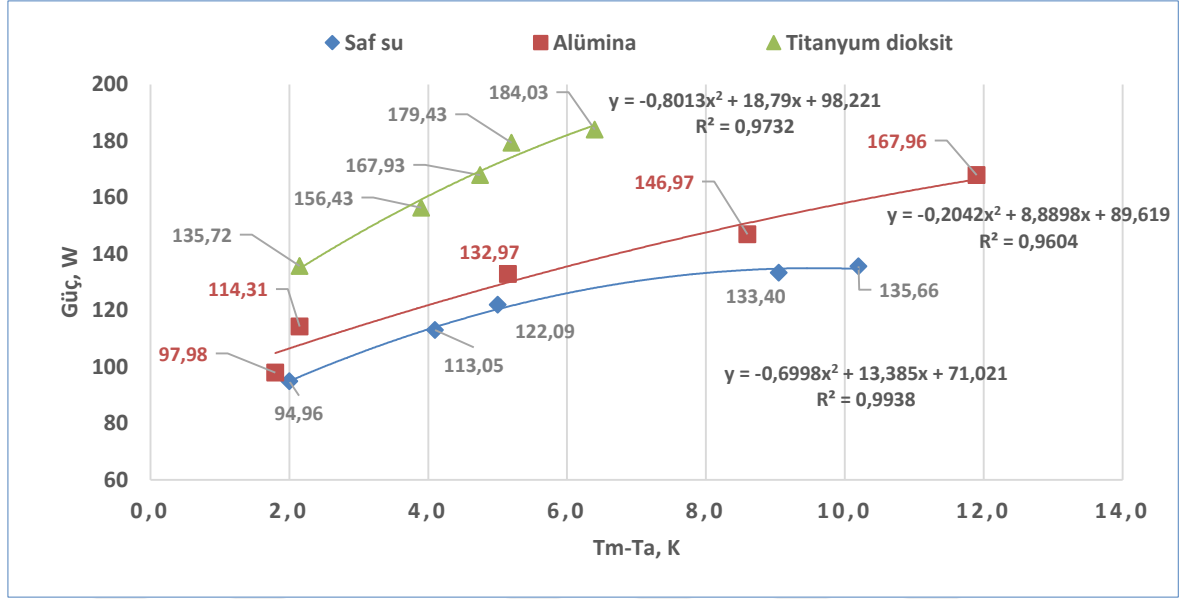
Şekil 5.14’te saf su, Al_2O_3 -su ve TiO_2 -saf su nanoakışkanları için verim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.14. Saf su, Al₂O₃-saf su ve TiO₂-saf su için verim grafiği

Şekil 5.14'te Grafiğe bakıldığında en yüksek anlık verimlerin, saf su için %48, Al₂O₃-saf su nanoakışkanı için %58 ve TiO₂-saf su nanoakışkanı için % 64 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu verilerin doğrultusunda, Al₂O₃-saf su nanoakışkan karışımının saf suya göre %20,8; TiO₂-saf su karışımının saf suya göre %33,3 Al₂O₃-saf su nanoakışkan karışımına göre %9,375 daha yüksek performans sağladığı görülmüştür. Grafikteki veriler için curve fitting yapıldığında saf su için elde edilen denklemin R² = 0,9917 doğrulukla 0,0092815 m²K/W indirgenmiş sıcaklıkta maksimum verimin %48,178; Al₂O₃- saf su nanoakışkanı için R² = 0,9785 doğrulukla 0,02233 m²K/W indirgenmiş sıcaklıkta maksimum verimin %66,99 ve TiO₂-saf su nanoakışkanı için R² = 0,9889 doğrulukla 0,00755 m² K/W indirgenmiş sıcaklıkta maksimum verim %73,5775 olarak belirlenmiştir. TiO₂-saf su nanoakışkanı daha düşük indirgenmiş sıcaklıkta maksimum verim değerine ulaşırken, Al₂O₃-su nanoakışkanının daha geniş aralıkta maksimum verim değerine ulaştığı görülmüştür.

Şekil 5.15'te saf su, Al₂O₃-saf su ve TiO₂-saf su nanoakışkanlar için güç çıktısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5.15. Saf su, Al₂O₃-su ve TiO₂-su için anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısı

Şekil 5.15'te grafiğe bakıldığında en yüksek güç çıktılarının saf su için 135,66 W, Al₂O₃-saf su nanoakışkanı için 167,96 W ve TiO₂-saf su nanoakışkanı için 184,03 W olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu verilerin doğrultusunda, Al₂O₃-saf su nanoakışkan karışımının saf suya göre %23,8; TiO₂-saf su karışımının saf suya göre %35,6; Al₂O₃-saf su nanoakışkan karışımına göre %9,567 daha yüksek performans sağladığı görülmüştür. Grafikteki veriler için curve fitting yapıldığında saf su için elde edilen denklemin $R^2 = 0,9938$ doğrulukla 9,5634 K anlık sıcaklık farkında maksimum gücün 135,024 W; Al₂O₃-saf su nanoakışkanı için $R^2 = 0,9604$ doğrulukla 21,7918 K anlık sıcaklık farkında maksimum gücün 186,590 W ve TiO₂-saf su nanoakışkanı için $R^2 = 0,9732$ doğrulukla 11,7246 K anlık sıcaklık farkında maksimum gücün 208,374 W olarak belirlenmiştir. TiO₂-saf su nanoakışkanı anlık sıcaklık farkı 11,7246 K noktasında maksimum güç değerine ulaşırken, Al₂O₃-saf su nanoakışkanı anlık sıcaklık farkı 21,7918 K değerinde maksimum güç değerine ulaştığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su nanoakışkanlarının ısı borulu düzlem yüzeyli güneş kolektörünün performansına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler açık (bulutsuz) atmosfer ve Işınım değerinin 700 W/m^2 'den fazla olduğu günlerde yapılmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Isıl performansların karşılaştırılmasında saf suya göre maksimum performansın %33,3 ile TiO_2 -saf su nanoakışkanında, daha sonra %20,8 ile Al_2O_3 -saf su nanoakışkanında edilmiştir. TiO_2 -saf su nanoakışkanı, Al_2O_3 -saf su nanoakışkan karışımına karşı %9,375 oranında iyileşme göstermiştir.
2. Anlık sıcaklık farkı başına güç çıktı verileri incelendiğinde ısı performans değerleriyle doğru orantılı olarak sonuçların değiştiği görülmektedir. Anlık sıcaklık başına güç çıktılarındaki değişim, TiO_2 -saf su nanoakışkan karışımının saf suya göre %35,6 olurken, Al_2O_3 -saf su nanoakışkan karışımının saf suya göre %23,8 olduğu görülmüştür. TiO_2 -saf su nanoakışkan karışımının Al_2O_3 -saf su nanoakışkan karışımına karşı ise %9,567 oranında iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında nanoakışkan karışımının kolektör verimine olumlu etki yaptığı görülmüştür. Çalışmamızın olumlu bir şekilde literatüre katkı sağladığı görüşündeyiz.
3. Yapılan her deneyden sonra nanoakışkan karışımlarının deneylerden sonra kararlılıklarını kontrol etmek için ısı boruları içindeki nanoakışkanlar bir kapta toplanmıştır. Yapılan kontrollerde nanoakışkan karışımlarında çökme olmadığı ve nanoakışkanların kararlılığını koruduğu görülmüştür.

6.2. Öneriler

Isı borulu güneş kolektörlerinde verimin daha fazla artırılması amacıyla farklı yapıda ısı boruları oluşturulabilir. Kullanılacak malzemenin bakır dışında ısıyı daha iyi iletebilecek bir malzeme seçilmesi verimi artırabilir. Güneş kolektörünün yapısında değişiklik

yapılarak kanatçık eklenmesi ısı kapasitesinin artmasında önemli parametreler olup, ilerki çalışmalarda farklı malzemelerin ve farklı tasarımların performansa etkisi araştırılabilir.

Ayrıca farklı nanoakışkan konsantrasyonları ve farklı nanoakışkanlar ile sistem performansının değişimi incelenebilir. Nanoakışkan kullanılan sistemlerdeki en önemli problemlerden birisi olan topaklaşmayı önlemek için farklı yüzey aktifleştirici malzemeler ile deneyler yapılabilir.



