



**HİBRİT NANO AKIŞKANIN PLAKALI VE EŞMERKEZLİ BORU ISI  
DEĞİŞTİRİCİSİNDEKİ PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Mert ÖKTEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2020**

Mert ÖKTEN tarafından hazırlanan “HİBRİT NANO AKIŞKANIN PLAKALI VE EŞMERKEZLİ BORU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDEKİ PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Halil İbrahim VARIYENLİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi .....

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

**Başkan:** Prof. Dr. Tayfun MENLİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi .....

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

**Üye:** Doç. Dr. Eşref BAYSAL

Enerji Yönetimi ve Verimliliği Ana Bilim Dalı, Manisa Celal Bayar Üniversitesi .....

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

Tez Savunma Tarihi: 22/06/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans 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.

.....  
Mert ÖKTEN  
22/06/2020

# HİBRİT NANO AKIŞKANIN PLAKALI VE EŞMERKEZLİ BORU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDEKİ PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mert ÖKTEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

## ÖZET

Endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanımıyla karşılaştığımız ısı değıştircilerde, ısı transferini iyileştirmek için geliştirilen yöntemlerden biri de iş akışkanı olarak nanoakışkanların kullanılmasıdır. İş akışkanı olarak hibrit bakır oksit alümina ( $CuO + Al_2O_3$ ) nanoakışkanının kullanıldığı bu çalışmada, türbülanslı akışta nanoakışkanın, eş merkezli iç içe borulu ve plakalı ısı değıştircilerindeki performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde hibrit nanoakışkan, eş merkezli iç içe borulu ısı değıştircisinde ağırlıkça %0,5 ve %1 derişimlerinde, plakalı ısı değıştircisinde ağırlıkça %1 derişiminde kullanılmıştır. Hibrit nanoakışkan içinde çökelmeyi engellemek ve çözeltinin homojenliğini artırmak için ağırlıkça %0,2 derişiminde Triton X-100 katyon tipi yüzey aktifleştirci ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda ısı transfer katsayısındaki artış, ağırlıkça %0,5 ve %1 derişimlerde, eş merkezli iç içe boru ısı değıştircisinde, paralel akışta %4,1 ve %7,4, zıt akışta %5,4 ve %8, ağırlıkça %1 derişimde plakalı ısı değıştircisinde %15,1 oranında olmuştur.

Bilim Kodu : 92808  
Anahtar Kelimeler : Nanoakışkanlar, Hibrit, Plakalı Isı Değıştircisi, Eş Merkezli Boru Isı Değıştircisi, Isıl İletkenlik  
Sayfa Adedi : 58  
Danışman : Doç. Dr. Halil İbrahim VARIYENLİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF HYBRID NANO  
FLUID WITH PLATE AND CONCENTRIC TUBE HEAT EXCHANGER

(M. Sc. Thesis)

Mert ÖKTEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2020

ABSTRACT

One of the methods developed to improve heat transfer in the heat exchangers, which are frequently used in industrial applications, is the use of nanofluids as a working fluid. In this study, hybrid copper oxide alumina ( $\text{CuO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) nanofluid was used as the working fluid and the performance of the nanofluid in the turbulent flow in concentric tube and plate heat exchangers was investigated experimentally. In the experiments, hybrid nanofluid was used in concentrations of 0,5% and 1% by weight in concentric tube heat exchanger and 1% by weight in plate heat exchanger. Triton X-100 cation type surfactant was added at a concentration of 0,2% by weight to prevent precipitation in the hybrid nanofluid and to increase the homogeneity of the solution. As a result of the experiments, the increase in the heat transfer coefficient was 0,5% and 1% by weight concentration, in the concentric tube heat exchanger, 4,1% and 7,4% in the parallel flow, 5,4% and 8% in the counter flow, and 15,1% in the plate heat exchanger at 1% by weight concentration.

Science Code : 92808

Key Words : Nanofluids, Hybrid, Plate Heat Exchanger, Concentric Pipe Heat Exchanger, Thermal Conductivity

Page Number : 58

Supervisor : Assoc. Prof. Halil İbrahim VARİYENLİ

## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yol gösteren, ilgi ve desteklerini esirgemeyen başta tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ olmak üzere tecrübelerinden faydalandığım Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki kıymetli tüm hocalarıma ve bu süreçte desteklerini her daim yanımda hissettiğim sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.



**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	x
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Isı Transferi ve Borularda Akış.....	3
2.2. Isı Değişiricileri.....	5
2.3. Isı Transferini Artırma Yöntemleri .....	8
2.4. Nanoakışkanlar.....	8
2.4.1. Nanopartikül ve temel sıvı .....	9
2.4.2. Nanoakışkan hazırlama yöntemleri.....	10
2.4.3. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri .....	11
2.4.4. Nanoakışkanlarla ısı transferinin iyileştirilmesi .....	12
2.5. Literatür Özeti .....	13
3. DENEY VE YÖNTEM.....	17
3.1. Deneysel Çalışma.....	18
3.2. Teorik Analiz .....	22
3.3. Belirsizlik Analizi .....	23



**Sayfa**

4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	25
4.1. Eş Merkezli İç İçe Boru Isı Değişiricisi .....	25
4.1.1. Paralel Akış .....	25
4.1.2. Zıt Akış .....	27
4.2. Plakalı Isı Değişiricisi .....	29
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	39
KAYNAKLAR .....	41
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Isı değiştiricisi çeşitleri .....	6
Çizelge 2.2. Nanopartikül türüne göre nanoakışkanlar .....	10
Çizelge 2.3. Literatürdeki nanoakışkanların hazırlanmasıyla ilgili çalışmalar .....	11
Çizelge 2.4. Yaygın olarak kullanılan malzemeler ve ısı iletim katsayıları .....	12
Çizelge 2.5. Literatürde nanoakışkanların ısı iletkenliğiyle ilgili çalışmalar .....	14
Çizelge 2.6. Hibrit nanoakışkanların ısı değiştiricilerinde kullanımı .....	16
Çizelge 3.1. Bazı sıcaklık değerleri için $Al_2O_3$ ve $CuO$ için özgül ısı ( $c_p$ ) değerleri .....	17
Çizelge 3.2. Ultrasonik banyo cihazının özellikleri .....	18
Çizelge 3.3. Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisi deney düzeneği parametreleri .....	20
Çizelge 3.4. Plakalı ısı değiştiricisi deney düzeneği parametreleri .....	21
Çizelge 3.5. Isı değişticilerinde kullanılan cihazların özellikleri .....	24

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Boru tipi ısı değiştirici .....	6
Şekil 2.2. Plakalı ısı değiştiriciler (a) Spiralli, (b) Lamelli, (c) Contalı.....	7
Şekil 3.1. Eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricisi deney düzeneği .....	19
Şekil 3.2. Plakalı ısı değiştiricisi deney düzeneği.....	21
Şekil 4.1. Paralel yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısındaki değişimi .....	25
Şekil 4.2. Paralel yönlü akışta sıcak akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim.....	26
Şekil 4.3. Paralel yönlü akışta soğuk akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim .....	26
Şekil 4.4. Paralel yönlü akışta Reynolds sayısı - toplam ısı transfer katsayısı ilişkisi .....	27
Şekil 4.5. Zıt yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısındaki değişim.....	27
Şekil 4.6. Zıt yönlü akışta sıcak akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim .....	28
Şekil 4.7. Zıt yönlü akışta soğuk akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim.....	28
Şekil 4.8. Zıt yönlü akışta Reynolds sayısı - toplam ısı transfer katsayısı ilişkisi.....	29
Şekil 4.9. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (40°C).....	30
Şekil 4.10. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (40°C) .....	30
Şekil 4.11. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (40°C).....	31
Şekil 4.12. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (45°C).....	31
Şekil 4.13. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (45°C) .....	32
Şekil 4.14. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (45°C).....	32
Şekil 4.15. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (50°C).....	33
Şekil 4.16. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (50°C) .....	33
Şekil 4.17. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (50°C).....	34
Şekil 4.18. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (55°C).....	34

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.19. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (55°C) .....	35
Şekil 4.20. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (55°C) .....	35
Şekil 4.21. Toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları .....	36
Şekil 4.22. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki iyileşme oranları.....	36
Şekil 4.23. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları .....	37



**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. CuO TEM görüntüsü .....	17
Resim 3.2. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TEM görüntüsü .....	18
Resim 3.3. Ultrasonik banyo cihazı .....	18
Resim 3.4. Hibrit nanoakışkan çözeltisi .....	19



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>A</b>	Isı transfer yüzey alanı ( $m^2$ )
<b>D</b>	Test borusu çapı (m)
<b>f</b>	Sürtünme katsayısı
<b>G</b>	Yüzeğe gelen toplam ışıınım miktarı (W)
<b>h</b>	Isı taşınım katsayısı ( $Wm^{-2}K$ )
<b>k</b>	Isı iletim katsayısı ( $W m^{-1} °C^{-1}$ )
<b>L</b>	Test borusu uzunluğu (m)
<b>Nu</b>	Nusselt sayısı
<b>Pr</b>	Prandtl sayısı
<b>Q</b>	Isı miktarı (W)
<b>R</b>	Yarıçap (m)
<b>R<sub>i</sub></b>	İç ortam havasının ısı direnci ( $m^2KW^{-1}$ )
<b>R<sub>o</sub></b>	Dış ortam havasının ısı direnci ( $m^2KW^{-1}$ )
<b>R<sub>w</sub></b>	Duvar ısı direnci ( $m^2KW^{-1}$ )
<b>R<sub>t</sub></b>	Toplam ısı direnci ( $m^2KW^{-1}$ )
<b>Re</b>	Reynolds sayısı
<b>T<sub>f</sub></b>	Çevre sıcaklığı (K)
<b>T<sub>w</sub></b>	Duvar (Yüzey) sıcaklığı (K)
<b>U</b>	Toplam ısı transfer katsayısı ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
<b>u<sub>max</sub></b>	Maksimum hız ( $ms^{-1}$ )
<b>V<sub>avg</sub></b>	Ortalama hız ( $ms^{-1}$ )
<b>ΔP</b>	Basınç düşümü (Pa)
<b>ρ</b>	Akışkan yoğunluğu ( $kgm^{-3}$ )
<b>η</b>	Verim (%)

## 1. GİRİŞ

Refah seviyesindeki artı yönlü büyüme beraberinde enerji ihtiyacı da doğurmaktadır. 1973 petrol krizinden sonra enerji tüketimindeki artış enerji kıtlığını ortaya çıkarmıştır. Her yıl artmakta olan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacının büyük çoğunluğunu karşılamak için kullanılan fosil yakıt rezervindeki azalış yeni kaynaklar aramaya ve mevcut kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Mevcut teknolojinin gelişimi ve yeni teknolojilerin sağlanması için araştırmalar yapılmaya başlamıştır. Özellikle sanayide oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan ısı değiştiricilerinde, ısı transferinin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar oldukça fazladır.

Isı transferi verimini artırmak enerji tasarrufu bakımından önemlidir. Isıtma, soğutma, enerji üretimi, mikro elektronik alanları gibi uygulamalarda kullanılan su, madeni yağ, etilen glikol gibi temel ısı transferi akışkanlarının ısı iletkenliklerindeki düşük performansları, ısı transferinde verimin ve hızın düşük olmasına neden olmaktadır. Bu performansın artırılması için akışkan içerisine eklenen milimetre veya mikrometre boyutlarındaki metal partikülleri ısı transferi cihazlarında çökelmeye bağlı olarak korozyon oluşması, kanallarda delinme ve ani basınç düşüşü gibi sıkıntılara yol açmaktadır. Bu tip sorunların çözümü için akışkanlara nano boyutta partiküllerin eklenmesi ile oluşan nanoakışkanlar üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Nanoakışkanların kullanılmasıyla ısıl iletkenlik ve ısı kapasitesinin artması doğal olarak sistemin veriminde de artışı sağlamaktadır.

Son dönemlere kadar yapılan pek çok çalışmada nanoakışkanlar tekli metal partiküller olarak yani  $Al_2O_3$  ya da  $CuO$  şeklinde su ya da yağ karışımına karıştırılarak kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda nano partiküllerin hibrit olarak kullanılması gündeme gelmiştir.

Bu tez çalışmasında bakır oksit alümina ( $CuO + Al_2O_3$ ) hibrit nanoakışkanının eş merkezli iç içe boru tipi ve plakalı ısı değiştiricilerinde türbülanslı akış şartlarında ısıl performansının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Kurulan deney düzeneklerinde çeşitli sıcaklık ve akış debilerinde hibrit nanoakışkandan soğuk akışkana olan ısı transferi incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarında ısıl performansın arttığı gözlemlenerek literatüre katkı sağlanmıştır.





## 2. KAYNAK TARAMASI

Isı transferi değiştiricilerinde genellikle iletim ve taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Çözömlerinin doğruluğu açısından ısı transferi değiştiricileri ve bağlı buldukları sistem içindeki akışın analizi önemlidir.

### 2.1. Isı Transferi ve Borularda Akış

Isı akışıyla olan enerji transferi iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon) olmak üzere üç yöntemle olabilmektedir. İletim ile ısı transferi, malzeme içerisinde meydana gelen sıcaklık farkıyla gerçekleşir. Akış termodinamiğin 2.yasası gereği ısı akışının yüksek sıcaklıktaki bölgeden düşük sıcaklıktaki bölgeye doğrudur. İletimle ısı transfer hızı ( $Q_{iletim}$ ), sistem içerisindeki sıcaklık farkı ve ısı iletiminin gerçekleştiği doğrultuya dik yüzey alanı ile doğru orantılı, bu doğrultudaki uzaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir. Fourier Isı İletim Kanunu bu durumun ifade edilebilmesi amacıyla geliştirilmiş bir bağıntıdır ve Kartezyen koordinatlar için aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [1].

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx}, Q_y = -kA \frac{dT}{dy}, Q_z = -kA \frac{dT}{dz} \quad (2.1)$$

Taşınım ile ısı transferi, bir yüzey ile hareketli bir akışkan arasında gerçekleşir. Taşınım mekanizması bir sistem içerisindeki akış pompa, fan gibi zorlayıcı dış bir cihaz vasıtasıyla sağlanıyorsa zorlanmış taşınım, herhangi bir zorlayıcı dış kuvvet gerekmeden (ısınan havanın yükselmesi, soğuyan havanın alçalması gibi) oluşuyorsa doğal taşınım olarak adlandırılır. Isı transfer hızı, iletimle ısı transferine benzer olarak, taşınım ile ısı transferi de sıcaklık farkı ile doğru orantılı olarak değişir ve Newton'un Soğuma Yasası bu hızın ifade edilebilmesi için geliştirilmiş bir bağıntıdır [1].

$$Q_{taşınım} = hA(T_w - T_f) \quad (2.2)$$

İşınım ile ısı transferi, havası alınmış bir ortamda bulunan ve sıcaklığı çevre koşullarından farklı olan bir katı malzeme ile çevre arasında gerçekleşir. Malzemenin yansıtıcılık ( $\zeta$ ), soğurganlık ( $\alpha$ ) ve geçirgenlik ( $\tau$ ) özellikleri ısı transferinde etkilidir.

$$\zeta + \alpha + \tau = 1 \quad (2.3)$$

Opak malzemelerde geçirgenlik sıfırdır ve böylece soğurganlık ve yansıtıcılık malzemenin ısı ışınımının belirgin değişkenleri olur. Opak bir malzemenin yüzeyinden çevreye ışınım olan net ısı transferi, malzeme tarafından soğurmayla gerçekleşen enerji transferi ile malzeme yüzeyinden yayılımla gerçekleşen enerji transferi arasındaki fark kadardır. Yayıma katsayısı ( $\epsilon$ ) ve Stefan-Boltzmann katsayısı ( $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W m}^{-2}\text{K}^{-4}]$ ) ışınım transferinde etkilidir [1].

$$Q_{ışınım} = A(\epsilon\sigma T_w^4 - \alpha G) \quad (2.4)$$

Boru içindeki akış laminer, türbülanslı veya kararsız halde olabilir. Düşük hızlarda laminer akış gözlenirken akış hızının kritik bir değeri aşması durumunda türbülanslı oluşur. Bu hız değerinden önceki belirli hız aralığında ise laminer ve türbülanslı akış arasında kararsız bir akış söz konusudur [1]. Boru içinde akışta laminer veya türbülanslı olma koşulu akışkanın özelliklerine, ilgilenilen probleme bağlı olarak değişmekle birlikte en genel kabule göre  $Re < 2300$  için akış laminer,  $2300 \leq Re \leq 10000$  için akış geçiş bölgesinde ve  $Re > 10000$  için akış türbülanslı olarak kabul edilmektedir. Laminer akış için hidrodinamik giriş uzunluğu ve ısı giriş uzunluğu yaklaşık olarak belirlenebilir ve sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir [2].

$$L_{h,lam\text{iner}} \cong 0,05 Re D \quad (2.5)$$

$$L_{t,lam\text{iner}} \cong 0,05 Re Pr D = Pr L_{h,lam\text{iner}} \quad (2.6)$$

Genel kabuller altında (sıkıştırılmaz ve sabit termofiziksel özellikteki akışkanlar) dairesel bir boru içerisinde tam gelişmiş akış için hız profili ise [2]:

$$u(r) = 2V_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \quad (2.7)$$

Benzer şekilde tam gelişmiş akış için yazılabilen ve hem laminer hem de türbülanslı durumda geçerli olan basınç kaybı [2]:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{avg}^2}{2} \quad (2.8)$$

Dairesel bir boruda sabit yüzey akısında ( $q_s$ ) ve sabit yüzey sıcaklığında ( $T_s$ ) tam gelişmiş akış için Nusselt bağıntıları aşağıdaki şekilde bulunabilir [1].

$$Nu = \frac{hD}{k} = 4.36, (q_s = \text{sabit}) \quad (2.9)$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 3.66, (T_s = \text{sabit}) \quad (2.10)$$

Pratikte mühendislik problemlerinin çoğunda incelenen akış türbülanslıdır. Giriş etkilerinin borunun çapının 10 katı uzaklıkta ihmal edilebilir olduğunun kabul edildiği pratikte, türbülanslı akışta hidrodinamik ve ısı giriş uzunlukları yaklaşık olarak aynı alınabilir [1].

$$L_{h,laminer} \cong L_{h,türbülanslı} \cong 10D \quad (2.11)$$

Bu durum bize türbülanslı akış için giriş uzunluklarının Re sayısından neredeyse hiç etkilenmediğini göstermektedir. Türbülanslı boru akışı için çok sayıda hız profili türetilmesine karşın kuvvet yasası hız profili bunların içerisinde en basiti ve en iyi bilinenidir [2].

