



**ISI BORULU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE NANO ÇÖZELTİ İLE
PERFORMANSIN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Umut Önder SU

**DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Umut Önder SU tarafından hazırlanan “ISI BORULU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE NANO ÇÖZELTİ İLE PERFORMANSIN İYİLEŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Karabük Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Tayfun MENLİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Kurtuluş BORAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Yrd. Doç Dr. İhsan TOKTAŞ

Makine Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 03/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Umut Önder SU

03/05/2019

ISI BORULU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE NANO ÇÖZELTİ İLE PERFORMANSIN İYİLEŞTİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Umut Önder SU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Güneş enerjili sistemler, günümüzde çok farklı alanlarda, farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjili sistemlerin en önemli elemanı güneş kollektörleridir. Güneş kollektörleri genel olarak düzlem yüzeyli (DYGK), vakum tüplü (VTGK), ısı borulu (IBGK) ve parabolik (PGK) olmak üzere dört tipe ayrılmakla beraber en yaygın olarak DYGK kullanılmaktadır. DYGK'nin verimini etkileyen parametreler; kollektörlerde kullanılan akışkanın ısı iletkenliği, ısı kayıpları ve optik kayıplardır. DYGK'ların düşük verimlerinden dolayı son zamanlarda güneş enerjili sistemlerde VTGK ve IBGK'ların harmonizasyonu olan vakum tüplü ısı borulu güneş kollektörleri (VTIBGK) kullanılmaya başlanmıştır. VTIBGK'ler DYGK'lerin termik ve optik kayıpları minimize etmekte ve verim artmaktadır. Bu çalışmada nanoakışkan, amorf yapıdaki TiO₂ nano partiküller ve temel akışkan olarak su tercih edilerek iki aşamalı yöntemle hazırlanmıştır. Sonrasında bir VTIB'na saf su değerine ise hazırlanan nanoakışkan şarj edilmiştir. Soğutma suyu deposuna giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve farklı soğutma suyu debilerinde sıcaklık değişimleri ölçülerek ısı verimleri hesaplanmıştır. Nanokışkanlı VTIBGK'lerinin verimleri su kullanılan VTIBGK'lerinin verimleri ile karşılaştırılarak nanoakışkan kullanımıyla elde edilen fayda ortaya konmuştur. Deneyle sonuçunda nanoakışkan kullanımıyla VTIBK'lerde düşük ısı direnç, VTIBK'lerde yüksek ısı iletkenlik, yüksek çalışma sıcaklıkları, kısa sürede istenen sıcaklık değerlerine ulaştığı gözlemlenmiş ve verimin arttığı ortaya konmuştur. En yüksek çıkış sıcaklığı 3 g/s su debisinde ve nanoakışkan kullanıldığında gerçekleşmiş olup giriş sıcaklığından 11,7 derece fazla olarak 28,1 °C olmuştur. Aynı koşullarda VTIB 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.

Bilim Kodu : 92802

Anahtar Kelimeler : Isı Borusu, Güneş Kollektörleri, Nano Çözelti, Nano Akışkan, Performans İyileştirmesi, Kararlı Akışkan

Sayfa Adedi : 81

Danışman : Prof. Dr. Adnan SÖZEN

HEAT PIPE EVACUATED TUBULAR SOLAR COLLECTOR PERFORMANCE
IMPROVEMENT: APPLICATION OF NANOFLUID

(Ph. D. Thesis)

Umut Önder SU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

There are many different types of solar energy systems, which are being used widely for different applications. The most important element of these solar systems is solar collector. There are four main types: Flat Panel (FPSC), Evacuated Tube, Heat Pipe and Parabolic. The most popular type is FP. Efficiency of FPSCs are mainly affected by 3 parameters: working fluid thermal conductivity, heat losses and optical losses. Due to low efficiency of FPSCs, Evacuated Tubular Heat Pipe Solar Collectors (ETSCs) are now being studied to replace FPSCs, which are combination of evacuated tube and heat pipe types. In this type of solar collectors, optical and thermal losses are minimized and performance of the system is better. In this study, ETSCs will be tested by charging Nano-fluid: TiO₂ Nano particles and base fluid as water chosen; Nano fluid was prepared by a two-step method. After that, one of the two heat pipes were filled with pure water and the other one was charged with the prepared Nano fluid. Inlet and outlet temperatures of heat exchanger were measured and for different mass flow of cooling water, efficiency of each set up was calculated. By comparison of Nano fluid and pure water cases, improvements achieved by using Nano fluid were proven: low thermal resistance and higher thermal conductivity in ETSCs, higher working temperatures, shorter period for reaching working temperature and improved efficiency. The maximum outlet temperature (28.1 °C) was achieved in 3 g/s cooling water and nano fluid case, which was 11.7 °C greater than inlet temperature. In same conditions, when working fluid is pure water achieved maximum temperature was 26.1 °C. The maximum efficiency was achieved in 7 g/s and Nano fluid case, which was 49.214% whereas pure water case was calculated as 37.496%.

Science Code : 92802

Key Words : Heat Pipe, Solar Collectors, Nano Fluid, Performance Improvement, Stabilization

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Adnan SÖZEN

TEŞEKKÜR

Bu alıőma boyunca yardım ve katkılarıyla doğru hedefe yönlendiren Prof. Dr. Adnan SÖZEN'e ve kıymetli tecrübeleri ve bir ömür boyu unutulmayacak katkılarıyla Prof. Dr. Tayfun MENLİK'e teşekkürlerimi arz ederim. Destekleriyle bu çalışmanın ortaya çıkmasında çeşitli fedakârlıklar yapan eőim, çocuklarım ve iş arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	19
3. MATERYAL METOT.....	43
4. BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	51
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	53
6. ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Nanoakışkanların ısı iletkenlikleri.....	9
Çizelge 2.1. Isı borularında nanoakışkanların yüksek ısı performansları.....	32
Çizelge 3.1. Ultrasonik banyoya ait özellikler.....	44
Çizelge 4.1. Ölçüm cihazlarının özellikleri, hassasiyetleri ve toplam belirsizlikleri....	52



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. PV sistem.....	2
Şekil 1.2. Sıcak su kollektör sistemi.....	2
Şekil 1.3. Isı borusu çalışma prensibi.....	6
Şekil 1.4. VTIBGK çalışma sistemi.....	7
Şekil 1.5. Nano boyut.....	12
Şekil 3.1. Nanopartiküllerin boyut dağılımı.....	44
Şekil 3.2. Deney düzeneği şematik görünüm.....	45
Şekil 5.1. Saf su akışkanının debiye bağlı (3 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	54
Şekil 5.2. Saf su akışkanının debiye bağlı (5 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	55
Şekil 5.3. Saf su akışkanının debiye bağlı (7 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	56
Şekil 5.4. Su-TiO ₂ nanoakışkanının debiye bağlı (3 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	57
Şekil 5.5. Su-TiO ₂ nanoakışkanının debiye bağlı (5 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	58
Şekil 5.6. Su-TiO ₂ nanoakışkanının debiye bağlı (7 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	59
Şekil 5.7. Saf su akışkanının debilere bağlı sıcaklık-zaman grafiği.....	60
Şekil 5.8. Su-TiO ₂ nanoakışkanının debilere bağlı sıcaklık-zaman grafiği.....	61
Şekil 5.9. Saf Su/Su-TiO ₂ 'nin debiye bağlı (3 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	62
Şekil 5.10. Saf Su/Su-TiO ₂ 'nin debiye bağlı (5 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	63
Şekil 5.11. Saf Su/Su-TiO ₂ 'nin debiye bağlı (7 g/s) sıcaklık-zaman grafiği.....	64
Şekil 5.12. Saf suyun debiye bağlı (3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s) verim grafiği.....	65
Şekil 5.14. Saf Su/Su-TiO ₂ 'nin debiye bağlı (3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s) verim grafiği.....	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Ultrasonik banyo (DC4UT-PRO).....	44
Resim 3.2. Deney düzeneğinin genel görünümü.....	46
Resim 3.3. Uygun (solda), bozuk (sağda).....	47
Resim 3.4. Isıl borulu vakumlu cam tüp.....	48
Resim 3.5. Deney seti su deposu.....	48
Resim 3.6. Solarimetre.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A_a	Kolektör açıklık alanı (m^2)
A_c	Kolektör yüzey alanı (m^2)
A_g	Kolektör brüt açıklık alanı (m^2)
Al_2O_3	Alümina (Alüminyumoksit)
c	Özgül ısı (kJ/kgK)
C	Isı sığası (kJ/K)
e	Emisyon Değeri
G	Işınım Şiddeti (W/m^2)
H_2O	Su
K	Extinction Katsayısı
m	Kütle (kg)
m^3	Hacim
m^2	Alan
TiO_2	Titanyumdioksit
T_g	Giriş sıcaklığı (K)
T_c	Çıkış sıcaklığı (K)
T_o	Çevre havası sıcaklığı (K)
V	Hız (m/s)
V_n	Gerilim (Volt)
Q	Enerji miktarı (kJ)
η_a	Anlık verim
ε	Yarım küredeki yayılma
ΔT	Akışkan çıkış ve girişi arasında sıcaklık farkı (K)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
σ	Stefan- Boltzmann sabiti ($W/ m^2 K^4$)
W_s	Toplam belirsizlik

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ANSYS	Yazılım
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BET	Yüzey Alan Analizi
BN	Boron Nitrit
CFD	Computational Fluid Dynamics
CNT	Carbon Nano Tube
COP	Coefficient of Performance
CTAB	Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide
DARS	Direct Absorption Refrigeration System
DASC	Direk Absorpsiyon Güneş Kollektörleri
DYGK	Düzlem Yüzeyli Güneş Kollektörleri
ETSCs	Evacuated Tubular Solar Collector
FESEM	Field Emission Scanning Electron Microscopy
FLUENT	CFD Yazılımı
FP	Flat Panel
FPC	Flat Panel Collector
FPSC	Flat Panel Solar Collector
GNP	Graphene Nanoplatelets Ppm: Part per Million
hBN	Hekzagonal Bor Nitrit
HRTEM	High Resolution Transmisyon Elektron Mikroskopi
IBGK	Isı Borulu Güneş Kollektörleri
MWCNT	Mono Wall Carbon Nano Tube
PA	Foto akustik
PGK	Parabolik Güneş Kollektörleri
pH	Power of Hydrogen
PV	Fotovoltaik Panel
PVP	Polyvinylpyrrolidone
REFPROP	Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties
SAED	Selected Area Electron Diffraction
SDBS	Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate

Kısaltmalar**Açıklamalar****SDS**

Sodium Dodecyl Sulfate

SEM

Scanning Electron Microscope

STEM

Semi Transmisyon Elektron Mikroskopi

TEM

Transmisyon Elektron Mikroskopi

UV

Ultra Viole

VTGK

Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri

VTIBGK

Vakum Tüplü Isı Borulu Güneş Kollektörleri

VTIBK

Vakum Tüplü Isı Borulu Kollektör

W

Watt

XRD

X Ray Diffraction

1. GİRİŞ

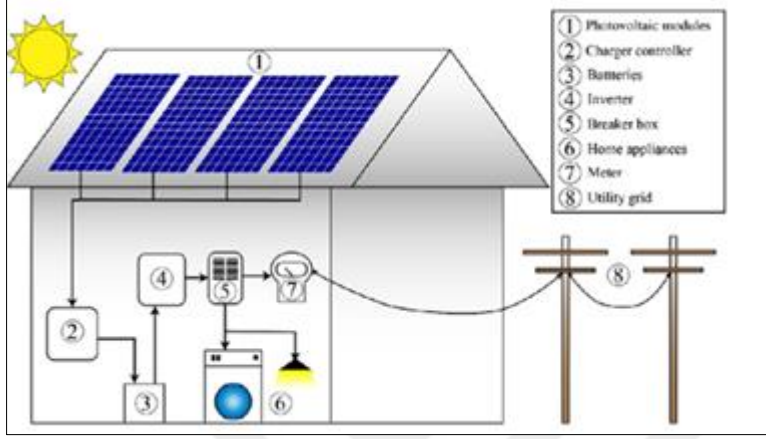
İhtiyaç duyulan enerji miktarının sürekli olarak artması artan nüfus ve yükselen yaşam standartlarının doğal sonucudur. İhtiyaçların sınırsız fakat kaynakların ise sınırlı olması mevcut olan enerji kaynaklarının daha bilinçli tüketilmesi ve verimi arttırmayı zorunlu kılarken diğer taraftan alternatif enerji kaynakları arayışına girerek bir arz çeşitliliği ortaya koyulması insanlığın varlığını devam ettirmesi için kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu hem eskiyi daha verimli kullanmak için araştırmalar yapmayı hem de yeniyi keşfetme şevkini netice vermiştir.

Fosil yakıtlara alternatif olarak birçok enerji kaynağı ortaya atılsa da en bol ve ücretsiz olarak Güneş enerjisi ilk sırayı almaktadır. Güneşten bir gün içinde dünyaya yayılan enerji miktarı dünyada yıllık tüketilen enerjiden daha fazla olmakla birlikte bu enerji kaynağından %0,02 mertebelerinde faydalanılabilmektedir [1]. Şüphesiz güneş enerjisini kullanılabilir hale getirmek için çok fazla fikirler üretilmiş ve bir kısmı hayata geçirilmişken bir kısım fikirler ise üretilmeyi ve uygulamaya geçirilmeyi beklemektedir. Bilim tarihi bize gösteriyor ki bilginin ve bunu teknoloji halinde insanlığa faydalı hale getirme yollarının sonu yoktur. Güneş enerjisi özelinde, ülkemiz ve dünya genelinde sıcak su elde etme başta olmak üzere birçok şekilde günlük hayatta istifade yolları karşımıza çıkmaktadır [2]. Isınma dışında güneş enerjisinden doğrudan elektrik elde etmek için fotovoltaik gibi birçok alanda çalışmalar devam etmekte; var olanı daha verimli kullanma ve yenileri ise keşfedip ortaya çıkarma çabaları devam etmektedir [3]. Güneş enerji piyasası 1920'li yıllarda başlayıp 1950'li yıllara kadar gelişimini sürdürmüştür. Doğalgazın yaygınlaşması ile maliyetlerin düşmesinden dolayı bu teknolojiye yapılan yatırımlar azalmıştır [4]. Bu bağlamda ısı borulu vakumlu güneş kolektörlerinde nano çözelti kullanarak performans artırma çalışması hem mevcut teknolojileri daha verimli kullanma hem de yeniyi keşfetme yani nanoakışkanların üretilmesi, kullanılması ve yaygınlaştırılmasına hizmet etmektedir.

Güneş enerjisinden faydalanmanın iki temel yolu vardır:

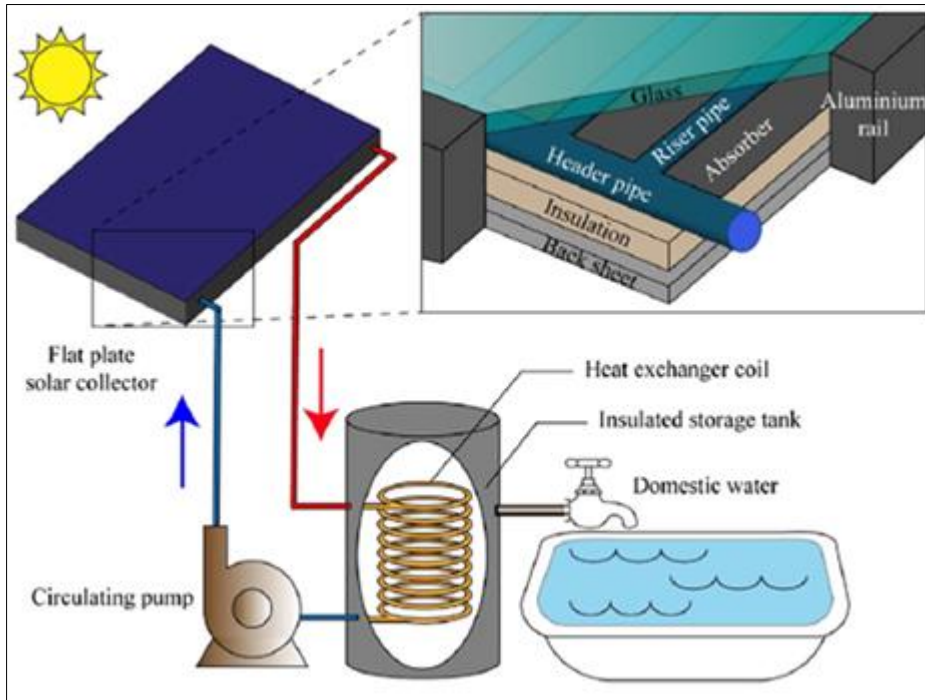
- Elektrik enerjisine çevirmek (PV hücre gibi)
- Isı enerjisine çevirmek (Güneş kolektörleri gibi)

Güneş enerjisinden faydalanmanın iki yolundan biri olan PV sistemin şematığı aşağıda Şekil 1.1.' de gösterilmektedir. Burda doğru akım elde edildiğinden alternatif akıma döndürecek inverterlere ihtiyaç vardır. Verim % 4,5-6 mertebelerindedir ve gelişmeye açık bir alandır [5].



Şekil 1.1. PV sistem

Güneş enerjisinden diğer faydalanma şekli olan sıcak su eldesi hususunda en yaygın sistemin şematik görüntüsü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [6].



Şekil 1.2. Sıcak su kollektör sistemi

Güneş kolektörleri işletme faaliyetlerinde doğa dostu olsa da hem imalat hem de bakım zamanlarında bazı olumsuz çevresel etkileri olmaktadır. Güneş enerjisinin ilk yatırım maliyeti yüksek fakat işletme maliyeti yok denecek kadar azdır. Ekonomik analiz yapılırken hayat boyu maliyetler, geri ödeme süresi, yatırımın net bugünkü değeri ve iç karlılık oranı gibi unsurlara bakılmalıdır. Bazı yazılımlar ile güneş kolektörünün verimi ölçülmektedir: TRASYS, MINSUN ve WATSUN. Hava durumu bilgisi METENORM, TMD ve TMY gibi veri tabanların alınabilmektedir. Verim ölçümü yapılırken USA ASHRAE- 93:2003 ve Avrupa ülkeleri EN- 12975:2006 standartlarını kullanmaktadır.

Güneş kolektörleri çok çeşitlilik arz etmektedir. Temel olarak güneşi takip eden hareketli sistemler ile sabit sistemler olarak ayrılmaktadır. Sabit olanlar kendi içinde üçe ayrılır: Düz Panel (DYGK), Vakumlu Isı Borulu (VTIBGK) ve Parabolik Odaklı. En yaygın olarak kullanılan türü düz panel kolektörlerdir. 1950'lerde icat edilmiş olan bu tür son 30 yıldır yaygın olarak evsel ve ticari olarak kullanımdadır. İlk yatırım maliyeti ucuz ve kullanım kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir. Sonrasında ise VTIBGK gelmektedir. Tek Cıdarlı ve Dewar Tüplü olmak üzere iki tip VTIBGK vardır. Bunlardan yaygın olarak kullanılan tek cıdarlı tüpün değişik konfigürasyonları olsa da temel çalışma ilkesi hepsinde aynıdır [2,3]. Vakumlu Isı Borulu Güneş kolektörlerinin bu türe göre oldukça üstün yönleri vardır ve aşağıda listelenmiştir [2]:

- Hem direk hem yayılan ışığı emme kabiliyeti
- Yüksek ısıl verimle beraber, kolay kurulum ve taşıma
- Yüksek sıcaklık ihtiyacına cevap verebilme
- Silindirik tüp yapısı nedeniyle güneş ışığını gün boyunca dik olarak alma
- Vakum tüpler dolayısı ile düşük sıcaklık ve rüzgarlı ortamlarda iyi performans
- Sistem çalışmaya devam ederken kırılan-bozulan tüplerin değişimine olanak vermesi
- İletim ve taşınım ile olan ısı kayıplarının daha az olması
- VTIBGK yılın her zamanı; ama DYGK yaz aylarında kullanılır.
- Işığı yayma oranı daha düşüktür.
- Isı sağlama hızı daha yüksektir.
- DYGK derzleme gerektirirken VTIBGK gerektirmez
- Çok soğuk (-18 °C) ortamlarda bile çalışmaya devam eder.

Bütün bu üstünlüklerine rağmen ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle henüz evsel ve endüstriyel kullanımı yaygınlaşmamıştır. Bununla birlikte yukarıda bahsi geçen avantajlarından dolayı araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Literatürde tasarım değişikliği ile verimi arttırmak üzerinde çalışmalar çoğunlukla olmak kaydıyla bazı araştırmacılar da çalışma akışkanını değiştirerek sistemi daha verimli hale getirmeyi önermişlerdir. Çok az sayıda çalışmada nanoakışkanın optik özelliklerinin incelenmesi gerekliliği üzerinde durulmuş ve bu alanda sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır.

Güneşten gelen enerji, optik kayıplar, faydalı enerji kazanımı ve ısı kayıplar (iletim, taşınım ve ışınım) olmak üzere 3 gruba ayrılabilir. VTIBGK kullanımında verimi arttırmak için kayıpları en aza indirmek ve faydalı enerji kazanımını en üst seviyeye çıkarmak gerekmektedir. Başka bir deyişle güneş enerjisi emilimi artırılmalı, ısı kayıpları azaltılmalı (çevreye yansıma, sıcak yüzeyin ışıması ve kollektörden çevreye taşınım) ve vakumlu ısı borusundan akışkana ısı transfer oranı artırılmalıdır. Nanoakışkan kullanımı bu son noktada devreye girmektedir. Kırılma indeksi ışık hızının vakum içerisindeki hızının ortam hızına oranıdır. Bir çalışmada güneş enerjisi uygulamalarında kullanılan temel akışkanların optik özellikleri incelenmiştir. Güneş enerjisinin ısı taşıyan dalga boyu görünür bantta olup 300-700 nm dalga boyunda iken akışkanların emilimi en yüksek 950-1000 nm'de gerçekleşmektedir. Normal su kullanılarak çalışan sistemlerde en yüksek emilim %13'tür. Hedeflenen emilim oranının %90 üzerinde olması için 1 metre ve üzeri derinlikler gerekli olduğu belirtilmiştir. Suyu nanopartikül eklendiği durumlarda emilimin 9 katına çıktığını iddia eden çalışmalar vardır [7].

Optik özelliklerinin etkisinin kayda değer olması için akışkan ile güneş ışığının doğrudan temas halinde olması gerekirken VTIBGK'lerde bu durum yoktur. Cama glazing uygulaması yapılarak geçirgenlik artarken aynı zamanda geri yansıma ile ısı kaybının önüne geçilmesi arzulanmaktadır. Yansımayı önleyici bir kaplama yapılır. Kaplamanın geçirgenliği yüksek olmalı iken emme tabakasının yüksek emilimi olması gerekmektedir. Nanoakışkan kullanılması ile gelen ışığın sıvı içinde saçılması sağlanarak akışkana daha çok ısı geçişi sağlanır. Extinction katsayısı partikül çapına, derişime ve dalga boyuna bağlıdır. Güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımıyla bu katsayı artırılmış olmaktadır. Optik özellikler parça boyutu, şekli ve nanopartikül ile temel akışkanın optik özelliklerine bağlıdır. Güneş kollektörlerinin geçirgenlik, yansıtma ve emilim özellikleri gelen enerjiye, ortam kalınlığına, kırılma indeksine ve malzemenin extinction katsayısına (K) bağlıdır. Cam en

yaygın koruyucu malzeme olarak kullanılmaktadır. Kollektörün emme plakası seçilirken emme yüksek (α) ve uzun dalga boyu emisyon değeri (ϵ) düşük olmalıdır [8].

Isı borulu güneş kollektörlerinin tercih sebeplerini ve türlerini ele alan bir çalışmada matematiksel modelleme alanında yapılan araştırmalar ele alınmıştır. Bununla birlikte evsel ve endüstriyel uygulamalarından bahsedilerek git gide VTIBGK'lerin yaygınlaştığından bahsedilmiştir. VTIBGK ile alakalı zorluklar ilk yatırım maliyeti, kırılma, kar giderme ve nadiren de olsa yüksek ısınma olarak ifade edilmiştir. Maliyet analizi yapılarak geri ödeme sürelerinin 2 yıldan az olduğu iddia edilmiştir. Tasarımsal değişikliklere yönelik çalışmalara çokça rastlanırken akışkan değiştirmeye yönelik fazla sayıda çalışmanın yapılmadığından bahsedilmiş ve bu alanda yapılan çalışmaların çoğunun DYGK alanında olup VTIBGK alanında çok az sayıda çalışma olduğu belirtilmiştir. Bu alanda yapılabilecek çalışmaları şu başlıklar altında özetlemiştirler [2] :

- VTIBGK'lerin dayanımı arttırmak
- Tavlanmış cam yerine başka malzeme kullanımı
- Grooved tüp kullanarak yüzey alanını arttırmak
- Nanoakışkan kullanmak
- Sabit sistem yerine güneşi takip eden sistem kullanmak
- Nanoakışkan durumunda ekonomik analiz yapmak
- Laminer akıştan türbülanslı akışa geçilerek ısı transferini ve akış hızının arttırmak.
- Endüstriyel uygulamalar için VTIBGK'ler ve yoğunlaştırıcı güneş kollektörü kullanmak

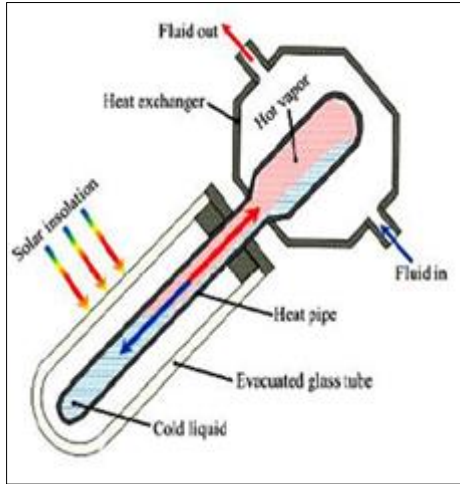
Isı borularının bilimsel gelişiminin tarihsel sürecine baktığımızda 1831 tarihinde Perkins hermetik boru kazanını tasarlamış olup bu çalışma ısı borusu fikrinin temelini oluşturduğu söylenebilir. 1944 yılında ise Gaugler patentini de aldığı ısı borusu ise günümüz ısı borusunun temel ilkelerini ortaya koymuştur. Bu tarihten sonra çeşitli türleri geliştirilmiş olmakla birlikte temel olarak şu başlıklar altında toplanabilir [9] :

- Geleneksel
- Titreşimli
- Minyatür
- Döngülü
- Yassı plaka

Isı borularının temel çalışma ilkeleri şu şekildedir. Boru içerisindeki çalışma akışkanı güneşten aldığı enerji ile ısınarak faz değiştirip buharlaşır. Buharlaşan çalışma akışkanı yükselerek ısı transferini gerçekleştireceği ortama doğru yükselir. Burada ısıyı diğer ortama transfer ettikten sonra yoğunlaşarak tekrar ısı borusunun alt kısmına inmekte ve bu çevrim sisteme ısı girişi oldukça devam etmektedir [1,2]. İki iç içe geçmiş cam boru arası vakumlandığından iletim ve taşınım yoluyla sistemden ısı kaybının önünde geçilmesi hedeflenmektedir.

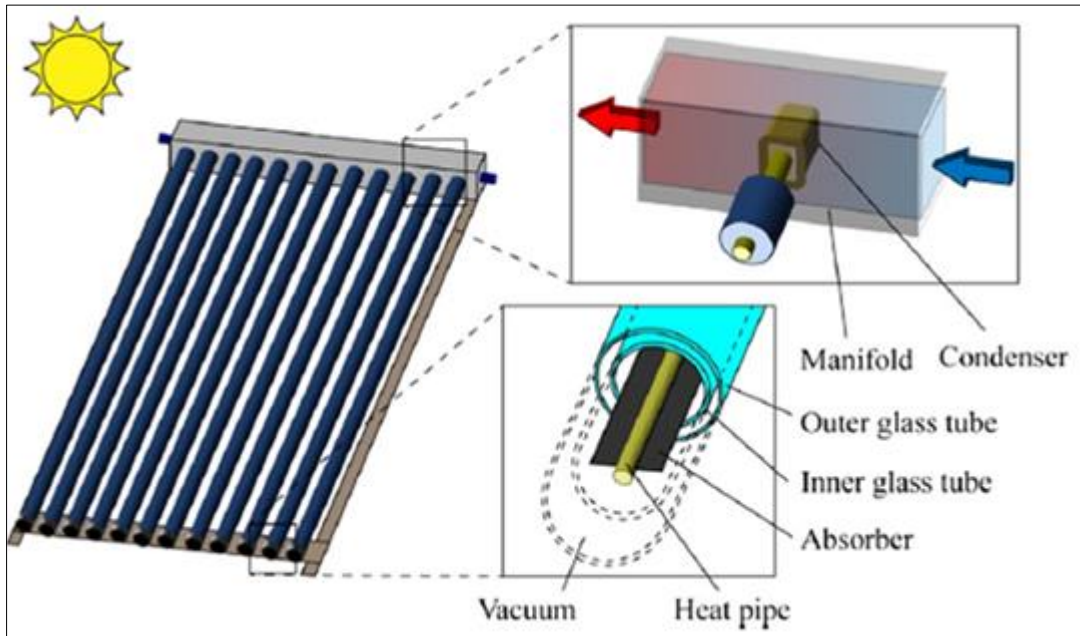
Isı borularında akışkan seçiminde donma ve kaynama noktaları dikkate alınır. Tercih edilen akışkanın şu özelliklere sahip olması beklenir: Yüksek buharlaşma gizli ısı, yüksek ısı iletkenlik ve düşük viskozite. Akışkanın temin kolaylığı ve maliyeti ise diğer önemli bir belirleyici unsurdur. Isı borusu uygulamalarında çalışma sıcaklığına bağlı olarak çok düşük (kriyojenik, -73 dereceye kadar), düşük (-73 derece ile 227 derece arası), orta (227 ile 427 derece) ve yüksek (428 derece ve üzeri) olarak isimlendirilir. Isı boruları birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu nedenle verimin artırılması durumunda birçok sektöre olumlu etkisi olacaktır [9].