KAYNAKLAR

1. Salam, M. A., Khan, S. A. (2018). Transition towards sustainable energy production – A review of the progress for solar energy in Saudi Arabia. *Energy Exploration & Exploitation*, 36(1), 3-27.
2. Kılıç, R., Aslan, V. (2017). Yenilenebilen ve Yenilenemeyen Enerjinin İktisadi Büyüme Üzerindeki Etkisi: 28 OECD Ülkesi Üzerine Ampirik Bir Çalışma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1), 1-12.
3. Koç, E., Şenel, M.C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu–Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54(639), 32-44.
4. Cebeci, S. (2017). Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi. *T.C. Kalkınma Bakanlığı İktisadi Sektörler Koordinasyon Genel Müdürlüğü*, Yayın, 2977, 202.
5. Hosenuzzaman, M., Rahim, N. A., Selvaraj, M., Hasanuzzaman, M., Malek, A. B. M. A., Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284-297.
6. Hansen, K., Mathiesen, B. V. (2018). Comprehensive assessment of the role and potential for solar thermal in future energy systems. *Solar Energy*, 169, 144-152.
7. Tian, Y., Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, 104, 538–553.
8. Muhammad, M. J., Muhammad, I. A., Sidik, N. A. C., Muhammad, Yazid M. N. A. W., Mamat, R., Najafi, G. (2016). The use of nanofluids for enhancing the thermal performance of stationary solar collectors: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 226-236.
9. İnternet: Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli. .URL: <https://ekolojist.net/turkiyede-gunes-enerjisi-potansiyeli>. Son Erişim Tarihi: 01.09.2020.
10. İnternet: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli, Enerji Atlası. URL: <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/Turkiye>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2020.
11. Rassamakin, B., Khairnasov, S., Zaripov, V., Rassamakin, A., Alforova, O. (2013). Aluminum heat pipes applied in solar collectors. *Solar Energy*, 94, 145-154.
12. Akram, N., Sadri, R., Kazi, S. N., Ahmed, S. M., Zubir, M. N. M., Ridha, M., Soudagar, M., Ahmed, W., Arzpeyma, M., Tong, G. B. (2019). An experimental investigation on the performance of a flat-plate solar collector using eco-friendly treated graphene nanoplatelets–water nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 609-621.

13. Ong, K. S., Tong, W.L. (2012), System performance of U tube and heat pipe solar water heaters. *Journal of Applied Science and Engineering*, 15(2), 105-110.
14. Brunold, S., Vogelsanger, P., Marty, H. (2007). Beurteilung der Möglichkeiten von thermochromen Schichten als potenzielle Überhitzungsschutzmaßnahmen für solarthermische Kollektoren. *Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil*.
15. Speyer, E. (1965). Solar Energy Collection With Evacuated Tubes. *J. Eng. Power*. 87(3), 270-276.
16. Mahendran, M., Lee, G. C, Sharma, K.V, Shahrani, A. (2011). Performance Evaluation of Evacuated Tube Solar Collector Using Water-Based Titanium Oxide (TiO₂) Nanofluid. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 3, 301-310.
17. Bejan, A., Kraus, A. D. (2003). *Heat Transfer Handbook*. John Wiley&Sons, Inc. 1496.
18. Paul, G., Pal, T. and Manna, I. 2010. Thermo-physical property measurement of nano-gold dispersed water based nanofluids prepared by chemical precipitation technique. *Journal of Colloid and Interface Science*, 349(1), 434–437.
19. Yu, W., France, D., Choi, S. and Routbort, J. 2007. Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications. *Renewable Energy*, 12(3), 4-15.
20. Yang, X., Liu, Z. (2011). Pool boiling heat transfer of functionalized nanofluid under sub-atmospheric pressures. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(12), 2402-2412.
21. Kotb, A., Elsheniti, M. B., Elsamni, O. A. (2019). Optimum number and arrangement of evacuated-tube solar collectors under various operating conditions. *Energy Conversion and Management*, 199 (112032).
22. Azad, E. (2008). Theoretical and experimental investigation of heat pipe solar collector. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32(8), 1666-1672.
23. Allouhi, A., Benzakour Amine, M. (2019). Effect analysis on energetic, exergetic and financial performance of a flat plate collector with heat pipes. *Energy Conversion and Management*, 195, 274–289.
24. Çağlar, A., Yamalı, C. (2012). Performance analysis of a solar-assisted heat pump with an evacuated tubular collector for domestic heating. *Energy and Buildings*, 54, 22-28.
25. Bienert, W. B., Wolf, D. A. (1976). Final Report for Heat Pipes Applied to Flat-plate Solar Collectors. *Energy Research and Development Administration, Division of Solar Energy*, 56.

26. İdrus F. A., Mohamad N., Zailani R. Wisnoe W. (2013). Experimental Model to Optimize the Design of Cylindrical Heat Pipes for Solar Collector Application. *Applied Mechanics and Materials*, 393, 735-740.
27. Deng, J., Yang, X., Wang, P. (2015). Study on the second-order transfer function models for dynamic tests of flat-plate solar collectors Part I: A proposed new model and a fitting methodology. *Solar Energy*, 114, 418-426.
28. Fischer, D. (2012). Challenges of low carbon technology diffusion: insights from shifts in China's photovoltaic industry development. *Innovation and Development*, 2(1), 131-146.
29. Elsheniti, M. B., Kotb, A., Elsamni, O. (2019). Thermal performance of a heat-pipe evacuated-tube solar collector at high inlet temperatures. *Applied Thermal Engineering*, 154, 315-325.
30. Dubey, S., Tiwari, G. N. (2008). Thermal modeling of a combined system of photovoltaic thermal (PV/T) solar water heater. *Solar Energy*, 82(7), 602-617.
31. Park S. D., Won Lee S., Kang S., Bang I. C., Kim J. H., Shin H.S., Lee D.W., Won Lee D. (2010). Effects of nanofluids containing graphene/graphene-oxide nanosheets on critical heat flux. *Appl. Phys. Lett.* 97, 023103.
32. Patil, S. C., Sahu, S., Pise, A. T. (2013). Thermal Performance of Two PhaseThermosyphon Flat-Plate Solar Collectors Using Nanofluid. *Journal of Solar Energy Engineering*, 136(1), 014503.
33. Iranmanesh, S., Ong, H. C., Ang, B. C., Sadeghinezhad, E., Esmaelzadeh ,A., Mehrali, M. (2017). Thermal performance enhancement of an evacuated tube solar collector using graphene nanoplatelets nanofluid. *Journal of Clean Production*, 162, 121-129.
34. Mahbubul I. M., Mohammed Mumtaz A. K., Ibrahim N. I., Muhammad Ali H., Al-Sulaiman F. A., Saidur R. (2018). Carbon nanotube nanofluid in enhancing the efficiency of evacuated tube solar collector. *Renewable Energy*, 121, 36-44.
35. Mahendran, M., Lee, G. C., Sharma, K. V., Shahrani, A., Bakar, R. A. (2012). Performance of Evacuated Tube Solar Collector Using Water-Based Titanium Oxide Nanofluid. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 3, 301-310.
36. Kameswaran, P. K., Sibanda, P., RamReddy, C., Murthy, P. V. (2013). Dual solutions of stagnation-point flow of a nanofluid over a stretching surface. *Boundary Value Problems*, 2013, 188.
37. Park S. S., Kim N. J. (2014). A study on the characteristics of carbon nanofluid for heat transfer enhancement of heat pipe. *Renewable Energy*, 65, 123-129.
38. Pise, G. A., Salve, S. S., Pise, A. T., Pise, A. A. (2016). Investigation of Solar Heat Pipe Collector Using Nanofluid and Surfactant. *Energy Procedia*, 90, 481-491.

39. Monny S. A., Rahman S., Hassani S., Said Z. (2015). Energy performance of an evacuated tube solar collector using single walled carbon nanotubes nanofluids. *Energy Conversion and Management*, 105, 1377-1388.
40. Said Z., Monny S. A., Rahman S., Hepbasli A. (2015). Performance enhancement of a Flat Plate Solar collector using Titanium dioxide nanofluid and Polyethylene Glycol dispersant. *Journal of Cleaner Production*, 92, 343-353.
41. Saravanan M., Karunakaran N. (2014). Experimental analysis of heat pipe with V-trough solar collector. *International Journal of Research in Advent Technology, E-ISSN: 2321-9637, Special Issue National Conference*, 13-17.
42. Sharafeldin M. A., Grof G. (2018). Evacuated tube solar collector performance using CeO₂/water nanofluid. *Journal of Cleaner Production*, 185, 347-356.
43. Zhao Q., Xu H., Tao L. (2018). Nanofluid flow and heat transfer in a microchannel with interfacial electro kinetic effects. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 158-167.
44. Choi, S.U.S. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. In: Siginer, D.A. and Wang, H.P. eds. *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, ASME, New York, FED, 231/MD (66), 99-105.
45. Saidur R., Leong K. Y., Mohammad H. A. (2011) A review on applications and challenges of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 15(3), 1646-1668.
46. Devendiran D. K., Amirtham V. A. (2016). A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 21-40.
47. Ghadimi A., Saidur R., Metselaar H. S. C. (2011). A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54, 4051-4068.
48. Hormozi F., Allahyar H., ZareNezhad B. (2016). Experimental investigation on the thermal performance of a coiled heat exchanger using a new hybrid nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 76, 324-329.
49. Goudarzi K., Shojaeizadeh E., Nejati F. (2014). An experimental investigation on the simultaneous effect of CuO-H₂O nanofluid and receiver helical pipe on the thermal efficiency of a cylindrical solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 1236-1243.
50. Khairul M. A., Shah K., Doroodchi E., Azizian R., Moghtaderi B. (2016). Effects of surfactant on stability and thermo-physical properties of metal oxide nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 98, 778-787.
51. Wang X. J., Li X. F., Xu Y. H., Zhu D. S. (2014). Thermal energy storage characteristics of Cu-H₂O nanofluids. *Energy*, 78, 212-217.

