



**BORULU TİP ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE TİTANYUMDİOKSİT (TiO₂)
NANOAKIŞKANI KULLANILARAK ISIL İLETKENLİĞİN
ARTTIRILMASI**

Emre EROL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2018

Emre EROL tarafından hazırlanan “BORULU TİP ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE TİTANYUMDİOKSİT(TiO2) NANOAKIŞKANI KULLANILARAK ISIL İLETKENLİĞİN ARTTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tayfun MENLİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Şerafettin EREL

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Prof. Dr. Kurtuluş BORAN

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 10/05/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin 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.

Emre EROL

10/05/2018

BORULU TİP ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE TİTANYUMDİOKSİT (TiO₂)
NANOAKIŞKANI KULLANILARAK ISIL İLETKENLİĞİN ARTTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Emre EROL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2018

ÖZET

Günümüzde enerji kaynaklarının verimli kullanılması giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmanın ana konusu birçok alanda kullanılan ısı değiştiricilerinin verimini nanoakışkan kullanarak arttırmaktır. Teknolojideki gelişmeler, ısı iletkenlik özelliği bakımından yüksek performansa sahip metalik parçacıkların nano boyutlarda üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu çalışmanın amacı ısı değiştiricilerde sıcak akışkan olarak Titanyumdioksit (TiO₂) –su nanoakışkan kullanımının saf suya göre ısı iletkenliğe etkisini deneysel olarak araştırılmasıdır. Deneylerde eş merkezli, iç içe borulu ısı değiştiriciden oluşan deney düzeneği kullanılmıştır. Deneyler paralel akış ve ters akış şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan nanopartiküller tane boyutu ortalama 40-50 nm olan %97 saflıkta TiO₂ dir. Saf suyun içerisine %2 (kütle/ kütle) derişimi sağlanacak şekilde TiO₂ nanopartikülleri ilave edilmiş ve karıştırılarak süspanse edilmiştir. Paralel akış şartlarında nanoakışkan kullanımı ile toplam ısı transferi katsayısı suya göre ortalama %38 artmıştır. Sıcak akışkan ve soğuk akışkanın ısı transfer katsayısında ise sırasıyla ortalama %17 ve %3 oranında artış sağlanmıştır. Zıt akış şartlarındaki iyileşme oranları ise sırasıyla %12, %26 ve %1 olarak ölçülmüştür.

Bilim Kodu : 91408

Anahtar Kelimeler : Nanoakışkanlar, Isıl İletkenlik, Isı Transferi Performansı, Isıl İletkenlik Performansı, TiO₂

Sayfa Adedi : 67

Danışman : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

HEAT TRANSFER PERFORMANCE ENHANCEMENT BY USING
TITANIUM DIOXIDE (TiO₂) NANOFLUIDS IN TUBULAR HEAT EXCHANGER

(M. Sc. Thesis)

Emre EROL

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2018

ABSTRACT

Nowadays, using energy sources efficiently become more important topic. In this study, main topic is improving heat exchangers efficiency by using nanofluids. Tecnological developments enable us to manufacture nano-size metallic particules which have high heat transfer performance. In this study, main idea is researching effect of thermal conductivity of Titanium dioxide-water nanofluids (as a hot fluid) compared to water experimentally. Concentric, nested tubular type heat exchanger is used at experimental setup. System runs at parallel flow and counter-current flow. At the experimental setup 44 nm size and 97% purity TiO₂ nanofluids were used which are suspended at 2%(mass/mass) concentration. Total heat transfer coefficient of system increased by 17% with using nanofluids at parallel flow condition compared to water. Also, hot fluid heat transfer coefficient and cold fluid coefficient improved by 38% and 3% respectively. Percentage of heat transfer enhancements at counter-current flow was calculated as 12%, 26% and 1% respectively.

Science Code : 91408

Key Words : Nanofluids, Thermal Conductivity, Heat Transfer Performance,
Thermal Conductivity Performance, TiO₂

Page Number : 67

Supervisor : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans tezimin başından sonuna kadar her anında, destek ve bilgileriyle bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tayfun MENLİK'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Bununla birlikte, teze dair bilgi toplama, veri alma ve deneysel çalışmalarda, yardım ve katkılarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim VARİYENLİ'ye, Arş. Gör. Dr. Serhat KARYEYEN'e ve tecrübelerinden faydalandığım Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki kıymetli tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte bana karşı hiçbir desteğini esirgemeyen başta eşim Hilal EROL olmak üzere tüm aileme şükran duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. NANOAKIŞKANLAR	5
3.1. Nanopartiküllerin Fiziksel Özellikleri.....	6
3.2. Nanopartiküllerin Üretim Metotları	7
3.2.1. Yukarıdan aşağıya nanopartikül üretim metotları.....	8
3.2.2. Aşağıdan yukarıya nanopartikül üretim yöntemleri.....	10
3.3. Nanoakışkanların Üretim Metodları	14
3.4. Nanoakışkanların Kullanım Alanları	16
3.4.1. Otomotiv endüstrisi.....	16
3.4.2. Elektronik tabanlı endüstriyel uygulamalar	17
3.4.3. Savunma ve uzay sanayisi.....	17
3.4.4. Diğer endüstriyel uygulamalar	17
3.5. Nanoakışkanların ısı iletkenliği	18
4. ISI DEĞİŞTİRİCİLER.....	21
4.1. Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması.....	21

	Sayfa
4.1.1. Isı değişim durumuna göre ısı değiştirici tipleri	22
4.1.2. Kompaktlık sayısına göre ısı değiştirici tipleri	23
4.1.3. Yapısal özelliklerine göre ısı değiştirici tipleri	24
4.1.4. Göreceli akış yönlerine göre ısı değiştirici tipleri	32
5. MATERYAL VE METOT	35
5.1. Deney Düzeneginin İncelenmesi.....	35
5.2. Termofiziksel Özelliklerin Tayin Edilmesi ve Ölçümü	38
5.3. Teorik Ve Deneysel Analiz	39
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
6.1. Deney Düzenegindeki Belirsizliklerin Matematiksel Analizi.....	43
6.2. İç İçe Eş Merkezli Isı Değiştiricisinin Akım Yönlerine Göre Sonuçları	44
6.2.1. Paralel akışta çalıştırılan deney düzeneği için sonuçlar	44
6.2.2. Zıt akışta çalıştırılan deney düzeneği için sonuçlar	51
6.3. Paralel Akış ve Zıt Akış Performanslarının Karşılaştırılması.....	57
6.4. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	60
6.5. Öneriler	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİş	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı katı ve sıvı akışkanların termal iletkenlik katsayıları	5
Çizelge 5.1. Deney düzeneğinde kullanılan tüm ekipmanların teknik özellikleri	38
Çizelge 6.1. Deney düzeneğindeki ekipmanların teknik özellikleri ve belirsizlikleri	44



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Elektro-patlamalı kablo yöntemi (EEC) deney düzeneğinin şematik gösterimi (1) İnce metal tel, (2) Metal plaka, (3)36 V pil ve (4) Su dolu cam kap	10
Şekil 3.2. Nanopartiküllerin hidrojen redüksiyonu ile eldesine ait deney düzeneği.....	11
Şekil 3.3. USP(ultrasonik piroliz yöntemi) deney düzeneği.....	13
Şekil 3.4. Sualtı arkıyla nanopartikül sentezi deney düzeneği.....	14
Şekil 4.1. Karşıt akışlı ıslak tip soğutma kulesi kapalı döngüsü.....	22
Şekil 4.2. Levhalı kanatlı ısı değiştiricisinin temel bileşenleri	25
Şekil 4.3. a) Bireysel kanatlandırılmış boru, b) düzlemsel kanatçıklı sıralı borular.....	26
Şekil 4.4. Levhalı tip ısı değiştiricisinin temel bileşenleri.....	27
Şekil 4.5. Spiral borulu ısı değiştiricisinin kesit görünüşü	29
Şekil 4.6. Gövde borulu ısı değiştiricisinin kesit görünüşü	30
Şekil 4.7. Akış yönlerinin görünüşü	32
Şekil 6.1. Paralel akışlı ısı değiştiricide $m_1=0,01$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı	45
Şekil 6.2. Paralel akışlı ısı değiştiricide $m_1=0,01$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı	45
Şekil 6.3. Paralel akışlı ısı değiştiricide $m_2=0,02$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı	46
Şekil 6.4. Paralel akışlı ısı değiştiricide $m_2=0,02$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı	47
Şekil 6.5. Paralel akışlı ısı değiştiricide $m_1=0,03$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı	48
Şekil 6.6. Paralel akışlı ısı değiştiricide $m_3=0,03$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı	48
Şekil 6.7. Paralel akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre toplam ısı taşınım katsayısı değerleri	49
Şekil 6.8. Paralel akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_i) değerleri	50

Şekil	Sayfa
Şekil 6.9. Paralel akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_o) değerleri	50
Şekil 6.10. Zıt akışlı ısı değiştiricide $m_1=0,01$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı	51
Şekil 6.11. Zıt akışlı ısı değiştiricide $m_1=0,01$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı	52
Şekil 6.12. Zıt akışlı ısı değiştiricide $m_2=0,02$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı	53
Şekil 6.13. Zıt akışlı ısı değiştiricide $m_2=0,02$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı	53
Şekil 6.14. Zıt akışlı ısı değiştiricide $m_3=0,03$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı	54
Şekil 6.15. Zıt akışlı ısı değiştiricide $m_3=0,03$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı	55
Şekil 6.16. Zıt akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre toplam ısı taşınım katsayısı değerleri	56
Şekil 6.17. Zıt akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_i) değerleri	56
Şekil 6.18. Zıt akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_o) değerleri	57
Şekil 6.19. Paralel ve zıt akıştaki U_{TiO_2}/U_{su} oranlarının değerleri	58
Şekil 6.20. Paralel ve zıt akıştaki $h_{i,TiO_2}/h_{i,su}$ oranlarının değerleri	59
Şekil 6.21. Paralel ve zıt akıştaki $h_{o,TiO_2}/h_{o,su}$ oranlarının değerleri	59

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kümeleşmiş nanopartiküllere ait TEM görüntüleri (a) Al_2O_3 (b) CuO	7
Resim 3.2. (a), (b) Geçirimli elektron mikroskopuyla Ag-Au parçacıklarının sırasıyla düşük ve yüksek çözünürlükte gösterimi	10
Resim 5.1. P.A. Hilton ısı değiştirici deney düzeneği	37



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler

Açıklama

A	alan (m^2)
A_h	ısı geçiş yüzey alanı (m^2)
β	yüzey alan yoğunluk derecesi
c_p	özgül ısı ($kJ/kg^\circ C$)
d	boru çapı (m)
h	ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
lpm	L/dk
$\dot{m}$	kütlesel debi (kg/s)
nm	nanometre
t	sıcaklık ($^\circ C$)
U	toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
θ_{ln}	logaritmik sıcaklık farkı ($^\circ C$)
$\dot{Q}$	zamana bağlı ısı transferi (W)
V_{toplam}	ısı değiştirici hacmi

Kısaltmalar

Açıklama

EEC	Electrical explosion of cable
PHE	Plate heat exchangers
TEM	Transmisyon elektron mikroskobu
VD	Ve diğerleri

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan enerji talebine karşın, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması bilim insanlarını alternatif enerji kaynakları bulma ve mevcut enerji kaynaklarını daha verimli kullanma konusunda çalışmalar yapmaya itmiştir. Çünkü yaşam standartlarındaki artış, gelişmekte olan ülkelerde sanayinin sürekli artan enerji isteği-buna karşın yetersiz kaynaklar- ve bu ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanması düzeyinde meydana gelen ciddi ekonomik sıkıntılar bu tarz bilimsel çalışmaları birincil ihtiyaç haline getirmiştir [1]. 1960'lı yılların sonundan başlayarak günümüze kadar gelen süreçte, dünyanın enerji tüketimi sürekli artmış ve kullanılan kaynakların sınırlı olması nedeniyle büyük bir enerji problemi oluşmaya başlamıştır. Bu problemi çözmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını daha aktif kullanma ve alternatif enerji kaynakları bulma konusunda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Teknolojinin hızla gelişmesi ve yapılan birçok araştırmaya rağmen; istenilen maliyet dengesinin kurulamaması, çevresel kaygılar gibi nedenlerden dolayı alternatif kaynaklardan enerji üretimi halen çok sınırlı düzeydedir. 2011 dünya enerji üretimi verilerine göre fosil yakıtlar % 82 ile halen birinci sırada yer almaktadır [2]. Fosil yakıtları; % 11 ile yenilenebilir enerji kaynakları ve %5 ile de nükleer enerji kaynakları takip etmektedir [2]. 2020 yılına ait enerji senaryosunda fosil yakıtların payının %76'ya kadar düşeceği öngörülse de mevcut durum bize göstermektedir ki fosil yakıtları daha verimli kullanmak elimizdeki sınırlı kaynağı daha yavaş tüketmemizi sağlayacaktır [2]. Bu sebeple, sanayide birçok farklı süreçte kullanılan ısı değiştiricilerin ısıl transferini yükseltmek de enerji verimliliği açısından büyük önem arz etmeye başlamıştır. Bu konuda birçok bilimsel çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar bilim insanlarını ısı transferini güçlendirme konusunu daha derinden irdelemeye yöneltmiş ve nihayetinde bu konuda yapılmış ciddi oranda bir literatür oluşmuştur.

Isı transferi sırasında su, yağ, etil alkol ve hava gibi birçok farklı akışkanlar tercih edilmektedir. Bu tarz akışkanların ısıl iletimlerini arttırmak için çeşitli yöntemler denenmiştir. Çeşitli karışımlar kullanılması ısıl iletkenliği arttırsa da bu durum belirli bir değeri geçememiştir. Üzerinde yapılan araştırmaların sıklaşmasıyla daha çok bilgiye sahip olunan ve gelişen üretim teknikleriyle daha kolay elde edilebilen nanopartiküllerin ısıl iletkenliği arttırmada kullanılma düşüncesi ısıl iletkenliğin arttırılmasına yeni bir boyut kazandırmıştır [3].

Bu tezde, eş merkezli iç içe borulu ısı değiştirici kullanarak, Titanyum dioksit nanoakışkanı yardımıyla paralel ve zıt yönlü akışta ısı transferini arttırmak ve bu sayede ısı performansın daha verimli hale gelmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda deney düzeneği kurulmuş ve TiO_2 nanoakışkanıyla karıştırılmış saf suyun, soğuk suya doğru yaptığı ısı transferi paralel ve zıt yönlü olmak üzere ayrı ayrı deneysel olarak incelenmiştir. Bu tezin birinci bölümünde genel bir giriş, ikinci bölümde konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalar derlenerek bir literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde nanoakışkanlar üretim metotları, türleri ve fiziksel yapıları gibi farklı özelliklerine göre ele alınmış; dördüncü bölümde ise ısı değiştiriciler incelenmiştir. Beşinci bölümde teorik ve deneysel veriler hakkında bilgiler ve bu bilgiler yardımıyla oluşturulan grafikler materyal ve metot başlığı altında verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen tüm sonuç ve grafikler tezin yapılma amacı olan ısı verimliliğinin artması bakış açısıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Nanoakışkanlar kullanarak ısı verimliliği artırma konusunda birçok çalışma yapılmış ve literatürdeki yerini almıştır. Bu çalışmalar nanopartiküllerin farklı tip ısı değiştiriciler için ısı transferi üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Çalışmalardaki temel amaç ısı verimliliğinin iyileştirilmesidir. Bu tez, eş merkezli iç içe yerleştirilmiş borulardan oluşan ısı değiştiricisi kullanılarak, TiO_2 saf su karışımından elde edilen TiO_2 - su nanoakışkanının paralel ve zıt akış şartlarında ısı transferini arttırmayı amaçlayarak literatüre katkı sağlayacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde ısı transferinin arttırılmasında büyük rol oynayan nanoakışkanlarla ilgili literatürde yapılmış olan akademik çalışmalardan bazıları özet bir şekilde anlatılacaktır. Nanopartiküllerin keşfinden önce 1900'lü yılların başında, "Maxwell Paper" tarafından mikro büyüklükte parçalar temel akışkanla karıştırılarak ısı iletkenlik veriminin artması amaçlanmıştır. Fakat akışkana eklenen mikro partiküller; ani çökelme, tıkanıklık ve basınç düşmesi gibi nedenlerle etkin olamamıştır. Bu sebeple bu tarz parçaların ısı iletkenliğinin arttırılmasına katkı sağlayamayacağı düşünülmüştür [4].

Yıllar sonra nanometre boyutundaki parçacıklarla ilgili ilk çalışma Argonne National Laboratory tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında farklı ebatlarda nanopartikül içeren akışkanlar ilk defa Choi tarafından nanoakışkan olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışmayla birlikte nanoakışkanların ısı transferini iyileştirme konusunda faydalı olduğu görülmüş ve birçok araştırma yapılmaya başlanmıştır.

İlk olarak Choi ve arkadaşları, sıvı vakum pompası içine serpiştirilen Al_2O_3 ve Cu nanopartikülleri ile su, madeni yağ gibi akışkanların termal iletkenliklerini hesaplamışlardır. DeneySEL olarak yapılan çalışmada malzemelerin termal iletkenliğinin geleneksel akışkanlara göre arttığı gözlemlenmiştir [3].

Duangthongsuk vd. , 21 nm ebatında ve hacimce %2 derişime sahip TiO_2 nanoakışkanıyla süspanse edilmiş suyu test akışkanı olarak kullanmıştır. Karşıt akışlı iç içe, eş merkezli ısı değıştiriciye sahip deney düzeneğinde nanoakışkanın ısı verimliliğe etkisi ve basınç düşümü incelenmiştir. Deney sonucunda saf suya göre ısı verimliliğinin yaklaşık %26 arttığı ve basınç düşümünün önemsenmeyecek miktarda olduğu gözlemlenmiştir [5].

Li ve Xuan Bakır(Cu)-su nanoakışkanını taşınım ısı transferi ve akış özellikleri bakımından; düz bir tüpte, sabit ısı akısında laminar ve türbülanslı akış rejimlerinde deneySEL olarak incelemişlerdir. Deney sonuçları temel akışkana nanopartikül eklenmesinin ısı transfer katsayısını arttırdığını göstermiştir [6].

Wen ve Ding; sabit ısı akısında, laminar akış koşullarında, bakır tüpte Al_2O_3 (Alümina)-saf su nanoakışkanı kullanarak nanoakışkanın özellikle boruya giriş kısmındaki değışimlerini

incelemiştir. Sonuçlar; bölgesel olarak ısı transfer katsayısının Reynold sayısının artmasına bağlı olarak arttığını göstermiştir [7].

He vd. , laminar ve türbülanslı akış şartları altında, sabit ısı akısında, paralel tip borulu yukarı yönlü akış koşullarında TiO_2 -saf su nanoakışkanı kullanılarak yapılan deneyde ısı transferi performansını incelemiştir. Deney sonucunda, bölgesel ısı transferi katsayısının Reynold sayısı ve parçacık büyüklüğüne bağlı olarak hem laminar hem türbülanslı akış şartlarında saf suya göre arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sonuçlar basınç düşmesinin ana akışkan ile nanoakışkan için hemen hemen aynı olduğunu göstermiştir [8].

Nguyen vd. , mikro işlemcileri soğutmak için kullanılan soğutma sisteminde türbülanslı akış koşulları altında Al_2O_3 (Alümina)-saf su nanoakışkanını kullanarak ısı transferi katsayısının değişimini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçları ısı transferi katsayısının temel akışkana göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca sonuçlar, 36 nm çapındaki nanopartiküllerin 47 nm çapındaki partiküllere göre daha yüksek ısı transferi katsayısına sahip olduğunu göstermiştir [9].

Shiriram S. Vd. , eş merkezli iç içe borulu bakırdan yapılmış 1 metre uzunluğunda ısı eşanjörü kullanarak alümina eklenmiş saf suyun ısı iletkenlik katsayısındaki değişimi incelemiştir. Al_2O_3 -su nanoakışkanı soğutucu olarak kullanılmış ve deney sonucunda saf suya göre alümina nanoakışkanının ısı transferi hızının arttığı görülmüştür. Toplam ısı iletkenlik katsayısında %16'lık bir verim artışı sağlanmıştır [10].

3. NANOAKIŞKANLAR

Taşıyım ile ısı transferi, akışkanın ısıl iletkenliğinin artırılması, akışın gerçekleştiği geometrinin değiştirilmesi, ısı transferinin olduğu yüzeyin artırılması ve sınır yüzey koşullarının değiştirilmesi gibi birçok yöntemle artırılabilir. Bu yöntemlerden biri de mevcut temel akışkan içine katı partiküller eklemektir. Çizelge 3.1 de görüldüğü üzere katı partiküllerin ısıl iletkenlikleri sıvılara göre çok daha fazladır [11].

Çizelge 3.1. Bazı katı ve sıvı akışkanların termal iletkenlik katsayıları [11]

	MALZEME	TERMAL İLETKENLİK(W/MK)
Metal Katılar	Bakır	401
	Alüminyum	237
Metal Olmayan Katılar	Silikon	148
	Alümina	40
Metalik sıvılar	Sodyum(644K)	72.3
Metalik olmayan sıvılar	Su	0.613
	Motor Yağı	0.145

Katıların sahip olduğu yüksek ısıl iletkenlik, sıvı akışkanlara mikro boyutta veya daha küçük partiküller eklenerek termal iletkenliği artırma fikrini doğurmuştur. Bu konuda ilk çalışma yüzyıldan uzun bir zaman önce Maxwell tarafından yapılmıştır. Teorik olarak katı partikül eklemenin ısıl iletkenliği arttıracaklarını düşünen Maxwell eklediği parçacıkların tıkanma, çökme ve ani basınç düşmelerine sebep olması gibi nedenlerle ısıl iletkenliğin artmasını sağlayamamıştır [4]. Maxwell'in başarılı olamamasındaki en büyük neden partiküllerin temel akışkanlarla iyi bir şekilde süspansiyon edilememesidir. Teknolojideki gelişmelerle birlikte bu durum değişmiş ve nano düzeyde partiküller elde edilmeye başlanmıştır. Ortalama 50 nm düzeyinde kristalize halde nanopartikül üretilmiştir. 1995 yılında Choi, bu partikülleri ısı transferi için kullanılan temel sıvılarla süspansiyon etmiş ve ilk defa bu sıvıyı nanoakışkan olarak isimlendirmiştir [3]. Nanoakışkanların keşfi daha ince ve daha küçük boyutlarda geometriler kullanarak ısı transferi yapmayı sağlamıştır. Nanoakışkanlar kullanılarak yapılan çalışmalarda geleneksel akışkanlara göre bir takım avantajlar göze çarpmaktadır. Bunlardan en çok göze çarpan nanoakışkanların ısıl iletkenlik katsayısının temel akışkanlardan çok daha yüksek olmasıdır. Bu durum birçok

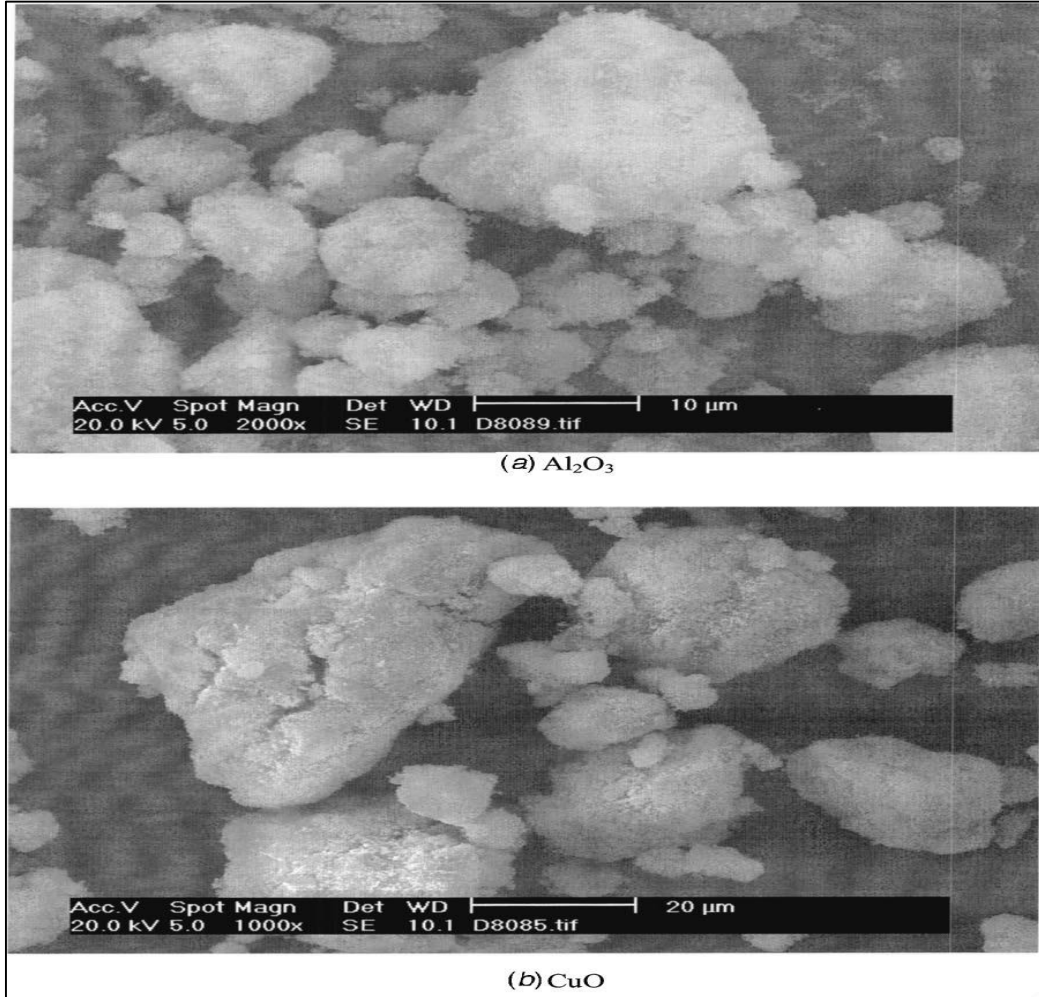
fiziksel nedene dayanmaktadır. Çizelge 3,1’de görüldüğü üzere katı malzemelerin ısı iletkenliği sıvılardan fazladır. Bu sebeple sıvı temel akışkana katı nanopartiküllerin eklenmesi ısı iletkenliğe doğrudan pozitif etki yapmaktadır. Temel sıvı akışkana süspanse edilen katı nanopartiküller, ısı akışının olduğu yüzeyi genişletir. Isı akışının gerçekleştiği yüzeyde türbülansı arttırarak ısı transferine yukarı yönlü ivme kazandırır. Daha geniş yüzeyde gerçekleşen ısı transferi sonucu daha efektif bir ısı iletkenliği oluşur. Mikropartiküllerde sıklıkla karşılaşılan çökelme sorunu yani kararsızlık, bazı nanoakışkanlar içinde sorun teşkil etmektedir. Fakat sürfaktif (yüzey etkileştirici madde) ilavesi, salkım halinde bulunan nanoakışkanlara dışardan yüksek oranda kuvvet uygulanması veya nanopartikülün yüzeysel olarak modifiye edilmesi gibi yöntemlerle nanoakışkan kararlı hale getirilebilmektedir [12]. Nanoakışkanların geleneksel akışkanlara göre viskozitelerindeki değişim ve parçacık boyutunun ısı iletkenliği etkisi birçok farklı çalışmada irdelenmiştir. Turgut vd., farklı tanecik boyutları için yaptıkları deneysel çalışmada ısı iletkenliğin tanecik boyutuyla ilişkili olmadığını göstermişlerdir. Yine aynı çalışmada nanoakışkanların Newton tipi yani sabit viskozitede akışkan tavrı gösterdiğini ve ayrıca partikül boyutu arttıkça viskozitenin arttığını gözlemlemişlerdir [13].