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n} \quad (2.12)$$

Burada “n” Reynolds sayısına bağlı olarak değişen bir sabittir ve n=7 pratikteki birçok akış için yaklaşık çözümler sunar. Teorik olarak belirlenmesi zor olan türbülanslı akışlardaki ısı transfer katsayısı bağıntıları genel olarak deneysel verilerden elde edilir. Nusselt sayısı türbülanslı akışta sürtünme faktörüyle ilişkilidir ve Chilton-Colburn Benzerliği kullanılarak yazılabilir [2].

$$Nu = 0,125 f Re Pr^{1/3} \quad (2.13)$$

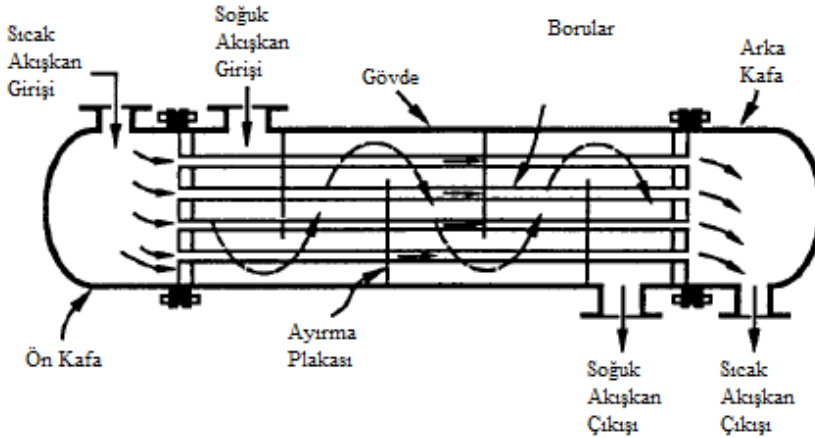
## 2.2. Isı Değiştiricileri

Katı bir tabaka ile birbirinden ayrılmış, sıcaklıkları farklı iki veya daha fazla akışkan arasında birbirine karışmaksızın ısı transferi gerçekleştirmek için kullanılan cihazlara ısı değiştiricisi denir [3]. Isı değiştiricilerde ısı transferi, akışkanla yüzey arasındaki taşınım ve akışkanları ayıran katı cidarla arasındaki iletimin incelenmesidir. Isı değiştiricilerinin performansı kirlilik ve basınç düşümünden de etkilenmektedir. Isı değiştiricilerin petrokimya, enerji santralleri, klima santralleri, ısı geri kazanımı, kâğıt üretimi, süt ve gıda endüstrisi gibi geniş bir kullanım alanına sahip olması üretiminde de farklılaşmaya neden olmuştur. Çizelge 2.1.’de kullanılan ısı değiştiricisi çeşitleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Isı değiştiricisi çeşitleri

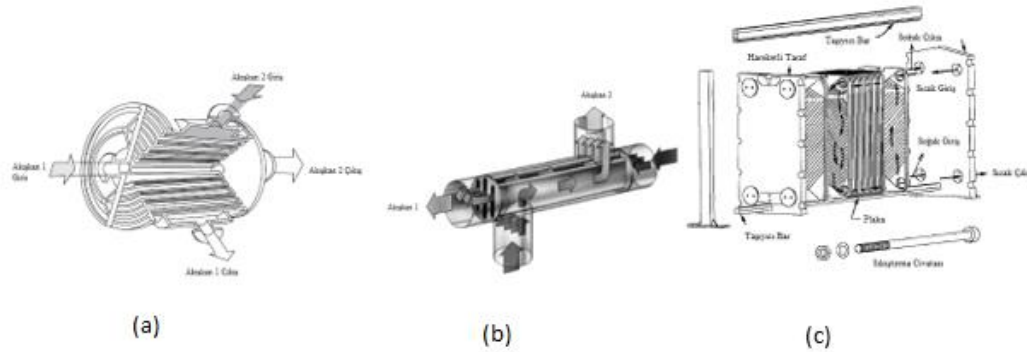
Isı Transferi Şekline Göre	Birim Hacimdeki Isı Transferi Alanına Göre	Isı Yapısına Göre	Kullanılan Akışın Yönüne Göre	Isı Transferi Mekanizmasına Göre
Doğrudan Temaslı	Kompakt ( $700 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ 'e eşit ya da büyük)	Borulu	Paralel Akışlı	Tek Fazlı Zorlanmış veya Doğal Taşınım
Dolaylı Temaslı	Kompakt ( $700 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ 'den küçük)	Olmayan	Plakalı	Faz Değişimi ve Işıma
		Kanatçıklı	Çapraz Akışlı	Işıma ve Taşınım
		Rejeneratif	Çok Geçişli Akışlı	
		Grafit		

Boru tipi ısı değiştiricilerinden gövde borulu ısı değiştiricilerinde akışkanlardan birisi borunun içinden akarken, diğer akışkan gövde tarafında boruya paralel veya çapraz olarak akmaktadır. Yüksek basınca dayanıklı olması, karşıt akış elde etmesinin kolay olması, bakımının kolay olması ve piyasadan kolay temini gibi avantajları olan çift borulu ısı değiştiricilerinde, akışkanın biri iç borudan akarken diğeri dış borudan akar. Genellikle havuz ve depolardaki akışkanların sıcaklıklarının kontrollünde tercih edilen spiral borulu ısı değiştiricilerinde düz borululara göre ısı transfer katsayısı yüksektir. Çevre havasının boruların dışında aktığı, boru içinden geçen akışkanı soğutmak ya da yoğuşturmak amacıyla hava soğutmalı boru tipi ısı değiştiricisi kullanılmaktadır [3].



Şekil 2.1. Boru tipi ısı değiştiricisi

Plakalı ısı değiştiricilerinden contalı plakalı ısı değiştiricisinde plakalar arasında bulunan boşluklardan sıcak ve soğuk akışkan birbirine karışmadan akarlar. Isı transfer katsayısının ve ısıl etkinliğinin yüksek (0.90-0.95), kirlenme katsayısı ve plaka maliyetinin düşük olması, bakımının kolay olması ve ekstra plakaların ilave edilmesi avantajlarıyken conta malzemesinin sıcaklığı kısıtlaması ve sızıntı riskini doğurması, kapasitesinin sınırlı olması ve iki fazlı gaz akış için uygun olmaması dezavantajları arasındadır. Spiral plakalı ısı değiştiricilerinde her biri bir akışkan için uzun ince iki metal plakanın paralel kanal oluşturacak şekilde spiral şeklinde sarılması ile elde edilir. Lamelli ısı değiştiricilerinde ise birbirine nokta veya elektrikli dikiş kaynağı ile birbirlerine tutturulmuş yassılaştırılmış borulardan (lamellerden) yapılmış bir demetin bir gövde içine yerleştirilmesiyle elde edilir. Kaynak plakalı yani contasız plakalı ısı değiştiricileri, 30 bar basıncın ve 260 °C sıcaklığın üstünde çalışamayan contalı plakalı ısı değiştiricilerinin dezavantajlarının giderilmesiyle üretilmiştir. Conta probleminin ortadan kaldırılıp sızıntı sorununun çözümlenmesine rağmen temizlik ve bakım için sökülemez [3].



Şekil 2.2. Plakalı ısı değiştiriciler (a) Spiralli, (b) Lamelli, (c) Contalı

Isı değiştiricilerinde çökelme/kristalleşme, çözünmez katı parçacıklar, aşınma, biyolojik ve kimyasal reaksiyon sonucunda ısı değişim yüzeylerinde kirlenme meydana gelir. Kirlenme;

- Isıl performansı düşürür,
- Basıncı artırır,
- Aşınmayı destekler.

Aşınma (korozyon), ısı transfer yüzeyinin deforme olması durumudur. Kirlenme ve aşınma oluşumunu engellemek için ısı değiştiricilerine çeşitli kimyasallar veya cihazlar eklenir [4].

### 2.3. Isı Transferini Artırma Yöntemleri

Bir sistemin ısı transferi performansını artırmak hem enerji hem de ekonomik olarak tasarruf edilmesine olanak sağlar. Isı transferi performansını etkileyen en büyük problem ısı transfer katsayısını artırmaya yöneliktir. Isı transfer yüzeyinde yapılacak olan iyileştirmeler verimi önemli ölçüde artıracaktır. Isı transferini etkileyen diğer bir faktör ise ısıl dirençtir. Isıl direncin düşmesine bağlı olarak ısı değiştiricisinin performansında gözle görülür bir artış olacaktır. Isı transfer yüzeyleri için ısıl direnç denklem 2.14'te gösterildiği şekilde yazılabilir [5].

$$R_t = \frac{1}{UA} = \frac{1}{\eta_i h_i A_i} + \frac{R_i}{\eta_i A_i} + R_w + \frac{1}{\eta_o h_o A_o} + \frac{R_o}{\eta_o A_o} \quad (2.14)$$

Isı değiştiricilerinin ısıl performansı ile hidrolik performansı arasında bir bağlantı vardır. Isı transferi iyileştirmesi yaparken hidrolik performans açısından sorunlu bir yapı oluşmaması, ısı değiştiricinin performans artışı sağlayacaktır. Basınç düşümüne bağlı olarak değişen pompalama gücünün düşürülmesi hidrolik performansı iyileştirecektir [5].

Isı transferi iyileştirmesi için kullanılan; yüzey kaplama, pürüzlü yüzey oluşturma, yüzey artırma, sökölüp takılabilir türbülötör kullanımı, girdaplı akış cihazı kullanımı, sarmal boru yapıları, yüzey gerilim cihazları ve katkı maddesi eklenmesi pasif yöntemler olarak adlandırılırken, elektrostatik alan, yüzey-akışkan titreşimi, vakum, jet akışı, emme ve enjeksiyon gibi dışardan ek güç verilmesi gereken yöntemler ise aktif yöntemler olarak adlandırılmaktadır [6].

### 2.4. Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlar; boyutları nm olan katı ile akışkan süspansiyonudur. Yapılan araştırmalar partikül boyutu, partikül boyut dağılımı, nanopartikülün hacimsel oranı, sıcaklık, pH, nanopartikülün ve temel akışkanın ısıl iletkenliğine bağlı olarak nanoakışkanların geleneksel akışkanlardan çok daha iyi ısı transferi artışı sağladığını ortaya koymuştur. Nanoakışkanların başlıca özelliklerini sıralayacak olursak [7];

- ☒ Nanoakışkanların en önemli özelliği, ısı iletkenliğinin beklenenden, hatta teoriksel tahminlerden daha fazla olmasıdır. Temel akışkana kıyasla nanoakışkanın ısı iletkenlik güçlü bir şekilde sıcaklığa bağlıdır. Nanopartiküllerin geniş yüzey alanı daha fazla ısı transferine olanak sağlar.
- ☒ Aynı zamanda nanoakışkanların viskoziteleri de temel akışkana kıyasla daha fazladır.
- ☒ *Kararlılık*: Nanoakışkanlar çok küçük olduklarından ağırlıkları düşüktür ve bu nedenle çökmesi daha azdır.
- ☒ *Tıkanma olmadan mikro kanal soğutması*: Nanoakışkanlar sadece ısı transferi uygulamaları için değil aynı zamanda yüksek ısı yüklemesi gerektiren mikro kanal uygulamaları için de idealdir. Mikro kanal ve nanoakışkan birlikte kullanıldığında oldukça iletken akışkan ve geniş ısı transfer yüzey alanı sağlar. Mikro partiküller bu şekilde uygulanamaz çünkü mikro kanalların tıkanmasına neden olur.
- ☒ *Aşınma (erozyon)*: Nanopartiküller çok küçüktürler ve katı cidara uyguladıkları ivme çok azdır. Bu da ısı değiştiricileri, pompalar ve boru hatlarında ki aşınma ihtimalini azaltır.
- ☒ Nanoakışkanların kullanılması pompalama gücünü azaltır.
- ☒ Sürtünme katsayısını azaltır. Nanoakışkanlar sürtünmeyi etkili bir şekilde düşürebilir.
- ☒ Maliyet ve enerji tasarrufu sağlar. Çünkü nanoakışkan kullanılan ısı değiştiricisi sistemleri daha küçük ve daha hafif üretilirler.
- ☒ Nanoakışkanların uygulamaları daha etkili akış ve yağlama, soğutma ve ısıtma sağlar. Nanoakışkanlar elektronikte, nükleer uygulamalarda, biyomedikal alet ve ekipmanlarda, taşımacılıkta ve endüstriyel soğutmada, yeni ve kritik uygulamalarda kullanılır.

#### 2.4.1. Nanopartikül ve temel sıvı

Nanopartikül türündeki çeşitlilik nanoakışkanları da etkilemiştir. Çizelge 2.2’de de gösterildiği gibi dört çeşit nanoakışkan grubu vardır.

Çizelge 2.2. Nanopartikül türüne göre nanoakışkanlar

Nanopartikül	Nanoakışkan
<i>Seramik Nanoakışkanlar</i>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuO, SiC
<i>Saf Metal Nanoakışkanlar</i>	Ag, Au, Cu, Fe, Ni
<i>Alaşım Nanoakışkanlar</i>	Ag-Cu, Ag-Al, Al-Cu
<i>Karbon Esaslı Nanoakışkanlar</i>	Karbon Nanotüp, Elmas, Grafit

Metal ve metal oksitleriyle kıyaslandığında, Karbon nanotüplerin daha yüksek ısı iletkenlikleri vardır. Karbon nanotüp içeren nanoakışkanlar ilk olarak Choi et al.[8] tarafından çalışılmıştır. %1 hacimsel oranında nanopartikül içeren, çok cidarlı karbon nanotüpler ile a-Olefin yağından oluşan nanoakışkanın ısı iletkenliğinde %160 artış olduğu belirtilmiştir. Bunun birinci nedeni olarak da karbon nanotüplerin ısı iletkenliğinin grafitte benzemesi gösterilmiştir. Hatta ısı iletkenlik değerinin, oda sıcaklığında en iyi ısı iletken olan doğal elması bile geçtiği belirtilmiştir. İkinci neden olarak ise nanotüplerin en iyi en/boy oranına sahip olması gösterilmiştir.

Su, etilen glikol, makine yağı ve etanol gibi ısı transferinde yaygın olarak kullanılan sıvılar, nanoakışkan oluşumunda temel sıvı olarak tercih edilmektedir.

#### 2.4.2. Nanoakışkan hazırlama yöntemleri

Akışkanın ısı iletkenliği artırmak için nanoakışkanın hazırlanması sırasında kullanılan iki yöntem vardır.

*Tek Adım Yöntemi:* Partiküllerin temel sıvının içine direkt olarak dağıldığı bu süreç direkt buharlaştırmalı, kimyasal indirgeme, tozaltı nano partikül üretimi, lazer ablasyon, mikrodalga ışınım, poliol ve faz transfer yöntemlerinden oluşmaktadır [10]. Wang vd. (2002) mikrodalga ışınım yöntemi, Lo vd. (2005) tozaltı nano partikül üretimi ile Sandhya vd. (2013) kimyasal indirgeme yöntemi CuO nanoakışkanı sentezlemişlerdir [11,12,13].

*İki Adım Yöntemi:* Yaygın olarak kullanılan bu yöntemde, nano partiküller önce kuru toz haline getirildikten sonra pekiştirmeli manyetik güç çalkalayıcısı, ultasonik çalkalayıcı, yüksek parçalayıcı karıştırıcı, homojenleştirici veya bilyalı değirmen yardımıyla



nanoakışkanın içine homojen olarak dağıtılır. Bu yöntemle oksit nanoakışkanları hazırlamak metal nanoakışkanları hazırlamaktan oldukça uygundur [14].

Çizelge 2.3. Literatürdeki nanoakışkanların hazırlanmasıyla ilgili çalışmalar

Yazar, Kaynak	Nanoakışkan	Yüzey Aktifleştirici
<i>Eastman vd. (1998), [9]</i>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Su	Yok
<i>Hong vd. (2000), [15]</i>	Karbon Nanotüpler / Su	Sodyum Lauryl Sülfat (NaC <sub>12</sub> H <sub>25</sub> SO <sub>4</sub> )
<i>Murshed vd. (2005), [16]</i>	TiO <sub>2</sub> / Su	Oleik Asit (C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> )
<i>Godson vd. (2011), [17]</i>	Ag / Su	Yok
<i>Sözen vd. (2018), [18]</i>	TiO <sub>2</sub> / Su	Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (C <sub>18</sub> H <sub>29</sub> NaO <sub>3</sub> S) ve Triton X-100
<i>Kılıç vd. (2018), [19]</i>	TiO <sub>2</sub> / Su	Triton X-100

#### 2.4.3. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri

Malzemelerin ısı geçişi ve ısı depolanmasıyla ilgili özgül ısı, ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik ve ısı ışınımı ile sıcaklık, basınç, özgül hacim gibi termodinamik hal değişkenlerini kapsayan özelliklere termofiziksel özellik denir. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri; nanopartiküllerincinsi, şekli, boyutları, oranı, temel akışkanın cinsi gibi birçok parametreye bağlı olarak özgül ısı kapasitesi, ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve viskozite gibi termofiziksel özellikleri değişmektedir.

Temel sıvı içerisine nanopartikül eklenmesi ile oluşan nanoakışkanın ısı iletkenliği artar. Başlıca nedeni ise nanoparçacıkların ısı davranışını kontrol eden Brown hareketidir. Diğer bir nedeni ise katı parçacığa yakın sıvı molekülleri arasındaki katmanlı yapılar sayesinde ısı iletiminin oluşmasıdır [20]. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen temel sıvı, nanopartikülün cinsi, şekli, boyutu, derişim, sıcaklık ve pH gibi parametrelerle ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur [21-39].

Çizelge 2.4'de yaygın olarak kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları gösterilmiştir [40].

Çizelge 2.4. Yaygın olarak kullanılan malzemeler ve ısı iletim katsayıları

Malzeme Türü	Malzeme	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
<i>Metalik Malzemeler</i>	Bakır	401
	Gümüş	429
	Alüminyum	237
<i>Metalik Olmayan Malzemeler</i>	Silisyum	148
	Alümina	40
	Elmas	3300
	Karbon Nanotüpleri	3000
<i>Temel Sıvı</i>	Su	0,613
	Etilen glikol	0,253
	Motor yağı	0,145

Viskozite, pompalama için gerekli olan güç, akış kanallarında gerçekleşen basınç düşüşü ve kanal yüzeylerinde oluşan aşınma gibi olaylarla doğrudan ilişkilidir. Nanoakışkanın viskozitesi nano parçacık türü, boyutu, şekli, derişimi, kayma hızı ve sıcaklık gibi birçok parametreye bağlıdır [41-48].

Özgül ısı nanoakışkanların ısı aktarımını etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir. Bir maddenin özgül ısısı, 1 gram maddenin sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli olan ısı enerjisidir. Nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin ölçümüyle ilgili çalışmalar yapılarak literatüre kazandırılmıştır [49-52].

Literatürde nanoakışkanlar ile ilgili yapılmış olan çalışmalar sonucunda yoğunluğun arttıkça ısıl iyileşmenin arttığı görülmüştür [53-55].

#### 2.4.4. Nanoakışkanlarla ısı transferinin iyileştirilmesi

Isı transferinde kullanılan akışkanlara nazaran nanoakışkanlar ihmal edilebilir basınç kaybında iyi bir denge ile yüksek ısıl verim göstermiştir. Endüstriyel uygulamalarda nanoakışkan kullanımı, yüzey alanında, akışkanın ısıl kapasitesinde gösterdiği artışlar nedeniyle ısı transferini büyük ölçüde artırmaktadır [56].

## 2.5. Literatür Özeti

Nanopartiküllerle yapılan, ilk çalışmalar Argonne National Laboratory tarafından yürütülmüş fakat bu parçacıkları içeren sıvıları nanoakışkan olarak tanımlayan ilk araştırmacı Choi olmuştur.

Choi vd. (1999), yaptıkları çalışmada, suda, makine yağında, etilen glikol ve sıvı vakum pompası içinde dağıtılan  $Al_2O_3$ , ve Cu nanopartiküllerini kullanarak akışkanların termal iletkenliğini hesaplamışlardır. Deneysel sonuçlarına göre, nanopartikül ve akışkan karışımlarının termal iletkenliklerinin temel akışkanlara bağlı olarak artış göstermekte olduğunu söylemişlerdir [57].

Daha sonra nanoakışkanların, ısı transferi iyileştirmesi konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmüş ve bu alanda oldukça geniş bir çalışma ile literatür oluşturulmuştur [58-102].

Isı transferini artırmak için bükülmüş şerit, düz şerit ve yay gibi katkı maddesi eklenmiş nanoakışkanların kullanıldığı çalışmalarda vardır [103-105].

Günümüz şartlarında enerjinin çok pahalı olması enerji depolamak, enerjiyi daha verimli kullanmak ve ısı transfer artırma yöntemlerini kullanmak birçok endüstri için zorunluluk olmuştur. Isı değiştiricilerinde ısı transferini artırmak için, nanoakışkanların kullanılmasının uygun olabileceği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [106-136].

Araştırmacılar nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerine çalışmalar yapmışlardır [137-173].

Çizelge 2.5.'de de görüldüğü gibi nanoparçacıkların eklenmesi, temel akışkanın ısı iletkenliğini ciddi ölçüde arttırmıştır.

Çizelge 2.5. Literatürde nanoakışkanların ısı iletkenliğiyle ilgili alışmalar

Yazar, Kaynak	Nanopartikül	Temel akışkan	Boyut (nm)	Partikül oranı (%)	Isıl iletkenlikteki artış (%)
<i>Chon vd. (2005), [31]</i>			47	4,0	29
<i>Das vd. (2003), [34]</i>			38,4	4,0	9,4-24,3
<i>Chandrasekar vd. (2012), [104]</i>			43	0,33-3,0	9,7
<i>Lee vd. (2008), [133]</i>			30	0,01-0,3	44
<i>Li vd. (2007), [138]</i>			36	6,0	28,2
<i>Zhang vd. (2007), [139]</i>		Su	20	5,0	15
<i>Timofeeva vd. (2007), [140]</i>			40	5,0	10
<i>Chandrasekar vd. (2010), [96]</i>			43	0,33-3,0	1,64-9,7
<i>Putra vd. (2003), [141]</i>			131	4,0	24
<i>Serebryakova vd. (2015), [142]</i>			13	1,5	5
<i>Syamundar vd. (2014), [143]</i>			36	1,5	32
<i>Mostafizur vd. (2014), [144]</i>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Etilen Glikol/Su	13	0,005-0,15	1,47-8,33
<i>Pang vd. (2012), [145]</i>			40-50	0,5	10,74
<i>Elis vd. (2015), [146]</i>			30-50	1,0	17
<i>Xie vd. (2002), [25]</i>			60,4	5,0	29
<i>Wang vd. (1999), [57]</i>			28	5,0	24,5
<i>Lee vd. (1999), [147]</i>		Etilen Glikol	38,4	5,0	18
<i>Minsta vd. (2009), [148]</i>	CuO	Su	29	3,3-9,3	15
<i>Vajjha ve Das (2009), [149]</i>	CuO	Etilen Glikol	29	6,0	60

Sözen vd. (2016), tüp tipi ısı eşanjöründe Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve uçucu kül dahil olmak üzere iki farklı nanoakışkan kullanmıştır. Uçucu kül ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanlarının kullanılmasının ısı iletkenliğini %2,8-31,2 arasında arttırdığını belirtmişlerdir [174].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda nanoakışkanlar hibritlenerek kullanılmaya başlanmıştır [175-177].

