

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE GRAFİT-SAF SU NANOAKIŞKAN
KULLANIMININ ISIL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Yağız ÇOTUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tarkan KOCA

2023

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE GRAFİT-SAF SU NANOAKIŞKAN
KULLANIMININ ISIL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

**Yağız ÇOTUR
(36193618082)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tarkan KOCA

Ocak, 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Günden güne daha da önem kazanan enerjinin daha verimli kullanılması ve nano teknoloji konularını yakından ilgilendiren, yıllardır üzerine çalışılan ve hala çeşitli deneylerle desteklenen nanoakışkanlar, geleceğimizin en önemli konularından biri olarak yerini almaktadır.

Bahsettiğim konulardaki yapmış olduğum çalışmanın literatürde yer almasından, bahsettiğim konulardaki çalışmaların içerisinde bulunmamdan ve yapılan bu çalışmanın nanoakışkanlar ile yapılacak olan diğer çalışmalarda ışık olacağının umuduyla, gurur ve sevinç içerisindeyim.

Bu tez çalışmasında bilgi birikimini, önerilerini, yardımlarını esirgmeden beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tarkan KOCA'ya,

Yalnızca eğitimde değil hayatımın her anında desteklerini yanımda gördüğüm sevgili aileme,

Yoğun süreçlerde yüzümüzü güldüren sevgili arkadaşlarıma,

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Makine Yüksek Mühendisi Murat GÖRELİ ve Makine Yüksek Mühendisi Ferdi Yavuz ŞAHİN'e,

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Bir Isı Değıştiricisinde Grafit-Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performans Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yağız ÇOTUR



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. KAVRAMSAL TEMELLER	8
3.1 Isı Değiştiriciler	8
3.1.1 Isı değişimi şekline göre sınıflandırma.....	8
3.1.1.1 Doğrudan temaslılar	8
3.1.1.2 Doğrudan temas olmayanlar	8
3.1.2 Akışkan sayısına göre sınıflandırma	8
3.1.3 Yapısal özelliklerine göre sınıflandırma	9
3.1.3.1 Plakalı ısı değiştiriciler	9
3.1.3.1.1 Spiral levhalı ısı değiştiriciler.....	9
3.1.3.1.1 Paralel akışlı değiştiriciler	14
3.1.3.1.2 Karşıt (zıt) akışlı değiştiriciler.....	15
3.1.3.1.3 Çapraz akışlı değiştiriciler	15
3.1.3.2 Çok geçiş şartlarındaki ısı değiştiriciler	16
3.2 Nanoakışkanlar	16
3.2.1 Nanoakışkan olarak kullanılan malzemeler.....	17
3.2.2 Nano partikül boyutları ve geometrileri	17
3.2.3 Nano partikül üretim yöntemleri	17
3.2.3.1 Yukarıdan-aşağıya Nano partikül yöntemi.....	17
3.2.3.2 Aşağıdan-yukarıya nano partikül yöntemi	18
3.2.4 Nanoakışkanlarda kullanılan temel sıvılar	18
3.2.5 Nanoakışkanların kullanıldığı alanlar.....	18
3.2.6 Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri.....	19
3.2.6.1 Isıl iletkenlik	20
3.2.6.2 Temel akışkanın etkisi	20
3.2.6.3 Nano parçacık malzeme etkisi	20
4. MATERYAL YÖNTEM.....	21
4.1 Deney Düzeneği.....	21
4.2 Deney Düzeneği.....	24
4.2.1 Pompa	25
4.2.2 Debi Ölçer	25
4.2.3 Vana.....	26
4.2.4 Sıcaklık kontrol cihazları ve termokupl.....	26
4.2.5 Sıcak akışkan şartlandırma deposu.....	28
4.2.6 Isı değiştiricisi	29
4.2.7 Mekanik pompa	32
4.3 Deney Düzeneğinde Kullanılan Nanoakışkanın Hazırlanması.....	33
4.3.1 Grafit/saf su nanoakışkanın hazırlanması	33
4.4 Teorik Analiz ve Hesaplama Yöntemi	35
5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR	38
5.1 Su ile Yapılan Deneysel Çalışma	38

5.1.1 Paralel akışta yapılan çalışma.....	38
5.1.2 Zıt akışta yapılan çalışma	39
5.1.3 Paralel ve zıt akış durumunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	39
5.2 Grafit/Saf Su ile Yapılan Deneysel Çalışma	40
5.2.1 Paralel akışta yapılan çalışma.....	41
5.2.2 Zıt akışta yapılan çalışma	41
5.2.3 Paralel ve zıt akış durumunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	41
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	53



ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 4. 1: Grafit ve Saf Suyun Termofiziksel Özellikleri	34
Tablo 5. 1: Paralel akış şartlarında suyun giriş çıkış sıcaklıkları	38
Tablo 5. 2: Zıt akış şartlarında suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları	39
Tablo 5. 3: Paralel akış şartlarında grafit/saf su nanoakışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları	41
Tablo 5. 4: Zıt akış şartlarında grafit/saf su nanoakışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları	41
Tablo 5. 5: Paralel akışta grafit/saf su-su iyileştirme oranı	47
Tablo 5. 6: Zıt akışta grafit/saf su-su iyileştirme oranı.....	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1: Plakalı ısı değıştiriciler	9
Şekil 3. 2: Spiral plakalı ısı değıştiricisi [32].....	10
Şekil 3. 3: Contalı plakalı ısı değıştiricisi [32].....	10
Şekil 3. 4: Lamelli ısı değıştiricisi.....	11
Şekil 3. 5: Gövde borulu ısı değıştiricisi [32]	12
Şekil 3. 6: Çift borulu ısı değıştirici	12
Şekil 3. 7: Helisel borulu ısı değıştiricisi [32]	13
Şekil 3. 8: Borulu kanat yüzeyli ısı değıştiriciler [32]	14
Şekil 3. 9: Akış yönüne göre ısı değıştiriciler [32]	14
Şekil 3. 10: Paralel akışlı ısı değıştiricisi [33]	15
Şekil 3. 11: Karşıt akışlı ısı değıştiricisi [33].....	15
Şekil 3. 12: Çapraz akışlı ısı değıştiricisi [33]	16
Şekil 3. 13: Talaşlı imalat yönteminde soğutma sıvısı.....	18
Şekil 3. 14: Elektronik sistemlerde sıvı soğutma sistemi.....	19
Şekil 3. 15: Güneş panelleri	19
Şekil 4. 1: Deney Setinin Şematik Gösterimi	21
Şekil 4. 2: Deney setinin farklı açılardan görünümü.....	22
Şekil 4. 3: Sıcak akışkan akış yolu gösterimi.....	22
Şekil 4. 4: Soğuk akışkan yolu gösterimi.....	23
Şekil 4. 5: Akışkan debiölçer açısı.....	23
Şekil 4. 6: Akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıklarının okunması	24
Şekil 4. 7: Sirkülasyon pompası.....	25
Şekil 4. 8: Debi ölçer.....	26
Şekil 4. 9: Termokupl.....	27
Şekil 4. 10: Sıcaklık kontrol cihazı	27
Şekil 4. 11: Sıcaklık kontrol cihazları konumlandırılması.....	28
Şekil 4. 12: Sıcak akışkan şartlandırma deposu	29
Şekil 4. 13: İç boru	30
Şekil 4. 14: Isı değıştiricisinin imalatı.....	30
Şekil 4. 15: Bakır boru çıkışlarının sızdırmazlık için kaynatılması	31
Şekil 4. 16: Isı değıştirici flanşların kapatılması	31
Şekil 4. 17: Isı değıştiricisinin sembolik gösterimi	32
Şekil 4. 18: Isı değıştiricisi montaj hali	32
Şekil 4. 19: Mekanik pompa	33
Şekil 4. 20: Ultrasonifikatör ve homozenizatör cihazı.....	34
Şekil 4. 21: Nanoakışkan ölçüm cihazları.....	34
Şekil 4. 22: Grafit/saf su nanoakışkanı.....	35
Şekil 5. 1: Isı transfer hızının (Q) paralel ve zıt akışta karşılaştırılması	40
Şekil 5. 2: Isı taşınım katsayısının paralel ve zıt akışta karşılaştırılması	40
Şekil 5. 3: Grafit/saf su için ısı transfer hızının paralel ve zıt akışta karşılaştırılması.....	42
Şekil 5. 4: Grafit/saf su için ısı taşınım katsayısının paralel ve zıt akışta karşılaştırılması	43
Şekil 5. 5: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun paralel akış şartlarındaki ısı transfer hızı karşılaştırılması.....	43
Şekil 5. 6: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun paralel akış şartlarındaki ısı etkinliği değerleri karşılaştırılması.....	43
Şekil 5. 7: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun paralel akış şartlarındaki ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması	44

Şekil 5. 8: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun zıt akış şartlarındaki ısı transfer hızı karşılaştırılması.....	45
Şekil 5. 9: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun zıt akış şartlarındaki ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.....	45
Şekil 5. 10: Zıt akışta grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun ısıl etkinlik değerlerinin karşılaştırılması.....	45
Şekil 5. 11: Paralel akışta grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun Nusselt sayısının karşılaştırılması.....	46
Şekil 5. 12: Zıt akışta grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun Nusselt sayısının karşılaştırılması.....	46