Isı borusu seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi çalışma akışkanının ısı özellikleri ve viskozitesidir. Çünkü akışkanın ısıyı iyi bir şekilde absorbe etmesi, faz değiştirerek buharlaşması, hareket etmeye karşı direnci, donma sıcaklığı gibi hususlar verimde önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte akışkanın kolay temin edilebilir ve düşük maliyeti olması günlük ve iş hayatında kullanımının yaygınlaşması için önemli bir etkidir. Çalışma prensibi aşağıdaki Şekil 1.3. üzerinden daha iyi anlaşılabilir [10].



Şekil 1.3. Isı borusu çalışma prensibi

VTIBGK tip kollektörlerdeki temel eleman yan yana dizilmiş vakumlu ısı borularıdır. Dışarıdaki tüp şeffaf olup ışığın içeri girmesine izin verirken içerideki tüp opak olup maksimum emilimi sağlamak üzere tasarlanmıştır. İki tüp arasında vakum oluşturularak ısı kaybı engellenmiştir. Isı borusu genelde bakırdan tercih edilmektedir [11,12]. Sistem aşağıdaki Şekil 2.3 de ifade edildiği gibi çalışmaktadır [13].



Şekil 1.4. VTIBGK çalışma sistemi

Isı borusu içindeki akışkanın verime, çalışma sıcaklığına ve toplam ısı katsayısına doğrudan etkisi vardır. Akışkan olarak su, etanol, metanol veya bunların karışımlarının kullanıldığı

birçok çalışma olmuştur. Su-etanol karışımının iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. VTIBGK sistem performansının iyi olması için vakumun muhafaza edilmesi ve sızıntı olmaması önemlidir. Düz panellerden farklı olarak VTIBGK gün içinde saate göre performans değişimi pek olmamıştır ve yüksek çıkış sıcaklıkları elde edilmiştir [14].

Isı transfer alanında nanoakışkan kullanımına dair birçok çalışma yapılmıştır. Nanopartikül olarak saf metal, metal oksitler, karbitler, nitritler ve değişik tip karbonlar (elmas, grafit, tek/çok duvarlı karbon nanotüpler) kullanılmıştır. Temel akışkan olarak da su, etilen glikol ve motor yağı kullanılmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda ısı iletim katsayısı, zorlanmış taşınım ve kaynama ısı transferi durumları incelenmiştir. Isı transferinde artış görünen durumlar açıklanırken Brownian hareketi, arayüz etkisi, enerji taşıyıcıların balistik etkisi ve termoforez üzerinde durulmuştur.

Isı transfer miktarını arttırmak için Fourier denkleminde yola çıkarak ısı transfer katsayısını arttırmak, sıcaklık farkını arttırmak ve alan arttırmak seçenekleri vardır. Son ikisi hem teknik hem de ekonomik sebepler ile mümkün olamadığı birçok durumda ısı transfer katsayısını arttırmak 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 [15].

Güneş kolektörlerinin verimini ölçmekte iki farklı yol vardır: steady state (kararlı hal) ve quasi dynamic (yarı dengeli). Kararlı hal yönteminde güneş enerjisi yayılımı, ortam sıcaklığı ve kolektör giriş sıcaklığı sabit kabul edilirken yarı dengeli halde bunlar değişkendir. Isıl performans kolektör yüzeyine gelen güneş enerjisi, çevre sıcaklığı, emme tabakası ve bunun optik ve termal özellikleri, geçirgenlik ve emme geliş açısına, kullanılan akışkan türüne, debiye, özgül ısısına ve ısı kaybına bağlıdır [2].

Enerji dengesine göre güneş ışınları ile gelen enerji, faydalı enerji, ısı kayıp ve optik kayıp enerjilerinin toplamına eşittir. Kolektörde ısı enerjisi kaybı iletim, taşınım ve yayılımla olmaktadır. Güneş kolektörü performans ölçüm yöntemi Hotteland Woertz tarafından ortaya konmuş ve ASHRAE tarafından geliştirilmiştir. Verimi yükseltmek için bu çalışmalarda ortaya konan formüllerden hareketle aşağıdakiler gereklidir:

- Güneş enerjisi emilimini arttırmak
- Çalışma akışkanına ve son kullanıcıya ısı transferini arttırmak
- Isı kayıplarını azaltmak

Uzun zamandır DYKG'lerinde verim iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Nanoakışkanlar çalışılırken katkı maddesi olarak genelde Triton X-100 maddesi çökeltme ve topaklanma problemini ortadan kaldırma amacıyla yüzey aktifleştirici olarak kullanılmaktadır. Katkı maddesi yani yüzey aktifleştirici kullanmanın temel amacı çökelmeyi engellemek ve parçacıkların bir araya gelmesini engellemektir.

Bazı araştırmalar sonucunda nanoakışkan derişiminde bir uygun değer olduğu bu nedenle bu miktarın üzerine çıkılmaması gerektiği belirtilmiştir. Bu sayede hem maliyet düşürülmekte hem de kararlı süspansiyon elde etme sorunlarını minimize edilmektedir.

Kimi zaman kararlı akışkan elde etmek için pH ayarı yapılması gerekmekte ve bu durumlarda HCl ve NaOH tercih edilmektedir. Bu konuda deneysel çalışmaların yanında teorik çalışmalar da yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar deneysel olanlara göre daha az maliyetli olup sonuçlara ulaşmak açısından daha kısa bir yoldur [16,17,18].

Nanoakışkan kullanma fikri ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından gündeme getirilmiştir [1]. O zamandan bu zamana nanoakışkanlara ilgi artarak devam etmektedir. Nano boyutta ve ısıl iletkenlik katsayısı suya göre çok yüksek olan parçaların su veya diğer çalışma akışkanları ile hazırlanmış olan karışımlarına nanoakışkan adı verilmektedir. Güneş kollektörlerinin en büyük sorunu düşük ısı iletim verimliliğidir. Choi bu sorunu ortadan kaldırmak adına nanoakışkan çözümünü ortaya koymuştur. Çoğu çalışmada nanoakışkanın ısı iletiminin temel akışkan olarak kullanılan su, EG ve yağ kullanımından daha iyi olduğu ispatlanmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı Çizelge 1.1.' de özetlenmiştir [19].

Çizelge 1.1. Nanoakışkanların ısıl iletkenlikleri

Araştırmacı	Nanopartikül	Temel Akışkan	Boyut büyüklüğü	Hacimsel oran (%)	Isıl iletkenlik artışı (%)
Lee et al. [57]	Al ₂ O ₃	Su	30	0,01-03	1,44
Chandrasekar [58]	Al ₂ O ₃	Su	43	0,33-3	9,7
Masuda [59]	Al ₂ O ₃	Su	13	1,3-43	32,4
Das et al. [60]	Al ₂ O	Su	38,4	1-4	24
Li and Peterson [61]	Al ₂ O ₃	Su	36	2-10	29

Çizelge 1.1. (devam) Nanoakışkanların ısı iletkenlikleri

Minsta et al. [62]	Al ₂ O ₃	Su	9	2-10	29
Chon et al. [63]	Al ₂ O ₃	Su	11-150	1-4	47
Wang et al. [64]	Al ₂ O ₃	Su/EG	28	3-8	41
Vajjiha and Das [65]	Al ₂ O ₃	Su/EG	53	1-10	35
Xie et al. [66]	Al ₂ O ₃	Su/EG	60,4	5,00	23/29
Beck et al. [67]	Al ₂ O ₃	Su/EG	8-282	1,86-4	20
Beck et al. [67]	Al ₂ O ₃	EG	12-282	2-3,01	19
Choi et al. [68]	Al ₂ O ₃	Transformer oil	650-1000	0,5-4	20
Choi et al. [68]	AlN	Transformer oil	50	0,5	8
Paul et al. [69]	Al ₂ Cu	Su/EG	31/68/101	1-2	96/76,61
Paul et al. [69]	Al ₂ Al	Su/EG	33/80/120	1-2	106/93,75
Eastman et al. [54]	Cu	EG	<10	0,01-0,05	41
Wang et al. [64]	Cu	EG	23	4,5-9,7	34/54
Yu et al. [72]	Cu	EG	5-10	0,3-0,5	46 at 50 °C
Liu et al. [73]	Cu	Su	100-200	0,05	12
Liu et al. [73]	Cu	Su	50-100	0,1	24
Minsta et al. [62]	CuO	Su	29	0-16	24
Zhang et al. [75]	CuO	Su	100	7,5	52
Sharma et al. [76]	Ag	EG	100-500	0,1-1,0	18
Godson et al. [77]	Ag	Su	<100	0,3-0,9	30 at 50 °C
Ding et al. [78]	MWCNT	Su	40 çap	0,05-0,49	79
Karami et al. [79]	MWCNT	Su	10 çap 5-10 µm boy	0,015	32
Natrajan et al. [80]	MWCNT	Su	270	1	41
Hwang et al. [81]	MWCNT	Su	10-30 çap 10-50 µm boy	1	7
Murshed et al. [82]	TiO ₂	Su	15	0,5-5	30
Hong et al. [83]	Fe	EG	10	0,1-0,55	18
Jahanshashi et al. [84]	SiO ₂	EG	12	1-4	23
Paul et al. [69]	ZiO ₂	Su	20	0-2,2	60
Habibzadeh et al. [86]	SnO ₂	Su	4,3-5,3	0,012-0,024	7

Gerek imalat ve gerek kullanım esnasında gerekli önlemleri aldıktan sonra birçok toksik maddeden güvenilir bir şekilde hâlihazırda olduğu gibi nanoakışkanlardan da faydalanılması mümkündür. Nanoakışkan kullanımında hedeflenen ise emilen ısı miktarını ve hızını arttırmakla birlikte ısı veriminin artırılmasıdır.

Nanoakışkanlar genelde iki aşama yöntemi kullanılarak hazırlanmaktadır. Bu yöntemde önce istenen nano partiküller elde edilir. Sonra temel akışkan içerisine kararlılığını ve

homojenliğini koruyacak şekilde dağılması sağlanır. Tek aşama metodu ise nano partiküllerin hazırlanması ve akışkanın içine dağılımı bir aşamada gerçekleştirilir. Değişik yöntemler ile bu mümkün olmaktadır: Direk buharlaşma, VEROS tekniği, lazer ablasyon metodu (Alimünyum nano akışkanlar için kullanılır) ve saf kimyasal sentez (bakır-EG için kullanılır) gibi tek aşama yöntemleri vardır [20-22].

Nanoakışkanlar çok çeşitli olabilmektedir: metaller, metaloksitler, yarı-iletkenler, nitritler, karbon nanotüpler, grafen gibi çok farklı nanoakışkanlar hazırlanarak araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Araştırmaları deneysel, teorik ve numerik olarak bütün alanlarda devam etmektedir. Nanoakışkanların karakterizasyonu, termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve genel geçer bir model/formül arayışları ve çalışmaları sonucunda henüz net bir çözüm ortaya konamamıştır [1].

Nanoakışkanların ısı iletim katsayısı, viskozite, taşınım katsayısı, öz ağırlık, özgül ısı ve basınç düşümü parametreleri ile alakalı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Özellikle ısı iletkenlik üzerinde partikül derişimi, sıcaklık, boyut, şekil, temel akışkan ve pH etkileri derinlemesine incelenmiştir. Bazı çalışmalarda yüzey aktifleştiricisi kullanılarak nano partikül eklenmesinden kaynaklı ortaya çıkabilecek sorunlar giderilmeye çalışılmıştır. Çünkü nano boyutta olan partiküllerin çökmesi, bir araya gelmesi veya topaklanması söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte benzer şekilde viskozitede meydana gelen artışın önlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Az sayıda da olsa hibrit nano partikül kullanımı konusunda araştırmalar da yapılmıştır [23].

Nanoakışkanların özellikleri temel olarak şu 5 parametreye dayanır: Termo akışkanlar, ısı transferi, partiküller, koloit ve lubrikasyon. Termo akışkan özellikleri sıcaklık, viskozite, yoğunluk, özgül ısı ve entalpi değerlerini kapsar. Isı transferi ise ısı iletim, ısı kapasitesi, Prandtl sayısı ve basınç düşümünü kapsar. Partikül ise büyüklük, şekil, BET (yüzey alanı analizi) ve kristal faz olarak alt başlıklara ayrılmaktadır. Koloit özellikler ise karışımın kararlılığı, zeta potansiyeli ve pH değerlerinden oluşur. Lubrikasyon açısından ise viskozite, viskozite indeksi, sürtünme katsayısı, aşınma hızı ve üst basınç değerlerine bakmak gerekmektedir [24].

Nanoakışkanlardaki nanopartiküllerin bir araya gelme ve çökme eğilimi vardır. Bunların giderilmesi ve viskozitenin düşürülmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bununla

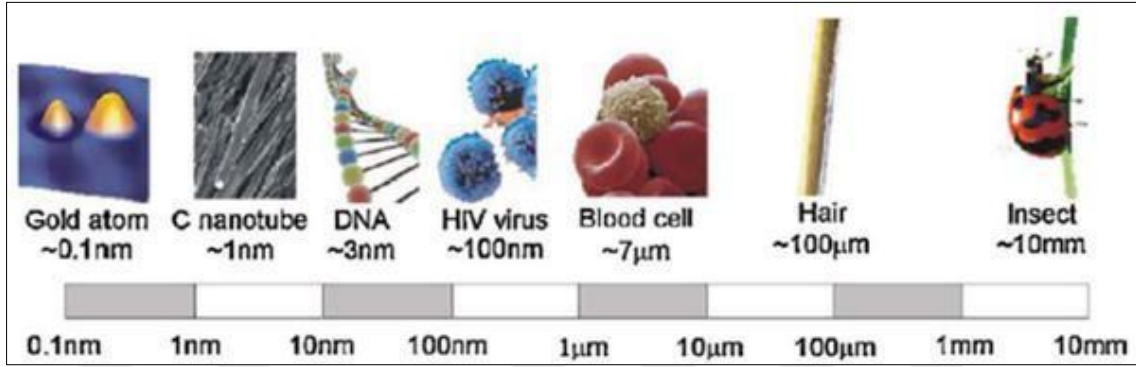
birlikte VTIBGK'lerde farklı nanoakışkanların kullanılması ve literatürde pek rastlanmayan hibrit nano partiküller kullanarak akışkan kullanımı alanında araştırmalar yapılabilir [3].

Nanoakışkanın sentezlenmesi ve kararlılığının korunması önem arz etmektedir. Alan hacim oranı yüksek olduğu için yüksek yüzey gerilmesi sonucunda bir araya gelme ve topaklanma sorunu ortaya çıkabilir. Çökme, akış kanallarını tıkama ve dolayısıyla ısı iletkenliğinin düşmesine yol açabilir. Yüzey aktifleştirici eklenerek sorun giderilebilir ama köpük oluşma ihtimali vardır. Kovalent olmayan işlevselleştirme ile nanopartiküllerin akışkan içinde dağılımı sağlanır. Nanoakışkanların yüksek maliyeti, kararlılık sorunu ve viskozite artışı nedeniyle uygun değer nano parçacık derişim seviyesi belirlenmeli ve bunu yaparken ısı iletkenlik artışı ile viskozite artışı hesaba katılmalıdır [25].

Metal ve metal olmayan nano boyutta parçalar üretmek mümkün olup temel olarak fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki üretim yöntemi vardır. Güneş kolektörlerinde karbon nanotüpler, alüminyum, titanyum dioksit ve gümüş yaygın olarak kullanılmaktadır. Nanoakışkanlar bir veya iki aşama metotları ile üretilmektedir. İki aşama yöntemde önceden üretilmiş olan nano boyutta maddeler akışkan içerisine ultrasonik disrupter veya yüksek basınç homojenizer ile süspansiyon hazırlanmaktadır. Bu yöntem tek dezavantajı zamanla çökme ve bir araya gelme olayıdır. Bunun sebepleri arasında partiküllerin yüksek yüzey enerjisi, Van der Waals kuvvetleri ve yer çekimi vardır [26]. Bu sorunu aşmak adına kararlılık ajanı veya yüzey aktifleştiricisi kullanarak partiküller arasında itme kuvvetleri ortaya çıkarmak gerekir. Yüzey aktifleştiricisi uzun organik molekül olup su ve yağ seven bir yapıya sahiptir. Ayrıca yüzey aktifleştiricisi kullanımı partiküllerin yüzey aktivitelerini ve pH seviyesini değiştirmekle beraber yüzey enerjisini azaltmakta da etkilidir. Yüzey aktifleştiricisi aracılığı ile hidrofilik-hidrofobik karakterler arasında geçiş sağlanması mümkündür. Yaygın olarak kullanılan yüzey aktifleştiriciler: SDBS, Gemini, gum Arabic, CTAB, chitosan ve Triton X-100 [27].

Nanoteknoloji yeni yeni gelişen bir alan olması sebebiyle iş güvenliği ve sağlık açısından tam bir değerlendirme henüz ortaya konamamıştır. Bu nedenle zararsız olduğu ispatlanana kadar tedbirli davranmakta fayda vardır. Nanopartiküllerin vücuda girmesinin üç yolu vardır: Solunum- akciğer sistemi, emme- deri sistemi ve yemek- sindirim sistemi. Hangi limitlerde olumsuz etkiler ve insan sağlığını tehdit eder hale geldiği kesin olarak bilinmemekle birlikte aşağıda sıralanan ciddi rahatsızlıklara yol açabileceği

düşünülmektedir. Sebep olabileceği çeşitli hastalıklar şu şekilde sıralanmaktadır: Akciğer kanseri; bronşit, astım ve nefes darlığı; sinir sistemini bozma (Parkinson, Alzheimer gibi); kan dolaşım sistemi ve kalp rahatsızlıkları; Crohn hastalığı ve karaciğer/kolon kanseri [28].



Şekil 1.5. Nano boyut

Nanoakışkan olarak hazırlanan çözeltilerde yaygın olarak şunlar kullanılır: Alüminyum, Titanyum Dioksit, Karbon nanotüpler, bakır gibi çok çeşitleri olup farklı şekillerde olabilir (küresel, silindirik vb.). Nanoakışkanların ısıl özellikleri iyileştirdiği birçok çalışma ile doğrulanmıştır. Optik özelliklere etkisi de yeni yeni incelenmeye başlanmıştır. Su, güneşten yayılan enerjinin %13'ünü emebilmektedir. Optik özelliklerde iyileşme sağlanarak bu oran kayda değer arttırılabilir. Isıl özelliklerin iyileşmesi ile de daha çok ısı transfer edilebilir [29].

Yapılan birçok çalışmada nanoakışkanların optik özellikleri yeterince incelenmediği kanaatini uyandırmaktadır. Nanopartikül eklenmesi akışkanın optik özellikleri olumlu yönde etkilemektedir. Partikül türü, boyutu, şekli ve derişim optik özelliklerde önemli rol oynamaktadır (saçılma ve emme gibi). Bu optik özelliklerin istenen tarza getirilmesine imkân sağlamaktadır. Bir çalışmada derişimin çok olması yüzeyde emilimin fazla olup kayıplar yaşanmasına az olması da emilimin yapılamamasına yol açtığını ortaya konmuştur [30]. Bu da güneş kolektörlerinde kullanılacak nanoakışkanların özelliklerinin optimum halinin çalışılması gerektiğini açıkça göstermektedir. Saçılma ve emme dışında diğer bir önemli optik özellik ise extinction katsayısıdır. Bu katsayı, karmaşık kırılma indeksinin farazi bir parçası olarak tanımlanmaktadır ve şunlara bağlıdır: Partikül fitratına ve boyutuna, yalıtkan madde sabitine, sıcaklığa ve sistemdeki toplam nanopartikül sayısına.

Nanoakışkanların temel olarak iki yöntem ile elde edilmektedir. İki aşamalı yöntemde öncelikle nano partiküller elde edilerek sonrasında bir temel akışkan içerisinde çeşitli yöntemler kullanılarak istikrarlı bir karışım elde edilmesi hedeflenmektedir. Örneğin, karbon nanotüpler öncelikli olarak elde edilir. Sonra temel akışkan olarak su kullanılarak hazırlanacak olan bir nano çözelti için hidrofobik yüzey özelliklerine sahip olan karbon nano tüpleri hidrofilik hala getirmek için yüzey modifikasyonu gerçekleştirilir. Sonrasında ultrasonik banyo kullanılarak istikrarlı karbon nanotüp nanoakışkanlar elde edilebilmektedir. Bir aşamalı yöntemde ise hem nano boyutta partikül elde edilmesi hem de süspansiyon hazırlanması tek aşamada olmaktadır. Kompleks üretim ekipmanları ve yöntemleri gerekmektedir. Metalik nanoakışkan elde edilmesinde tercih edilmektedir. Yapılan incelemelerde araştırmacıların genellikle iki aşamalı yöntemi tercih ettiği meydana çıkmaktadır.

Stoke kanuna göre nanopartikül boyutu küçüldükçe çökme durumu yavaşlamakta ve kararlılık artmaktadır. Brownian hareketine göre kritik nanopartikül boyutuna yaklaşıldığında sıfır çökme olması beklenmektedir. Tek aşama yöntemiyle üretilen nanoakışkanların kararlılığı yüksek ve topaklanma riski azdır. İki aşama yöntemiyle üretilenlerde ise yüzey enerjisi yüksek olan nanopartiküllerin çökme riski vardır. Kararlılığı ölçmek için UV-vis spektrometre, zeta potansiyeli, TEM ve SEM gibi yöntemler kullanılmaktadır [31].

Nanoakışkanların kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve hâlihazırda aşağıdaki alanlarda tercih edilmektedir [15]:

- Elektronik uygulamalarında soğutma: Çiplerin gücü arttıkça açığa çıkan atık ısı miktarı da artmış ve dolayısı ile soğutma ihtiyacı çoğalmıştır. Teknolojik gelişmeler ile mikro elektronik cihazlar daha da küçülmüş ve yüksek çalışma hızlarına ulaşılmıştır. Bu da ısı yükünde artışa neden olmuştur.
- Kamera, mikro aletler ve ekranlarda: Elektrik alana maruz kaldığında kararlılığını koruyabilen nanoakışkanlar kamera lenslerinde, telefon ekranlarında ve mikro boyutta sıvı içeren cihazlarda kullanılmaya başlanmıştır. Yakın zamanda mikro ve nanoboyutta aktüatörlerde kullanılmaya başlayacağı düşünülmektedir. Sıvı-katı yüzeyler arasındaki kontak açısının nanoakışkan kullanımıyla kontrol edilebilir olması nedeniyle lenslerin

odaklanmasında kullanılmaktadır. Yüksek hızlarda kullanımı ise verimsiz olduğundan tercih edilmemektedir.

- Soğutucularda: Bir çalışmada COP değerinde %5,15 artış sağlanmıştır. Hem donma sıcaklığını düşürmüştür hem de daha kısa sürede istenen soğutma seviyesine gelinmiştir.
- Araç motorlarında soğutma: Motorda ısı yönetimi doğrudan veya dolaylı olarak motor performansını, yakıt ekonomisini, güvenliği, aerodinamiğini, sürüş konforunu, malzeme seçimini, emisyonları, bakımı ve malzeme ömrünü etkilemektedir. Motor ısısı yönetimi daha küçük bir sistem ile sağlanırsa hem aracın ağırlığı azalacak hem de yakıt ekonomisine ve maliyetlerin düşmesine olumlu katkı sağlayacaktır.
- Uzay, savunma sanayi ve gemicilik faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Örneğin; ABD savunma bakanlığı gemilerde elektromanyetik darbeli silah geliştirme programı parçası olarak atıl ısının sistemden uzaklaştırılması için nanoakışkanlar üzerinde çalışma yapmaktadır.
- Petrol arama sektöründe yüksek sıcaklık ve basınç ortamlarında sorunsuz çalışabilecek sensörler geliştirilmesinde, bitümen ve ağır petrolün hareket kabiliyeti kazandırılarak üretimin artmasını sağlamakta ve taşınmasını kolaylaştırmakta, sondaj faaliyetlerinde performans arttırmak ve sondaj süresini kısaltmak başta olmak üzere rezervuardan daha çok petrol kurtarımına kadar bir dizi çalışmalarda nanoakışkan kullanımı deneme aşamasındadır.
- Talaşlı üretimde ve sondaj faaliyetlerinde soğutucu ve kayganlaştırıcı olarak, dizel jeneratörlerde soğutma, güneş enerjisi ile sıcak su temininde, tıp sektöründe kansere karşı yapılan çalışmalarda, antibakteriyel aktivitelerde, nükleer reaktörlerin soğutma ihtiyaçlarında, taşlama aktivitelerin soğutma ve yağlama gibi birçok sektörde kullanımı yaygınlaşmaktadır.
- Isı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanılırken pompalama gücündeki artış ile ısı transfer artışı arasında bir fayda-maliyet analizi yapılması yerinde olacaktır. Bununla birlikte nanoakışkanlar laminer akış durumları için tercih edilmesi verimliliği açısından önemlidir.

Nanoakışkan hazırlanmasında katı parçaların bir araya gelip daha büyük formlar oluşturması istenmeyen bir durumdur. Özel ihtiyaçlara cevap verecek özel akışkanlar geliştirilmektedir. Nanoakışkanların istikrarlı olabilmesi için 3 yöntem önerilmiştir: Karışımın pH değerini değiştirmek, yüzey aktifleştiricileri veya dispersant uygulaması ve ultrasonik titreşim.

Yüksek zeta potansiyeli olan (pozitif veya negatif) daha iyi bir kararlılık olduğu manasına gelmektedir [24].

Nanoakışkanları gelişimi ve yaygınlaşması yönündeki bazı engeller şunlardır: araştırmacıların sonuçları arasındaki tutarsızlıklar, hazırlanan süspansiyonların iyi karakterize edilmemiş olması ve özellikle de nano partikül ilavesi ile akışkan özelliklerindeki değişimleri açıklayan yeterince teorik bilgi bulunmamasıdır. Nanoakışkanlar iki fazlı sistemlerde pek fazla kullanılmamıştır. Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kısımlarında ısı transferinin artacağı ve dolayısıyla sistem verimini arttıracığı yönünden beklentiler vardır.

Nanoakışkanların ticarileşmesinin önündeki en büyük engellerden biri uzun dönem istikrarlı kalamamasıdır. Isıl ve optik özellikleri zamanla değişmekte ve genelde kötüye gitmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda istikrarlı kalabilmesi için çalışmalara ihtiyaç vardır. Brownian hareketi sıcaklıkla beraber artmaktadır. İdeal nanoakışkan hem absorp etme kapasitesi yüksek hem de uzun süre istikrarlı kalabilen akışkandır. Nano partikül eklenmesi ile viskozite artmakta bu da pompa gerektiren sistemlerde güç ihtiyacının artmasına yol açmaktadır. Bu da işletme maliyetinde artışı netice vermektedir. Entropi alanında teorik çalışmalar olsa da deneysel çalışmalar ile daha doğru sonuçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellikle nanopartiküllerin toplanması veya bir araya gelme durumlarından dolayı gerekmektedir; teorik çalışmalarda bu husus dikkate alınmamaktadır.

Birçok çalışmada nanopartikül oranı arttıkça ısıl verimin arttığı dile getirilse bazı çalışmalarda bir limit aşıldığında kötüye gittiği bahsedilmektedir. Bu konunun açıklığa kavuşturulması ve bir optimum değer olup olmadığı ortaya konmalıdır. Dizayn partiküllerin çökme davranışı konusunda önem arz etmektedir. Uygun bir tasarım ile çökme minimize edilerek verim artırılabilir. Bu konuda az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bilimsel çalışmaların hemen hemen tamamında işin ekonomisi (geri ödeme süresi, ilk yatırım veya işletme maliyeti gibi) hususlar göz ardı edilmiş ve neredeyse bu alanda hiç çalışma yapılmamıştır [29].

ASHRAE Standartları 93-2003 kollektörlerin verim hesaplanması için gerek kapalı mekânlarda gerek açık ortamlarda belirli standartları ortaya koyarak ısıl performanslarına göre derecelendirme imkânı sunmaktadır. Düz panel güneş kollektörlerde (DYGK)

nanoakışkan kullanılarak yapılan çalışmaların incelendiği 15 deneysel ve 5 teorik olan çalışmaların sonucunda olumlu etkileri açıkça ortaya konmuştur [25].

Isı borularındaki nanoakışkan çalışmaları üçe ayrılabilir:

- 1) Kılcal kuvvetlerin etkili olduğu ve taşınımın buharlaştırıcı ve yoğuşturucu 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

Nanoakışkan hazırlanırken kullanım süresi, kararlılık, güvenilirlik, ekonomiklik ve kullanım yeri maksadına uygun seçim büyük önem arz etmektedir. Bu alanda daha çok çalışmaya ihtiyaç olduğu ve özellikle çalışma sıcaklığı etkilerinin iyice araştırılması tavsiye edilmektedir.

Bu çalışmada nanoakışkan olarak literatürde örneğine pek rastlanmamış olunan amorf yapıda nanopartiküller ile hazırlanan çalışma akışkanı (Su-TiO₂) ısı borulu güneş kolektörlerinde (VTIBGK) kullanılmıştır. Farklı soğutma suyu debilerinde ısı değiştirici vazifesi gören depodaki suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. VTIBGK ısıtıcı kullanılarak kontrollü deney ortamında enerji girdisini sağlamış olup solarimetre ile sisteme gelen enerji miktarı ölçülmüştür. Deney 3 farklı soğutma suyu debisinde hem nanoakışkan hem saf su durumlarında her koşul için 3 kez tekrarlanarak sonuçların ortalaması alınmıştır. Verim değerleri hesaplanmış ve akışkanlara göre hem ulaşılan en yüksek sıcaklıklar hem de verim değerleri karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Bu da çalışmanın özgünlüğü ve akademik dünyaya sağlayacağı katkıyı ispatlamaktadır. Bu çalışmada ısı boruları, güneş kolektörleri ve nanoakışkanlar hakkında bilgi verildikten sonra bunlardan bir araya gelen sistemin veriminin çalışma akışkanı olarak su kullanılmasına göre avantaj ve dezavantajları deneysel olarak incelenerek ortaya konulacaktır. Bu çalışmada vakumlu ısı boruları ile deneyler gerçekleştirilecektir. İki iç içe geçmiş boru arası vakumlanarak iletim ve taşınım yoluyla sistemden ısı kaybının önünde geçilmesi hedeflenmiştir.