Makishima (2004), yaptığı çalışmalarda iki veya daha fazla metal nanoakışkan homojen olarak karıştırıldığında elde edilen hibrit nanoakışkanın normal nanoakışkana kıyasla ısı transfer özellikleri ile termofiziksel ve hidrodinamik özelliklerinde umut verici gelişmeler gözlemlenmiştir [178].

Hayat ve Nadeem (2017), Ag-CuO/su hibrit nanoakışkanı ile yaptığı çalışmada hibrit nanoakışkanın ısı oluşumu, kimyasal reaksiyon ve termal radyasyon varlığında bile normal nanoakışkanlara kıyasla yüksek ısı transfer hızıyla iyi bir performans ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir [179].

Selimefendigil ve F. Öztop (2018), TiO<sub>2</sub>, Cu ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün termal performansını karşılaştırmış ve Cu nanoakışkanların nispeten daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır [180].

Esfe vd. (2017), tek duvarlı karbon nanotüplerin (SWCNT) MgO-Etilen glikol hibritinin ayrı ayrı SWCNT ve MgO nanoakışkanlarına göre ısı iletkenliğini araştırmış ve hibrit nanoakışkanın diğer iki nanoakışkana göre termal iletkenliğinin yüksek olduğunu görmüştür [181].

Çizelge 2.6.'da hibrit nanoakışkanın ısı değiştiricilerinde kullanımının özeti verilmiştir [182-188].

Çizelge 2.6. Hibrit nanoakışkanların ısı değıştircilerinde kullanımı

Yazar	Temel sıvı	Nano partikül	Partikül boyutu (nm)	Partikül oranı (%)	Isı değıştirci tipi	Sonuç
Madhesh vd. [182]	Saf su	Cu/ TiO <sub>2</sub>	55	0,1–2,0	Karşıt akışlı	Suya göre Nu sayısı %52 artmıştır.
Allahyar vd. [183]	Saf su	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Ag	80	0,1–0,4 (97,5/ 2,5)	Spiralli	Suya göre Nu sayısı %31,58 artmıştır.
Hormozi vd. [184]	Saf su	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Ag	80	0,2 (97,5/ 2,5)	Sarmal bobin	Suya göre Nu sayısı %6,425 artmıştır.
Hussein [185]	Etilen glikol	AlN	30	1–4	Çift borulu	Etilen glikole göre Nu sayısı %35 artmıştır.
Megatif vd. [186]	Saf su	TiO <sub>2</sub> / CNTs	27 /iç çap 4, dış çap <8	0,1–0,2	Gövde borulu	Isı transfer katsayısı %38 artmıştır.
Bhattad vd. [187]	Su	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / MWCNT	-	0,01–0,03	Plakalı	Isı transfer katsayısı %39,16 artmıştır.
Bahiraeei vd. [188]	Su	CNT/ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	0,1–0,9 için Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> / 0–1,35 için CNTs	Mini kanallı	Isı transfer katsayısı %53,8 artmıştır.

### 3. DENEY VE YÖNTEM

Bu çalışmada, hibrit nanoakışkanın hem eş merkezli iç içe boru tipi ısı değiştiricisinde paralel ve zıt akış altındaki hem de plakalı ısı değiştiricisinde saf suya karşı performansı ölçülmüştür.

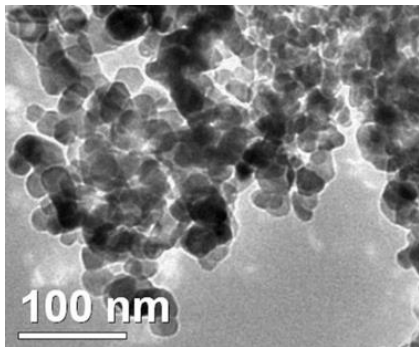
Kullanılan hibrit nanoakışkanın bileşimi %99,5 saflıkta, 78 nm boyutunda  $Al_2O_3$  (Alüminyum Oksit) ile %99,5 saflıkta, <77 nm boyutunda CuO (Bakır Oksit) ihtiva etmektedir.

Çizelge 3.1.'de bazı sıcaklık değerleri için  $Al_2O_3$  ve CuO için özgül ısı ( $c_p$ ) değerleri verilmiştir [189].

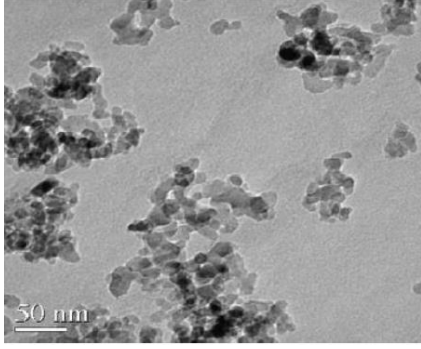
Çizelge 3.1. Bazı sıcaklık değerleri için  $Al_2O_3$  ve CuO için özgül ısı ( $c_p$ ) değerleri

T (K)	$C_p$ (J/kg. K)	
	$Al_2O_3$	CuO
200	501.368170	437.488214
250	657.604378	485.322773
300	779.219505	533.157332
350	872.000078	565.088943
400	942.909544	588.094789
500	1041.280490	618.392105
600	1103.853430	639.009366

Deneyde kullanılan nanoakışkanların TEM (Transmisyon Elektron Mikroskobu) görüntüleri Resim 3.1 ve Resim 3.2'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. CuO TEM görüntüsü



Resim 3.2. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TEM görüntüsü

### 3.1. Deneysel Çalışma

Çalışmada, nano malzemeler eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricisinde saf su ile %0,5 ve %1, plakalı ısı değiştiricisinde saf su ile %1 kütleli derişimde karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltide çökelmelere engel olmak için %0,2 oranında (C<sub>14</sub>H<sub>22</sub>O(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>n</sub>) formülüne sahip yüzey aktifleştirici olan Triton X-100 maddesi eklenmiştir. Yüzey aktifliği özelliğiyle temas açılarını azaltan Triton X-100 'ün kullanımı ile nano parçacıkların dış tabakası daha kolay ıslanmış, yüzey geriliminin de düşüş sağlanmıştır.

Hibrit nanoakışkanın kararlı ve homojen karışması için, hazırlanan çözelti ultrasonik banyo cihazında 2 saat bekletilmiştir.



Resim 3.3. Ultrasonik banyo cihazı

Çizelge 3.2. Ultrasonik banyo cihazının özellikleri

<i>Özellik</i>	<i>Değer</i>
Voltaj (V/Hz)	230/50
Ultrasonik güç (Peak/W)	600/300
Ultrasonik frekans (kHz)	28



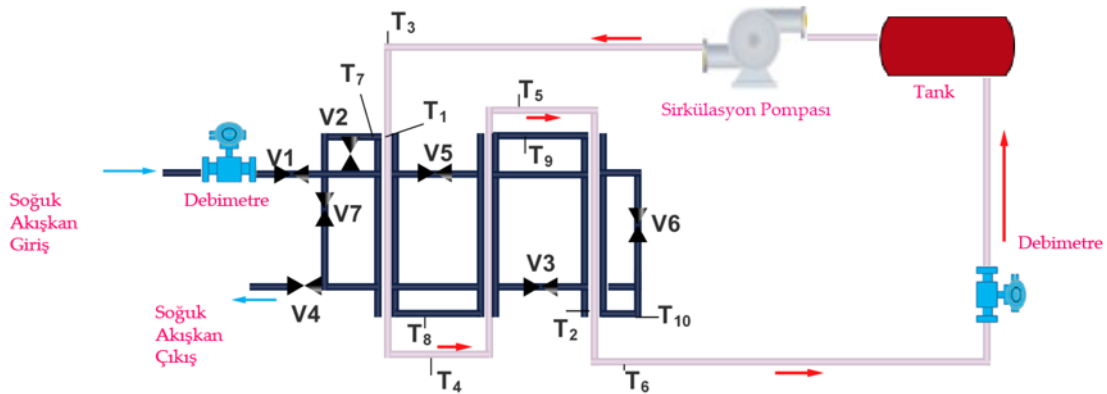
Sonuç olarak hazırlanan hibrit nanoakışkan çözeltisi deney öncesi ve deney sırasında kararlılık göstererek herhangi bir çökeltme ya da topaklaşma sorunu ortaya çıkarmamıştır.

Resim 3.4.'de hibrit nanoakışkanın ultrasonik banyo cihazından çıktıktan 24 saat sonraki hali verilmiştir. Görüldüğü üzere herhangi bir katılaşma veya çökeltme sorunu oluşmamıştır.



Resim 3.4. Hibrit nanoakışkan çözeltisi

Eş merkezli boru ısı değiştiricisi Şekil 3.1'de de gösterildiği gibi hem paralel akışa hem de zıt akışa izin verecek şekilde tasarlanmıştır. V1, V2, V3, V4 vanaları açık V5, V6, V7 vanaları kapalı konumdayken paralel akış; V1, V4, V5, V6, V7 vanaları açık V2, V3 vanaları kapalı konumdayken ise zıt akış gerçekleşmektedir.



Şekil 3.1. Eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricisi deney düzeneği

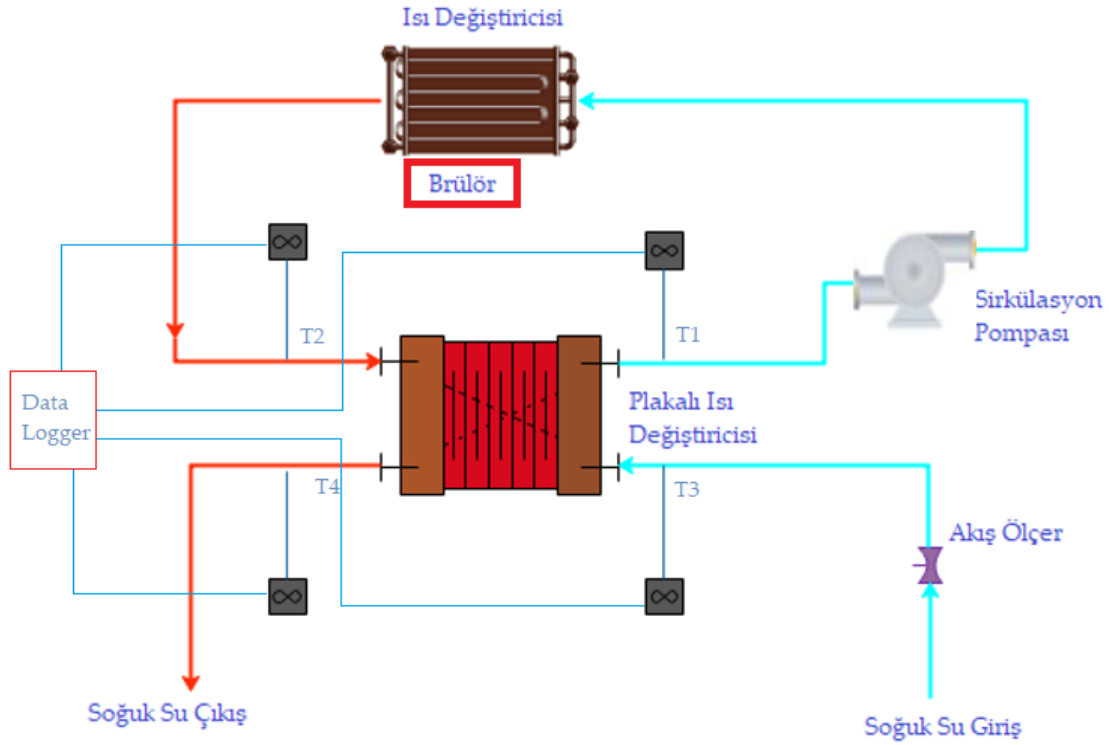
Deney düzeneğinde kullanılan parametreler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisi deney düzeneği parametreleri

Parametreler	Özelliği ve Kapasitesi
<i>Pompa Basma Yüksekliği (mSS)</i>	1,5
<i>Isıtıcı Gücü (kW/Adet)</i>	1,5
<i>Soğuk Akışkan Debimetresi (gs<sup>-1</sup>)</i>	4-50
<i>Sıcak Akışkan Debimetresi (gs<sup>-1</sup>)</i>	0,016-0,167
<i>Isıl Çift Tipi ve Sayısı</i>	J/10
<i>Isı Değiştirici İç Boru İç Çap (mm)</i>	7,9
<i>Isı Değiştirici İç Boru Dış Çap (mm)</i>	9,5
<i>Isı Değiştirici Dış Boru İç Çap (mm)</i>	11,1
<i>Isı Değiştirici Dış Boru Dış Çap (mm)</i>	12,7
<i>Ortalama Isı Transferi Alanı (m<sup>2</sup>)</i>	0,0288
<i>Akış Alanı (m<sup>2</sup>)</i>	49×10 <sup>-6</sup>

Eş merkezli borulardan içteki borudan sıcak akışkan olan hibrit nanoakışkan, dıştaki borudan ise soğuk akışkan su geçmektedir. Paslanmaz çelikten imal edilmiş tank içine yerleştirilmiş elektrikli ısıtıcı ile ısıtılan sıcak akışkanın, iç borudaki dolaşımı tek yönlü hat üzerinde sirkülasyon pompa ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin emniyeti içinse yüksek sıcaklık karşı devre kesiciler, ani basınç yükselimine karşı dışardan otomatik basınç düşürme vanası ile sistemdeki su seviyesini kontrol için su seviyesi gözetleme camı yerleştirilmiştir. Soğuk akışkanın debisini ölçmek için bir adet, sıcak akışkanın düşük ve yüksek debisini ayrı ayrı ölçmek için sisteme iki adet debimetre konulmuştur. Sistemin sıcaklığını ölçmek içinse farklı noktalara J tipi 10 adet termokupl ile ölçüm sonuçlarını okuyabilmek için dijital sıcaklık göstergesi yerleştirilmiştir.

Plakalı ısı değiştiricisi Şekil 3.2.’de gösterildiği gibi atmosferik brülör, ısı değiştiricisi, 60° oluk açılı 16 paslanmaz çelik oluklu levhadan oluşan plakalı ısı değiştiricisi, sıcak akışkan sirkülasyon pompası, debi ölçer, dört adet K tipi termokupl ve dijital termometreden oluşmuştur.



Şekil 3.2. Plakalı ısı değiştiricisi deney düzeneği

İki döngüden oluşan deney düzeneğinin birincisi, sıcak akışkanın ana ısı değiştiricisi ile plakalı ısı değiştiricisi arasında dolaşan sıcak döngüdür. Akışkanın ısıtılmasında kullanılan atmosferik brülörde LPG kullanılmıştır. İkinci döngü ise soğuk suyun debimetreden geçerek plakalı ısı değiştiricisine girdiği soğuk döngüdür. Bu döngü açık döngü olup su, ısıyı emdikten sonra sistemden tahliye edilir.

Deney düzeneğinde kullanılan parametreler Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Plakalı ısı değiştiricisi deney düzeneği parametreleri

Parametreler	Özelliği ve Kapasitesi
<i>Plaka Uzunluğu (mm)</i>	208
<i>Plaka Genişliği (mm)</i>	76
<i>Bağlantı Noktaları Arasındaki Dikey Mesafe (mm)</i>	172
<i>Bağlantı Noktaları Arasındaki Yatay Mesafe (mm)</i>	42
<i>Plaka Kalınlığı (mm)</i>	0,4
<i>Plaka Sayısı</i>	16
<i>Eğim Açısı</i>	60°
<i>Kullanılan Isıl Çift Tipi</i>	K
<i>Kullanılan Isıl Çift Sayısı</i>	4

### 3.2. Teorik Analiz

Hazırlanan hibrit nanoakışkanın termofiziksel özellikleri partikül hacmi konsantrasyonunun ( $\phi$ ) fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda hibrit nanoakışkanın yoğunluğu Denklem 3.1’de, özgül ısısı Denklem 3.2’de, termal iletkenlik katsayısı Denklem 3.3’de ve dinamik viskozitesi Denklem 3.4’de verildiği şekildedir.

$$\rho_{nanoakışkan} = \phi_{\rho} \times (1 - \phi) \times \rho_{temel\ sıvı} \quad (3.1)$$

$$c_{p,nanoakışkan} = \phi_{cp} \times (1 - \phi) \times c_{p,temel\ sıvı} \quad (3.2)$$

$$k_{nanoakışkan} = k_{temel\ sıvı} \times \left[ \frac{k_{partikül} + 2 \times k_{temel\ sıvı} + 2 \times \phi \times (k_{partikül} - k_{temel\ sıvı})}{k_{partikül} + 2 \times k_{temel\ sıvı} - 2 \times \phi \times (k_{partikül} - k_{temel\ sıvı})} \right] \quad (3.3)$$

$$\mu_{nanoakışkan} = \mu_{temel\ sıvı} \times (1 + 2.5 \times \phi) \quad (3.4)$$

Hem eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisinde hem de plakalı ısı değiştiricisinde ısı geçişi, sıcak akışkandan atılan ısı ( $\dot{Q}_{sıcak}$ ) ve ısıtıcı akışkana olan ısı transferi ( $\dot{Q}_{soğuk}$ ) olarak tanımlanır ve Denklem 3.5 ve 3.6’da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\dot{Q}_{sıcak} = \dot{m}_{sıcak} \times c_{p,sıcak} \times (T_{sıcak,giriş} - T_{sıcak,çıkış}) \quad (3.5)$$

$$\dot{Q}_{soğuk} = \dot{m}_{soğuk} \times c_{p,soğuk} \times (T_{soğuk,çıkış} - T_{soğuk,giriş}) \quad (3.6)$$

$\dot{Q}_{soğuk}$  ile  $\dot{Q}_{sıcak}$  değerlerinin eşit olması beklenirken ısı değiştiricisinin performansı ve ısı kayıplardan kaynaklanan nedenlerden dolayı ortalama ısı transfer miktarı kullanılır.

$$\dot{Q}_{ortalama} = \frac{\dot{Q}_{sıcak} + \dot{Q}_{soğuk}}{2} \quad (3.7)$$

Eş merkezli boru boyunca ısı geçişi, akışkan ile boru yüzeyi arasındaki ısı transferi Denklem 3.8 ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T_{ln} \quad (3.8)$$

Burada  $U$  (W/m<sup>2</sup>K) borunun toplam ısı transferi katsayısını,  $A$  (m<sup>2</sup>) borunun iç yüzeyi ısı transfer alanını,  $\Delta T_{ln}$  ise akışkan ile boru iç yüzeyi arasındaki logaritmik ortalama sıcaklık farkını ifade etmektedir.

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{sıcak,giriş} - T_{soğuk,çıkış}) - (T_{sıcak,çıkış} - T_{soğuk,giriş})}{\ln\left(\frac{T_{sıcak,giriş} - T_{soğuk,çıkış}}{T_{sıcak,çıkış} - T_{soğuk,giriş}}\right)} \quad (3.9)$$

Toplam ısı transfer katsayısı U (W/m<sup>2</sup>K) ise Denklem 3.10 ile hesaplanır.

$$U = \frac{\dot{Q}}{A \times \Delta T_{ln}} \quad (3.10)$$

$\dot{Q}$  ısı transferi miktarı eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricisinde  $\dot{Q}_{sıcak}$ , plakalı ısı değiştiricisinde  $\dot{Q}_{ortalama}$  olarak alınır.