52. Madni I., Hwang C., Park S., Choa Y., Kim H. (2010). Mixed surfactant system for stable suspension of multiwalled carbon nanotubes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 358(1-3), 101-107.
53. Das P. K., Mallik A. K., Ganguly R., Santra A. K. (2016). Synthesis and characterization of TiO₂-water nanofluids with different surfactants. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 75, 341-348.
54. Ponmani S., Nagarajan R., Sangwai J. S. (2016). Effect of nanofluids of CuO and ZnO in polyethylene glycol and polyvinylpyrrolidone on the thermal, electrical and filtration loss properties of water based drilling fluid. *SPE Journal*, 21, 405-415.
55. Su U. Ö. (2019). *Isı Borulu Güneş Kollektörlerinde Nano Çözelti İle Performansın İyileştirilmesi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 96.
56. Ojeda J. A., Messina A. (2017). Enhancing energy harvest in a constructal solar collector by using alumina-water as nanofluid. *Solar Energy*, 147, 381-389.
57. Khosravi A., Malekan M., Assad M. E. H. (2019). Numerical analysis of magnetic field effects on the heat transfer enhancement in ferrofluids for a parabolic trough solar collector. *Renewable Energy*, 134, 54-63.
58. Ahmadiouydarab M., Ebadolahzadeh M., Muhammad Ali H. (2020). Effects of utilizing nanofluid as working fluid in a lab-scale designed FPSC to improve thermal absorption and efficiency. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 540, 123109.
59. Saffarian M. R., Moravej M., Doranehgard M. H. (2020). Heat transfer enhancement in a flat plate solar collector with different flow path shapes using nanofluid. *Renewable Energy*, 146, 2316-2329.
60. Fathabadi H. (2020). Novel solar collector: Evaluating the impact of nanoparticles added to the collector's working fluid, heat transfer fluid temperature and flow rate. *Renewable Energy*, 148, 1165-1173.
61. Jamal-Abad M. T., Zamzamian S. A., İmani E., Mansouri M. (2013). Experimental Study of the Performance of a Flat-Plate Collector Using Cu-Water Nanofluid. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 27(4), 756-760.
62. Kiliç F., Menlik T., Sözen A. (2018). Effect of titanium dioxide/water nanofluid use on thermal performance of the flat plate solar collector. *Solar Energy*, 164, 101-108.
63. Zayed M. E., Zhao J., Du Y., Kabeel A. E., Shalaby S. M. (2019). Factors affecting the thermal performance of the flat plate solar collector using nanofluids: A review. 182, 382-396.
64. Mercan M., Yurddaş A. (2019). Numerical analysis of evacuated tube solar collectors using nanofluids. *Solar Energy*, 191, 167-179.

65. Gupta H. K., Agrawal G. D., Mathur J. (2015). Investigations for effect of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanofluid flow rate on the efficiency of direct absorption solar collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 5, 70-78.
66. Noghrehabadi A., Hajidavalloo E., Moravej M. (2016). Experimental investigation of efficiency of square flat-plate solar collector using $\text{SiO}_2/\text{water}$ nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 8, 378-386.
67. Joseph A., Sreekumar S., Kumar C. S. S., Thomas S. (2019). Optimisation of thermo-optical properties of $\text{SiO}_2/\text{Ag-CuO}$ nanofluid for direct absorption solar collectors. *Journal of Molecular Liquids*, 296, 111986.
68. Ghaderian J., Sidik N. A. C. (2017). An experimental investigation on the effect of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{distilled water}$ nanofluid on the energy efficiency of evacuated tube solar collector. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 972-987.
69. Kim H., Ham J., Park C., Cho H. (2016). Theoretical investigation of the efficiency of a U-tube solar collector using various nanofluids. *Energy*, 94, 497-507.
70. Gan Y. Y., Ong H. C., Ling T. C., Zulkifli N. W. M., Wang C., Yang Y. (2018). Thermal conductivity optimization and entropy generation analysis of titanium dioxide nanofluid in evacuated tube solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 145, 155-164.
71. Verma S. K., Tiwari A. K., Chauhan D. S. (2016). Performance augmentation in flat plate solar collector using MgO/water nanofluid. *Energy Conversion and Management*, 124, 607-617.
72. Verma S. K., Tiwari A. K., Chauhan D. S. (2017). Experimental evaluation of flat plate solar collector using nanofluids. *Energy Conversion and Management*, 134, 103-115.
73. Yurddaş A. (2013). *Nanoakışkanlı Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Isı Transferinin Sayısal Analizi*, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 138.
74. Işık M. K. (2019). *Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde TiO_2 -su Nanoakışkanı Kullanılarak Isıl Verimin Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 79.
75. Budak N. (2016). *Güneş Kollektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Isıl Verime Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 142.
76. Colangelo G., Favale E., Miglietta P., Risi A., Milanese M., Laforgia D. (2015). Experimental test of an innovative high concentration nanofluid solar collector. *Applied Energy*, 154, 874-881.
77. Said Z., Sajid M. H., Alim M. A., Saidur R., Rahim N. A. (2013). Experimental investigation of the thermophysical properties of Al_2O_3 -nanofluid and its effect on a

- flat plate solar collector. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 48, 99-107.
78. Moghadam A. J., Farzane-Gord M., Sajadi M., Hoseyn-Zadeh M. (2014). Effects of CuO/water nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 58, 9-14.
 79. Yousefi T., Veysi F., Shojaeizadeh E., Zinadini S. (2012). An experimental investigation on the effect of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Renewable Energy*, 39(1), 293-298.
 80. Farajzadeh E., Movahed S., Hosseini R. (2018). Experimental and numerical investigations on the effect of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ nanofluids on thermal efficiency of the flat plate solar collector. *Renewable Energy*, 118, 122-130.
 81. Tong Y., Lee H., Kang W., Cho H. (2019). Energy and exergy comparison of a flat-plate solar collector using water, Al_2O_3 nanofluid, and CuO nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 159, 113959.
 82. He Q., Zeng S., Wang S. (2015). Experimental investigation on the efficiency of flat-plate solar collectors with nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 88, 165-171.
 83. Mirzaei M. (2018). Experimental investigation of CuO nanofluid in the thermal characteristics of a flat plate solar collector. *Environmental Progress&Sustainable Energy*, <https://doi.org/10.1002/ep.12902>.
 84. Fertahi S., Bouhal T., Kousksou T., Jamil A., Benbassou A. (2018). Experimental study and CFD thermal assessment of horizontal hot water storage tank integrating Evacuated Tube Collectors with heat pipes. *Solar Energy*, 170, 234-251.
 85. Chopra K., Tyagi V. V., Pathak A. K., Pandey A. K., Sari A. (2019). Experimental performance evaluation of a novel designed phase change material integrated manifold heat pipe evacuated tube solar collector system. *Energy Conversion and Management*, 198, 111896.
 86. Chopra K., Pathak A. K., Tyagi V. V., Pandey A. K., Anand S., Sari A. (2020). Thermal performance of phase change material integrated heat pipe evacuated tube solar collector system: An experimental assessment. *Energy Conversion and Management*, 203, 112205.
 87. Corumlu V., Ozsoy A., Ozturk M. (2018). Thermodynamic studies of a novel heat pipe evacuated tube solar collectors based integrated process for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(2), 1060-1070.
 88. Allouhi A., Benzakour Amine M., Buker M. S., Kousksou T., Jamil A. (2019). Forced-circulation solar water heating system using heat pipe-flat plate collectors: *Energy and exergy analysis*. *Energy*, 180, 429-443.