Verilere göre dünya genelinde Bor rezerv miktarının % 72,8'i ülkemizde yer almakta ve en yakın ülke % 7,6 ile Rusya olmaktadır. Bu nedenle Bor ülkemiz için çok önemli ve stratejik

değer arz etmektedir. Borun çok çeşitli kullanım alanları vardır: Tarım, Enerji, Metalurji, Sağlık, Yapı Malzemeleri ve Çimento, Alev Geciktiriciler, Temizleme ve Beyazlatma gibi birçok sektörde kullanılmaktadır [32]. Bir gözden geçirme çalışmasında güneş kolektörler uygulamalarında nanoakışkan kullanılan çalışmalar gözden geçirilmiştir. Isıl iletiminin incelendiği 27 çalışma, viskozitenin incelendiği 11 çalışma ve güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımı ise 9 çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmaların hiçbirisinde VTIBGK alanında ve Bor nanoakışkan kullanılmamıştır [33]. Bu çalışmanın sonuçlarına göre bir sonraki çalışmada Bor içeren nanoakışkanların kullanılması değerlendirilecektir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak çok sayıda bilimsel çalışma son 20 yılda yapılmıştır ve gelecek vadeden bir alan olması sebebiyle de ilgi artarak devam etmektedir. Yapılan hemen hemen bütün çalışmalar ısıl performansın arttığını fakat temel akışkana, seçilen nano malzemeye, derişime, çalışma sıcaklığına, yüzey aktifleştirici kullanıp kullanılmamasına ve kullanılmışsa türüne ve derişimine gibi faktörlere göre farklı oranlarda performans iyileştirmesi sergilendiği ortaya koymuştur. Bununla birlikte uzun dönem kararlılık sorunu, nanoakışkan elde etme zorluğu ve maliyeti, viskozite artışı ve dolayısıyla pompa gerektiren sistemlerde güç talebi artışı ve nano malzemelerin toksik olabileceği gibi hususlar da aşılması gereken sorunlar olarak bildirilmektedir [1]. Isı borulu güneş kollektörlerinde nanoakışkan uygulamalarının incelendiği bir çalışmada her uygulamada verimin arttığı gözlemlenmiştir [28].

Özel tasarlanmış bir açık termosifon uygulamasında de iyonize su ve su bazlı CuO (% 1,2 derişim) nanoakışkan kullanarak suya göre %30 ısı transfer katsayısının yükseldiğini ortaya koymuşlardır [35]. Başka bir çalışmada üç fitilsiz ısı borusundan oluşan iki tane aynı özellikte kollektör imal ederek deneyler yapmışlardır. Birinde normal su diğesinde ise CNT nanoakışkan kullanılarak yapılan çalışmada CNT olan sistem hep daha iyi sonuç vermiştir [35]. Diğere bir çalışmada ise TiO₂-su nanoakışkan kullanılan sistem % 73 verimli iken sadece su kullanılan sistem % 58 verimli bulunmuştur [37].

Bir çalışmada 16, 22 ve 28 mm çapında VTIBGK imal edilerek optimum boru çapı belirlenmesi amaçlanmıştır. Akışkan olarak etanol kullanılmıştır. Her bir ısı borusu içine ısı borusunun toplam hacminin 1/3 oranında akışkan konmuştur. Boru içinde kalan hava vakumlanmıştır. Deponun ısı yalıtımı yapıldıktan sonra ısı borusunun buharlaştırıcı ve adyabatik kısmı (depo dışında kalan) vakum tüp içerisinde yerleştirilmiştir. Eş merkezli konumlandırmak için o-ring kullanılmıştır. Deneylerde çevre hava sıcaklığı, hava dağıtım kollektörü giriş sıcaklığı, her bir kollektör için çıkış sıcaklığı ve o güne ait güneş ışınımı şiddeti ölçülmüştür. Sonuç olarak yeterli miktarda ısı oluşmadığı durumlarda buharlaşma gerçekleşmediğinden sistemin çalışmadığı, akışkanın yeterince ısı atamayıp sıvı fazına dönememe durumunun oluşmaması için ısının transfer edileceği depo kısmına dikkat edilmesi gerektiği ve bu yoğunlaştırıcı kısmında daha hızlı ısı transferi için kanatçıklar gibi

tasarımsal düzenlemelere gidilebileceği belirtilmiştir [38].

Isı borulu kollektörlerin incelendiği bir çalışmada ayrı ve birleşik ısı borularının verimleri deneysel olarak ölçülerek mukayese edilmiştir. Her iki kollektörde de ısı borusu olarak bakır boru ve çalışma akışkanı olarak R-134a kullanılmıştır. Boru çapı 15 mm, sıvı dönüş borusunun çapı 12 mm ve depo içindeki yoğuşma borusunun çapı 25 mm'dir. Isı boruları arasındaki mesafe de 7,2 mm'dir. Saydam örtü olarak 3 mm kalınlığında cam kullanılmıştır. Kollektörlerin yan ve alt kısımlarından meydana gelen ısı kayıplarını önlemek için strafor malzeme ile yalıtım yapılmıştır. Depo malzemesi olarak 2 mm kalınlığında saç kullanılmıştır. Depolardan çevreye ısı kayıplarını önlemek için her iki su deposu yalıtım malzemesi termoflex ile yalıtılmıştır. Sıcaklık ölçümü J tipi termokupl malzeme ile 12 kanallı Elimko-6000 tipi ekipman kullanılmıştır. Güneş radyasyon ölçümünde solarimetre cihazı kullanılmıştır. Sonuç olarak ayrı olan sistemin ısı verimi %48,5 iken birleşik olan sistemin verimi %57,6 çıkmıştır. Bunun sebebi olarak birleşik sistemde ısı transferinin daha iyi gerçekleştiği yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kısımlardaki birliğin transfer hızını arttırdığı düşünülmektedir [39].

Karabük demir çelik fabrikasından demir fırınından alınan cüruf nanoboyuta indirilerek % 2 oranında ağırlıkça suya ilave edilerek nanoakışkan hazırlanmıştır. İki fazlı kapalı termosifon tipi ısı borusunda 1/3 oranında doldurularak 200-300-400 W ısı girişleri ile 5, 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisiyle deneyler yapılmıştır. En yüksek verim artışı % 22 olup 200 W ve 5 g/s koşullarında ortaya çıkmıştır. Nanoakışkan kullanımı ile cidar sıcaklıkları düşmüştür. Örneğin; 300 W ve 5 g/s koşullarında cidar sıcaklığı 72,68 dereceden 66,6 dereceye düşmüştür. Isıl direncin düşmesiyle daha çok ısı transferi gerçekleştirilmiştir. Debinin artmasıyla ısı verim düşmüştür. En çok iyileştirme 200 W ve 5 g/s durumunda suya göre % 21 artışla gerçekleştirilmiştir. Hem verim artışı sağlanmış hem de atık ürün olan cürufun bu en yüksek olduğu % 0,0032 durumunda 12 saniye iken saf su durumunda 32 saniyedir. Yoğuşturucu kısmında cidar sıcaklığı suya göre 4,6-8,3 derece daha fazla olmuştur. Derişimin en yüksek olduğu durumda sıcaklık farkı 4,2 °C iken saf su kullanımında buharlaştırıcı yoğuşturucu arasındaki sıcaklık farkı 12,1 derece olmuştur. Bunun sebebi olarak nanoakışkan kullanılması durumunda ısı direncin düşmesi ve ısı transferinin daha hızlı gerçekleştiriliyor olmasıdır. Isıl direnç düşümü maksimum seviyesine en yüksek derişimde çıkmış ve % 65,29 bir düşüş görülmüştür. Isı borusundaki büyük ısı direnç sıvı-katı arasındaki ara yüzde buhar kabarcığı oluşması sebebiyledir. Kabarcık

büyüdükçe ısı direnç artmaktadır. Katı yüzeyden sıvıya ısı geçişi zorlaşmaktadır. Bu nedenle nanopartikül kullanılması ile kabarcık sayısı azalmakta ve boyutu küçülmekte dolayısı ile ısı verim artmaktadır [40].

Singh ve arkadaşları tarafından nanoakışkan kullanımında entropi üretimi ilk kez incelenmiş ve entropi üretiminde artışa neden olduğu iddia edilmiştir [41]. Bununla beraber bazı araştırmacıların tersinin gerçekleştiği yönünde iddiaları da vardır. Bunlardan birinde Alim ve arkadaşları CuO nanoakışkan kullanarak entropi üretiminin % 4,34 azaldığını ve verimin % 22,15 arttığını iddia etmişlerdir. Gerekli pompa gücünde ise % 1,58'lik bir artış rapor edilmiştir [42].

Isı borularında nanoakışkan kullanımı ile ilk çalışma Chien ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [43]. Bununla birlikte Lu ve arkadaşları ısı borulu güneş kolektörlerinde CuO nanoakışkan kullanarak ilk çalışmayı yapmıştır. % 30 oranında bir ısı performans iyileşmesi rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada optimum doldurma oranı % 60 olarak bahsedilirken derişim % 0,2 CuO olarak belirtilmiştir [13].

Yapılan bir çalışmaya göre emilim ışığın ortamdan geçerken kaybettiği kayıp olarak nitelenmiştir. Hem nanopartiküller hem de akışkan ışığı emmekte iken toplam emilim bu ikisinin ayrı ayrı emilimden farklı olmaktadır. Çünkü eklenen nanopartiküller ışığın güzergâhını değiştirmekte ve bu olaya saçılım denmektedir. Eğer 10 nm altında nanopartikül eklenmişse saçılım etkisi ihmal edilebilir. Bunun haricinde % 0,6 derişimden az olduğu durumlarda da ihmal edilmesi tavsiye edilmiştir. Eğer homojen dağılım gerçeklemişse yine ihmal edilmesi yerinde olacaktır. Başka bir çalışmaya göre extinction katsayısında yüzey plazmon tınlaşımının (rezonansının) etkisi büyüktür. Gelen ışıktan dolayı yüzey elektronunun aydınlanır ve bundan dolayı yapacağı toplam salınım yüzey plazmon rezonansı denmektedir. Bu salınım frekansları aynı olduğu zaman gerçekleşmekte ve pik değerler ortaya koymaktadır [44,45].

Başka bir çalışmada, karbon nanotüplerin nitrik asit ile işlem görmesi akabinde glikol çözeltisi hazırlanmıştır. 200-2500 nm dalga boylarında ışığı emme oranı üst düzey olmuştur. Işık-ısı dönüşüm etkenliği % 18 oranında artmıştır (% 0,5 oranında nanopartikül kullanılmıştır) [46].

Başka bir deneysel çalışmada extinction katsayısını bulmakta Maxwell-Garnett yaklaşımı iyi sonuç vermezken Rayleigh saçılma yaklaşımının isabetli sonuç verdiği bahsedilmiştir [47].

Başka bir çalışma (Al_2O_3) zamanla ve nanopartikül büyüklüğü ile optik özelliklerin değiştiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada TEM (cluster oluşumu ve boyutunu ölçmekte), zetaziser (toplanmaların büyüklüğü ve zeta potansiyelini ölçmekte) ve UV-vis spektroskopisi (optik özellikleri ölçmekte) kullanılmıştır. Sonuç olarak zamanla extinction katsayısının azaldığını (görünür-IR bölgesi arasında) gözlemlemişlerdir. Rayleigh ve Quasi yaklaşımlarının UV bölgesinden optik özellikleri yeterince ortaya koyamadığı sonucuna varmışlardır [48].

TiO_2 ile yapılan başka bir çalışmada (kararlılığı daha düşük) güneş ışınlarını emme kabiliyetinin yüksek olduğu ortaya konmuştur [49]. Başka bir çalışmada Nikel ve Bakır nanopartiküller kullanılmıştır. Extinction katsayısı nikelde daha iyi çıkmıştır. Ayrıca karbon kaplı nikel partiküller ile nikel partiküller kıyaslanmış ve karbon kaplı olan nikelde düşük geçirgenlik ve yüksek extinction katsayısı olduğu ortaya konmuştur. Işınımsal özelliklerin partiküllerin hacimsel oranıyla orantılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Son olarak iyonik bazlı nanoakışkanların güneş kolektörlerinde iyi emme özellikler gösterdiğini sonucunu çıkarmışlardır [50].

MWCNT'lerde yüzey özellikleri modifiye edilerek nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Bu sayede güneş spektrumunda daha çok emilim sağlanmıştır. Glikol içeren çözeltiler su içerenlere göre daha uzun süre istikrarlı kalmıştır. Extinction katsayısı artmış ve düşük sıcaklıklarda bile güneş kolektörlerinde kullanılmasının verimi arttıracığı sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışma hem numerik hem deneysel olarak grafin/iyonik sıvı nanoakışkan kullanılarak yapılmıştır. Geçirgenlik azaltılmış ve yüksek grafin derişimlerinde emilim artmıştır. Örnek olarak, % 0,002 oranında grafin eklenmesi ile extinction katsayısında 5 cm^{-1} artma olmuştur [51].

Başka bir çalışma ise numerik olarak yapılmış ve kompozitlerin yarıçap oranı, büyüklüğü ve derişimini ayarlayarak LSPR (Lokal yüzey plazma rezonansı) bütünüyle istifade edilerek hem görünür hem IR dalga boylarında güneş enerjisi emilimi maksimize edilebilir sonucu çıkarılmıştır [45].

Açık termosifonun ısı performansının ölçülmesinde nanoakışkanlar yüksek sıcaklık vakumlu boru güneş kolektörlerinde kullanılmıştır. Deney kapalı mekânda de iyonize su ve su bazlı CuO nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada doldurma oranı, ana akışkan türü, nanopartikül oranı ve işletme sıcaklığı üzerinde durulmuştur. % 1,2 nanopartikül oranı ile optimum ısı transfer iyileştirilmesi yapılmıştır [52].

Otanicar ve arkadaşları nanoakışkan kullanılan direk emilim güneş kolektörlerinin verimini araştırmışlardır. $3 \times 5 \text{ cm}^2$ panel ve kanal derinliği 140 mikrometre tercih edilmiştir. Kolektörü doldurmak için gerekli nanoakışkan miktarını azaltmak için mikro kanal tercih edilmiştir. Karbon nanotüpler, grafit ve gümüş bazlı nanoakışkanlar test edilmiştir. Nanopartikül eklenmesi ile başta hızlı bir artış olmuş ve nanopartikül arttıkça bu artış devam ederken bir noktadan sonra düşmeye başlamıştır [53].

ASHRAE Standart 86-93 Yousefi ve arkadaşları tarafından kullanılarak düz güneş kolektörlerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Emme alanı $1,51 \text{ m}^2$, 1 ile 3 lt/dk debi, Al_2O_3 nanopartikül oranı % 0,2 ile 0,4 ve yüzey aktifleştiricisi ilavesi ile çalışma yapılmıştır. Anlık verim değerleri ışınım yayılımı, ortam sıcaklığı ve giriş akışkan sıcaklığının değişik kombinasyonları için kaydedilmiştir. Triton X-100 eklenmesi performansı arttırmıştır. % 0,2 Al_2O_3 derişimi için % 28,3 verim artışı kaydedilmiştir. pH değeri nanoakışkanların itme kuvvetlerini belirliyor. İzoelektrik noktasından uzaklaştıkça daha büyük itme kuvvetleri ortaya çıkıyor [54].

Yousefi ve arkadaşları bu noktayı hesaba katarak 3,5, 6,5 ve 9,5 değerleri MWCNT ile deney yapmışlar. pH ayarı için hidroklorik asit ve sodyum hidroksit kullanmışlar. İzoelektrik noktadan uzaklaştıkça verim artmıştır [55].

Başka bir çalışmasında yüzey aktifleştiricisi eklenmesi ile verimin arttığını ortaya koymuştur. Bu alanda yapılan bir çalışma sedimantasyon problemini aşmak için akışkan hızını kontrol etmenin işe yaradığını ortaya koymuş ve böylelikle birikme (deposition) sorunu da azaltılabilmıştır [56].

Düz panel güneş kolektörlerinin kullanıldığı bir çalışmada % 0,05 ağırlıkça bakır nanopartiküller eklenerek % 24 bir iyileştirme sağlanmıştır [57].

Chougule ve arkadaşları fitilsiz ısı borulu güneş kolektörlerinde su ve karbon nanotüp nanoakışkan kullanarak farklı açılarda ve derişimlerde deneyler yapmışlardır. En iyi performans için optimum CNT miktarını belirlemişlerdir [58].

Bir başka araştırmada karbon nano tüpler temel akışkan olarak mineral yağ içerisine % 0,2 ve % 0,3 oranlarında ilave edilerek nano akışkan hazırlanmıştır. Verim iyileşmesi göreceli olarak % 0,2 nano tüp durumu için % 4-5 iken diğesinde % 5-7 arasında gerçekleşmiştir. Araştırmacılara göre bu iyileşmenin temel sebebi Brownian hareketi etkisi ve ısı dağıtım ağlarının oluşmasından kaynaklanmıştır. Isıl köprüler aracılığıyla ısı transferi artarken aynı zamanda Brownian hareketi etkisiyle nano taşıma gerçekleşerek ısı veriminde artış ortaya çıkmıştır. Bu etki ise akışkanın hareketli olduğu durumlarda sabit olduğu durumlara göre kendini daha çok göstermektedir [59].

Yaygın olarak kullanılan nanoakışkanların hazırlanması, karakterizasyonu, özellikleri ve uygulamaları hakkında detaylı bilgi derlenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Alüminyum Nanoakışkanlar: Maliyet açısından en avantajlı ve yaygın kullanım alanı vardır. Ultrasonik karıştırma ile bir kaç dakikada elde edilen çözelti bir araştırma ekibinin deneyi boyunca istikrarlı kaldığı raporlanmıştır [60].

Başka bir araştırmacı ekip yüzey aktifleştiricisi kullanarak ve kullanmayarak elde ettiği çözeltileri 2 saat kadar boru tipi ultrasonik karıştırıcı kullanarak hazırlanmış ve 300 nm altında partiküllerden oluşturularak 1 ay kararlı kaldığı gözlemlenmiştir [61].

Başka bir ekip homojenizer kullanarak 8000 devirde 30 dk sonra elektromanyetik agitator kullanarak 600 devirde 90 dk ve sonra ultrasonik titreşim ile 400 W ve 60 dk işleme tabi tutmuştur. % 0,2 Kitosan (suda çözülebilen) katyonsal dispersant kullanarak oluşturmuştur. 2 hafta sonra % 5 altında çökeltme gözlemleyerek karışımın istikrarlı olduğu sonucunu çıkarmışlardır [62].

Başka bir ekip buharı sıvılaştırarak elde ettiği karışımın kararlılığı için elektro-statik metoduyla beraber birkaç damla hidroklorik asit eklenerek pH değeri ve zeta potansiyeli istenen seviyelere getirilmiştir. pH değeri 3,5-5,0 arasında tutulduğu müddetçe kararlılığın

uzun zaman korunabildiği sonucuna ulaşmışlardır. EG kullanılan çözeltilerde ise sonikasyonun yeterli olduğu sonucunda varmışlardır [63].

Başka bir araştırmacı ekip 170 W ile 4 saat ultrasonikasyon ve 50 Hz ile elektromanyetik karıştırıcı kullanarak hazırladıkları karışımın test periyodu boyunca çökme olmadığını gözlemlemiştir [64].

Alüminyum Nitrit Nanoakışkanlar: Alüminyum Oksite göre 8-10 kat daha iyi ısı iletkenlik ve düşük dielektrik katsayısı (8.15), yüksek elektrik direnci, korozyon ve erozyon dayanımı ve düşük yoğunluğu olan bir maddedir. Bu alanda fazla çalışma yapılmamıştır. Hu ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada önce plazma ark ile gaz fazına geçirilen nano partiküller etanol içerisine hint yağını (kastor) dispersant olarak kullanarak hazırlanmıştır. Ultrasonik homojenizer ile 10 dk işleme tabi tutulmuş ve 2 haftadan uzun süre çökme gözlemlenmemiştir [65].

Çinko Oksit Nanoakışkanlar: ZnO nano partikülleri ile su 1 saat kadar sonikasyondan sonra acac dispersant olarak eklenerek 10 dk daha işleme devam edilmiştir. Kararlılığın 9 ay ile 1 yıl arasında devam ettiğini ve ZnO nano partiküllerin 150 nm'den 80 nm'ye boyutlarının düştüğünü gözlemlemişler [66].

Başka bir çalışmada yığılı bir ZnO partikülleri EG içine 200 W ultrasonikasyon ile dağıtılmış. Zamana göre dağılımı incelenmiştir. 459 nm'den 91 nm'ye 4 ile 60 saat arasında indiğini görmüşler. Devam edip 100 saate çıkınca parça boyutlarının tekrar artarak 220 nm seviyelerine ilerlediğini gözlemlemişler. Optimum süre olarak 60 saati belirlenmiş ve hazırlanan çözeltilerde 30 gün boyunca çökme gözlemlenmemiştir [67].

Titanyumdioksit Nanoakışkanlar: Bir üretici tarafından yapılan çalışmada sonikasyondan sonra bile nano partiküllerin büyük toplanmalar 140 nm boyutlara ulaştığı gözlemlenmiş. Daha sonra başka bir araştırmacı ekip mekanik karıştırma ve sonikasyona tabi tutmuş (25 KHz ve 48 saat). Ultrasonik işlemin daha iyi sonuç verdiği ve çözeltinin 1 aydan fazla istikrarlı kaldığı gözlemlenmiştir [68].

Üç farklı kristal halde bulunup bunlardan brokit kararsız bir yapıda olması nedeniyle endüstriyel kullanımı yok denecek kadar azdır. Bununla birlikte anatez ve rutil çok kararlı

yapıda olup başta beyazlatıcı olmak üzere yaygın kullanıma sahiptir. Zehirli bir yan etkisi olmadan süper beyazlatıcı, güçlü renklendirme, harika kaplama tozu, sağlamlık, ısı direnci ve kararlı kimyasal yapıları nedeniyle tercih edilmektedirler [69].

Silisyum Dioksit Nanoakışkanlar: SiO_2 nanopartiküller saf su ile 90 dk boyunca ultrasonikasyona tabi tutulmuştur ve sonuç olarak 72 saat boyunca gözle görülür çökme olmamıştır [70].

Yapılan başka bir çalışmaya göre zeta potansiyelinin karışımın pH seviyesi ile alakalı olduğunu ortaya koymuştur: Al_2O_3 için 60 mV ve SiO_2 için 30 mV şeklinde ölçülmüştür ve bu değerler kararlılığın iyi olduğunu göstermektedir. Görselleştirme fotoları ve Tyndall etkisi kullanılarak yapılan dispersiyon analizi sonuçlarına göre çökme olmadığı ve dağılımın iyi olduğu ortaya konmuştur [71].

Demiroksit Nanoakışkanlar: Birçok çalışmada nanopartiküllerin sentezlenmesi kimyasal çökeltme ile elde edilmiştir. Ölçüm değerleri sonucunda zeta potansiyeli -41,7 mV ve pH=12,8 olarak ölçülmüştür. Bu da hem dağılımın iyi olduğu hem de kararlılığın korunduğunu göstermektedir. Nanoakışkan 30 dk boyunca ultrasonik işlemciye 20 kHz ve 700 W tabi tutularak gliserin içerisinde çözünmesi sağlanmıştır [72].

Bakır Nanoakışkanlar: Bakırın yüksek korozyon dayanımı tercih edilen bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Bakır nanopartiküller püskürtme (sputtering) metodu kullanılarak hazırlanmıştır. Su-su karışımında %9 oranında SDS anyonik yüzey aktifleştiricisi kullanılarak ultrasonik banyoda 10 saat kalmıştır. 10 saatin sonunda bile bazı toplanmalar görülmüştür. 1 aydan uzun süre karışım istikrarlı kalmamıştır. Kararlılığın pH değerine, sonikasyon süresine, yüzdesine, nanoakışkan boyutuna ve türüne, ana akışkana, yüzey aktifleştiricisine ve nanoakışkan üretim metoduna dayandığı yapılan çalışmada belirtilmiştir [73].

Karbon Nanotüp Nanoakışkanlar: Nanopartiküller küresel veya silindirik olabilmektedir. Silindirik olan karbon nanopartikülleri karbon nanotüpleri olarak isimlendirilmektedir. MWCNT olarak tabir edilen türde ise iç içe geçmiş eş merkezli tüplerden oluşmaktadır. Ana akışkan içerisine bunun dağıtılması zor bir işittir. Yüksek boyut oranı ve karbon yüzeyler arasındaki güçlü Van der Waals kuvvetleri çözünmeyi sulu ortamlarda çözülmesini

zorlaştıran unsurlardır. CNTs hidrofobik olup normal koşullarda su içinde çözülmezler. Bunu aşmak için biri kimyasal diğeri ise mekanik olmak üzere iki yöntem vardır. Yüzey aktifleştiricisi kullanımı da dispersiyona olumlu katkı sağlamaktadır. SDS, SDBS, CTAB ve Nanoperse AQ gibi yüzey aktifleştiriciler kullanılmaktadır. GA ve CTAC da kullanılmaktadır. CNTler birçok araştırmacının yüksek ısı iletim katsayısı ve yüksek boyut oranından dolayı tercih edilmektedir. CNTlerin dayanımı ve sertliği çeliğe göre 1000 kattan fazla ve iletimi bakırdan daha iyidir [24].

Bir araştırmacı ekip tarafından CNT yüzeyi nitrik asit kullanılarak modifiye edilmiş 120 derecede kaynatılmıştır. Sonra deiyonize su ile yıkanarak suda yüzer hale pH değeri 7 olduğu noktada gelmiş ve 55 derecede kurutulmuştur. Bu aşamadan sonra direk olarak ana akışkan içine eklenmiş 2 saat boyunca 100 kHz ultrasonik yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. CNTs'lerin amonyak içerisinde çok iyi dağıldığı gözlemlenmiştir [74].

Altın ve Gümüş Nanoakışkanlar: Multi-pulse lazer ablasyon kullanılarak hazırlanan karışımda dispersant kullanılmamasına rağmen kararlılık korunmuştur. Sentezlenmesi kolay ve birçok biyolojik molekül ile kolayca bir araya gelebilir olması bu iki elementi popüler kılmıştır. Ultrasonik banyo kullanılarak hazırlanan çözelti 48 saat sonunda dahi kararlılığını korumuştur [75].

Hibrit Nanoakışkan: İki farklı nanoakışkanın üstün yönlerini kullanmak için bir araya getirilmesi ile elde edilen nanoakışkanlara bu isim verilmektedir. Bir araştırma ekibi mekanik-kimyasal yöntem kullanarak iki farklı yoldan bakır-alüminyum oksit nanopartikülleri sentezlemiştir. Nanokristal alüminyum-bakır hibrit toz şu şekilde elde edilmiştir: sprey-kurutma, öncü toz ile oksidasyon, hidrojen atmosferinde redüksiyon ve homojenizasyon [76].

Nanoakışkanlar kullanılarak yapılan literatürdeki çalışmaların büyük bir çoğunluğu bu on kategoriden birisine girmektedir. Bu ve benzeri çalışmalar sonucunda sonikasyon süresi, yüzey aktifleştiricisinin optimum değeri ve pH değerleri homojen ve uzun dönem kararlı kalabilen karışımlar elde etmek için önemlidir. Nanokışkan hazırlanmasın yüzey aktifleştiricisi kullanımı uzun dönem kararlılık için önemli bir unsurdur. Yüzey aktifleştiricilerin sıcaklıkla değişen davranışının etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bazı araştırmalar zeta potansiyelinin etkisi konusunda yeterince bahsetmemiştir. Düşük maliyetle

yüksek kararlılığı olan nanoakışkan elde edilmesi konusu hala araştırmaya değer bir konudur.

Nanoakışkanların Karakterizasyonu: En çok kullanılan teknikler şunlardır: SEM, TEM, XRD, FT-IR, DLS, TGA ve zeta potansiyel analizleri. SEM analizi mikro yapıyı incelemekte ve nanopartiküllerin veya nanoyapı materyallerin morfolojisini incelemekte kullanılmaktadır. TEM, SEM'e benzer fakat daha yüksek çözünürlük değeri vardır. XRD resimleri nanopartiküllerin kristal yapısının tanımlanmasında ve çalışılmasında kullanılmaktadır. FT-IR spektroskopi yüzey kimyasının çalışılmasında kullanılırken; DLS analizi ise nanopartiküllerin ortalama dağılım boyunu belirlemekte kullanılır. TGA ise nanopartiküllerin ısıtma ve erimesinin termal kararlılığını inceler. Zeta potansiyeli analizi ise ana akışkan içerisinde nanopartiküllerin homojen dağılıp dağılmadığını ortaya koymaktadır. Farklı araştırmacılar farklı teknikler kullanmışlar ve bu konuda henüz bir standart oluşmuş değildir [77,78,79,80].

Isı transferinde asıl belirleyici olan unsur taşımadır. Nanoakışkanların termo fiziksel özellikleri (yoğunluk, özgül ısı, ısıl iletkenlik ve viskozite) bilinmelidir. Bunu başarmak adına çok modeller geliştirilmiş olsa da parametrelerin çokluğu nedeniyle kapsayıcı bir model geliştirilememiştir. Termo fiziksel özelliklerden ısıl yayılım ve yüzey gerilmesi hariç olacak şekilde bireysel etkileri aşağıda irdelenmiştir [23].