Sistemdeki ekserji kaybı ( $\dot{X}$ ) ise Denklem 3.11 ile hesaplanır.

$$\dot{X} = (T_{çevre} \times \dot{m}_{sıcakakışkan} \times c_p \times \ln\left(\frac{T_{sıcak,çıkış}}{T_{sıcak,giriş}}\right)) + (T_{çevre} \times \dot{m}_{soğukakışkan} \times c_p \times \ln\left(\frac{T_{soğuk,çıkış}}{T_{soğuk,giriş}}\right)) \quad (3.11)$$

### 3.3. Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi, deneyler sonucu elde edilen verileri değerlendirmek ile test koşullarından, cihaz seçiminden, kalibrasyondan, okuma hatası, ölçüm problemlerinin tipi veya bağlantı noktalarından kaynaklanan belirsizliklerin belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir [190].

Denklem 3.12'de bağımsız değişkenler olarak verilen  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  büyüklüklerinin etkilediği R değeri ve bu R büyüklüğünün toplam belirsizliği de  $W_R$  olarak ifade edilmektedir. Bağımsız değişkenlerin hata oranları ise  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  olarak ifade edilir [191]. Verilerin ölçme belirsizlikleri deneylerin üç defa tekrarlanmasıyla ortalama değerler alınmış olup her bir sıcaklık için standart sapma değeri %2.0-2.4 arasındadır.

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

Çizelge 3.5'de ısı değiştiricilerinde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri ile belirsizlik oranları verilmiştir.

Çizelge 3.5. Isı değiştircilerinde kullanılan cihazların özellikleri

<i>Isı Değiştirici</i>	<i>Cihaz</i>	<i>Teknik Özellikleri</i>	<i>Belirsizlik</i>
Eş merkezli iç içe boru tipi	Sıcaklık ölçüm cihazı	J-tipi, Ölçüm Aralığı 0°C-350°C Doğruluk: ± 0,4% veya 0,5°C	± 0,588 °C
	Akış ölçer	Soğuk su 4-50 gms <sup>-1</sup> Sıcak su 1-10 ldk <sup>-1</sup> Doğruluk: ± 5% Tam ölçekli okuma	± 5,36 % ± 5,13 %
Plakalı tip	Sıcaklık ölçüm cihazı	K-tipi, Ölçüm Aralığı -200°C-1300°C Doğruluk: ± 0,4°C	± 0,519 °C
	Akış ölçer	Ölçüm aralığı 0,8-8 ldk <sup>-1</sup> Doğruluk: ± 5%	± 5,13 %

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

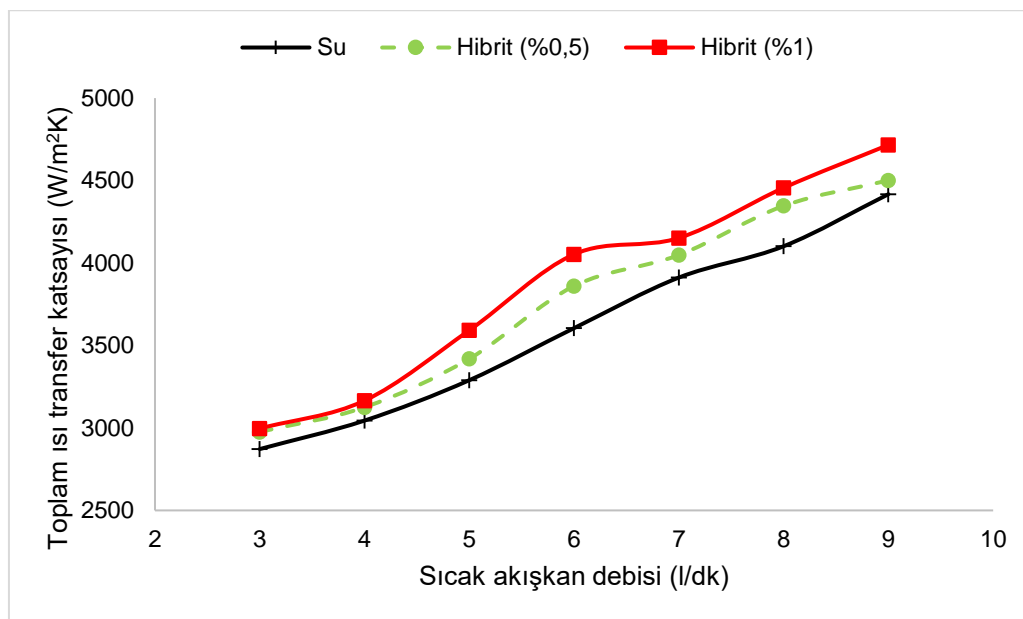
Hibrit bakır oksit alümina ( $\text{CuO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) nanoakışkanının kullanıldığı bu çalışmada, türbülanslı akışta nanoakışkanın, eş merkezli iç içe borulu ve plakalı ısı değiştiricilerindeki performansı deneysel olarak incelenmiştir.

### 4.1. Eş Merkezli İç İçe Boru Isı Değiştiricisi

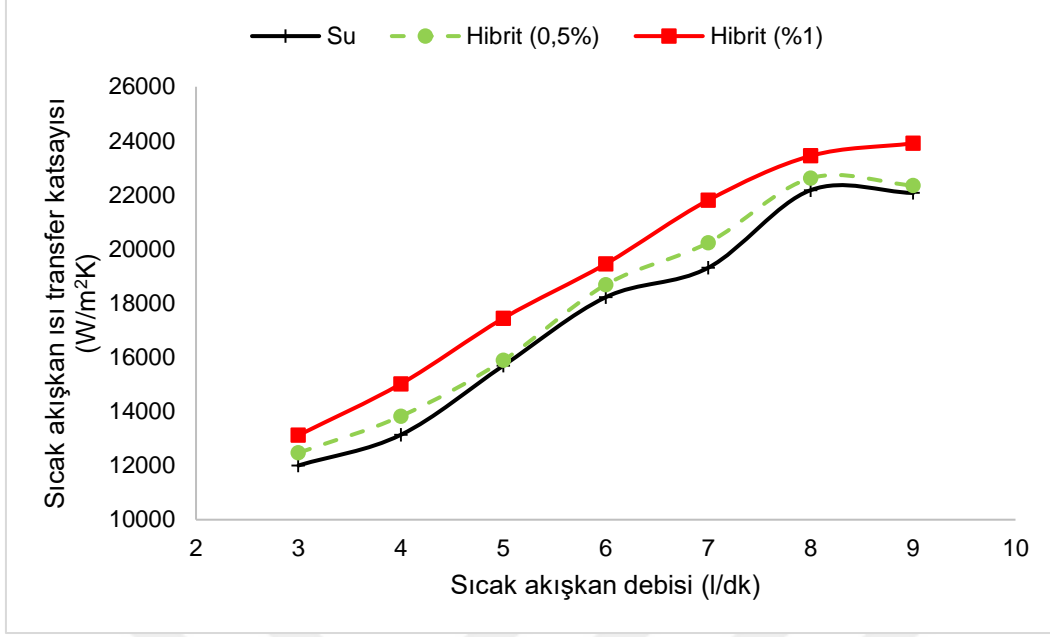
$\text{CuO} + \text{Al}_2\text{O}_3$  hibrit nanoakışkanının eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisinde davranışını belirlemek için 8 l karışımın içinde %0,5 ve %1 parçacık konsantrasyonlarında, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 l/dk akış debilerinde 10 g/sn soğuk su debisi ve  $72^\circ\text{C}$  sıcak akışkanın giriş sıcaklığı şartları sağlanarak paralel ve zıt yönlü akışlarda deneyler yapılmıştır.

#### 4.1.1. Paralel Akış

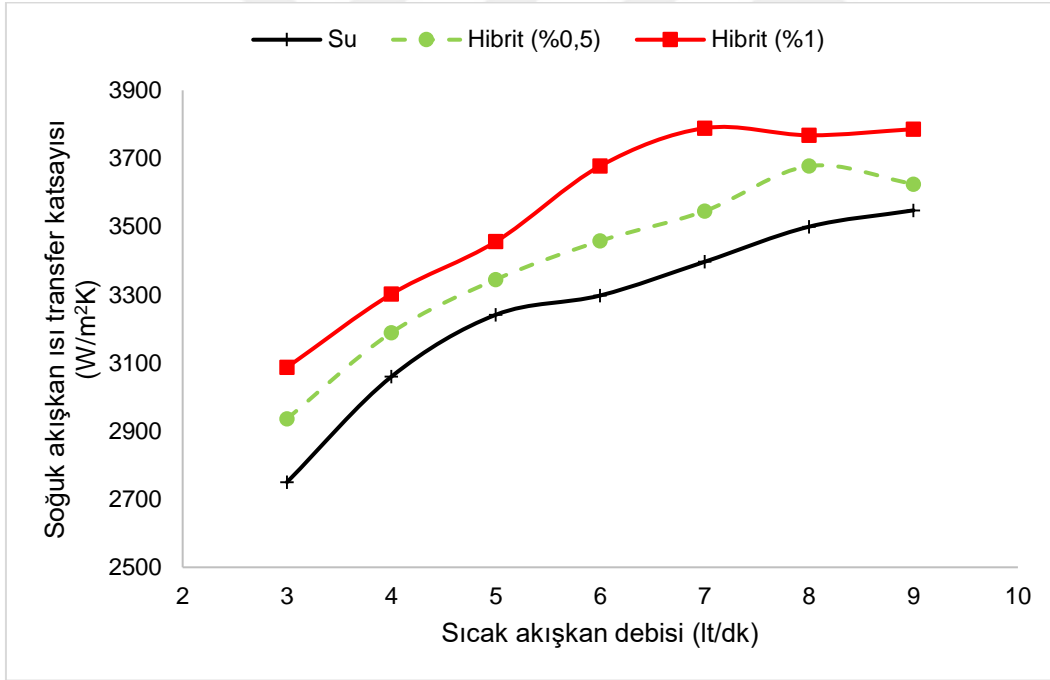
Paralel yönlü akışta su ve  $\text{CuO} + \text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$  hibrit nanoakışkanı için nanoakışkan akış hızına bağlı olarak toplam ısı transfer katsayısının değişimi Şekil 4.1.'de, sıcak taraf ısı transfer sayısının değişimi Şekil 4.2.'de ve soğuk taraf ısı transfer sayısının değişimi Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Paralel yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısındaki değişimi



Şekil 4.2. Paralel yönlü akışta sıcak akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim

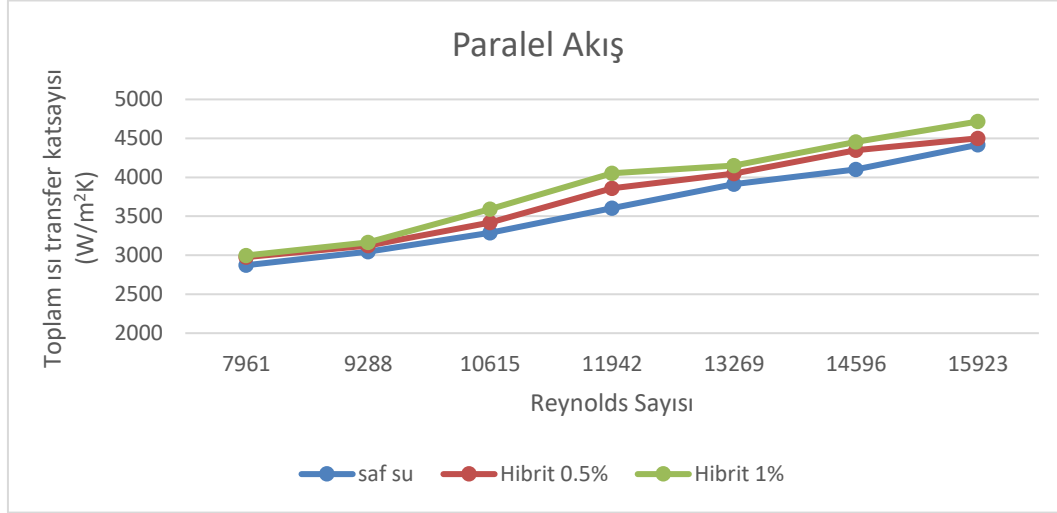


Şekil 4.3. Paralel yönlü akışta soğuk akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim

%0,5 ve %1 parçacık konsantrasyonları için toplam ısı transfer katsayısında sırasıyla maksimum %7,1 ve %12,4 ortalama %4,1 ve %7,4 artış sağlanmıştır. Bu artışlar sıcak taraf akışkan için maksimum %5,2 ve %14,3 ortalama %3 ve %9,8 olurken soğuk taraf içinse maksimum %6,8 ve %12,3 ortalama %4,4 ve %9,2'dir.



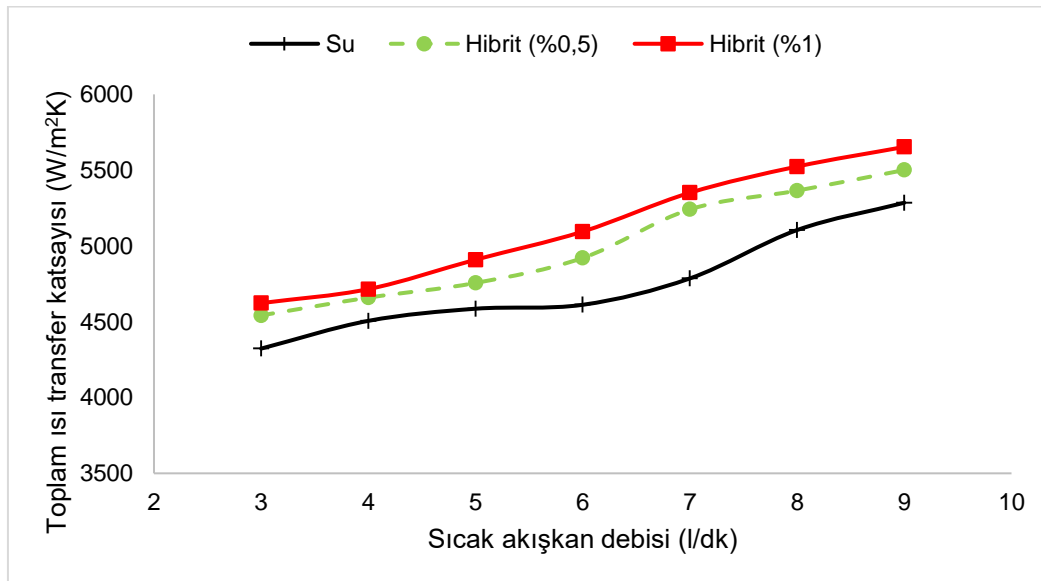
Şekil 4.4.'de paralel akışta Reynolds sayısındaki değişimin toplam ısı transfer katsayısındaki değişim üzerindeki etkisi gözükmektedir.



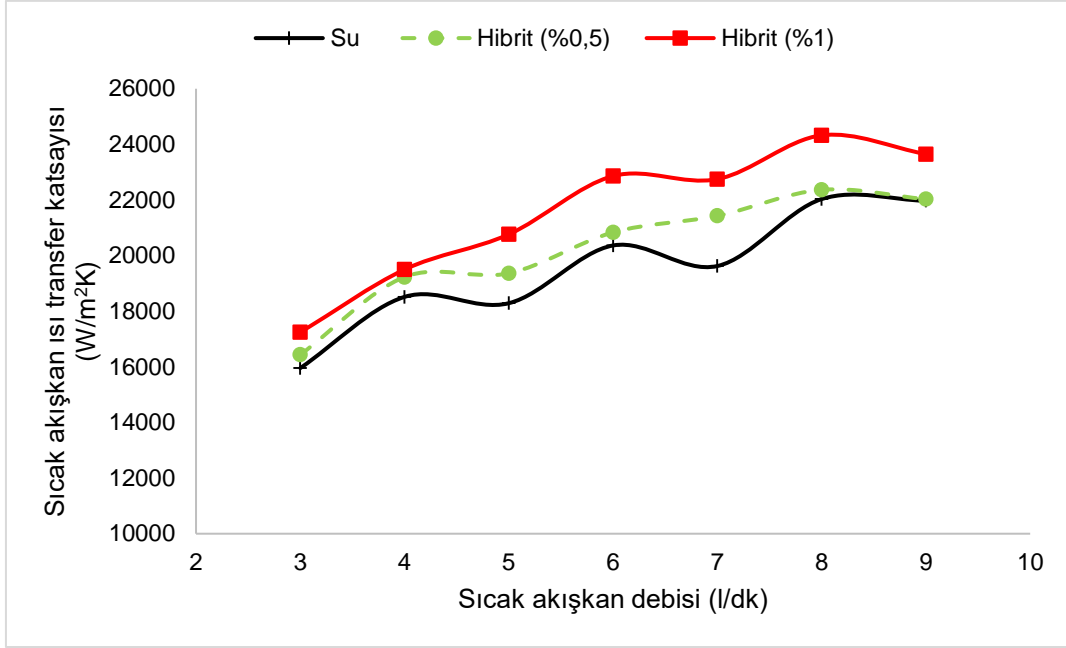
Şekil 4.4. Paralel yönlü akışta Reynolds sayısı - toplam ısı transfer katsayısı ilişkisi

#### 4.1.2. Zıt Akış

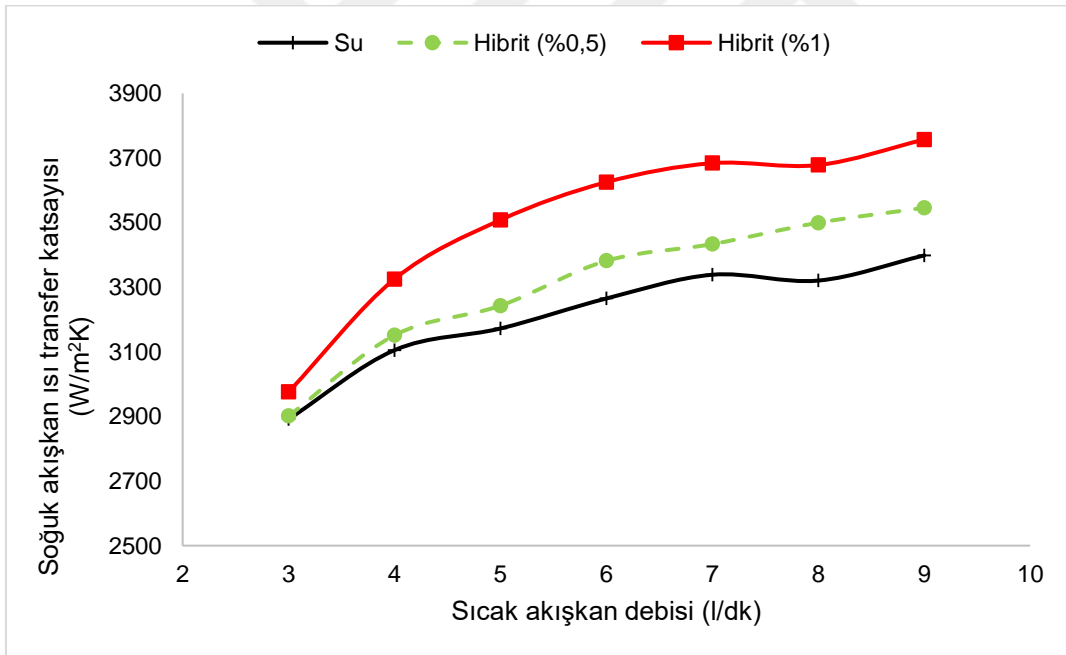
Zıt yönlü akışta su ve  $\text{CuO}+\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$  hibrit nanoakışkan için nanoakışkan akış hızına bağlı olarak toplam ısı transfer katsayısının değişimi Şekil 4.5.'de, sıcak taraf ısı transfer sayısının değişimi Şekil 4.6.'da ve soğuk taraf ısı transfer sayısının değişimi Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Zıt yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısındaki değişim



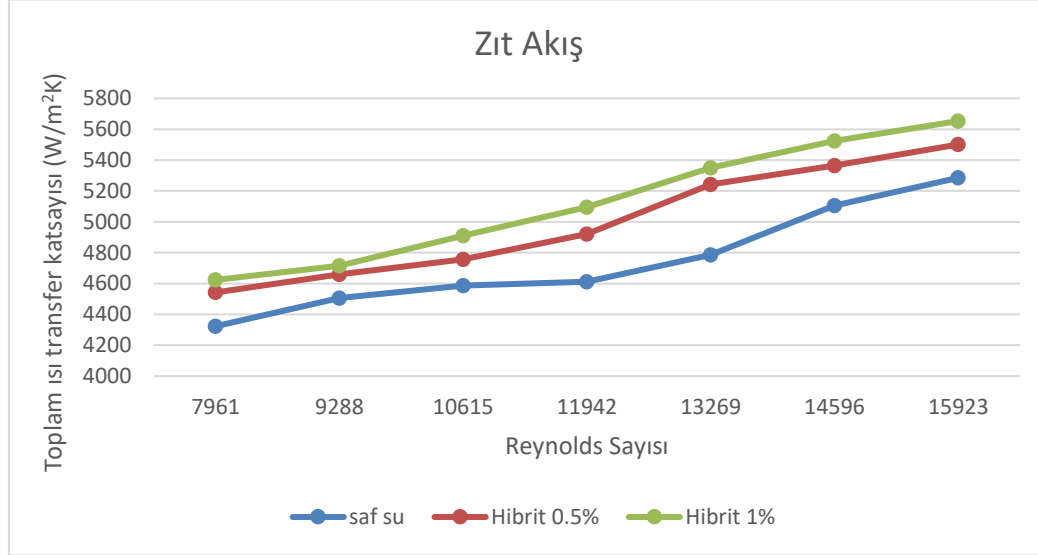
Şekil 4.6. Zıt yönlü akışta sıcak akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim



Şekil 4.7. Zıt yönlü akışta soğuk akışkan ısı transfer katsayısındaki değişim

%0,5 ve %1 parçacık konsantrasyonları için toplam ısı transfer katsayısında sırasıyla maksimum %9,5 ve %11,8 ortalama %5,4 ve %8 artış sağlanmıştır. Bu artışlar sıcak taraf akışkan için maksimum %9,2 ve %15,9 ortalama %3,7 ve %10,5 olurken soğuk taraf içinse maksimum %5,4 ve %11 ortalama %2,9 ve %9 'dur.