89. Zhang S., Chen J., Sun Y., Li J., Zeng J., Yuan W., Tang Y. (2019). Experimental study on the thermal performance of a novel ultra-thin aluminum flat heat pipe. *Renewable Energy*, 135, 1133-1143.
90. Huang X., Wang Q., Yang H., Zhong S., Jiao D., Zhang K., Li M., Pei G. (2019). Theoretical and experimental studies of impacts of heat shields on heat pipe evacuated tube solar collector. *Renewable Energy*, 138, 999-1009.
91. Maraj A., Londo A., Gebremedhin A., Fırat C. (2019). Energy performance analysis of a forced circulation solar water heating system equipped with a heat pipe evacuated tube collector under the Mediterranean climate conditions. *Renewable Energy*, 140, 874-883.
92. Chen G., Tang Y., Duan L., Tang H., Zhong G., Wan Z., Zhang S., Fu T. (2020). Thermal performance enhancement of micro-grooved aluminum flat plate heat pipes applied in solar collectors. *Renewable Energy*, 146, 2234-2242.
93. Shafieian A., Khiadani M., Nosrati A. (2019). Thermal performance of an evacuated tube heat pipe solar water heating system in cold season. *Applied Thermal Engineering*, 149, 644-657.
94. Zhang T., Yan Z. W., Xiao L., Fu H. D., Pei G., Ji J. (2019). Experimental, study and design sensitivity analysis of a heat pipe photovoltaic/thermal system. *Applied Thermal Engineering*, 162, 114318.
95. Abd-Elhady M. S., Nasreldin M., Elsheikh M. N. (2018). Improving the performance of evacuated tube heat pipe collectors using oil and foamed metals. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 2683-2689.
96. Wenbo F., Saffa R., Yupeng W. (2017). Experimental investigation of evacuated heat pipe solar collector efficiency using phase-change fluid. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12(4), 392–399.
97. Gao Y., Gao C., Xian H., Du X. (2018). Thermal Properties of Solar Collector Comprising Oscillating Heat Pipe in a Flat-Plate Structure and Water Heating System in Low-Temperature Conditions. *Energies*, 11(10), 2553.
98. Karaca D. (2019). *Isı Borularının Performansını Etkileyen Parametrelerin Optimizasyonu*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 100.
99. Köse T. (2014). *Isı Borulu Hava ve Su Isıtma Amaçlı Güneş Kollektörlerinin Tasarımı İmalatı ve DeneySEL İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 64.
100. Sakallı U. (2005). *Antifrizli Sulu Vakumlu Isı Borulu Güneş Kollektörü İle Klasik Direkt Dolaşımli Güneş Kollektörlerinin Verimlerinin Karşılaştırılması*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 79.

101. Acar B., Öz E. S., Gedik E. (2008). Ayrık ve Birleşik Isı Borulu Kollektör Verimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2), 425-429.
102. Ayompe L. M., Duffy A., Kever M., Conlon M., McCormack S. J. (2011). Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. *Energy*, 36(5), 3370-3378.
103. Wei L., Yuan D., Tang D., Wu B. (2013). A study on a flat-plate type of solar heat collector with an integrated heat pipe. *Solar Energy*, 97, 19-25.
104. Nahgavi M. S., Ong K. S., Badruddin I. A., Mehrali M., Metselaar H. S. C. (2017). Thermal performance of a compact design heat pipe solar collector with latent heat storage in charging/discharging modes. *Energy*, 127, 101-115.
105. Mosleh H. J., Mamouri S. J., Shafii M. B., Sima A. H. (2015). A new desalination system using a combination of heat pipe, evacuated tube and parabolic trough collector. *Energy Conversion and Management*, 99, 141-150.
106. Eidan A. A., AlSahlani A., Ahmed A. Q., Al-fahham M., Jalil J. M. (2018). Improving the performance of heat pipe-evacuated tube solar collector experimentally by using Al₂O₃ and CuO/acetone nanofluids. *Solar Energy*, 173, 780-788.
107. Jin H., Lin G., Zeiny A., Bai L., Cai J., Wen D. (2019). Experimental study of transparent oscillating heat pipes filled with solar absorptive nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 139, 789-801.
108. Kaya M., Gürel A. E., Ağbulut Ü., Ceylan İ., Çelik S., Ergün A., Acar B. (2019). Performance analysis of using CuO-Methanol nanofluid in a hybrid system with concentrated air collector and vacuum tube heat pipe. *Energy Conversion and Management*, 199, 111936.
109. Dehaj M. S., Mohiabadi M. Z. (2019). Experimental study of water-based CuO nanofluid flow in heat pipe solar collector. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137, 2061-2072.
110. Dehaj M. S., Mohiabadi M. Z. (2019). Experimental investigation of heat pipe solar collector using MgO nanofluids. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 191, 91-99.
111. Ozsoy A., Corumlu V. (2018). Thermal performance of a thermosyphon heat pipe evacuated tube solar collector using silver-water nanofluid for commercial applications. *Renewable Energy*, 122, 26-34.
112. Sarafraz M. M., Safaei M. R. (2019). Diurnal thermal evaluation of an evacuated tube solar collector (ETSC) charged with graphene nanoplatelets-methanol nano-suspension. *Renewable Energy*, 142, 364-372.

113. Kalkan G. (2019). *Gizli Isı Depolamalı Nano Akışkanlı Güneş Enerjili Su Isıtıcısının Performansı*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 50.
114. Çaylıoğlu E. (2011). *Farklı Özellikteki Isı Borularının Güneş Kollektöründe Kullanımı ve Isıl Verimlerinin Araştırılması*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 93.
115. Ersöz M. A., Yıldız A. (2013). Isı Borulu Vakum Tüp Güneş Kollektörlerinde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 133, 13.
116. Çiftçi E., Sözen A., Karaman E. (2016). TiO₂ İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 367-376.
117. Menlik T., Sözen A., Gürü M., Öztaş S. (2015). Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe. *Journal of the Energy Institute*, 88(3), 247-257.
118. Sözen A., Menlik T., Gürü M., Boran K., Kılıç F., Aktaş M., Çakır M. T. (2016). A comparative investigation on the effect of fly-ash and alumina nanofluids on the thermal performance of two-phase closed thermo-syphon heat pipes. *Applied Thermal Engineering*, 96, 330-337.
119. İnternet: Nanografi. URL: <https://nanografi.com/>, Son Erişim Tarihi: 01.12. 2019.
120. TS EN ISO 9806. (2014). Güneş enerjisi - Güneş kolektörleri - Deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü.
121. İnternet: Eğitim ve Teknoloji, URL: <http://elektrikelektronikegitimi.blogspot.com/2018/05/termokupl-nedir-calsma-prensibi-kullanm.html/>, Son Erişim Tarihi: 16/12/2019.
122. Sowmy, D. S. & Schiavon A., Paulo José & Prado, Racine T.A. (2017). Uncertainties associated with solar collector efficiency test using an artificial solar simulator. *Renewable Energy*, 108(C), 644-651.
123. Kline S. J., McClintock F. A. (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments, *Mechanical Engineering*, 75(1), 3-8.
124. Öztürk A. (2018). *HVAC Ünitelerinde Kullanılan Isı Borulu Isı Geri Kazanım Ünitesi Performansının Deneysel ve Teorik İncelenmesi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.