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Alan, m^2
A_s	: Yüzey alanı, m^2
$A_{yüzey}$	: Minimum akışa dik kesit alanı, m^2
c_{p_h}	: Sıcak akışkan özgül ısısı, J/kgK
c_{p_c}	: Sıcak akışkan özgül ısısı, J/kgK
c_{ph}	: Havanın özgül ısısı, J/kgK
$c_{p,n}$	: Nano partikül özgül ısısı, J/kgK
$c_{p,f}$	: Nanoakışkan temel sıvısı özgül ısısı, J/kgK
$c_{p,nf}$	: Nanoakışkan özgül ısısı, J/kgK
$d_{iç}$	: Boru dış çapı, m
$d_{eş}$	: Eşdeğer çap, m
h_o	: Isı taşınım katsayısı, W/m^2K
k	: Isı iletim katsayısı, W/mK
k_n	: Nano partikül ısı iletim katsayısı, W/mK
k_f	: Nanoakışkan temel sıvısı ısı iletim katsayısı, W/mK
k_{nf}	: Nanoakışkan ısı iletim katsayısı, W/mK
L	: Uzunluk, m
$\dot{m}$	: Kütlesek debi, kg/s
$\dot{m}_h$	: Sıcak akışkan kütlesek debi, kg/s
$\dot{m}_c$	: Soğuk akışkan kütlesek debi, kg/s
$\dot{m}_n$	: Nano partikülün kütlesek debisi, kg/s
$\dot{m}_f$	: Nanoakışkan temel sıvısı kütlesek debisi, kg/s
Nu	: Nusselt sayısı
Re	: Reynolds sayısı
ρ	: Yoğunluk, kg/m^3
ρ_n	: Nano partikül yoğunluk, kg/m^3
ρ_f	: Nanoakışkan temel sıvısı, kg/m^3
ρ_{nf}	: Nanoakışkan yoğunluk, kg/m^3
$Q_{gerçek}$	: Toplam ısı transfer hızı, W
Q_h	: Sıcak akışkan ısı transfer hızı, W
Q_{max}	: Maksimum ısı transfer hızı, W
ΔT_{Log}	: Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, K
T_{c_1}	: Soğuk akışkan giriş sıcaklığı, K

T_{c_2}	: Sıcak akışkan giriş sıcaklığı, K
T_{h_1}	: Akışkan giriş sıcaklığı, K
T_{h_2}	: Akışkan çıkış sıcaklığı, K
U	: Toplam ısı geçiş katsayısı, W/m ² K
$\emptyset$	: Nano partikülün hacimsel oranı
μ	: Akışkanın dinamik viskozitesi, kg/m.s



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE GRAFİT-SAF SU NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YAĞIZ ÇOTUR

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

54+XI sayfa

2022

Danışman: Doç. Dr. Tarkan KOCA

Bu çalışmada iç borusu helisel tip olan bir eş merkezli ve iç içe borulu ısı değiştiricide paralel ve zıt akış şartlarında ısı transferini iyileştirmek amacıyla nanoakışkan kullanımının ısı transferine olan etkisi incelenmiştir. Temel sıvıya nano partikül eklenerek elde edilen nanoakışkanın ısı performansına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmada soğuk akışkan olarak su kullanılmıştır. Sıcak akışkan olarak sırasıyla su ve grafit/su nanoakışkanı kullanılmıştır. Sıcak akışkan sabit debi ve sabit sıcaklıkta sisteme gönderilmiştir. Sıcak akışkanın soğuk akışkana debisel oranı 1, 0.75, 0.5 ve 0.25 olarak alınmış ve soğuk akışkan 3, 4, 6 ve 12 l/dk debilerde sisteme gönderilmiştir. Çalışmada sıcak su debisi 3 l/dk, giriş sıcaklığı 55 °C değerinde sabit alınmıştır. Deney oda sıcaklığında yapılmıştır. Suyla yapılan deneyde akışkan 3 l/dk debide iken paralel akış şartlarında Reynolds sayısı 11215.29 olarak hesaplanmış ve akışın türbülanslı olduğu görülmüştür. Nanoakışkanlar ile yapılan çalışmalarda literatürde genelde türbülanslı akış tercih edilmiştir. Bu çalışmada da akışın türbülanslı olması sağlanmıştır. Saf su ve nanoakışkan ile yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Tüm deneyde sistem kararlı hale geldikten sonra veriler alınmıştır. Deney sonucunda temel sıvıya eklenen partiküllerin ısı transferini arttırdığı gözlemlenmiştir. Saf su ile karşılaştırıldığında grafit/saf su nanoakışkanı kullanımının ısı transferini oldukça arttırdığı belirlenmiştir. Deneyde grafit/saf su nanoakışkanı temel sıvıdan daha iyi bir performans göstermiştir. Yapılan çalışmada en iyi sonuçlar 3 l/dk sıcak akışkan debisinde zıt akış şartlarında %23.053'lük iyileştirme oranı tespit edilmiştir. Isı transfer hızında ise grafit/saf su nanoakışkanı kullanımıyla paralel akış şartlarında %11.657, zıt akış şartlarında ise %13.498'lik iyileşme görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı değiştiricisi, nano partikül, nanoakışkan, grafit, helisel boru, saf su

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GRAPHITE-PURE WATER NANOFLUID USE ON THERMAL PERFORMANCE IN A HEAT EXCHANGER

YAĞIZ ÇOTUR

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

54+XI sayfa

2022

Supervisor Doç. Dr. Tarkan KOCA

In this study, the effect of the use of nanofluid on heat transfer in order to improve heat transfer under parallel and opposite flow conditions in a concentric and nested tubular heat exchanger whose inner tube is helical type was investigated. The effect of nanofluid obtained by adding nanoparticles to the basic liquid on thermal performance has been investigated experimentally. Water was used as a cold fluid in the study. Water and graphite nanofluid were used as hot fluids, respectively. The hot fluid was sent to the system at constant flow rate and constant temperature. The flow rate of hot fluid to cold fluid is 1, 0.75, 0.50 and 0.25 they were taken and the cold fluid was sent to the system at 3, 4, 6 and 12 l/min flow rates. In the study, the hot water flow rate was taken as constant at 3 l/min and the inlet temperature was taken as constant at 55 °C. The experiment was conducted at room temperature. In the experiment conducted with water, while the fluid was at a flow rate of 3 l/min, the Reynolds number was calculated as 11215.29 under parallel flow conditions and it was found that the flow was turbulent. In studies conducted with nanofluidics, turbulent flow has generally been preferred in the literature. In this study, it was also ensured that the flow was turbulent. Calculations were made and compared using the data, obtained from experiments with pure water and nanofluid. In the whole experiment, data were taken after the system became stable. As a result of the experiment, it was observed that the particles added to the basic liquid increase the heat transfer. It has been determined that the use of graphite/pure water nanofluid increases the heat transfer significantly compared to pure water. In the experiment, the graphite/pure water nanofluid showed a better performance than the basic liquid. The best results in the study, the improvement rate of 23.053% was determined under opposite flow conditions at a hot fluid flow rate of 3 l/min. On the other hand, heat transfer rate improved by 11.657% under parallel flow conditions and 13.498% under opposite flow conditions with the use of graphite/pure water nanofluid.

Keywords: Heat exchanger, nanoparticle, nanofluid, graphite, helical tube, pure water

1. GİRİŞ

İnsanlık, kendini geliştirebilmesi, yaşamını sürdürebilmesi ve yaşam şartlarını iyileştirebilmesi için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu enerji eski zamanlarda sadece ihtiyaca yönelik olarak kullanılsa da günümüzde bu pek mümkün değildir. Canlıların ihtiyaç duydukları enerji, teknolojinin gelişmesi ve insan popülasyonunun artmasıyla enerji ihtiyacı yeniden şekillenmiştir. Eskiden olduğu gibi sadece ihtiyacı olan enerjiyi karşılayıp devam etmekte zorluk yaşayan insan oğlunun temel sorunu enerji kaynaklarının verimli kullanılması olmuştur.

Artan maliyetler ve azalan kaynaklar bizleri yeni çalışmalara, enerjiyi daha verimli kullanmaya sevk etmektedir. Geçmişten gelen ve hali hazırda kullanılan tüm sistemlerde aynı işi daha az enerji ile yapmanın önemi insanlığın temel hedefi haline gelmiştir. Fosil yakıtlardan doğal ürünlere kadar her aşamada kullanılan amaç minimum enerji ile maksimum iş gayesi olmuştur. Hatta fosil yakıtlar yerini yenilenebilir enerjilere bırakmaya başlamıştır.

Günümüzde yüksek tork istenen sistemlerde fosil yakıtlar aktif olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde üzerine çalışılan iyileştirme çalışmaları aynı miktardaki fosil yakıt ile daha verimli sistemler hedeflenmektedir. Ev aletlerinden sanayi makinalarına her sektör enerjinin önemini anlamış ve rekabetlerinde dahi istenilen işi daha az enerji sarfıyatı ile yapabilecekleri, daha verimlili çalışmaları ile ön plana çıkmıştır.