Şekil 4.8.'de zıt yönlü akışta Reynolds sayısındaki değişimin toplam ısı transfer katsayısındaki değişim üzerindeki etkisi gözükmektedir.

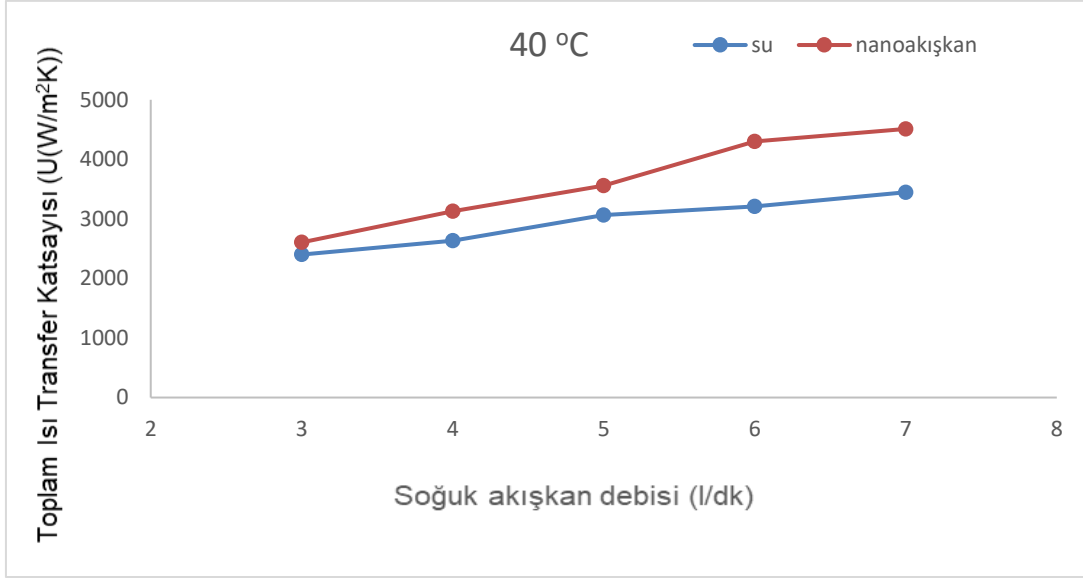


Şekil 4.8. Zıt yönlü akışta Reynolds sayısı - toplam ısı transfer katsayısı ilişkisi

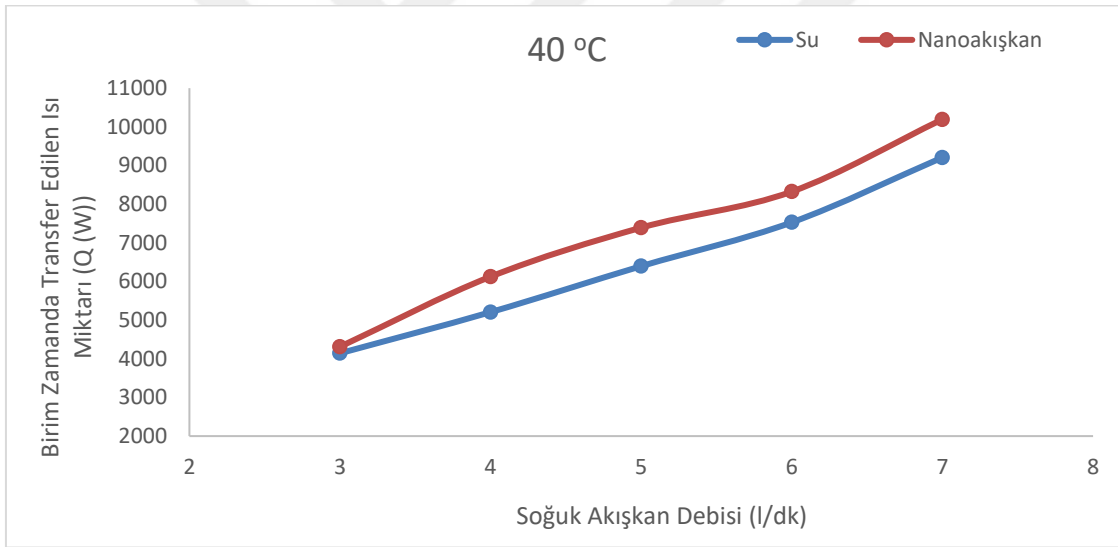
#### 4.2. Plakalı Isı Değiştiricisi

CuO+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hibrit nano malzemenin saf su ile %1 kütleli derişimde hazırlanmış çözeltisi plakalı ısı değiştiricisinde soğuk akışkanın hacimsel debisi 3, 4, 5, 6 ve 7 l/dk için soğuk akışkan giriş sıcaklığı 21 °C iken çıkış sıcaklığı 40, 45, 50 ve 55°C 'de test edilmiştir. Sıcak akışkan, sirkülasyon pompası yardımıyla ana ısı değiştirici ile plakalı ısı değiştirici arasında 19 l/dk debiyle dolaşmaktadır. Plakalı ısı değiştiricisinde kullanılan plaka sayısı 16'dır.

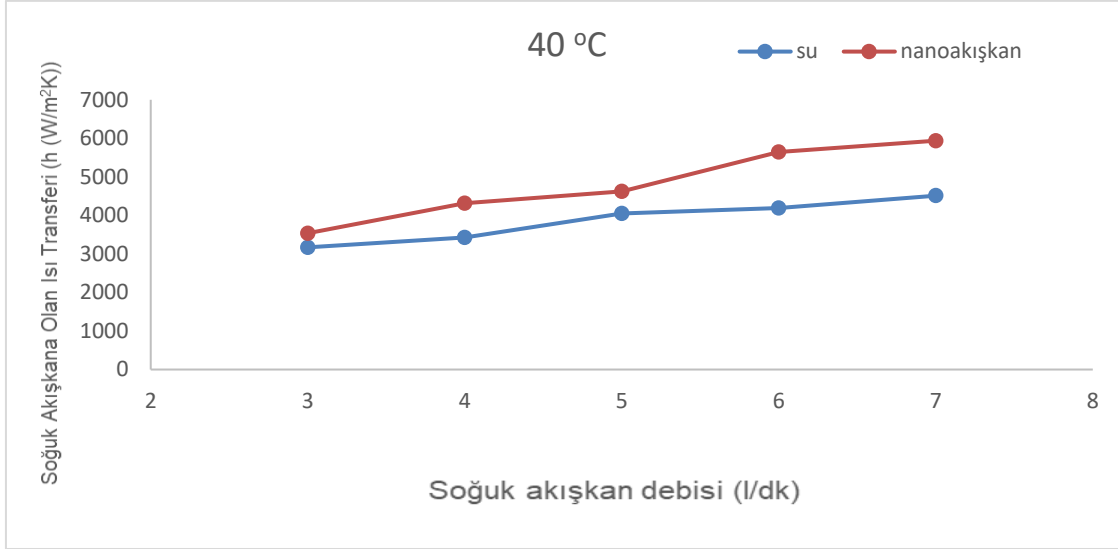
40°C soğuk akışkan çıkış sıcaklığında yapılan çalışmada toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %34 ortalama %21,7 (Şekil 4.9) olurken birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %17,6 ortalama %11,7 (Şekil 4.10) ve soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %34,6 ortalama %23,6 (Şekil 4.11) olmuştur.



Şekil 4.9. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (40°C)

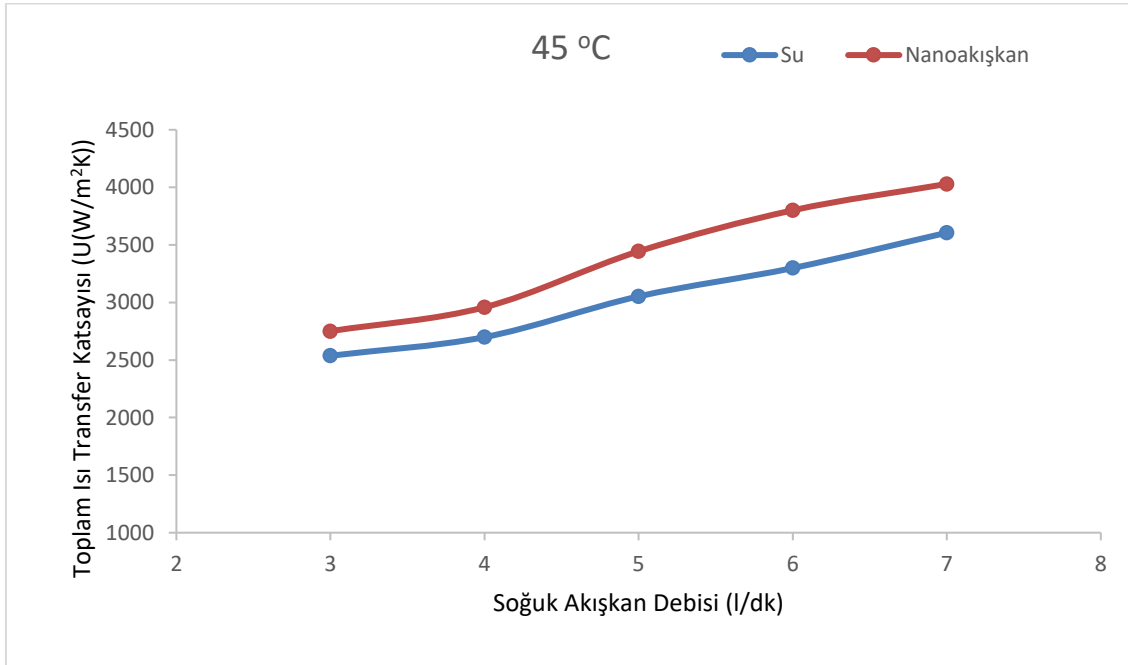


Şekil 4.10. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (40°C)

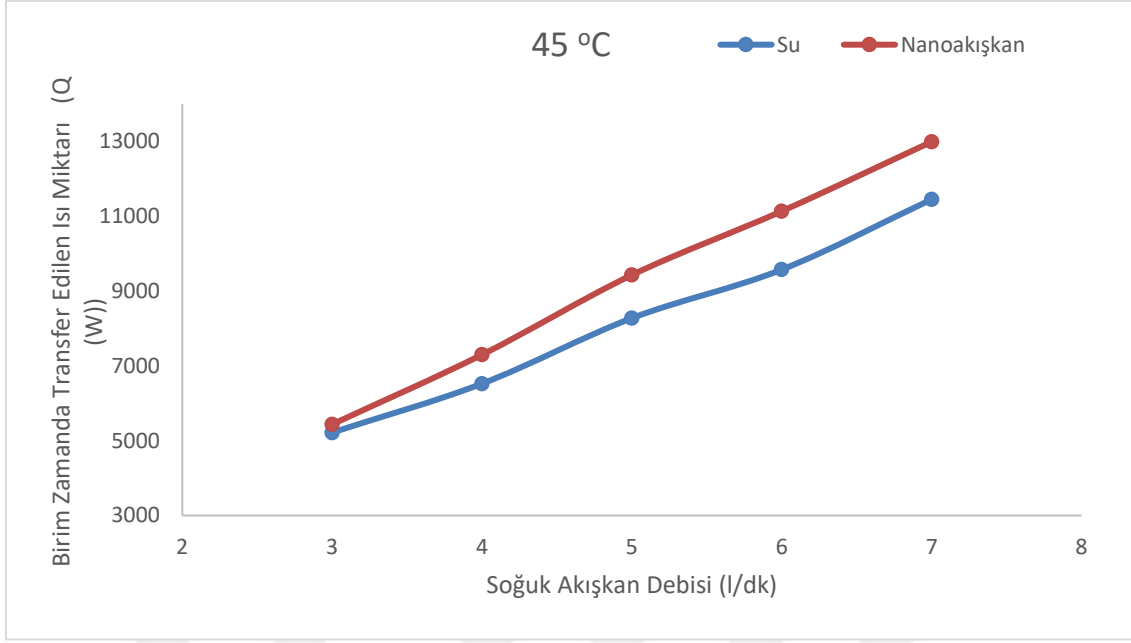


Şekil 4.11. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (40°C)

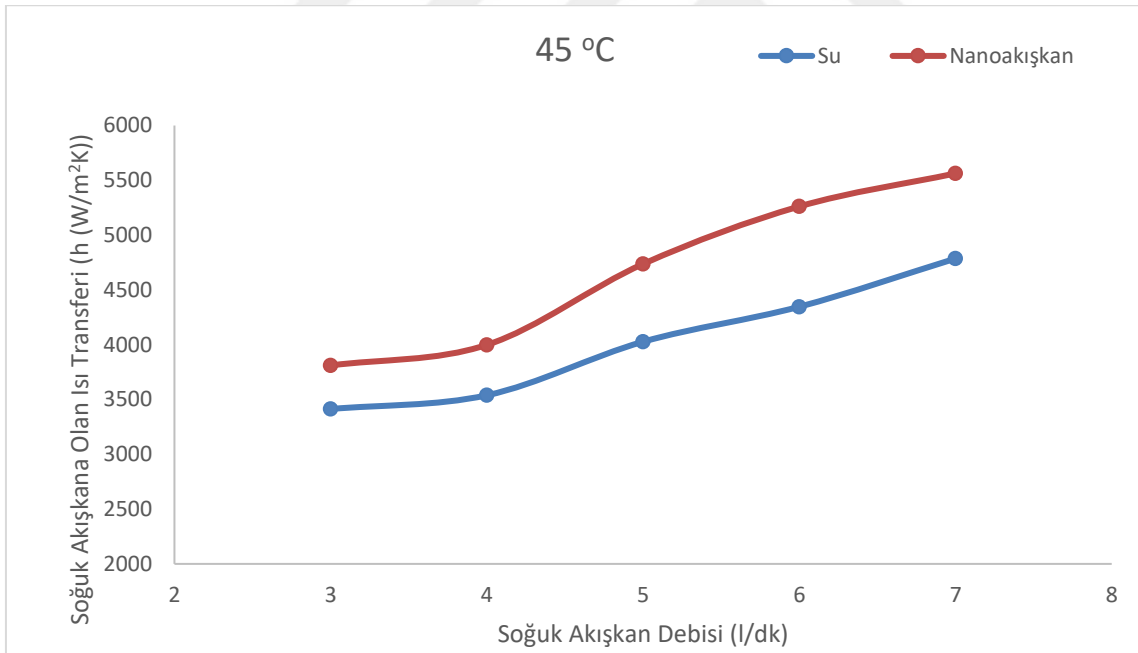
Soğuk akışkan çıkış sıcaklığının 45°C olduğu çalışmada toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %15,2 ortalama %11,7 (Şekil 4.12) olurken birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %16,3 ortalama %12 (Şekil 4.13) ve soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %21,1 ortalama %15,9 (Şekil 4.14) olmuştur.



Şekil 4.12. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (45°C)

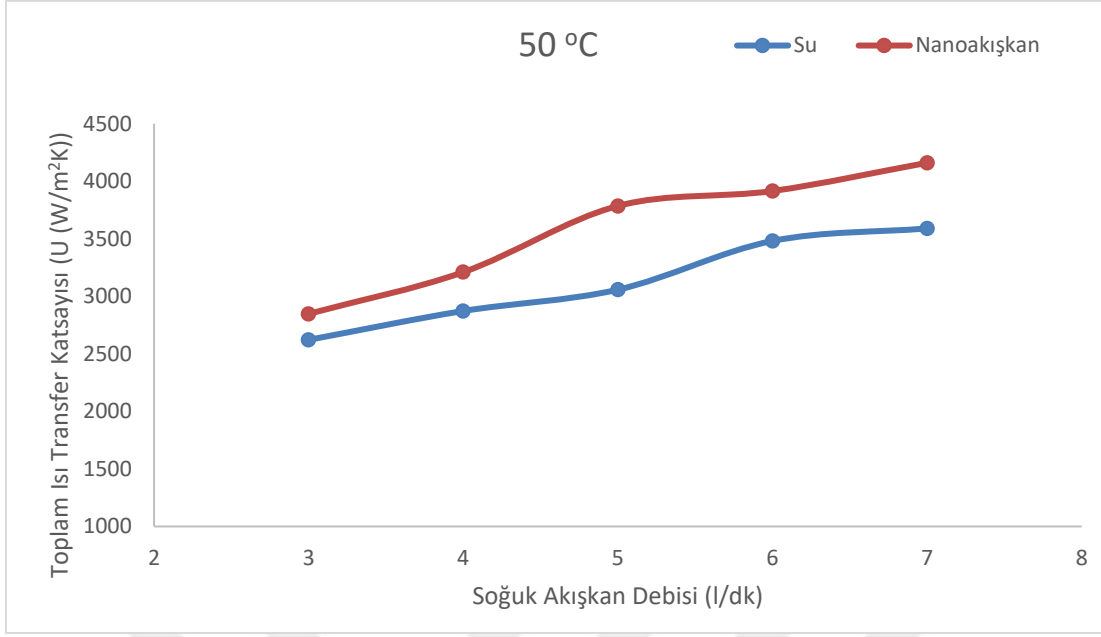


Şekil 4.13. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (45°C)

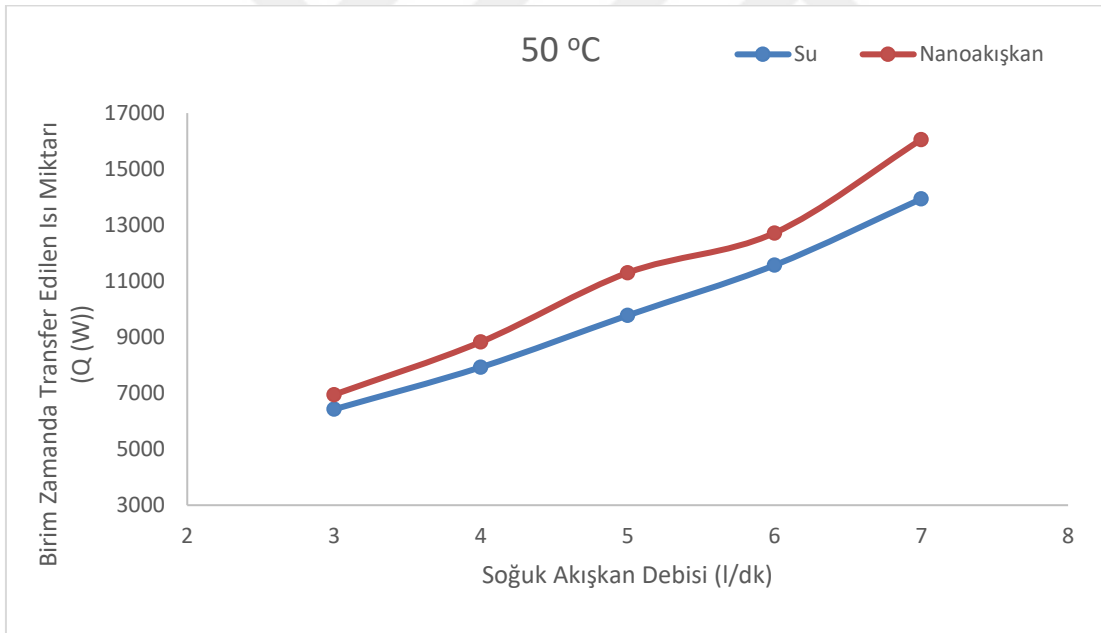


Şekil 4.14. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (45°C)

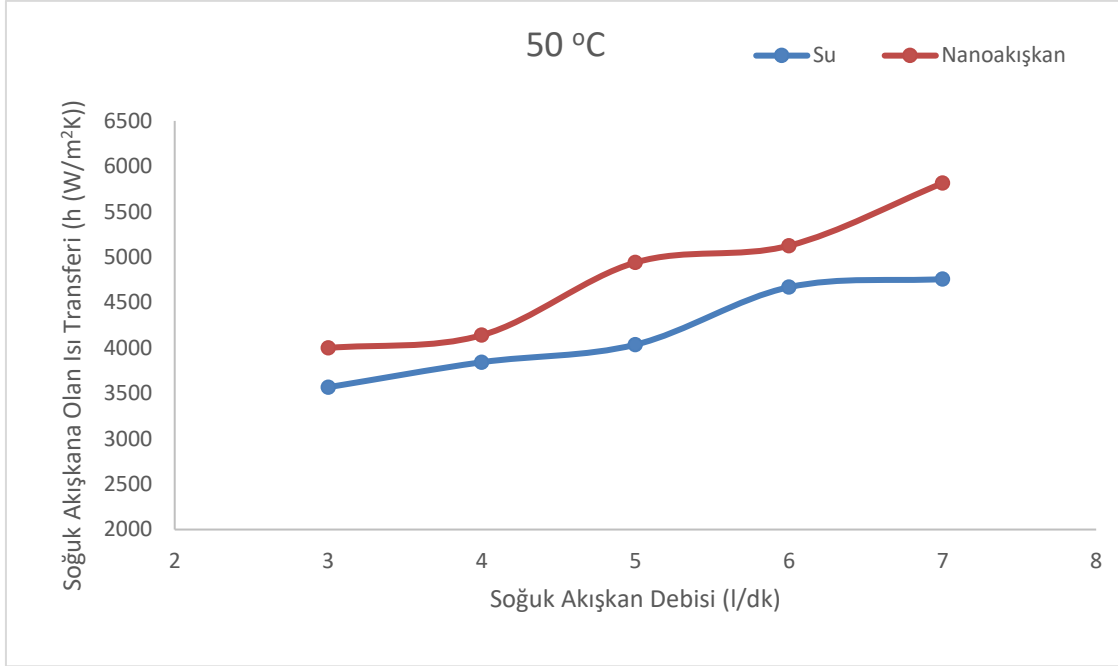
50°C soğuk akışkan çıkış sıcaklığında yapılan çalışmada toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %23,8 ortalama %14,5 (Şekil 4.15) olurken birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %15,6 ortalama %12,1 (Şekil 4.16) ve soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %22,4 ortalama %14,9 (Şekil 4.17) olmuştur.