Yoğunluk: Nanoakışkanların yoğunluğunu belirlemek için boyut olarak 1-100 nm, sıcaklık olarak 5-60 °C ve derişim olarak % 0-0,5 olacak şekilde çalışmalar yapılmıştır. Aşağıdaki formül yoğunluk belirlemede % 0,6 sapma ile kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

$$\rho_{nf} = (1 - \phi_p) \rho_{bf} + \phi_p \rho_p$$

Özgül Isı: Bu konuda yapılan çeşitli çalışmalar ve bazı birbiriyle çelişen ifadeler olsa da alttaki denklem küçük sapmalarla kabul edilebilir.

$$c_{p,nf} = \frac{(1 - \phi_p) \rho_{bf} c_{bf} + \phi_p \rho_p c_p}{\rho_{nf}}$$

Isıl İletkenlik: Isıl iletkenliğe katkısı olan farklı parametreler olması sebebiyle her biri tek tek incelenmiştir: Nanopartikül derişimi, sıcaklık, boyut, şekil, temel akışkan türü, nanopartikül türü ve pH etkisi. Bu etkilerin bir kısmını veya çoğunu dikkate alarak çeşitli modelleme çalışmaları yapılmış ve bunlardan bazılarının doğruluğu deneysel çalışmalar ile doğrulanmaya çalışılmıştır [81,82,83].

Nanopartikül derişimi arttıkça bazı mikroskobik fenomenlerin etkisi ile ısıl iletkenlik artmıştır. Bu etkenler şu şekilde özetlenebilir: Partikül dinamik etkisi ile nanopartikül üzerindeki sıvı katmanları ve partiküllerin bir araya gelmesi. Sıcaklıkla ısıl iletkenliğin nasıl geliştiği konusunda sınırlı sayıda çalışma varsa da yüksek sıcaklıklarda nanoakışkan kullanımı araştırmaları devam etmektedir. Yapılmış olan araştırmalardan sıcaklıkla beraber ısıl iletkenliğin arttığı sonucuna varılmıştır. Bunun temel sebebi olarak Brownian hareketi gözükmemektedir (mikro taşınım artar ve viskozite azalır). Boyut küçüldükçe, yüzey alanı/hacim oranı büyümesinden kaynaklı ısıl iletkenliğin arttığı kaydedilirken bazı çalışmalara 10 nm altındaki parçalarda azalma gözlemlendiği rapor edilmiştir. Isıl iletkenliği artışına gerekçe olarak kuantum titreşim enerjisi de gösterilmiştir. Morfolojiyi veya en-boy oranını inceleyen az sayıda çalışma vardır.

Mevcut deneysel çalışmaların sonucundan büyük uzunluk/çap oranı olan maddelerde ısıl iletim daha fazla olduğu gözükmemekte bunun da yüzey alanının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Araştırmacılar, saf suya kıyasla glikolde daha yüksek ısıl iletkenlik artışı gözlemlenmiştir. Buradan hareketle ısı iletim artışının temel akışkandan ziyade içinde çözünen nanopartiküllerle alakalı olacağı sonucuna varılmıştır. Kararlı nanoakışkanın zeta potansiyeli +/- 40-60 mV olursa daha iyi ısı transfer özellikleri gözlemlenebilir. Dolayısıyla optimum pH ve yüzey seçimine bağlı olarak kuantum transport ile alakadar olarak efektif yükten kaynaklı daha iyi ısıl iletkenlik elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Nanopartiküllerin ısıl iletkenlik üzerinde ciddi etkisi vardır. Nanopartiküllerin uniform dağılımı ile beraber çökelme olmazsa ısıl iletkenlik iyileştirmeleri uzun süre korunabilir. Nanopartiküllerin yüzeyindeki itme kuvvetleri pH değeri ile izoelektrik noktadan uzaklaştıkça beraber artmaktadır. Bu etki mikro taşınımı tetiklemekte ve ısı transferini arttırmaktadır. Araştırmacıların pH etkisi ile farklı sonuçlar bulmalarının sebebi farklı pH değerlerinde sıcaklık gradyanının oluşması olabilir [23].

Gözlemlenen ısı iletkenliğin artışı ı açıklamak adına ortaya atılan fikirler 2 ana grupta toplanabilir: Statik mekanizmalar; nanotabakaların mikroskobik tabakaları, ara yüzey direnci, toplanma ve süzölme ve dinamik mekanizmalar; rastgele hareketler (Brownian hareketi ve mikro-taşınım). Modelleme çalışmaları iki grupta toplanmıştır: Matematiksel modelleme tezler üzerine ve yarı-deneysel modelleme (teorinin deney sonuçlarıyla beraber irdelenmesi). Matematiksel modellemeler deneysel sonuçlardan kabul edilebilir limitlerin üzerinde farklılık göstermesi nedeniyle işe yaramadığı sonucuna varılmıştır. Deneysel modellemeler, sıcaklığın ve derişimin fonksiyonu olarak ortaya konmuş ve sadece kullanılan nanoakışkan için geçerli olup diğer modellerle karşılaştırma imkânı vermemektedir [84,85,86,87,88,89]. Bu da açıkça bu alanda genel geçer bir model konması için daha çok çalışma yapmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Viskozite: Isıl iletkenlik iyileştirmesi çözümleri beraberinde viskozite artışı kaynaklı toplam ısı transferini düşürücü etki yapma durumu nedeniyle bir optimum çözüm bulunması gerekmektedir. Viskoziteyi etkileyen parametreler farklı farklı olması sebebiyle her biri ayrı ayrı incelenmiştir. Birçok araştırmacı nanopartikül derişiminin artması ile birlikte viskozitenin arttığını ortaya koymuştur [90].

Yapılan bir çalışmada Al_2O_3 (47 ve 36 nm) % 3 oranında eklenmesi ile viskozite % 27 ve % 44 değerlerinde artış göstermiştir [91]. Sıcaklıkla birlikte viskozitenin düşmesi dolayısıyla nanoakışkanların yüksek sıcaklıklarda kullanımı ısı verimin artacağı ve konsantrasyonla artan viskozitenin bu şekilde iyileştirilebileceği düşünülmektedir [92].

Nanopartikül boyutunun etkisi konusunda epey çalışma yapılmış olmasına rağmen araştırmacıların sonuçları birbiriyle çelişir durumdadır. Parça boyutu ile viskozitenin arttığını savunanlar olduğu gibi düşüğü sonucunu çıkaranlar da vardır [93,94].

Hatta bazı araştırmacılar da bütünüyle bağımsız olduğunu deneyleri sonucunda ortaya koymuştur [95]. Bu derece farklılık göstermesine ve çelişkilere deney düzenekleri ve ölçümleme zorluklarının neden olduğu düşünülmektedir [96].

Partikül şeklinin viskozite üzerine belirleyici etkisi vardır. Bu da ısı değiştiricisi pompa gücünü doğrudan etkilemektedir. Bir araştırmada dikdörtgen boyutlu ZnO kullanılarak viskozitenin % 77 arttığı gözlemlenmiştir [97]. Başka bir araştırmada çubuk şeklinde

olanların poligonal olanlara göre daha düşük viskozite değerlerine sahip olduğu ortaya konmuştur [98].

Yüzey oranı yüksek olan nanopartiküller akışkan içerisinde dominant hale geldikçe viskozite artmaktadır. pH değeri kararlılık ve nanoakışkanın homojenliği üzerinde etkili olarak viskoziteyi etkilemektedir. SiO₂ ile yapılan bir araştırmada (7,12,16,20 ve 40 nm) boyutlarında nanopartiküller %0,1-%2 arasında farklı derişim oranlarında pH değerleri 2-7 arasında test edildiğinde: pH değerleri 5-7 arasında iken daha yüksek viskozite değerleri gözlemlerken 20 nm ve üzeri durumlarda pH etkisi ile viskozite değeri değişmemiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda pH değerinin ciddi seviyede viskoziteyi etkilediği izoelektrik nokta ve sıcaklığın da önemli etkileri olduğu sonucuna varılmıştır [99].

Viskozite değeri için geliştirilen bir çok model vardır ve bu modeller partikül çapı, sıcaklık ve konsantrasyon ile viskozite arasındaki ilişkiyi net olarak ortaya koyamamıştır. Bu nedenle geliştirilen deneysel modeller parça boyutu ve sıcaklık ile viskozite ilişkisini ortaya koymuşsalar da konsantrasyon kısmı yetersiz kalmıştır. Sonuç olarak bu alanda daha çok bilimsel çalışmaya ihtiyaç vardır.

Bir çalışmada ilk defa farklı olarak yatay bir tank içerisine spinal boru yerleştirmek suretiyle Al₂O₃ / saf su nano akışkanı kullanılarak 18 adet borosilikat cam vakumlu tüp 100 lt olan yatay tanka bağlanmıştır. VTIBGK' lerde Al₂O₃/saf su nano akışkanı kullanılmıştır. Hacim oranları % 0,03 ve % 0,06, nanopartikül boyutu 40 nm olmak üzere yüzey aktifleştiricisi olarak Triton X-100 kullanılmıştır. Spinal ısı değiştiricisi içerisindeki debi 20 lt/saat, 40 lt/saat ve 60 lt/saat olacak şekilde çalışılmıştır. En yüksek verim olan % 57,63 verime, % 0,06 hacim oranı ve kütleli debi olarak 60 lt/saat koşullarında gerçekleşmiştir. Al₂O₃ Nanoakışkan Hazırlanması için iki aşamalı yöntem kullanılmıştır. Nanopartiküllerin karakterizasyonu için XRD ve FESEM kullanılmıştır. X-ray Diffraction 1°/dk'dan 5°-70°'e kadar 40 kV/40 mA koşullarında analiz yapılmıştır. Kullanılan malzeme doğrulanmıştır. Kollektör verimi şu unsurlara bağlıdır: Kollektörün tasarımı, güneş enerjisi etkileri (ışınım şiddeti, yayılma oranı ve geliş açısı), ortam koşulları (ortam sıcaklığı, rüzgâr durumu ve hava sıcaklığı) ve işletme koşulları (akışkanın giriş sıcaklığı, akışkanın debisi ve ısı özellikleri, kollektörün eğimi ve yerleşimi). Çözeltinin kararlılığını koruması iyonik özelliklerine bağlıdır. İyonik özellikler arttıkça çökelme ihtimali ve oranı artmaktadır.

Nanopartiküllerin hacim oranı arttıkça akışkanın ısı kapasitesi düşmüş fakat ısı transfer katsayısı artmıştır [100].

Yapılan bir çalışmada BN nanoakışkanların ısı sistemlerde kullanılıp kullanılmayacağını anlamak için ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Bornitrit (BN) nanoakışkanların sentezlenmesi deiyonize su temel akışkan olarak tercih edilerek iki aşama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. BN tozu (100 nm) bilya makinesi içine konularak (1:10 kütle oranında) 60 saat boyunca çalıştırılmış ve 80 nm nano partikül imal edilmiştir. Daha sonra 1 saat boyunca manyetik karıştırıcı ve sonrasında 2 saat boyunca sonik banyoya bırakılmıştır. Morfolojisi için SEM, TEM ve XRD yöntemlerinden faydalanılmıştır. Isı iletim ve özgül ısı için bir ekipmandan faydalanılmıştır. Kararlılığı için zeta potansiyeli ölçülmüş ve UV-vis Spketroetre kullanılmıştır. BN nanoakışkanın özellikleri yüzey aktifleştiricisi kullanmadan ve kullanarak ve % 0,001-0,1 derişimlerde kararlılığı çalışılmıştır. Yüzey aktifleştirici kullanımının BN nanoakışkan özelliklerini nasıl etkilediği incelenmektedir. % 0,001 ile % 0,1 hacim oranları yüzey aktifleştirici kullanarak ve kullanmayarak 2 saat boyunca sonikasyona tabi tutulmuştur. Yüzey aktifleştiricisi kullanılmayan durumda (zeta potansiyeli ölçülerek) daha istikrarlı olduğu sonucuna (her ne kadar literatürde diğer nanoakışkanlarda durum tam tersi olsa da) varılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kullanılmadığı durumda izoelektrik noktası olan 9,25'ten uzak -40 mV ve üzeri değerler elde edilmiştir. Bu da karışımın istikrarlı olduğunu göstermektedir. Derişim % 0,1'e kadar çıktığında pH değeri % 8,69 artmış yüzey gerilmesi % 7,2 düşmüş ve elektrik iletkenliği 1,1032 mS/cm artmıştır. Derişim arttıkça ısı iletkenlik katsayısı sürekli artmıştır. Derişim % 0,1'e kadar çıktığında Prandtl sayısı % 13,95 düşmüştür. Isı transfer katsayısı derişim % 0,00373 oranında arttığında % 7,09 oranında artmıştır [101].

Isı borularında nanoakışkanların yüksek ısı performanslarının faydalı olacağı düşünülerek ilk çalışma 2003 yılında yapılmıştır. O zamandan 2012 yılına kadar 30 civarında çalışma yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda bu çalışmalar özetlenmiştir [102]:

Çizelge 2.1. Isı borularında nanoakışkanların yüksek ısı performansları

"Type and shape of heat pipe	Researcher	Working liquid type (nanoparticle size and optimal concentration)	Effect
Miniature micro-grooved	Disk shaped Chien et al. [10] (2003)	Au-water (17 nm)	+
heat pipe	Cylindrical Wei et al. [14] (2005)	Ag-water (10 nm, 0,01 wt%)	+

Çizelge 2.1. (devam) Isı borularında nanoakışkanların yüksek ısıl performansları

	Cylindrical	Kang et al. [15] (2006)	Ag-water (35 nm, 0,01 wt%)	+
	Cylindrical	Yang et al. [17] (2008)	CuO-water (50 nm, 1,0 wt%)	+
	Cylindrical	Liu and Lu [16] (2009)	CNT-water (diameter:15 nm, length:5-15 μ m, 2,0 wt%)	+
	Flat	Do KH and Jang SP [13] (2010)	Al ₂ O ₃ -water (38,4 nm, 0,8 wt%)	+
	Cylindrical	Shafahi et al. [11] (2010)	CuO-water, Al ₂ O ₃ -water, TiO ₂ -water	+
	Disk shaped	Shafahi et al. [12] (2010)	CuO-water, Al ₂ O ₃ -water, TiO ₂ -water	+
	Cylindrical	Liu et al. [18] (2010)	CuO-water (50 nm, 1,0 wt%)	+
	Cylindrical	Wang et al. [19] (2010)	CuO-water (50 nm, 1,0 wt%)	+
Mesh wick heat pipe	Cylindrical	Tsai et al. [20] (2004)	Au-water (21 nm)	+
	Cylindrical	Liu et al. [21] (2008)	CuO-water (50 nm, 1,0 wt%)	+
	Flat	Chen et al. [22] (2008)	Ag-water (35 nm, 0,01 wt%)	+
	Cylindrical	Do et al. [23] (2010)	Al ₂ O ₃ -water (30 nm, 2,4 wt%)	+
	Cylindrical	Liu et al. [24] (2011)	CuO-water (50 nm, 1,0 wt%)	+
Sintered metal wick heat pipe	Loop heat pipe	Riehl. [26] (2006)	Ni-water (40 nm, 3,5 wt%)	-
	Cylindrical	Kang et al. [25] (2009)	Ag-water (10 nm, 0,01 wt%)	+
Oscillating heat pipe	Close loop OHP	Ma et al. [27] (2006)	Diamond-water (20 nm and 40 nm, 2,2 wt%)	+
	Close loop OHP	Ma et al. [28] (2006)	Diamond-water (20 nm and 40 nm, 2,2 wt%)	+
	Close loop OHP	Shang et al. [29] (2007)	Cu-water (25 nm, 0,45 wt%)	+
	Close loop OHP	Lin et al. [30] (2008)	Ag-water (20 nm, 0,1 wt%)	+
	Close loop OHP	Park and Ma. [31] (2007)	CuNi-water (40-150 nm, 8,8 wt%)	+
	Close loop OHP	Qu et al. [32] (2010)	Al ₂ O ₃ -water (56 nm, 0,9 wt%)	+
	Close loop OHP	Bhuwaktiekumjohn and Rittidech [33] (2010)	Ag-ethanol	+
	Flat-plate closed loop OHP	Cheng et al. [34] (2010)	Diamond-acetone (2 nm, 0,33 wt%)	+
			Au-water (3 nm, 0,006 wt%)	+
			Diamond-water (2 nm, 2,6 wt%)	-
Closed two-phase thermosyon	Cylindrical	Peng et al. [35] (2004)	Al-water (30 nm, 7,8 wt%)	+
	Cylindrical	Xue et al. [36] (2006)	CNT-water (15 nm, 2,2 wt%)	-
	Cylindrical	Liu et al. [38] (2007)	CuO-water (30 nm, 1,0 wt%)	+
	Flat	Liu et al. [37] (2007)	CuO-water (15-50 nm, 1,0 wt%)	+
	Cylindrical	Khandekar et al. [40] (2008)	Al ₂ O ₃ -water (40-47 nm, 1,0 wt%), CuO-water (8,6-13 nm, 1,0 wt%), Iaponite clay-water (25 nm, 1,0 wt%)	-
	Cylindrical	Naphon et al. [41] (2008)	Ti-alcohol (21 nm, 0,57 wt%)	+
	Cylindrical	Naphon et al. [42] (2008)	Ti-refrigerant R11 (21 nm, 0,31 wt%)	+
	Cylindrical	Nose et al. [43] (2009)	Al ₂ O ₃ -water (20 nm, 3,0 wt%)	+
	Cylindrical	Liu et al. [39] (2010)	CNT-water (15 nm, 2,0 wt%)	+
	Cylindrical	Parametthanuwat et al. [44] (2010)	Ag-water (<100 nm, 0,5 wt%)	+
	Cylindrical	Parametthanuwat et al. [45] (2010)	Ag-water (<100 nm, 0,5 wt%)	+
	Cylindrical	Huminc et al. [46] (2011)	Iron oxide-water (4-5 nm, 20% wt%)	+
	Cylindrical	Huminc et al. [47] (2011)	Iron oxide-water (4-5 nm, 20% wt%)	+ ³

Yapılan başka bir çalışmada, Hekzagonal Bor Nitrit (hBN) yüksek kararlılıkta yalıtkan seramik malzeme olup ısıl iletkenliği ve kimyasal inert olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Hekzagonal kristal yapısı nedeniyle BN'ler arasında en yumuşak formdur. Yapılan çalışmada, nBN nanoakışkan hazırlanırken saf su, saf etilen glikol ve %50 su-EG karışımı kullanılarak hazırlanması, kararlılığı ve termo fiziksel özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Ortalama boyutu 70 nm olan istikrarlı hBN nanoakışkanlar SDS ve PVP yüzey aktifleştiricileri kullanarak ve ultrasonikasyona tabi tutularak hazırlanmıştır. Yüzey aktifleştiricisi kullanımının termo fiziksel özelliklere etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kararlılık ölçümü için zeta potansiyelinden yararlanılmıştır. Morfoloji karakterizasyonu için SEM ve TEM kullanılmıştır. % 0,03 ile % 3 arasında derişimlerin viskozite dahil olmak üzere etkileri deneysel olarak incelenmiştir. % 1 civarında hBN kullanım durumunda 10 güne kadar kararlı kaldığı gözlemlenmiştir. Daha uzun kararlılık süreleri için yüzey aktifleştiricilerinde faydalanılabilir. hBN-su nanoakışkanında STEM görüntüsüne göre hem polidispersite hem de yerel bir araya gelmeler gözlemlenmiş ve bunların ısı iletimine olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Derişim arttıkça ısıl iletkenlik ve viskozite artmaktadır. %3 hBN içeren nanoakışkan için ısıl iletkenlik % 26 seviyelerine kadar artarken bu durumda viskozite artışı % 22 civarında ölçülmüştür [103].

Başka bir çalışmada BN/EG nanoakışkanların ısıl iletkenlikleri geçici sıcak tel metodu ile ölçülmüş ve 2 olağandışı durum gözlemlenmiştir. Birincisi düşük derişimlerde daha yüksek ısıl iletkenlik oluşması diğeri ise 140 nm nanopartikül kullanılan akışkanın 70 nm nanoakışkana göre ısıl iletkenlik iyileşmesinin daha fazla olmasıdır. Yüksek çözünürlüklü (HR) TEM ile bunun sebebi araştırılmıştır. Düşük derişim olan (% 0,025) BN/EG nanoakışkanın morfolojisine bakıldığında zincire benzer serbest topaklanma gözlemlenirken % 0,2 derişim (çok olan) nanoakışkanda buluta benzer birleşik topaklanma gözlemlenmiştir. Brownian hareketinde katı parçacıkları sıvı içerisindeki hareketi esnasında katı-katı ısı iletimi bu olağan dışı durumun sebebi olabilir. Düşük derişim olan nanoakışkanda üç boyutlu ısı transfer ağı oluşmakta bu da Brownian hareketi etkisiyle daha hızlı ve uzun ısı akış yolları oluşturmaktadır. Derişimi % 0,025 olan nanoakışkanın 120 gün sonra derişimi ölçülerek % 0,017 olarak belirlenmiştir. Bu kararlılığın iyi olduğunu göstermektedir. Dispersant kullanımı ile kararlılık daha da iyileştirilebilir [104].

Termosifon tipte ısı borularında film buharlaşma ve havuz kaynama ısı transferinde etkili olmaktadır. Yoğuşturucuda sıvılaştıran akışkan yerçekimi ile buharlaştırıcı kısmına dönmektedir. Nanopartiküller çekirdeklenme bölgeleri ve buhar balon bombardımanı oluşmasını sağlayarak ısı transferini arttırmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda ısıl

direnç düşüşü en çok % 81 (gümüş nanopartikül ve su temel akışkan) ve % 60 (CuO nanopartikül ve su temel akışkan) durumlarında rapor edilmiştir. Isıl iyileştirme sebepleri arasında azalan yüzey gerilimi ile ıslanabilirliğin artması ve çekirdek kaynama artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Derişime bağlı olarak bir optimum dolum oranı olduğu düşünülmektedir. Bir kısım çalışmalarda nanoakışkan kullanılmasına bağlı olarak temel akışkana göre daha kötü sonuçlar rapor edilmiştir. Sebep olarak da buharlaştırıcı kısımda nanopartikül birikmesi su buharını azaltmış ve toplam ısıl direnç artması rapor edilmiştir. Bazı çalışmalarda ise optimal derişimden uzaklaşılması ve çevrimin sürekli olarak devam etmemesinden kaynaklı olarak çökelme olması ısıl direnci arttırmakta ve ısıl verimi düşürmekte olduğu rapor edilmiştir. Hatta nanopartiküllerin bir araya gelerek büyük partiküllere dönüşmesinin de olumsuz etkilerinden bahsedilmiştir. Isı borularında nanoakışkan kullanımına dair yapılan 28 çalışma gözden geçirilmiştir. Isı borularında nanoakışkan kullanımı ile sınırlı sayıda analitik ve sayısal modelleme çalışması olduğu tespit edilmiştir [105].

MgO/su nanoakışkanın iki fazlı kapalı sistem termosifon tipi ısı borusu performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Triton-X 100 yüzey aktifleştiricisi olarak kullanılmıştır. 1/3 oranında doldurulan ısı borusu üç farklı ısı (200-300-400 W) girişi durumunda ve üç farklı debide soğutma suyu (5, 7,5 ve 10 g/s) ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İyileştirme oranı en yüksek % 26 olarak 200 W ısı girişi ve 7,5 g/s soğutma suyu kullanıldığı durumda gerçekleşmiştir. Cidar sıcaklıkları suda yüksek MgO'da ise daha düşük olmuştur. Ayrıca buharlaştırıcı-yoğusturucu arasında sıcaklık farkı da MgO'da azalmıştır. Bu da ısıl direncin MgO nanoakışkanda daha düşük ve performansın arttığını göstermektedir. Al₂O₃'e göre ise ısı borusu performans artışı ortalama olarak % 6,6 ile 11,5 bandında olmuştur [106].

Duman külü ve Al₂O₃ nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. İki fazlı kapalı termosifon ısı borusunda bu akışkanların ısıl performansa etkisi incelenmiştir. Triton X-100, yüzey aktifleştiricisi olarak kullanılmıştır. Ağırlıkça % 2 oranında nanopartiküller ve % 0,2 oranında yüzey aktifleştiricisi ile nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Isı borusu dolum oranı 1/3 olup 200,300 ve 400 W ısı girişi; 5, 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu çevrimi koşullarında deney 3 akışkan için gerçekleştirilmiştir. Isıl direnç düşümü olarak 400 W, 5 g/s ve duman külü nanoakışkan durumunda % 30,1 olarak ölçülmüştür [107].

DARS 1928 yılında icat edilmiştir. Bu sistem ev soğutma, karavan, kamp, ofis ve otel gibi yerlerde sessiz çalışması nedeniyle tercih edilmektedir. Veriminin düşük olması nedeniyle kullanım alanı ve yaygınlığı sınırlı kalmıştır. Nanoakışkan kullanılan sistemde 0 dereceye inmek 20 dk sürerken diğer sistemde 55 dk sürmüştür. Daha çok ısı emme kapasitesinin soğutma etkisi büyük olmasa da ısı verim artışı kayda değer olmuştur. REFPROP yazılımından faydalanılarak COP değerleri hesaplanmıştır. Nanoakışkan kullanılan sistemin COP değeri 0,295-0,225 arasında iken diğerinin 0,280-0,213 olup buradaki fark ortalaması % 51 olup iyileştirme oranı yüksektir [108].

Isı borulu güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan birinde su ve 30 nm boyutunda SiO₂ kullanılarak iki aşamalı yöntem ile microfluidizer prosesine tabi tutularak nanoakışkan elde edilmiştir. Daha sonra parça boyut analizi karakterize edilmiştir. Isıl iletkenlik ve geçirgenlik ölçümleri yapılmıştır. Kollektörler iyi güneş alacak şekilde yerleştirilerek solar radyasyon miktarı hesaplanmıştır. Isıl çiftler ısı borusu boyunca yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kollektör tüpün içindeki ısı dağılımı ve hız değişimi modellemesi için ANSYS ve FLUENT yazılımları kullanılmıştır. Partikül boyut analizine göre dağılım uniform olmuş ve topaklanma olmamıştır. Mikro taşınım etkisiyle ısı iletim iyileşmiştir. En çok iyileşme % 5 derişime sahip akışkanda vuku bulmuştur. Parçacıkların birbiriyle çarpışması ve enerji transferi gerçekleşmesi bunun temele sebebi olarak görülmektedir. 20 gün sonra ölçümler tekrar yapıldığında hala % 1'e göre yüksek değerler elde edilirken; % 3 ve % 5 taze karışımlara göre düşük değerler ölçülmüştür. Bu da zaman içinde topaklanma olduğunu göstermektedir. Ayrıca 500-1400 nm arasında geçirgenlik ölçümü yapılmıştır. Artan dalga boyu ile geçirgenlik artmıştır. % 1 derişimin geçirgenliği en üst düzeydedir: % 91,42. Sayısal simülasyon sonucuna göre alttan üste doğru sıcaklık artmaktadır. Suyu göre en yüksek sıcaklık farkı 4,2 derece olmuştur. Nanoakışkan kullanılan durum için sıcaklık alt tarafta 19,85 derece iken üst tarafta 51,26 olarak hesaplanmıştır. Nanopartikül eklenmesi sadece ısı iletkenliği arttırmamış aynı zamanda ısı akısını da arttırmıştır. Hız açısından incelendiğinde nanoakışkanın daha hızlı bir şekilde buharlaşarak yukarı doğru hareket ettiği ve daha hızlı bir şekilde ısını aktardıktan sonra döndüğü tespit edilmiştir. Bu da çevrim süresinin kısaldığını ve istenen sonuca aynı girdilerle daha çabuk ulaşılabileceğini göstermektedir [109].

Başka bir çalışmada CuO nanopartikülleri ile su kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın VTIBGK’de kullanımının ısı performansına etkisi incelenmiştir. Nanopartikül oranı % 0,03 ve % 0,06 olan akışkanlar ile saf su kullanılarak sistemin ısı verimi ölçülmüştür. Nanoakışkanların ısı iletkenliği ve ısı kapasiteleri belirlenmiştir. Soğutma çevrimi için 20, 40 ve 60 lt/dk debilerinde çalışılmıştır. Verim artışı suya göre % 0,03 derişimli nanoakışkan kullanımında % 14’e kadar bir artış göstermiştir [110].

Bir çalışmada U-tüp güneş kolektörlerinde Al₂O₃ nanoakışkan kullanımı ve nanopartikül boyut etkisi araştırılmıştır. Isı iletkenlik derişimin artmasıyla artarken partikül boyutunun büyümesi ile azalmıştır. 20-50 ve 100 nm boyutunda Al₂O₃ ile % 0,5, 1 ve 1,5 derişimlerde su kullanılarak nanoakışkanlar iki aşamalı yöntem ile sentezlenmiştir. Soğutma suyu çevriminde ise 0,033 kg/s ve 0,047 kg/s olmak üzere 2 farklı debide çalışılmıştır. En yüksek verim % 1 derişim, 0,047 debi ve 20 nm boyutunda gerçekleşmiş ve suya göre % 24,1 daha fazla olmuştur [111].

Başka bir çalışmada grafin nano paletler (GNP) ve su kullanılarak iki aşamalı yöntemle hazırlanan nanoakışkan kullanımının VTIBGK’lerde ısı verime etkisi incelenmiştir. Ağırlıkça % 0,025, 0,05, 0,075 ve 0,1 derişimlerde hazırlanan nanoakışkanların kararlılığı, özgül ısı, viskozite ve ısı iletimi incelenmiştir. Soğutma çevrimi 0,5, 1,0 ve 1,5 lt/dk olacak şekilde ısı verim değerlerine bakılmıştır. ASHRAE 93-2003’te belirtilen verim hesap yöntemleri kullanılmış ve en yüksek verim 1,5 lt/dk debi ve % 0,1 GNP olma durumunda % 90,7 olarak hesaplanmıştır [112].