Hemen hemen her alanda kullanılan ısı değiştiricileride bu teknolojik gelişmelerden ve enerji krizinden etkilenmiştir. Enerjinin kullanımında en önemli husus daha az tüketilerek aynı işin yapılması gibi gözüksede aynı işi aynı enerji ile daha temiz bir proseste yapmakta çalışmalar arasında büyük önem taşımaktadır.

Teknolojinin ilerlemesi nano teknoloji çalışmalarına hem merak uyandırmış hemde imkan sağlamıştır. Günden güne yapılan çalışmalarda farklı nano teknoloji teknikleri keşfedilmiştir.

Isı değiştiricileri ve soğutma sularında kullanılan sistemlerde bu nano teknolojinin bir ürünü olan nano partikülleri kullanılan sıvılarla karıştıarak nanoakışkanların ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir. Nanoakışkanlar içlerinde bulundurdıkları doğal yollarda, kimyasal veya mekanik yollarla elde edilen nano partiküller sayesinde verimde iyileştirmeler sağladığı görülmüştür. Nanoakışkan ile ilgili çalışmaların artması kullanım alanlarının da artmasına neden olmuştur. Talaşlı imalattan nükleer çalışmalara, bireysel ısıtma-soğutma sistemlerinden kombine motor sistemlerine birçok alanda deneyler ve kullanılmaya başlanmıştır. Dezavantajlarının yanı sıra birçok sistemde rahatlıkla kullanılan nanoakışkanlar literatürde de birçok çalışma ve deney ile incelenmiştir. Günümüzde de üzerine bir çok çalışma yapılan ve gelecekte de çok kullanılacak olan nanoakışkanlara ilgi keşfedildiğı günden beri bilimin merak konusu olmaya devam etmektedir.

Malzeme biliminin de gelişmesi ile yeni tip nano partiküller ile çalışmalar yapılmış ve nanoakışkanların bazı dezavantajlarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Farklı nano partiküllerin değişik konstre oranları ile temel sıvıya katılmasıyla farklı sonuçların yansıdığı nanoakışkanlar ile çalışmalar yakın geleceğı enerjinin verimli kullanılması amacıyla daha da meşgul edecektir. Nanoakışkanlar üzerine her geçen gün çalışmalar devam etmektedir.

Yapılan bu çalışmada bir ısı değiştiricisinde aynı sistem şartlarında farklı akışkanların paralel veya zıt akış durumunda ısı performans üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Akış şartlarının önemi açıkca görülmüştür. Isı transferini gerçekteştiren akışkana eklenen nanopartiküllerin aynı sistem şartlarında ısı performansını nasıl etkilediğı görülmüştür. Saf su ve nanoakışkan ile yapılan deneylerde akış türbölanslı olup elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Saf su ile karşılaştırıldığında grafit/saf su nanoakışkanının ısı transferini oldukça arttırdığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada en iyi sonuçlar 3 l/dk sıcak akışkan debisinde zıt akış şartlarında %23.053, paralel akış şartlarında %13.23'lük iyileştirme oran ile tespit edilmiştir. Isı transfer hızında ise grafit/saf su nanoakışkanının kullanımıyla paralel akış şartlarında %11.657, zıt akış şartlarında ise %13.498'lik iyileşme görülmüştür.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde nano partiküllerin üretimi ve ısı değıştiricilerinde nanoakışkan kullanılmasının etkisi incelenmiş ve bu çalışmalar ile ilgili özetler aşağıda verilmiştir.

Enerjinin daha etkin bir biçimde kullanılması için çalışmalar uzun zamandır sürdürölmektedir. Bir çok alanda kullanılan ısı değıştiricilerde, ısıl performansı iyileştirmeye yönelik çalışmalar enerji ekonomisi altında önemli bir literatür oluşturmuştur. Isı transferini arttırmaya yönelik yapılan çalışmalar “aktif yöntemler”, “pasif yöntemler” ve “karma yöntemler” olarak sınıflara ayrılmıştır. Aktif yöntemler dış güç kaynağı kullanımını gerektiren, pasif yöntemler dış güç kullanılmayan, karma yöntemler ise hem aktif hem pasif yöntemlerden iki ya da daha çoğunu birlikte kullanan sistemlerdir [1].

Pasif yöntemler incelendiğinde ısıl performansta iyileşmeler olurken, akışkana harcanan enerji basınç düşümüne bağılı olarak artmıştır. Enerji kaybının yanında kullanılan kanatlar veya türbölätörler sistem içerisinde titreşime, rezonansa, sistemlerde yorulmalara bunlar neticesinde de çatlama veya kırılma gibi sistem tertibatına sebebiyet vermiştir. Ayrıca kimyasal çalışmalarda yaşanan çökelme vb. sorunlar zamanla ısı transferinin azalmasına neden olmuştur [2].

Sıvıların içine milimetre veya mikrometre boyutundaki katı partiküllerin eklenmesi ile ısıl iletkenliğin artması 100 yılı aşkın süredir bilinen bir yöntemdir. Tarihte bilinen ilk nanoakışkan Maxwell tarafından 1881 yılında temel akışkanlara katı partiküller ekleyerek ısıl performansı arttırmaya çalışmıştır [3]. Bu katı partiküller 10-100 nanometre boyutları arasında olmaktadır. Nanoakışkanlar bu nano partikülleri içerirler [5].

Yakut arkadaşları [6], yaptıkları çalışmada dairesel kesitli bir helisel yayın, boru içerisindeki akışın ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda Reynolds sayısını 13000 değerine kadar helisel yayın etkili olduğunu belirlenmiştir.

Karabay arkadaşları [7], çalışmalarında silindirik boru içine yerleştirdiğı konik halka yüzey elemanlarının ısıl performansa etkisini incelemişlerdir. Çalışmada ısı transferinin arttığı fakat basınç kayıplarında arttığı görölmüştür.

Çulcu [8], yaptığı çalışmada boru içerisine yerleştirdiğı konik yüzeyli türbölätörlerin ısı transferine olan etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda ısı transfer etkisinin arttığı fakat basınç kayıplarında arttığı görölmüştür.

Biçer ve arkadaşları [9], yapmış oldukları çalışmayla iç içe borulu ısı değiştirgeçlerinde iç boruda akışın girişinde dairesel tipli dönel akış üreticisi kullanılarak, ısı transferine ve basınç kayıplarına olan etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ısı transferinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Sundar ve arkadaşları [10], yaptıkları çalışmada sabit ısı akısıyla dairesel boruda geçen MWCNT-Fe₃O₄/su karışımı bir hibrid nanoakışkanlarının gelişmiş türbülanslı akış için sürtünme faktörünü ve ısı performanslarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda baz sıvı işle karşılaştırıldığında basınç düşüşü ve Nusselt sayısında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Takabi ve arkadaşları [11], homojen olarak ısıtılmış saf su ile Al₂O₃-su nanoakışkanın, bununla beraber Al₂O₃-Cu/su hibrid nanoakışkanlarını, gelişmiş, türbülanslı ve zorlanmış akış şartlarında çalışmasını sayısal olarak incelemişler ve inceleme sonucunda hibrid nano akışkanın saf su ve Al₂O₃-su nanoakışkana göre ısı aktarmada daha iyi olduğu fakat sürtünme faktörü açısından olumsuz yönde etki neden olduğunu ve basınç düşümüne sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Hossein ve arkadaşları [12], duvar ısı akısı şartlanmasında, dairesel borudan laminar akışta geçen grafen-su nanoakışkanın konvektif ısı transfer katsayısını deneysel çalışma yöntemiyle incelemişlerdir. Sonuç olarak suya belli miktarda grafen nano parçacıkları ilave edilmesinin, çalışma akışkanın ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür. En büyük artışlar % 0,02 konsantrasyonda görülmüştür.

Noghrehabadi ve arkadaşları [13], sabit ısı akısı sınır şartında, nanoakışkanların dairesel tüpte ısı performans etkisini incelemişlerdir. Nanoakışkan saf su ile karıştırıldığında ortalama ısı transferin % 0,9 hacim konsantrasyonda, Reynold's sayısı 2070' de % 16,8 arttığı gözlemlenmiştir.

Duangthongsuk ve arkadaşları [14], saf suya hacimce %0,2 TiO₂ nano partükülleriyle elde edilen nanoakışkanın konvektif ısı transfer koşulunda deneysel çalışmayla incelenmiştir. Çalışma sonucunda TiO₂-su nanoakışkanın, saf su ile kıyaslandığında ısı performansında artış olduğu görülmüştür.

Huminic ve arkadaşları [15], yapmış olduğu çalışmada laminar akış koşulunda çift borulu bir ısı değiştiricisinin nanoakışkan kullanılarak ısı transfer karakteristiklerini üç boyutlu analiz yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada %0,5 - 3 hacimsel konsantrasyonuyla

su içine 24 nanomikron çaplı CuO ve TiO₂ nano partikülleri kullanmıştır. Kullanılan bu nano partiküllerin ısı transferini önemli ölçüde arttırmıştır.

Lotfi ve arkadaşları [16], yaptıkları çalışmada yatay borulu bir ısı değiştiricisinde çok duvarlı karbon nano tüp (MWCNT)-su nanoakışkanının ısıl performansı deney çalışmasıyla incelenmiştir. Deney sonucunda saf su ile kıyaslandığında ısıl performansı önemli miktarda artış gösterdiği görülmüştür.