Şekil 4.15. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (50°C)

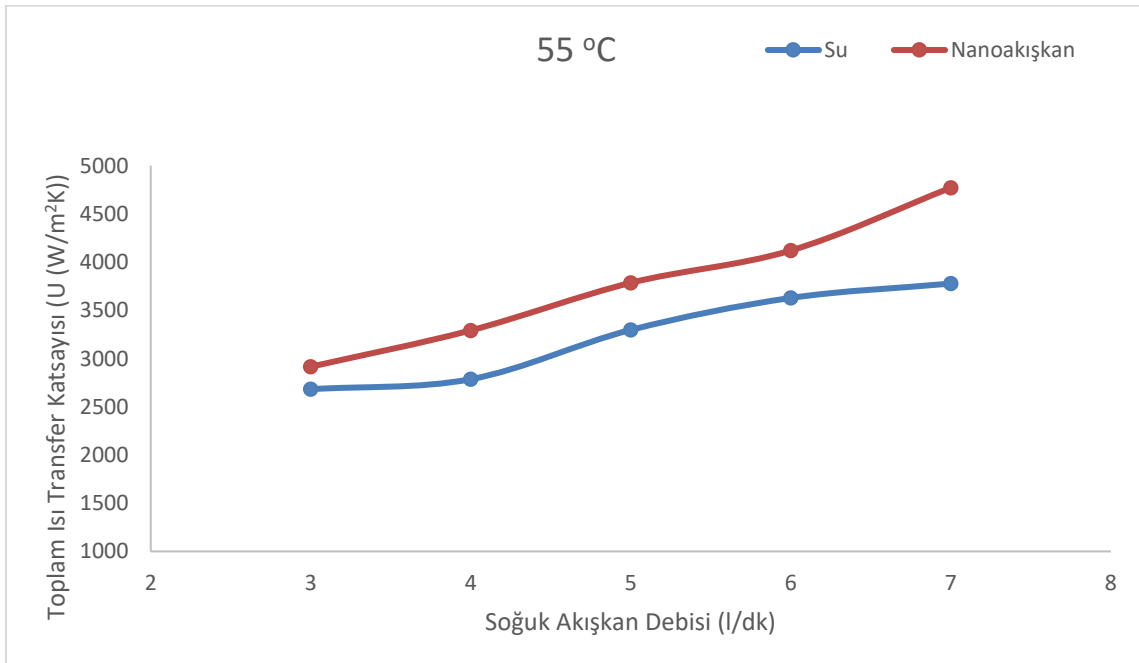


Şekil 4.16. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (50°C)



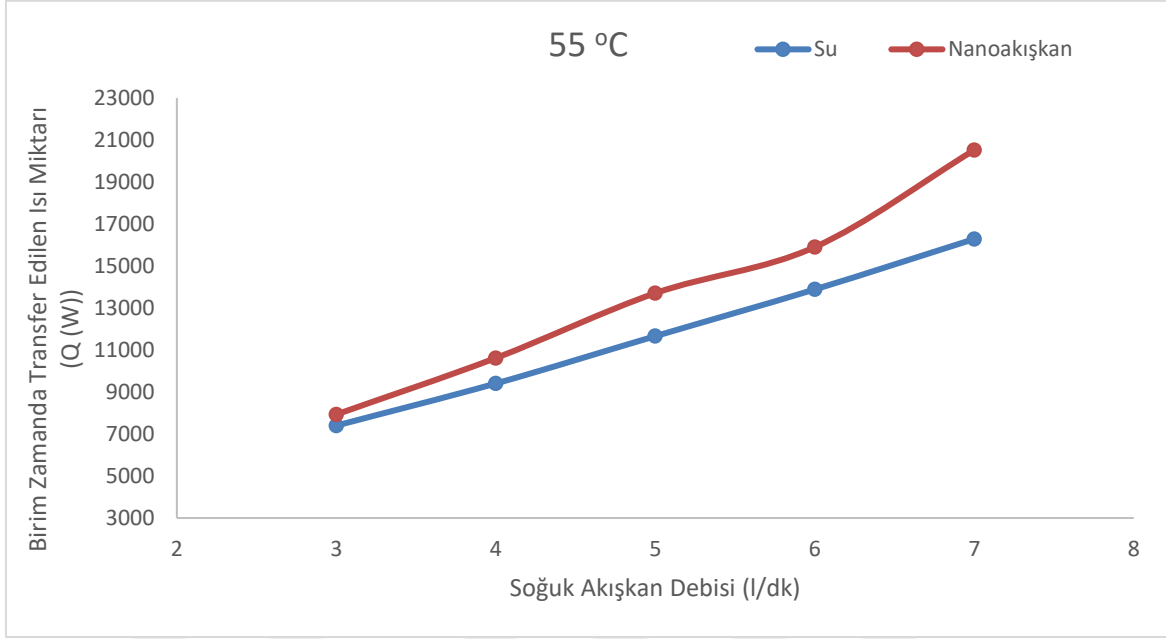
Şekil 4.17. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (50°C)

Son olarak soğuk akışkan çıkış sıcaklığının 55°C olduğu çalışmada ise toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %26,3 ortalama %16,3 (Şekil 4.18) olurken birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %26 ortalama %15,6 (Şekil 4.19) ve soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %39,1 ortalama %20,8 (Şekil 4.20) olmuştur.

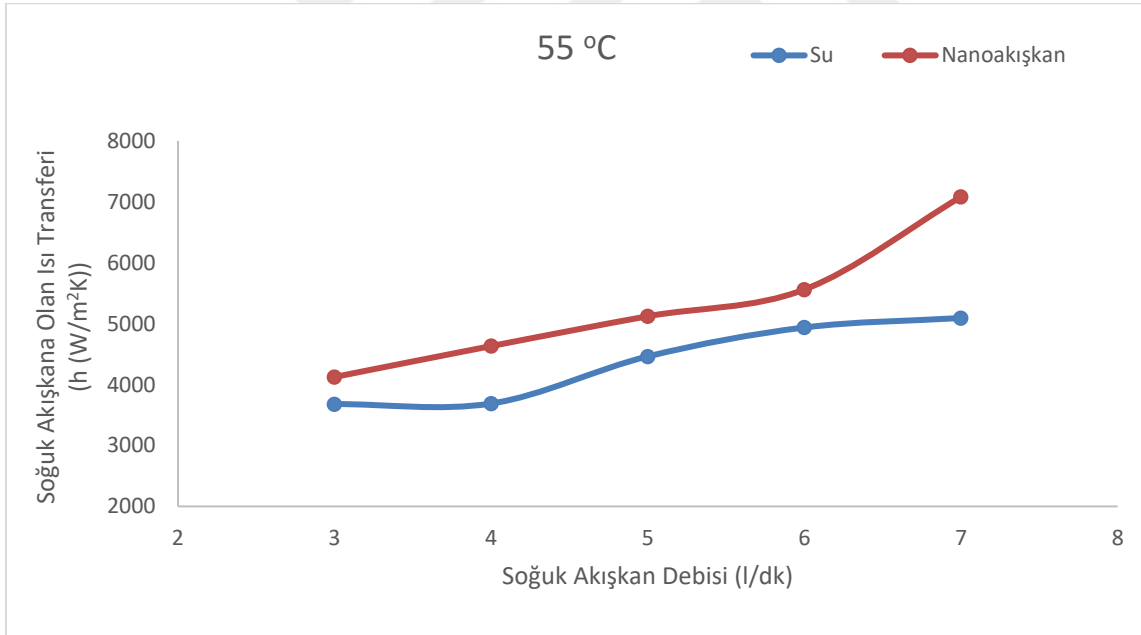


Şekil 4.18. Toplam ısı transfer katsayısındaki değişim (55°C)



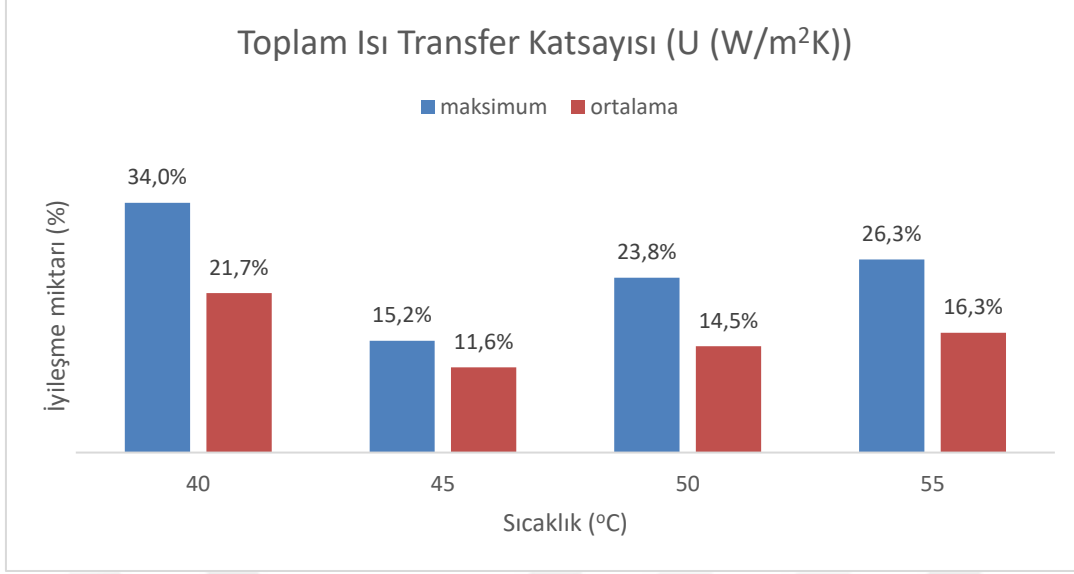


Şekil 4.19. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki değişim (55°C)

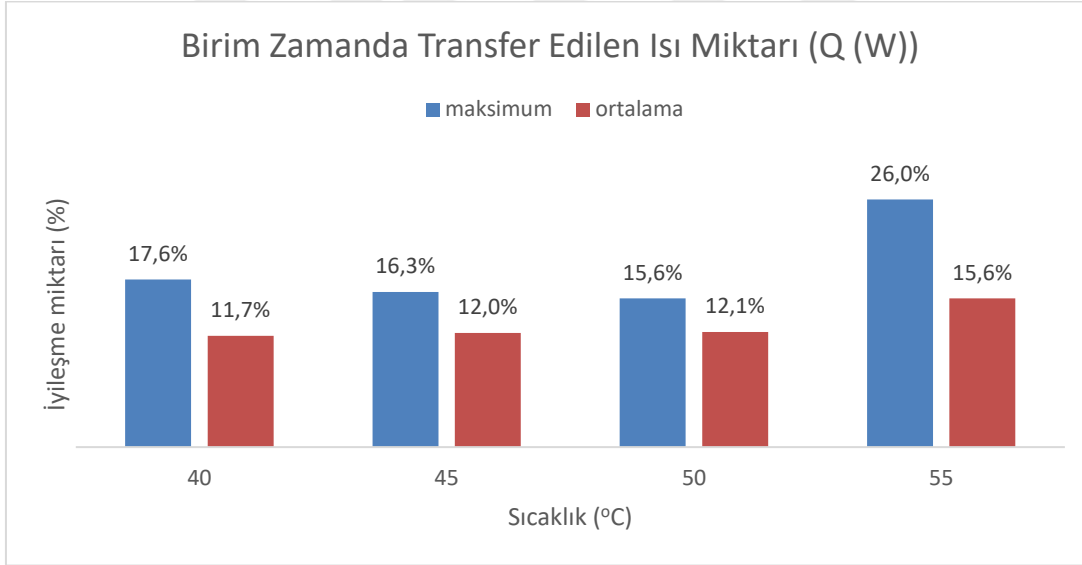


Şekil 4.20. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki değişim (55°C)

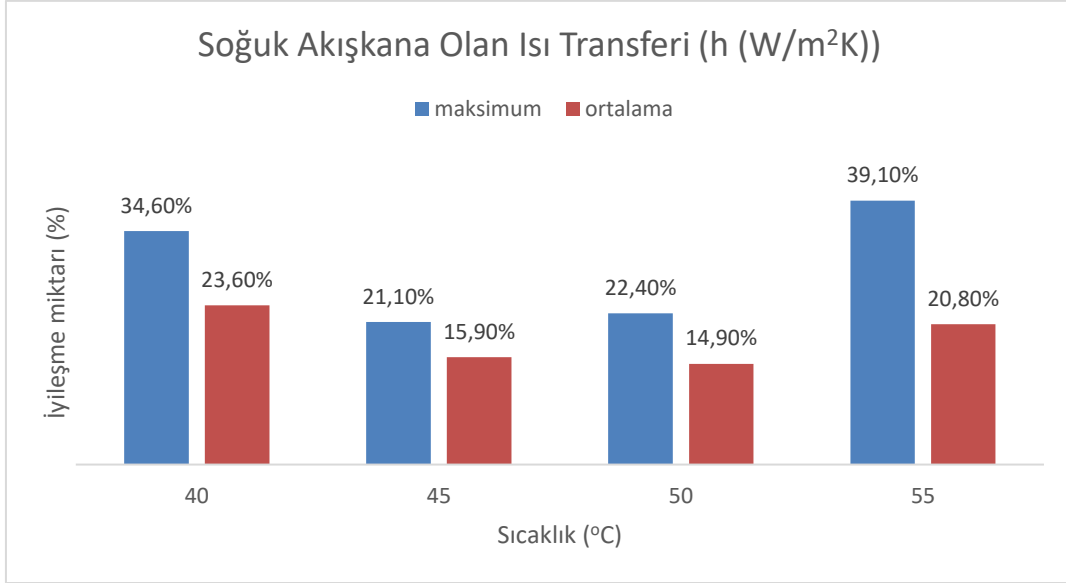
Yapılan deneyler sonucu sıcaklığa bağlı olarak toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları Şekil 4.21’de, birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki iyileşme oranları Şekil 4.22’de ve soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları



Şekil 4.22. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki iyileşme oranları



Şekil 4.23. Soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları

Plakalı ısı değiştiricisinde yapılan deneyler sonucunda, toplam ısı transfer katsayısında ortalama %15,1; birim zamanda transfer edilen ısı miktarında ortalama %12,8 ve soğuk akışkana olan ısı transfer katsayısındaki artışta da ortalama %18,1'lik bir artış gözlemlenmiştir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında  $\text{CuO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  hibrit nanoakışkanının, eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricisinde, paralel ve zıt akış koşullarında kütlece %0,5 ve %1 derişimlerinde, sıcak akışkanın giriş sıcaklığı  $72^\circ\text{C}$  ile 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 l/dk akış debisinde, plakalı ısı değiştiricisinde ise kütlece %1 derişiminde soğuk akışkanın hacimsel debisi 3, 4, 5, 6 ve 7 l/dk için soğuk akışkan çıkış sıcaklığı 40, 45, 50 ve  $55^\circ\text{C}$  'de ısı verim üzerindeki performansı incelenmiştir.

Eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricisinde yapılan deneylerde, %0,5 parçacık konsantrasyonunda toplam ısı transfer katsayısında paralel akışta %4,1, zıt akışta %9,5, %1 parçacık konsantrasyonunda ise toplam ısı transfer katsayısında paralel akışta %7,4, zıt akışta %11,8 artış sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Parçacık konsantrasyonundaki artış ile ısı transferindeki iyileşmenin aynı doğrultuda seyrettiği görülmüştür. Ayrıca ısı değiştiricisinde paralel akış yerine zıt akışın tercih edilmesi durumunda verimin artacağına da deneyler sonucunda elde edilen veriler ile ulaşılmıştır.

Plakalı ısı değiştiricisinde yapılan deneylerde, %1 parçacık konsantrasyonunda toplam ısı transfer katsayısında %15,1 oranında artış sağlandığı ölçülmüştür. Ayrıca plakalı ısı değiştiricisinde kullanımı sırasında elektronik gaz valfi üzerinde yapılan ölçümlerde, nanoakışkanın saf suya kıyasla daha düşük basınçlarda daha yüksek hacimsel debilere çıktığı saptanmıştır. Ölçüm cihazında, soğuk akışkan çıkış sıcaklığı  $55^\circ\text{C}$ 'de 7 l/dk debiye çıkıldığında saf suda LPG basıncının 21.39 mbar olduğu okunurken, hibrit nanoakışkanın aynı koşullarda kullanıldığı deney sırasında LPG basıncının 19.65 mbar olduğu görülmüştür. Bu değerler kıyaslandığında  $\text{CuO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  hibrit nanoakışkanı tercih edildiği zaman LPG kullanımındaki azalış olacağı bunun da hem yakıt tasarrufu sağlayacağı hem de çevreye  $\text{CO}_2$  salınımında azalma olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerde,  $\text{CuO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  hibrit nanoakışkanının geleneksel çalışma akışkanlarına göre yüksek ısı taşınım katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Bu da hibrit nanoakışkanın ısı transferi uygulamaları için iyi bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Ayrıca 1 litre LPG yakımında çevreye 1,51 kilogram  $\text{CO}_2$

[192] salındığı göz önüne alındığında  $\text{CuO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  hibrit nanoakışkanının doğayla barışık bir kullanma akışkanı olduğu aşikardır.

$\text{CuO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  hibrit nanoakışkanının ısı verim üzerine etkisiyle ilgili yapılacak diğer çalışmalarda kütlece %1,5-2 derişimleri denenebilir. Eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricisinde soğuk akışkan suyun debisi 15-20 gr/s için bakılabilir. Ayrıca plakalı ısı değiştiricisinde plaka sayısının hibrit nanoakışkanın verime katkısı üzerinde etkisi ölçülebilir.