Isı borulu olsun olmasın güneş kolektörlerinde yatayla yapılan açı önemlidir. Bir çalışmada Güneşe karşı konum ve yatayla yapılan açının etkisi incelenmiştir. Bulunduğu lokasyona göre güneşe karşı en yüksek 18,53 derece durumunda ışıyım maksimum olmaktadır. Yatayla yapılan açı için yapılan verim analizinde en yüksek verim 50 derece durumunda elde edilmiş ve bu noktadan sonra düşmeye başlamıştır. Kaldırma kuvveti ile açı arttıkça buhar oluşumu artmış ve aynı zamanda sıvının evaporatöre dönmesi yerçekimi etkisiyle kolaylaşmıştır. Fakat 50 dereceden sonra yerçekimi etkisi nedeniyle ısı transferi gerçekleşmesi zorlaştığından verim düşmüştür. Bu çalışmada Soğutucu çevrim debisi 2 ile 14 kg/saat arasında değiştirilmiş ve ısı verim debi arttıkça artarak en yüksek değerine 12 kg/saat’te ulaştıktan sonra düşmeye başlamıştır. Nanoakışkan içerisinde Al₂O₃ oranı arttıkça ısı verim artmıştır: % 0,05, 0,25 ve 0,5 için sırasıyla % 3,79, 10,72 ve 15,24 suya göre artış olmuştur.

Bunun sebebi olarak küçük buhar balonu oluşmasıyla katı-sıvı ara yüzünde ısı direnç düşmesiyle daha iyi ısı transferi gerçekleşmesi gösterilebilir. Eğer balon boyutu büyürse ısı direnç artacağından verim düşecektir. % 0,5'lik nanoakışkana yüzey aktifleştiricisi ilavesi ile (1000 ppm) ısı verim iyileşmesi % 20'ye kadar çıkmıştır. Başka hiçbir çalışmada bahsi geçmeyen durum ise en yüksek verim suya sadece yüzey aktifleştiricisi ilave edildiği durumda ortaya çıkmış ve % 45,23 olmuştur. Araştırmacıların izahına göre çünkü yüzey gerilimi azalarak kaynama noktası sıcaklığı düşmektedir ve dolayısıyla daha az ısı ile daha çok buhar oluşmaktadır. Herhangi bir çalışma akışkanı olmadığı durumda da soğutma çevriminde neredeyse sıcaklık giren-çıkan akışkan için değişmemiş olup çalışma akışkanına sistemin bağlı olduğunu göstermektedir [113].

Isı borularında yapılan bir çalışmada TiO_2 nanopartiküller % 2 oranında saf su ile iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanan nanoakışkan kullanılmıştır. 1/3 oranında doldurulan ısı borusuna 200-300-400 W ısı verilerek 5-7,5-10g/s soğutma su debisi ile deneyler yapılmıştır. Isıl performansta en yüksek artış % 16,5 olarak iyileşme 200 W ve 5 g/s soğutma su debisi durumunda olmuştur [114].

Isı değiştiricilerinde yapılan bir çalışmada Al_2O_3 ve uçucu kül % 2 oranında küttelece kullanarak, Triton X-100 yüzey aktifleştiricisi ve ultrasonik banyo uygulaması ile hazırlanan 2 tip nanoakışkanın eş merkezli paralel (PFCTHE) ve karşılıklı akışlı (CFCTHE) ısı değiştiricilerinde ısı performans etkisi incelenmiştir. Uçucu kül kullanım durumunda ısı verim bu iki ısı değiştiricisinde % 31,2 ve % 6,9 iyileştirilmişken; Al_2O_3 kullanımında % 5,1 ve % 2,8 iyileşme olmuştur. Her durum için 3 farklı debide çalışmalar yapılmıştır [115].

Isı borusunda kullanılmak üzere küresel gümüş nanopartiküller ve su kullanılarak tek aşama yöntemi ile nanoakışkan hazırlanmıştır. Yüzey aktifleştiricisi kullanılmadan istikrarlı bir karışım elde edilmiştir. Reaksiyon hızlandıkça daha küçük boyutta nanopartikül elde edilmektedir. Bu sayede ısı iletkenlik artmakta ve yüksek çalışma sıcaklarında su elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca nanopartikül derişimi arttıkça ısı performansta artmaktadır. Bu nanoakışkan Newtonian bir davranış göstermiştir. Nanoakışkan kullanımının en belirgin üstünlüğü kısa zamanda tam kapasite çalışma koşullarında erişilmesi olmuştur. Isı borusunun tam kapasite çalışma koşullarına çıkma süresi derişimin en yüksek olduğu % 0,0032 durumunda 12 saniye iken saf su durumunda 32 saniyedir. Yoğuşturucu kısmında cidar sıcaklığı suya göre 4,6-8,3 °C daha fazla olmuştur. Derişimin

en yüksek olduğu durumda sıcaklık farkı 4,2 °C iken saf su kullanımında buharlaştırıcı yoğuşturucu arasındaki sıcaklık farkı 12,1 °C olmuştur. Bunun sebebi olarak nanoakışkan kullanılması durumunda ısı direncin düşmesi ve ısı transferinin daha hızlı gerçekleştiriliyor olmasıdır. Isıl direnç düşümü maksimum seviyesine en yüksek derişimde çıkmış ve % 65,29 bir düşüş görülmüştür. Isı borusundaki büyük ısı direnç sıvı-katı arasındaki ara yüzde buhar kabarcığı oluşması sebebiyledir. Kabarcık büyüdükçe ısı direnç artmaktadır. Katı yüzeyden sıvıya ısı geçişi zorlaşmaktadır. Bu nedenle nanopartikül kullanılması ile kabarcık sayısı azalmakta ve boyutu küçülmekte dolayısı ile ısı verim artmaktadır [116].

Bor nanopartiküllerin kullanıldığı ender çalışmalardan birinde dekalın içerisinde çözülebilecek silanlı bor nanopartiküller elde edilerek yakıt performansını arttıracak katkı maddesi olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Yüzey modifikasyonu yapılarak BN nanopartiküllerin çözünürlüğü artırılmıştır. Karakterizasyon yapılırken XRD, TEM, FTIR, XPS ve TGA teknikleri kullanılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın ve derişimin kararlılık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bor nanopartiküllerin yüzey modifikasyonunda üzerinde bulunan oksit katmanın önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir [117].

Isı borularında büyük bir kayıp olmadan ısı bir noktadan başka bir noktaya aktarılabilir. Bir çalışmada grafin nanoakışkanın ısı borularında performans etkisi araştırılmıştır. GNP grade C özelliklerinde spesifik yüzey alanı 750 m²/gr, kalınlığı 2 nm ve çapı 2 µm'dir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı arasındaki sıcaklık farkı giren ısı miktarı ile artmaktadır. Yatay ile yapılan açı 60 derece iken sıcaklık farkı en az olmaktadır. Yeteri kadar zaman yoğuşturucuda geçmezse ısı transferi kötü etkilenmekte ve buharlaştırıcı kısmında sıvı kalmamaktadır. Deney sonuçlarına göre GNP nanoakışkan kullanımında cidar sıcaklıkları düşmüştür. Derişim etkisi giren ısı miktarının etkisinden daha fazla cidar sıcaklıklarını etkilemektedir. Giren ısı artışı ile birlikte ısı verim daha yüksek olmakta çünkü ısı direnç daha düşük olmaktadır. Ayrıca yatayla 60 dereceye kadar ısı verim artmakta iken bu noktadan sonra düşmeye başlamaktadır. En yüksek verimin 90 derecede iken olması beklenirken 60 derecede olması fitilli ısı borularında yerçekimi etkisinin ısı verim üzerindeki etkisinin az olduğunu göstermektedir. Isı borusundaki performans iyileşmesinin sebepleri olarak buharlaştırıcı ve yoğuşturucu arasındaki sıcaklık farkı, buhar fazındaki sıcaklık düşüşü ve kayıpların azalması gösterilmektedir. Cidar sıcaklığında suya göre 27 °C düşüş sağlanmıştır. Son olarak GNP nanoakışkan kullanımıyla ıslatılabilirlik artmasından ısı transferi daha iyi olduğu sonucu SEM ve EDX resimlerinden anlaşılmıştır [118].

Bir çalışmada 50 farklı nanoakışkan, 3 farklı temel akışkan (su, etilen glikol ve motor yağı) ve derişim miktarları % 0,25 ile % 8 arasında değiştiği durumlarda ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapılmıştır. Nanopartikülü oluşturan malzeme ile nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayıları arasında doğrudan bir ilişki saptanamamıştır. Literatürde birbiriyle çelişen ifadeler ısı iletkenlik ile alakalı olarak kullanılmaktadır. En yaygın ölçüm metodu geçici sıcak tel (THW) yöntemidir. Hemen hemen bütün durumlarda nanopartikül ilavesi ile ısı iletkenliğin arttığı rapor edilmiştir. Parçacık boyutu ile ısı iletkenliğin ortaya çıkarılması için derişim dahil bütün koşullar aynı tutularak farklı boyutta aynı nanopartiküller ile hazırlanan nanoakışkanlara ihtiyaç vardır. Sonuç olarak partikül boyutu büyüdükçe ısı iletkenlik katsayısı artmaktadır. Aynı boyutta farklı materyaller kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre nanopartikül malzemesinin ısı iletkenlik açıısından beklendiği gibi etkili olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte ısı karakteristik özellikleri arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Sonuç olarak nanopartikülün yoğunluğu arttıkça nanoakışkanın ısı iletim katsayısının arttığı sonucuna varılmıştır. Temel akışkan göre de ısı iletkenlik etkilenmektedir. Su motor yağına göre 5 kat etilen glikola göre 2 kat daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle nanopartikül eklenmesinin ısı iletkenliği temel akışkana göre iyileştirme yüzde etkisi iletkenliği kötü olan akışkanda daha yüksek olmaktadır. Yüzey aktifleştiricisi kullanımı nanoakışkanın kararlılığını olumlu olarak etkilese de ısı iletkenlik üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Metal içeren nanoakışkanların ısı iletkenliği metal oksit veya silikon içerenlere göre daha yüksektir [119].

Sıvıların ısı iletim katsayıları ölçümü yapılırken yerçekimi yönünde oluşabilecek sıcaklık gradyanına dikkat edilmesi gerekmektedir. Aksi halde suda taşıma akımı gerçekte ısı iletimin yanlış ölçülmesine yol açacaktır. Sıvıların şekli, boyutu ve kesit alanı gibi özellikleri olmaması nedeniyle ölçüm zorlaşmaktadır. Ayrıca katı nanopartiküllerin sıvı içerisinde homojen dağılımı da ölçümün sıhhati için önemlidir. ısı iletkenlik ölçümünde kullanılan tekniklerin başında geçici sıcak tel yöntemi (THW) bulunmaktadır ve yaklaşık olarak % 65 çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir. Geçici sıcak tel yöntemi, 1931 yılında tozların mutlak ısı iletim katsayısını belirlemek için geliştirilmiştir. Bunu takip eden ısı kompratör yöntemi bu alanda yapılan çalışmaların % 10'unda kullanılmıştır. Diğer kullanılan 5 yöntem ise geri kalan çalışmalarda kullanılmıştır: Isıl Sabitler Analiz Yöntemi (% 7), 3 Omega Yöntemi (% 6), Sabit Paralel Plakalar Yöntemi (% 6), Sıcaklık Salınım Yöntemi (% 4) ve Silindirik Hücre Yöntemi (% 2) [120].

Bir çalışmada boroksitten bilyalı öğütme ve tavlama yapılarak BN nanopartiküller elde edilerek karakterizasyonu yapılmıştır. Mikro morfolojisini incelemek için HRTEM tekniği kullanılmıştır. 200 µm boyutunda B₂O₃ tozu 60 saat boyunca yüksek saflıkta azot bulunan ortamda bilyalı öğütmeye tabi tutulmuştur. Burada kullanılan bilya malzeme oranı 20:1 şeklindedir. Çelik bilyalar 6 mm boyutunda olup devir sayısı dakikada 450 olmuştur. Ortalama boyutu 70 nm olup nanopartiküllerin boyutu 20-100 nm arasındadır. Daha sonrasında 1200 °C fırında 6 saat boyunca tavlınırken Amonyak gaz akışına tabi tutulmuştur. Kristal yapı XRD ile ve morfolojisi SEM ve TEM imajları ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak başarılı bir şekilde BN nanopartiküller elde edilmiştir [121].

Başka bir çalışmada su ve nanoakışkanların termosifon ısı borularında kullanılmasının ısı transfer karakteristik özellikleri üç boyutlu sayısal analiz yapılarak araştırılmıştır. Nanoakışkan olarak γ-Fe₂O₃ ve su kullanılmıştır. γ-Fe₂O₃ nanopartikül boyutu 4-5 nm mertebelerindedir. Karakterizasyonda XRD, TEM, SAED ve HRTEM teknikleri kullanılmıştır. 2 metre boyunda ısı borusunun 850 mm'lik kısmı buharlaştırıcı sonrasında 250 mm adyabatik kısmı ve 850 mm'lik kısmı ise yoğuşturucu olarak tasarlanmıştır. Çalışma sıcaklıkları olarak 60,70,80 ve 90 °C olarak; nanoakışkan olarak % 2 ve % 5,3 γ-Fe₂O₃ içerikli iki akışkan ile saf su kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan CFD kodu ANSYS CFX-12.0 versiyonudur. Yapılan deney sonuçları ile sayısal çalışma sonucu uyum içerisindedir [122].

Bir çalışmada fotoakustik (PA) tekniği bir optik uygulama olarak nanoakışkanların termo fiziksel özelliklerini belirlemekte kullanılmıştır. Bunun için nanoakışkanların transparant olması gerekmektedir. Bu teknikte nanoakışkan ile herhangi bir temas olmadığı gibi ölçümü etkileyecek herhangi bir zarar da yoktur. Bu nedenle iyi bir doğrulukla termo fiziksel parametrelerin ölçümleri yapılabilmektedir. İki aşamalı yöntem kullanılarak TiO₂ ve Al₂O₃ nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılmıştır. CTAB yüzey aktifleştiricisi olarak kullanılmıştır. XRD imajları ile kristal yapı kontrol edilmiştir. TEM ile Al₂O₃ boyutunun 3-7 nm olduğu ve TiO₂ 20 nm boyutlarında olduğu tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre nanopartikül eklenmesi hem ısı yayılmayı hem de ısı effusiviteyi arttırmaktadır. Fakat ısı kapasite yoğunluk artışı nedeniyle bazen gerçekleşmeyebilir hatta düşebilir. Bu çalışmada genel literatür sonuçlarından farklı olarak TiO₂ daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi kullanılan Al₂O₃ nanopartiküller boyutunun literatürdeki çalışmalara göre çok daha küçük olmasıdır. Bu nedenle yani parçaların ortalama fonon serbest yolundan küçük olması

nedeniyle ısı transferi olumsuz etkileniyor olmasıdır ama yine de saf suya göre daha yüksektir [123].

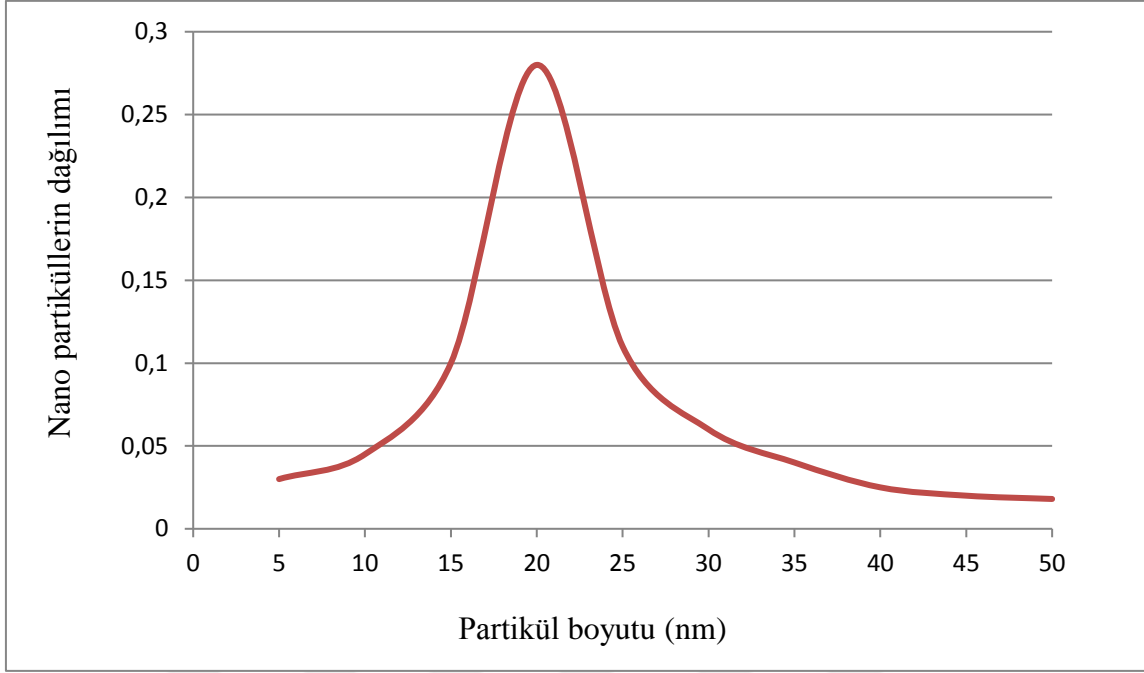
Bir çalışmada DASC (Direk Absorpsiyon Güneş Kollektörleri)'larda nanoakışkan kullanımının etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Güneş enerjisi direk emilir ve çalışma akışkanına transfer edilir. Bu nedenle çalışma akışkanının optik performansı daha çok ısı emilebilmesi için yüksek olmalıdır. Nanoakışkan kullanım durumunda güneş enerjisinin emilimi suya göre 9 kat daha fazla olabilmektedir. Bu çalışmada gümüş nanopartiküller absorptik asit ile indirgenmiş ve sitrik asit ile kararlı hale getirilerek sentezlenmiştir. Deneysel sonuçları ile sayısal hesaplama sonuçları arasında hazırlanan ilk modele göre % 23,6 ve ikinci modele göre % 7,1 fark ortaya çıkmıştır. Bu farkların kalibrasyon ve ölçüm hataları ile hesaplamaları basitleştirmek için yapılan kabullerden ortaya çıktığı düşünülmektedir. Derinlik ve derişim arttıkça nanoakışkan daha fazla güneş ısı emmiş fakat belli bir noktadan sonra artış olmamıştır. Güneş ışınımına maruz kalma süresi arttıkça verim düşmüştür. Çünkü sıcaklık farkının artmasıyla ısı kaybı artmıştır. Güneş enerjisinin birçoğu görünür dalga boyundadır. Bu tarz kollektörlerdeki verimi arttırmak için güneşin spektral ışınım yoğunluğuna benzer özellikte nanoakışkan geliştirilmesi yerinde olacaktır [124].

Nanoakışkanlar ile alakalı yaşanan bazı zorluklar da kullanımının yaygınlaşması önünde büyük engeller olarak durmaktadır. Uzun dönemde istikrarlı kalamamasından dolayı zamanla ısı verim düşmektedir. Kararlı kalması için eklenen yüzey aktifleştiricisi miktarı gereğinden fazla olursa viskoziteyi arttırmakta, köpüklenmeye neden olarak ısı transferini olumsuz etkilemekte ve kimyasal kararlılığa olumsuz etkileri olmaktadır. Bu nedenle yüzey aktifleştiricisi kullanırken doğru tip seçme ve yeteri kadar kullanma noktalarına dikkat etmek gerekmektedir. Ayrıca viskozite ve yoğunluk artışına bağlı olarak basınç düşümü artmakta ve ihtiyaç duyulan pompa gücü artmaktadır. Akış, laminer özelliklerini kaybettikçe nanoakışkanların ısı verimi temel akışkana göre düşmektedir. Bu nedenle kullanım yeri ve koşulları dikkate alınmalıdır. Son olarak da yüksek imalat maliyetleri ile üretiminde yaşanan zorluklar da nanoakışkan kullanımını sınırlamaktadır [42].

3. MATERYAL METOT

Bu çalışmada TiO_2 /su nanoakışkan kullanımının ısı borulu vakumlu güneş kolektörlerinin verimleri üzerindeki etkileri iki aşamalı olarak araştırılıp ölçülmüştür. TiO_2 'nin en temel özelliği, su emme kabiliyetinin yüksek olması ve dolayısıyla yüksek jelleşmenin yağlama ile gerçekleşmesidir. Bu özellik ile deney sırasında nanoakışkanların çökelme problemi yüzey aktifleştiricisi kullanılarak çözülmüş ve akışkanın kararlılığı korunarak çalışmalar yapılmıştır. Ek olarak, jelleşmeden ve nanoakışkanlardan kaynaklanan basınç kaybı (nanoakışkanın ısı borusu içerisinde olması ve sıcaklık etkisi sonucu doğal termosifon ile çalışmasından ötürü) asgari ve ihmal edilebilir düzeydedir. TiO_2 /su nanoakışkanı kullanımının performans etkisini belirlemek için saf su ve TiO_2 /su nanoakışkanı ile ayrı ayrı deneyler yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada farklı olarak ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanılarak sisteme etkileri incelenmiştir.

Deneysel çalışmada, boyutları 50 nm'den küçük olacak şekilde elde edilmiş olan TiO_2 % 2 oranında eklenerek saf su temel akışkan olacak şekilde hazırlanmıştır. Çözelti içerisindeki çökelmeleri ve topaklanmaları önlemek amacıyla karışıma % 0,2 oranında yüzey aktifleştirici olarak TritonX-100 ilave edilmiştir. Elde edilen süspansiyon ultrasonik banyoda 8 saat bekletilmiştir. Ultrasonik banyoda bekletme işleminde saf su- TiO_2 partikülleri karışımına (nanoakışkan) ultrasonik titreşimler gönderilerek homojen ve kararlı bir karışım elde edilmesi amaçlanmıştır. Nanoparçacıkların genel boyut dağılımı Şekil 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Nanopartiküllerin boyut dağılımı

Temel akışkan ve nano malzeme karışımlarının homojen olması ve kararlı yapıda kalabilmesi adına ultrasonik titreşim metodu kullanılmaktadır. Nanoakışkan hazırlanırken özellikleri aşağıda verilen ultrasonik banyo kullanılmıştır.

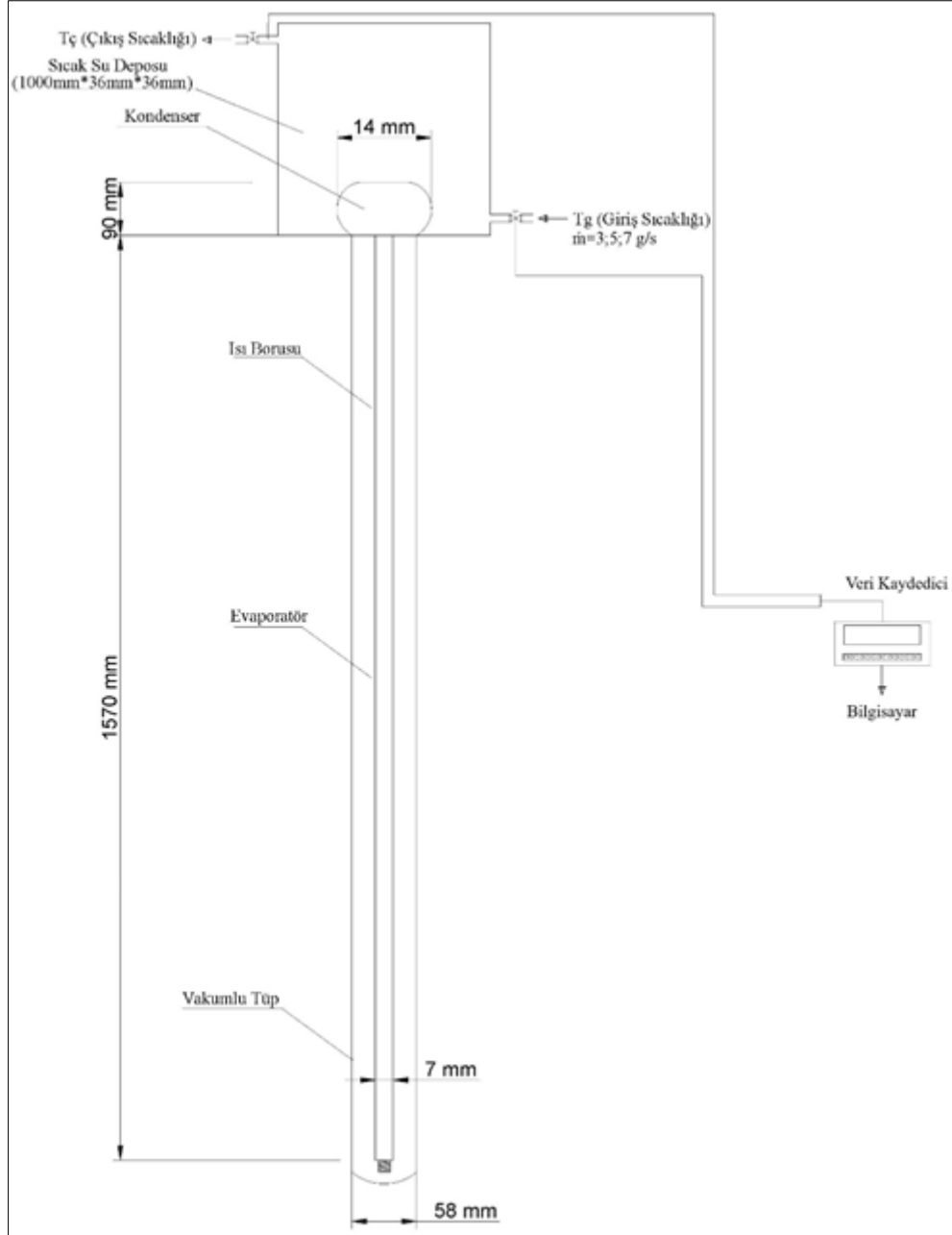
Çizelge 3.1. Ultrasonik banyoya ait özellikler

Özellik	Değer
Voltaj (V/Hz)	230/50
Ultrasonik Güç (Peak/W)	600/300
Ultrasonik Frekans (kHz)	28



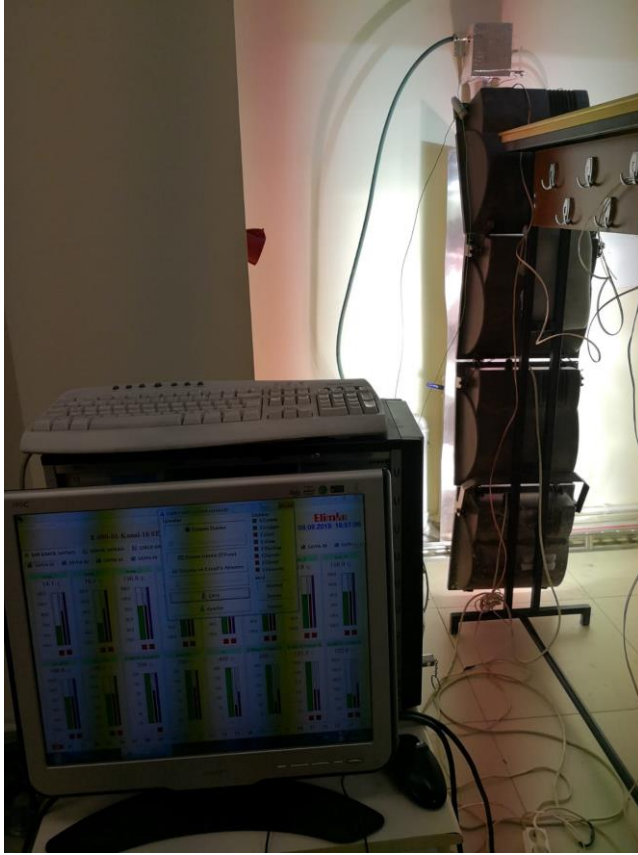
Resim 3.1. Ultrasonik banyo (DC4UT-PRO)

Karşılaştırma yapabilmek için saf su ve nanoakışkanla yapılan deneylerde aynı deney seti kullanılmıştır. Birebir aynı özellikte ısı boruları eşit miktarda ve toplam ısı borusu hacminin 1/3 oranında (70 ml) nanoakışkan vakumlu bir şekilde doldurulduktan sonra vakumlu cam tüp içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 3.2’de verilen deney düzeneği ile ısıl performans testleri yapılmıştır.



Şekil 3.2. Deney düzeneği şematik görünüm

Deney düzeneğinin fotoğrafı Resim 3.2’de verilmiştir. Deney setinde kullanılan ısı borusunun buharlaştırıcı kısmı 1570 mm uzunluk ve 7 mm çapa sahip iken su deposuna giren yoğuşturucu kısmı 90 mm uzunluk ve 14 mm çapa sahiptir. Sisteme giren ısı miktarı solarimetre ile ölçülmüştür. Isı borusunun buharlaşma bölgesi vakumlu cam tüp içerisinde. Isı borusunun yoğuşma bölümünün dışına yapılan 1,3 lt büyüklüğündeki su deposu vasıtasıyla soğutulmaktadır. Isı yapılan depo içerisinden geçen soğutucu akışkana (su) kondenser bölgesinde transfer edilmektedir.