Fakat nanoakışkanların endüstride geniş bir yelpazede kullanılabilmesi için; verimsiz süspanse edilmiş sıvıları iyileştirilmesi, nanoakışkanların yarattığı ısı transfer verimliliğinin mekanik anlamda tam olarak anlaşılır hale gelmesi gibi sorunların çözümü kavuşması gerekmektedir. Nanoakışkanları partiküllerin fiziksel özelliklerine göre incelemek, üretim tekniklerini, kullanım alanlarında oluşan veya oluşabilecek faydaları ve tiplerini irdelemek bu tezin amacı olan nanoakışkanlar yardımıyla ısı iletkenliği artırmada bize ışık tutacaktır.

3.1. Nanopartiküllerin Fiziksel Özellikleri

Nanoakışkan yapımında kullanılan nanopartiküller, öncelikli olarak ısı iletkenliği artırma amacıyla. Bu sebeple ısı iletkenliği yüksek bakır, alüminyum, altın ve gümüş gibi maddelerin oksitlenmesiyle elde edilen CuO , Al_2O_3 ve TiO_2 gibi nanopartiküller nanoakışkan yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nanopartiküller ise geleneksel ısı transferinde yaygın olarak kullanılan su, madeni yağ, glikol ve etilen gibi akışkanlarla süspanse edilmektedir. Yapılan araştırmalar nanopartiküllerin büyüklüklerinin ısı transferine doğrudan etki ettiğini göstermiştir. Hong vd., sonik titreşimler göndererek kümeleşmiş demir tabanlı nanopartikülleri daha küçük parçalara ayırmış ve ısı iletkenliğinin

arttığını gözlemlemiştir [14]. Nanoakışkanların ısı iletkenliklerine etki eden bir diğ er fiziksel özelliğ i de nanopartiküllerin şek il ve boyutlarıdır. Resim 3.1’de görüldüğü üzere her nanopartikül birbirinden farklı şek il ve boyutlara sahiptir.



Resim 3.1. Kümeleşmiş nanopartiküllere ait TEM görüntüleri (a) Al_2O_3 (b) CuO [15]

Nanopartiküllerin şek il ve boyutları malzemeye göre değ işmekle birlikte aynı madde sürfaktif maddeler yardımıyla farklı şek illerde imal edilebilmektedir. Liao vd, yaptıkları çalışmada TiO_2 nanopartikülüne farklı sürfaktif maddeler ekleyerek eliptik, kübik ve yuvarlak şek illerde malzemeler elde etmiştir [16].

3.2. Nanopartiküllerin Üretim Metotları

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte birçok farklı yöntem kullanılarak nanopartikül eldesi mümkün hale gelmiştir. Literatürde nanopartikül üretim yöntemleri yaygın olarak iki

genel başlık altında incelenir. Bu yöntemler “yukarıdan aşağıya” ve “aşağıdan yukarıya” olarak isimlendirilmiştir [17].

3.2.1. Yukarıdan aşağıya nanopartikül üretim metotları

Bu yöntemde büyük ebatlı malzemelerin makineler, asitler, kimyasal ve mekanik yöntemler kullanılarak nano boyutta partiküllere dönüştürülmesi sağlanır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılanları aşındırma ve mekanik öğütme yöntemleridir. Klasik olarak kullanılan mekanik öğütme yöntemlerinde ihtiyaç olan enerji, nanopartikül üretimi sırasında kat ve kat artmaktadır. Bu sebeple bu tarz üretimler yüksek enerjili mekanik öğütme olarak adlandırılmıştır. Kullanılan fiziksel yöntemlerin yanı sıra kimyasal yöntemler yardımıyla da çok geniş yelpazede nanopartikül üretimi mümkündür [18].

Mekanik öğütme

Yukarıdan aşağıya nanopartikül üretim metotları arasında en çok kullanılan ve bilineni mekanik öğütme yöntemidir. Bu yöntem nanopartikül çalışmalarının başladığı ilk yıllarda mevcut teknolojik imkânlarla ilk defa John Benjamin ve onun uluslararası Nikel Şirketinde çalışan arkadaşları tarafından 1960 yılının sonlarında keşfedilmiştir. Benjamin vd. , yüksek enerjili öğütücü tamburlar yardımıyla, yüksek sıcaklıktaki yapısal uygulamalarda kullanılmak üzere oksit dağılımıyla mukavetlendirilmiş alaşımlar elde etmeyi başarmışlardır. Bu yöntem sayesinde kaliteli, homojen ve atomsal düzeyde birleştirilmiş Al_2O_3 , Y_2O_3 ve ThO_2 gibi nanopartikül alaşımlarının üretimi sağlanmıştır [19]. Mekanik öğütme genel anlamda farklı içeriğe sahip toz materyallerin atmosferik ortamda veya inert gazlar ile tambur içi bilyeler yardımıyla yüksek enerjili değirmenlerde öğütülerek homojen ve kaliteli tek bir alaşım haline getirilmesidir. Bu dönüştürme sırasında plastik deformasyon, soğuk-birleştirme ve sürtünme son ürün olarak oluşan nanopartikül alaşımın özelliklerini etkileyen baskın unsurlardır. Bu unsurlardan plastik deformasyon malzemenin partikül şeklini etkiler. Soğuk-birleştirme parçacık ebatını arttırırken, sürtünme ise partikül ebatını düşürmektedir [19]. Bu teknik geçmiş yıllarda sıklıkla endüstriyel işlerde kullanılsa da işlemin başarıya ulaşması için sert ve gevrek özelliğe sahip malzemeler kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla bu üretim yöntemi belirli bir gruba ait malzemeye sınırlıdır. Bu yöntemin diğer dezavantajları ise kullanılan değirmene ait bilyelerin malzemenin

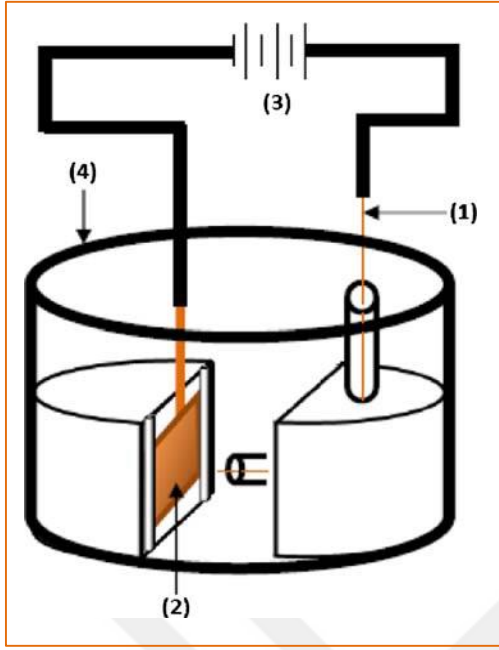
yapısına karışarak saflığını bozması ve atmosfer ortamında gerçekleşen işlemlerde metalik parçaların oksitlenmesi ve yüzeyde azot bazlı bileşiklerin oluşmasıdır [18].

Dağlama

Dağlama yöntemi genellikle mikro-elektromekanik sistemlerde sıklıkla tercih edilir. Bu yöntem sayesinde düz bir yüzeyde düzenli ve nano boyuta sahip parçacıklar oluşturulur. İstenilen boyutta nano parçacık eldesi için maskeye gerek olmaksızın elektrokimyasal ve fotoelektrokimyasal dağlama metotları kullanılabilir. Gözenekli silikon tabaka yapılarının eldesinde hidroflorik asit gibi güçlü asitler elektrolit olarak kullanılır [20].

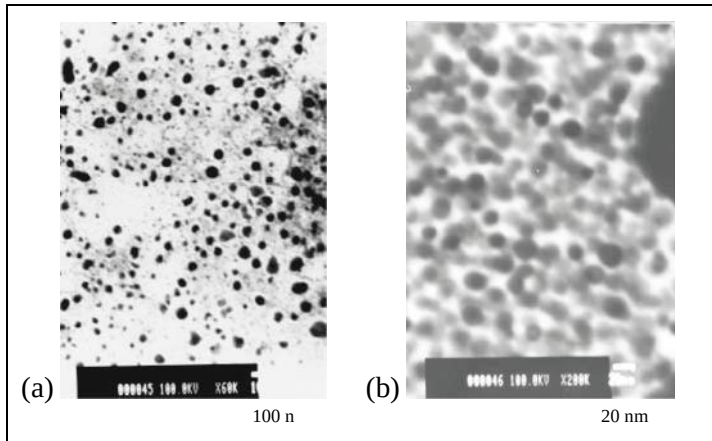
Elektro-patlamalı tel tekniği

Yukarıdan-aşağıya üretim teknikleri arasında kullanılan bir diğer yöntem ise elektro-patlamalı tel tekniğidir. Bu teknik sayesinde yüksek elastik deformasyona sahip olduğu için mekanik öğütmeyle elde edilemeyen yine aynı şekilde çok fazla tepkime oluştuğu için kimyasal yöntemle eldesi tercih edilemeyen bazı metallerin üretimine olanak sağlar. Bu metod basit anlamda nanopartikülü elde edilmek istenen malzemeden yapılmış bir telden ani yüksek akım ile nanopartikül üretmekten ibarettir. Bu metod uygulanırken dikkat edilmesi gereken hususlar telden ani ve yüksek akım geçirilmesi, kullanılan telin kesit çapında ani düşüş noktası bulunması(bu sayede ani yoğunluk artışıyla sonik patlamanın gerçekleşmesi) ve patlamanın gerçekleşeceği uygun ortamın sağlanmasıdır [21]. Elektro-patlama metodunda çok yüksek sıcaklıklarda ani şekilde telden yüksek akım geçirilir. Geçen yüksek akım telin sıcaklığını 20000-30000 C° ye kadar çıkarır. Bilindiği gibi sıcaklıkla direnç doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu ani sıcaklık artışı telin direncini sonsuza yaklaştırır. Sonsuza yaklaşan direnç değeri nedeniyle akım durur ve manyetik alan kaybolur. Tam bu anda da sonik patlama meydana gelir. Supersonik bir hızla genleşen plazma halindeki tel, etrafındaki iyonize olmuş gaz ortamında bir şok dalgası halinde yayılır. Bu sayede çok hızlı bir soğuma meydana gelir. Bu soğuma sonucu metalik nanopartikül eldesi sağlanır [22]. Alquadami vd. , gümüş ve altın karışımı kablolar kullanarak aşağıda gösterilen deney düzeneği yardımıyla yaklaşık 15 mikron ebatlarında nanopartikül üretmeyi başarmışlardır. Deneyde %99 saflıkta Ag-Au karışımı tel 36 V(12Vx3) pil yardımıyla ani akıma maruz bırakılmıştır. Patlama cam kabın içerisindeki çift damıtılmış suyun içerisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Elektro-patlamalı kablo yöntemi (EEC) deney düzeneğinin şematik gösterimi (1) İnce metal tel, (2) Metal plaka, (3) 36 V pil ve (4) Su dolu cam kap [23]

TEM elektron mikroskopuyla elde edilen Ag-Au nanopartikülleri incelenmiş ve farklı ebatlarda nanopartiküller Resim 3.2. görüldüğü gibi gözlenmiştir [23].



Resim 3.2. (a), (b) Geçirimli elektron mikroskopuyla Ag-Au parçacıklarının sırasıyla düşük ve yüksek çözünürlükte gösterimi [23]

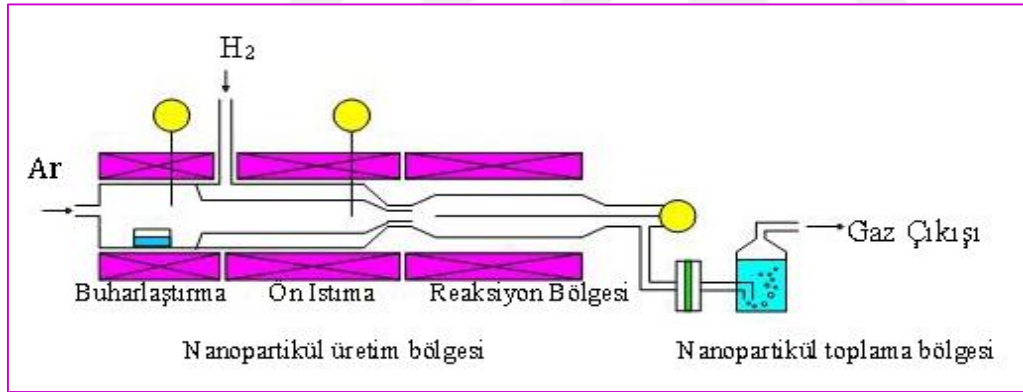
3.2.2. Aşağıdan yukarıya nanopartikül üretim yöntemleri

Aşağıdan yukarıya nanopartikül üretimi genel anlamda atom veya bileşiklerin çeşitli kimyasal yöntemler kullanılarak nanopartikül haline getirilmesi olarak tanımlanabilir [20]. Bu birleştirme işlemi esnasında atomik veya moleküler yapıda olan malzemeler kontrollü

bir şekilde daha büyük molekül gruplarına, organik bağlı kümeler ve kümeleşmiş nanopartiküllere dönüştürülür [21]. Doğanın kendisinde oluşan nano boyutlu parçacıkların neredeyse tamamı bu şekilde meydana gelmektedir. Biyolojik olarak her bir atom veya molekül işlenmekte ve nano boyuta gelmektedir. Bu tarz üretim yöntemlerinde malzemenin hangi fazda bulunduğu nanopartikül üretimi için önem arz etmektedir. Üretim sırasında genellikle çeşitli derişimlerde çözeltilerden faydalanılmaktadır [21].

Hidrojen redüksiyonu yöntemi

Gaz fazında bulunan genellikle metalik tabanlı bileşiklerin hidrojen gazıyla redüklenmesiyle çalışan sistemdir. Sırasıyla buharlaşma, ön ısıtma, reaksiyon aşamalarından oluşan sistem son olarak oluşan nanopartiküllerin toplanmasıyla son bulur. Şekil 3.2.'de görülen bir deney düzeneğine sahip olan sistemde baskın parametre genelde sıcaklık olarak belirlenmiştir [18,24].



Şekil 3.2. Nanopartiküllerin hidrojen redüksiyonu ile eldesine ait deney düzeneği [24]

H.D. Jang v.d. , CoCl_2 (Kobaltklorür) bileşimini hidrojen ile indirgeyerek Co partiküllerini elde etmeyi başarmıştır. Deney sırasında tüm diğer etmenler sabit tutulmaya çalışılarak reaksiyon bölgesindeki sıcaklık değişiminin parçacık boyutuna ve Kobaltklorürünün Kobalta değişim oranı incelenmiştir. $850\text{ }^\circ\text{C}$ de yapılan ölçümlerde CoCl_2 değişim oranı %72,5 ve oluşan nanopartikül parçacık çapı 51 nm iken; sıcaklık $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkarıldığında mol oranı %99'a, nanopartikül çapı ise 60 nm'ye yükselmiştir [24].

Asal gaz yoğunlaştırma yöntemi

Nanopartikül üretiminde kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Yöntem kapalı sistem olarak çalışmaktadır. Öncelikle sistemin içi havadan vakum ile arındırılarak, içine 1-50 mbar asal gaz doldurulur. Lazer, dirençle ısıtma v.b. herhangi bir güç kaynağından beslenerek nanopartikülü elde edilmek istenen tel buharlaştırılır. Buharlaşma sırasında malzemeler iri tanecikler oluşturarak, gönderilen gazında yardımıyla nanopartikül kristallerine dönüşmeye başlarlar. Bu dönüşüm malzemenin sıvı fazının hemen üstünde gerçekleşir. Çekirdeklenip birleşerek kristalize olan nanopartiküller He gibi termal iletkenliği yüksek asal gazlar yardımıyla kaynaktan uzaklaştırılır. Daha sonra soğuyan bu malzemeler toplanarak nanopartikül eldesi sağlanmış olur [25].

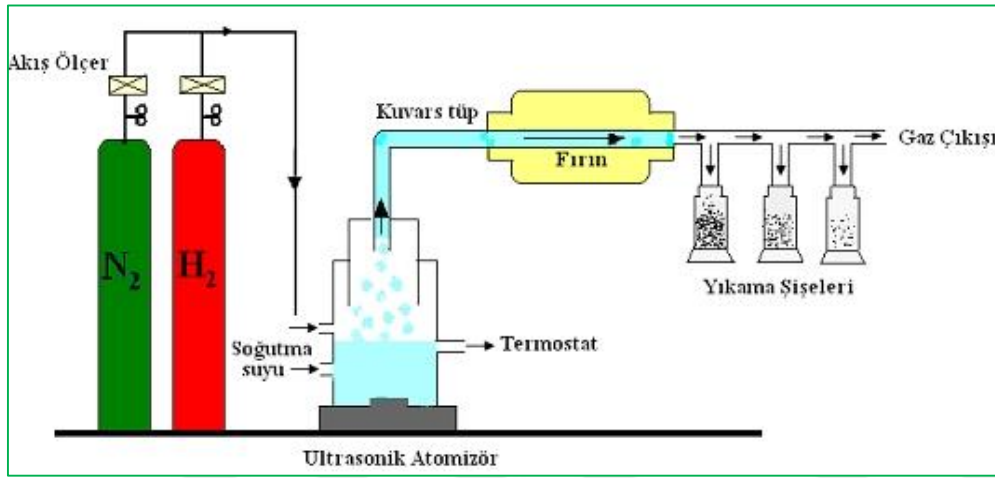
Sol-jel yöntemi

Bu üretim metodu nanopartiküllerin eldesinde uzun süredir kullanılmaktadır. Bu yöntem temelde metal alkoksit ve inorganik tuzlar gibi moleküler öncüllerin yoğunlaştırma ve hidrolize edilmesine dayanır. Metal alkoksitler tepkimeye girmeye aşırı istekli tanecikler oldukları için reaksiyonun kontrol altında olması, bu malzemeleri istenilen sol ve jel şekline dönüştürmek adına önemlidir. Reaksiyonun kontrol altında gerçekleşmesi için ligandlar (merkezi bir atoma bağlı atom veya iyonlar) gibi çeşitli düzenleyiciler kullanılmalıdır [26]. Sol-jel metodunun avantajları sitokiyometrik kontrolü iyi bir tepkime sağlaması, istenilen ebatta çok küçük parçacıkların üretilmesi ve göreceli olarak düşük sıcaklıkta olmasına rağmen hızlı bir üretim sürecine sahip olmasıdır [27]. Bununla beraber, sistemin çalışmasında zayıf sürdürülebilir kuvvetler olması ve başlangıçta kullanılan materyal miktarına oranla elde edilen nanopartikül miktarının az olması yöntemin dezavantajları olarak sayılabilir [26]. Gaz basıncı, asal gazın tipi, gaz akışı ve sıcaklık sistem sonu elde edilen ürünlere etki eden baskın parametreler arasındadır [22].

Diğer yöntemler

Yukarıda bahsedilen yöntemlerle beraber birçok farklı yöntem ile nanopartikül eldesi mümkündür. Bu yöntemlerden kısaca bahsetmek gerekirse ultrasonik sprey piroliz yöntemi diğer bir adıyla aerosol sentezi ilk hammaddenin önce aerosol haline ve daha sonra bu tanelerin istenilen boyutta nanopartiküle dönüşmesine dayanmaktadır. Sistemden kısaca

bahsedecek olursak, önce başlangıç çözeltisi ultrasonik atomizer ile aerosol çözeltisi haline dönüştürülür. Ultrasonik atomizer, enine ve boyuna dalgalar yayarak 3 boyutlu dalga oluşumunu sağlar ve bu sayede atomize olma işlemi gerçekleşir. Daha sonra aerosol çözeltisi kullanılan taşıyıcı gaz yardımıyla fırına taşınır. Fırında sıcaklığın etkisiyle buharlaşma başlar ve aerosol çekilir. İndirgeyici gazlar sisteme dahil edilir ve redüklenme sağlanır. Bu aşamadan sonra katı nanopartiküller oluşmaya başlar ve son ürün eldesi sağlanır. Şekil 3.4'te sistemin nasıl işlediği görülmektedir [28].



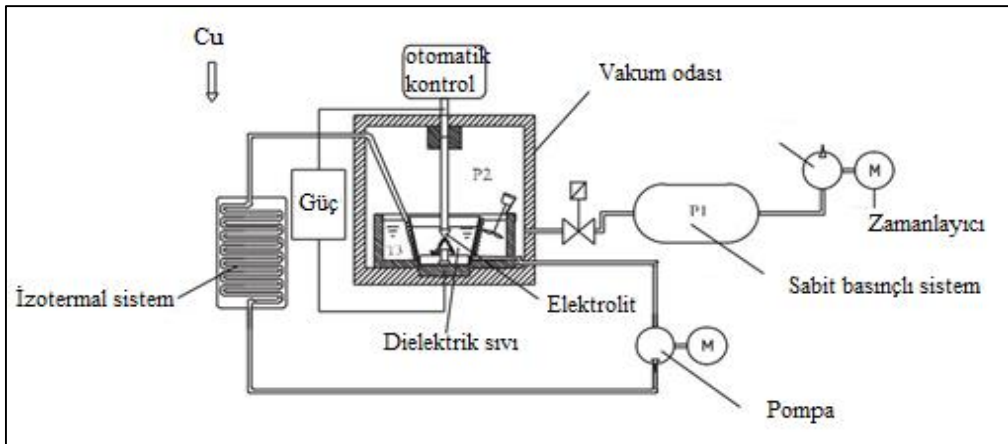
Şekil 3.3. USP (ultrasonik piroliz yöntemi) deney düzeneği [28]

Nanopartikül üretimi için kullanılan yöntemlerden bir diğeri ise alev sentezi yöntemidir. Bu yöntem tüm dünyada nano-üretim ve nano-kaplama için tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu yöntemle yılda yaklaşık birkaç milyon ton üretim yapılmaktadır. Bu yöntemin bu kadar kullanılmasının temelinde sistemin tek basamaklı olması ve hareketli parça içermemesi bulunmaktadır. Bununla beraber her türlü malzemenin kullanılabilirdiği bu sistemde olay birkaç milisaniye içinde gerçekleşmekte ve sonucunda çıkan ürünün boyut ve kalitesi birçok karmaşık parametreye göre değişmektedir. Bu sebeple bu sistem üzerinde yapılan çalışmalar genellikle bu parametreleri anlama ve son ürünün niteliğini kontrol edebilme alanında sürekli genişlemektedir [29]. Sistem en basit anlamda, metal-oksit öncüllerin ayrışma ve oksitlenme ile istikrarlı metal oksit yapıtaşlarına dönüştürülmesidir. Yaş-kimyasal nanopartikül üretim yöntemlerinde istenilen kristalize yapıyı elde etmek için ihtiyaç duyulan kalsinasyon işlemlerine, alevle sağlanan yüksek sıcaklık nedeniyle bu yöntemde ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu durum da, alev sentezi yöntemini esnek bir hale getirerek başlangıç gazını değiştirme ve alev oluşturma şartlarını değiştirme gibi parametrelerin kontrolü sayesinde istenilen ürünün eldesini kolaylaştırmaktadır [30]. Bu

yöntemler dışında yanma, lazer aplasyonu, atom tabaka çökmesi, molekül çökmesi, yaş kimyasal sentez v.b birçok yöntem bulunmaktadır [18,22,25].

3.3. Nanoakışkanların Üretim Metodları

Nanoakışkanlar, içeriğinde çeşitli metodlarla üretilmiş nanopartikülleri barındıran akışkan malzemelere verilen genel addır. Nanopartiküller ile süspanse edilmiş bu çözeltilere kolloid çözelti denilmektedir. İçeriğine girdiği akışkan ile homojen dağılmasıyla gerçek çözeltilere benzeyen fakat akışkanla aslında karışmadığı için heterojen karışım sınıfına girmesi düşünülen, ama pratikte her ikisi arasında kaldığı için bu çözeltiler kolloid çözelti adıyla anılmaktadır [31]. Nanoakışkanlar genel perspektifte iki farklı şekilde üretilmektedir. Bunlardan birincisi tek fazda üretim, ikincisi ise çift fazda üretimdir. Tek fazda üretim metodları, tek adımda buharlaştırma metodu gibi nanopartikülün gaz fazının çözelti oluşturması istenen temel sıvı içerisinde katılaştırılarak oluşturulması gibi metodlar sayesinde elde edilir. Bu tarz metodlar bakır gibi yüksek iletkenliğe sahip elementlerin nanopartikül haline getirilmesi sırasında okside olmasını engellemek adına oldukça faydalıdır. Argonne Ulusal Laboratuvarları geliştirdiği tek-fazlı teknik sayesinde etilen glikol içine homojen süspanse olmuş bir bakır içerikli nanoakışkan elde etmeyi başarmıştır. Elde edilen bu nanoakışkan saf temel sıvı olan etilen glikole göre %40 a varan oranda daha iyi ısı iletkenlik davranışı göstermiştir [32]. Diğer bir tek-fazlı nanoakışkan metodu ise sualtı arkıyla nanopartikül sentezidir. Bu metotla TiO_2 , Cu, CuO gibi nanopartiküllerden oluşan nanoakışkanların üretimi sağlanabilmektedir.



Şekil 3.4. Sualtı arkıyla nanopartikül sentezi deney düzeneği [33]

Bu metoda ait sistem düzeneği şekil 3.4. 'te gösterilmiştir. Sistem ısıtıcı kaynağı, izotermal sistem, vakum odası, basınç kontrol ünitesi ve parametre kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Isı kaynağı metalin buharlaşabilmesini sağlamak için sabit ark üretir. Parametre kontrol ünitesi sayesinde sistemin akımı, ark besleme hızı ve hazırlanma süresi gibi parametrelerin kontrol altında tutulması sağlanır. Basınç kontrol ünitesi ise vakum odasının sürekli düşük basınçta olmasını sağlar. İzotermal sistem sayesinde dielektrik sıvının sıcaklığı sabit tutulur. Sistemin genel işleyişi şu şekildedir. Bakır gibi metal barlar elektrik akımıyla ısıtılıp buharlaştırılır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle aynı anda dielektrik özelliğe sahip sıvıda buharlaşır. Buhar haline gelen metal form hızla arc bölgesinde uzaklaşıp genişler ve dielektrik sıvı üzerinde basınç yarartır. Yüksek basınca sahip sıvının buharı metal buharını hızla ergime bölgesinden uzaklaştırır ve bu sayede hızla soğuyan metal buhar sıvılaşarak nanopartikül haline gelmeye başlar. Dielektrik sıvının sıcaklığının sabit tutulması sayesinde buhar halindeki metal nükleotidleşip tanecik sınırını arttırır ve nanopartikül kristaller haline gelir. Oluşan nanopartiküller dielektrik sıvının içerisinde salkımlaşma olmaksızın homojen bir şekilde dağılır ve nanoakışkan eldesi sağlanmış olur [33]. Tek aşamalı metodlarla üretim çeşitleri, çift aşamalı sistemlere göre daha verimli olmakla beraber iki temel dezavantaja sahiptir. Bunlardan ilki kullanılan vakum odasının sistemin üretim hızını oldukça yavaşlatması iken bir diğeri ise sistemin sahip olduğu bileşenlerin maliyetinin oldukça fazla olmasıdır. Günümüzde tek aşamalı sistemler ile nanoakışkan üretim yöntemleri çift aşamalı yöneme göre oldukça azdır [32]. Çift aşamalı metodlarda ise daha önce bahsettiğimiz nanopartikül üretim metodları kullanılarak önce nanopartikülün üretilmesine, daha sonra üretilen nanopartikülün istenilen temel sıvıyla kolloid bir çözelti oluşturacak şekilde karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bu yöntemde ise nanopartikül temel sıvıyla süspanse edilmeden önce kendi arasında bağ oluşturarak ilk başta oluşturulan ve istenen nanopartikül formunu kaybetmesine ve süspanse işleminin başarısız olmasına neden olabilir. Bu problem ise iki fazda gerçekleşen nanoakışkan üretiminin dezavantajları arasında sayılabilir [32]. Bu çalışmada kullanılan TiO_2 tane boyutu ortalama 44nm olan saflık değeri %97 olan bir nanopartiküldür. Bu partiküller %2 kütle derişimiyle saf su ile süspanse edilmiş ve nanoakışkan eldesi sağlanmıştır. Süspansiyon çözeltinin durağanlığını korumak için karışım içerisine kütlece % 2 Triton X-100 yüzey aktifleştirici katılmıştır. Bu yüzey aktifleştiricinin buharlaşmasını önlemek amacıyla banyo suyu sürekli değiştirilmiştir. Ultrasonik banyoda sürekli darbe şeklinde 8 saat boyunca karıştırılma yapılarak nanoakışkanın eldesi sağlanmıştır.