EKLER

EK-1. Saf su için deney sonuçları

Saat	Işınım(G)	Debi	Tin	Te	Ta	Tm	(Tm-Ta)/G	Anlık verim	Güç
09:00	757,0	0,0054	17,3	20,5	17,6	18,9	0,001717	35,39868	72,35136
09:05	759,0	0,0054	17,3	20,9	18,2	19,1	0,001186	39,71858	81,39528
09:10	790,0	0,0054	18,2	22,4	18,3	20,3	0,002532	44,52	94,96116
09:15	797,0	0,0054	18,6	22,5	18,6	20,55	0,002447	40,97691	88,17822
09:20	802,0	0,0054	18,7	22,7	18,8	20,7	0,002369	41,76559	90,4392
09:25	800,0	0,0054	19,3	23,2	19,4	21,25	0,002313	40,82325	88,17822
09:30	805,0	0,0054	19,8	23,5	19,2	21,65	0,003043	38,48919	83,65626
09:35	820,0	0,0054	19,9	24,0	19,7	21,95	0,002744	41,87	92,70018
09:40	822,0	0,0054	20,8	25,0	19,0	22,9	0,004745	42,78686	94,96116
09:45	840,0	0,0054	21,0	25,0	18,7	23	0,005119	39,87619	90,4392
09:50	855,0	0,0054	21,6	25,7	19,3	23,65	0,005088	40,15602	92,70018
09:55	873,0	0,0054	22,0	26,3	19,4	24,15	0,005441	41,24651	97,22214
10:00	893,0	0,0054	22,7	26,7	20,7	24,7	0,004479	37,50952	90,4392
10:05	910,0	0,0054	22,3	26,8	20,9	24,55	0,004011	41,40989	101,7441
10:10	910,0	0,0054	22,9	27,9	21,3	25,4	0,004505	46,01099	113,049
10:15	925,0	0,0054	22,9	28,2	21,4	25,55	0,004486	47,98076	119,8319
10:20	930,0	0,0054	23,5	27,3	21,0	25,4	0,004731	34,21634	85,91724
10:25	935,0	0,0054	24,1	28,0	21,4	26,05	0,004973	34,92898	88,17822
10:30	945,0	0,0054	24,4	29,0	22,6	26,7	0,004339	40,76233	104,0051
10:35	970,0	0,0054	24,4	28,7	21,9	26,55	0,004794	37,12186	97,22214
10:40	980,0	0,0054	24,6	30,0	22,3	27,3	0,005102	46,14245	122,0929
10:45	1012,0	0,0054	24,9	30,3	22,6	27,6	0,004941	44,6834	122,0929
10:50	1028,0	0,0054	25,5	30,6	22,8	28,05	0,005107	41,54416	115,31
10:55	1049,0	0,0054	25,8	31,1	22,6	28,45	0,005577	42,30906	119,8319
11:00	1089,0	0,0054	26,1	31,0	22,3	28,55	0,005739	37,67916	110,788
11:05	1107,0	0,0054	26,2	31,2	22,3	28,7	0,005781	37,82294	113,049
11:10	1119,0	0,0054	25,8	30,7	23,3	28,25	0,004424	36,66899	110,788
11:15	1127,0	0,0054	25,7	30,9	22,6	28,3	0,005058	38,6378	117,571
11:20	1150,0	0,0054	25,7	31,2	23,5	28,45	0,004304	40,04957	124,3539
11:25	1165,0	0,0054	25,8	32,1	22,8	28,95	0,005279	45,28429	142,4417
11:30	1168,0	0,0054	26,5	32,5	23,9	29,5	0,004795	43,01712	135,6588
11:35	1172,0	0,0054	27,2	32,7	23,8	29,95	0,005247	39,29778	124,3539
11:40	1180,0	0,0054	28,0	33,8	23,3	30,9	0,006441	41,16034	131,1368
11:45	1215,0	0,0054	29,1	34,9	23,2	32	0,007243	39,97465	131,1368
11:50	1230,0	0,0054	29,3	36,2	23,8	32,75	0,007276	46,9761	156,0076
11:55	1226,0	0,0054	29,6	36,0	24,4	32,8	0,006852	43,71419	144,7027
12:00	1237,0	0,0054	30,2	36,0	24,3	33,1	0,007114	39,2637	131,1368
12:05	1252,0	0,0054	30,4	36,1	24,1	33,25	0,007308	38,12444	128,8759
12:10	1280,0	0,0054	30,7	36,2	25,3	33,45	0,006367	35,98203	124,3539
12:15	1290,0	0,0054	31,4	36,2	24,7	33,8	0,007054	31,15907	108,527
12:20	1297,0	0,0054	31,6	36,9	24,4	34,25	0,007594	34,21912	119,8319
12:25	1295,0	0,0054	32,0	37,1	25,1	34,55	0,007297	32,97869	115,31
12:30	1299,0	0,0054	31,8	36,8	25,8	34,3	0,006543	32,23249	113,049
12:35	1295,0	0,0054	32,2	37,3	24,6	34,75	0,007838	32,97869	115,31
12:40	1300,0	0,0054	33,9	39,2	25,2	36,55	0,008731	34,14015	119,8319
12:45	1299,0	0,0054	33,7	39,5	25,5	36,6	0,008545	37,38968	131,1368
12:50	1302,0	0,0054	33,8	39,0	24,9	36,4	0,008833	33,44455	117,571
12:55	1304,0	0,0054	33,4	38,7	25,2	36,05	0,008321	34,03543	119,8319
13:00	1307,0	0,0054	34,3	40,1	26,6	37,2	0,00811	37,16083	131,1368
13:05	1305,0	0,0054	34,1	40,0	27,5	37,05	0,007318	37,85946	133,3978
13:10	1295,0	0,0054	34,7	40,6	28,6	37,65	0,006988	38,15181	133,3978
13:15	1283,0	0,0054	35,3	40,9	27,8	38,1	0,008028	36,55058	126,6149
13:20	1258,0	0,0054	35,4	41,4	28,2	38,4	0,008108	39,93959	135,6588
13:25	1261,0	0,0054	35,7	41,4	28,0	38,55	0,008366	37,85234	128,8759
13:30	1246,0	0,0054	36,1	42,0	28,6	39,05	0,008387	39,65217	133,3978
13:35	1237,0	0,0054	36,8	42,4	28,0	39,6	0,009378	37,90978	126,6149
13:40	1214,0	0,0054	37,1	42,8	28,4	39,95	0,009514	39,31779	128,8759
13:45	1200,0	0,0054	37,3	43,3	28,3	40,3	0,01	41,87	135,6588
13:50	1195,0	0,0054	37,6	43,4	28,1	40,5	0,010377	40,64368	131,1368

EK-1. (devam) Saf su için deney sonuçları

13:55	1200,0	0,0054	37,7	43,5	28,0	40,6	0,0105	40,47433	131,1368
14:00	1197,0	0,0054	38,0	43,9	28,4	40,95	0,010485	41,27536	133,3978
14:05	1177,0	0,0054	38,6	44,1	29,9	41,35	0,009728	39,13084	124,3539
14:10	1145,0	0,0054	38,4	44,0	29,8	41,2	0,009956	40,95581	126,6149
14:15	1100,0	0,0054	38,9	44,4	30,6	41,65	0,010045	41,87	124,3539
14:20	1050,0	0,0054	38,9	44,5	30,3	41,7	0,010857	44,66133	126,6149
14:25	1030,0	0,0054	38,9	44,8	31,2	41,85	0,01034	47,96757	133,3978
14:30	1018,0	0,0054	40,0	44,8	30,6	42,4	0,011591	39,48448	108,527
14:35	1015,0	0,0054	39,9	45,5	30,3	42,7	0,012217	46,20138	126,6149
14:40	1020,0	0,0054	40,1	45,4	29,7	42,75	0,012794	43,51196	119,8319
14:45	1012,0	0,0054	41,1	46,4	30,0	43,75	0,013587	43,85593	119,8319
14:50	1003,0	0,0054	41,0	46,3	29,8	43,65	0,013809	44,24945	119,8319
14:55	995,0	0,0054	41,2	46,6	29,4	43,9	0,014573	45,44683	122,0929
15:00	965,0	0,0054	41,3	46,4	30,0	43,85	0,014352	44,25637	115,31
15:05	925,0	0,0054	41,4	45,8	30,4	43,6	0,01427	39,83308	99,48312
15:10	900,0	0,0054	41,7	46,0	30,3	43,85	0,015056	40,00911	97,22214
15:15	886,0	0,0054	42,8	47,3	31,3	45,05	0,015519	42,5316	101,7441
15:20	875,0	0,0054	42,3	46,9	31,2	44,6	0,015314	44,02331	104,0051
15:25	865,0	0,0054	42,1	46,7	30,8	44,4	0,015723	44,53225	104,0051
15:30	858,0	0,0054	41,9	46,7	30,9	44,3	0,015618	46,84755	108,527
15:35	844,0	0,0054	42,2	46,6	31,0	44,4	0,015877	43,65592	99,48312
15:40	835,0	0,0054	42,0	46,5	31,2	44,25	0,015629	45,12934	101,7441
15:45	828,0	0,0054	42,1	46,6	31,4	44,35	0,01564	45,51087	101,7441
15:50	829,0	0,0054	41,5	46,0	30,9	43,75	0,015501	45,45597	101,7441
15:55	804,0	0,0054	40,9	45,4	30,5	43,15	0,015734	46,8694	101,7441
16:00	814,0	0,0054	41,3	45,5	30,3	43,4	0,016093	43,20737	94,96116
16:05	803,0	0,0054	41,9	46,0	30,8	43,95	0,016376	42,75641	92,70018
16:10	800,0	0,0054	41,5	45,9	30,6	43,7	0,016375	46,057	99,48312
16:15	775,0	0,0054	41,7	45,7	30,6	43,7	0,016903	43,22065	90,4392
16:20	738,0	0,0054	41,1	45,1	30,7	43,1	0,016802	45,38753	90,4392
16:25	723,0	0,0054	40,2	44,2	30,3	42,2	0,016459	46,32918	90,4392
16:30	712,0	0,0054	40,0	43,9	30,5	41,95	0,016081	45,86882	88,17822
16:35	710,0	0,0054	39,0	42,8	29,7	40,9	0,015775	44,81859	85,91724
16:40	715,0	0,0054	38,5	42,4	29,4	40,45	0,015455	45,67636	88,17822
16:45	704,0	0,0054	38,6	42,3	29,3	40,45	0,015838	44,01108	83,65626
16:50	709,0	0,0054	39,2	42,9	29,3	41,05	0,016573	43,70071	83,65626
16:55	712,0	0,0054	38,3	42,0	28,8	40,15	0,015941	43,51657	83,65626
17:00	719,0	0,0054	38,4	41,9	28,5	40,15	0,016203	40,76356	79,1343