Günümüzde nanoakışkan kullanımında karşılaşılan basınç düşüşünden kaynaklı yük kaybı, pompalama gücündeki artış, yüksek maliyetli oluşu gibi zorluklar kullanım alanındaki yayılımını azaltmaktadır. Sanayide yaygın kullanımına geçilmesi için bilimsel araştırmalar ve deneyler ile karşılaşılan sorunların çözüme kavuşturulması gerekmektedir. Kullanılacak ısı değiştiricisine uygun nanoakışkan, uygun konsantrasyon ve çalışma sıcaklığında seçimi yapılmalıdır. Ayrıca, bilimsel çalışmaların araştırma odaklı değil sonuç odaklı olarak yapılması ile sanayide kullanımının yaygınlaşmasının sağlanacağı tahmin edilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Çengel, Y. A., (2011). *Isı ve Kütle Transferi*, Üçüncü Basım, Güven Bilimsel, İzmir.
2. Çengel, Y. A., ve Cimbala, M. J., (2015). *Akışkanlar Mekaniği*, Üçüncü Basım, Palme Yayıncılık, Ankara.
3. Genceli, O.F. (1999). *Isı Değiştiricileri*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
4. Kaçar, E. N. ve Erbay, L. B., (2013). *Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış*, Mühendis ve Makina, Ankara.
5. Saha, K. S., Tiwari, M., Sunden, B., and Wu, Z., (2016). Advances in Heat Transfer Enhancement, *Springer*, Switzerland.
6. Keleşoğlu, B., (2010). *Yön Değiştiren Kanal Akışlarında Isı Transferinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. Goharshadi E.K., Ahmadzadeh H., Samiee S. and Hadadian M., (2013). Nanofluids for Heat Transfer Enhancement-A Review, *Physics Chemistry Research*, 1 (1), 1-33.
8. Choi S.U.S., Zhang Z.G., Yu W., Lockwood F.E. and Grulke E.A., (2001). Anomalous Thermal Conductivity Enhancement in Nanotube Suspensions, *Applied Physics Letters*, 79, 2252-2254.
9. Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Thompson, L. J., and Lee, S. (1998). Enhanced Thermal Conductivity through the Development of Nanofluids. *Materials Research Society Symposium-Proceedings*, California, USA.
10. Angayarkanni, S.A. and Philip, J., (2015). Review on thermal properties of nanofluids: Recent developments, *Advances in Colloid and Interface Science*, 225:146–176.
11. Wang, H., Xu, J.Z., Zhu, J.J. and Chen, H.Y., (2002). Preparation of CuO nanoparticles by microwave irradiation, *Journal of Crystal Growth*, 244: 88-94.
12. Lo, C.H., Tsung, T.T., Chen, L.C., Su, C.H. and Lin, H.M., (2005). Fabrication of copper oxide nanofluid using submerged arc nanoparticle synthesis system (SANSS), *Journal of Nanoparticle Research*, 7.
13. Sandhya, S.U. and Nityananda, S.A., (2013). A Facile One Step Solution Route to Synthesize Cuprous Oxide Nanofluid, *Nanomaterials and Nanotechnology*.
14. Solangi, K.H., Kazi, S.N., Luhur, M.R., Badarudin, A., Amiri, A., Sadri, R., Zubir, M.N.M., Gharahkhani, S. and Teng, K.H., (2015). A comprehensive review of thermo-physical properties and convective heat transfer to nanofluids, *Energy*, 89:1065-1086.
15. Hong, T. K., Yang, H. S., and Choi, C. J. (2000). Study of the enhanced thermal conductivity of Fe nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 97, 1-4.

16. Murshed, S.M.S., Leong, K.C. and Yang, C. (2005). Enhanced Thermal Conductivity of TiO<sub>2</sub> Water Based Nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 44(4), 367-373.
17. Godson Asirvatham L., Raja B., Lal DM. and Wongwises S. (2011). Convective heat transfer of nanofluids with correlations, *Particuology*, 9, 626–631.
18. Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Karakaya, U. and Çiftçi, E. (2018). Experimental Comparison of Triton X-100 And Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate Surfactants on Thermal Performance of TiO<sub>2</sub>-Deionized Water Nanofluid in a Thermosiphon. *Experimental Heat Transfer*, 42, 138-149.
19. Kılıç, F., Sözen, A., and Menlik, T. (2018). Effect of Titanium Dioxide/Water Nanofluid Use on Thermal Performance of The Flat Plate Solar Collector. *Solar Energy*, 164, 101-108.
20. Keblinski, P, Eastman, J.A. and Cahill, D.G. (2005). Nanofluids for Thermal Transport, *Materials Today*, 8(6), 36-44.
21. Wei X., Zhu H., Kong T. and Wang L.(2009).Synthesis and Thermal Conductivity of Cu<sub>2</sub>O Nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52:4371-4374.
22. Long J., Dong J., Wang X., Ding Z., Zhang Z., Wu L., Li Z. and Fu X. (2009), Photochemical Synthesis of Submicronand Nano-Scale Cu<sub>2</sub>O Particles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 333 791–799.
23. Tok, A.I.Y., Boey, F.Y.C. and Zhao, X.L (2006), Novel Synthesis of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles by Flame Spray Pyrolysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 178 270–273.
24. Gonçalves, J. S. , Santos, V., Leal, S. H., Santos Junior<sup>1</sup>, L. S., Santos<sup>1</sup>, M. R. M. C., Longo, E. and Matos, J. M. E. (2009), Experimental Variables in The Synthesis of Anatase Phase TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, *11th International Conference on Advanced Materials*, Rio de janeiro Brazil.
25. Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y. and Ai, F. (2002). Dependence of The Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture on The Base Fluid, *Journal of Materials Science Letters*, 21(9), 1469-1471.
26. Yang, L., Xu, J., Du, K. and Zhang, X. (2017). Recent Developments on Viscosity and Thermal Conductivity of Nanofluids, *Powder Technology*, 317, 348–369.
27. Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S. and Tohmpon, L.J. (2001). Anomalously Increased Effective Thermal Conductivities of Ethyleneglycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78(6), 718-720.
28. Xie, H., Wang, J., Xi, T. and Liu, Y. (2002). Thermal Conductivity of Suspensions Containing Nanosized SiC Particles, *International Journal of Thermophysics*, 23(2), 571-580.



29. Lomascolo, M., Colangelo, G., Milanese, M. and Risi, A. (2015). Review of Heat Transfer in Nanofluids: Conductive Convective and Radiative Experimental Results, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1182-1198.
30. Teng, T.P., Hung, Y.H., Teng, T.C., Mo, H.E. and Hsu, H.G. (2010). The effect of Alumina/Water Nanofluid Particle Size on Thermal Conductivity, *Applied Thermal Engineering*, 30(14-15), 2213-2218.
31. Chon, C.H., Kihm K.D., Lee S.P. and Choi S.U.S. (2005). Empirical Correlation Finding The Role of Temperature and Particle Size for Nanofluid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Thermal Conductivity Enhancement, *Applied Physics Letters*, 87(15), 153107.
32. Kang, H.U., Kim, S.H., and Oh, J.M. (2006). Estimation of Thermal Conductivity of Nanofluid Using Experimental Effective Particle Volume, *Experimental Heat Transfer*, 19(3), 181-191.
33. Duangthongsuk, W. and Wongwises, S. (2009). Measurement of Temperature-Dependent Thermal Conductivity and Viscosity of TiO<sub>2</sub>-water Nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(4), 706-714.
34. Das, S.K., Putra, N., Thiesen, P. and Roetzel, W. (2003). Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 125(4), 567-574.
35. Abareshi, M., Goharshadi, E.K., Zebarjad, S.M., Fadafan, H.K. and Youssefi, A. (2010). Fabrication Characterization and Measurement of Thermal Conductivity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanofluids, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(24), 3895-3901.
36. Ding, Y., Alias, H., Wen, D. and Williams, R.A. (2006). Heat Transfer of Aqueous Suspensions of Carbon Nanotubes (CNT Nanofluids), *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49(1-2), 240-250.
37. Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., Ai, F. and Wu, Q. (2002). Thermal Conductivity Enhancement of Suspensions Containing Nanosized Alumina Particles, *Journal of Applied Physics*, 91(7), 4568-4572.
38. Wang, X., Zhu, D. and Yang, S. (2009). Investigation of pH and SDBS on Enhancement of Thermal Conductivity in Nanofluids, *Chemical Physics Letters*, 470(1-3), 107-111.
39. Hong, K.S., Hong, T.K. and Yang, H.S. (2006). Thermal Conductivity of Fe Nanofluids Depending on The Cluster Size of Nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 88(3), 031901.
40. Das, S. K., Choi, S. U., Yu, W., and Pradeep, T. (2007). *Nanofluids: Science and Technology (First edition)*. New Jersey: John Wiley & Sons Publication.

41. Nguyen, C.T., Desgranges, F., Galanis, N., Roy, G., Maré, T., Boucher, S. and Mintsa, H.A. (2008). Viscosity data for Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid-hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable, *International Journal of Thermal Sciences*, 47(2), 103-111.
42. Suganthi, K.S. and Rajan, K.S. (2012). Temperature induced changes in ZnO – water nanofluid: zeta potential, size distribution and viscosity profiles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(25-26), 7969-7980.
43. Turgut, A., Tavman, I., Chirtoc, M., Schuchmann, H.P., Sauter, C. and Tavman, S. (2009). Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO<sub>2</sub> nanofluids, *International Journal of Thermophysics*, 30(4), 1213-1226.
44. Sundar, S.L., Singh, M.K. and Sousa, A.C.M. (2013). Investigation of thermal conductivity and viscosity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanofluid for heat transfer applications, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 44, 7-14.
45. Saedinia, M., Akhavan-Behabadi, M.A. and Razi, P. (2012). Thermal and rheological characteristics of CuO–Base oil nanofluid flow inside a circular tube, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(1), 152-159.
46. Chandrasekar, M., Suresh, S. and Bose, A.C. (2010) Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(2), 210-216.
47. Halelfadl, S., Estellé, P., Aladag, B., Doner, N. and Maré, T. (2013). Viscosity of carbon nanotubes water-based nanofluids: influence of concentration and temperature, *International Journal of Thermal Sciences*, 71, 111-117.
48. Yu, W., Xie, H., Chen, L. and Li, Y. (2009). Investigation of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol based ZnO nanofluid, *Thermochimica Acta*, 491(1-2), 92-96.
49. Wang, B.X., Zhou, L.P. and Peng, X.F. (2006). Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles, *International Journal of Thermophysics*, 27(1), 139-151.
50. Tiznobaik, H. and Shin, D. (2013). Enhanced specific heat capacity of high-temperature molten salt-based nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2), 542-548.
51. De Robertis, E., Cosme, E.H.H., Neves, R.S., Kuznetsov, A.Y., Campos, A.P.C. and Landi, S.M. (2012). Application of the modulated temperature differential scanning calorimetry technique for the determination of the specific heat of copper nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, 41, 10–17.
52. Liu, Y. and Yang, Y. (2017). Investigation of specific heat and latent heat enhancement in hydrate salt based TiO<sub>2</sub> nanofluid phase change material, *Applied Thermal Engineering*, 124, 533-538.

53. Pastoriza-Gallego, M.J., Casanova, C, Paramo, R. and Pineiro, M.M. (2009). A study on stability and thermophysical properties (density and viscosity) of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in water nanofluid, *Journal of Applied Physics*, 106(6), 123-129.
54. Ganeshkumar, J., Kathirkaman, D., Raja, K. and Velraj, R. (2015). Experimental study on density, thermal conductivity, specific heat and viscosity of water ethylene glycol mixture dispersed with carbon nanotubes, *Thermal Science*, 21, 255-265.
55. Teng, T.P. and Hung, Y.H. (2014). Estimation and experimental study of the density and specific heat for alumina nanofluid, *Journal of Experimental Nanoscience*, 9(7), 707-718.
56. Shanthi, R., Anandan, S. and Ramalingam V., (2012). "Heat Transfer Enhancement Using Nanofluids An overview", *Thermal Science*, C. 16, S. 2, s. 423-444.
57. Choi, S., Wang, X. and Xu, X. (1999). Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture, *Journals of Thermophysics and Heat Transfer*, 13, 474-480.
58. Colangelo, G., Favale E., Laforgia D. and Rissi A. (2011). Results of Experimental Investigations on the Heat Conductivity of Nanofluids Based On Diathermic Oil for High Temperature Applications, *Applied Energy*, 97, 828-833.
59. Alizad, K., Shafahi M. and Vafai, K. (2012). Thermal Performance and Operational Attributes of the Startup Characteristics of flat-shaped Heat Pipes Using Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 55, 140-155.
60. Alasadi, M., Albadr, J. and Tayal, S. (2013). Heat Transfer Through Heat Exchanger Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluid at Different Concentrations, *Case Studies in Thermal Engineering*, 1, 38-44.
61. Dumitrache, F., Huminic, A., Huminic, G. and Morjan, I., (2001). Experimental Study of the Thermal Performance of Thermosyphon Heat Pipe using Iron Oxide Nanoparticles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(1), 656-661.
62. Sonawane, S. S., Khedkar, R. S. and Wasewar K. L. (2013). Water to Nanofluids Heat Transfer in Concentric Tube Heat Exchanger: Experimental Study, *International Conference on Engineering*, 51, 318-323.
63. Kumar, M., Yadav, V. K., Verma, B. and Srivastava, K. K., (2015). Experimental study of convective heat transfer in miniature double tube hair-pin heat exchanger, *Procedia Technology*, 24:669-676.
64. Chavda, N. K., (2015). Effect of Nanofluid on Heat Transfer Characteristics of Double Pipe Heat Exchanger: Part-II: Effect Of Copper Oxide Nanofluid, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(4):688- 697.
65. Prasad, P. D., Gupta, A. V. S. S. K. S., and Deepak, K., (2015). Investigation of trapezoidal-cut twisted tape insert in a double pipe U-tube heat exchanger using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid, *Procedia Materials Science*, 10:50-63.

66. Saeedan, M., Nazar, A. R. S., Abbasi, Y., and Karimi, R., (2016). CFD Investigation and neural network modeling of heat transfer and pressure drop of nanofluids in double pipe helically baffled heat exchanger with a 3-D fined tube, *Applied Thermal Engineering*, 100:721-729.
67. Pak B.C. and Cho Y., (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle, *Experimental Heat Transfer*, 11 (1998), pp. 151–170.
68. Wen D. and Ding Y., (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluid at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 47, 5181–5188.
69. Anoop K.B., Sundararajan T. and Das S.K., (2009b). Effect of particle size on the convective heat transfer in nanofluid in the developing region, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 52 (9–10), 2189–2195.
70. Heris S.Z., Esfahany M.N. and Etemad S.G., (2007). Experimental investigation of convective heat transfer of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid in circular tube, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 28, 203–210.
71. Hwang K.S., Jang S.P. and Choi S.U.S., (2009). Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids in fully developed laminar flow regime, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 52, 193–199.
72. Sommers A.D. and Yerkes K.L., (2010). Experimental investigation into the convective heat transfer and system-level effects of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-propanol nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 12, 1003–1014.
73. Fotukian S.M. and Esfahany M.N., (2010a). Experimental study of turbulent convective heat transfer and pressure drop of dilute CuO/water nanofluid inside a circular tube, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 214–219.
74. Fotukian S.M. and Nasr Esfahany M., (2010b). Experimental investigation of turbulent convective heat transfer of dilute  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid inside a circular tube, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31, 606–612.
75. Tiwari, A. K., Ghosh, P. and Sarkar, J. (2013). Performance comparison of the Plate Heat Exchanger using Different Nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49, 141-151.
76. Sarafraz, M. M., and Hormozi, F. (2015). Intensification of forced convection heat transfer using biological nanofluid in a double-pipe heat exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 66:279-289.
77. El-Maghlany, W. M., Hanafy, A. A., Hassan, A. A. and El-Magid, M. A., (2016). Experimental study of Cu–water nanofluid heat transfer and pressure drop in a horizontal double-tube heat exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 78:100-111.

78. Goodarzi, M., Kherbeet, A. S., Afrand, M., Sadeghinezhad, E., Mehrali, M., Zahedi, P., Wongwises, S. and Dahari, M., (2016). Investigation of heat transfer performance and friction factor of a counter-flow double-pipe heat exchanger using nitrogen-doped, graphene-based nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76:16-23.
79. Pourahmad, S., and Pesteei, S. M., (2016). Effectiveness-NTU analyses in a double tube heat exchanger equipped with wavy strip considering various angles, *Energy Conversion and Management*, 123:462-469.
80. Sundar, S. L., Bhramara, P., Ravi Kumar, T. N., Singh, K. M., and Sousa, M. C. A., (2017). Experimental heat transfer, friction factor and effectiveness analysis of FE<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanofluid flow in a horizontal plain tube with return bend and wire coil inserts, *Internal Journal of Heat and Mass Transfer*, 109:440-453.
81. Mousavi, S. V., Sheikholeslami, M., and Gerdroodbary, M. B., (2016). The Influence of magnetic field on heat transfer of magnetic nanofluid in a sinusoidal double pipe heat exchanger, *Chemical Engineering Research and Design*, 113:112-124.
82. Alhusseny, A., Turan, A., and Nasser, A., (2017). Rotating metal foam structures for performance enhancement of double-pipe heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 105:124-139.
83. Sumathi, B. A. L., and Vijay, K., (2017). Cfd Analysis on Double Pipe Hair-Pin Heat Exchanger with Different Nano Fluids, *IJITR*, 5(3):6471-6476.
84. Xuan Y. and Li Q., (2003). Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 125,151–155.
85. Chen H., Yang W., He Y., Ding Y., Zhang L. and Tan C., (2008b). Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of titanate nanotubes (nanofluids), *Powder Technology*, 183, 63–72.
86. Duangthongsuk W. and Wongwises S., (2008a), Heat transfer enhancement and pressure drop characteristics of TiO<sub>2</sub>–water nanofluid in a double-tube counter flow heat exchanger, *International Journal of Heat Mass Transfer*. 52, 2059–2067.
87. Duangthongsuk W. and Wongwises S., (2008b). Effect of thermophysical properties models on the predicting of the convective heat transfer coefficient for low concentration nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 35, 1320–1326.
88. Yang Y., Zhang Z.G., Grulke E.A., Anderson W.B. and Wu G., (2005). Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 48 (6), 1107–1116.
89. Yu W., France D.M., Smith D.S., Singh D., Timofeeva E.V. and Routbort J.L., (2009). Heat transfer to a silicon carbide/water nanofluid, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 2, 3606–3612.

90. Williams W., Buongiorno J. and Hu L.W., (2008). Experimental investigation of turbulent convective heat transfer and pressure loss of alumina/water and zirconia/water nanoparticle colloids (nanofluids) in horizontal tubes, *Journal of Heat Transfer*, 130, 042412/1–042412/7.
91. Rea U., McKrell T., Hu L.W. and Buongiorno J., (2009). Laminar convective heat transfer and viscous pressure loss of alumina–water and zirconia–water nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 2042–2048.
92. Buongiorno J., (2006). Convective transport in nanofluids. *Journal of Heat Transfer*, 128, 240–50.
93. Sharma K.V., L. Sundar Syam and Sarma P.K., (2009). Estimation of heat transfer coefficient and friction factor in the transition flow with low volume concentration of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid flowing in a circular tube and with twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 503–507.
94. Sundar L.S. and Sharma K.V., (2010a). Turbulent heat transfer and friction factor of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid in circular tube with twisted tape inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 1409–1416.
95. Sundar L.S. and Sharma K.V., (2010b). Heat transfer enhancements of low volume concentration Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid and with longitudinal strip inserts in a circular tube, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (19–20), 4280–4286.
96. Chandrasekar M., Suresh S. and Chandra Bose A., (2010). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid in a circular pipe under laminar flow with wire coil inserts, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34 (2), 122–130.
97. Suresh S., Chandrasekar M. and Chandrasekhar S., (2011a). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of CuO/water nanofluid under turbulent flow in a helically dimpled tube, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 542–549.
98. Suresh S, Chandrasekar M and Selvakumar P., (2011b). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of CuO/water nanofluid under laminar flow in a helically dimpled tube. *Heat Mass Transfer*, doi:10.1007/s00231-011-0917-2.
99. Suresh S., Venkitaraj K.P. and Selvakumar P., (2011c). Comparative study on thermal performance of helical screw tape inserts in laminar flow using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water and CuO/water nanofluids, *Superlattices and Microstructures*, 49, 608–622.
100. Suresh S. Venkitaraj, K.P., Selvakumar P. and Chandrasekar M., (2012a). A comparison of thermal characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water and CuO/water nanofluids in transition flow through a straight circular duct fitted with helical screw tape inserts, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 39, 37–44.