Darzi ve arkadaşları [17], yapmış oldukları deneysel çalışmada su-Al₂O₃ ile hazırlanan nanoakışkanla çift borulu bir ısı değiştiricisinde ısıl performansı, basınç düşümü ve termal performansı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelemişlerdir. Deney sonucunda etkileyecek kadar bir basınç düşümünün meydana gelmediği, nano parçacıkların eklenmesiyle ısı değiştiricisinde ısıl performansı artmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Khedkar ve arkadaşları [18], yaptıkları çalışmayla eş merkez borulu ısı değiştiricisinde soğutucu akışkan olarak TiO₂-su nanoakışkanın ısı transfer özellikleri incelenmiştir. Nanoakışkan özellikleri baz akışkanlara kıyaslandığında Reynolds sayılarında iyileşmeler olduğu görülmüştür. Reynolds sayısının aynı olduğu durumda, nano parçacıkların eklenmesi baz sıvıda ısıl performansta artış olduğu görülmüş ve baz sıvıya göre yüksek ısı transfer katsayısı elde edilmiştir.

Zamzamian ve arkadaşları [19], yapmış oldukları çalışmada temel sıvı olarak etilen glikol kullandıkları bakır oksit ve alüminyum oksit nano parçacıklarıyla hazırlanan nanoakışkanların ısıl performansın etkisi incelenmiştir. Çift borulu ısı değiştiricisi kullanarak yapılan çalışmada en küçük % 3 en büyük % 49 ısı transfer artışı görülmüştür.

Chun ve arkadaşları [20], yapmış oldukları çalışmada çift borulu paralel akışlı bir ısı değiştiricisinde laminar akışta alümina nano partikül ve transformatör yağından elde edilen nanoakışkanların ısı transfer katsayılarını deneysel olarak incelemişlerdir. Deney sonucunda akışkana nano partiküllerin eklenmesiyle ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür.

Kwon ve arkadaşları [21], yapmış oldukları çalışmada plakalı ısı değiştiricisinde ZnO ve Al₂O₃ nanoakışkanların ısıl performansı ve basınç düşümünü incelenmiştir. Aynı Re sayılarında toplam ısı transfer katsayısı su ile kıyaslandığında hacimce %6 Al₂O₃ konsantrasyonunda %30'a kadar yükseldiği görülmüştür.

Xuan ve arkadaşları [22], yaptıkları çalışmalarında; temel sıvıya nano parçacıkların eklenmesiyle ısıl performansın artmasına neden olan fiziksel olayları incelediklerinde, eklenen

partiküllerin akışkanda yüzey alanının arttığını, ısı kapasitelerinin yükseldiğini ve akışkanın partiküller sayesinde türbülans şiddetinin arttığını gözlemlemişlerdir.

He ve arkadaşları [23], yaptıkları çalışmada TiO_2 ile yaptıkları nanoakışkanda paralel ve dikey borulu bir ısı değiştirici kullanmışlardır. Bu çalışmada nanoakışkan olarak kullanılan TiO_2 'nin, saf suya kıyasla basınç düşümünün önemsenmeyecek düzeyde olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca nanoakışkanın saf suya göre Reynolds sayısının ve ısı transferinin parçacık boyutu ile orantılı olarak her akış şartında arttığını gözlemlemişlerdir.

Sonawane ve arkadaşları [24], iç içe bakır borudan ürettikleri ısı değiştiricisinde alümina partikülüyle yaptıkları nanoakışkan ile saf suyu karşılaştırmışlardır. Isı değiştiricileri 1 metre uzunluğunda olan sistemde alümina bazlı nanoakışkan saf suyla kıyaslandığında %16 daha fazla ısı transfer katsayısı gözlemlemişlerdir.

Mintsa ve arkadaşları [25], temel sıvıya eklenen nano partiküllerin ısı performansı etkilemesinin yanı sıra eklenen partiküllerin boyutlarının da ısı transferine etki ettiğini ortaya koymuşlardır.

Heris ve arkadaşları [26], dairesel bir tüp içerisinde farklı oranlarda süspanse edilen Al_2O_3 'ün, saf su ile karşılaştırılması için yaptıkları deneysel çalışmada, ısı transferini gerçekleştiren akışkanın içerisinde nanopartiküllerin varlığının ısı transfer katsayısındaki artışı göstermiştir.

Tsai ve arkadaşları [27], uzunluğu 170 mm olan bakır ve silindirik bir ısı borusunda deney yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, altın partikülleri ile oluşturdukları nanoakışkanın kullanılmasıyla ısı borusunun ısı direncinde %20-%37 arasında bir azalma gözlemlemişlerdir.

Wei ve arkadaşları [28], saf su olarak suyun kullanıldığı gümüş partikülleri içeren nanoakışkanlarıyla yaptıkları çalışmada, 200 mm olan ısı borusunda kullanılan akışkanın saf suya göre karşılaştırılması yapılmıştır. Nanoakışkan deneyinde ısı borusunun ısı direncinin su ile yapılan deneye göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Morjan ve arkadaşları [29], ısı değiştirici olarak termosifon ısı borusunun kullanıldığı çalışmada, saf suya demiroksit nano partikülleri eklenmesi ile oluşturdukları nanoakışkan ile deneyler yapmışlardır. %5.3 hacimsel oranda hazırlanan demiroksitin ısı performansını incelediklerinde suya kıyasla daha verimli olduğunu gözlemlemişlerdir.

Hormozi ve arkadaşları [30], yaptıkları deneysel çalışmada termosifon ısı borusu kullanmışlardır. Isı borusu 280 mm düz bakır borudan imal edilmiştir. Biyolojik yollar ile

Üretilen evre dostu bir nanoakışkan hazırlayarak deneylerini yapmışlardır. Taze ay yaprağı ekstratı ve gümüş nitrat kullanarak elde edilen gümüş nano partiküller ile akışkanlarını hazırlamışlardır. Yapılan bu çalışmada nano parçacık kullanılmasının ısı borusunun ısıl performansını iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Nema ve arkadaşları [31], plakalı ısı eşanjöründe nanoakışkan olarak Al_2O_3 ile deneyler gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Reynolds ve Peclet sayılarında artış gözlemlenmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada i içe borulu ısı değiştiricide grafit/saf su nanoakışkanın kullanımının ısı transfer hızına, ısı taşınım katsayısına ve ısıl etkinliğe olan etkisi incelenmiştir. Saf-suya eklenen grafit nano partikülü ısıl performansı arttırmıştır. Grafit nano partikülü ile hazırlanan grafit/ saf su nanoakışkanı kullanılarak yapılan bu çalışma ısı değiştiricilerde nanoakışkanların kullanılmasının avantajlı olacağını göstermekte olup literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. KAVRAMSAL TEMELLER

3.1 Isı Değiştiriciler

Birden fazla ve farklı sıcaklıktaki akışkanın birbirine karışmadan arasındaki ısı transferini sağlayan cihazlardır. Isı transfer iletimi sebebiyle aralarında metal ayırım ile birbirinden ayrılarak ısı transferine odaklı sistemlerdir. Zengin kullanım alanları ile günümüzde birçok sektörde kullanılmaktadır. Başlıca kullanılan sektörler soğutma, ısıtma ve havalandırma sistemleri, güç üretim prosesleri, uzay uygulamaları, ısı depolama sistemleri, üretim sistemleri, kimyasal tesisler ve/veya klimalize sistemler olarak sınıflandırılabilirler. Akışkanların temas ettiğı sistemlerde mevcuttur. Isı değıştiriciler bu temasa göre sınıflandırılabilir.

Isı değıştiricilerin tasarımlarında dikkat edilecek hususun başında maliyet gelmektedir. Tasarlanacak ısı değıştirici fazla yer kaplamamalıdır ve istenilen ısı transferine göre en verimli tip seçilmelidir.

3.1.1 Isı değışimi şekline göre sınıflandırma

Isı değışim şekillerine göre ısı değıştiriciler doğrudan temaslı ve doğrudan temas olmayan olarak iki başlık altında sınıflandırılmaktadır.

3.1.1.1 Doğrudan temashılar

İki farklı akışkanın farklı sıcaklıklarda, aralarında bir engel levhası olmadan doğrudan temasın olduğı sistemlerdir. Yüzey ısı değıştiricileri olarak da geçen bu sistemlerde kendi içlerinde ayrılabilir.

3.1.1.2 Doğrudan temas olmayanlar

Bu sistemler akışkanların doğrudan teması ayırıcı bir duvar ile sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı transferinin gerçekleştiğı sistemlerdir.

3.1.2 Akışkan sayısına göre sınıflandırma

Genel olarak ısı değıştiricilerin iki farklı akışkan kullanmaktadır. İki den daha fazla akışkan arasında kullanan kimyasal sistemlerde mevcuttur. Üç ve daha fazla akışkan bulunan sistemlerin tasarım ve teorik hesaplamaları oldukça karışıktır.