EK-2. Al₂O₃-su için deney sonuçları

Saat	Işınım(G)	DEBİ	Tin	Te	Ta	Tm	(Tm-Ta)/G	Anlık verim	Güç
09:00	904,0	0,0054	17,0	20,5	17,5	18,75	0,001383	33,45133	81,648
09:05	918,0	0,0054	17,4	21,5	17,7	19,45	0,001906	38,58824	95,6448
09:10	928,0	0,0054	17,6	21,8	17,9	19,7	0,00194	39,10345	97,9776
09:15	930,0	0,0054	17,8	22,1	18,3	19,95	0,001774	39,94839	100,3104
09:20	935,0	0,0054	17,8	22,7	18,1	20,25	0,002299	45,27914	114,3072
09:25	943,0	0,0054	17,8	23,3	19,0	20,55	0,001644	50,39236	128,304
09:30	950,0	0,0054	18,1	23,7	19,5	20,9	0,001474	50,93053	130,6368
09:35	956,0	0,0054	18,2	24,4	20,0	21,3	0,00136	56,03347	144,6336
09:40	954,0	0,0054	18,4	24,6	20,4	21,5	0,001153	56,15094	144,6336
09:45	958,0	0,0054	18,8	24,8	20,5	21,8	0,001357	54,11273	139,968
09:50	952,0	0,0054	19,8	25,7	20,8	22,75	0,002048	53,54622	137,6352
09:55	956,0	0,0054	22,5	28,5	22,1	25,5	0,003556	54,22594	139,968
10:00	955,0	0,0054	23,4	29,3	22,2	26,35	0,004346	53,37801	137,6352
10:05	959,0	0,0054	24,3	30,4	22,7	27,35	0,004849	54,95725	142,3008
10:10	964,0	0,0054	25,7	31,4	23,4	28,55	0,005342	51,08714	132,9696
10:15	965,0	0,0054	26,4	32,4	23,2	29,4	0,006425	53,72021	139,968
10:20	967,0	0,0054	27,2	33,2	23,6	30,2	0,006825	53,6091	139,968
10:25	965,0	0,0054	27,9	33,7	23,2	30,8	0,007876	51,92953	135,3024
10:30	960,0	0,0054	27,8	33,9	22,8	30,85	0,008385	54,9	142,3008
10:35	970,0	0,0054	27,7	33,7	23,2	30,7	0,007732	53,4433	139,968
10:40	964,0	0,0054	27,5	33,3	24,0	30,4	0,006639	51,9834	135,3024
10:45	965,0	0,0054	26,9	31,8	25,1	29,35	0,004404	43,8715	114,3072
10:50	975,0	0,0054	25,6	31,5	24,4	28,55	0,004256	52,28308	137,6352
10:55	978,0	0,0054	24,4	30,6	23,5	27,5	0,00409	54,77301	144,6336
11:00	972,0	0,0054	25,2	31,2	24,7	28,2	0,003601	53,33333	139,968
11:05	976,0	0,0054	24,1	30,4	25,4	27,25	0,001895	55,77049	146,9664
11:10	972,0	0,0054	24,3	30,6	25,2	27,45	0,002315	56	146,9664
11:15	975,0	0,0054	25,1	31,2	26,0	28,15	0,002205	54,05538	142,3008
11:20	972,0	0,0054	26,2	32,4	25,4	29,3	0,004012	55,11111	144,6336
11:25	975,0	0,0054	26,8	32,8	25,4	29,8	0,004513	53,16923	139,968
11:30	984,0	0,0054	27,6	33,9	25,6	30,75	0,005234	55,31707	146,9664
11:35	985,0	0,0054	27,7	34,3	26,7	31	0,004365	57,89239	153,9648
11:40	1000,0	0,0054	27,7	34,3	26,9	31	0,0041	57,024	153,9648
11:45	1012,0	0,0054	27,6	34,1	26,5	30,85	0,004298	55,49407	151,632
11:50	1015,0	0,0054	29,2	35,5	26,4	32,35	0,005862	53,62759	146,9664
11:55	1025,0	0,0054	29,5	35,7	26,1	32,6	0,006341	52,26146	144,6336
12:00	1035,0	0,0054	30,5	36,7	25,9	33,6	0,00744	51,75652	144,6336
12:05	1045,0	0,0054	31,2	37,8	25,8	34,5	0,008325	54,56842	153,9648
12:10	1047,0	0,0054	31,3	37,6	25,4	34	0,008214	51,98854	146,9664
12:15	1043,0	0,0054	31,2	37,6	25,8	34,4	0,008245	53,0163	149,2992
12:20	1047,0	0,0054	32,0	38,3	26,2	35,15	0,008548	51,98854	146,9664
12:25	1045,0	0,0054	31,5	38,1	27,4	34,8	0,007081	54,56842	153,9648
12:30	1043,0	0,0054	32,1	38,6	27,1	35,35	0,00791	53,84468	151,632
12:35	1048,0	0,0054	32,8	38,9	27,1	35,85	0,008349	50,29008	142,3008
12:40	1047,0	0,0054	33,3	39,6	27,8	36,45	0,008262	51,98854	146,9664
12:45	1060,0	0,0054	33,4	40,0	28,1	36,7	0,008113	53,79623	153,9648
12:50	1065,0	0,0054	33,5	40,2	27,6	36,85	0,008685	54,35493	156,2976
12:55	1066,0	0,0054	34,1	41,1	27,2	37,6	0,009756	56,73546	163,296
13:00	1068,0	0,0054	34,4	41,6	26,1	38	0,011142	58,24719	167,9616
13:05	1067,0	0,0054	35,1	41,4	26,5	38,25	0,011012	51,01406	146,9664
13:10	1070,0	0,0054	35,8	41,8	27,2	38,8	0,010841	48,4486	139,968
13:15	1074,0	0,0054	35,7	41,5	27,8	38,6	0,010056	46,65922	135,3024
13:20	1083,0	0,0054	36,3	42,7	28,2	39,5	0,010434	51,05817	149,2992
13:25	1080,0	0,0054	36,5	43,1	28,3	39,8	0,010648	52,8	153,9648
13:30	1075,0	0,0054	36,2	42,9	28,8	39,55	0,01	53,8493	156,2976
13:35	1068,0	0,0054	36,2	42,8	28,4	39,5	0,010393	53,39326	153,9648
13:40	1050,0	0,0054	36,4	42,6	28,4	39,5	0,010571	51,01714	144,6336
13:45	1042,0	0,0054	36,1	42,3	30,1	39,2	0,008733	51,40883	144,6336
13:50	1040,0	0,0054	36,4	42,7	30,0	39,55	0,009183	52,33846	146,9664
13:55	1034,0	0,0054	36,6	43,0	31,1	39,8	0,008414	53,47776	149,2992
14:00	1028,0	0,0054	36,7	42,9	30,3	39,8	0,009241	52,10895	144,6336