101. Wongcharee K. and Eiamsa-ard S., (2011). Enhancement of heat transfer using CuO/water nanofluid and twisted tape with alternate axis, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 742–748.
102. Wongcharee K. and Eiamsa-ard S., (2012). Heat transfer enhancement by using CuO/water nanofluid in corrugated tube equipped with twisted tap, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 251–257.
103. Saeedinia M, Akhavan-Behabadi MA and Nasr M., (2012). Experimental study on heat transfer and pressure drop of nanofluid flow in a horizontal coiled wire inserted tube under constant heat flux, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 36, 158-168.
104. Suresh S., Selvakumar P., Chandrasekar M. and Srinivasa Raman V., (2012b). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid under turbulent flow with spiraled rod inserts, *Chemical Engineering and Processing*, 53 24–30.
105. Chandrasekar M., Suresh S. and Senthilkumar T.,(2012). Mechanisms proposed through experimental investigations on thermophysical properties and forced convective heat transfer characteristics of various nanofluids – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6),3917–3938.
106. Chun BH, Kang HU and Kim SH, (2008). Effect of alumina nanoparticles in the fluid on heat transfer in double-pipe heat exchanger system, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25 (5), 966–971.
107. Daungthongsuk W. and Wongwises S., (2007). A critical review of convective heat transfer of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11/ 5, 797–817.
108. Duangthongsuk W. and Wongwises S., (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO<sub>2</sub>–water nanofluids flowing under a turbulent flow regime, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 53 (1–3), 334–344.
109. Demir H, Dalkilic AS, Kürekci NA, Duangthongsuk W and Wongwises S., (2011). Numerical investigation on the single phase forced convection heat transfer characteristics of TiO<sub>2</sub> nanofluids in a double-tube counter flow heat exchanger, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38 (2), 218–228.
110. Zamzamian A, Oskouie SN, Doosthoseini A, Joneidi and Pazouki A M., (2011). Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/EG and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35 (3), 495–502.
111. Gut, J. A. W., and Pinto, J. M. (2003). Modeling of plate heat exchangers with generalized configurations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 2571-2585.
112. Gut, J. A. W., and Pinto, J. M. (2004). Optimal configuration design for plate heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 4833-4848.

113. Dovic, D., Palm, B., and Svaic, S. (2009). Generalized correlations for predicting heat transfer and pressure drop in plate heat exchanger channels of arbitrary geometry. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 4553-4563.
114. Gherasim, I., Galanis, N., and Nguyen, C. T. (2009). Effects of dissipation and temperature-dependent viscosity on the performance of plate heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 29, 3132-3139.
115. Lin, J. H., Huang, C. Y. and Su, C. C. (2007). Dimensional analysis for the heat transfer characteristics in the corrugated channels of plate heat exchangers. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 34, 304-312.
116. Lee, H., Hwang, Y., Radermacher, R. and Chun, H. H. (2013). Thermal and hydraulic performance of sinusoidal corrugated plate heat exchanger for low temperature lift heat pump. *International Journal of Refrigeration*, 36, 689-700.
117. Luan, Z., Zhang, G., Tian, M., and Fan, M. (2008). Flow resistance and heat transfer characteristics of a new-type plate heat exchanger. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 20, 524-529.
118. Vlasogiannis, P., Karagiannis, G., Argyropoulos, P., and Bontozoglou, V. (2002). Air-water two-phase flow and heat transfer in a plate heat exchanger. *International Journal of Multiphase Flow*, 28, 757-772.
119. Benli, H., Gül, H., ve Durmuş, A. (2006). Değişik yüzey profiline sahip tek geçişli plaka tipli ısı değiştiricilerinde ısı transferinin incelenmesi. *Firat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18, 569-575.
120. Zhu, J., and Zhang, W. (2004). Optimization design of plate heat exchangers (PHE) for geothermal district heating systems. *Geothermics*, 33, 337-347.
121. Dwivedi, A. K., and Das, S. K. (2007). Dynamics of plate heat exchangers subject to flow variations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 2733-2743.
122. Şencan, A., Selbaş, R., ve Kılıç, B. (2010). Isıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılan plakalı ısı eşanjörlerinin deneysel analizi. *Tübvav Bilim Dergisi*, 3, 35-44.
123. Bayram, G., ve Şahin, A. S. (2004). Plakalı ısı eşanjöründe farklı soğutkanlar kullanılarak iki farklı soğutma sisteminin deneysel analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum E-Dergi*, 2, 20-25.
124. Devocioğlu A. G. and Oruç, V. (2017). The influence of plate-type heat exchanger on energy efficiency and environmental effects of the air-conditioners using R453A as a substitute for R22. *Applied Thermal Engineering*, 112, 1364-1372.
125. Yang, J., Jacobi, A., and Liu, W. (2017). Heat transfer correlations for single-phase flow in plate heat exchangers based on experimental data. *Applied Thermal Engineering*, 113, 1547-1557.



126. Kumar, B., Soni, A., and Singh, S. N. (2018). Effect of geometrical parameters on the performance of chevron type plate heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 91, 126-133.
127. Gherasim, I., Taws, M., Galanis, N., and Nguyen, C. T. (2011). Heat transfer and fluid flow in a plate heat exchanger part I. experimental investigation. *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1492-1498.
128. Gherasim, I., Galanis, N., and Nguyen, C. T. (2011). Heat transfer and fluid flow in a plate heat exchanger. Part II: assessment of laminar and two-equation turbulent models. *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1499-1511.
129. Tiwari, A. K., Ghosh, P., and Sarkar, J. (2013). Heat transfer and pressure drop characteristics of CeO<sub>2</sub>/water nanofluid in plate heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 57, 24-32.
130. Srinivas, T., and Vinod, A. V. (2015). Heat transfer enhancement using CuO/water nanofluid in a shell and helical coil heat exchanger. *Procedia Engineering*, 127, 1271-1277.
131. Tiwari, A. K., Ghosh, P. and Sarkar, J. (2015). Particle concentration levels of various nanofluids in plate heat exchanger for best performance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 89, 1110-1118.
132. Eiamsa-ard, S., Kiatkittipong, K., and Jedsadaratanachai, W. (2015). Heat transfer enhancement of TiO<sub>2</sub>/water nanofluid in a heat exchanger tube equipped with overlapped dual twisted-tapes. *Engineering Science and Technology an International Journal*, 18, 336-350.
133. Huang, D., Wu, Z., and Sunden, B. (2016). Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 190-196.
134. Kumar, V., Tiwari A. K., and Ghosh, S. K. (2016). Effect of chevron angle on heat transfer performance in plate heat exchanger using ZnO/water nanofluid. *Energy Conversion and Management*, 118, 142-154.
135. Sarafraz, M., and Hormozi, F. (2016). Heat transfer, pressure drop and fouling studies of multiwalled carbon nanotube nanofluids inside a plate heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 1-11.
136. Behrangzadeh, A., Heyhat, M. M. (2016). The effect of using nano-silver dispersed water based nanofluid as a passive method for energy efficiency enhancement in a plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 102, 311-317.
137. Lee, J. H., Hwang, K. S., Jang, S. P., Lee, B. H., Kim, J. H., Choi, S. U. S., and Choi, C. J. (2008). Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 2651-2656.

138. Li, C. H., and Peterson, G. P. (2007). The effect of particle size on the effective thermal conductivity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–water nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 101, 312-320.
139. Zhang, X., Gu, H., and Fujii, M. (2007). Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids containing spherical and cylindrical nanoparticles. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 31, 593-599.
140. Timofeeva, E. V., Gavrilov, A. N., McCloskey, J. M., and Tolmachev, Y. V. (2007). Thermal conductivity and particle agglomeration in alumina nanofluids: experiment and theory. *Physics Review*, 76, 203-221.
141. Putra, N., Roetzel, W., and Das, S. K. (2003). Natural convection of nanofluids. *Heat and Mass Transfer*, 39, 775-784.
142. Serebryakova, M. A., Dimov, S. V., Bardakhanov, S. P., and Novopashin, S. A. (2015). Thermal conductivity, viscosity and rheology of a suspension based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles and mixture of 90% ethylene glycol and 10% water. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 83, 187-191.
143. Syamsundar, L., Venkata Ramana, E., Singh, M. K., and Sousa, A. C. M. (2014). Thermal conductivity and viscosity of stabilized ethylene glycol and water mixture Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids for heat transfer applications: an experimental study. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 56, 86-95.
144. Mostafizur, R. M., Bhuiyan, M. H., Saidur R., and Abdulaziz, A. R. (2014). Thermal conductivity variation for methanol based nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 76, 350-356.
145. Pang, C., Jung, J. Y., Lee, J. W., and Kang, Y. T. (2012). Thermal conductivity measurement of methanol-based nanofluids with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 5597-5602.
146. Elis, J. M. E., Suganthi, K. S., Manikandan, S., Anusha, N., and Rajan, K. S. (2015). Cerium oxide–ethylene glycol nanofluids with improved transport properties: preparation and elucidation of mechanism. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 49, 183-191.
147. Lee, S. Choi, S. U. S., Li, S., and Eastman, J. A. (1999). Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. *ASME Journal of Heat Transfer*, 121, 280-289.
148. Mintsa, H. A., Roy, G., Nguyen, C. T., and Doucet, D. (2009). New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 48, 363-371.
149. Vajjha, R. S., and Das, D. K. (2009). Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 4675-4682.

150. Jeong, J., Li, C., Kwon, Y., Lee, J., Kim, S. H. and Yun, R. (2013). Particle shape effect on the viscosity and thermal conductivity of ZnO nanofluids. *International Journal of Refrigeration*, 36, 2233-2241.
151. Yiamsawasd, T., Dalkilic, A. S., and Wongwises, S. (2012). Measurement of the thermal conductivity of titania and alumina nanofluids. *Thermochimica Acta*, 545, 48-56.
152. Khanlari, A., Sözen, A. and Variyenli, H. (2019), Simulation and experimental analysis of heat transfer characteristics in the plate type heat exchangers using TiO<sub>2</sub>/water nanofluid, *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, Vol. 29 No. 4, pp. 1343-1362. <https://doi.org/10.1108/HFF-05-2018-0191>
153. Aydın, D., Sözen, A., Gürü, M., Khanlari, A. and Variyenli, İ, (2019). Investigation of the Influences of Kaolin-Deionized Water Nanofluid on the Thermal Behavior of Concentric Type Heat Exchanger, *Heat and Mass Transfer*.
154. Sozen, A., Ozturk, A. and Ozalp, M., (2019). Influences of alumina and fly ash nanofluid usage on the performance of recuperator including heat pipe bundle, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9):5095-5100.
155. Karakaya, U., Gürü, M., Sözen, A., Aydın, D. and Bilici, I., (2019). Experimental Investigation of Thermophysical Properties of Nano Mineralogical Fluids, *Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi*, 22(3):619-626.
156. Sözen, A., Khanlari, A., Çiftçi, E., and Gürü, M., (2019). Experimental and Numerical Study on Enhancement of Heat Transfer Characteristics of a Heat Pipe Utilizing Aqueous Clinoptilolite Nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 160.
157. Sözen, A., Khanlari, A., and Çiftçi, E., (2019). Experimental and Numerical Investigation of Nanofluid Usage in A Plate Heat Exchanger for Performance, *Improvement International Journal Of Renewable Energy Development (IJRED)*, 8(1): 27-32.
158. Su, U.O., Sözen, A., and Menlik, T., (2019). Heat Pipe Evacuated Tubular Solar Collector Performance Improvement By Applications of Nanofluid, *Polytechnic-Politeknik Dergisi*, 22(1):245-257.
159. Khanlari, A., Sözen, A., Çiftçi, E., and Gürü, M., (2019). Heat Transfer Enhancement of Plate Heat Exchanger Utilizing Kaolin-Including Working Fluid, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: *Journal of Power and Energy*, 233(5): 626-634.
160. Gürü, M., Sözen, A., Karakaya, U., and Çiftçi, E., (2019). Influences of Bentonite-Deionized Water Nanofluid Utilization at Different Concentrations on Heat Pipe Performance: An Experimental Study, *Applied Thermal Engineering*, 148:632-640.

161. Khanları, A., Sözen, A., Variyenli, İ., and Gürü, M., (2019). A Comparison Between Heat Transfer Characteristics of TiO<sub>2</sub>/Deionized Water and Kaolin/Deionized Water Nanofluids in the Plate Heat Exchanger, *Heat Transfer Research*, 50(5):435-440.
162. Sözen, A., Güçlüer, S., and Kılınç, C., (2019). The Heat Transfer Enhancement Of Concurrent Flow And Counter Current Flow Concentric Tube Heat Exchangers By Using Hexagonal Boron Nitride/Water Nanofluid, *Thermal Science*.
163. Öztürk, A., Özalp, M., Sözen, A., and Gürü, M., (2019). Performance improvement of the heat recovery unit with sequential type heat pipes using TiO<sub>2</sub> nanofluid, *Thermal Science*, 23(3):1755-1764, Part B.
164. Sözen, A., Çiftçi, E., Keçel, S., Gürü, M., Variyenli, H.İ., and Karakaya, U., (2018). Investigation Of Diatomite-Containing Nanofluid Usage As The Working Fluid In A Wickless Loop Heat Pipe: Experimental And Numerical Study, *Heat Transfer Research*, 49(17):1721-1744.
165. Ahmed, S.A., Özkaymak, M., Sözen, A., Menlik, T., and Fahed, A., (2018). Improving car radiator performance by using TiO<sub>2</sub>-water nanofluid, *Engineering science and technology*, 21(5):996-1005.
166. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., and Aktaş, M., (2017). Utilization of Blast Furnace Slag Nano-fluids In Two-Phase Closed Thermo-Syphon Heat Pipes for Enhancing Heat Transfer, *Experimental Heat Transfer*, 30(2):112-125.
167. Sözen, A., Özdemir, B., Variyenli, İ., and Gürü, M., (2017). Upgrading the Thermal Performance of Parallel and Cross-Flow Concentric Tube Heat Exchangers Using MgO Nano-fluid, *Heat Transfer Research*, 48(5), 419–434.
168. Sözen, A., Variyenli, İ., Özdemir, B., and Gürü, M., (2016). Improving the Thermal Performance of Parallel and Cross-Flow Concentric Tube Heat Exchangers Using Fly-ash Nano-fluid, *Heat Transfer Engineering*, 37(9):805-813.
169. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., Boran, K., Kılıç, F., Aktaş, M., and 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.
170. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., Irmak, A.F., Kılıç, F., and Aktaş, M., (2016). Utilization of Fly-ash Nanofluids in Two-Phase Closed Thermosyphon (TPCT) for Enhancing Heat Transfer, *Experimental Heat Transfer*, 29(3):337-354.
171. Sözen, A., Özbaş, E., Menlik, T., İskender, U., Kılınç, C., and Çakır, M.T., (2015). Performance Investigation of a Diffusion Absorption Refrigeration System Using Nano-size Alumina Particles into Refrigerant, *International Journal of Exergy*, 48(4):443-461.

172. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., and Öztaş, S., (2015). Heat Transfer Enhancement Using MgO/Water Nanofluid in Heat Pipe, *Journal of the Energy Institute*, 88:247-257.
173. Sözen, A., Özbaş, E., Menlik, T., Çakır, M.T., Gürü, M., and 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.
174. Sözen, A., Variyenli, H.I., Özdemir, M.B., Gürü, M., and Aytaç, I. (2016) Heat Transfer Enhancement Using Alumina and Fly Ash Nanofluids in Parallel and Cross-Flow Concentric Tube Heat Exchangers, *Journal of the Energy Institute*, vol. 89, pp. 414-424.
175. Madhesh, D. and Kalaiselvam, S. (2015). Experimental study on heat transfer and rheological characteristics of hybrid nanofluids for cooling applications, *Journal Experimental Nanoscience* 10 1194–1213.
176. Selimefendigil, F. and Öztop, H.F. (2019). Corrugated conductive partition effects on MHD free convection of CNT-water nanofluid in a cavity, *International Journal Heat Mass Transfer*. 129 265–277.
177. Manikandan, S. and Rajan, K.S. (2017). New hybrid nanofluid containing encapsulated paraffin wax and sand nanoparticles in propylene glycol-water mixture: potential heat transfer fluid for energy management, *Energy Conversion Management* 137 74–85.
178. Makisima, A. (2004). *Possibility of hybrids materials*, Ceram. Japan. 39 90–91.
179. Hayat, T. and Nadeem, S. (2017). Heat transfer enhancement with Ag–CuO/water hybrid nanofluid, *Results Physics* 7 2317–2324.
180. Selimefendigil, F. and Öztop, H.F. (2018). Mixed convection of nanofluids in a three dimensional cavity with two adiabatic inner rotating cylinders, *International Journal Heat Mass Transfer* 117 331–343.
181. Hemmat Esfe, M., Alirezaie, A. and Rejvani, M. (2017). An applicable study on the thermal conductivity of SWCNT-MgO hybrid nanofluid and price-performance analysis for Energy management, *Applied Thermal Engineering* 111 1202–1210.
182. Madhesh, D., Parameshwaran, R. and Kalaiselvam, S. (2014). Experimental investigation on convective heat transfer and rheological characteristics of Cu-TiO<sub>2</sub> hybrid nanofluids, *Experimental Thermal Fluid Science* 104–115.
183. Allahyar, H.R., Hormozi, F. and ZareNezhad, B. (2016). Experimental investigation on the thermal performance of a coiled heat exchanger using a new hybrid nanofluid, *Experimental Thermal Fluid Science* 324–329.

184. Hormozi, F., ZareNezhad, B. and H.R. Allahyar, (2016). An experimental investigation on the effects of surfactants on the thermal performance of hybrid nanofluids in helical coil heat exchangers, *International Community Heat Mass Transfer* 271–276.
185. Hussein, A.M. (2017). Thermal performance and thermal properties of hybrid nanofluid laminar flow in a double pipe heat exchanger, *Experimental Thermal Fluid Science* 37–45.
186. Megatiff, L., Ghozatloo, A., Arimi, A. and Shariati-Niasar, M. (2016). Investigation of laminar convective heat transfer of a novel TiO<sub>2</sub>-carbon nanotube hybrid water-based nanofluid, *Experimental Heat Transfer*. 124–138.
187. Bhattad, A., Sarkar, J. and Ghosh, P. (2018). Discrete phase numerical model and experimental study of hybrid nanofluid heat transfer and pressure drop in plate heat exchanger, *International Community Heat Mass Transfer* 262–273.
188. Bahiraei, M., Godini, A. and Shahsavari, A. (2018). Thermal and hydraulic characteristics of a minichannel heat exchanger operated with a non-Newtonian hybrid nanofluid, *Journal Taiwan Institute Chemical Engineering* 149–161.
189. Lide, D. and Frederikse (Eds.), H.P.R., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Cleveland, Ohio (1978)
190. Aktaş, M., Khanlari, A., Aktekeli, B., and Amini, A. (2017). Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 18034-18044.
191. Holman, J. P. (2001). *Experimental Methods for Engineers (7th edition)*. New York: McGraw-Hill.
192. İnternet: Energy Conversion, Calculation of CO<sub>2</sub> emissions from fuels, [https://people.exeter.ac.uk/TWDavies/energy\\_conversion/Calculation%20of%20CO2%20emissions%20from%20fuels.htm](https://people.exeter.ac.uk/TWDavies/energy_conversion/Calculation%20of%20CO2%20emissions%20from%20fuels.htm), Son Erişim Tarihi: 03.03.2020

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖKTEN, Mert  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 10.04.1993, Ankara  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (545) 938 00 06  
e-mail : mert.okten@cbu.edu.tr



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	2016

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2020-Halen	Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi	Araştırma Görevlisi
2019-2020	İdealist Mühendislik	Proje Mühendisi
2017-2018	Tekno Akıllı Eğitim Kurumları A.Ş.	Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Öğretmeni

### Yabancı Dil

İngilizce, İtalyanca

**Yayınlar**

Variyenli, H.İ., Sözen, A., Gürbüz, E.Y., Khanlari, A., and Ökten, M., (2019, 14-16 Kasım). Utilization of CuO/water nanofluid in a tube type heat exchanger, *2nd International Conference on Technology and Science*, Abstract Books, 82, Burdur

Gurbuz, E. Y., Variyenli, H., Sözen, A., Khanlari, A., and Ökten, M., Experimental and numerical analysis on using CuO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water hybrid nanofluid in a U-type tubular heat exchanger, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, in pres.

**Hobiler**

Filateli ve Nümismatik Koleksiyonerliği, Origami, Golf







*GAZİ GELECEKTİR..*