3.4. Nanoakışkanların Kullanım Alanları

Nanoakışkanlar, ısı transferini ve enerji verimliliğini arttırmak gibi amaçlarla birçok farklı ısı sistemde kullanılmaktadır. Önceleri sadece üniversitelerde ve ulusal laboratuvarlarda akademik amaçlı araştırmalara konu olan nanoakışkanlar umut verici sonuçların görülmesinden sonra endüstri sektörünün ilgisini çekmiştir. Günümüz endüstrisinde teknoloji hızla ilerlerken bu ilerlerlemeyi baskılayan ve aşılması gereken en büyük problemlerden biri de yüksek ısı verimliliğe sahip akışkanların kullanılma ihtiyacıdır. Teknoloji geliştikçe daha fazla güç üretmeye mecbur bırakılan sistemler enerjinin verimliliğinin değişilmezi olan atık ısı artışını da beraberinde getirmektedir. Bu atık ısıyı sistemden atmak için yüksek ısı verimliliğe sahip soğutucu akışkanlar kullanılma ihtiyacı doğmuştur. Daha önce milimetre ve mikrometre düzeyde malzemelerle süspanse edilen temel sıvı ısı verimlilik için çökelme, homojen dağılamama gibi sorunlar nedeniyle tercih edilemese de nanopartiküllerin eldesiyle bu sorunlar kısmen ortadan kalkmaya başlamıştır. Tüm bu gelişmeler otomotiv sektörü, savunma sanayi, uzay sanayi, biomedikal alanlar ve mikroelektronik teknolojiler gibi endüstrinin her alanında kullanılan ısı değiştiricilerin verimini arttırmada nanoakışkanların kullanılmasıyla ilgili araştırmaların başlamasını sağlamıştır [32]. Bu tezin konusu olan nanoakışkanlar kullanılarak ısı değiştiricilerde ısı verimliliğinin artırılması amacının bilim dünyasına ve endüstriye sağlayabileceği potansiyel yararı görebilmek adına nanoakışkanların mevcut durumda kullanıldığı ve gelecekte kullanılması muhtemel faaliyet alanlarını incelemek faydalı olacaktır.

3.4.1. Otomotiv endüstrisi

Nanoakışkanların, ısı verimliliği arttırmada kullanılması otomotiv firmalarının da ilgisini çekmiştir. Endüstride büyük bir pay sahibi olan sektörde, taşıtların sahip olduğu yakıt verimliliği ve aerodinamik verimlilik ekonomik anlamda büyük bir önem teşkil etmektedir. Öyle ki bir kamyonun yüksek hızlarda aerodinamik yapsından kaynaklı rüzgâr sürtünme direnci nedeniyle kaybettiği enerji %65'ini bulmaktadır. Bu yüksek kaybın nedenlerinden biri de motor önünde bulunan motor soğutmasını sağlamakla görevli radyatörlerden kaynaklanmaktadır. Radyatörlerin neredeyse tamamında etilen glikol-su karışımı antifrizler kullanılmaktadır. Etilen glikol saf suya göre ısı verimliliği düşük bir malzemedir. Paslanma, aşınma ve düşük donma noktası sıcaklığı gibi nedenlerle ısı verimliliği düşük olsa da bu malzeme tercih edilmektedir. [32]. Radyatörlerde soğutma için

kullanılan bu sıvının nanoakışkanlar kullanarak ısı verimliliğinin artırılmasıyla radyatörlerin boyutu küçülecek ve bu sayede radyatör motorun yanına konulabilecektir. Bu sayede de aerodinamik verim artacaktır. Başka bir bakış açısıyla da motoru soğutma verimi arttığı için, daha yüksek sıcaklıklar motordan emilebilecek ve de daha yüksek beygir üretebilecek motorların eldesi sağlanabilecektir [34].

3.4.2. Elektronik tabanlı endüstriyel uygulamalar

Nanoakışkanlar, başta bilgisayar teknolojisi olmak üzere birçok farklı elektronik uygulamada sıklıkla kullanılan mikroçiplerin soğutulmasında kullanılmaktadır. Mikroçiplerin geliştirilmesinde en büyük engel yaydıkları yoğun miktardaki atık ısıyı sistemden atarak gerekli soğumayı sağlamaktır [35]. Nanoakışkanların sahip olduğu yüksek ısıl iletkenlik sayesinde ilerleyen yıllarda mikroçiplerin üreteceği tahmin edilen 10MW/m^2 ısı akısının bile soğutulabileceği öngörülmektedir [36].

3.4.3. Savunma ve uzay sanayisi

Günümüzde askeri alanda kullanılan elektronik sistemler, tankların ve askeri araçların sahip olduğu parçalar, radarlar ve lazerler yüksek miktarlarda güç kullanmakta ve kullanılan bu güç sonucunda değeri binlerce W/cm^2 'yi bulan miktarda ısı akısı yaymaktadırlar. Yüksek oranda yayılan bu atık ısıyı sistemden dışarı atabilmek için kullanılan geleneksel temel sıvılar düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu sebeple soğutma sistemiyle soğutulan yer arasında daha çok alanda temas zorunluluğu gerekmektedir. Bu durum da soğutma sistemlerinin daha çok enerji harcaması ve daha çok yer kaplaması anlamına gelmektedir. Nanoakışkanlarla yapılmaya başlanan çalışmalar sayesinde savunma sanayinin ihtiyaç duyduğu yüksek termal iletkenliğe sahip sistemler kullanılması mümkün olacaktır [37].

3.4.4. Diğer endüstriyel uygulamalar

Mevcut nanoakışkan kullanımları genelde günümüzde kullanılan ısıl değiştiricilerin, radyatörlerin, mikroçiplerin, savunma ve uzay sanayinde kullanılan mühendislik ekipmanlarının üzerine yoğunlaşmıştır. Fakat bunun yanında binaların ısıtma sistemleri, endüstriyel uygulamalarda kullanılan yağlayıcılar, yeni üretilen hibrit araçların güç

sistemleri, hidrojen pilleri ve daha birçok alanda nanoakışkanların ısı verimliliği artırıcı ve aynı zamanda aşınmayı azaltıcı etkileri üzerine araştırmaların yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Şuanda tıp alanında mevcut tıbbi cihazların soğutulması, kandaki zararlı mikroorganizmaların tesbiti, kanserli hücrelerin bulunması ve nanoakışkanların sensör olarak kullanılması gibi birçok konuda araştırmalar yapılmaktadır. Bunun yanı sıra buzdolaplarında kullanılan soğutma sıvılarının da nanoakışkanların katkısıyla verimliliğini arttırmak adına çalışmalar sürmektedir. Yakın bir gelecekte ısı verimliliğin dâhil olduğu her endüstriyel uygulamada nanoakışkan kullanımı üzerine araştırmaların yaygınlaşacağı öngörülmektedir [37].

3.5. Nanoakışkanların ısı iletkenliği

Bir akışkanın ısı kapasitesini belirlemek adına kullanılabilecek en etkili parametrelerden biri de o akışkanın ısı iletkenlik katsayısının deneysel olarak hesaplanmasıdır. Bu durumdan yola çıkarak nanoakışkanların ısı iletkenlik katsayısının, temel sıvıya göre değişimlerini incelemek bize elde edilen nanoakışkanın ısı verimliliğe katkısı hakkında bilgi verecektir. Bu inceleme yapılırken nanoakışkanın hesaplanan ısı iletkenlik katsayısının, temel sıvının sahip olduğu ısı iletkenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilen değerin yüzdelik olarak ifadesi ısı iletkenlik iyileştirme değeri olarak tanımlanmıştır. Bu konuda literatürde yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar nanoakışkanın sağlamış olduğu ısı iletkenlik iyileştirme değerini hesaplarken aynı zamanda bu değerin nanoakışkanın içindeki nanopartikülün temel sıvıdaki hacimsel yüzdesi, partikül şekli, partikül boyutu, partikülün cinsi, pH değeri ve katkı maddeleri gibi parametrelerin ısı iletkenlik iyileştirme parametresine etkilerini incelemişlerdir [32]. W. Yu v.d., alümina (Al_2O_3) ile süspansiyon edilmiş su ile elde edilen yedi farklı deneyi incelemişlerdir. Bu incelemelerde nanoakışkanın hacimsel derişiminin ısı iletkenlik iyileşme değerine etkisini görmek amaçlanmıştır. Deneylerde kullanılan alümina parçacıklar çok farklı boyutlara ve sıcaklığa sahiptir. Deneyler incelendiğinde nanoakışkanın hacimsel parçacık derişimi arttıkça viskozite ortalama bir değerde yükselmiş olmasına karşın ısı iletkenlik iyileşme değerinde %30 lara varan bariz bir iyileşme gözlemlenmiştir [32]. Aynı çalışma grubu parçacık boyutlarının ısı iletkenliğe oranını 28nm den 60 nm ye kadar olan boyutlarda alümina parçacıklarına sahip su temelli nanoakışkanlarla yapılan deneyleri ele alarak incelemişlerdir. Deneyler incelendiğinde 60 nm ebata sahip malzemeler en fazla ısı iletkenlik iyileştirme oranına sahip olmuşlardır. Bu sonuca göre beklenti parçacık boyutu

arttıkça ısı iletkenlik iyileştirme oranının artması yönünde olmuştur. Fakat 28 nm ebatındaki partiküller 38 nm ebata sahip partiküllere oranla daha fazla ısı verimlilik sağlamışlardır. Bir başka deney grubunda ise etilen glikol temelli ve sırasıyla 15nm, 28nm ve 38 nm ebatlarına sahip alümina nanoakışkanlarının iyileştirme oranı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada ise en yüksek iyileştirme oranına 28 nm ebata sahip nanoakışkan sahiptir. Sonuçlardaki bu çelişkiler partikül boyutunun ısı iletkenliğinin iyileştirmesinde olan etkisinin incelenmesinde daha çok deney ve araştırma yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur [32]. Argon Laboratuvarları tarafından yapılan bir diğer literatür karşılaştırmasında ise parçacık şeklinin ısı iletkenlik iyileştirme oranı araştırılmıştır. Küresel ve silindirik parçacıklarla elde edilmiş nanoakışkanların karşılaştırılması sonucu küresel şekle sahip olan nanopartiküllerle elde edilmiş nanoakışkanların daha yüksek ısı iletkenlik iyileştirme oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan yola çıkılarak her ne kadar silindirik şekle sahip nanopartiküllerin üretim maliyetleri düşük olsada literatür çalışmalarının daha iyi ısı iletkenlik sağlamak adına küresel nanopartiküller kullanılmasına yönelmesi olacaktır [32].



4. ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Bu bölümde tezin deneysel düzeneğinde kullanılan borulu tip ısı değiştiricisinin genel özelliklerini anlamak adına dünden bugüne akademik araştırmalarda ve endüstrinin birçok alanında kullanılan ısı değiştiricilerinin çeşitlerini, kullanım alanlarını, kullanım amaçlarını, üretim metodlarını, termal ve fiziksel çalışma prensiplerini irdelemek faydalı olacaktır. Isı değiştiricileri, son elli yıla bakıldığında endüstride giderek daha çok tercih edilen ve üzerinde daha çok çalışma yapılan bir araç haline gelmiştir. Bu araç buzdolaplarında, iklimlendirmede, araçların karbiraörlerinde, alternatif yakıt sistemlerinde, ısının geri kazanımında, soğutma ve atık ısıyı sistemden uzaklaştırma gibi birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde hava kirliliği, su kirliliği ve termal kirlilik gibi çevresel kirliliği önlemede yapılan çalışmalar ve ülkelerin ortak olarak karar aldığı sert yaptırımlar ısı değiştiricilere olan ilgiyi de arttırmıştır [38]. Isı değiştiriciler, farklı sıcaklıklara sahip iki veya daha fazla akışkanın arasında ısı değişimini sağlamak adına kullanılan cihazlardır. Eğer ısı değiştiricilerinin içinde yoğunlaşma ve buharlaşma gibi faz değişimleri varsa bu tarz cihazlar gizli ısı değiştiricileri olarak adlandırılır. Faz değişimi olmayan ısı değiştiricileri ise duyulur ısı değiştiricileri olarak isimlendirilmektedir. Isı değiştiricilerin hemen hemen hepsinde akışkanlar birbirleri ile karışmadan ve genelde metal olan katı bir yüzey ile ayrılmış halde imal edilirler. Isı akışı bu yüzeyler vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bu tür ısı değiştiricileri reküparatif veya yüzeyli olarak adlandırılır. Bir diğer ısı değiştirici tipinde ise ısı geçişi direk olarak iki akışkan arasında olmaz. Sisteme önceden verilen sıcak akışkanın sistemde dolanması sağlanarak ısı enerjisi dolgu maddesinde biriktirilir. Daha sonra sisteme verilen soğuk akışkan dolgu maddesinde biriken ısı ile etkileşime girer. Bu tür ısı değiştiriciler ise rejenaratif veya dolgu maddeli ısı değiştirici olarak adlandırılır. Reküparatif ısı değiştiricilerde zaman faktörü çoğu zaman incelemenin bir parametresi olarak dikkate alınmazken rejenaratif ısı değiştiricisinde zaman etkin parametrelerden biridir.

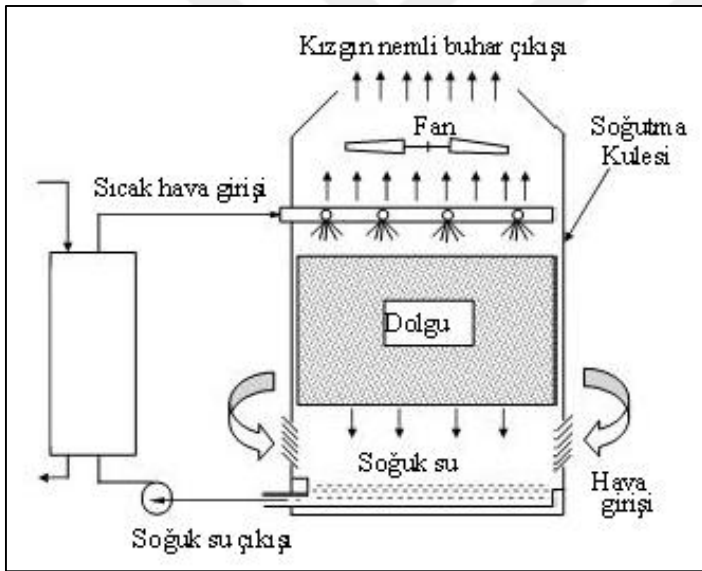
4.1. Isı Değıştiricilerinin Sınıflandırılması

Isı değıştiricileri birçok farklı parametreye göre sınıflandırılmaktadır. Bu parametreler ısı geçiş şekli, yapı özellikleri, birbirine göre akış yönü, akışkan sayısı ve akışkanlardaki faz değışimleridir [39]. Deneyler yapılırken kullanılan deney düzeneğinde akışkanlar birbirlerine göre paralel ve zıt şekilde dolandırılarak bu parametrenin ısı performansına

etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda deney düzeneğinde kullanılan ısı değiştiricinin yukarıda bahsi geçen parametreler arasındaki yerini ve sahip olduğu avantaj ve dezavantajları incelemek tezin kapsamı konusunda faydalı olacaktır.

4.1.1. Isı değişim durumuna göre ısı değiştirici tipleri

Sistematik olarak ısı değiştiriciler arasındaki ısı değişimi doğrudan veya akışkanlar arasında bulunan bir katı yüzey arasında olabilir. Doğrudan temasın olduğu ısı değiştiricilerinde sıcaklıkları birbirinden farklı akışkanlar veya akışkan ve katı malzeme birbiriyle doğrudan temas ettirilir. İki akışkana sahip olan sistemlerde genelde akışkanlardan biri gaz iken diğeri düşük buharlaşma basıncına sahip sıvıdır. Bu tip sistemlere en güzel örnek soğutma kuleleridir [39].



Şekil 4.1. Karşıt akışlı ıslak tip soğutma kulesi kapalı döngüsü [40]

Soğutma kulelerin çalışma prensibi şu şekildedir. Sistemlerin ısınıp dışarı atmak için dolaştırılan su sıcak halde soğutma kulesine giriş yapar. Kulenin içindeki püskürtme nozulları vasıtasıyla dolgu malzemesine püskürtülür. Dolgu malzemesine püskürtülen sıcak su zerreciklere ayrılır. Oluşan zerrecikler kulenin altından alınan hava ile karşılaşır. Hava ile karşılaşan suyun bir kısmı buharlaşarak havayı doymuş hava haline getirir. Bu ısı geçişi sayesinde de suyun soğuması sağlanmış olur. Isınan hava ise kulenin tepesindeki fan yardımıyla atmosfere verilir. Havayla birlikte buharlaşması nedeniyle sistemin kaybettiği su ise sisteme yeniden takviye edilir ve soğuyan su tekrar sistemden çıkarılır [40].

Doğrudan temas olmayan ısı değiştiricilerinde ise iki akışkanın arasında bir yüzey veya bir kütle bulunur. Bu tarz ısı değiştiricilerde yüzeyli, dolgu maddeli ve akışkan yataklı olabilmektedir. Isının depolandığı dolgu maddeli ısı değiştiricilerde önce sıcak akışkanla ısıtılan dolgu maddesi daha sonra soğuk akışkanla soğutulmaktadır. Bu prensipte çalışan ısı değiştiriciler genelde gaz türbünlü taşıtlarda, yüksek fırınlarda, ısı tekerlerinde ve iklimlendirme tesisatlarında kullanılmaktadır [39]. Bir yatağın içinden ısı boruları geçirilerek oluşturulan ısı değiştiricileri akışkan yataklı ısı değiştiricileri olarak adlandırılmaktadır. Bu ısı değiştiricileri yatak içindeki taneciklerin gelişi güzel hareketleri sayesinde yatak içinde yaklaşık sabit bir sıcaklık oluşmasını sağlar. Bu tarz akışkan yataklara sahip sistemlere yerleştirilen ısı değiştiricilerin sahip olduğu ısı taşınım katsayısı gaz fazına oranla üç kattan daha fazladır [39]. Son olarak incelenecek olan temassız ısı değiştiricileri tipi doğrudan ısı geçişli ısı değiştiricilerdir. Bu tip ısı değiştiriciler özellik olarak tezde kullanılan eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricilerle aynı sınıflandırmadadır. Temel olarak farklı sıcaklıklara sahip iki akışkanın ince kesitli bir boru veya levha yüzeyi ile ayrılmasıyla oluşurlar. Isı geçişi bu yüzeyler arasından sağlanır ve hareketli bir mekanizmaya sahip değildirler. Bu tip ısı değiştiricilerinde akışkanlar karışmazlar [39].

4.1.2. Kompaktlık sayısına göre ısı değiştirici tipleri

Isı değiştiricileri, ısı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranıyla bulunan ve “ β ” ile gösterilen yüzey alanı yoğunluğu kullanılarak sınıflandırılabilir. Çıkan sonuca göre ısı değiştiricinin kompakt olup olmadığına karar verilir. Literatürde genelde $\beta < 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerine sahip ısı değiştiriciler kompakt olmayan, $\beta \geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerine sahip ısı değiştiriciler ise kompakt ısı değiştiriciler olarak adlandırılır. Ağırlıktan ve hacimden kazanç sağladıkları ve daha esnek bir projelendirmeye sahip oldukları için kompakt ısı değiştiriciler genelde tercih edilmektedir. Bu tercihte gaz-sıvı akışkanına sahip ısı değiştiricilerde gazların sıvılara göre daha az ısı taşınım katsayılarına sahip olmaları ve bu nedenle gaz tarafındaki yüzey alanının arttırılma ihtiyacı önemli bir etmendir. Diğer taraftan bakıldığında ise yüzeye zarar veren kirletici ve aşındırıcı etkiye sahip sıvıların kullanılamayışı ve düşen akış debisini yükseltmek için kullanılan vantilatör veya pompa gücünün gerekliliği kompakt ısı değiştiricilerinin dezavantajları arasında sayılabilir [39]. Tezdeki deney düzeneğinde kullanmış olduğumuz iç içe eş merkezli borulu tip ısı değiştiricide yüzey alanı yoğunluğu anlamında kompakt olmayan sınıfa dâhil edilmektedir.

Piyasada bulunan birçok bu tip ısı değiştirici 70 – 500 arasında kompaktlık sayısına sahiptir [39].

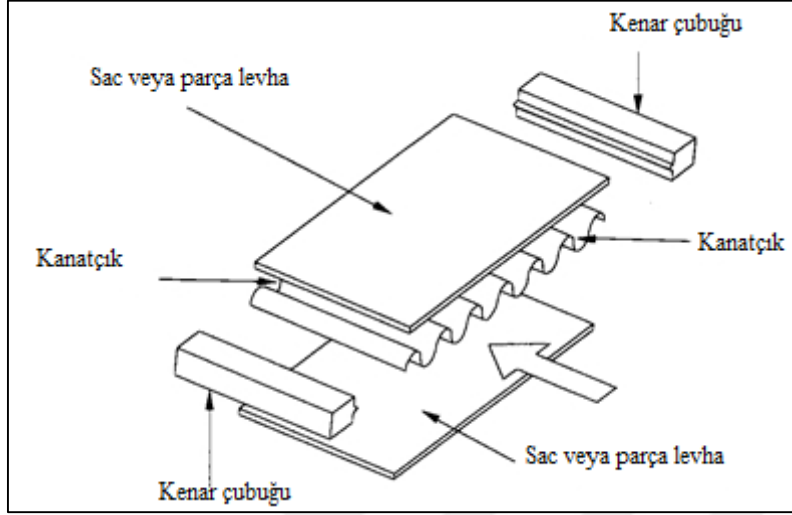
4.1.3. Yapısal özelliklerine göre ısı değiştirici tipleri

Kullanıldıkları yerler ve kullanım amaçlarına göre ısı değiştiricileri birçok farklı yapıda üretilebilmektedir. Bu üretim şekillerini dört farklı başlık altında toplamak mümkündür. Genişletilmiş yüzeyli (kanatlı) , rejeneratif, levhalı ve borulu ısı değiştiricileri olarak gruplandırılan bu dört ana grup kendi içinde de yapısal olarak çeşitlenmektedir [39].

Genişletilmiş yüzeyli ısı değiştirici tipleri

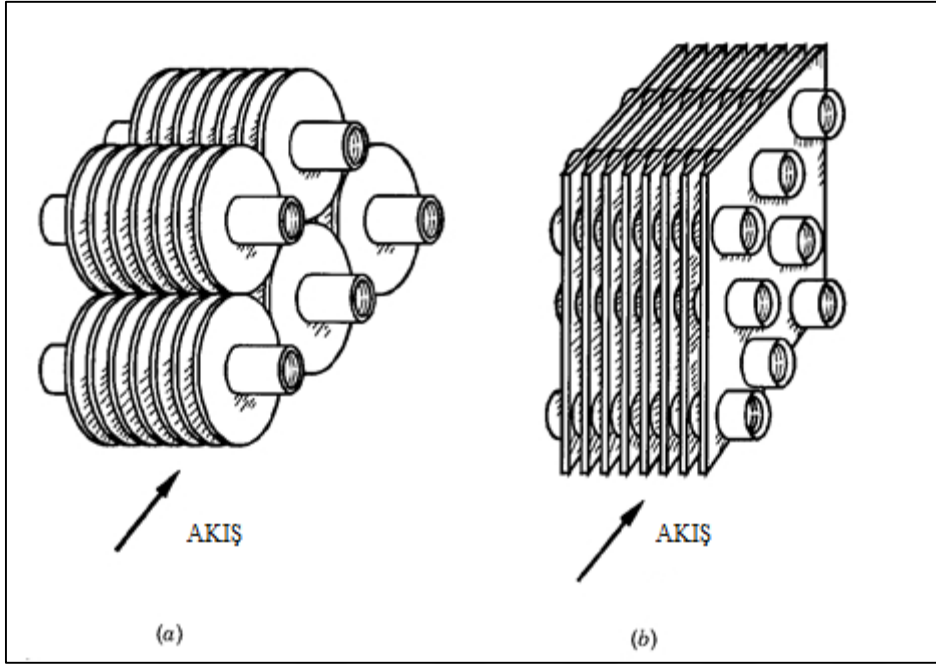
Piyasada kullanılan ısı değiştiricilerinin sahip olduğu kompaktlık değerleri ve ısı iletkenlikleri bazı uygulamalar için yetersiz kalmaktadır. Bu tarz durumlarda ısı değiştiricilerin ısı iletkenliğini ve kompaktlığını arttırabilmek için asıl ısıtma yüzeylerine kanat olarak isimlendirilen çıkıntılı yüzeyler ilave edilerek ısıtmanın gerçekleştiği yüzeylerin büyümesi sağlanır. Kanatların koyulmasıyla aynı hacimde daha çok ısı geçişi elde edilmesiyle sağlanan avantaja karşın, kanatçıkların oluşturduğu ilave basınç kayıpları dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple yapısal olarak kanatçıkların en verimli yüzeylere konulması için çalışmalar yapılmaktadır [39]. Isı değiştiricilere eklenen kanatçıklar, kanatçık eklenmemiş ısı değiştiricisine göre 5-12 kat arasında yüzey artışı sağlayabilmektedir. Bu yüzey artışının oranı ısı değiştiricisinin yapısal üretimine göre değişkenlik gösterir. Kanatçıkların eklenmesi bazı sistemlerde ısı transfer katsayısını arttırırken bazı sistemlerde düşmesine sebep olabilir. Örneğin levhalı tip ısı değiştiricilere eklenen kanatçıklar ısı transferi katsayısını 2-4 kat arası arttırırken, borulu tip ısı değiştiricilere eklenen kanatçıklar ısı transfer katsayısını düşürmektedir. Levhalı ve boru şeklinde olmak üzere iki farklı kanatçık yapısından söz etmek mümkündür [38]. Levhalı tip kanatçığa sahip ısı değiştiricileri, ısı değiştiricisinin rijidliğini ve çalışma basıncını arttırması açısından önemlidir. Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere destek çubuğu, ısı değiştiricisi levhası ve onun altına veya üstüne yerleştirilen kanatçıklar gibi temel bileşenlerden oluşmaktadır. Kanatçıklar düz olabildiği gibi; delikli, tırtıllı ve zikzak şeklinde de olabilmektedir. Yapısal özelliklerine göre ortalama 7 bar basınç ve 800 C° sıcaklıkta çalışabilmektedirler. Bazı özel durumlar için kullanılmak üzere 80 bar değerinde dahi çalışabilen örneklerini görmek mümkündür. Ortalama 2000 m²/m³ kompaktlığa sahip

olan kanatlı levhalı ısı değiştiriciler özel durumlarda $5900 \text{ m}^2/\text{m}^3$ kompaktlığa kadar üretilmektedir. Otomobil ve kamyonların radyatörlerinde, uçak motorlarının soğutulmasında, HVAC sistemlerinde, elektronik devrelerin soğutma sistemlerinde ve ısı pompalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar [39].