EK-2. (devam) Al₂O₃-su için deney sonuçları

14:05	1005,0	0,0054	37,0	43,2	30,8	40,1	0,009254	53,30149	144,6336
14:10	998,0	0,0054	37,7	44,0	29,1	40,85	0,011774	54,54108	146,9664
14:15	992,0	0,0054	38,8	45,1	29,4	41,95	0,012651	54,87097	146,9664
14:20	995,0	0,0054	38,6	45,0	28,8	41,8	0,013065	55,57387	149,2992
14:25	998,0	0,0054	39,3	45,6	28,5	42,45	0,013978	54,54108	146,9664
14:30	984,0	0,0054	39,1	45,5	28,8	42,3	0,01372	56,19512	149,2992
14:35	981,0	0,0054	39,0	45,4	29,0	42,2	0,013456	56,36697	149,2992
14:40	983,0	0,0054	39,2	45,7	28,5	42,45	0,014191	57,13123	151,632
14:45	978,0	0,0054	39,2	45,6	29,2	42,4	0,013497	56,53988	149,2992
14:50	981,0	0,0054	39,0	45,5	28,6	42,25	0,013914	57,24771	151,632
14:55	974,0	0,0054	39,6	45,8	28,0	42,7	0,015092	54,99795	144,6336
15:00	967,0	0,0054	39,3	45,4	28,4	42,35	0,014426	54,50259	142,3008
15:05	962,0	0,0054	39,4	45,3	28,8	42,35	0,014085	52,9896	137,6352
15:10	966,0	0,0054	39,1	45,4	29,3	42,25	0,013406	56,34783	146,9664
15:15	965,0	0,0054	39,4	45,6	28,1	42,5	0,014922	55,51088	144,6336
15:20	967,0	0,0054	39,2	45,6	28,7	42,4	0,014168	57,18304	149,2992
15:25	968,0	0,0054	39,4	45,8	29,4	42,6	0,013636	57,12397	149,2992
15:30	968,0	0,0054	39,6	46,0	28,8	42,8	0,014463	57,12397	149,2992
15:35	949,0	0,0054	40,3	46,4	29,2	43,35	0,01491	55,53635	142,3008
15:40	934,0	0,0054	40,3	46,5	29,3	43,4	0,015096	57,35332	144,6336
15:45	925,0	0,0054	40,0	46,1	29,0	43,05	0,015189	56,9773	142,3008
15:50	919,0	0,0054	40,1	46,0	28,4	43,05	0,015941	55,46899	137,6352
15:55	916,0	0,0054	40,0	46,1	29,1	43,05	0,015229	57,53712	142,3008
16:00	920,0	0,0054	39,7	45,8	28,3	42,75	0,015707	57,28696	142,3008
16:05	919,0	0,0054	39,6	45,7	28,5	42,65	0,015397	57,34929	142,3008
16:10	902,0	0,0054	39,4	45,1	28,5	42,25	0,015244	54,59867	132,9696
16:15	893,0	0,0054	38,7	44,5	28,5	41,6	0,01467	56,11646	135,3024
16:20	880,0	0,0054	38,4	44,0	28,1	41,2	0,014886	54,98182	130,6368
16:25	871,0	0,0054	38,0	43,8	28,4	40,9	0,014351	57,53387	135,3024
16:30	869,0	0,0054	38,2	44,0	28,6	41,1	0,014384	57,66628	135,3024
16:35	857,0	0,0054	37,5	43,1	28,3	40,3	0,014002	56,45741	130,6368
16:40	815,0	0,0054	37,2	42,5	28,5	39,85	0,013926	56,1865	123,6384
16:45	800,0	0,0054	37,1	42,3	28,7	39,7	0,01375	56,16	121,3056
16:50	775,0	0,0054	37,2	42,4	28,2	39,8	0,014968	57,97161	121,3056
16:55	741,0	0,0054	37,3	42,2	27,7	39,75	0,016262	57,1336	114,3072
17:00	703,0	0,0054	37,1	41,5	27,9	39,3	0,016216	54,07681	102,6432

EK-3. TiO₂-su için deney sonuçları

Saat	Işınım(G)	DEBİ	Tin	Te	Ta	Tm	(Tm-Ta)/G	Anlık verim	Güç
09:00	770,0	0,0054	24,9	29,0	25,2	26,95	0,002273	45,36623	94,3164
09:05	778,0	0,0054	24,7	28,7	24,4	26,7	0,002956	43,80463	92,016
09:10	795,0	0,0054	25,2	29,3	24,1	27,25	0,003962	43,93962	94,3164
09:15	815,0	0,0054	25,3	29,4	24,6	27,35	0,003374	42,86135	94,3164
09:20	824,0	0,0054	24,6	29,0	25,1	26,8	0,002063	45,49515	101,2176
09:25	847,0	0,0054	24,3	28,5	24,6	26,4	0,002125	42,24793	96,6168
09:30	860,0	0,0054	23,2	28,0	24,0	25,6	0,00186	47,55349	110,4192
09:35	880,0	0,0054	23,9	29,2	23,8	26,55	0,003125	51,31364	121,9212
09:40	910,0	0,0054	24,1	29,7	24,0	26,9	0,003187	52,43077	128,8224
09:45	922,0	0,0054	24,5	30,2	23,6	27,35	0,004067	52,67245	131,1228
09:50	933,0	0,0054	24,8	30,7	25,6	27,75	0,002304	53,87781	135,7236
09:55	938,0	0,0054	25,4	31,3	24,2	28,35	0,004424	53,59062	135,7236
10:00	945,0	0,0054	24,5	30,6	24,0	27,55	0,003757	54,99683	140,3244
10:05	965,0	0,0054	24,4	30,6	23,4	27,5	0,004249	54,7399	142,6248
10:10	987,0	0,0054	24,1	30,6	24,1	27,35	0,003293	56,10942	149,526
10:15	1000,0	0,0054	24,3	31,5	23,7	27,9	0,0042	61,344	165,6288
10:20	1012,0	0,0054	24,4	31,2	24,0	27,8	0,003755	57,24901	156,4272
10:25	1018,0	0,0054	24,2	31,1	24,7	27,65	0,002898	57,74853	158,7276
10:30	1025,0	0,0054	24,5	31,3	24,0	27,9	0,003805	56,52293	156,4272
10:35	1032,0	0,0054	24,6	30,8	24,1	27,7	0,003488	51,18605	142,6248
10:40	1035,0	0,0054	24,8	30,8	24,5	27,8	0,003188	49,3913	138,024
10:45	1039,0	0,0054	24,9	31,0	24,8	27,95	0,003032	50,02117	140,3244
10:50	1047,0	0,0054	24,9	30,9	25,3	27,9	0,002483	48,82521	138,024
10:55	1059,0	0,0054	25,1	31,3	25,4	28,2	0,002644	49,88102	142,6248
11:00	1063,0	0,0054	25,0	31,5	25,8	28,25	0,002305	52,09784	149,526
11:05	1065,0	0,0054	25,2	32,5	24,6	28,85	0,003991	58,4	167,9292
11:10	1067,0	0,0054	24,6	31,9	24,7	28,25	0,003327	58,29053	167,9292
11:15	1070,0	0,0054	24,7	32,3	25,9	28,5	0,00243	60,51589	174,8304
11:20	1071,0	0,0054	25,1	32,7	25,1	28,9	0,003548	60,45938	174,8304
11:25	1078,0	0,0054	25,6	32,8	26,5	29,2	0,002505	56,90538	165,6288
11:30	1075,0	0,0054	26,5	33,0	26,7	29,75	0,002837	51,51628	149,526
11:35	1075,0	0,0054	26,2	33,4	26,7	29,8	0,002884	57,06419	165,6288
11:40	1070,0	0,0054	26,1	33,6	25,5	29,85	0,004065	59,71963	172,53
11:45	1079,0	0,0054	25,9	33,5	25,7	29,7	0,003707	60,01112	174,8304
11:50	1075,0	0,0054	26,4	33,6	25,6	30	0,004093	57,06419	165,6288
11:55	1079,0	0,0054	26,6	33,7	26,1	30,15	0,003753	56,06302	163,3284
12:00	1078,0	0,0054	26,5	33,8	25,4	30,15	0,004406	57,69573	167,9292
12:05	1080,0	0,0054	26,3	33,8	26,8	30,05	0,003009	59,16667	172,53
12:10	1087,0	0,0054	26,0	33,7	27,3	29,85	0,002346	60,35327	177,1308
12:15	1082,0	0,0054	26,3	33,8	26,4	30,05	0,003373	59,0573	172,53
12:20	1080,0	0,0054	26,4	34,3	25,6	30,35	0,004398	62,32222	181,7316
12:25	1085,0	0,0054	27,4	34,6	25,9	31	0,0047	56,53825	165,6288
12:30	1090,0	0,0054	27,0	35,2	25,4	31,1	0,005229	64,09541	188,6328
12:35	1100,0	0,0054	27,3	34,5	26,5	30,9	0,004	55,76727	165,6288
12:40	1105,0	0,0054	27,5	34,8	26,9	31,15	0,003846	56,28597	167,9292
12:45	1110,0	0,0054	27,8	35,2	27,2	31,5	0,003874	56,8	170,2296
12:50	1112,0	0,0054	27,7	35,3	26,4	31,5	0,004586	58,23022	174,8304
12:55	1115,0	0,0054	27,8	35,2	26,9	31,5	0,004126	56,54529	170,2296
13:00	1120,0	0,0054	28,3	35,2	26,9	31,75	0,00433	52,48929	158,7276
13:05	1122,0	0,0054	27,7	35,3	26,8	31,5	0,004189	57,71123	174,8304
13:10	1135,0	0,0054	27,6	35,4	26,3	31,5	0,004581	58,55154	179,4312
13:15	1150,0	0,0054	27,9	35,3	26,9	31,6	0,004087	54,82435	170,2296
13:20	1162,0	0,0054	27,8	35,4	27,7	31,6	0,003356	55,72461	174,8304
13:25	1165,0	0,0054	27,9	35,5	26,8	31,7	0,004206	55,58112	174,8304
13:30	1164,0	0,0054	28,4	35,7	26,4	32,05	0,004854	53,43299	167,9292
13:35	1162,0	0,0054	28,0	35,5	26,2	31,75	0,004776	54,99139	172,53
13:40	1159,0	0,0054	28,1	35,5	26,4	31,8	0,004659	54,39862	170,2296
13:45	1150,0	0,0054	28,3	35,7	26,2	32	0,005043	54,82435	170,2296
13:50	1150,0	0,0054	28,4	35,8	27,4	32,1	0,004087	54,82435	170,2296
13:55	1151,0	0,0054	28,5	36,0	26,3	32,25	0,005169	55,51694	172,53
14:00	1142,0	0,0054	28,8	36,2	27,0	32,5	0,004816	55,20841	170,2296