3.1.3 Yapısal özelliklerine göre sınıflandırma

Isı değıştirciler tasarlanırken birçok parametrede göz önünde bulundurulmaktadır. İstenilen verim, sıcaklık değeri ve ısı değıştircisinin hacimsel boyutları da önem arz etmektedir. Çeşitli ihtiyaçlar için farklı yapılarda ısı değıştirciler vardır. Yapısal özelliklerine göre ısı değıştircileri; plakalı, borulu, kanatlı ve rejeneratör olarak sınıflandırılır.

3.1.3.1 Plakalı ısı değıştirciler

Farklı sıcaklıktaki akışkanların birbirlerine karışmadan sisteme girip çıkarak ısı transferinin sağlandığı ısı değıştircilerdir. Plakalar düz ya da girintili çıkıntılı olarak imal edilebilir. Plakaların şekillendirilmesindeki amaç akışın düzenini bozarak doğrudan olarak ısı transferini arttırmaktır. Bu tip ısı değıştirciler genel olarak Spiral levhalı ısı değıştirciler, contalı ısı değıştirciler, lamelli ısı değıştirciler olarak üçe ayrılabilir.



Şekil 3. 1: Plakalı ısı değıştirciler

3.1.3.1.1 Spiral levhalı ısı değıştirciler

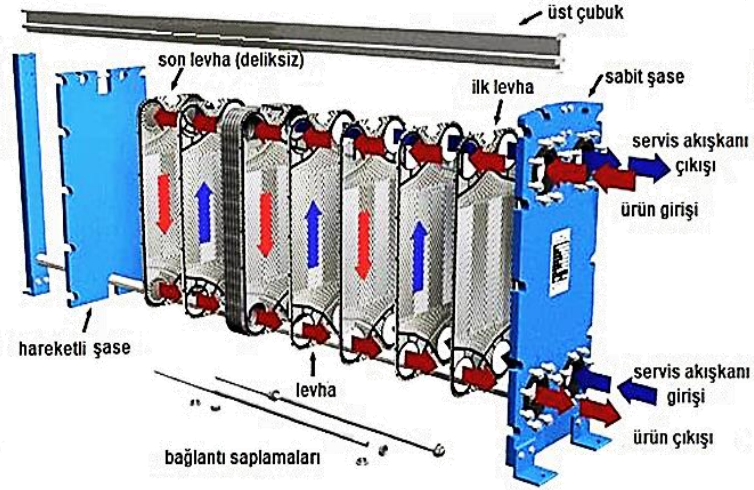
İki levhanın birbirine paralel olarak helisel biçimde sarılarak imal edilen ısı değıştircilerdir. Bu tip ısı değıştirciler sarım ile yapıldığı için yüksekliği fazladır. Sistemde paralel veya karşıt akış olarak çalıştırılabilir. Basınç kayıpları diğer tip ısı değıştircilere göre daha az olsa da sarım ile imal edildiğinden yüksek çaplara ulaşması dezavantaj olabilir.



Şekil 3. 2: Spiral plakalı ısı değıştircisi [32]

3.1.3.1.2 Contalı tip ısı değıştirciler

Contalı plakalı ısı değıştirciler ince metal levhalar kullanılarak imal edilirler. Levhalarda akışkanlar birbirine karışmadan akar ve akması için delikler açılmaktadır. Contalar yardımıyla akışkan yönlendirilir ayrıca birbirine karışması rahatça engellenir. Sistemin demontesi kolay olduğu için gerek temizlenmesinde gerekse ısıl performansın artması için yeni levhalar eklenebilir veya aksi durumlarda levhalar çıkarılabilir.



Şekil 3. 3: Contalı plakalı ısı değıştircisi [32]

3.1.3.1.3 Lamelli ısı değıştirciler

Akışkanların birinin lamellerin arasından diğer akışkanında yassı boruların içinden akan sistemlerdir. Akış yönü paralel veya zıt ayarlanabilir. Isıl verimliliği zıt akışta

yüksektir. Akış yolları düzgün olduğu için temizlenmesi daha kolaydır. Lamelli (plakalı) ısı değıştircisinin bir örneği Şekil 3.4’de verilmiştir. Bu sistemlerin temizlenmesi kolaydır.



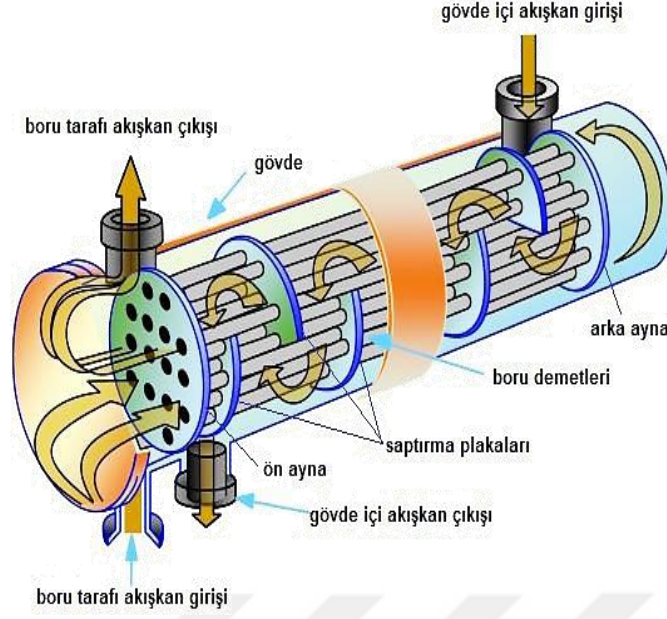
Şekil 3. 4: Lamelli ısı değıştircisi

3.1.3.2 Borulu ısı değıştirciler

Yüksek basınçların olduğu, aralarında yüksek basınç farkı olan/olacak akışkanlar için tercih edilir. Endüstride çok sık kullanılan borulu ısı değıştirciler istenilen kapasite veya istenen çalışma ortamına ve şartına göre özel olarak tasarlanırlar. Borulu ısı değıştirciler tasarlanırken boruların uzunlukları, çapları, boru adetleri, boruların düzenleri gibi birçok parametreye dikkat edilmesi gerekir. Gövde borulu, çift borulu ve spiral borulu olmak üzere üç grupta ayrılır.

3.1.3.2.1 Gövde borulu ısı değıştirciler

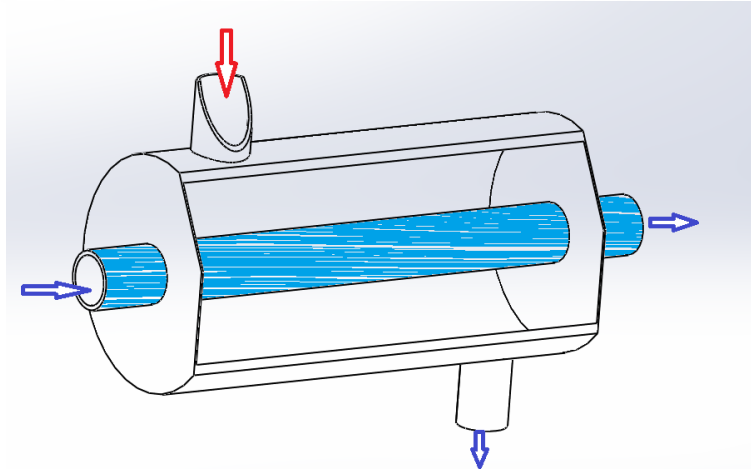
Silindirik bir gövde içerisinde bir grup boruların yerleştirilmesi ile oluşur. Isıl verimliliği arttırmak için gövde içerisine şaşırtma levhaları eklenebilir. Bu levhalar aynı zamanda gövde içindeki borulara da destek olmaktadır. Şematik bir görsel Şekil 3.5’de verilmiştir. Sistemin gövde için giriş çıkışı ve iç borular için ayrı giriş çıkış hattı bulunmaktadır. Tasarım aşamasında istenilen ısıl performansa göre levha ya da boru eklemesi yapılabilir.



şekil 3. 5: Gövde borulu ısı değiştircisi [32]

3.1.3.2.2 Çift borulu ısı değiştirciler

Birbirine i içe geçen borudan oluşur. İçteki borunun genelde dışına, akışkanın temas ettiği yüzey alanının artması dolayısıyla ısı performansını doğrudan etkilemesi adına kanatçık eklenerek imal edilebilir. Düz borulu ısı değiştirciler olarak da anılır.



şekil 3. 6: Çift borulu ısı değiştirci

3.1.3.2.3 Helisel borulu ısı değiştirciler

Helisel borulu ısı değiştirciler bir gövde içerisine helisel şekilde bir veya daha fazla borunun sarılması ile imal edilir. şekil 3.7’de örnekleri gösterilmiştir. Borularda ısı genleşmeden dolayı sorun olmasada temizliği çok zordur. Temizliği dezavantajı olsa da ısı verimlilikleri yüksektir.



Şekil 3. 7: Helisel borulu ısı değıştircisi [32]

3.1.3.3 Rejenetarif ısı değıştirciler

Rejeneratif ısı değıştircileri diğerk ısı değıştircilerden farklı olarak ısı transferi anlık olarak değil depolanarak yapılmasıdır. İlk akışkandan depolanan ısı daha sonra ikinci akışkana aktarılır.