Şekil 4.2. Levhalı kanatlı ısı değiştiricisinin temel bileşenleri [38]

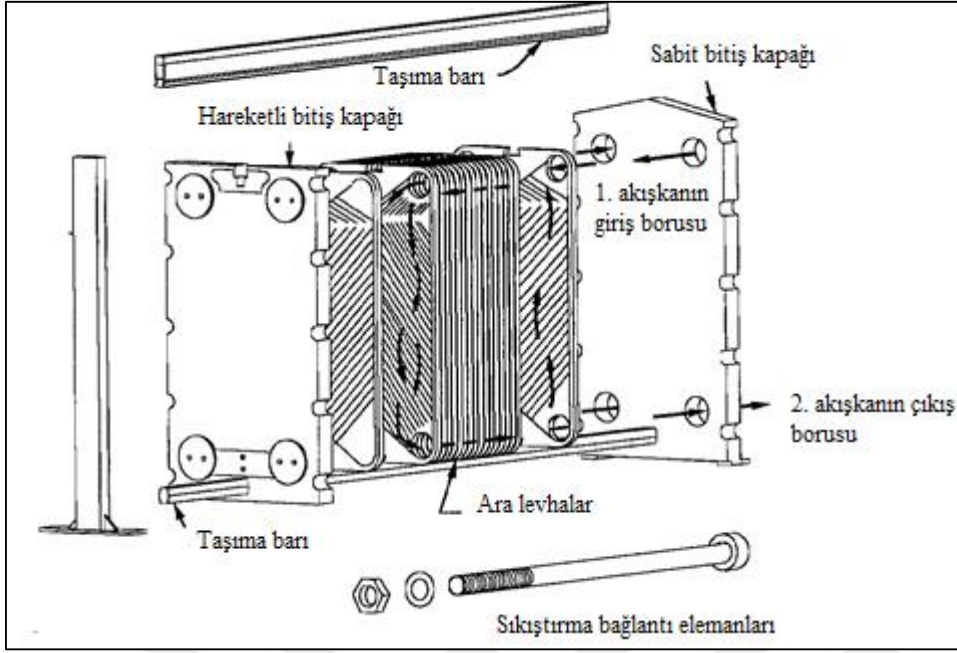
Borulu kanatlı olarak isimlendirilen ısı değiştiricilerde ise genellikle bir taraftan gaz akışkan geçerken diğer taraftan sıvı geğişi sağlanır. Mukavemet bakımından en uygun şekil olan dairesel veya oval tipe sahip borunun içinden yüksek basınçlı sıvı geçirilirken dış yüzeyden ise gaz geğişi yapılır. Fiziksel özellik bakımından gazların sahip olduğu ısıl iletkenlik sıvıya oranla çok daha düşük olduğundan bu ısıl iletkenliği arttırmak için borunun dış yüzeyine kanatçıklar yerleştirilir. Bu tip ısı değiştiricilerin basit görünümu Şekil 4.3.'de gösterilmiştir [39].



Şekil 4.3. a) Bireysel kanatlandırılmış boru, b) düzlemsel kanatçıklı sıralı borular [38]

Levhalı ısı değıştirci tipleri

Özellikle gıda uygulamalarında tercih edilen levhalı tip ısı değıştirciler yüksek basınç ve sıcaklıklara dayanamasa da; kolay temizlenmesi, sıcak ve soğuk bölgelerin oluşmaması, akışkanların birbirlerine karışmaması ve kullanılan sıvı miktarının az olması sayesinde ısı kapasitesi yüksek pahalı akışkanların kullanabilme imkânı gibi sebeplerle piyasada sıklıkla tercih edilmektedir. Piyasada kullanılan ısı değıştircilerinin sahip oldukları levha tipine göre contalı levhalı, spiral levhalı ve lamelli olmak üzere 3 farklı gruba ayrılmaktadır [39]. Contalı levhalı ısı değıştirciler genel olarak şekil 4.4’de görüleceği üzere lastik conta, ara levhalar, başlangıç ve bitiş levhası ile levhaları sıkıştırmak için sıkıştırma civatası ve somunlardan oluşmaktadır [38].



Şekil 4.4. Levhalı tip ısı değiştiricisinin temel bileşenleri [38]

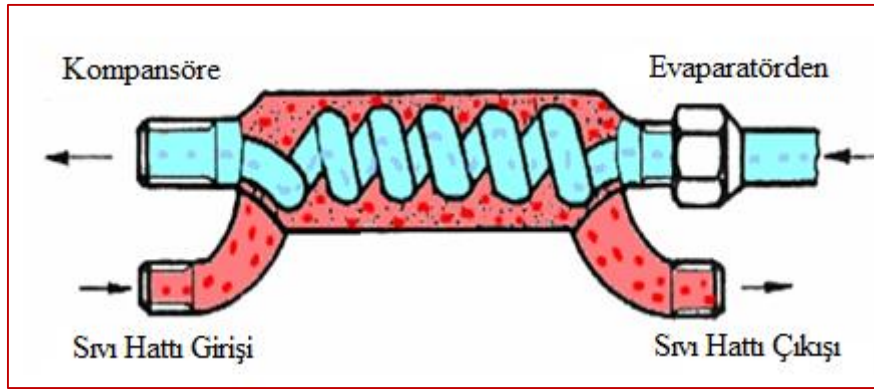
Çalışma prensibi; birbiri ardına gelen ara levhalardan bir sıcak ve bir soğuk akışkan geçirilerek taşınımıyla ısı transferi sayesinde sıcak akışkanın soğuk akışkan yardımıyla soğutulmasına dayanır. Bu ısı geçişi sırasında akışkanlar birbiri ile karışmaz. Karışmayı engellemek için ara levhalara conta bağlanır. Birbirine göre durumları çapraz olarak dizayn edilen contalar sayesinde akışkanlar bir levhadan aşağı doğru akarken diğer levhayı pas geçmektedir. Ayrıca levha yapıları tırtıklı yapılarak akışkanların akışı sırasında türbülans oluşturması sağlanır ve bu sayede ısı geçişinin artması sağlanır. Contaların tasarımları değiştirilerek akışın yönü değiştirilebilir. Contaların dayanabileceği basınç aralığının sınırlı olması nedeniyle çalışma basınç aralığı diğer ısı değiştiricilere göre daha azdır [38]. Pantzali vd. , levhalı tip ısı değiştiricilerde yapılan soğutmalarda nanoakışkanların etkisini incelemek üzere %4 derişime sahip CuO-su kolloidini akışkan olarak kullanmışlardır. Deney sonucunda levhalı tip ısı değiştiricilerde ısı kapasitesinin artmasında en etken parametrenin akışın laminar veya türbülanslı olması olduğu görülmüştür. Akışın türbülanslı olması halinde ısı transferi sadece viskozitenin gözle görülür bir şekilde artmasıyla sağlanmaktadır. Bu durumun ortaya çıkma ihtimali ise zor gözükmemektedir. Akışın laminar olması halinde ise ısı iletkenliğinin arttırılmasında nanoakışkanların kullanılması oldukça avantajlı gözükmemektedir. Fakat nanoakışkanın eldesinin yüksek maliyeti ve kararlılığını koruması konusundaki kaygılar dezavantajları olarak görülmüştür [41]. Tiwari vd. , levhalı tip ısı değiştiricilerinde nanoakışkan yardımıyla ısı iletkenlik

katsayısının artışı farklı tipde nanoakışkanlar kullanarak incelemişlerdir. Deneyde kullanılan akışkanlar ve ısı iletkenliği yükseltme performansları optimum hacimsel karışımları için sırasıyla CeO_2/su , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$, TiO_2/su ve SiO_2/su için; %35.9, %26.3, %24.1 ve %13.9 olarak ölçülmüştür. Ayrıca Seryum nanopartikülünün üretim maliyetinin az olmasının ve topaklaşma, salkımlaşma oranının düşük olmasının onu daha avantajlı konuma getirdiği belirtilmiştir [11]. Pandey ve Nema, soğutma sistemlerinde $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı kullanarak levhalı ısı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanımının ısı transferine katkısını ve sürtünmeye bağlı kayıplara olan etkisini incelemişlerdir. Farklı derişimlerde hazırlanan nanoakışkanlar (%2, %3 ve %4) PHE tipi ısı değiştiricilerde deneysel olarak incelenmiştir. Deney sırasında akış türbülanslı olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar saf suya göre karşılaştırmış ve en yüksek iyileşmenin en düşük derişime sahip nanoakışkanda görüldüğü gözlemlenmiştir. Deney sırasında saf suyun ihtiyacı olan pompa enerjisi nanoakışkana göre daha az olmaktadır ve nanoakışkan derişimi arttıkça sistemin ihtiyaç duyduğu pompa gücü artmıştır [42]. Khairul vd. , CuO/su nanoakışkanını PHE tipi ısı değiştiricilerde kullanarak ısı transferini, ekserji değişikliklerini, pompa kayıplarını ve basınç düşümlerini incelemişlerdir. Farklı derişimlerde kullanılan nanoakışkanın ısı transfer katsayısında derişime bağlı olarak %18.50-27.20 arasında arttığını gözlemlenmiştir. Nanoakışkan derişimi %0.50 ve %1.50 arasında değiştirilmiştir. Saf suya göre yapılan bu karşılaştırma da azda olsa pompa veriminde nanoakışkan kullanımın saf suya göre bir miktar kayba neden olduğu belirtilmiştir. Yoğunluk ve ısı iletkenliğin, ısı transfer kat sayısının artırılmasında en önemli parametreler olduğu sonucuna varılmıştır [43].

Borulu ısı değiştirici tipleri

Bu tarz ısı değiştiricileri eliptik, dikdörtgensel veya dairesel kesite sahip borulardan oluşur. Dairesel kesite sahip boruların daha yüksek basınçlara dayanabilme mukavemetine sahip olması onları birincil tercih haline getirmiştir. Boru çapının ve uzunluğunun kolaylıkla değişebilmesi de bu tip ısı değiştiricilerin projelendirilmesi sırasında tasarımsal anlamda büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tasarımına göre genelde eş merkezli düz borulu, spiral borulu ve gövde borulu ısı değiştiriciler olmak üzere incelenirler [38]. Spiral borulu olanlar, bir depo içerisine yerleştirilmiş olan bir veya daha fazla spiral borudan meydana gelmektedir. Bu tarz ısı değiştiricilerde borunun dışı ve depo kısmı kolay bir şekilde temizlenebilirken borunun içini temizlemek oldukça zordur. Spiral borunun içinden geçen

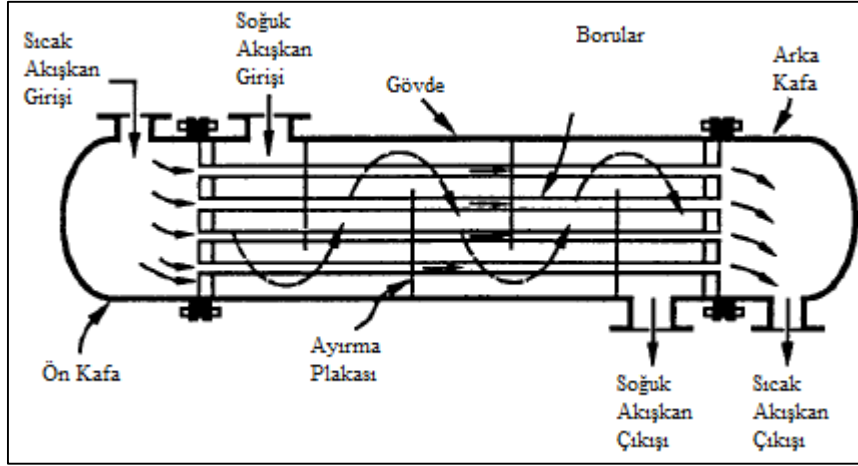
akışkan yüksek debilerde çalışabilse de depoda bulunan akışkan yüksek hacim nedeniyle sadece düşük debilerde çalışabilmektedir. Düşük debi sebebiyle bu tip ısı değiştiricilerin sahip olduğu ısı kapasite oldukça düşüktür. Temizleme sorunu ve düşük ısı kapasite sorunlarına rağmen basit ve ucuz bir şekilde imal edilebilmeleri, ısı genleşmenin oluşturduğu gerilme problemlerinin olmaması ve dış yüzey, depo kısmının kolay temizlenebilmesi gibi sebeplerle tercih edilebilmektedir. Borunun içini temizleme sorununu ortadan kaldırabilmek için temiz akışkanlar kullanılması gerekmektedir. Şekil 4.5 'de görüldüğü üzere bu ısı değiştiriciler soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan kondanser ve buharlaştırıcılar gibi üretilebilirler [44].



Şekil 4.5. Spiral borulu ısı değiştiricisinin kesit görünüşü [44]

Spiral borulu ısı değiştiricilerinde tipik olarak spiral boru çapı depo çapının $1/30$ 'u olacak şekilde seçilir. Serpantin sahip olacağı helis adımı ise boru çapının iki katı olarak seçilir. Küçük serpantilere sahip olan sistemler desteğe ihtiyaç duymazken; daha büyük olan serpantinlerin desteklenmesi gerekmektedir.

Gövde borulu ısı değiştiricileri, silindirik bir boru ve bu boru içine yerleştirilmiş olan boru demetlerinden meydana gelmektedir. Akışkanlardan biri silindirik borudan akarken diğer akışkan ise boru demetlerinin içinden akmaktadır. Bu tipteki ısı değiştiriciler Şekil 4.6'da görüleceği üzere gövde, gövdenin içinden geçen boru demetleri, ön ve arkada olmak üzere iki adet kafa, borularının yerinin tespiti için aynalar ve akışkan giriş-çıkış yerlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.6. Gövde borulu ısı değiştiricisinin kesit görünüşü [38]

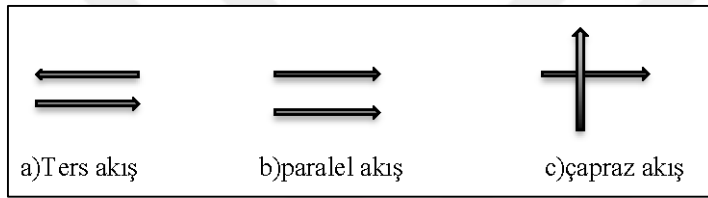
Petrol rafinelerinde, deterjan ve kozmetik alanında üretimlerin yapıldığı kimya endüstrisinde ve termik santrallerde sıklıkla kullanılmaktadır. Gövdeli tip ısı değiştiricilerinin imalat ebat ve yöntemleri TEMA(Tubular Exchanger Manufacturers Association) veya Türkçe adıyla Borulu Isı Değiştiricisi İmalatçıları Birliği tarafından belirli bir standardizasyon altına alınmıştır [38]. Bu sayede ihtiyaç duyulan ısı değiştiriciye ait basınç gibi değerlere kolaylıkla erişilmesi sağlanmıştır. Borulu ısı değiştiricileri arasında en basit ısı değiştirici çiftini de içinde barındıran düz borulu ısı değiştiriciler, boru demetinden de imal edilebilmektedir. Bu tip ısı değiştiriciler genellikle eş merkezli iki adet borudan imal edilirler. Akışkan yönleri paralel veya zıt akışlı olabilmektedir. Akışkanlardan biri dış borudan akarken bir diğeri iç borudan akmaktadır [38]. Deney düzeneğinde kullanılan ısı değiştirici bu tipe örnektir. Bu tipde bir ısı değiştirici seçilmesindeki en büyük etmen bu tarz ısı değiştiricilerin teorik analizlerinin oldukça basit bir şekilde yapılabilmesidir. Düz borulu ısı değiştiricilerin temizlenmesi kolay olduğu için birçok ısı değiştiricide temizleme zorluğu yüzünden tercih edilemeyen kirli akışkanların kullanılmasına olanak sağlar. Boru çapları düşük tutularak çok yüksek basınçlarda çalışması sağlanabilir. Sistem çalışırken ölü bölgeler oluşmazlar. Tüm bu avantajlarının yanında düşük kompaktlık değeri nedeniyle verimleri düşüktür [38].Eş merkezli düz borulu ısı değiştirici tipince aynı orjine sahip iki borudan biri içerden geçerken diğeri ise içerideki boruyu saracak şekilde dışarıdan geçmektedir. İlk akışkan iç borunun içinden akarken, ikinci akışkan ise iç borunun dışı ile dış borunun içi arasında kalan alandan akmaktadır. Bu tarz ısı değiştiriciler kullanılırken genellikle sıcak akışkanın akışı iç borudan sağlanır. Bu sayede ölçüm değeri kritik olan sıcak akışkan için daha izole bir ortam sağlanmış olur [38].

Rejeneratif ısı değiştirici tipleri

Rejeneratif tip ısı değiştiricilerde sıcak bir akışkan vasıtasıyla ısı ortamda depo edilir. Biriken ısı daha sonra diğer akışkana iletilir. Isıyı depolama mantığıyla çalıştığı için bu tarz ısı değiştiriciler rejeneratör adıyla da anılmaktadır [38]. Isının depolanması için kullanılan gözenekli yapıya sahip elemanlar dolgu maddesi veya matris olarak isimlendirilirler. Bu tarzda imal edilen ısı değiştiriciler çok yüksek yüzey alan yoğunluğu yani kompaktlık ile üretilebilmektedirler. İlk yatırım maliyetleri diğer yapıdaki ısı değiştiricilere göre düşüktür. Isı değiştiricinin sahip olduğu sistem kendini temizleme özelliğine sahiptir. Tüm bu avantajlarına karşın bu tarz ısı değiştiricilerin sahip olduğu bir takım özellikler sistemin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bu dezavantajların başında sadece gaz akışkan kullanılabilmesi gelmektedir. Bunun yanı sıra sıcak ve soğuk akışkanların arasında daima kaçaklar yaşanmaktadır. Bir diğer dezavantaj ise kullanılan akışkanlar kimyasal veya fiziksel olarak birbirlerinde etkileniyorlar ise bu tip ısı değiştiricilerde kullanılamazlar [39]. Rejeneratif ısı değiştiricileri genellikle dönen tip, sabit dolgu malzemeli tip ve paket yataklı tip olmak üzere üç farklı gruba ayrılırlar. Sabit dolgulu olanlar genellikle yüksek fırınlarda Siemens-Martin ocaklarda ve cam fabrikalarında kullanılırlar. Havanın sıvılaştırılmasında da bu tip ısı değiştiriciler tercih edilmektedir [39]. Döner malzemeli tip ısı değiştiriciler ise disk ve silindirik olmak üzere iki ayrı sınıfa ayrılırlar. Bu tipteki rejeneratörler ise buhar kazanlarında, cam fabrikalarında ve gaz türbünlerinde kullanılırlar. İklimlendirme tesislerinde kullanılan tipleri genellikle ısı tekerleği olarak anılırlar. Bu tipte dışarı atılan çıkış gazları ve içeri giren havanın kış aylarında ısıtılarak; yaz aylarında ise soğutulurken enerji verimliliğine katkıda bulunması sağlanır. Gaz türbinlerinde kullanılan ve Ljungstrom tip olarak anılan döner tip ısı değiştiricilerinde sistem dönerken, bu tipte ise geçişin olduğu gaz boruları döndürölerek daha az bir kütle döndürölmiş olmaktadır. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanmaktadır [38]. Bir diğer tip olan paket yataklı rejeneratör tipi ısı değiştiriciler ise küresel veya silindirik parçaların elevatör yardımıyla sistemin tepesine dökölmesiyle başlar. Sistemin ortasında yer alan dar boğazda soğutulmak istenen akışkanla etkileşime sokulan parçacıklar soğuk bir şekilde sistemin alt kısmına doğru dökölürler. Sistemin en altından yine aynı elevatör yardımıyla alınıp tekrar sistemin en tepesine dökölürler [39].

4.1.4. Göreceli akış yönlerine göre ısı değiştirici tipleri

Isı değiştiricilerin ısı verimliliklerine etki eden en önemli parametrelerden biri de akışkanların birbirlerine göre akış yönlerindeki değişimlerdir. Isı değiştiricilerde bu yön tayin edilirken ısı değiştiricinin istenen efektif verimi, mümkün olabilen basınç düşümü, izin verilen en yüksek ve en düşük hız, akışkanların akacağı yol, boruların birbirine göre durumu, sistemde çıkılabilen en yüksek sıcaklık değerleri, termal gerilmeler ve diğer birçok tasarım kistası göz önünde bulundurulur [38]. Akış yönleri genellikle paralel, ters ve çapraz olmak üzere üç farklı durum için sınıflandırılırlar. Ayrıca bu sınıflandırmayı tek geçişli ve çok geçişli sistemler olarak ikiye ayırmakta mümkündür [39].



Şekil 4.7. Akış yönlerinin görünüşü [38]

Akış yönlerine göre sistemlerin sahip olduğu ısı değerler ve basınç değerleri değişmektedir. Tezin konusu olan deney düzeneğinde de akış ters ve paralel olarak ayrı ayrı incelenmiş ve sonuçlar ısı verimlilik değişkenine göre karşılaştırılmıştır.

Paralel akımla düzenlenmiş ısı değiştiriciler

Bu tip akışlarda iki akışkan sisteme aynı noktadan girer; birbirlerine paralel olarak aynı doğrultuda akar ve diğer çıkış noktasından sistemi terk ederler. Bu akışlarda sıcaklık değişimleri tek boyutlu olarak incelenebilir. Bu özelliğe sahip ısı değiştiriciler diğer akış tiplerine göre toplam ısı kapasite yönünden en az verimliliğe sahiptirler [38]. Eş merkezli iç içe geçmiş borulu tip ısı değiştiricilerde sıklıkla kullanılan bu akış türü yüksek sıcaklık farklarına sahip sıcak ve soğuk akışkanlar kullanıldığında sistem girişinde akışkanlar arasında ısı akışının gerçekleştiği iç cidar bölgesinde yüksek termal gerilmelere sebep olmaktadır. Bu durumda ısı verimi düşürmektedir. Bu tarz akışlar yüksek verimlilik gerektiren uygulamalarda tercih edilmese de birçok kullanım alanı mevcuttur [38]. Paralel akış sırasında sıcaklık değişimi diğer akışlara oranla daha düzgün bir duvar sıcaklığı sağlanmaktadır. Akışın bu özelliği sayesinde buharlaşma ve yoğunlaşmanın istenmediği

daha hassas sıcaklık aralığında çalışılmak istenen akışkanlarda paralel akış tercih edilmektedir[38].

Ters akımla düzenlenmiş ısı değiştiriciler

Ters akışlarda iki akışkan sistemde birbirlerine göre eksenel olarak paralel fakat ters yönde akarlar [39]. Bu akış tipinde de sıcaklık değişimleri tek boyutlu olarak hesaplanabilir. Ters akışa sahip ısı değiştiriciler diğer tüm akış çeşitlerine göre termodinamiksel olarak çok daha avantajlıdır. En yüksek ısı verim, en yüksek ısı kapasite ve en yüksek sıcaklık değişimi bu tarz akışlarda görülür. Bunlara ek olarak giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklık farkları diğer akış tiplerine göre daha az olduğu için cidar üzerindeki termal direnç bu akış için yine en düşük seviyededir. Tüm bu avantajlarına rağmen özellikle levha tipi ısı değiştiricilerde karmaşık tasarımlara sebep olduğu için tercih edilmemektedir. Tasarım sorunu yaratmadığı sürece diğer akış tiplerine göre sağladığı yüksek verimlilik sebebiyle en sık tercih edilen akış tipi olmaktadır [39].

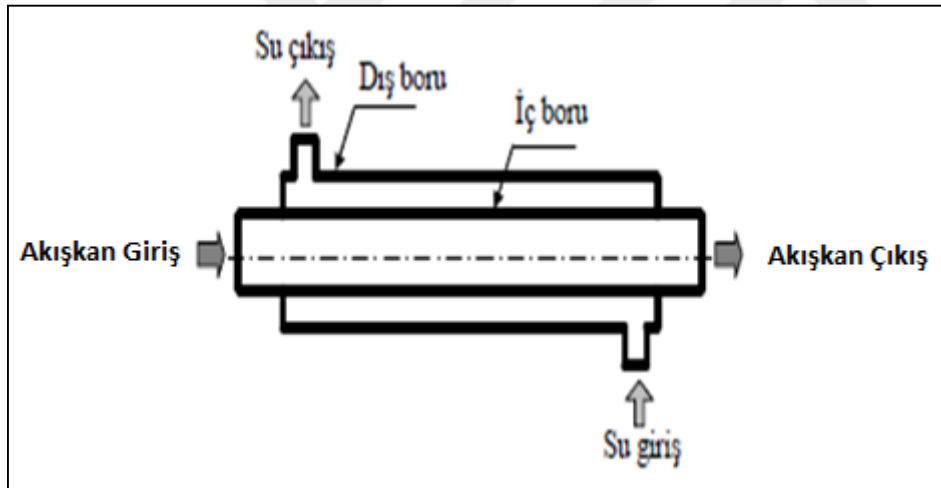
Çapraz akımla düzenlenmiş ısı değiştiriciler

Çapraz akışa sahip ısı değiştiricilerde sıcaklık değişkeni iki boyutlu incelenmelidir [39]. Çünkü bu sistemlerde akışkanlardan biri diğerine göre dik bir şekilde akmaktadır. Dik akışı sağlamak için kanatlar veya şaşırtma levhaları akışa uygun bir şekilde tasarlanmaktadır [39]. Çapraz akışa sahip sistemlerde en yüksek sıcaklık farkları sistemin köşelerinde gözlemlenmektedir. Tasarımı ve imalatı diğer akış tiplerine göre daha kolaydır. Bu sebeple genellikle kompakt ısı değiştiricilerinde tercih edilmektedir. Isı değiştirici termal verimi bakımından paralel akıma göre daha yüksek verime sahip olsa da, zıt akıma sahip sistemlere göre daha düşüktür. Bu tarz akışlar imalat kolaylığı istenen fakat en iyi termal verimi sağlaması çok önemsenmeyen sistemlerde tercih edilebilirler [38].