EK-3. (devam) TiO₂-su için deney sonuçları

14:05	1138,0	0,0054	28,6	36,5	26,9	32,55	0,004965	59,14587	181,7316
14:10	1115,0	0,0054	28,8	36,6	27,6	32,7	0,004574	59,60179	179,4312
14:15	1100,0	0,0054	28,9	36,9	26,7	32,9	0,005636	61,96364	184,032
14:20	1092,0	0,0054	29,0	36,8	26,4	32,9	0,005952	60,85714	179,4312
14:25	1089,0	0,0054	28,6	36,8	26,8	32,7	0,005418	64,15427	188,6328
14:30	1085,0	0,0054	29,3	36,9	27,2	33,1	0,005438	59,67926	174,8304
14:35	1045,0	0,0054	29,2	37,2	26,8	33,2	0,006124	65,22488	184,032
14:40	1002,0	0,0054	29,5	37,1	26,5	33,3	0,006786	64,62275	174,8304
14:45	960,0	0,0054	29,4	36,5	27,0	32,95	0,006198	63,0125	163,3284
14:50	938,0	0,0054	29,0	36,1	27,0	32,55	0,005917	64,49041	163,3284
14:55	903,0	0,0054	29,3	36,0	26,8	32,65	0,006478	63,21595	154,1268
15:00	872,0	0,0054	29,2	35,8	26,7	32,5	0,006651	64,48624	151,8264
15:05	848,0	0,0054	29,2	35,3	26,6	32,25	0,006663	61,28774	140,3244
15:10	834,0	0,0054	29,1	35,2	26,7	32,15	0,006535	62,31655	140,3244
15:15	820,0	0,0054	29,4	35,1	27,3	32,25	0,006037	59,22439	131,1228
15:20	804,0	0,0054	29,3	35,0	26,7	32,15	0,006779	60,40299	131,1228
15:25	792,0	0,0054	29,5	35,2	27,1	32,35	0,006629	61,31818	131,1228
15:30	787,0	0,0054	28,9	34,7	26,5	31,8	0,006734	62,79034	133,4232
15:35	770,0	0,0054	29,1	34,8	26,2	31,95	0,007468	63,07013	131,1228
15:40	753,0	0,0054	29,2	34,5	26,2	31,85	0,007503	59,96813	121,9212
15:45	735,0	0,0054	29,2	34,4	26,5	31,8	0,007211	60,27755	119,6208
15:50	735,0	0,0054	29,1	34,2	26,7	31,65	0,006735	59,11837	117,3204
15:55	738,0	0,0054	28,9	34,0	26,4	31,45	0,006843	58,87805	117,3204
16:00	740,0	0,0054	28,7	34,1	26,4	31,4	0,006757	62,17297	124,2216
16:05	732,0	0,0054	28,7	34,0	26,4	31,35	0,006762	61,68852	121,9212
16:10	728,0	0,0054	28,5	33,9	25,9	31,2	0,00728	63,1978	124,2216
16:15	725,0	0,0054	28,6	33,8	25,9	31,2	0,00731	61,10897	119,6208
16:20	725,0	0,0054	28,9	34,0	25,7	31,45	0,007931	59,93379	117,3204
16:25	722,0	0,0054	29,1	34,1	25,7	31,6	0,008172	59,00277	115,02
16:30	720,0	0,0054	29,0	33,7	25,8	31,35	0,007708	55,61667	108,1188
16:35	720,0	0,0054	28,5	33,5	25,7	31	0,007361	59,16667	115,02
16:40	715,0	0,0054	28,8	33,6	25,6	31,2	0,007832	57,1972	110,4192
16:45	718,0	0,0054	28,4	33,1	25,5	30,75	0,007312	55,77159	108,1188
16:50	712,0	0,0054	28,1	32,7	25,0	30,4	0,007584	55,04494	105,8184
16:55	709,0	0,0054	28,2	32,4	24,8	30,3	0,007757	50,47109	96,6168
17:00	705,0	0,0054	27,4	32,0	24,3	29,7	0,00766	55,59149	105,8184

EK-4. Nanoakışkanlarla ilgili yapılmış makale

Effects of Using Nanofluids in Solar Collectors

Derleme Makalesi / Review Article

Sinan ÜNVAR^{1*}, Tayfun MENLİK²

¹ Vocational School, Air Conditioning and Refrigeration Department, Ağrı İbrahim Çeçen University, Turkey

² Faculty of Technology, Department of Energy Systems, Gazi University, Turkey

(Geliş/Received : 12.06.2020; Kabul/Accepted : 04.12.2020)

ABSTRACT

The importance of using solar energy, one of the renewable energy sources, has started to be understood more recently. The negative environmental effects and limited amounts of fossil fuels have led to increased demand for renewable energy sources worldwide and the production of various models and devices has accelerated to take advantage of solar energy, which is the basis of all energy sources. Using solar collectors as a way to benefit from solar energy has been used for many years. Although solar collectors are generally divided into 4 types as flat plate (FPSC), evacuated tube (ETSC), parabolic (PSC) and heat pipe (HPSC), these types can also be divided into separate types with many different features. The most commonly used solar collector type in the world is Flat Plate Solar Collector. The most important reasons for this are being cheap, easily produced and applied in various ways. Yet, the thermal productivity of FPSCs decreases below 40% in non-ideal climate conditions with low surrounding temperature. The existence of such disadvantages of FPSCs led to the production of Evacuated Tube Solar Collectors. With the advancing technology, the utilization of heat pipes in collectors has come to the agenda and as a result of the studies conducted, it has been determined that the use of heat pipe improves efficiency. In addition, the use of nanofluids in solar collectors and heat pipes has become quite common, and many studies have been carried out especially on this subject recently. The primary objective is always to improve the performance of the system and achieve efficiency. In this way, solar energy will be used in the most effective way and world energy supply demand will be met by using renewable resources.

Keywords: Solar collectors, solar energy, energy, nanofluids, heat pipes.

Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkanların Kullanılmasının Etkileri

ÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden yararlanmanın önemi son yıllarda daha fazla anlaşılmaya başlanmıştır. Fosil yakıtların olumsuz çevre etkileri ve miktarlarının sınırlı olması dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artmasına yol açmış ve tüm enerji kaynaklarının temel olan güneş enerjisinden yararlanmak için çeşitli modellerin ve cihazların üretilmesi hız kazanmıştır. Güneş enerjisinden yararlanmanın en önemli yolu güneş kolektörlerinin kullanılmasıdır. Güneş kolektörleri genel olarak düzlem yüzeyli (DYGK), vakum tüplü (VTGK), parabolik (PGK) ve ısı borulu (IBGK) olmak üzere 4 tipe ayrılmakla birlikte bu tipler de kendi aralarında birçok farklı özelliğe sahip ayrı türlere ayrılabilir. Dünya üzerinde en fazla kullanılan güneş kolektörü tipi Düzlem Yüzeyli Güneş Kolektörü'dür. Bunun en önemli nedenleri arasında ucuz olması, kolayca üretilmesi ve çeşitli şekillerde uygulanabilmesi gibi parametreler yer almaktadır. Bununla birlikte düşük ortam sıcaklığı ile ideal olmayan iklim koşullarında DYGK'ların termal verimliliği %40'ın altına düşer. DYGK'ların bu tür dezavantajlarının bulunması Vakum Tüp Güneş Kolektörlerinin üretilmesine yol açmıştır. İlerleyen teknolojiyle birlikte güneş kolektörlerinde ısı borularının kullanılması durumu gündeme gelmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda ısı borusu kullanımının verimi iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca güneş kolektörlerinde ve ısı borularında nanoakışkan kullanılması durumu da oldukça yaygınlaşmış olup son dönemlerde özellikle bu konu ile ilgili birçok çalışma yürütülmüştür. Temel amaç her zaman için sistemin performansını iyileştirmek ve verimlilik elde etmektir. Bu sayede güneş enerjisinden en etkili şekilde yararlanılacak ve dünya enerji arzı talebi de yenilenebilir kaynaklar kullanılarak karşılanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş kolektörleri, güneş enerjisi, enerji, nanoakışkan, ısı boruları.

1. INTRODUCTION

The increasing need of energy, day by day, causes the

fossil fuels, the trend towards clean and efficient energy sources has started to be increased worldwide [1].



GAZİ GELECEKTİR