3.1.4 Kanat yüzeyli ısı değıştirciler

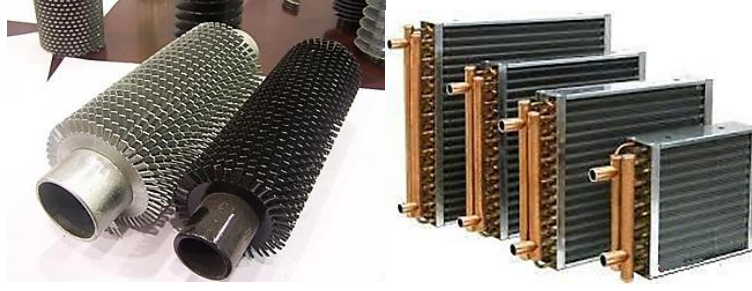
Isıl verimliliğın arttırılması amacıyla levhalı ve borulu ısı değıştircilerin yüzeyleri kanatlandırılarak, ısının etki ettiğı yüzey alanı arttırılır. Böylece ısı transferi arttırılabilir. Kanatlar akışkanlarda avantaj olduğı kadar dezavantajlar da getirebilir. Yüzey alanının artması ile ısı transferini arttırırken akışta basınç düşüşleri meydana getirir. Hesaplamalarda bu basınç kayıpları göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır.

3.1.4.1 Levhalı kanat yüzeyli ısı değıştirciler

Paralel levhalar arasına yerleştirilen kanatlardan oluşan ısı değıştircilerdir. Bu ısı değıştirciler kolay temizlenebilmekte, tasarım aşamasında istenilen çıkış sıcaklığına göre levhalar eklenip çıkartılabilir.

3.1.4.2 Borulu kanat yüzeyli ısı değıştirciler

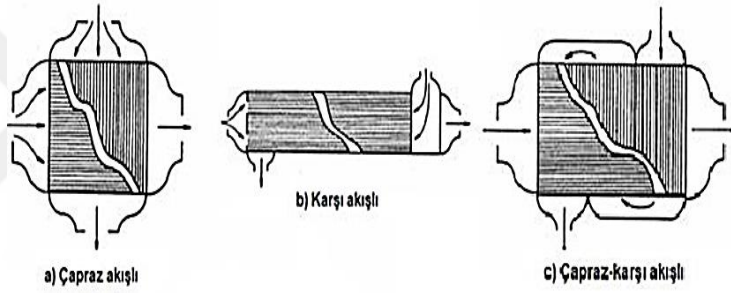
Bu tip ısı değıştircilerde boru yüzeylerine genellikle dairesel çıkıntılar bulunmaktadır. Bu ısı değıştircilerin borularının etrafına kanatların eklenmesi yüzey alanını arttırarak ısıl performansı iyileştirmektedir. Bu ısı değıştircilerde daha çok kullanılan helisel ve dairesel kanatlı borulu ısı değıştircilerdir. Borulu kanat yüzeyli ısı değıştirciler Şekil 3.8'deki örnekler gibidir.



Şekil 3. 8: Borulu kanat yüzeyli ısı değıştirciler [32]

3.1.5 Akış şekillerine göre ısı değıştirciler

Akış şekillerinin ısı değıştircilerinde tasarımı etkileyen önemli bir faktördür. Isı değıştircileri tasarlanırken basınç düşümü, akış hızları, sıcaklık seviyeleri ve bazı farklı tasarım kriterlerine göre akış seçimi yapılır.



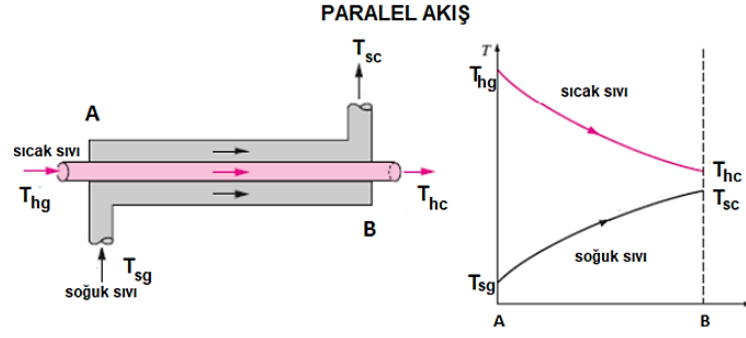
Şekil 3. 9: Akış yönüne göre ısı değıştirciler [32]

3.1.5.1 Tek geçiş şartlarındaki ısı değıştirciler

Sistemin içindeki sıcak ve soğuk akışkanın bir kez karşılaştığı sistemlerdir. Kendi içerisinde paralel, karşıt (zıt) ve çapraz akış olarak sınıflandırılabilir.

3.1.5.1.1 Paralel akışlı değıştirciler

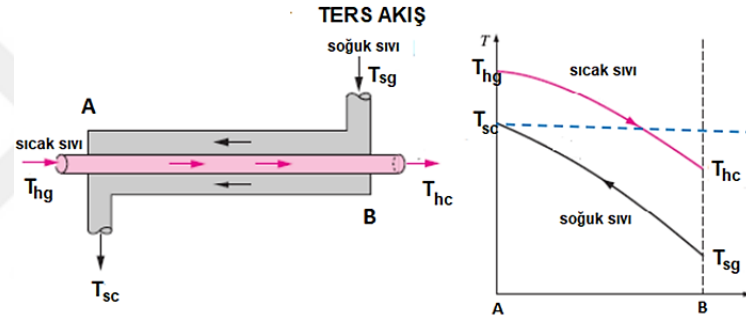
Sıcak ve soğuk akışkan aynı doğrultuda ısı değıştircisine girip aynı doğrultuda sistemi terk eden sistemlerdir. Sistemde akışkanlar birbirine paralel olarak akıştadır. Paralel akışlı değıştirciler için Şekil 3.10'daki gibidir.



Şekil 3. 10: Paralel akışlı ısı değiştiricisi [33]

3.1.5.1.2 Karşıt (zıt) akışlı değiştiriciler

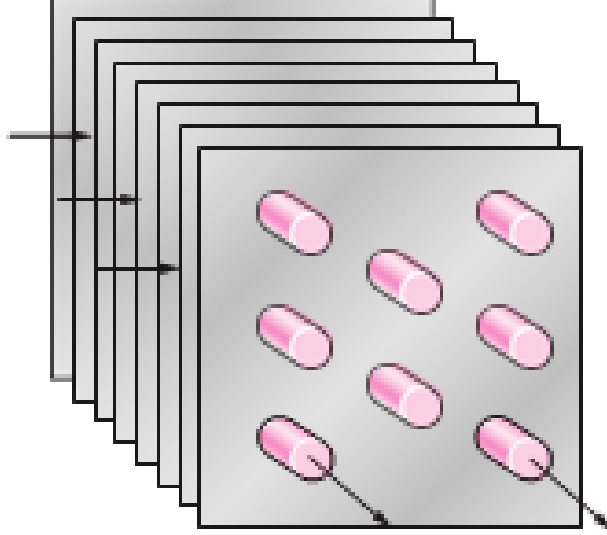
Akışkanlardan birinin sistemin bir tarafından diğeri karşı tarafından gönderilen ve birbirine paralel akan sistemlerdir. Bu tip sistemlerde ısı verimliliği daha fazladır. Şematik gösterim Şekil 3.11’deki gibidir.



Şekil 3. 11: Karşıt akışlı ısı değiştiricisi [33]

3.1.5.1.3 Çarpaz akışlı değiştiriciler

Akışkanların birbirine dik şekilde aktığı sistemlerdir. Isıl performansı paralel akıştan daha iyi ama karşıt akıştan daha düşüktür. Üretimi kolay olduğu için sıklıkla rastlanılır. Çarpaz akışlı değiştiricilerin şematik gösterimi Şekil 3.12’deki gibidir.



Şekil 3. 12: Çapraz akışk ısı değiştiricisi [33]

3.1.5.2 Çok geçiş şartlarındaki ısı değiştiriciler

Isı değiştiricilerin boyutlarından kısmak, akışkandan daha fazla ısı çekebilmek için yapılan sistemlerdir. Sistem içinde akışkan daha uzun süre tutulduğundan tek geçişli ısı değiştiricilere göre verimleri daha yüksektir.

3.2 Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlar çok uzun yıllardır literatürde ilgi çeken konular arasında olmuştur. Nanoakışkanlar nano partiküllerin akışkana süspanse edilmesi ile hazırlanmaktadır. Nano partiküller isminden de anlaşıldığı gibi metal ve metal özellikleri gösteren metal oksit parçaların, seramiklerin veya organik malzemelerin nano boyutlara getirilmesi ile elde edilir. Zn, Cu, Au, Mg, Al vb. metaller veya Al_2O_3 , SiO_2 , CuO , TiO_3 vb. metal oksitler kullanılmaktadır.

Bu parçalar çıplak gözle görülemeyeceği kadar küçüktür. Elektron mikroskopları ile incelenebilmektedir.

Temel akışkan olarak çoğunlukla su kullanılır. Ancak yağ, glikol veya etilen gibi sıvılarda kullanılmaktadır.

Nanoakışkan kavramı ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içindeki süspansiyonu olarak tanımlanmıştır. Choi'e tarafından düşük derişim oranlarında bile nanoakışkanların ısı iletim katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır [34].