5. MATERİYAL VE METOT

TiO₂ nanopartikülünün suyla süspanse edilmesiyle elde edilen nanoakışkanın, ısı değiştiricide kullanılarak suya göre ısı verimliliğe etkisinin incelenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Deneyi gerçekleştirmek için basit bir tasarıma sahip, hareketli parça içermeyen ve nispeten çok düşük bir maliyete sahip Şekil 5.1.'de görülen eş merkezli iki adet borudan meydana gelen borulu tip ısı değiştirici kullanılmıştır. Deneyde TiO₂-su kolloid çözeltisi sıcak akışkan; saf su ise soğuk akışkan olarak kullanılmıştır. Düzenegün üzerinde bulunan ısı çiftleri sayesinde belirli noktalarda sıcaklık ölçümleri yapılarak sıcak akışkandan soğuk akışkana olan ısı transferi incelenmiştir. Deneysel veriler yardımıyla toplam ısı transferi katsayısı ve ısı transferi oranları gibi değişkenler hesaplanarak saf suya göre olan değişimler karşılaştırılmıştır. Ayrıca sistem paralel ve karşıt akış için tekrarlanmış ve akım yönünün ısı performansına etkisi incelenmiştir.

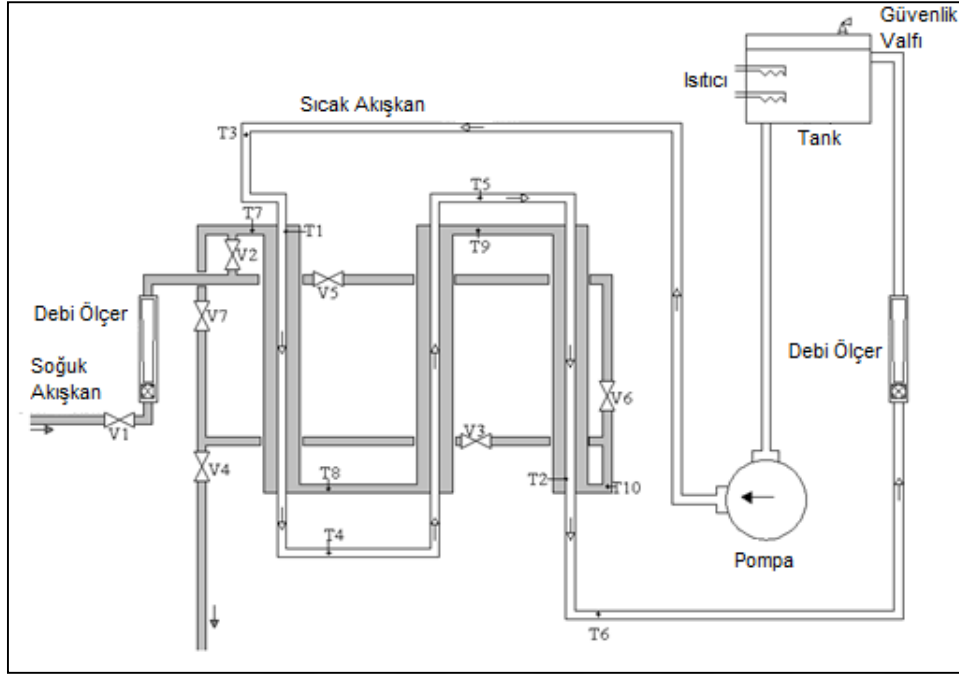


Şekil 5.1. Deneyde kullanılan ısı değiştiricinin kesit görünüşü [46]

5.1. Deney Düzeneginin İncelenmesi

Deney düzenegi sıcak akışkanın ısıtılması için içinde iki adet ısıtıcı barındıran tanktan oluşmaktadır. Sıcak akışkanın debisini ölçmek için tankın girişine bağlanmış debi ölçer ve ayrıca soğuk akışkanın debisini ölçmek için soğuk akışkan girişine bağlı debimetreden oluşmaktadır. Isınan sıcak akışkanın sisteme tahrik edilmesi için bir adet pompadan, akışın yönünü değiştirmek için kullanılan vanalardan ve on farklı noktada sıcaklık ölçümü yapabilmek için sistemin üzerine bağlanmış ısı çiftlerinden oluşmaktadır. Debiler sistem

üzerindeki ölçekli camdan sıcaklıklar ise dijital gösterge panellerinden ölçülebilmektedir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deney düzeneği şematik gösterimi [45]

Deney için kullanılan düzenekte akışkan yönünü tayin etmek için vanalar uygun şekilde açılıp kapatılmıştır. Paralel akışı sağlayabilmek için Şekil 5.2.’de görülen vanalardan V5, V6 ve V7 vanaları kapalı diğer tüm vanalar açık konumda bulundurulmalıdır. Sistemin karşıt akışlı ısı değiştirici olarak çalıştırılabilmesi için ise V2 ve V3 vanaları kapalı diğer tüm vanalar açık konumda olmalıdır.

Resim 5.1.’de görüleceği üzere sistemin acil tahliyesi için sağ alt köşede iki adet tahliye vanası bulunmaktadır. Bu vanalardan gerektiği durumda sıcak akışkanın tahliyesi sağlanabilmektedir. Sıcak akışkan elektrik rezistanslı iki adet ısıtıcıya sahip tankta ısıtılmaktadır. Isıtma işleminden sonra pompa yardımıyla sistemdeki tüm merkez ve üst borularda dolaştırılmaktadır. Sistemde dolaşan sıcak akışkan tekrar tanka gelerek yeniden ısıtılmakta ve döngü devam etmektedir. Soğuk akışkan ise sistemdeki merkez borulara girmeden önce debimetreden geçerek debi değerinin okunması sağlanır. Sistemde dolaşan soğuk akışkan vanalar yardımıyla yön değiştirilerek paralel ve ters akım sağlanabilmektedir.



Resim 5.1. P.A. Hilton ısı değiştirici deney düzeneği [45]

Sistemde eş merkezli i içe boruların iç borusundan sıcak akışkan geçirilirken, dış borudan ise soğuk akışkan geçirilmektedir. Sıcak akışkan tek yönlü olarak sisteme bağlı paslanmaz elik ve pirinç malzemeden imal edilmiş pompa yardımıyla sistemde dolaşmaktadır. Sıcak akışkanı ısıtmak için paslanmaz elik malzemeden yapılmış bir tankın içine iki adet elektrikli ısıtıcı konulmuştur. Deney düzeneğinin kendini koruması için ısıtıcı tankta oluşabilecek yüksek sıcaklıklara karşı devre kesiciler bulunmaktadır. Termostatlı vanalar sayesinde yüksek basınçlar otomatik olarak düşürülmektedir. Soğuk akışkan ve sıcak akışkan tarafında bulunan debimetreler sayesinde debi ölçümü ve sistemde 10 farklı noktada bulunan ısıl çiftler sayesinde de sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır. Deney düzeneğine ait bütün ekipmanların tüm özellikleri izelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney düzeneğinde kullanılan tüm ekipmanların teknik özellikleri [45]

Donanım, Cihaz, Ölçü ve Kontrol Aleti	Özelliği ve Kapasitesi
Pompa Basma Yüksekliği (mSS)	1,5
Pompa Basma Yüksekliği (bar)	5
Isıtıcı Gücü ($kW/adet$)	1,5
Soğuk Akışkan Devresi Debimetresi ($g \cdot s^{-1}$)	4 - 50
Sıcak Akışkan Devresi Debimetresi, Yüksek Debi ($g \cdot s^{-1}$)	0,016 – 0,167
Isıl Çift (tip)	J
Sıcaklık Göstergesi Hassasiyeti ($^{\circ}C$)	0,1
Isı Değiştirici İç Boru İç Çapı (mm)	7,9
Isı Değiştirici İç Boru Dış Çapı (mm)	9,5
Isı Değiştirici Dış Boru İç Çapı (mm)	11,1
Isı Değiştirici Dış Boru Dış Çapı (mm)	12,7
Uzunluk (mm)	3x350 mm
Isıtma Yüzey Alanı (iç boru) İç Isı İletim Alanı (m^2)	0,026
Isıtma Yüzey Alanı (iç boru) Dış Isı İletim Alanı (m^2)	0,031
Ortalama Isı Transferi Alanı (m^2)	0,0288
Akış Alanı (m^2)	49×10^{-6}

5.2. Termofiziksel Özelliklerin Tayin Edilmesi ve Ölçümü

Deneylere başlamadan önce hesaplamalar için gerekli olan tüm termofiziksel özellikler tayin edilmiştir. Nanoakışkanın yoğunluk değerini hesaplamak için bilinen bir hacmi tartıldı. Çıkan ağırlık bilinen hacme bölünerek yoğunluk hesabı yapıldı. Nanoakışkanın ve suyun özgül ısı kapasitesini hesaplamak için diferansiyel tarama kalorimetresi kullanıldı. Özgül ısıları hesaplamak için, özgül ısısı bilinen bir maddenin sıcaklığı belirli bir oranda arttırılarak bu sıcaklık artışı için gereken ısı miktarı not edildi. Aynı sıcaklık artışı nanoakışkan ve su içinde yapılarak gereken ısı miktarı hesaplandı. Isı miktarı farklarından yola çıkılarak su ve nanoakışkanın özgül ısısı hesaplanmıştır. Deneyde kullanılan TiO_2 nanopartikülüne ait bazı termofiziksel özelliklere bakıldığında yoğunluk değeri $1015 \text{ (kg/m}^3\text{)}$, $20 \text{ }^{\circ}C$ 'deki viskozite değeri 1.01 (Pa.s) ve C_p değeri ise $4,26 \text{ (kJ/kgK)}$ olarak ölçülmüştür.

5.3. Teorik Ve Deneyisel Analiz

Bir ısı transferi sisteminde, ısı daima sıcak akışkandan soğuk akışkana doğru hareket eder. Sıcak akışkanın soğuk akışkana verdiği ısı ($\dot{Q}_i$) olarak tanımlanabilir. Genel ısı formülü;

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_i \cdot c_{p,i} \cdot (\Delta T) \quad (5.1)$$

olarak tanımlanır. Bu denklemdeki ΔT değeri deney düzeneğine uyarlandığında sıcak akışkan için giriş sıcaklığı T_3 , çıkış sıcaklığı T_6 olarak alınır ve Eş. 5.2 elde edilir.

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_i \cdot c_{p,i} \cdot (T_3 - T_6) \quad (5.2)$$

Benzer şekilde aynı formül soğuk akışkan tarafından alınan ısı ($\dot{Q}_o$) olarak tanımlanabilir. Paralel akım için ($\dot{Q}_o$) değeri Eş. 5.3'e göre, ters akım için ise Eş. 5.4'e göre hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_o \cdot c_{p,o} \cdot (T_{10} - T_7) \quad (5.3)$$

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_o \cdot c_{p,o} \cdot (T_7 - T_{10}) \quad (5.4)$$

Tüm ısı transferi sistemlerinde olduğu gibi mevcut ısı değiştiricide de ısı akışı iç borudaki sıcak akışkandan, dış borudaki soğuk akışkana doğrudur. Eğer iç borunun cidar kalınlığının oluşturduğu direnç ve deney düzeneğindeki ölçüm aletlerine ait hatalar ihmal edilirse en yüksek verim sağlanmış olup Eş 5.5 yazılabilir.

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_o \quad (5.5)$$

Boru içinde hareket eden akışkan boru boyunca ısı taşınımına sebep olur ve akışkan ile boru yüzeyi arasındaki bu taşınım Eş. 5.6 ile ifade edilebilir.

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T_{ln} \quad (5.6)$$

Eşitlikte verilen h değeri akışkanın boru yüzeyi ile olan ısı taşınım katsayısını, A değeri ısı transferinin gerçekleştiği yüzeyin kesit alanını ve ΔT_{ln} ifadesi ise logaritmik ortalama sıcaklık farkını ifade etmektedir.

Isı değiştiricilerin ısı hesapları yapılırken taşınım ile ısı transferi sırasında meydana gelen sıcaklık farkını doğru bir şekilde tanımlamak son derece önemlidir. Isı değiştiricilerde değiştirici boyunca sıcaklıklar sürekli değişmektedir. Her kesitte değişen sıcaklık farklarını giriş ve çıkış sıcaklıkları cinsinden doğru bir şekilde tanımlayabilmek için ΔT_{ln} logaritmik ortalama sıcaklık değeri Eş. 5.7’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{giriş} - \Delta T_{çıkış}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{giriş}}{\Delta T_{çıkış}}\right)} \quad (5.7)$$

Sıcak akışkanın iç boruya doğru yaptığı taşınım ile ısı transferini hesaplamak için, Eş. 5.6 ‘daki A değeri yerine A_i iç boru iç yüzeyi kesit alanı, h yerine de h_i sıcak akışkan ısı taşınım katsayısı yazılarak Eş. 5.8 elde edilir. şekil 5.2’de görüleceği üzere eşitlikte kullanılan sıcaklık değerleri;

T_1 : Akışkan girişindeki iç borunun yüzey sıcaklığı

T_2 : Akışkan çıkışındaki iç borunun yüzey sıcaklığı

T_3 : Sıcak akışkan giriş sıcaklığı

T_6 : Sıcak akışkan çıkış sıcaklığı olarak tanımlanmıştır.

$$\dot{Q}_h = \frac{h_i \cdot A_i \cdot [(T_3 - T_1) - (T_6 - T_2)]}{\ln\left(\frac{T_3 - T_1}{T_6 - T_2}\right)} \quad (5.8)$$

Benzer şekilde soğuk akışkanın iç borunun dış yüzeyinden aldığı ısı transferini hesaplamak için Eş. 5.6 ‘daki A değeri yerine A_d iç boru dış yüzey kesit alanı, h yerine de h_o sıcak akışkan ısı taşınım katsayısı yazılarak Eş. 5.9 elde edilir. şekil 5.2.’de görüleceği üzere eşitlikte kullanılan sıcaklık değerleri;

T_1 : Akışkan girişindeki iç borunun yüzey sıcaklığı

T_2 : Akışkan çıkışındaki iç borunun yüzey sıcaklığı

T_7 : Soğuk akışkan giriş sıcaklığı

T_{10} : Soğuk akışkan çıkış sıcaklığı olarak tanımlanmıştır.

$$\dot{Q}_o = \frac{h_o \cdot A_d \cdot [(T_1 - T_7) - (T_2 - T_{10})]}{\ln\left(\frac{T_1 - T_7}{T_2 - T_{10}}\right)} \quad (5.9)$$

Toplam ısı transfer katsayısı (U) sıcak akışkanın verdiği ısıya bağlı olarak Eş. 5.10'da verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_i = A_T \cdot U \cdot \left[\frac{(T_3 - T_7) - (T_6 - T_{10})}{\ln\left(\frac{T_3 - T_7}{T_6 - T_{10}}\right)} \right] \quad (5.10)$$



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Deney Düzenegindeki Belirsizliklerin Matematiksel Analizi

Deney düzeneğinde sıcak ve soğuk akışkan sıcaklıkları J-tipi ısıl çiftler vasıtasıyla ölçülmüştür. Isıl çiftler hem sıcak akışkanın hem soğuk akışkanın giriş ve çıkışlarına ve ara noktalarına yerleştirilmiştir. Ölçüm sırasında her iki akışkanın tüm sıcaklık değerleri ve akış debileri kararlı hale gelmesi beklenerek ölçülmüştür. Sıcak akışkanın (nanoakışkan veya su) ısıtıldığı tank, su deposu ve sistemdeki tüm borular ısı kaybını minimum düzeyde tutmak için yalıtılmıştır. Deney sisteminin doğruluğunu test etmek amacıyla sistemde nanoakışkan kullanımından önce damıtılmış su kullanılmış ve sistemin doğruluğu test edilmiştir. Her deneyde olduğu gibi mevcut deneyde de sonuçların belli bir oranda sapmaları yani belirsizlikleri mevcuttur. Bu belirsizliğin belirliliği bir aralıkta olup olmadığını saptamak için, deneyde ölçülen sıcaklık parametrelerinin sapma oranları hesaplanmıştır. Bu hesabı yapabilmek için Eş. 6.1 [46] kullanılarak, her bir sıcaklık değeri 3 defa ölçülmüş ve ortalama değer hesaplanmıştır. Eş. 6.1’de görülen R değeri belirsizlik değerini, $x_1, x_2, \dots, x_n$ değerleri ise bu değere etki eden bağımsız parametreleri temsil etmektedir. Her bir bağımsız değişken için hesaplanan hata oranı w değeri ile belirsizliği hesaplanan R değişkeninin toplam değeri ise W_R sembolü ile ifade edilmektedir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.1)$$

Deneyde sabit soğuk akışkan debisine karşılık, değişen sıcaklık akışkan debilerinde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Her bir deneyde sıcaklıklar her bir ısıl çift için 3 defa ölçülmüş ve ortalama sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Alınan bu 3 değer ve ortalama değere göre yapılan belirsizlik analizinde sapma değeri %2.6-3.1 arasında ölçülmüş olup bulunan değerler deney düzeneğine göre kabul edilebilir düzeydedir. Deney düzeneğine ait ekipmanların standart sapmaları deney föyünde verilmiştir[45]. Bu sapmalara göre hesaplanan belirsizlik değerleri Çizelge 6.1.’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney düzeneğindeki ekipmanların teknik özellikleri ve belirsizlikleri [45]

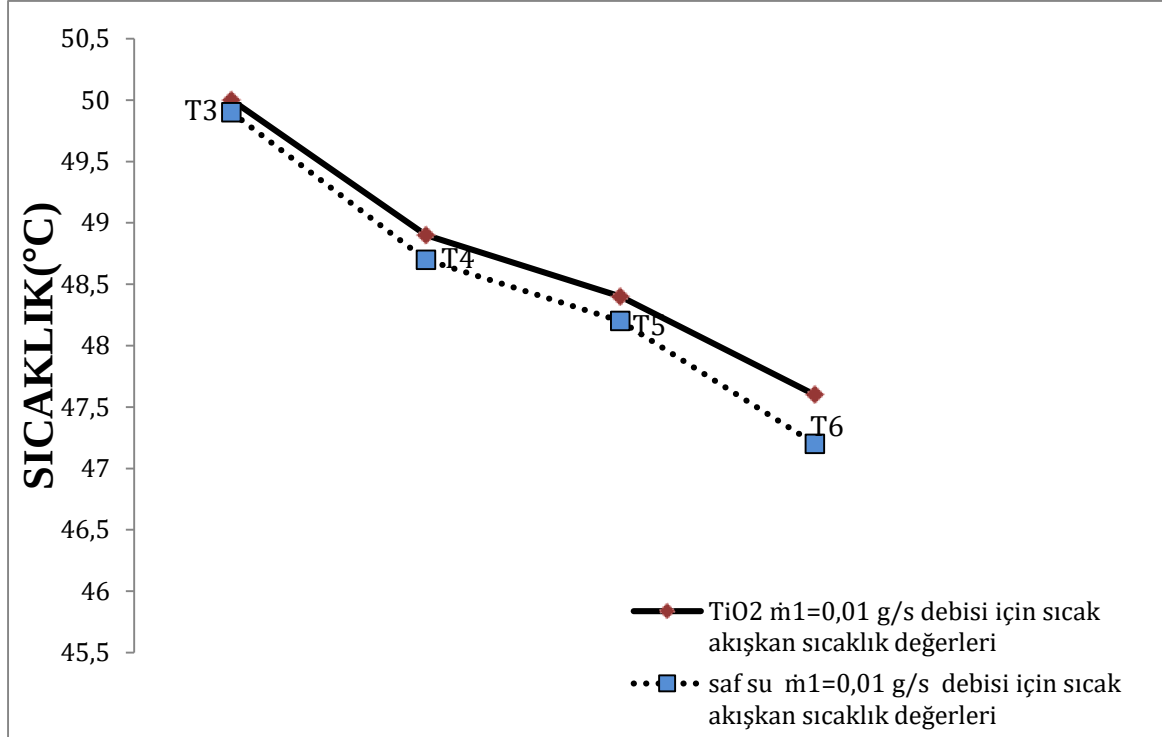
Ekipmanlar	Teknik Özellikleri	Belirsizlik Oranları
Isıl Çiftler (10 adet)	J-Tipi, Ölçüm Aralığı 0°C–350 °C DOĞRULUK: $\pm 0,4\%$ veya 0,5°C	$\pm 0,588$ °C
Akış Ölçer	Ölçülebilir aralıklara göre, Soğuk Su, Aralık 4'ten 50'ye gm s^{-1} Sıcak Su, Aralık 4'ten 60'a gm s^{-1} Sıcak Su, Aralık 1'den 10'a 1 dk^{-1} DOĞRULUK: $\pm 5\%$ Tam Ölçekli Okuma	$\pm 5,36 \%$ $\pm 5,13 \%$

6.2. Eş Merkezli İç İç borulu Isı Değiştiricisinin Akım Yönlerine Göre Sonuçları

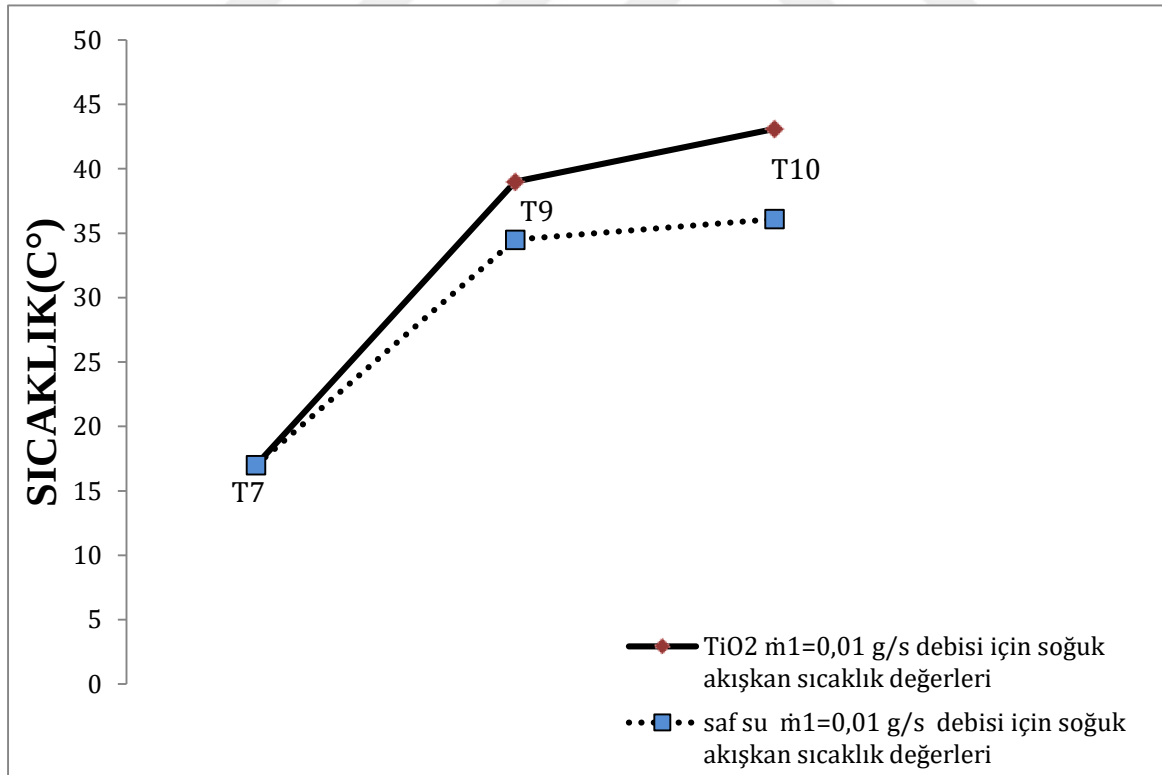
Bu çalışmada amaç geleneksel olarak kullanılan ısı değiştirici akışkanın suya nanopartikül süspanse edilmesiyle elde edilen nanoakışkanların, suya oranla ısı performansındaki değişimleri deneysel olarak incelemektir. Bu nedenle öncelikle sıcak akışkan debisi ($\dot{m}=8$ L/dk) sabit tutularak sırasıyla $\dot{m}_1=0,01$ g/s, $\dot{m}_2=0,02$ g/s, $\dot{m}_3=0,03$ g/s soğuk akışkan debilerine göre sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Sıcak akışkan olarak önce su sonra TiO₂-su nanoakışkanı kullanılmıştır. Aynı deneyler paralel ve ters akım için ayrı ayrı yapılmıştır. Daha sonra ise soğuk akışkan debisi $\dot{m}_1=0,01$ g/s sabit tutularak, sıcak akışkanların debileri sırasıyla 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5 8,0; 8,5 ve 9 L/dk olarak ayarlanmıştır. Elde edilen sıcaklık sonuçları toplam ısı transferi katsayısı ve soğuk - sıcak akışkanlar için ısı transferi katsayısını hesaplamada kullanılmıştır. Her bir akışkan çifti için paralel ve ters akım şartlarında 26 toplamda da 52 adet durum için sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

6.2.1. Paralel akışta çalıştırılan deney düzeneği için sonuçlar

Paralel akışa göre ayarlanmış ısı değiştiricisinde sıcak akışkan saf su için giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı (T_3-T_6) soğuk akışkan debisinin $\dot{m}_1=0,01$ g/s değerine göre Şekil 6.1.'de görüleceği üzere 2,7 °C olurken; aynı değer TiO₂-su nanoakışkanı için 2,4 °C ölçülmüştür. Şekil 6.2. incelendiğinde soğuk akışkanın giriş ve sıcaklık farkı ($T_{10}-T_7$) saf su sıcak akışkanı için 19,1°C ölçülürken; nanoakışkan sıcak akışkanı için 26,1 °C ölçülmüştür.