Resim 3.2. Deney düzeneğinin genel görünümü

Isı borusu içerisindeki yoğuşan akışkan dibe doğru inerken buharlaşan akışkan yükselmekte ve sisteme ısı girişi olduğu müddetçe sürekli olarak bu döngü her an gerçekleşmektedir. Soğutucu akışkanın debisini ayarlayıp kontrol altında tutmak amacıyla bir akış ölçer deney setinde kullanılmıştır. Depoya giren ve çıkan su sıcaklık değişimlerini gözlemlemek için 2 adet termokupl (K - tipi) kullanılmıştır. Termokupl kayıtları veri kaydedici (E-680 Elimko) kullanılarak görüntülenmiştir. Sistemde kullanılan iş akışkanının debisi kullanılan akışkanın türünü gözetmeksizin 70 ml değerinde sabit tutulmuştur. Bu değer ısı borusundaki toplam hacmin 1/3’üne karşılık gelmektedir. Deneyler sırasında ısı borusu yatayla 90° açı yapacak

şekilde tutulmuştur. Giriş gücü olarak 4*400 W'lık ışınım verilmiş olup vakumlu tüpte solarimetre ile ölçülen ışınım 150 W/m² olarak tespit edilmiştir. Kondenserdeki iş akışkanını yoğunlaştırma kullanılan soğutma suyunun debisi 3 farklı değere (3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s) ayarlanmış ve deneyler ısı borusu içinde saf su ve TiO_2 -Su nano çözeltisi kullanılarak tekrarlanmıştır.

Deney setindeki kullanılan elemanlar: Isı borusu, vakumlu cam tüp, su deposu (ısı değiştirici), veri kaydedici, solarimetre, debimetre, ısıtıcı, termokupl ve bilgisayar.

Deney setinde kullanılan Vakumlu Cam Tüp 58 mm çapında ve ısı borusu 70 ml doluluk oranına sahiptir. Sistemde doluluk oranı ısı borusunun toplam hacmine göre 1/3 olarak kullanılmıştır. Yapı olarak tüm cam eş merkezli çift katman tüp geometrisine sahiptir ve malzemesi Borosilikat camdır. Baryum tabakası vakum tüpün durumu net bir şekilde gösterir ve bu tabaka vakumu dış gazlardan korur. Eğer vakum kaybolmuşsa gümüş beyaz renge dönecektir. Resim 3.3.'te görüldüğü üzere tüpün iyi durumda olup olmadığı kontrol edilebilmektedir.



Resim 3.3. Uygun (solda), bozuk (sağda)

Geometrik şekilleri sayesinde gün boyu güneş enerjisinden en üst seviyede yararlanma imkânı sağlamaktadır. İçerisinde bulunana bakır ısı borusu soğurulan enerjiyi içindeki sıvıya iletmektedir. Bu tip sistemlerde tüpler birbiriyle tamamen ayrı olarak faaliyet göstermektedir. Kullanım sürelerine bakıldığında 15 yıl boyunca sorunsuz çalışabildikleri görülmektedir. Özel bağlantı elemanları kullanıldığı için sorun yaşanan tüpler kolayca ve sisteme zarar vermeden yenisi ile değiştirilebilmektedir.

Bu çalışmada kullandığımız ısı borulu vakum tüpün ısı değiştirici vazifesi gören deponun içine giren kısmı Resim 3.4' te yer almaktadır. Deponun içersine giren kısımda yoğuşma gerçekleştiği ve ısı borusundan dışarıya ısı bu ortamda atıldığı için çapı buharlaştırıcı bölgesinin neredeyse iki katı olup boyu ise kısadır. Sızdırmazlığı sağlayacak ve vakum tüpün içersine herhangi bir yabancı madde girişini engelleyecek şekilde tasarlanmıştır.



Resim 3.4. Isıl borulu vakumlu cam tüp

Deney seti sisteminde su deposu 1,3 litre olarak tasarlanıp imalatı yapıp sisteme monte edilmiş ve Resim 3.5' te gösterilmektedir.



Resim 3.5. Deney seti su deposu

Ölçümler yapılırken sayısal termometre kullanılmıştır. Ayrıca solarimetre ile ışınım şiddeti ölçülürken suyun giriş ve çıkış sıcakları için K tipi termokupl kullanılmıştır. Kullanılan solarimetreye ait fotoğraf Resim 3.6.' da yer almaktadır.



Resim 3.6. Solarimetre



4. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Deneysel sonucu elde edilen çıktılar standarda uygun ölçüm cihazları ile tespit edilmiştir. Standartlara uygun cihazlara, uygun ortam koşullarına sahip olursa da verilerde çeşitli hatalar oluşabilir. Cihaz seçimi, deney şartları, kullanılan cihazların kalibrasyonu, verilerin okunması, ölçüm aletlerinin bağlantı noktaları ve deneyin yapıldığı ortam gibi deney sonuçlarını etkileyen (hata ve belirsizliklere yol açan) birçok parametre vardır. Bu nedenle deneysel çalışmada kullanılan cihaz ve ekipmanlardan kaynaklanan bu gibi hatalar, belirsizlik analizi ile çözümlenmiştir. Belirsizlik analizi, istenen deneysel standartların sağlanması açısından önemlidir. Toplam belirsizlik aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

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

Formülde kullanılan ifadeler, S ölçülmesi gereken büyüklük, S büyüklüğüne etki eden n adet bağımsız değişkenler ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 'dir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve S büyüklüğünün toplam belirsizliği W_s olarak ifade edilmiştir.

Sıcaklık ölçümlerinin belirsizliği aşağıdaki eşitlikte hesaplanmıştır. Termokupl ölçüm cihazından kaynaklanan belirsizliği 0,5; cihazın bağlantı noktasından kaynaklanan belirsizliği 0,25; cihazın sıcaklığı okuması sırasında oluşan belirsizliği 0,5 alındığında hesaplanan belirsizlik aşağıdaki bağıntıda hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} W_T &= [(W_{termokupl})^2 + (W_{bağlantı, nok.})^2 + (W_{okuma})^2]^{1/2} \\ &= [(0,5)^2 + (0,25)^2 + (0,5)^2]^{1/2} \\ &= \pm \% 0,75^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Akış hızını ölçmek için debimetre cihazı kullanılmıştır. Debimetreden kaynaklı olabilecek hatalar debimetreden ve okumadan dolayı oluşacak hatalardır. Belirsizlikler sırasıyla 0,01; 0,01'dir. Bu değerlere göre debimetrenin belirsizliği aşağıdaki eşitlikte hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} W_m &= [(W_{debimetre})^2 + (W_{okuma})^2]^{1/2} \\ &= [(0,01)^2 + (0,01)^2]^{1/2} \\ &= \pm \% 0,0141 \text{ g/s} \end{aligned}$$

Işınımı ölçmek için kullanılan solarimetreden kaynaklı belirsizliğin hesaplanmasında solarimetre cihazından kaynaklı belirsizliği 0,05; solarimetrede şiddetin okunması sırasında kaynaklanan belirsizlik 1'dir.

$$\begin{aligned}
 W_{ph} &= [(W_{solarimetre})^2 + (W_{okuma})^2]^{1/2} \\
 &= [(0,05)^2 + (1)^2]^{1/2} \\
 &= \pm \%1,001 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Belirsizlik analizleri ile ölçüm cihazlarının belirsizlikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan belirsizliklerinin kabul edilebilir aralıklarda olduğu görülmektedir. Ölçüm cihazlarına ait teknik özellikler ve cihazların toplam belirsizlikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ölçüm cihazlarının özellikleri, hassasiyetleri ve toplam belirsizlikleri

Cihaz	Teknik Özellikler	Hassasiyet	Toplam Belirsizlik
Termokupl (Data logger, Elimko E-680 model)	K tipi; ölçüm aralığı -200 °C - +1200 °C	± %0,5 °C	± %0,75 °C
Debimetre	Ölçüm aralığı 0-12 g/s	± 0,01 g/s	± 0,0141 g/s
Solarimetre	KIMO SL 100 Solarimetre Ölçüm aralığı 1 W/m ² – 1300 W/m ²	± 0,05 W/m ²	± 1,001 W/m ²

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

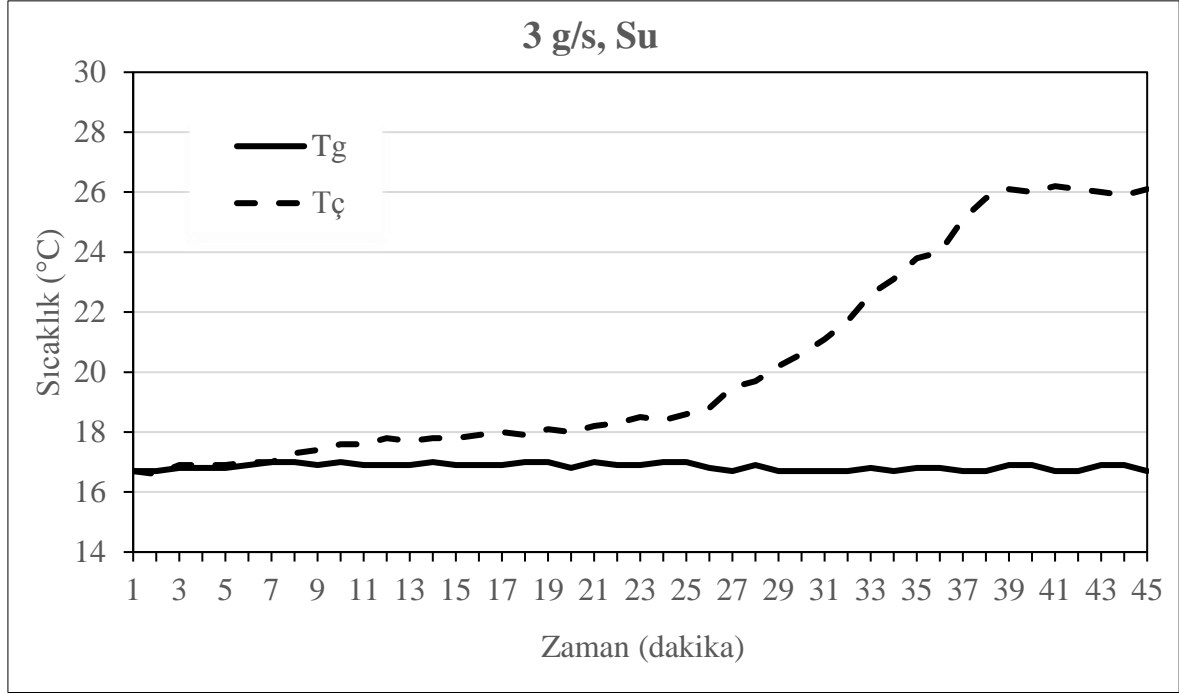
Nanoakışkanların vakum tüplü ısı borulu kolektörlerinin verimleri üzerindeki etkisini belirleyebilmek için deneyler iki bölümde yapılmıştır. Birinci deney grubu saf su ile ikinci deney grubu Su-TiO₂ çözeltisi olan nanoakışkan ile yapılmıştır. Boyutları 50 nm'den küçük olacak şekilde elde edilmiş olan TiO₂ % 2 oranında eklenerek saf su temel akışkan olacak şekilde hazırlanmıştır. Çözelti içerisindeki çökelmeleri ve topaklanmaları önlemek amacıyla karışıma % 0,2 oranında yüzey aktifleştirici olarak TritonX-100 ilave edilmiştir. Deneylerde kullanılan su debileri 3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s olmak üzere üç farklı debide ele alınmıştır.

Deneyler 45 dakika süresince giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Saf su ve Su-TiO₂ kullanılarak yapılan deneylerde her debi için bulunan çıkış sıcaklıkları ile sıcaklık ve debilere bağlı verimler incelenmiştir. İncelemeler sonucunda akışkanın saf su olduğu deneylerde en yüksek verim, debinin 7 g/s olduğu aşamada % 37,49615 olarak kayıt altına alınmıştır. Akışkanın Su-TiO₂ olduğu durumda ise en yüksek verim, debinin 7 g/s olduğu aşamada % 49,21404 olarak tespit edilmiş ve her iki akışkan ile yapılan tüm deneylerde elde edilen en yüksek verim olarak görülmüştür. Deney sonuçları boyunca ulaşılan verimler, 45 dakika süresince elde edilen akışkanın çıkış sıcaklıklarının ortalamasından akışkanın giriş sıcaklıkları ortalamasının çıkarılması ile edilen sıcaklık farkının, akışkanın özgül ısısı ve debisi ile çarpılması ve çıkan sonucun güneş ışınım şiddetine bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

Verim Hesaplaması:

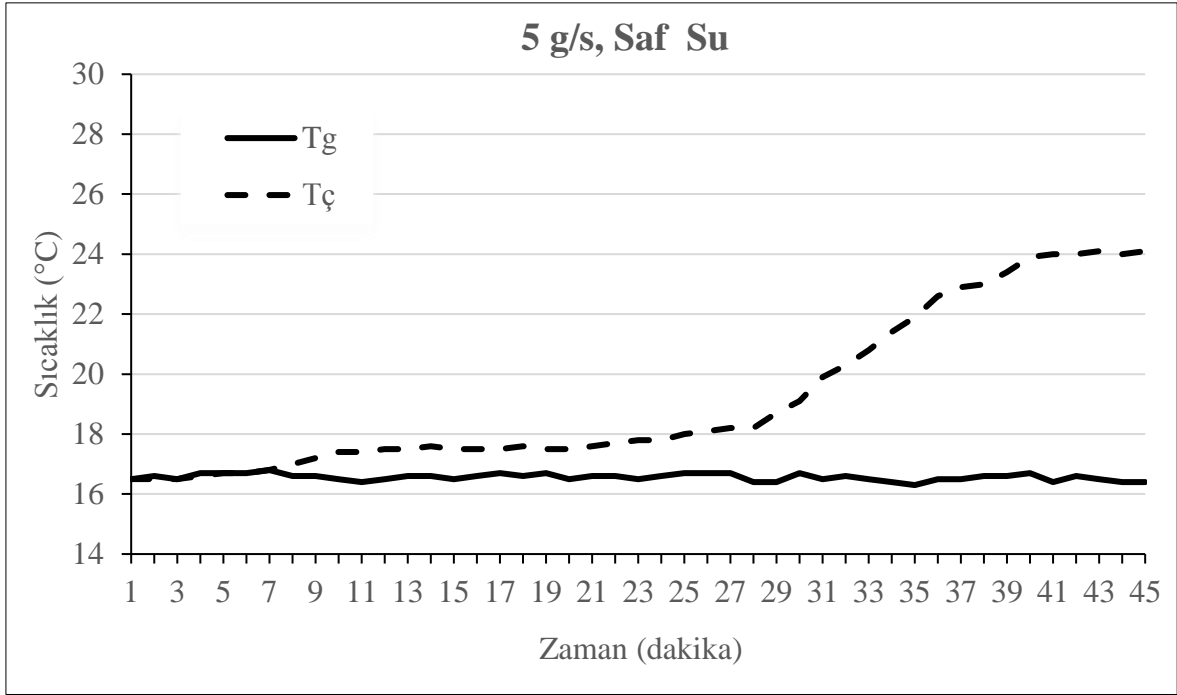
$$\eta (\%) = [((\sum_1^{45} T_{ç})/45 * (\sum_1^{45} T_g)/45) * (c_p) * (\dot{m}) / (150)] * 100$$

Saf su ve Su-TiO₂ kullanılarak yapılan deneylerde her debi için bulunan çıkış sıcaklıkları ile sıcaklık ve debilere bağlı verimler grafiklere aktarılmıştır. Deneylerde ölçülen ve hesaplanan değerler ile ilgili gözlemler ve yorumlar yapılmıştır.



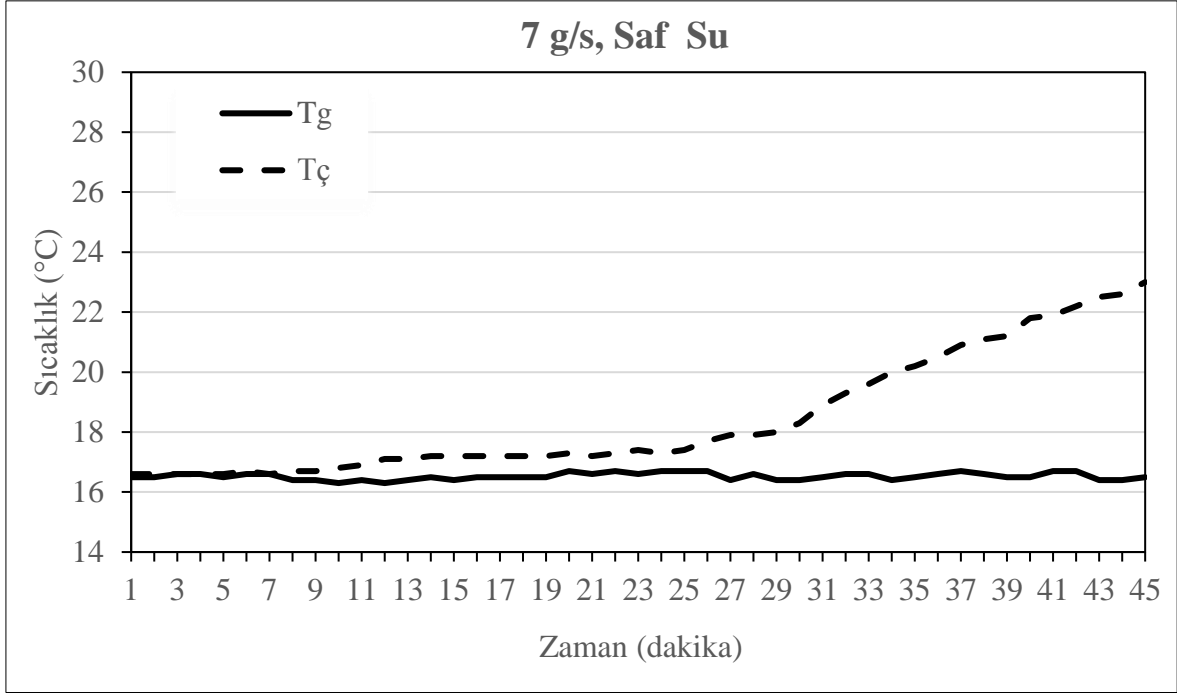
Şekil 5.1. Saf su akışkanının debiye bağlı (3 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Debisi 3 g/s olan saf suyun Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiği, deney sonuçlarına göre Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Grafiğe göre, saf suyun ilk giriş sıcaklığı 16,7 °C olarak ölçülmüştür. Saf suyun çıkış sıcaklığı, yirmi altıncı (26.) dakikaya kadar yavaş bir şekilde artış göstermiş ve 18,8 °C’ye yükselmiştir. Bu dakikadan otuz dokuzuncu (39.) dakikaya kadar saf suyun çıkış sıcaklığında hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Bu dakikada ulaşılan çıkış sıcaklığı 26,1 °C olarak gözlemlenmiştir. Bundan sonra kırk beşinci (45.) dakikaya kadar çıkış sıcaklığının sabit sayılabilecek sıcaklıklarda devam ettiği görülmüştür. Sistemin en kararlı olduğu zaman 39-45 dakikaları arası olarak görülmektedir. En yüksek çıkış sıcaklığına otuz dokuzuncu dakikada ulaşılmış ve sıcaklık 26,2 °C olarak ölçülmüştür.



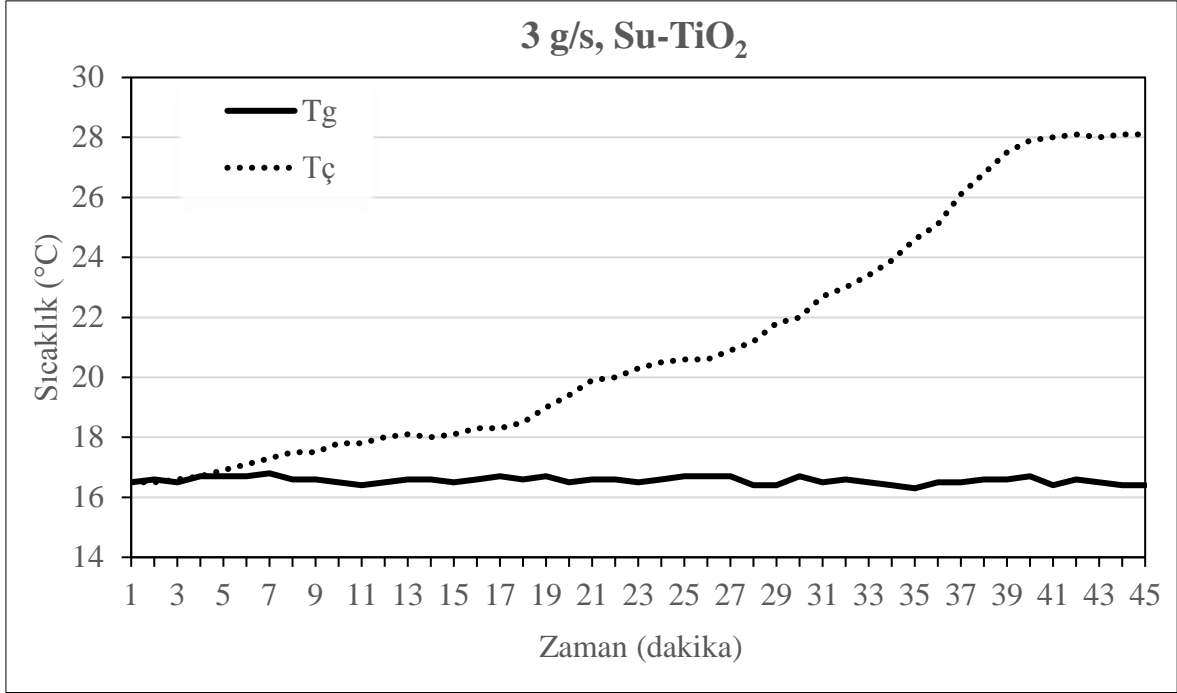
Şekil 5.2. Saf su akışkanının debiye bağlı (5 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Debisi 5 g/s olan saf suyun Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiği, deney sonuçlarına göre Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Grafiğe göre, saf suyun çıkış sıcaklığı birinci dakikada 16,5 °C, yirmi sekizinci dakikada 18,2 °C olup ilk 28 dakika içerisindeki sıcaklık farkı 1,7 °C hesaplanmaktadır. Yirmi dokuzuncu dakikadan kırkıncı dakikaya kadar çıkış sıcaklığında önemli bir artış meydana gelmiştir. Bu dakikadan sonra çıkış sıcaklığı durağan bir şekilde devam etmiş olup en yüksek sıcaklıklara kırk üçüncü dakikada ulaşılmıştır. Bundan sonra sistem, çıkış sıcaklığının hemen hemen aynı olması ile birlikte kararlı hale gelmiştir.



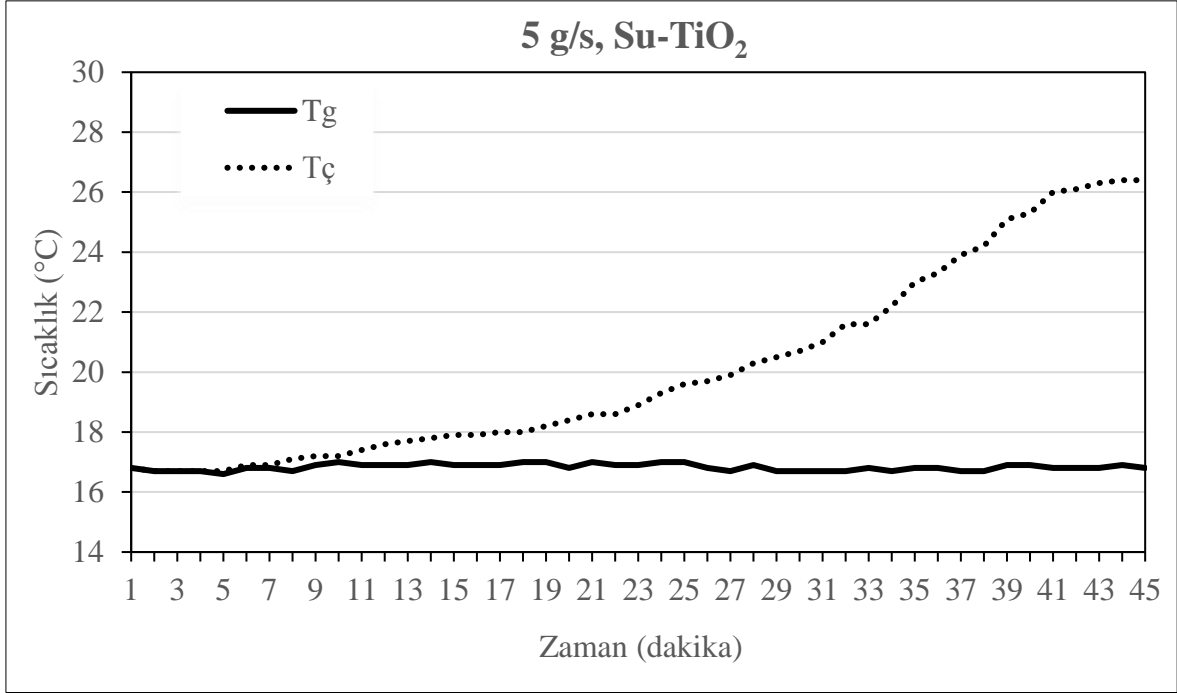
Şekil 5.3. Saf su akışkanının debiye bağlı (7 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Debisi 7 g/s olan saf suyun Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiği, deney sonuçlarına göre Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Grafiğe göre, saf suyun çıkış sıcaklığı birinci dakikada 16,6 °C, yirmi dokuzuncu dakikada 18 °C olup ilk 29 dakika içerisindeki sıcaklık farkı 1,4 °C hesaplanmaktadır. Deneyin devam eden dakikalarında 18,3 °C'den kırk beşinci dakikaya kadar sürekli bir artış gözlenmektedir. Debinin 7 g/s olduğu bu deney sonucunda saf suyun çıkış sıcaklığı 23 °C olup kararlı hale ulaşmıştır.



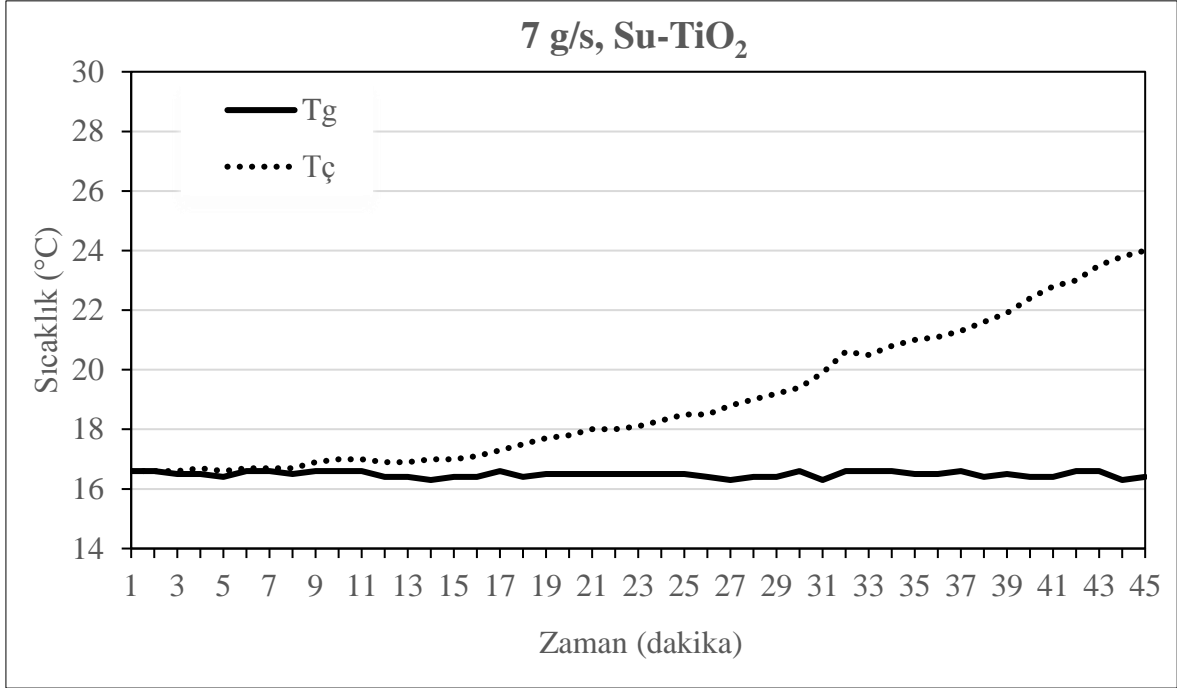
Şekil 5.4. Su-TiO₂ nanoakışkanının debiye bağlı (3 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Akışkanın saf su yerine debisi 3 g/s olan Su-TiO₂ çözeltisinin kullanıldığı deneyin sonuçları, Şekil 5.4'te Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiğinde gösterilmiştir. Isı borusu içerisinde nano çözelti kullanılarak yapılan deneyde giriş sıcaklığı 16,5 °C olup on sekizinci dakikaya gelindiğinde çıkış sıcaklığının 18,5 °C olduğu gözlemlenmiştir. Bu zaman diliminde sıcaklığın yavaş bir şekilde arttığı görülmüştür. Sonrasında kırkinci dakikaya kadar grafikte görüldüğü gibi çıkış sıcaklığındaki artış düzenli bir biçimde devam etmektedir. Bu dakikadan sonra çıkış sıcaklığı neredeyse sabit bir duruma gelmiş olup en yüksek sıcaklık değeri olan 28,1 °C ile ulaşmıştır.