Temel akışkan içerisine nano parçacık katılarak hazırlanan nanoakışkanların ısı transfer performansını iyileştirmesini sağlayan temel faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Temel akışkan içine eklenen ve yüksek ısı iletkenliğine sahip nano parçacıklar yeni akışkanın ısı iletkenliğini arttırmakta,
- Nano partiküllerin etkisiyle nanoakışkanın yüzey alanı ve ısı transferinin gerçekleştiği temas yüzeyi artmakta
- Nano partiküllerin ısı kapasitesi yüksek olduğundan için yeni akışkanında ısı kapasitesi artmakta,
- Nanoakışkan içerisine eklenen nano partiküller çalkantı ve türbülans şiddetinin artmasını sağlamakta,
- Nano partiküllerin dağılması nanoakışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine neden olmaktadır [1,35,36].

3.2.1 Nanoakışkan olarak kullanılan malzemeler

Nanoakışkanlar içerisinde bulunan nano partikül türüne göre; Seramik nanoakışkanlar, saf metal, karbon esaslı, alaşımlı nanoakışkanlar olarak dört gruba ayrılır.

3.2.2 Nano partikül boyutları ve geometrileri

Nano partiküller küresel biçimde, boru biçiminde, disk biçiminde veya çubuk şeklinde olabilir. Partiküller genellikle 0-100 nm çaplarında olmaktadır. Çubuk ve boru tiplilerin çapları yine bu aralıkta kalmakta fakat uzunlukları mikrometre bazında da olabilmektedir. [37]

3.2.3 Nano partikül üretim yöntemleri

Nano partiküller hazırlanırken mekanik ve kimyasal işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemler sonucunda nano partikül olarak kullanılacak malzemeler nano boyutlara indirgenebilmektedir. Yukarıdan-aşağıya ve aşağıdan-yukarıya olarak iki yönteme ayrılır.

3.2.3.1 Yukarıdan-aşağıya Nano partikül yöntemi

Bu yöntemde bütün halindeki malzeme aşındırma mantığı çeşitli mekanik işlemler ile küçük parçalara ayrılır. Bu küçük parçalara ayrılma sırasında birçok yöntem kullanılabilir.

3.2.3.2 Aşağıdan-yukarıya nano partikül yöntemi

Aşağıdan-yukarıya nano partikül yöntemiyle parça, atomlar ve moleküllerin kimyasal işlemler ile bir araya getirilerek nano partikül oluşturulmasından meydana gelmektedir. Doğada da nano parçalar bu şekilde meydana gelmiştir.

3.2.4 Nanoakışkanlarda kullanılan temel sıvılar

Nanoakışkanlarda genellikle temel sıvı olarak su kullanılmaktadır. Su yerine kullanılacak sıvılar ise aktif olarak kullanılan ısı transfer sıvılarıdır. Örnek olarak makine yağı, antifriz vb. sıvılar verilebilir.

3.2.5 Nanoakışkanların kullanıldığı alanlar

Nanoakışkanlar ısı transferinin olduğu ve ısı transfer hızının daha da artmasını hedeflenen hemen hemen her sistemde kullanılabilir. Örnek olarak talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak, ısı değiştiricilerinde, güneş enerji panellerinde kolektörlerinde, elektronik devrelerin soğutma sistemlerinde soğutma sıvısı olarak vb. birçok sistemde kullanılmaktadır. Talaşlı imalatta kullanımı Şekil 3.13, elektronik sistemlerde kullanımı Şekil 3.14 ve güneş panellerinde kullanımı Şekil 3.15’de örneklendirilmiştir.



Şekil 3. 13: Talaşlı imalat yönteminde soğutma sıvısı



Şekil 3. 14: Elektronik sistemlerde sıvı soğutma sistemi



Şekil 3. 15: Güneş panelleri

3.2.6 Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri

Nanoakışkanlar temel sıvının içinde bulunan nano partiküllerin ısıyı daha iyi tutması veya ısı transfer hızı sıvılara kıyasla daha iyi olması nedeniyle kullanılmaktadır. Bu nedenle kullanılan partiküllerinde termofiziksel özellikleri iyi analiz edilmeli ve yapılacak tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu partiküllerde başta dikkat edilecek termofiziksel özelliklerden yoğunluk, viskozite, özgül ısı ve ısı iletkenlik olmaktadır. Partiküller kadar temel akışkanında özellikleri önem arz etmektedir.

3.2.6.1 Isı iletkenlik

Nanoakışkanların ısı iletkenliği birçok parametrelerden etkilenmektedir. Temel olarak ele alınırsa; temel akışkan, nano parçacık cinsi, nano parçacık boyutu, nano parçacık şekli, derişim, pH ve sıcaklık olarak sayılabilir.

Temel sıvı içerisinde nano parçacık ilave edilmesiyle oluşan yeni nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır. Bunun birincil sebebi, nanoparçacıkların ısı etkileşimini kontrol eden mekanizma olarak görülen Brown hareketidir. İkincil sebebi ise katı partikül yüzeyine yakın olan sıvı moleküller katmanlı yapılar ile partikül ve sıvı arasında ısı bir köprü oluşturmaktadır [38].

3.2.6.2 Temel akışkanın etkisi

Nanoakışkanda nanopartiküller kadar temel sıvılarında önemi fazladır. Genel olarak su tercih edilse de ihtiyaca göre farklı ısı transfer sıvıları kullanılmaktadır.

Al₂O₃ içeren nanoakışkan üzerine yapılan çalışmada, temel akışkan olarak su, etilen glikol, gliserin, yağ kullanılmış ve çalışma sonucunda ısı iletkenliği en düşük olan maddenin temel akışkan olarak kullanılması durumunda oluşan nanoakışkanın ısı iletkenliği artmıştır [38].

3.2.6.3 Nano parçacık malzeme etkisi

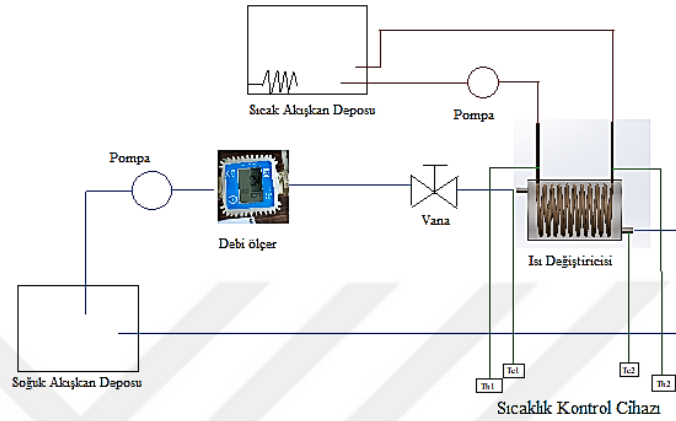
Nano partiküllerin seçiminde metal veya metal oksitler için yüksek ısı iletkenliğe sahip parçaların seçimi önemlidir. Bu parçaların malzeme seçiminin öneminin yanında geometrik şekilleri de önem arz etmektedir. Partiküllerin silindirik ya da küresel olmasını ısı transferine etkisi literatürde incelenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakınca silindirik ve küresel nano parçaların ısı iletkenliği nanoakışkan içerisinde incelendiğinde silindirik partikül içeren akışkanın ısı iletkenliğinin artış oranı %23, küresel partikül içeren akışkanın ısı iletkenliğinin artış oranı ise %15 olduğu gözlemlenmiştir [39].

4. MATERYAL YÖNTEM

4.1 Deney Düzeneği

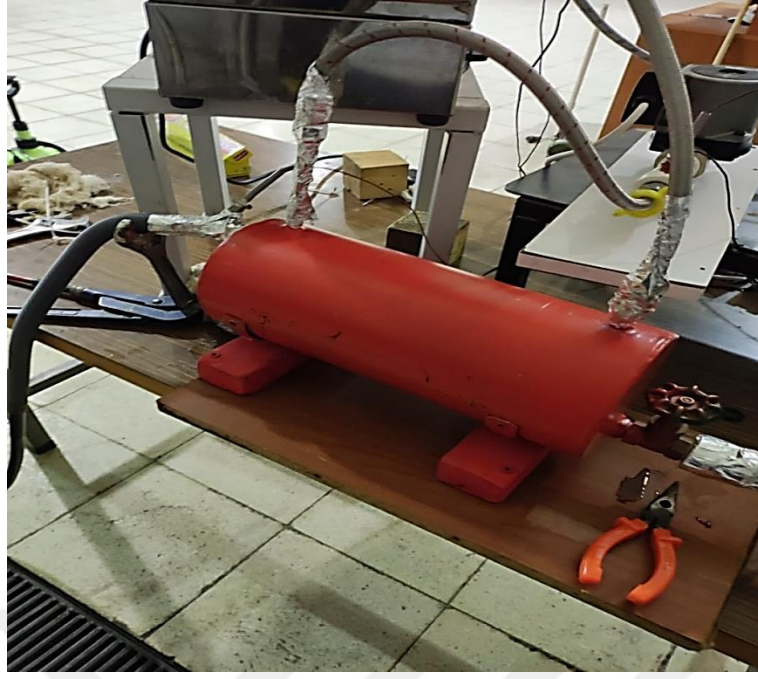
Bu deney İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneyin şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.