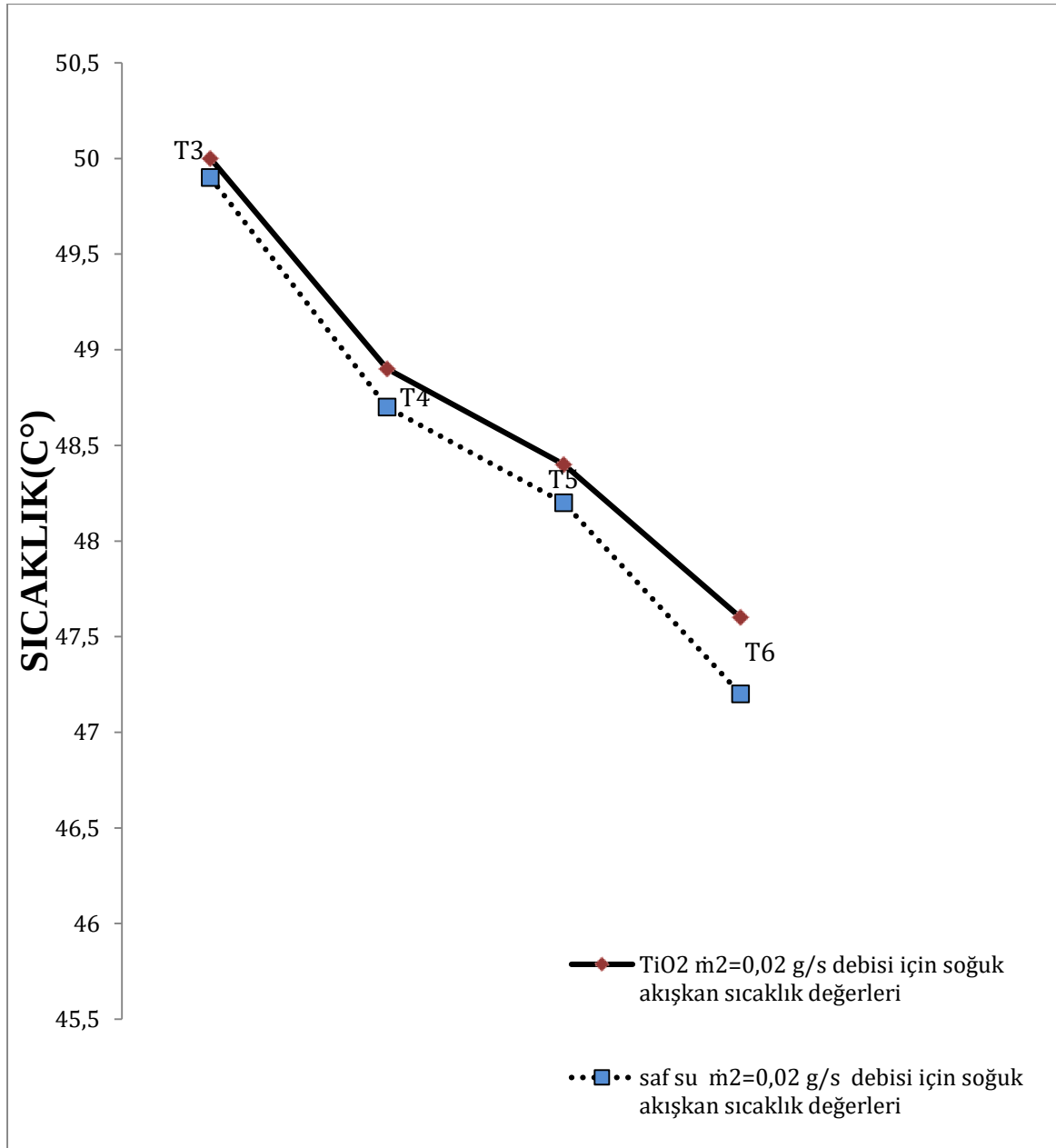


Şekil 6.1. Paralel akışlı ısı değıştircide $\dot{m}_1=0,01$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı

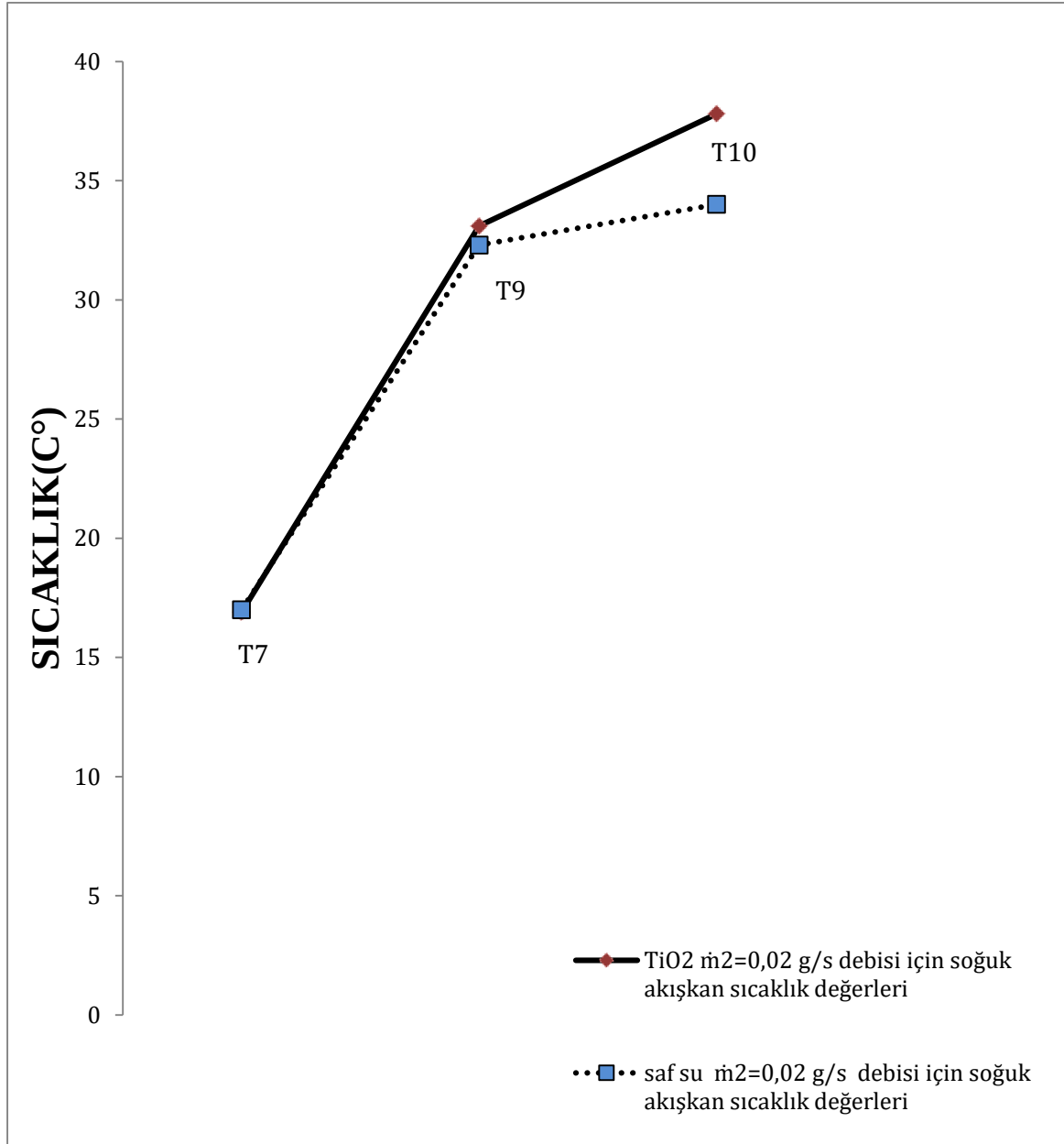


Şekil 6.2. Paralel akışlı ısı değıştircide $\dot{m}_1=0,01$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'de gösterilen grafiklerde ise soğuk akışkan olan saf su debisinin $\dot{m}_2=0,02$ g/s değerine göre ölçüm değerleri verilmiştir. Sıcak akışkan saf su için giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı (T_3-T_6) $3,8^\circ\text{C}$ iken, nanoakışkan için bu fark $3,5^\circ\text{C}$ 'dir. Aynı debi değeri için saf su sıcak akışkanıyla yapılan paralel akışta soğuk akışkan giriş ve sıcaklık farkı ($T_{10}-T_7$) 17°C olurken; nanoakışkan sıcak akışkanın kullanıldığı deneyde soğuk akışkan giriş ve sıcaklık farkı ($T_{10}-T_7$) $20,9^\circ\text{C}$ ölçülmüştür.

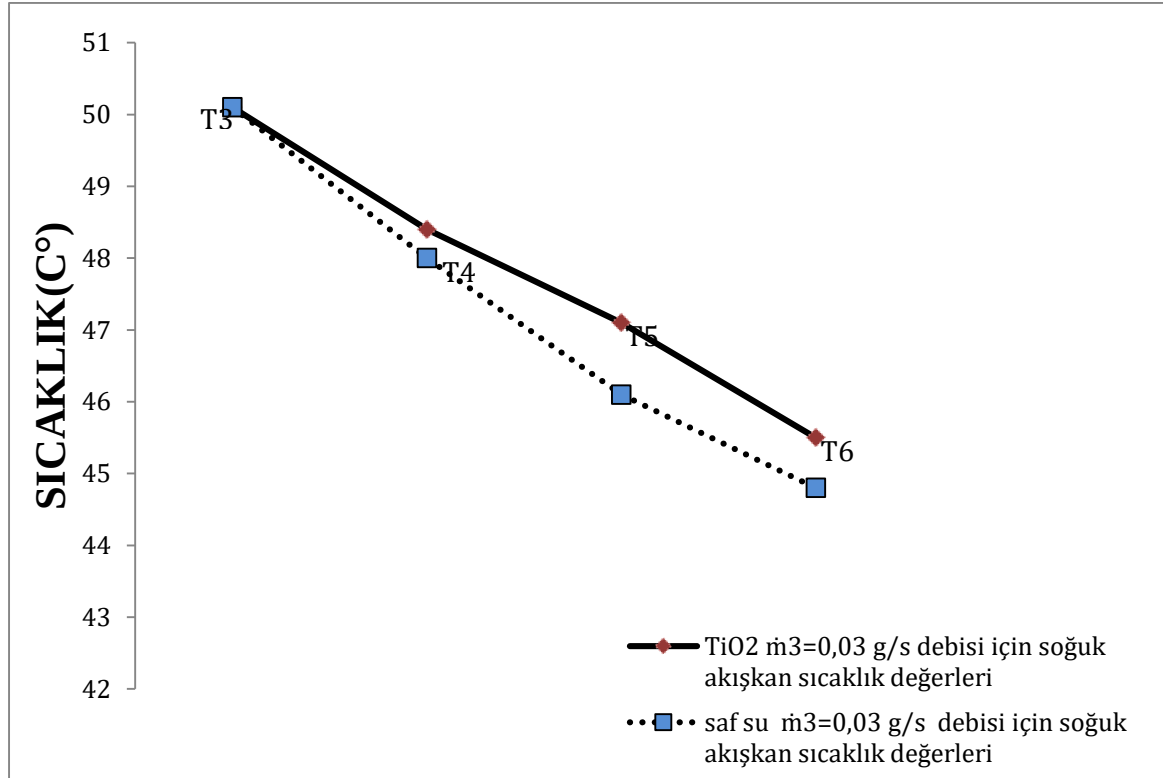


Şekil 6.3. Paralel akışlı ısı değiştiricide $\dot{m}_2=0,02$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı

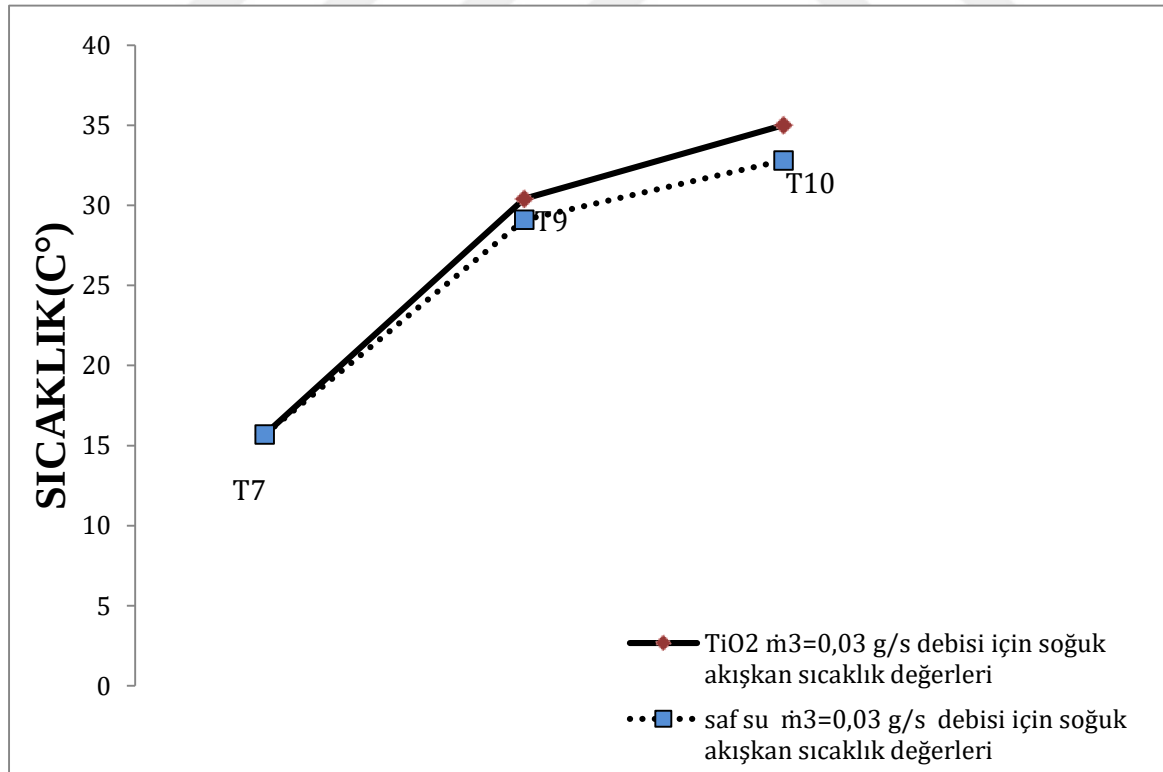


Şekil 6.4. Paralel akışlı ısı değıştircide $\dot{m}_2=0,02$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı

Soğuk akışkan debisi $\dot{m}_3=0,03$ g/s değerine getirildiğinde Şekil 6.5.'de görüldüğü gibi saf su sıcak akışkan sıcaklığındaki değışim (T_3-T_6) $5,3^\circ\text{C}$ ölçülürken, aynı debide nanoakışkan sıcak akışkanının sıcaklığındaki fark (T_3-T_6) $4,6^\circ\text{C}$ ölçülmüştür. Şekil 6.6.'da ise $\dot{m}_3=0,03$ g/s için saf su sıcak akışkanın kullanıldığı deneyde soğuk akışkan sıcaklık değışimi ($T_{10}-T_7$) $17,1^\circ\text{C}$, TiO_2 -su nanoakışkan sıcak akışkan kullanıldığında ise saf su soğuk akışkan giriş ve çıkış sıcaklık farkı ($T_{10}-T_7$) değeri $19,3^\circ\text{C}$ olarak elde edilmiştir.

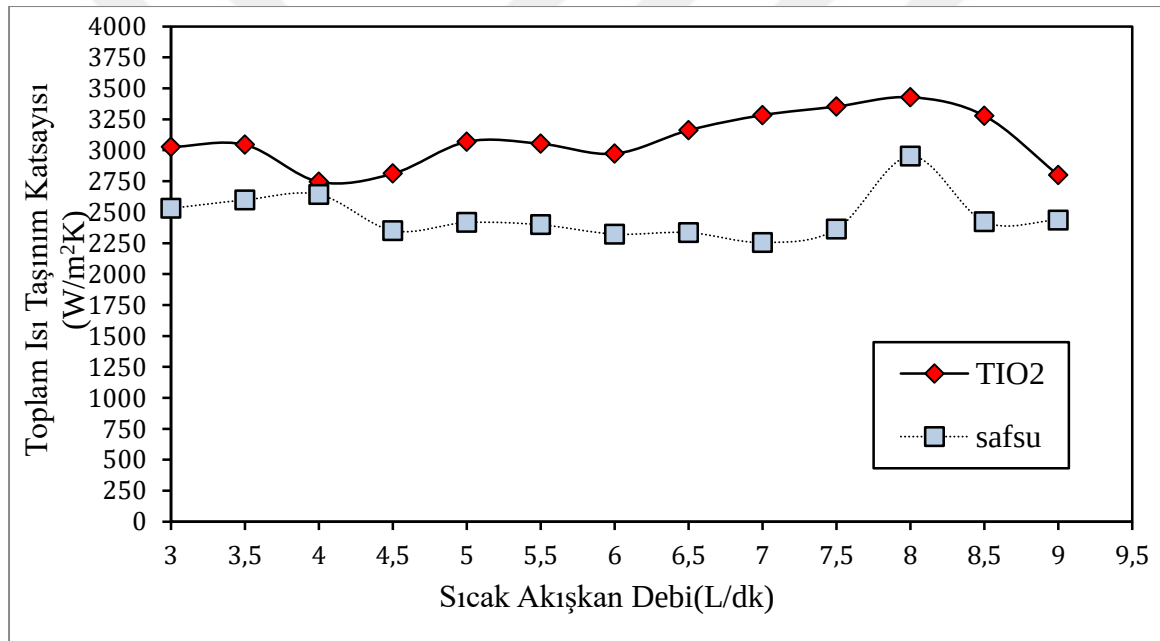


Şekil 6.5. Paralel akışlı ısı değıştircide $m_3=0,03$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı



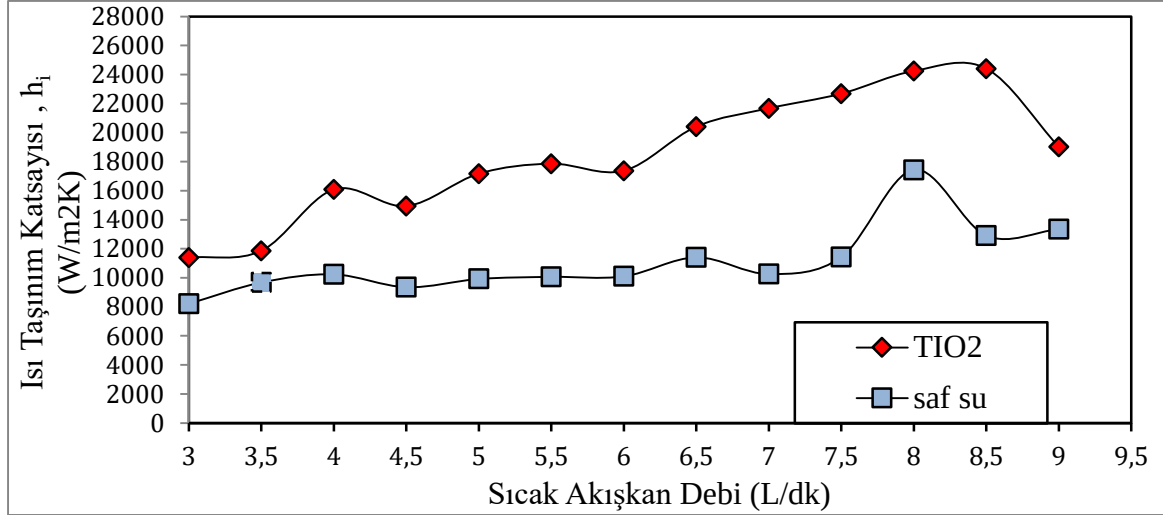
Şekil 6.6. Paralel akışlı ısı değıştircide $m_3=0,03$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 6.1., Şekil 6.2., Şekil 6.3., Şekil 6.4., Şekil 6.5. ve Şekil 6.6 grafiklerinde çıkan sonuçlar incelendiğinde TiO_2 -su nanoakışkan sıcak akışkan olarak kullanıldığında, saf suya göre daha düşük sıcaklık değişimiyle soğuk akışkan saf suyun sıcaklığını daha fazla arttırmıştır. Bu sonuç bize nanoakışkanların daha iyi bir ısı kapasiteye sahip olduğunu yani ısıyı daha iyi depoladığını ve ayrıca ısıyı daha iyi ileterek soğuk akışkanın sıcaklığını daha fazla arttırdığını göstermiştir. Deney düzeneği paralel akış şartlarında çalışırken elde edilen sıcaklık değerleriyle Eş. 5.10. kullanılarak toplam ısı transfer katsayısı, $U(\text{W/m}^2\text{K})$ değerleri değişen sıcak akışkan debilerinde (3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5 ve 9 L/dk) sabit soğuk akışkan debisinde her iki sıcak akışkan için hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 6.7.'de grafik halinde gösterilmiştir.



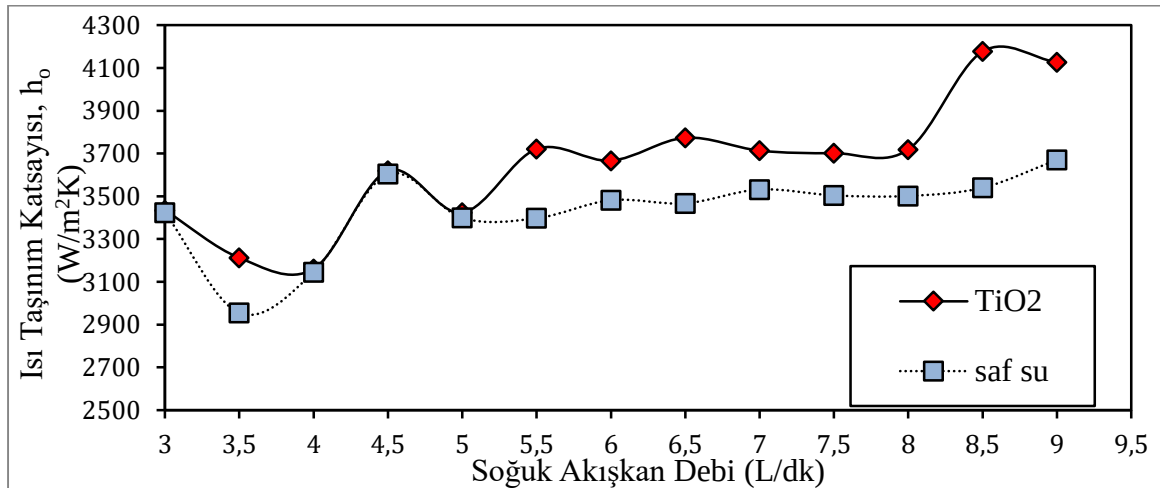
Şekil 6.7. Paralel akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre toplam ısı taşınım katsayısı değerleri

Şekil 6.7. incelendiğinde her bir değişen debi için toplam ısı transferi katsayısının nanoakışkan kullanılması halinde saf suya göre arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek değer artışı %45 ile $\dot{m}_7=7$ L/dk debisi için elde edilmiştir. Tüm deneylerde elde edilen ortalama verim artışı ise %17 olmuştur. Eş. 5.8.'de bulunan h_i değeri denklemden çekilerek paralel akım şartlarında sıcak akışkanın geçtiği iç boru yüzeyinin sıcak akışkan ile yaptığı ısı transferi katsayısı her bir deney için saf su ve nanoakışkan sıcak akışkanlarına göre hesaplanmış ve Şekil 6.8.'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Paralel akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_i) değerleri

Şekil 6.8. incelendiğinde sıcak akışkan olarak nanoakışkan kullanılması ısı değiştiricinin iç boru yüzeyi ile sıcak akışkan arasındaki ısı taşınım katsayısını saf su sıcak akışkanına göre yüksek oranda arttırmıştır. Bu verim artışı en yüksek değerine %65 ile $m_{7,5}^{\cdot}=7,5$ L/dk debisinde ulaşmıştır. Tüm debiler için ortalama %38'lik bir değer artışı hesaplanmıştır. Şekil 6.9.'da ise soğuk akışkan saf suyun her iki sıcak akışkan için paralel akış şartlarında ısı değiştiricinin dış boru yüzeyinden aldığı ısı miktarına bağlı olarak elde edilen h_o ısı taşınım katsayısı gösterilmiştir.



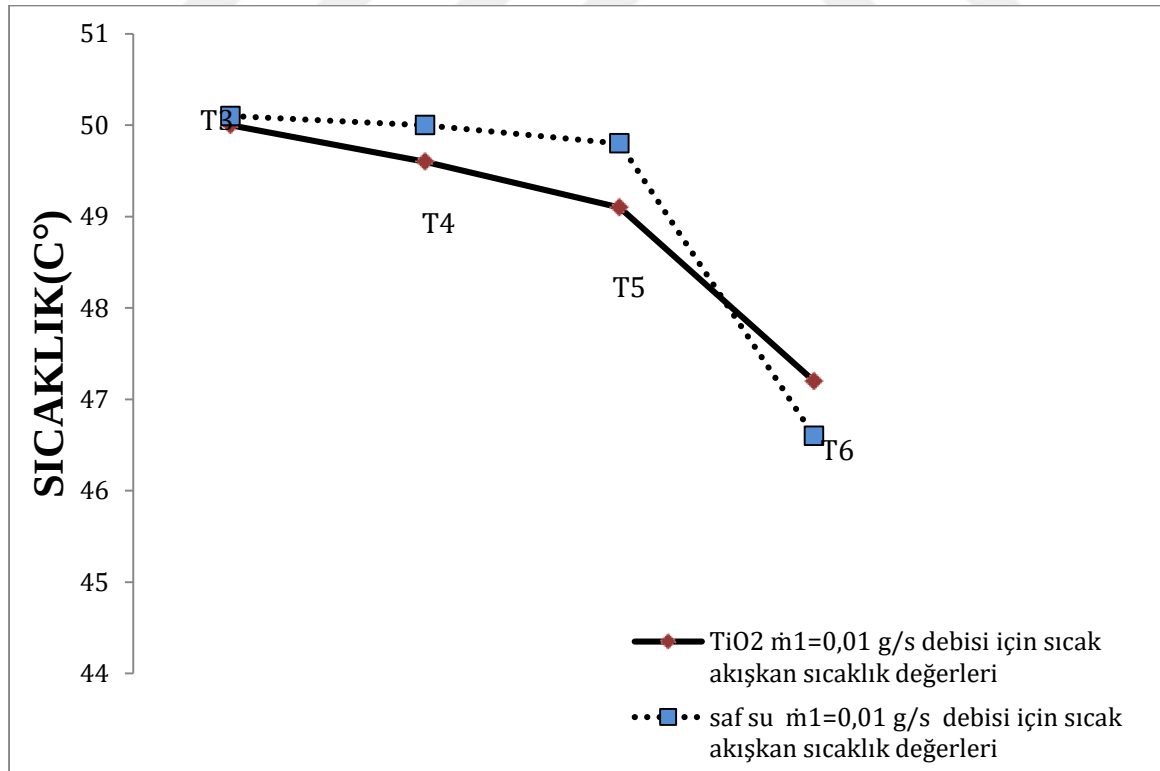
Şekil 6.9. Paralel akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_o) değerleri

Şekil 6.9. incelendiğinde sıcak akışkan olarak nanoakışkan kullanıldığında soğuk akışkan saf suyun iç borunun dış yüzeyiyle yaptığı ısı transferi sırasında oluşan ısı taşınım katsayısı h_0 değerinin sıcak akışkan olarak saf su kullanılması durumunda oluşan değerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu oran $\dot{m}_{8,5}=8,5$ L/dk debisinde %11 ile en yüksek orana ulaşmıştır. Tüm deneyler baz alındığında ise ortalama artış değeri %3 civarındadır.