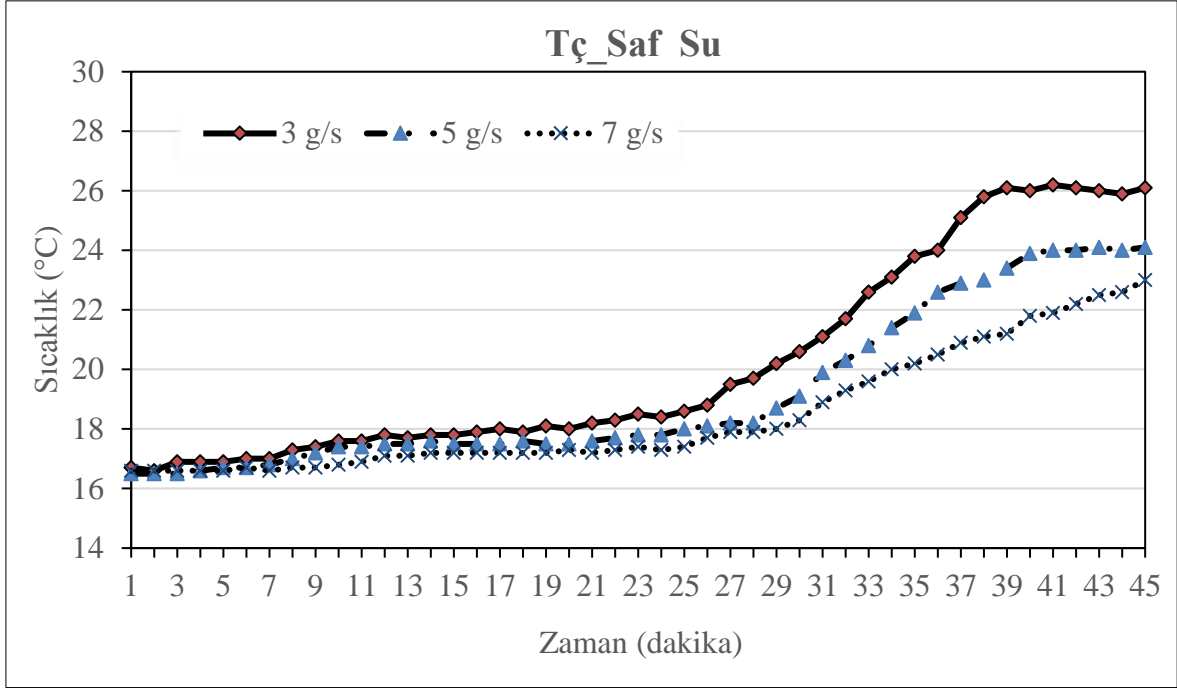
Şekil 5.5. Su-TiO₂ nanoakışkanının debiye bağlı (5 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Debisi 5 g/s olan Su-TiO₂ kullanıldığı deneyin sonuçları, Şekil 5.5'te Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiğinde gösterilmiştir. İlk 10 dakikada, nanoakışkanın giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığının arasında değişimin az miktarda olduğu saptanmıştır. İlk 10 dakikadan sonra kırk ikinci dakikaya kadar sürekli bir artış gözlenmiş olup bu dakikadan sonra deney süresinin sonuna kadar sistemdeki nanoakışkanın çıkış sıcaklığı kararlı bir hale bürünmeye başlamıştır. Çıkış sıcaklığının 26,4 °C ile en yüksek değere deney süresinin sonlarına doğru ulaşmıştır.



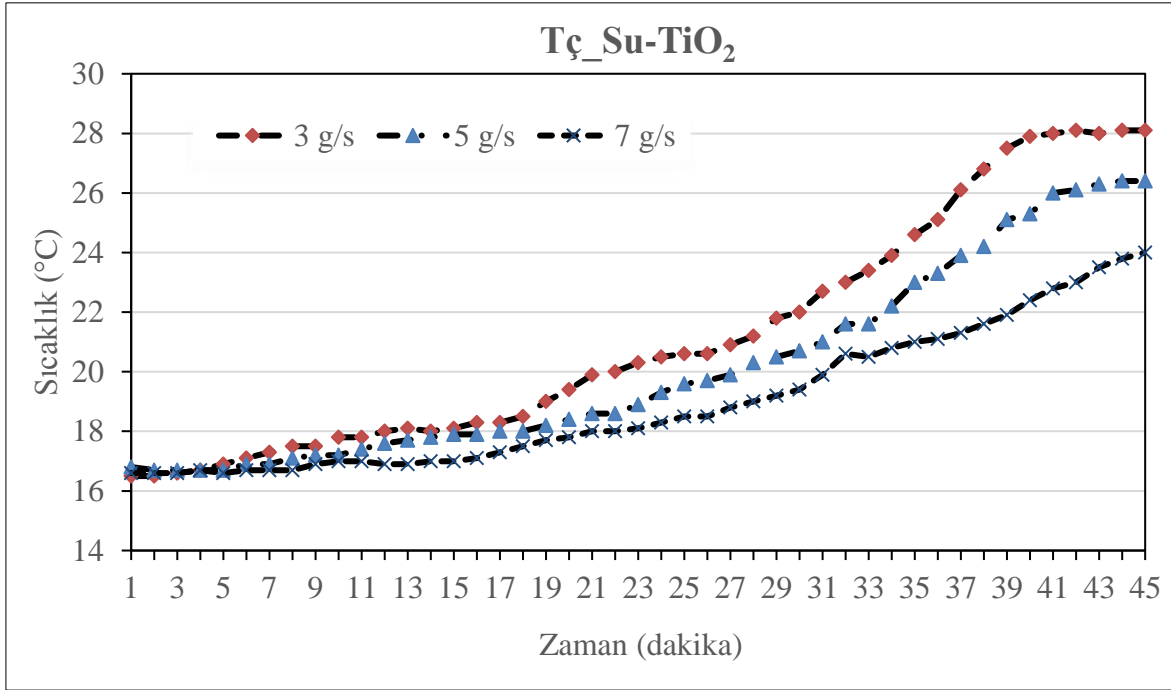
Şekil 5.6. Su-TiO₂ nanoakışkanının debiye bağlı (7 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Debisi 7 g/s olan Su-TiO₂ kullanıldığı deneyin sonuçları, Şekil 5.6'da Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiğinde gösterilmiştir. Nanoakışkanın giriş-çıkış sıcaklıkları ilk dakikadan sekizinci dakikaya kadar yaklaşık olarak eşit ölçülmüştür. Bu dakikadan itibaren nanoakışkanın çıkış sıcaklığı sürekli ve yavaş bir artış göstermektedir. Sistem en yüksek çıkış sıcaklığına deney sonunda ulaşmış olup 24 °C olarak ölçülmüştür.



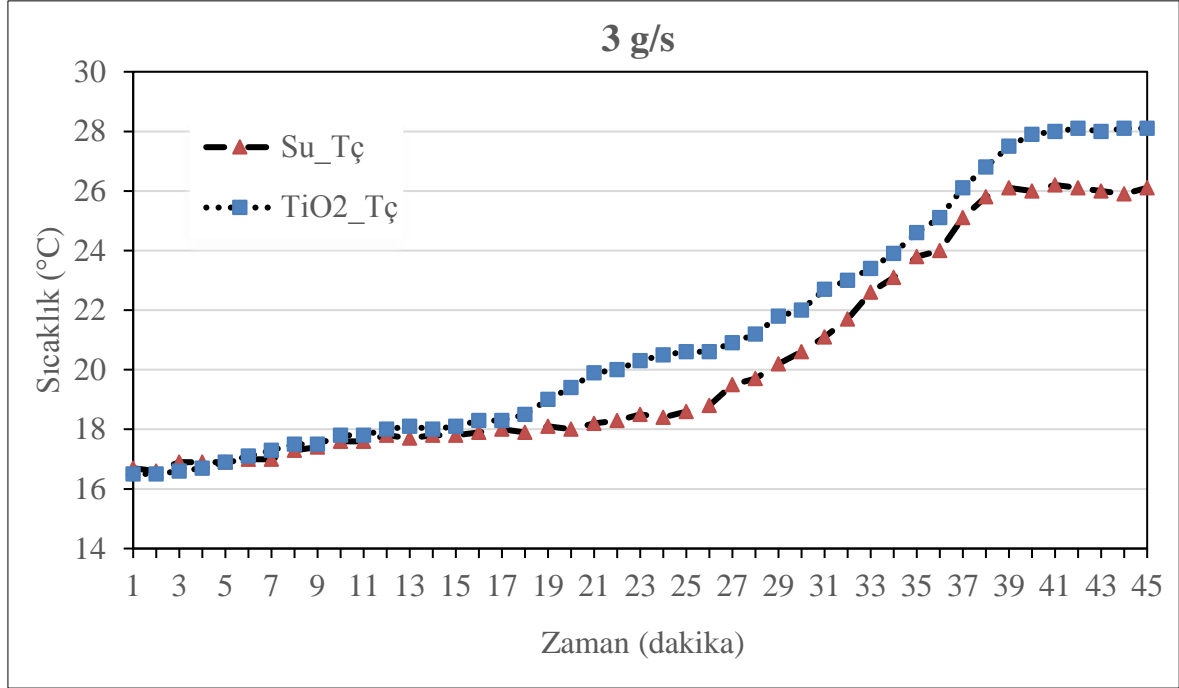
Şekil 5.7. Saf su akışkanının debilere bağlı sıcaklık-zaman grafiği

Kolektörde kullanılan akışkanın saf su, debilerinin 3 g/s, 5g/s ve 7 g/s alındığı deneylerde debilere bağlı Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiği Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Bu grafikte saf su debilerindeki değişime göre zamanla meydana gelen saf su çıkış sıcaklığı değişimine yer verilmiştir. 3 g/s debi ile yapılan deney çalışmasında çıkış sıcaklığının ivmelendiği dakikayı 26, 5 g/s debi ile yapılan deneyde çıkış sıcaklığının hızlı yükselişe başladığı dakikayı 28 ve 7 g/s debi ile yapılan deneyde ise bu durumun dakika 29’da başlamıştır. Debiler arasında deneyin ilk yirmi birinci dakikaya kadar önemli bir sıcaklık farkı oluşmadığı görülmektedir. Bu dakikalardan sonra debi arttıkça saf su çıkış sıcaklığında azalarak artma olduğu belirlenmiştir. Debini 3 g/s olduğu andaki en yüksek çıkış sıcaklığının 26,2 °C olduğu görülürken 5 g/s debili deney sisteminde ise en yüksek çıkış sıcaklığı 2,1 °C fark ile 24,1 °C’ye düştüğü gözlemlenmiştir. Deney 7 g/s debi ile yapıldığında ise 5 g/s debili sisteme göre en yüksek çıkış sıcaklığında 1,1 °C azalma ile 23 °C ölçülmüştür. Bu sonuçlardan hareketle akışkanın saf su olduğu güneş kolektörleri deneylerinde debinin artmasıyla birlikte en yüksek çıkış sıcaklığında düşüş olmaktadır. Saf su akışkanının kullanıldığı güneş kolektör deneylerinde belirli bir dakikadan sonra çıkış sıcaklığının kararlı hale geldiği görülmektedir. En erken kararlı hale geldiği dakikalar, saf su debisinin azalmasıyla daha erken olmaktadır.



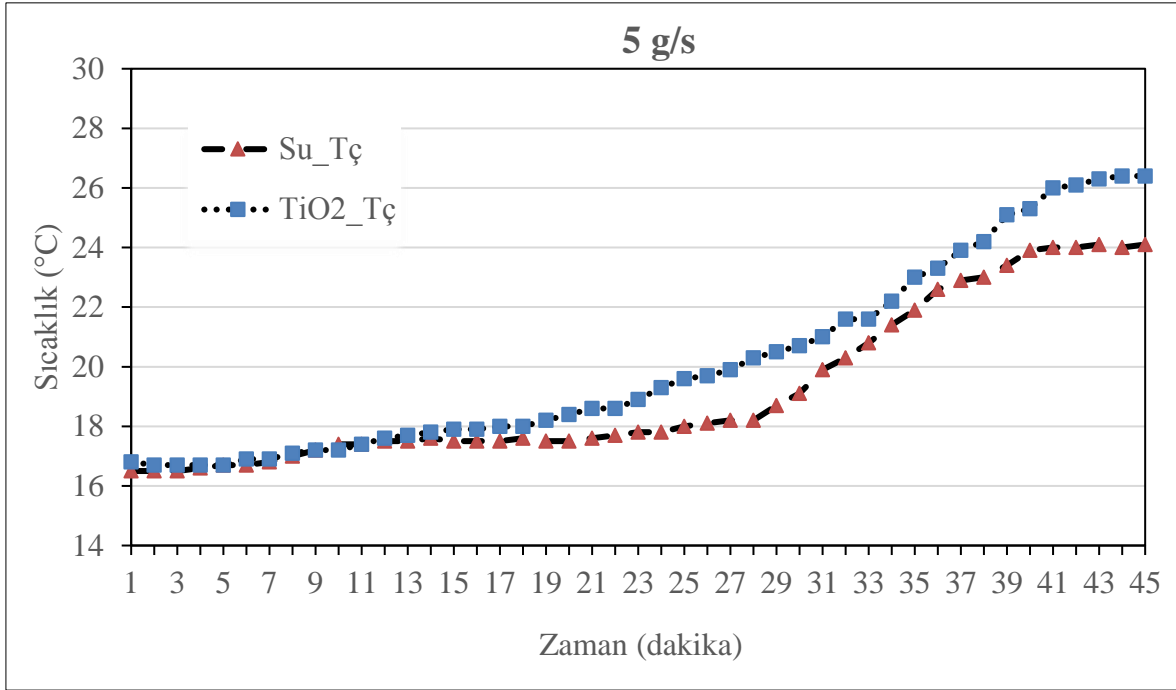
Şekil 5.8. Su-TiO₂ nanoakışkanının debilere bağlı sıcaklık-zaman grafiği

Kolektörde kullanılan nanoakışkanın Su-TiO₂, debilerinin 3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s alındığı deneylerde debilere bağlı Sıcaklık (°C) – Zaman (dakika) grafiği Şekil 5.8’de gösterilmiştir. İlk 18 dakikada 3 g/s debi ile hareket eden Su-TiO₂ çıkış sıcaklığındaki değişim 2 °C olmuştur. Bu 2 °C’lik değişimin 5 g/s debi ile yirmi üçüncü dakikada, 7 g/s debi ile yirmi altıncı dakikada olduğu görülmüştür. Debinin artmasıyla en yüksek çıkış sıcaklığının düştüğü ve sistemin kararlı hale geçmesi için daha çok süre gerektiği görülmüştür. 3 g/s Su-TiO₂ debisi olduğu durumda suyun kararlı hale geldiği kırkıncı dakikada 27,9 °C, 5 g/s debili Su-TiO₂ kararlı hale geldiği kırk ikinci dakikada 26,1 °C olduğu görülmüş ve 7 g/s debili Su-TiO₂ ise deney sonunda 24 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek çıkış sıcaklığı açısından değerlendirildiğinde, 3 g/s Su-TiO₂ debisinde en yüksek çıkış sıcaklığına ulaşılmış olmakla birlikte 28,1 °C ölçülmüştür. 5 g/s debi ile yapılan deneyde en yüksek çıkış sıcaklığı 3 g/s’dekine göre 1,7 °C azalma ile 26,4 °C olarak ölçülmüştür. 7 g/s debi ile yapılan deneyde ise en yüksek çıkış sıcaklığı 3 g/s Su-TiO₂ debisindekine göre 4,1 °C azalma ile 24 °C olarak ölçülmüştür. Buradan da anlaşıldığı gibi debi arttıkça sistemdeki nanoakışkanın çıkış sıcaklığında düşüş olduğu belirlenmiştir.



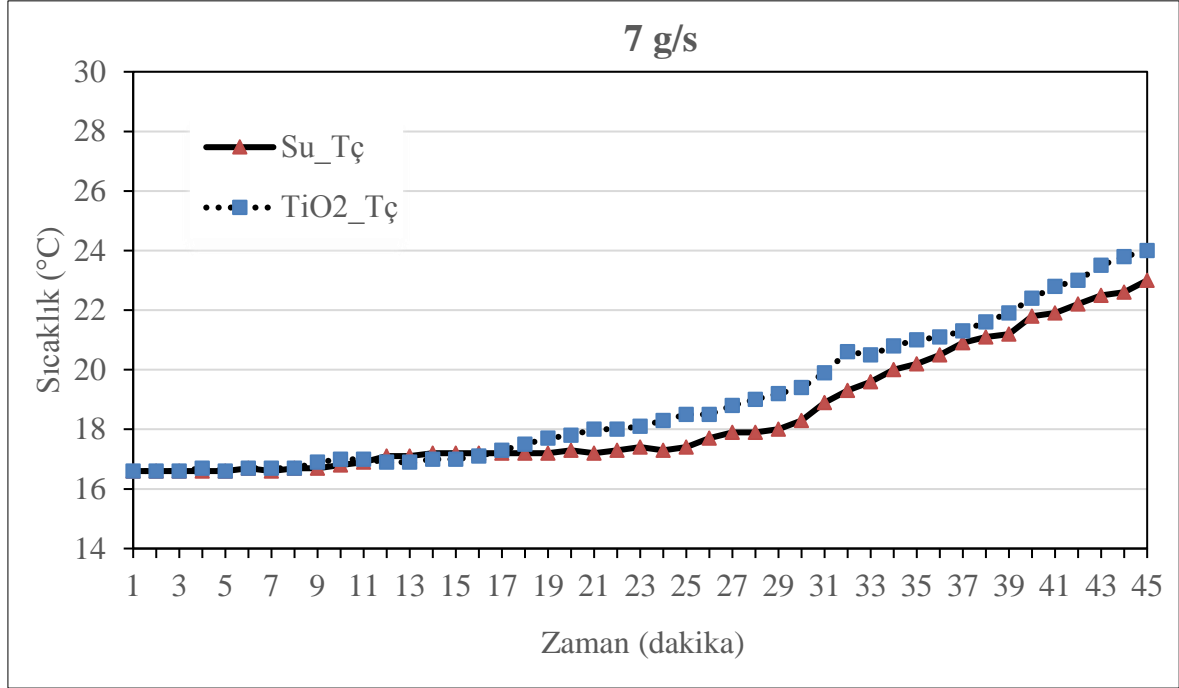
Şekil 5.9. Saf Su/Su-TiO₂'nin debiye bağlı (3 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Deney kolektöründe kullanılan saf su ve Su-TiO₂'nin 3 g/s debiye bağlı sıcaklık-zaman grafiği Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Grafikte aynı debide iki farklı akışkanın sıcaklık karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre, Su-TiO₂ ile saf suyun çıkış sıcaklıkları ilk 18 dakikada benzerdir. Bu dakikadan sonra Su-TiO₂ nanoakışkanı çıkış sıcaklığı saf suya göre hızlı bir artış göstermektedir. Su-TiO₂ nanoakışkanı en yüksek çıkış sıcaklığı 28,1 °C olurken saf suyun en yüksek çıkış sıcaklığı Su-TiO₂'e göre 1,9 °C düşük olup 26,2 °C belirlenmiştir. Saf suya göre Su-TiO₂'nin en yüksek çıkış sıcaklığı % 7,25 daha yüksek olduğu görülmüştür.



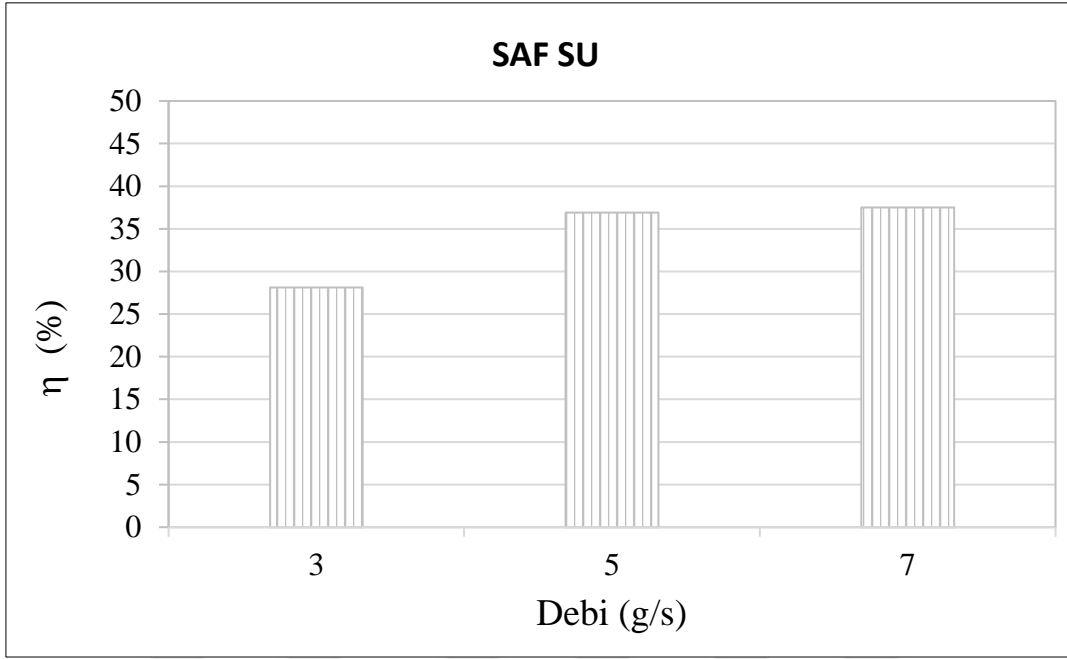
Şekil 5.10. Saf Su/Su-TiO₂'nin debiye bağlı (5 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Deney kolektöründe kullanılan saf su ve Su-TiO₂'nin 5 g/s debiye bağlı sıcaklık-zaman grafiği Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Grafikte aynı debide iki farklı akışkanın sıcaklık karşılaştırılması yapılmıştır. On dördüncü dakikaya gelindiğinde hem saf suyun hem de Su-TiO₂'nin çıkış sıcaklıkları yaklaşık eşittir. Su-TiO₂ nanoakışkanının deney sonucunda en yüksek çıkış sıcaklığı 26,4 °C, suyun en yüksek çıkış sıcaklığı 24,1 °C olduğu gözlemlenmiştir. Deneyin son dakikalarında kırkıncı dakikadan sonra sistemdeki hem Su-TiO₂ hem de saf suyun çıkış sıcaklıklarında kararlı olmaya başladığı görülmüştür. Buna göre, Su-TiO₂ en yüksek çıkış sıcaklığı suyun en yüksek çıkış sıcaklığından % 9,54 daha yüksektir.



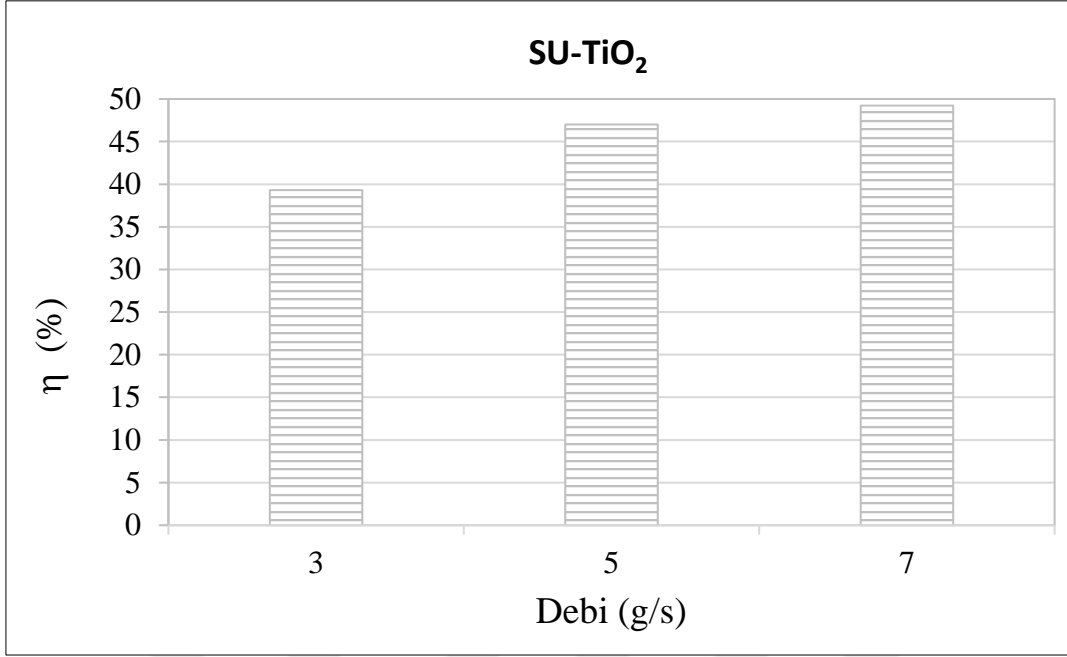
Şekil 5.11. Saf Su/Su-TiO₂'nin debiye bağlı (7 g/s) sıcaklık-zaman grafiği

Deney kolektöründe kullanılan saf su ve Su-TiO₂'nin 7 g/s debiye bağlı sıcaklık-zaman grafiği Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Grafikte aynı debide iki farklı akışkanın sıcaklık karşılaştırılması yapılmıştır. Deneyin on yedinci dakikasına kadar geçen sürede Su-TiO₂ ve saf suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları aynı seviyede ilerlemiş olup bu dakikadan sonra Su-TiO₂ nanoakışkanı çıkış sıcaklığı suya göre hızlı bir artışa geçmiştir. Hem Su-TiO₂ hem de saf su deneyin sonuna kadar çıkış sıcaklıktaki artışlarını sürdürmüş ve saf suyun en yüksek çıkış sıcaklığı 23 °C, Su-TiO₂'nin en yüksek çıkış sıcaklığı 24 °C olmuştur. En yüksek çıkış sıcaklıkları arasındaki karşılaştırmaya göre Su-TiO₂, saf suya göre % 4,35 daha yüksek sıcaklığa sahiptir.



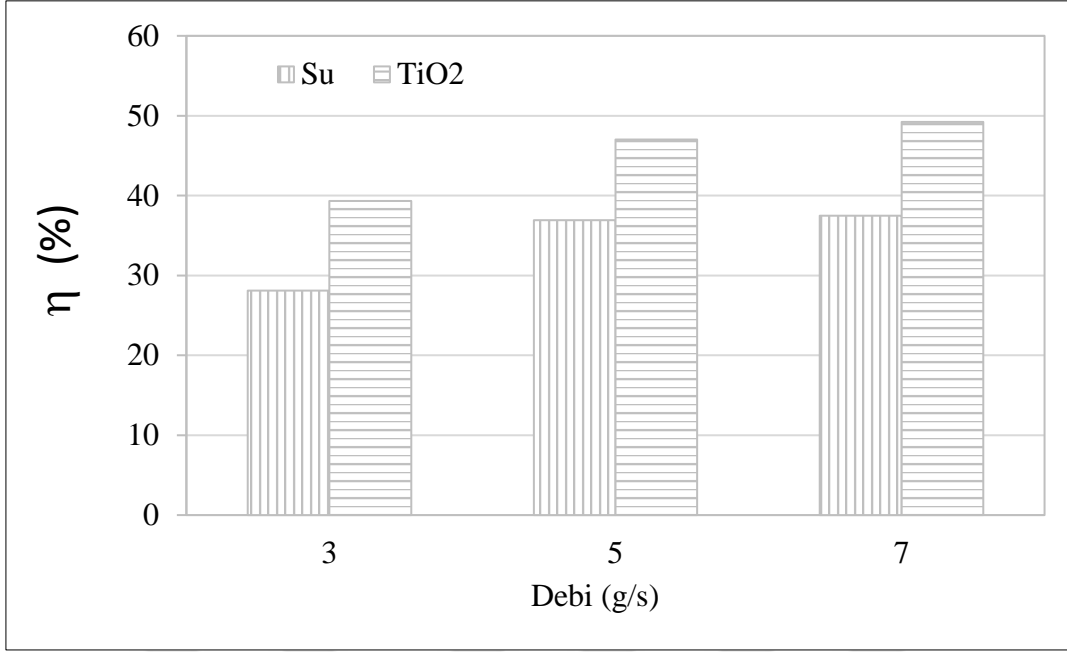
Şekil 5.12. Saf suyun debiye bağlı (3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s) verim grafiği

Deney kolektöründe kullanılan saf suyun 3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s debiye bağlı verim grafiği Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Debinin 3 g/s olduğu deneyde verim % 28,1082 olarak hesaplanmıştır. 5 g/s olduğu deneyde % 36,9079 ve 7 g/s olduğu deneyde ise % 37,4961 olduğu belirlenmiştir. Saf su kullanılan deneylerde 5 g/s'de bulunan verim 3 g/s'de bulunan verime göre % 31,31 daha yüksektir. 7 g/s'de bulunan verim 5 g/s'de bulunan verime göre % 1,59 daha yüksektir. Saf suyun kullanıldığı deneylerde verimin en yüksek olduğu debinin 7 g/s'de gerçekleştiği görülmüştür. 5 g/s ve 7 g/s debileri arasındaki verimlerde çok az bir değişim meydana gelmiştir.



Şekil 5.13. Su-TiO₂'nin debiye bağlı (3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s) verim grafiği

Deney kolektöründe kullanılan Su-TiO₂'nin 3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s debiye bağlı verim grafiği Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Debinin 3 g/s olduğu deneyde verim % 39,3245 olarak hesaplanmıştır. 5 g/s olduğu deneyde % 47,0178 iken 7 g/s olduğu deneyde ise % 49,214 olduğu belirlenmiştir. Saf su kullanılan deneylerde 5 g/s'de bulunan verim 3 g/s'de bulunan verime göre % 19,56 daha yüksektir. 7 g/s'de bulunan verim 5 g/s'de bulunan verime göre % 4,67 daha yüksektir. Saf suyun kullanıldığı deneylerde verimin en yüksek olduğu debinin 7 g/s'de gerçekleştiği görülmüştür. 5 g/s ve 7 g/s debileri arasındaki verimlerde çok az bir değişim meydana gelmiştir.



Şekil 5.14. Saf Su/Su-TiO₂'nin debiye bağlı (3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s) verim grafiği

Deneyde kullanılan saf su ve Su-TiO₂'nin debiye bağlı karşılaştırmasının yapıldığı grafik Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Debilerin 3 g/s, 5 g/s ve 7 g/s olduğu deneyde verim, Su-TiO₂ nanoakışkanında saf suya göre sırasıyla % 39,9; % 27,39; % 31,25 daha yüksektir. Saf su ve Su-TiO₂'de elde edilen en yüksek çıkış sıcaklıkları 3 g/s debisinde (sırasıyla 26,2 °C; 28,1 °C) gerçekleşirken bu debideki verimler (sırasıyla % 28,1082; % 39,3245) en düşüktür. Diğer debilere göre en yüksek çıkış sıcaklığının düşük olduğu 7 g/s debideki (sırasıyla 23 °C; 24 °C) çalışmada ise verim (sırasıyla %37,4961; %49,214) en yüksek olarak hesaplanmıştır. Bu verimlere göre Su-TiO₂ ile hesaplanan verimlerin en düşüğü % 39,3245 ile saf su ile elde edilen en yüksek verim olan % 37,4961'den bile yüksek olduğu görülmüştür.

Nanoakışkan olarak kullanılan Su-TiO₂, suya göre daha yüksek çalışma sıcaklığını sağlamıştır. Suyun deneyde en yüksek çalışma sıcaklığını sağladığı zaman ile Su-TiO₂'nin bu sıcaklığı sağladığı zaman arasında belirli bir fark vardır. Nanoakışkan ile yapılan deneylerde daha erken yüksek sıcaklığa çıkıldığı tespit edilmiştir. Saf suyun en yüksek çalışma sıcaklığına ulaştığı süre ile Su-TiO₂'nin o sıcaklığa ulaştığı süre arasında, 45 dakikalık deneyde, debilere göre sırasıyla 8; 7,5; 3 dakikalık farklar olduğu görülmektedir. Kısa sürede istenen sıcaklık değerlerine ulaşılması, deneylerde Su-TiO₂ nanoakışkan kullanımı ile kanıtlanmıştır.



6. ÖNERİLER

Çalışmada kullanılan saf su ve Su-TiO₂ ile yapılan deneylerde, nano çözelti kullanımıyla daha yüksek çalışma sıcaklıklarına ulaşılmıştır. Deneylerde en yüksek çalışma sıcaklığına 28,1 °C ile 3 g/s debili Su-TiO₂ nanoakışkanı kullanımı sonucunda ulaşılmıştır. Sisteme giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığı farkının artması verimin artmasını sağladığı gibi enerji kayıplarında azalma da olacaktır. Daha küçük depolar ve daha çok sayıda ısı borusu ile çalışmalar yapılarak kaynama sıcaklığına ulaşma süreleri hakkında çalışmalar yapılabilir.

Yüksek ısıl iletkenliğin Su-TiO₂ nanoakışkanı ile sağlandığı görülmüştür. Buna paralel olarak ısıl direncin azaldığı söylenebilir. Suyun kullanıldığı deneylerde giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki fark Su-TiO₂ nanoakışkanının kullanıldığı deneylerdeki giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki farktan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Su-TiO₂ nanoakışkanında bu sıcaklık farkının az olması ısıl direncin düştüğünü gösterir. Isıl direncin ana sebeplerinden biri ısı borusunda buhar kabarcığının oluşmasıdır. Oluşan kabarcığın artması sonucu ısıl direnç yükselmektedir. Bu tez çalışmasında yapılan deneylerde ısıl direncin hesaplaması yapılmamıştır. Bu nedenle sayısal bir veri ortaya konmamıştır. Ancak Su-TiO₂ nanoakışkanı ile yüksek ısıl iletkenliğin sağlanması ve giriş-çıkış sıcaklıklarının azalması hususları ısıl direncin düşürülmesinde etkili olan nedenlerdendir. Sonraki çalışmalarda bu hesaplamalar yapılarak farklı parametrelerin bu değeri nasıl etkilediği incelenebilir.

Deneylerde gözlem yapılan en önemli hususlardan biri verimin yüksek olmasını sağlamaktır. Bu deney düzeneğinde verim hesabını etkileyen durumlar, akışkanın özgül ısısı, giriş-çıkış sıcaklığı arasındaki fark, akışkan debisi ve ışıının şiddetidir. Deneylerde ışıının şiddeti ölçülerek sabit değer alınmıştır. Hem saf su hem de Su-TiO₂'de debi arttıkça verimin arttığı tespit edilmiştir. Aynı debi miktarlarında nanoakışkanın verimi her zaman daha yüksek olmuştur. Özgül ısının da Su-TiO₂ nanoakışkanında suya göre yüksek olması verimin artmasında bir diğer etken olarak belirlenmiştir. Ayrıca kısa sürede istenen sıcaklık değerlerine ulaşılması, yüksek çalışma sıcaklığı, ısıl direncin düşürülmesi suyun yerine deneyde kullanılan Su-TiO₂ nanoakışkanı ile elde edilmesi sağlanmış olup verimin artmasını sağlayan en önemli parametrelerdendir.

Yapılan bu tez çalışmasının konusuna bağlı olarak çeşitli konularda yapılabilecek çalışmalar olduğu görülmüştür. Bunlara birkaç örnek vermek gerekirse suyla temas ettiği zamanın arttırılması veya azaltılması yani depo hacminin büyütülmesi veya küçültülmesinin etkilerinin ne olabileceği gibi hususlarla ilgili çalışmalar yapılabilir. Daha büyük bir depoya ya da daha küçük bir depoya sahip olma ile birlikte kullanılan debi miktarı da yüksek çalışma sıcaklığına ulaşmada önemli ve etkili parametrelerdir. Ancak bu konu, ilerleyen dönemlerde yapılacak akademik çalışmalar için kaynak olabilir ve sonucunda daha net bir şekilde ortaya konabilir.

Tez sonucunda yapılan deney çalışmalarına göre ısı direncin nanoakışkan kullanımını ile sisteme etkisi bilinmemektedir. Ancak çeşitli verilerin elde edilmesi ısı direncin azaldığını göstermiştir. Ancak bu azalma için gerekli hesaplamalar, ilerleyen zamanlarda akademik çalışmalarda araştırılabilir.

Su-TiO₂ çözeltisi ile nanoakışkanın sisteme etkisi ölçüm ve hesaplamalar sonucu görülmüştür. TiO₂'nin bu etkisi nanoakışkanlar üzerinde yapılacak çalışmaların artmasında etkili olabilecektir.

Rezerv bakımından bor madeni dünyada en çok ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemiz açısından ciddi bir kaynak olarak görülmektedir. Bor ile hazırlanacak nanoakışkan ile yapılabilecek akademik çalışmalar, bu tez kapsamında beklenen çıktılarını veya başka verilerin elde edilmesinde önem arz edebilir.

KAYNAKLAR

1. Hussein A. K., Lib D., Kolsic L., Katad S., Sahooe B. (2017). A review of nano fluid role to improve the performance of the heat pipe solar collectors, *Energy Procedia*, 109: 417-424.
2. Sabiha M. R., Saidur R., Mekhilef S., Mahian O. (2015). Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51:1038-1054.
3. Muhammad J. M., Muhammad I. A., Sidik N. A. C., Yazid M. N. A. M. (2016). Thermal performance enhancement of flat-plate and evacuated tube solar collectors using nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76:6-15.
4. Nagarajan P. K., Subramani J., Suyambazhahan S., Sathyamurthy R. (2014). Nanofluids for solar collector applications: A Review, *Energy Procedia*, 61:2416-2434.
5. Zondag H.A., De Vries D.W., Van Helden W.G.J., Van Zolingen R.J.C., Van Steenhoven A.A. (2002). The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector, *Solar Energy*, 72 113–128.
6. Jamil M.M., Che Sidik N.A., Muhammad Yazid M.N.A.W. (2016). Thermal performance of thermosyphon Evacuated Tube Solar Collector using TiO₂/water nanofluid, *Journal of Advance Research in Fluid Mechanics and Thermal Science*, 20(1)12–29.
7. Prasher R. S., Phelan P. (2005). Modeling of radiative and optical behavior of nanofluids based on multiple and dependent scattering theories. *Proceedings of the ASME Heat Transfer Division*, 376:739–4.
8. Javadi, F.S., Saidur R., Kamalisarvestani M. (2013). Investigating performance improvement of solar collectors by using nano fluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28:232 – 245.
9. Arslan G. (2007). *Üç kolonlu titreşimli ısı borusunun matematiksel modellenmesi ve deneysel incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Suman S., Khan M., Pathak M. (2015). Performance enhancement of solar collectors - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49:192–210.
11. Zambolin E., Del Col D. (2010). Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions, *Solar Energy*, 84:1382–1396.
12. Ayompe L. M., Duffy A., Mc Keever 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*, 36:3370–3378.

13. Lu L., Liu Z. H., Xiao H. S. (2011). Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors: Part 1: indoor experiment, *Solar Energy*, 85:379–387.
14. Jahanbakhsh A., Haghgou H. R., Alizadeh S. (2015). Experimental analysis of a heat pipe operated solar collector using water–ethanol solution as the working fluid, *Solar Energy*, 118: 267–275.
15. Saidur R., Leong K. Y., Mohammad H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:1646–1668.
16. Yousefi T., Shojaeizadeh E., Veysi F., Zinadini S. (2012). An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT–H₂O nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector, *Solar Energy*, 86:771–779.
17. Yousefi T., Veisy F., Shojaeizadeh E., Zinadini S. (2012). An experimental investigation on the effect of MWCNT–H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Experimental Thermal Fluid Science*, 39:207–212.
18. Yousefi T., Veysi F., Shojaeizadeh E., Zinadini S. (2012). An experimental investigation on the effect of Al₂O₃–H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Renewable Energy*, 39:293–298.
19. Verma S. K., Tiwari A. K. (2015). Progress of nanofluid application in solar collectors: a review, *Energy Conversion and Management*, 100:324–346.
20. Akoh H, Tsukasaki Y, Yatsuya S, Tasaki A. (1978). Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate. *Journal of Crystal Growth*, 45:495–500.
21. Tran P. X., Soong Y. (2007). Preparation of nanofluids using laser ablation in liquid technique. In: ASME applied mechanics and material conference, Austin, Texas USA.
22. Zhu H., Lin Y., Yin Y. (2004). A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids. *Advances in Colloid and Interface Science*, 227:100–3.
23. Akilu S., Sharma K. V., Baheta A. T., Mamat R. (2016). A review of thermo physical properties of water based composite nano fluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66: 654 –678.
24. 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.
25. Sarsam W. S., Kazi S. N., Badarudin. (2015). A review of studies on using nanofluids in flat-plate solar collectors, *Solar Energy*, 122:1245–1265.
26. 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 (17–18):4051–68.

27. Mingzheng Z., Guodong X., Jian L., Lei C., Lijun Z. (2012). Analysis of factors in influencing thermal conductivity and viscosity in different kinds of surfactant solutions. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 36:22–9.
28. Environmental Health & Safety (EHS), *Nanomaterials Safety Guidelines*, Concordia University.
29. Leong K. Y., Ong H. C., Amer N. H., Norazrina M. J., Risby M. S., KuAhmad K. Z. (2016). An overview on current application of nanofluids in solar thermal collector and its challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 1092 – 1105.
30. Taylor R. A., Phelan P. E., Otanicar T. P., Adrian R., Prasher R. (2011). Nanofluid optical property characterization: towards efficient direct absorption solar collectors. *Nanoscale ResLett*, 6:225.
31. Javadi F. S., Saidur R., Kamalifarvestani M. (2013). Investigating performance improvement of solar collectors by using nano fluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 232 – 245.
32. Bor Rezervleri. (2014-2015-2018). URL:<http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri>, Son Erişim Tarihi: 10 Ekim 2018.
33. Nagarajan P. K., Subramani J., Suyambazhahan S., Sathyamurthy R. (2014). Nanofluids for solar collector applications: A Review, *Energy Procedia*, 61: 2416-2434.
34. Xia X., Xia J., Virkar A. (2010). Evaluation of potential for developing renewable sources of energy to facilitate development in developing countries. *Proceedings of the Asia Pacific power and energy engineering conference Chengdu, China*: 1-3.
35. Lu L., Liu Z., Xiao H. (2011). Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors Part 1: Indoor experiment. *Solar Energy*, 85:379-387.
36. Senthil Kumar R., Manimaran R., Ramadoss K., Shankar N. (2012). Experimental analysis of nano fluid-charged solar water heater by solar tracking system. *Archives of Applied Science Research*, 4:2582-2590.
37. Moorthy M., Chui L., Sharma K., Anuar S. (2012). Performance evaluation of evacuated tube solar collector using water-based titanium oxide (TiO₂) nanofluid. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 3:301-310.
38. Ersöz M. A., Yıldız A. (2013). Isı Borulu Vakum Tüp Güneş Kollektörlerinde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 133:5-17.
39. Acar B., Öz E. S., Ve Gedik E. (2008). Ayrık Ve Birleşik Isı Borulu Kollektör Verimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 23:425-429.

40. Sözen A., Gürü M., Menlik T., Aktaş M. (2017). Utilization of blast furnace slag nanofluids in two-phase closed thermos-syphon heat pipes for enhancing heat transfer. *Experimental Heat Transfer*, 30(2): 112-125.
41. Singh P.K., Anoop K.B., Sundararajan T., S.K. Das, (2010). Entropy generation due to flow and heat transfer in nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 3:4757-4767.
42. Alim M.A., Abdin Z., Saidur R., Hepbasli A., Khairul M.A., Rahim N.A. (2013). Analyses of entropy generation and pressure drop for a conventional flat plate solar collector using different types of metal oxide nanofluids. *Energy and Buildings*, 66:289-296.
43. Chien H.-T., Tsai C.-I., Chen P.-H., Chen P.-Y. (2013). Improvement on Thermal Performance of a Disk-Shaped Miniature Heat Pipe with Nanofluid, *Electronic Packaging Technology Proceedings. ICEPT, Fifth International Conference IEEE*, 389-391.
44. Hossain M. S., Saidur R., Mohd Sabri M. F., Said Z., Hassani S. (2015). Spotlight on available optical properties and models of nanofluids: areview. *Renew Sustainable Energy Reviews*, 43:750-62.
45. Wu Y., Zhou L., Du X., Yang Y. (2015). Optical and thermal radiative properties of plasmonic nanofluids containing core-shell composite nanoparticles for efficient photothermal conversion. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 82:545-54.
46. Meng Z., Wu D., Wang L., Zhu H., Li Q. (2012). Carbon nanotube glycol nanofluids: photo-thermal properties, *thermal conductivities and rheological behavior. Particuology*, 10(5):614-8.
47. Lee S. H., Jang S. P. (2013). Extinction coefficient of aqueous nanofluids containing multi-walled carbon nanotubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67(0):930-5.
48. Sajid M. H., Said Z., Saidur R., Adikan F. R. M., Sabri M. F. M., Rahim N. A. (2014). A time variant investigation on optical properties of water based Al₂O₃ nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50:108-16.
49. Said Z., Saidur R., Rahim N. A. (2014). Optical properties of metal oxides based nanofluids. *International Communicationas in Heat and MassTransfer*, 59:46-54.
50. Zhang L., Liu J., He G., Ye Z., Fang X., Zhang Z. (2014). Radiative properties of ionic liquidbased nanofluids for medium-to-high-temperature direct absorption solar collectors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 130:521-8.
51. Hordy N., Rabilloud D., Meunier J. L., Coulombe S. (2014). High temperature and longterm stability of carbon nanotube nanofluids for direct absorption solar thermal collectors. *Solar Energy*, 105:82-90.

52. Lu L., Liu Z. H., Xiao H. S. (2011). Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors: Part1: indoor experiment. *Solar Energy*, 85(2):379–87.
53. Otanicar T. P., Phelan P. E., Prasher R. S., Rosengarten G., Taylor R. A. (2010) Nanofluid based direct absorption solar collector. *Journal Renew Sustainable Energy*, 2:033102–13.
54. 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. *Renew Energy*, 39(1):293-8.
55. Yousefi T., Shojaeizadeh E., Veysi F., Zinadini S. (2012). An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT– H_2O nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector. *Solar Energy*, 86(2):771–9.
56. Yousefi T., Veisy F., Shojaeizadeh E., Zinadini S. (2012). An experimental investigation on the effect of MWCNT- H_2O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Experimental Thermal Fluid Science*, 39(0):207–12.
57. Jamal-Abad T. M., Zamzamian A., Imani E., Mansouri M. (2013). Experimental study of the performance of a flat-plate collector using Cu–water nanofluid. *Journal Thermal mophy Heat Transfer*, 27(4):756–60.
58. Chougule S. S., Sahu S. K., Pise A. T. (2013). Thermal performance of two phase thermosyphon flat- plate solar collectors using nanofluid. *Journal Solar Energy Engineering*, 136 (1) (014503-014503-014505).
59. Kasaeian A., Daviran S., Azarian R. D., Rashidi A. (2015). Performance evaluation and nanofluid using capability study of a solar parabolic trough collector. *Energy Convers Management*, 89:368–75.
60. Beck Michael P., Sun T., Teja Aryn S. (2007). The thermal conductivity of alumina nanoparticles dispersed in ethylene glycol. *Fluid Phase Equilib*, 260:275–8.
61. Jung-Yeul J., Eung Surk K., Yong Tae K. (2012). Stabilizer effecton CHF and boiling heat transfer coefficient of alumina/water nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55:1941–6.
62. Hung Yi H., Teng Tun P., Lin Bo G. (2013). Evaluation of the thermal performance of a heat pipe using alümina nano fluids. *Experimental Thermal Fluid Science*, 44:504–11.
63. Singh Pawan K., Harikrishna P. V., Sundararajan T., Kumar Das S. (2012). Experimental and numerical investigation into the hydrodynamics of nanofluids in microchannels. *Experimental Thermal Fluid Science*, 42:174–86.
64. Esmaeilzadeh E., Almohammadi H., Nasiri Vatan Sh., Omrani A. N. (2013). Experimental investigation of hydrodynamics and heat transfer characteristic sof $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ under laminar flow inside a horizontal tube. *International Journal Thermal Science*, 63:31–7.

65. Peng H., Wan-Liang S., Fei Y., Shao C. (2008). Thermal conductivity of AlN- ethanol nanofluids. *International Journal Thermophys*, 29:1968–73.
66. Raykar Vijay S., Singh Ashok K. (2010). Thermal and rheological behavior of acet-ylacetone stabilized ZnO nanofluids. *Thermochimica Acta*, 502:60–5.
67. Madhusree Kole Dey T. K. (2012). Thermophysical and pool boiling characteristic sof ZnO–ethylene glycol nanofluids. *International Journal Thermal Science*, 62:61–70.
68. Longo Giovanni A., Claudio Z. (2011). Experimental method of thermophysical properties ofoxide–water nano-fluids down toice-point. *Experimental Thermal Fluid Science*, 35:1313–24.
69. Zoubida H., Chérifa A., Oztop H. F., Amina M. (2014). A review on how there searchers prepare their nanofluids. *International Journal Thermal Science*, 76:168–89.
70. Abdolreza F. S., Mohammad H. H. S., Hootan Z., Mehdi A. (2012). Experimental and numerical investigation of heat transfer inaminiature heat sinkutilizing silica nanofluid. *Superlattices Microstruct*, 51:247–64.
71. Pang C., Jung Y., Lee J. W., Kang Y. T. (2012). Thermal conductivity measurement of methanol-based nanofluids with Al₂O₃ and SiO₂ nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55:5597–602.
72. Abareshi M., Goharshadi E. K., Zebarjad S. M., Fadafan H. K., Youssefi A. (2010). Fabrication, characterization and measurement of thermal conductivity of Fe₃O₄ nanofluids. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322:3895–901.
73. Kathiravan R., Ravi K., Akhilesh G., Ramesh C. (2010). Preparation and pool boiling characteristics of copper nanofluids over a flat plate heater. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53:1673–81.
74. Fengmin S., Xuehu M., Zhong L. (2011). The effect of carbon nanotubes on the physical properties of a binary nanofluid. *Journal of the Taiwan Institute Chemical Engineers*, 42:252–7.
75. Phuoc Tran X., Yee S., Chyu Minking K. (2007). Synthesisof Ag–deionized water nanofluids using multi-beam laser ablation in liquids. *Optics and Lasers in Engineering*, 45(12):1099–106.
76. Shehata F., Fathy A., Abdelhameed M., Moustafa S. (2009). Preparation and properties of Al₂O₃ nanoparticle reinforced copper matrix composites by in situ processing. *Materials and Design*, 30(7):2756–62.
77. Nader N., Mohsin S., Haghghi Ehsan B., Morteza G., Rahmatollah K.M.M., Björn P., Toprak Muhammet S. (2014). Fabrication, characterization and thermo-physical property evaluation of water/ethyleneglycol based SiC nanofluids for heat transfer applications. *Nano–Micro Letters*, 6:178–89.

78. Vasant Sonal R., Joshi M.J. (2011). Synthesis and characterization of nanoparticles of calcium pyrophosphate. *Modern Physics Letters B*, 25(1):53–62.
79. Liu M.S., Ching-Cheng Lin M., Huang Wang I T. (2005). Enhancement of thermal conductivity with carbon nanotubes for nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32(9):1202–10.
80. Pankaj S., BaekII-Hyun, Taehyun C., Sangdo P., Bong L.K. (2011). Enhancement of thermal conductivity of ethylen eglycol based silver nanofluids. *Powder Technol*, 208:7–19.
81. Sharma K., Sarma P., Azmi W., Mamat R., Kadirgama K. (2010). Correlations to predict friction and forced convection heat transfer coefficients of water based nanofluids for turbulent flow in a tube. *International Journal of Microscale Nanoscale Thermal and Fluid Transport Phenomena*, 3:283–308.
82. Sattler K.D. (2010). Hand book of nanophysics: nanoparticles and quantum dots. Florida, Boca Raton, USA: CRC Press.
83. Kamyar A., Saidur R., Hasanuzzaman M. (2012). Application of computational fluid dynamics (CFD) for nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55:4104–15.
84. Leong K.C., Yang C., Murshed S.M.S. (2006). A model for the thermal conductivity of nanofluids – the effect of interfacial layer. *Journal of Nanoparticle Research*, 8:245–54.
85. Eapen J., Rusconi R., Piazza R., Yip S. (2010). The classical nature of thermal conduction in nanofluids. *Journal of Heat Transfer*, 132:102402.
86. Evans W., Prasher R., Fish J., Meakin P., Phelan P., Keblinski P. (2008). Effect of aggregation and interfacial thermal resistance on thermal conductivity of nanocomposites and colloidal nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51:1431–8.
87. Lee J.H., Lee S.H., Choi C.J., Jang S.P., Choi S.U. (2010). A review of thermal conductivity data, mechanisms and models for nanofluids. *International Journal Micro-Nano Scale Transport*, 1:269–322.
88. Keblinski P., Phillpot S.R., Choi SUS, Eastman J.A. (2002). Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45:855–63.
89. Michaelides, E.S. (2013). Heat transfer with nanofluids. In: Heat and mass transfer in particulate suspensions ed: Springer, New York, page:121–64.
90. Tsai T.H., Kuo L.S., Chen P.H., Yang C.T. (2008). Effect of viscosity of base fluid on thermal conductivity of nanofluids. *Applied Physics Letters*, 93:233121.

91. Nguyen C., Desgranges F., Roy G., Galanis N., Mare T., Boucher S. et al. (2007). Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nano-fluids–hysteresis phenomenon. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28:1492–506.
92. Mishra P.C., Mukherjee S., Nayak S.K., Panda A. (2014). A brief review on viscosity of nanofluids. *International Nano Letters*, 4:109–20.
93. He Y., Jin Y., Chen H., Ding Y., Cang D., Lu H. (2007). Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of TiO₂ nanoparticles (nanofluids) flowing up ward through a vertical pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50:2272–81.
94. Tsai T.H., Kuo L.S., Chen P.H., Yang C.T. (2006). Effect of viscosity of base fluid on thermal conductivity of nanofluids, *Applied Physics Letters*, 93:233121.
95. Prasher R., Song D., Wang J., Phelan P. (2006). Measurements of nanofluid viscosity and its implications for thermal applications. *Applied Physics Letters*, 89: 133108.
96. Rudyak V.Y. (2013). Viscosity of nanofluids. Why it is not described by the classical theories. *Advances in Nanoparticles*, 2: 266.
97. Jeong J., Li C. Kwon Y., Lee J., Kim S.H., Yun R. (2013). Particle shape effect on the viscosity and thermal conductivity of ZnO nanofluids, *International Journal of Refrigeration*, 36: 2233–41.
98. Ferrouillat S., Bontemps A., Poncelet O., Soriano O., Gruss J-A. (2013). Influence of nanoparticle shape factor on convective heat transfer and energetic performance of water-based SiO₂ and ZnO nanofluids. *Applied Thermal Energy*, 51: 839–5.
99. Zhao J. F., Luo Z. Y., Ni M.J., Cen K.F. (2009). Dependence of nanofluid viscosity on particle size and pH value. *Chinese Physics Letters*, 26: 066202.
100. Ghaderian J., Sidik N. A. C. (2017). An experimental investigation on the effect of Al₂O₃/distilled water nanofluid on the energy efficiency of evacuated tube solar collector, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108: 972–987.
101. Krishnam M, Bose S., Das C. (2016). Boron nitride (BN) nanofluids as cooling agent in thermal management system (TMS), *Applied Thermal Engineering*, 106: 951–958.
102. Liu Z. H., Li Y. Y. (2012). A new frontier of nanofluid research–application of nanofluids in heat pipes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55: 6786–6797.
103. Beybin İ., Kurt M., Ertürk H. (2016). Experimental investigation of heat transfer enhancement and viscosity change of hBN nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 77: 272–283.
104. Li Y., Zhou J., Luo Z., Tung S., Schneider E., Wu J. and Li X. (2011). Investigation on two abnormal phenomena about thermal conductivity enhancement of BN/EG nanofluids, *Nanoscale Research Letters*, 6: 443.

105. Poplaski L. M., Benn S. P., Faghri A. (2017). Thermal performance of heat pipes using nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107: 358–371.
106. Menlik T., Sözen A., Gürü M., Oztas S. (2015). Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe, *Journal of the Energy Institute*, 88: 247 – 257.
107. Menlik T., Sözen A., 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.
108. Sözen A., Özbaş E., Menlik T., Çakır M. T., Gürü M., Boran K. (2014). Improving the thermal performance of diffusion absorption refrigeration system with alumina nanofluids: An experimental study, *International Journal of Refrigeration*, 44: 73– 80.
109. Yan S., Wang F., Shi Z., Tian R. (2017). Heat transfer property of SiO₂/water nanofluid flow inside solar collector vacuum tubes, *Applied Thermal Engineering*, 118: 385–391.
110. Ghaderian J., Sidik N. A. C., Kasaeian A., Ghaderian S., Okhovat A., Pakzadeh A., Samion S., Yahya W. J. (2017). Performance of copper oxide/distilled water nanofluid in evacuated tube solar collector (ETSC) water heater with internal coil under thermosyphon system circulations, *Applied Thermal Engineering*, 121: 520–536.
111. Kim H., Kim J., Cho H. (2017). Experimental study on performance improvement of U-tube solar collector depending on nanoparticle size and concentration of Al₂O₃ nanofluid, *Energy*, 118: 1304 – 1312.
112. Iranmanesh S., Ong H. C., Ang B. C., Sadeghinezhad E., Esmailzadeh A., Mehrali M. (2017). Thermal performance enhancement of an evacuated tube solar collector using graphene nanoplatelets nanofluid, *Journal of Cleaner Production*, 162: 121 – 129.
113. Pisea G. A., Salveb S. S., Pisea A. T., Pisea A. A. (2016). Investigation of solar heat pipe collector using nanofluid and surfactant, *Energy Procedia*, 90: 481 – 491.
114. Çiftçi E., Sözen A., Karaman E., (2016). TiO₂ içeren nanoakışkan kullanımının 151 borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 19(3): 367-376.
115. Sözen A., Variyenli H. İ., Özdemir M. B., Gürü M., Aytac İ. (2016). Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers, *Journal of the Energy Institute*, 89: 414 – 424.
116. Wang W., Duan G., Li J., Zhao W., Li C., ZLiu C. (2017). The preparation and thermal performance research of spherical Ag-H₂O nanofluids & applied in heat pipe, *Applied Thermal Engineering*, 116: 811–822.
117. Du M., Li G, (2017). Preparation of silane- capped boron nanoparticles with enhanced dispersibility in hydrocarbon fuels, *Fuel*, 194: 75–82.

118. Sadeghinezhad E., Mehrali M., Rosen M. A., Akhiani A. R., Latibari S. T., Mehrali M., Metselaar H. S. C. (2016). Experimental investigation of the effect of graphene nanofluids on heat pipe thermal performance, *Applied Thermal Engineering*, 100: 775–787.
119. Pryazhnikov M.I., Minakov A.V., Rudyak V. Y., Guzei D.V. (2017). Thermal conductivity measurements of nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 104: 1275–1282.
120. Paul G., Chopkar M., Manna I., Das P.K. (2010). Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 1913–1924.
121. Li Y., Wang Y., Lv Q., Qin Z., Liu X. (2013). Synthesis of uniform plate-like boron nitride nanoparticles from boron oxide by ball milling and annealing process, *Materials Letters*, 108: 96–102.
122. Huminic G., Huminic A. (2013). Numerical study on heat transfer characteristics of thermosyphon heat pipes using nanofluids, *Energy Conversion and Management*, 76: 393–399.
123. El-Brollosy T. A., O. Saber O. (2013). Non-intrusive method for thermal properties measurement of nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44: 498–503.
124. Chen M., He Y., Zhu J., Wen D. (2016). Investigating the collector efficiency of silver nanofluids based direct absorption solar collectors, *Applied Energy*, 181: 65–74.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SU, Umut Önder
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.12.1983, Çubuk
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (507) 756 5042
 Faks : 0 (312) 282 38 09
 e-mail : umutsu@aselsan.com.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Arizona State University / Technology Management	2010
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2007
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İşletme	2006
Lise	Ayrancı YDA Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	ASELSAN	Proje Yöneticisi
2018 -2019	TPIC	Proje Müdürü
2010-2018	TPAO	Proje Yöneticisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayın

Su, U., Sözen, A., Menlik, T. (2019). Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 245-257. DOI: 10.2339/politeknik.51209

Hobiler

Kitap okuma, yüzme, okçuluk, seyahat



GAZİ GELECEKTİR..