6.2.2. Zıt akışta çalıştırılan deney düzeneği için sonuçlar

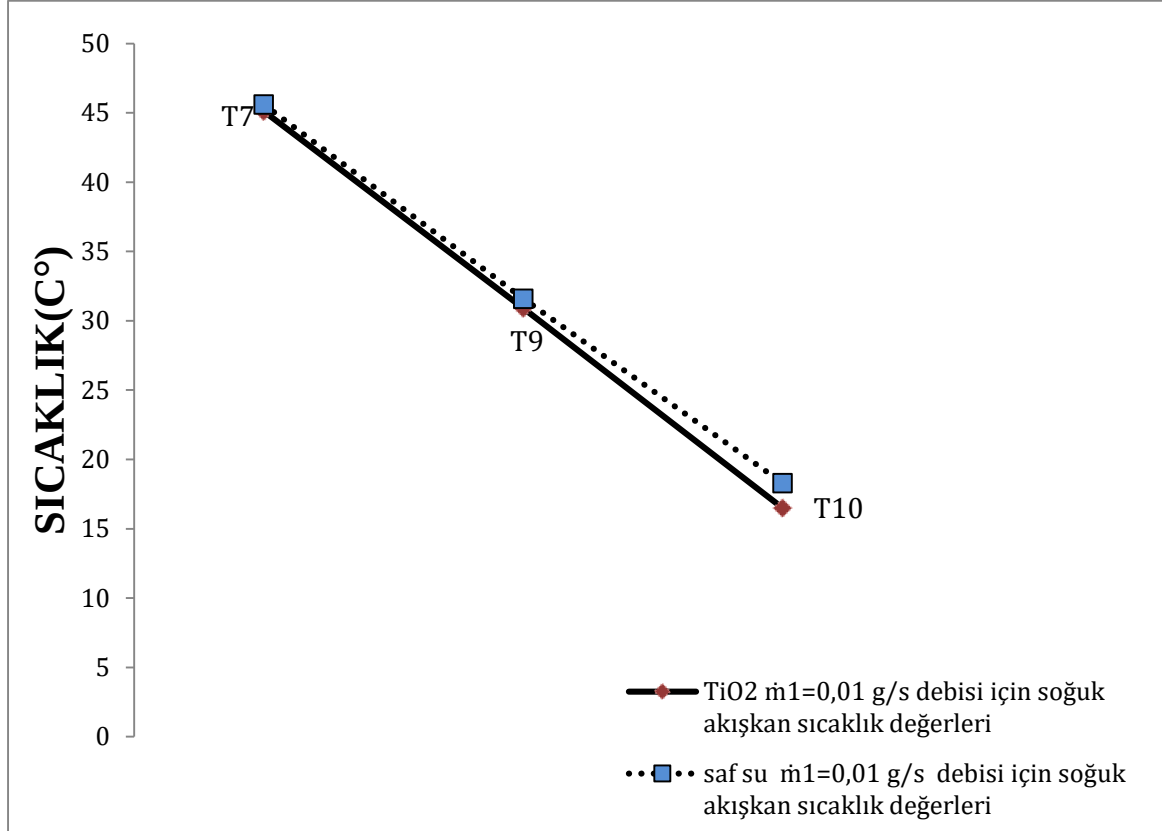
Deney düzeneği zıt akış şartlarına uygun hale getirilerek ısı değiştirici tekrar çalıştırılmıştır. Paralel akış için yapılan ölçümler zıt akış şartları için tekrarlanmış ve grafikler elde edilmiştir.

Şekil 6.10. incelendiğinde, zıt akış şartlarında $\dot{m}_1=0,01$ g/s debi değeri için sıcak akışkan saf su kullanıldığında giriş ve çıkış sıcaklık farkı (T_3-T_6), $3,5^\circ\text{C}$ elde edilmiştir. Aynı debide TiO_2 -saf su nanoakışkan sıcak akışkan kullanıldığında ise giriş ve çıkış sıcaklık farkı (T_3-T_6) $2,8^\circ\text{C}$ elde edilmiştir.



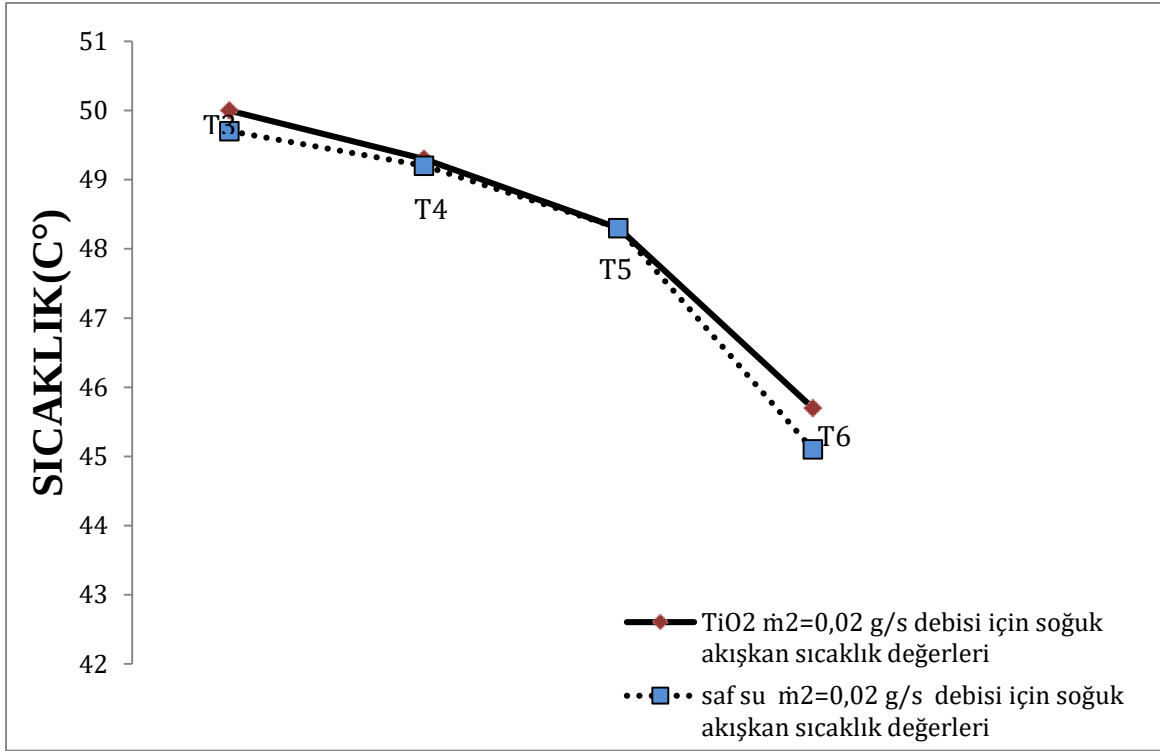
Şekil 6.10. Zıt akışlı ısı değiştiricide $\dot{m}_1=0,01$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 6.11.'de ise $\dot{m}_1=0,01$ g/s debi değeri için saf su sıcak akışkanı kullanıldığında soğuk akışkan saf suyun ısı değiştiriciye giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı (T_7-T_{10}) değeri $27,3^\circ\text{C}$ ölçülmüştür. Aynı debide ısı değiştiricide deney nanoakışkanı kullanıldığında ise (T_7-T_{10}) değeri $28,6^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür.

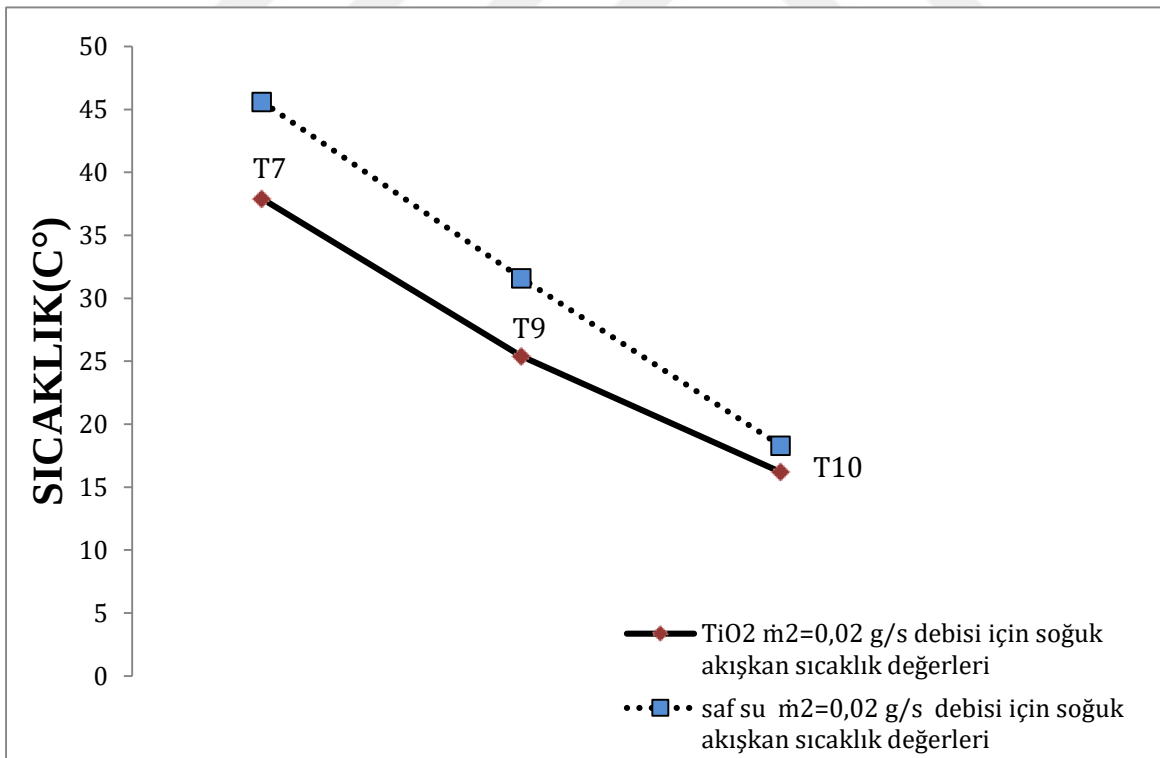


Şekil 6.11. Zıt akışlı ısı değiştiricide $\dot{m}_1=0,01$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 6.12. incelendiğinde, zıt akış şartlarında $\dot{m}_2=0,02$ g/s debi değeri için sıcak akışkan saf su kullanıldığında giriş ve çıkış sıcaklık farkı (T_3-T_6), $4,6^\circ\text{C}$ elde edilmiştir. Aynı debide TiO_2 -saf su nanoakışkanı sıcak akışkanı kullanıldığında ise giriş ve çıkış sıcaklık farkı (T_3-T_6) $4,3^\circ\text{C}$ elde edilmiştir. Şekil 6.13.'te görülen soğuk akışkan sıcaklık dağılımları incelendiğinde ise $\dot{m}_1=0,02$ g/s debi değeri için saf su sıcak akışkanı kullanıldığında soğuk akışkan saf suyun ısı değiştiriciye giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı (T_7-T_{10}) değeri $21,3^\circ\text{C}$ hesaplanmıştır. Aynı debi değerinde ısı değiştiricide TiO_2 nanoakışkanı kullanıldığında ise (T_7-T_{10}) değeri $21,7^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.



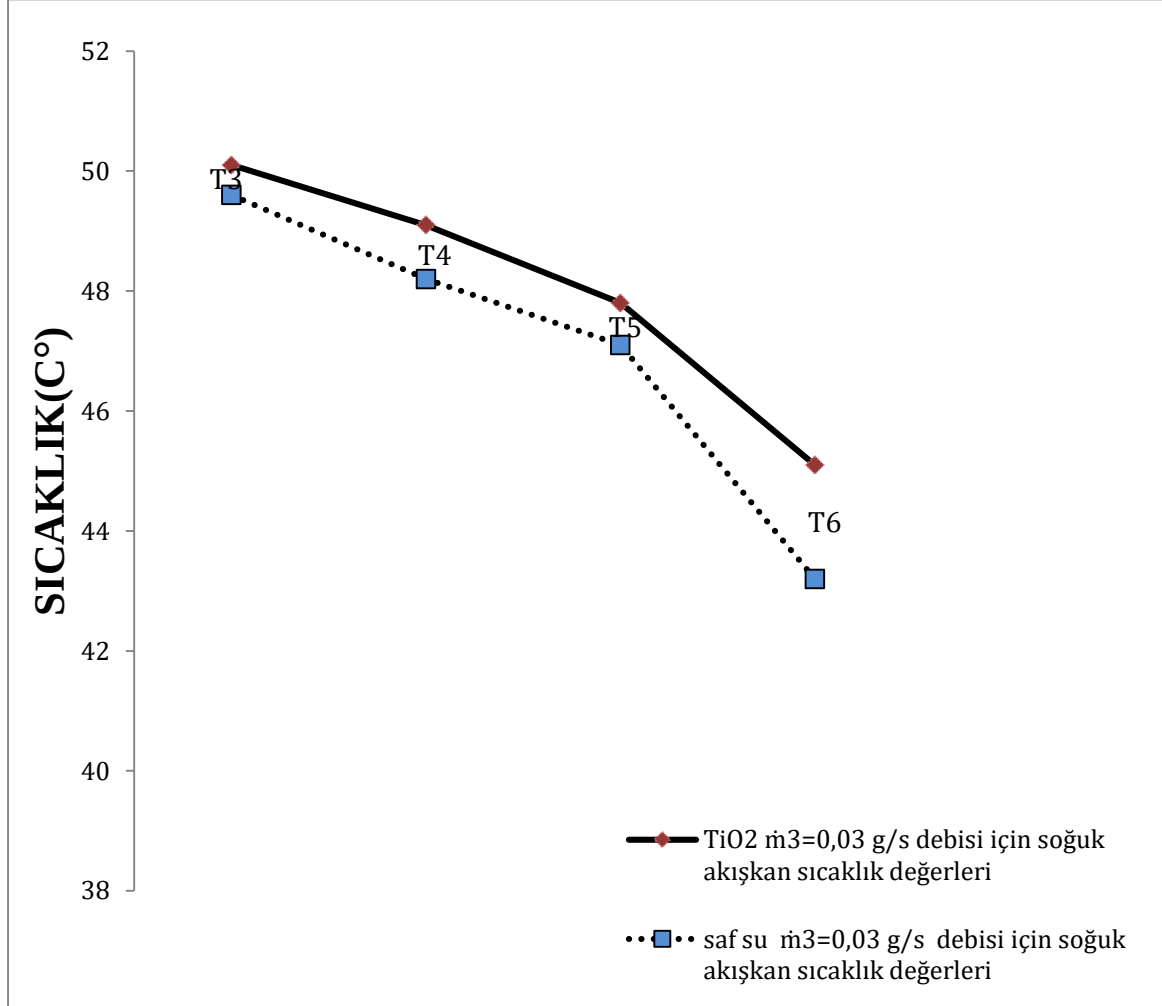
Şekil 6.12. Zıt akışlı ısı değıştiricide $\dot{m}_2=0,02$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı



Şekil 6.13. Zıt akışlı ısı değıştiricide $\dot{m}_2=0,02$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı

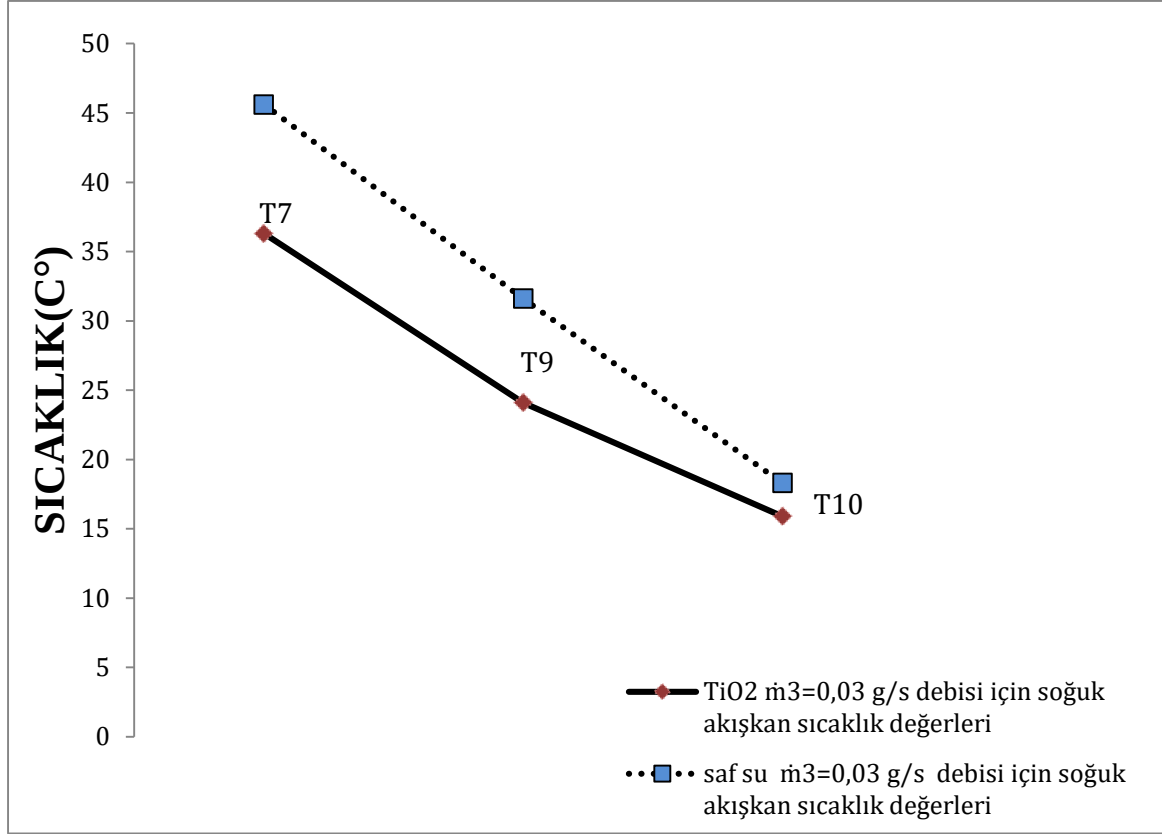
Şekil 6.14.'te verilen grafik sonuçlarında zıt akış şartlarında $\dot{m}_1=0,03$ g/s debi değeri için sıcak akışkan saf su kullanıldığında giriş ve çıkış sıcaklık farkı (T_3-T_6), 5°C elde edilmiştir.

Aynı debi değeri için TiO_2 -saf su nanoakışkanı sıcak akışkanı kullanıldığında ise giriş ve çıkış sıcaklık farkı (T_3-T_6) $6,4^\circ\text{C}$ elde edilmiştir.



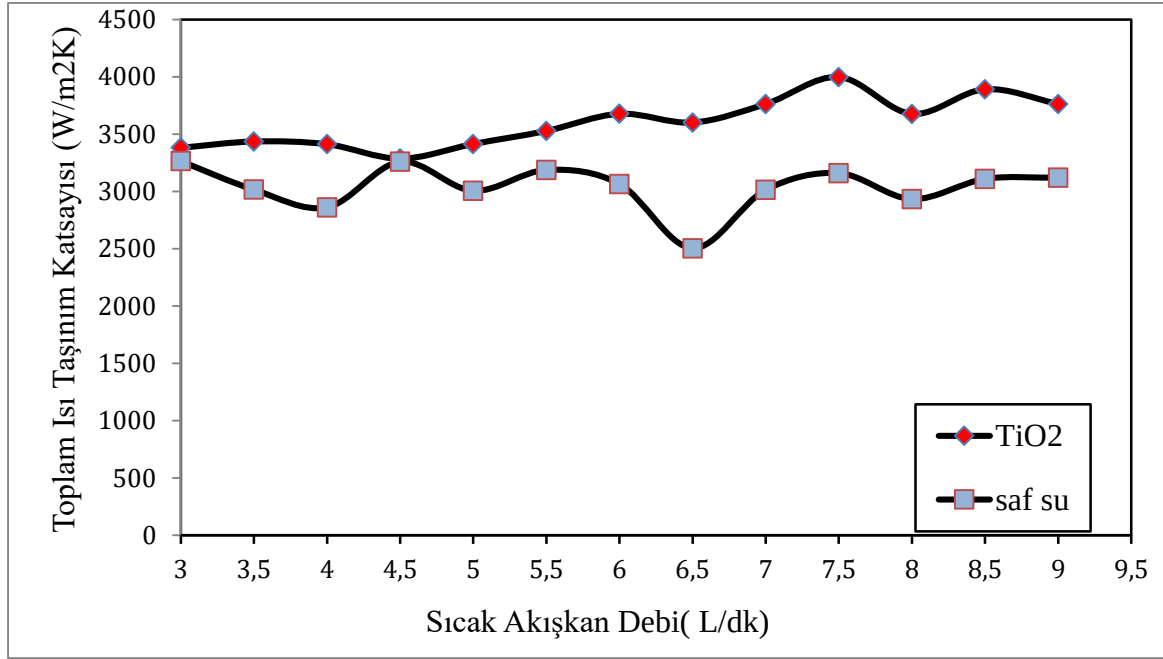
Şekil 6.14. Zıt akışlı ısı değiştiricide $\dot{m}_3=0,03$ g/s için sıcak akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 6.15.'de verilen grafiğe göre verilen soğuk akışkan sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Diğer zıt akım şartlarında olduğu gibi deney düzeneğinin sıcak akışkan değeri 8 L/dk sabit değerinde iken $\dot{m}_3=0,03$ g/s soğuk akışkan saf su debi değeri için ölçüm değerleri grafikte gösterilmiştir. Saf su sıcak akışkanı kullanıldığında soğuk akışkan saf suyun ısı değiştiriciye giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı (T_7-T_{10}) değeri $18,8^\circ\text{C}$ hesaplanmıştır. Debi değerleri sabit tutularak ısı değiştiricinin sıcak akışkan kısmında saf su yerine TiO_2 nanoakışkanı kullanıldığında ise (T_7-T_{10}) değeri $20,4^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.



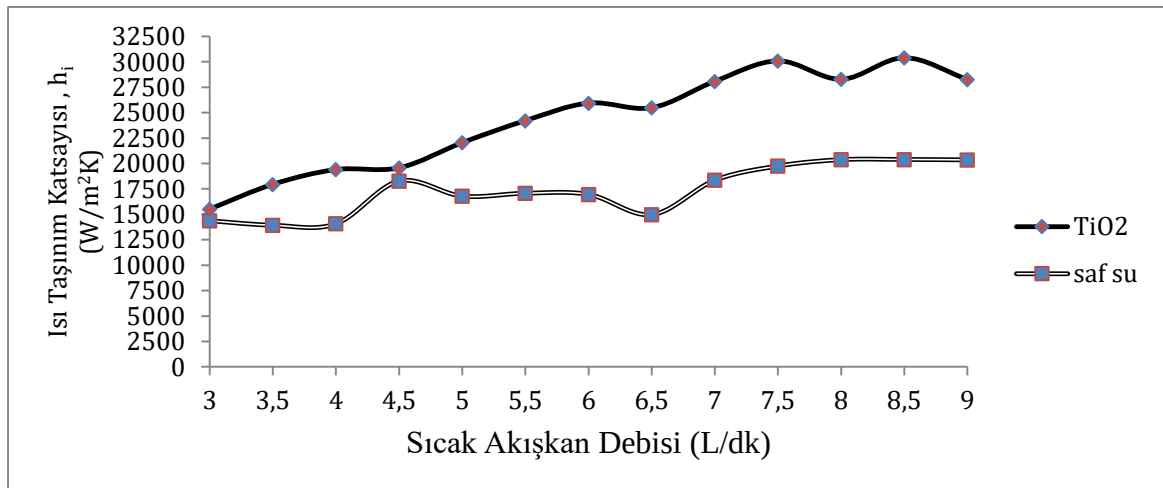
Şekil 6.15. Zıt akışlı ısı değiştiricide $\dot{m}_3=0,03$ g/s için soğuk akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 6.10., Şekil 6.11., Şekil 6.12., Şekil 6.13., Şekil 6.14. ve Şekil 6.15. grafikleri incelendiğinde her bir debi şartı için TiO_2 -su nanoakışkanını sıcak akışkan olarak kullanması saf suya göre daha düşük sıcaklık değişimi gözlemlenmesine rağmen soğuk akışkan saf suyun sıcaklığı daha fazla arttırmıştır. Bu sonuç bize nanoakışkanların daha iyi bir ısı kapasiteye sahip olduğunu, ısıyı daha iyi depoladığını göstermektedir. Nanoakışkanın saf suya göre daha iyi ısıyı depolaması yanında soğuk akışkan saf suyun sıcaklığını daha fazla arttırması nanoakışkanın ısı iletkenlik performansının saf suya göre daha iyi olduğunun kanıtıdır. Deney düzeneği zıt akış şartlarında çalıştırılmaya devam edilmiştir. Değişen debilere göre elde edilen sıcaklık değerleriyle Eş. 5.10. kullanılarak toplam ısı transfer katsayısı, $U(\text{W/m}^2\text{K})$ değerleri hesaplanmıştır. Değişen sıcak akışkan debilerinde (3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5 8,0; 8,5 ve 9 L/dk) sabit soğuk akışkan debisi ($\dot{m}_1=0,01$ g/s) her iki sıcak akışkan için hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 6.16.'da grafik halinde gösterilmiştir. Grafikte y- ekseninde toplam ısı taşınım katsayısı değerleri yer alırken; x- ekseninde ise değişen debi değerleri L/dk cinsinden verilmiştir.



Şekil 6.16. Zıt akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre toplam ısı taşınım katsayısı değerleri

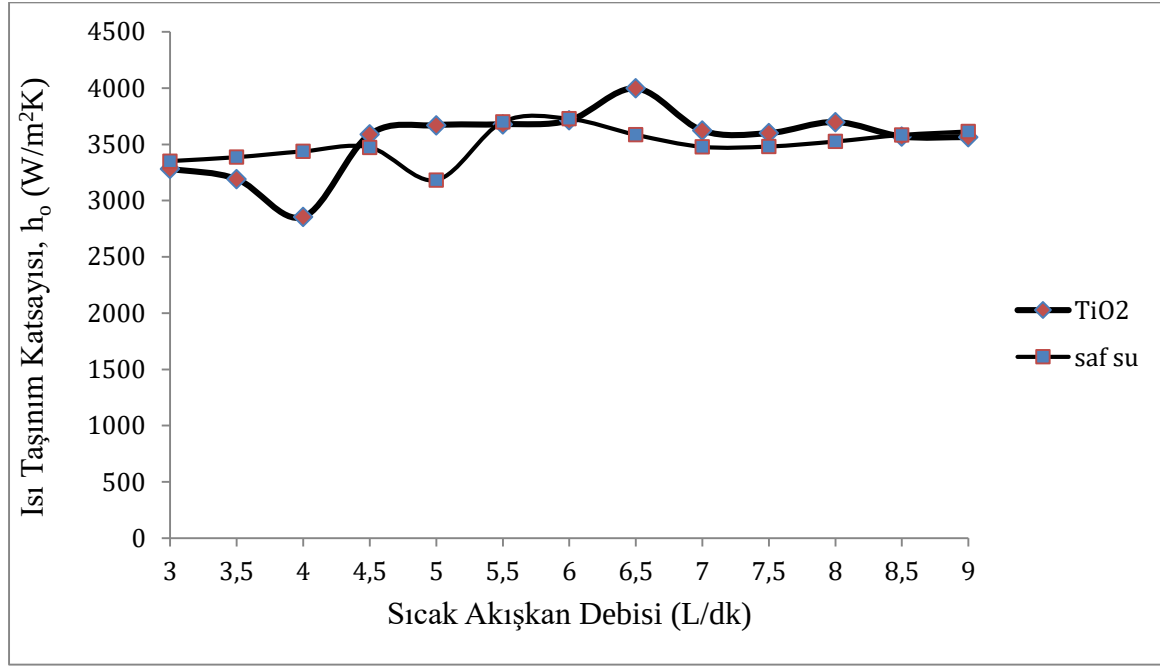
Toplam ısı taşınım katsayısı değerleri zıt akış şartları için incelendiğinde sıcak akışkan olarak nanoakışkan kullanılması durumunda sıcak akışkan saf suya göre artış sağlandığını göstermiştir. Bu artış değeri ortalama %12 olmakla beraber en yüksek artış %33 ile $m_{6,5}=6,5$ L/dk debisi için elde edilmiştir.



Şekil 6.17. Zıt akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_i) değerleri

Eş. 5.8.'deki h_i değeri zıt akım şartlarında sıcak akışkanın geçtiği iç boru yüzeyinin sıcak akışkan ile yaptığı ısı transferi katsayısı her bir deney için saf su ve nanoakışkan sıcak

akışkanlarına göre hesaplanmış ve Şekil 6.17.'de verilmiştir. Şekil 6.17. incelendiğinde sıcak akışkan olarak nanoakışkan kullanılması ısı değiştiricinin iç boru yüzeyi ile sıcak akışkan arasındaki ısı taşınım katsayısını saf su sıcak akışkanına göre yüksek oranda arttırmıştır. Bu verim artışı en yüksek değerine %50 ile $m_{6,5}=6,5$ L/dk debisinde ulaşmıştır. Tüm debiler için ortalama %26'lık bir değer artışı hesaplanmıştır.



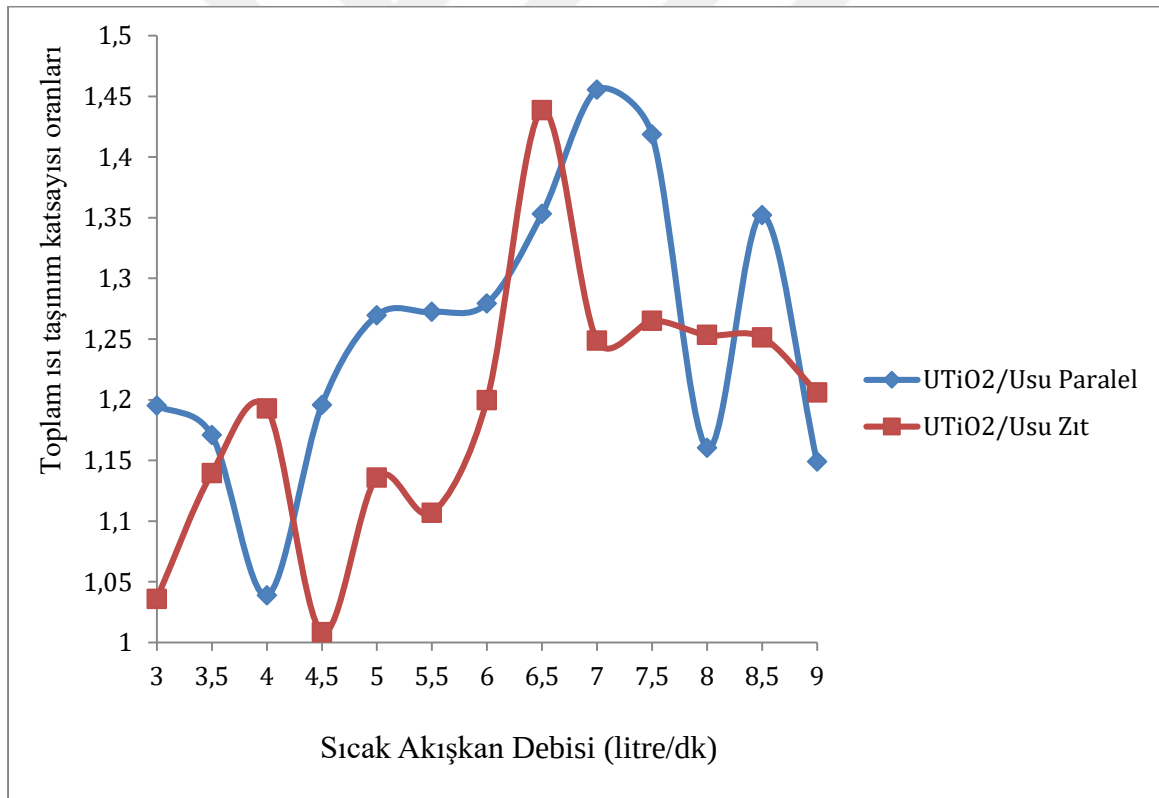
Şekil 6.18. Zıt akışlı ısı değiştiricide değişen sıcak akışkan debilerine göre ısı taşınım katsayısı(h_0) değerleri

Şekil 6.18. incelendiğinde sıcak akışkan olarak nanoakışkan kullanıldığında soğuk akışkan saf suyun iç borunun dış yüzeyiyle yaptığı ısı transferi sırasında oluşan ısı taşınım katsayısı h_0 değerinin sıcak akışkan olarak saf su kullanılması durumunda oluşan değerle hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Bazı debiler için saf su sıcak akışkanı daha yüksek değerde iken bazı debilerde nanoakışkan değeri daha yüksektir. Ortalama artış değeri incelendiğinde ise %1,1 oranında nanoakışkan kullanımında nispeten bir artış gözükmektedir.

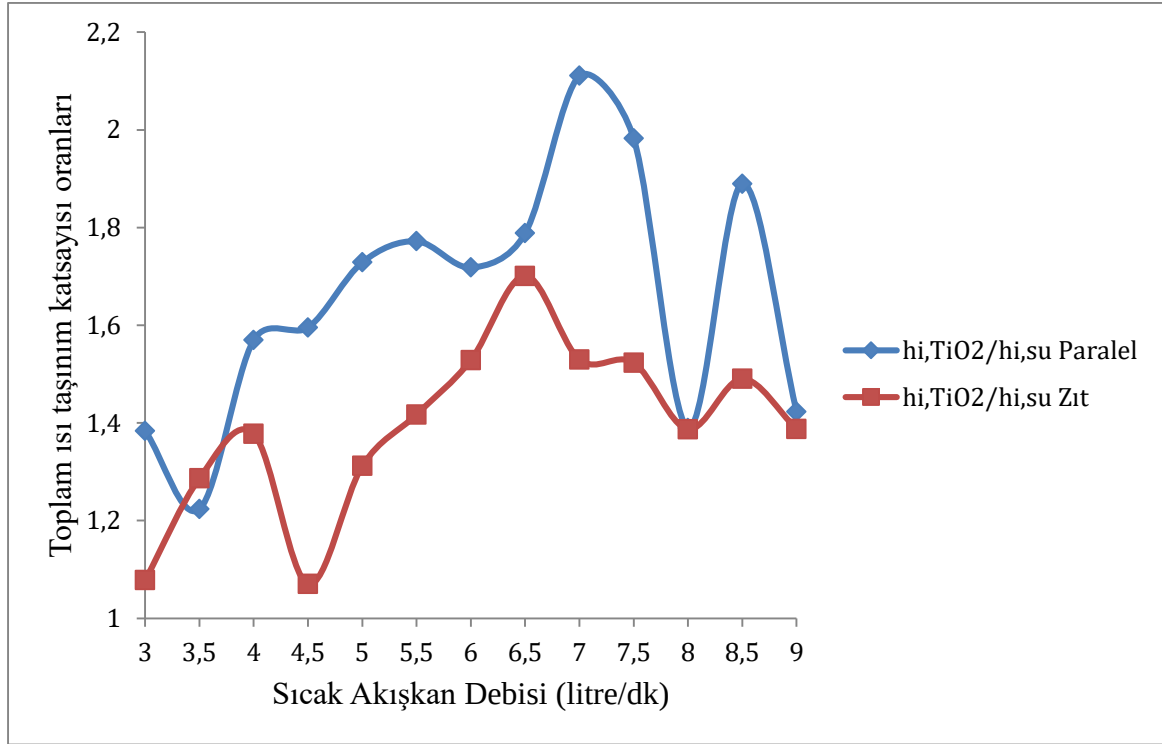
6.3. Paralel Akış ve Zıt Akış Performanslarının Karşılaştırılması

Toplam ısı taşınım katsayısı, sıcak akışkan ısı taşınım katsayısı ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısı değerleri sıcak akışkan olarak nanoakışkan kullanımında saf suya oranla artış gösterse de bu artış oranları akışın yönüne göre değişkenlik göstermektedir. Bu farkı

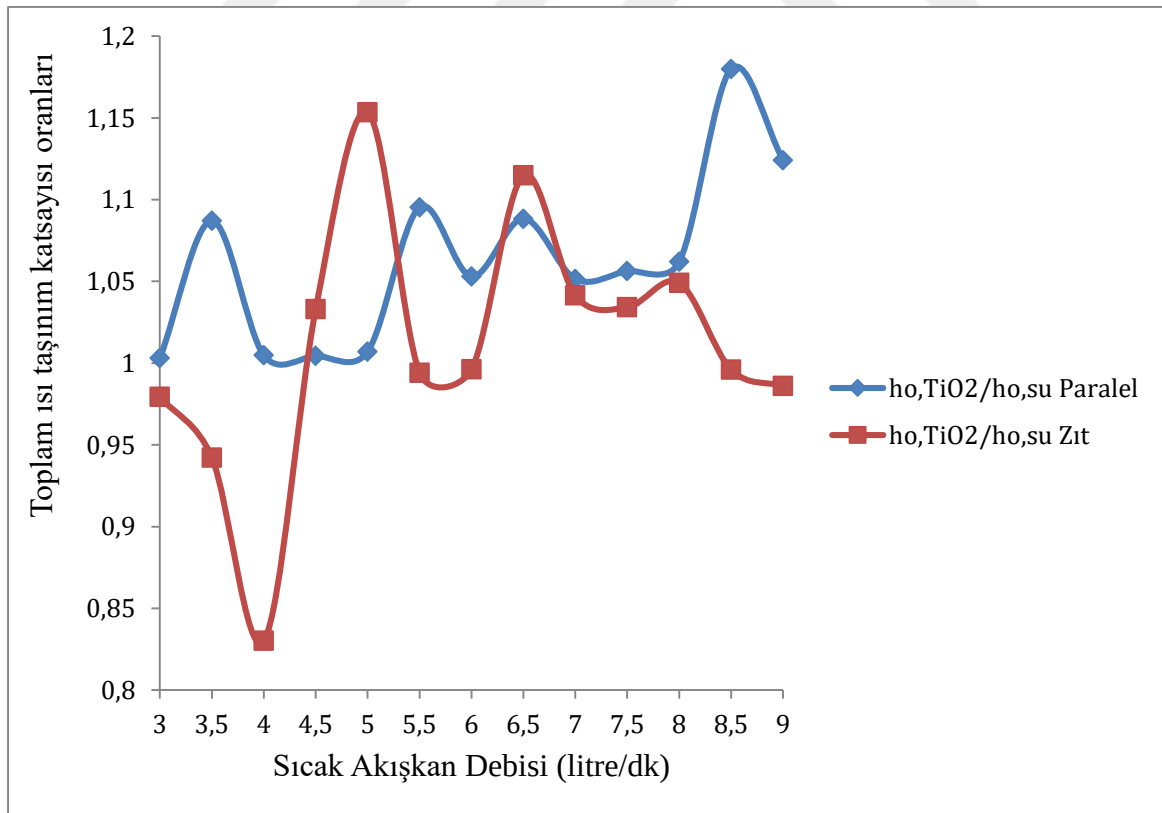
incelemek ve hangi akış yönünün daha iyi performans gösterdiğini anlamak için her bir deney sonucu elde edilen U değerleri (U_{TiO_2}/U_{su}) parametresine çevrilerek paralel ve zıt akış için Şekil 6.19.'da gösterilmiştir. Aynı mantıkla hareketle farklı akış şartları için oluşturulan oransal değerler ($h_{i,TiO_2}/h_{i,su}$) ve ($h_{o,TiO_2}/h_{o,su}$) Şekil 6.20. ve Şekil 6.21.'de gösterilmiştir. Şekil 6.19. incelendiğinde toplam ısı taşınım katsayısı U değeri paralel akışta 1,05-1,45 arasında, zıt akış için ise 1,0-1,45 arasında değişmektedir. Benzer şekilde Şekil 6.20. incelendiğinde sıcak akışkan ısı taşınım katsayısı paralel akış için 1,2-2,1 arasında, zıt akış için ise 1,0-1,65 arasında değişim göstermiştir. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısı oranlarında da diğer grafiklerde olduğu gibi paralel akışta 1,0-1,2 arasında değişirken, zıt akış şartlarında 0,85-1,1 ile daha düşük seviyede kalmıştır. Tüm grafiklerdeki ısıl iyileşmeler birlikte değerlendirildiğinde paralel akış şartlarında nanoakışkanın daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6.19. Paralel ve zıt akıştaki U_{TiO_2}/U_{su} oranlarının değerleri



Şekil 6.20. Paralel ve zıt akıştaki $h_{i,TiO_2}/h_{i,su}$ oranlarının değerleri



Şekil 6.21. Paralel ve zıt akıştaki $h_{o,TiO_2}/h_{o,su}$ oranlarının değerleri

6.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın genel amacı, ısı değiştiricilerde geleneksel olarak kullanılan temel sıvıların (su, etilen ve antifiriz gibi) nanopartikül ilavesi ile ısı performanslarını arttırmaktır. Bu amaç doğrultusunda iç içe borulu eş merkezli ısı değiştiricisi tercih edilmiştir. Bu tercihin temel sebeplerinden biri bu tip ısı değiştiricilerin yapılarının basit, maliyetlerinin düşük ve en önemli etken olarak ısı hesaplarının kolaylıkla yapılabilmesidir. Bu tercih sonucunda kurulan deney düzeneği paralel ve zıt akış şartlarını sağlayabilecek özelliğe sahiptir. Bu sayede kullanılan nanoakışkanın paralel ve zıt akış şartlarına göre değişen ısı performanslarını karşılaştırmak mümkün olmuştur. Deney düzeneğinde soğuk akışkan olarak saf su tercih edilirken sıcak akışkan olarak TiO₂-su nanoakışkanı ve saf su tercih edilmiştir. Düzenekte sıcak akışkan iç borudan geçirilirken soğuk akışkan iç boru ile dış boru arasındaki alandan geçirilmiştir. Bu tercihin yapılmasındaki en büyük etmen ısı performansı incelenecek olan sıcak akışkanın dış ortamla yapacağı ısı transferinin minimum düzeye indirmektir.

Deneyler öncelikle sabit sıcak akışkan debisine ($\dot{m}_1=8$ L/dk) karşılık, değişen soğuk akışkan debilerinde ($\dot{m}_1=0,01$ g/s, $\dot{m}_2=0,02$ g/s, $\dot{m}_3=0,03$ g/s) her iki akış durumunda gerçekleştirilmiştir. TiO₂-su nanoakışkanı paralel akış şartlarında her bir debide sıcak suya oranla daha az sıcaklık farkı ile soğuk akışkanın sıcaklığını daha çok arttırmıştır. Bu durum daha öncede bahsedildiği gibi nanoakışkan kullanımının ısı kapasiteyi ve ısı iletkenliği arttırdığının kanıtıdır. Aynı durum zıt akış şartlarında da mevcuttur.

Çalışmada aynı zamanda ısı taşınım katsayıları incelenmiştir. Sabit soğuk akışkan debisine ($\dot{m}_1=0,01$ g/s) karşılık değişen sıcak akışkan debilerinde toplam ısı taşınım katsayısı incelenmiştir. Paralel akış için suya oranla nanoakışkanın ısı değerinin en yüksek olduğu debi %45 ile $\dot{m}_7=7$ L/dk debisi olmuştur. Tüm debilerde elde edilen ortalama verim artışı ise %17 'dir. Zıt akış için ise toplam ısı taşınım katsayısı ortalama %12 olmakla beraber en yüksek artış %33 ile $\dot{m}_{6,5}=6,5$ L/dk debisi için elde edilmiştir. Deney sonuçlarıyla hesaplanan sıcak akışkanın iç borunun iç yüzeyine yaptığı ısı transferinde meydana gelen sıcak akışkan ısı transferi katsayısı, h_i nanoakışkan kullanımında saf suya oranla paralel akış şartlarında en yüksek değerine %65 ile $\dot{m}_{7,5}=7,5$ L/dk debisinde ulaşmıştır. Ortalama değer artışı ise %38 olarak hesaplanmıştır. Aynı değer zıt akış şartlarında ise en yüksek değerine %50 ile $\dot{m}_{6,5}=6,5$ L/dk debisinde ulaşmıştır. Ortalama artış ise %26

olarak hesaplanmıştır. Deneylerde soğuk akışkana ait ısı transfer katsayısı, h_o incelendiğinde paralel akışta ortalama %3 artışla bir miktar iyileşme sağlanırken zıt akışta soğuk akışkan saf suyun ısı transfer katsayısında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Deneyler sonucu elde edilen U , h_i , h_o değerlerinin paralel ve zıt akışta saf su ve TiO_2 nanoakışkan için elde edilen değerlerin birbirine bölünmesiyle elde edilen katsayı iki farklı akış tipini kıyaslamak için grafiklendirilmiştir. Grafik sonucunda bu tip ısı değiştiricilerde paralel akış şartlarında elde edilen ısı performans değerlerinin zıt akışa göre üstün olduğu görülmüştür.

6.5. Öneriler

Bu çalışmada kullanılan nanoakışkanın içindeki su-nanopartikül derişim oranı sabittir. Ayrıca kullanılan nanopartiküllerin tanecik boyutları 40-50 nm aralığındadır. Tanecik boyutlarını değiştirerek yapılacak olan deneyler sayesinde tanecik boyutunun ısı performansına etkisi incelenebilir. Bunun yanı sıra aynı tip nanoakışkan içersindeki derişim oranında değiştirilerek ısı performansına etkisi araştırılabilir. Nanoakışkanların daha kolay ve daha az maliyetle elde edilmeye başlanmasıyla bu tip çalışmaların artacağı öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

1. Aydin, M. (2016). Enerji verimliliğinin sürdürülebilir kalkınmadaki rolü: Türkiye değerlendirmesi/the role of energy efficiency on sustainable development: Evaluation of Turkey. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28), 409.
2. İnternet: World Energy Council (2013), World Energy Resources 2013 Surgey. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.worldenergy.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F09%2FComplete_WER_2013_Survey.pdf&date=2018-04-20, Son Erişim Tarihi: 01.03.2018.
3. SU, S.C. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, developments and applications of non-Newtonian flows. *The American Society of Mechanical Engineers Fluids Engineering Division*, 105(99), 231.
4. Maxwell, J.C. (1873). *Treatise on electricity and magnetism*. Oxford: Clarendon Press.
5. Duangthongsuk, W. and Wongwises, S. (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO₂-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(1), 334-344.
6. Xuan, Y. and Li, Q. (2003). Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids. *Journal of Heat Transfer*, 125(1), 151-155.
7. Wen, D. and Ding, Y. (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(24), 5181-5188.
8. He, Y., Jin, Y., Chen, H., Ding, Y., Cang, D. and Lu, H. (2007). Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of TiO₂ nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(11), 2272-2281.
9. Nguyen, C. T. , Roy, G., Gauthier, C. and Galanis, N. (2007). Heat transfer enhancement using Al₂O₃-water nanofluid for an electronic liquid cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 27(8), 1501-1506.
10. Khedkar, R.S., Sonawane, S.S. and Wasewar, K.L. (2013). Water to Nanofluids heat transfer in concentric tube heat exchanger: Experimental study. *Procedia Engineering*, 51, 318-323.
11. 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.
12. Wang, X. Q. and Mujumdar, A. S. (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International Journal of Thermal Sciences*, 46(1), 1-19.
13. Turgut, A., Sağlanmak, Ş. and Doğanay, S. (2016). Nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozitesinin deneysel incelenmesi: tanecek boyutu etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 31(1), 95-103.

14. 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.
15. 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
16. Liao, D. L. and Liao, B. Q. (2007). Shape, size and photocatalytic activity control of TiO₂ nanoparticles with surfactants. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 187(2), 363-369.
17. Xie, H., Yu, W., Li, Y. and Chen, L. (2011). Discussion on the thermal conductivity enhancement of nanofluids. *Nanoscale Research Letters*, 6(1), 124.
18. Gürmen, S. and Ebin, B. (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. *Metalurji Dergisi*, 150, 31-38.
19. Benjamin, J. S. (1970). Dispersion strengthened superalloys by mechanical alloying. *Metallurgical Transactions*, 1(10), 2943-2951.
20. Mantey, K., Shams, S., Nayfeh, M. H., Nayfeh, O., Alhoshan, M. and Alrokayan, S. (2010). Synthesis of wirelike silicon nanostructures by dispersion of silicon on insulator using electroless etching. *Journal of Applied Physics*, 108(12), 124321.
21. Sen, P., Ghosh, J., Abdullah, A. and Kumar, P. (2003). Preparation of Cu, Ag, Fe and Al nanoparticles by the exploding wire technique. *Journal of Chemical Sciences*, 115(5), 499-508.
22. Ateş, H. and Bahçeci, E. (2015). Nano malzemeler için üretim yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(2), 483-499.
23. Alqudami, A., Annapoorni, S. and Shivaprasad, S.M. (2008). Ag-Au alloy nanoparticles prepared by electro-exploding wire technique. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(6), 1027-1036.
24. Jang, H. D., Hwang, D. W., Kim, D. P., Kim, H. C., Lee, B. Y. and Jeong, I. B. (2004). Preparation of cobalt nanoparticles by hydrogen reduction of cobalt chloride in the gas phase. *Materials Research Bulletin*, 39(1), 63-70.
25. Türker, M. (2002). Asal gaz yoğunlaştırma metodu ile nanoboyutlu Ag tozlarının üretimi ve özelliklerinin değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26, 147-154.
26. Sadeghzadeh-Attar, A., Sasani Ghamsari, M., Hajiesmaeilbaigi, F. and Mirdamadi, S. (2007). Template-based growth of TiO₂ nanorods by sol-gel process. *Semiconductor Physics Quantum Electronics and Optoelectronics*, 10(1), 36-39.
27. Chen, D. H. and He, X. R. (2001). Synthesis of nickel ferrite nanoparticles by sol-gel method. *Materials Research Bulletin*, 36(7), 1369-1377.
28. Gürmen, S. and Yazıcı, E. (2009). *Ultrasonik Sprey Piroliz Tekniğiyle Küresel Gümüş Nano-partiküllerinin Üretimi*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

29. Kammler, H. K., Mädler, L. and Pratsinis, S. E. (2001). Flame synthesis of nanoparticles. *Chemical Engineering and Technology*, 24(6), 583-596.
30. Johannessen, T., Jensen, J. R., Mosleh, M., Johansen, J., Quaade, U. and Livbjerg, H. (2004). Flame synthesis of nanoparticles: Applications in catalysis and product/process engineering. *Chemical Engineering Research and Design*, 82(11), 1444-1452.
31. Everett, D. H. (2007). *Basic principles of colloid science*. London: Royal Society of Chemistry.
32. İnternet: Yu, W., France, D. M., Choi, S. U. and Routbort, J. L. (2007). *Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ipd.anl.gov%2Fpubs%2F2007%2F05%2F59282.pdf&date=2018-04-20>, Son Erişim Tarihi: 01.03.2018.
33. Lo, C.H., Tsung, T.T. and Chen, L.C. (2005). Shape-controlled synthesis of Cu-based nanofluid using submerged arc nanoparticle synthesis system. *Journal of Crystal Growth*, 277(1), 636-642.
34. Bhogare, R. A. and Kothawale, B. S. (2013). A review on applications and challenges of nano-fluids as coolant in automobile radiator. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(8), 1-11.
35. Wong, K.V. and De Leon, O. (2010). Applications of nanofluids: current and future. *Advances in Mechanical Engineering*, 2, 519659.
36. Ma, H.B., Wilson, C., Yu, Q., Park, K., Choi, U.S. and Tirumala, M. (2006). An experimental investigation of heat transport capability in a nanofluid oscillating heat pipe. *Journal of Heat transfer*, 128(11), 1213-1216.
37. Das, S.K., Choi, S.U., Yu, W. and Pradeep, T. (2007). *Nanofluids: science and technology*. New Jersey: John Wiley and Sons, 337-349.
38. Shah, R. K. and Sekulic, D. P. (2003). *Fundamentals of heat exchanger design*. New Jersey: John Wiley & Sons, 5-60.
39. Genceli, O. F. (2005). *Isı değıştiricileri*. Ankara: Birsen Yayınevi, 10-30.
40. Lemouari, M. and Boumaza, M. (2010). Experimental investigation of the performance characteristics of a counterflow wet cooling tower. *International Journal of Thermal Sciences*, 49(10), 2049-2056.
41. Pantzali, M. N., Mouza, A. A. and Paras, S. V. (2009). Investigating the efficacy of nanofluids as coolants in plate heat exchangers (PHE). *Chemical Engineering Science*, 64(14), 3290-3300.
42. Pandey, S. D. and Nema, V. K. (2012). Experimental analysis of heat transfer and friction factor of nanofluid as a coolant in a corrugated plate heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 38, 248-256.
43. Khairul, M. A., Alim, M. A., Mahbubul, I. M., Saidur, R., Hepbasli, A. and Hossain, A. (2014). Heat transfer performance and exergy analyses of a corrugated plate heat

exchanger using metal oxide nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50, 8-14.

44. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı. Borulu Isı Değişiriciler. 2018-03-01. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdrive.google.com%2Ffile%2Fd%2F0B0jZ3Z62Gq2qdWI0eEZIWllKYWs%2Fview&date=2018-03-01>. Son Erişim Tarihi: 01.03.2018.
45. Baysal, E. (2008). Eşmerkezli boru tipli ısı değiştiricilerinde deneysel ve sayısal ısı transferi sonuçlarının karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 11(4), 345-352.
46. Aytaç, İ. (2014). *Eş merkezli iç içe borulu paralel ve karşıt akışlı ısı değiştiricilerde alümina nanoakışkan kullanılarak ısı performansın artırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Emre, EROL
Uyruğu : T.C.
Doğumtarihiveyeri : 20.10.1988, ANKARA
Medenihali : Evli
Telefon : 0(555) 3339955
E-Posta : emreerol1988@gmail.com



Eğitim

Derece	Okul/Program	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Enerji	2018- Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine	2012
Lise	Ankara Atatürk Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	TUSAŞ	Makine Mühendisi
2015-2018	Norm Makine Ltd. Şti.	Makine Mühendisi
2014-2015	Ortek Dizayn Proje Ltd. Şti.	Makine Mühendisi
2013-2014	Mass Makine A.Ş.	Makine Mühendisi
2012-2013	CC Makine Ltd Şti.	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Futbol, Puzzle yapmak, Sinema.



DİZİN

A

akışkan, 4, 5, 6, 13, 19, 20, 21,
23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 32,
33, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 43,
44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52,
54
alümina, 2

B

boru, xv, 34

D

debi, xv, 26, 31, 32, 33, 40, 43,
45, 46, 48, 49, 54
debiler, 44, 51
Deney, x, xi, 31, 32, 34

E

eş merkezli, xiv, 2

H

hata oranı, 37

I

ısı değiştirici, xi, xiv, xv, 33
ısı taşınım katsayısı, xii, xiii, 21,
35, 36, 43, 44, 45, 49, 50, 51,
52, 54

ısı iletkenlik, v, 3, 4, 5, 14, 16,
17, 23, 25, 49

İ

iyileştirme, 3, 18

K

Karşıt akışlı, xi, 3, 20
kolloid çözelti, 13

N

nano, v, vi, 5, 8, 9, 10, 13, 58

Ö

öğütme, viii, 8
Özet, v

P

Paralel, ix, xi, xii, xiii, 29, 30, 32,
35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44,
45, 52, 53, 54

R

rejeneratör, xi
Reküpaktif, 19

S

saf su, 3, 4, 31, 38, 40, 41, 43, 44,
45, 46, 48, 51, 54, 55
sıcak akışkan, v, xi, xii, xiii, 31,
32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 42,
43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50,
51, 52, 54
soğuk akışkan, v, xi, xii, xiii, 19,
24, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39,
40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47,
48, 49, 51, 52, 54
Soğutma, 20

T

TiO₂, 2, 3, v, vi, xiii, 2, 3, 6, 7, 14,
25, 31, 38, 41, 43, 45, 46, 48,
49, 52, 53, 54, 55

Ü

Üretim, viii, 7, 11, 13, 57

Y

yoğunlaştırma, viii, 11, 12, 57

Z

Zıt akışlı, xii, xiii, 45, 46, 47, 48,
49, 50, 51



GAZİ GELECEKTİR..