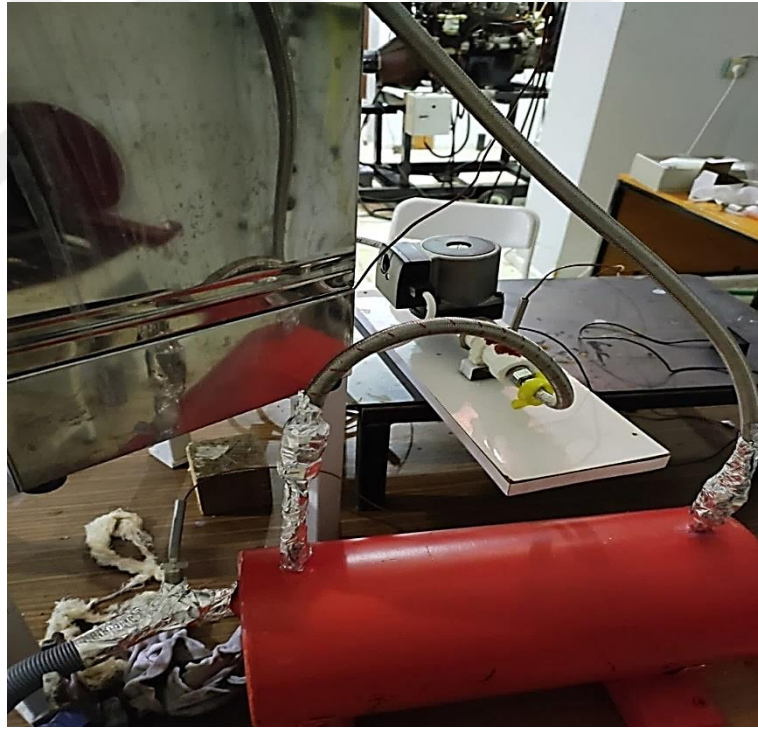
Şekil 4. 1: Deney Setinin Şematik Gösterimi

Yapılan deneyde ısı değiştirici olarak gövde içerisinde helisel boru kullanılmıştır. Soğuk akışkan sisteme verilmiş, ısı değiştiricisinin giriş ve çıkışlarına ısı ölçerler bağlanmıştır. Sıcak akışkan için şartlandırma deposu oluşturulmuştur. Burada istenilen sıcaklığa getirilen sıcak akışkan pompa yardımı ile sisteme gönderilmiştir. Sistemin sıcak su içinde giriş ve çıkışlarında ısı ölçerler ile takip yapılmıştır. Sistemdeki akışkanların sıcaklıklarını takip etmek için 4 adet termokupl kullanılmıştır. Hazırlanan akışkan sisteme doğrudan eklenmiştir. Sistemin boşaltılması için Bernoulli prensibi kullanılmıştır. Sistem her deneyden sonra temizlenmiştir. Sistemde akışkanları değiştirirken istenilen kap dışarısına tahliye olmaması için ısı değiştiricisinin girişine vana koyulmuştur. Böylelikle sistem sökülüp akışkan rahatça istenilen yere alınabilmektedir. Deney esnasında sistem kararlı hale gelene kadar beklenmiş, sonra değerler okunmuştur. Deney her şart için 3'er kez yapılmış ve bunların ortalama değerleri alınmıştır.

Deney setinin farklı açılardan gösterimi Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



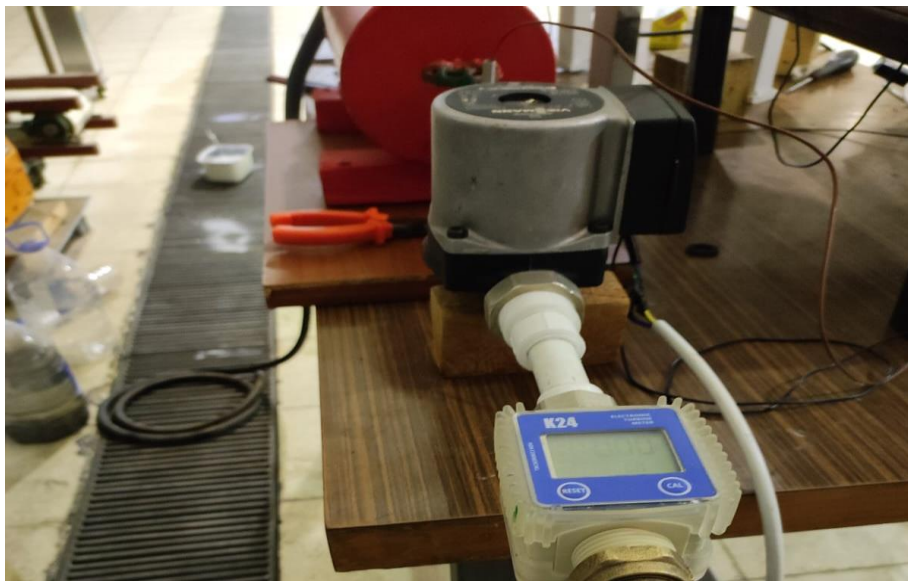
Şekil 4. 2: Deney setinin farklı açılardan görünümü



Şekil 4. 3: Sıcak akışkan akış yolu gösterimi



Şekil 4. 4: Soğuk akışkan yolu gösterimi



Şekil 4. 5: Akışkan debiölçer açısı



Şekil 4. 6: Akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıklarının okunması

4.2 Deney Düzeneği

Deney düzeneğinde soğuk akışkan ve sıcak akışkan hattı için birer adet pompa, akışkanın debisini ölçmek için debi ölçer, akışkan kontrolü ve tahliye için vana, sıcaklıkların ölçülebilmesi için termokupl ve verilenin alınabildiği sıcaklık kontrol cihazları, sıcak akışkanın istenilen sıcaklığa gelebilmesi için şartlandırma deposu kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan ısı değiştiricisi dış borusu St52 kalite çelikten, iç borusu ise kangal bakır borudan imal edilmiştir. Değiştiricinin flanşları da St37 kalite çelik sacdan plazma kesimi ile istenilen ölçüde kesilerek üretilmiştir.

Helisel iç boru yay büküm makinasıyla, flanşlar plazma makinası ile, dış boru ve giriş çıkış boruları ise istenilen ölçüde sanayi tipi profil kesim testeresi ile istenilen ölçüde kesilmiştir.

4.2.1 Pompa

Deneyde Şekil 4.5’de gösterilen Vaillant marka “Vaillant Turbotech Grundfos KK01.98.335” model sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Akışkan sisteme 3 l/dk debi ile stabil olarak gönderilmiştir. Kullanılan pompanın görseli Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4. 7: Sirkülasyon pompası

4.2.2 Debi Ölçer

Deneyde akışkanın debisi sürekli debi ölçer ile takip edilmiştir. Deneyde Anself-1 marka “K24” model dijital sıvı için üretilen debi ölçer kullanılmıştır. Kullanılan debi ölçer Şekil 4.8’de verilmiştir. Debi ölçerin hassasiyeti $\pm\% 1$ ’dir.



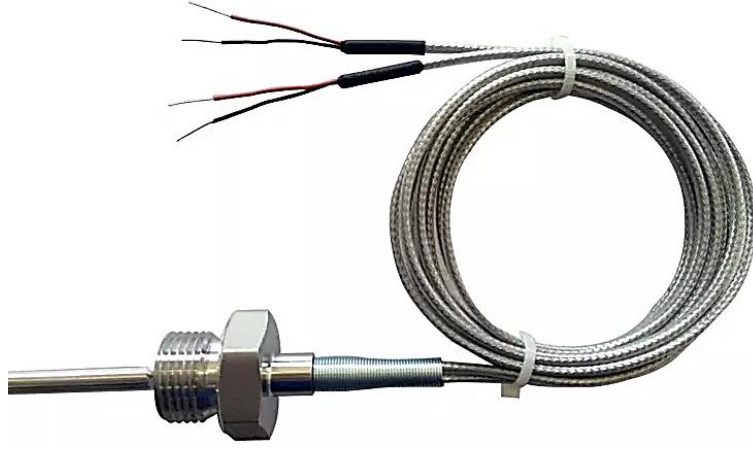
Şekil 4. 8: Debi ölçer

4.2.3 Vana

Akışkanın debisini ayarlayabilmek için kullanılmıştır.

4.2.4 Sıcaklık kontrol cihazları ve termokupl

Deney sisteminde ısı değıştiricinin giriş ve çıkışlarında 4 adet K tipi termokupl kullanılmıştır. Kullanılan termokupl tipi Şekil 4.9'daki gibidir. Sistemde bulunan termokupllar yardımıyla sıcaklık kontrol cihazlarına veri göndererek sıcaklıkların okunması sağlanmıştır. Sıcaklık kontrol cihazları Elimko marka E-58 modeldir. PID kontrol formlarında, 48x48 mm ebatlarında, IEC 668 normlarına uygun ve K tipi termokupl çalışma aralığı -200°C ile 1300°C arasındadır. Cihaz en düşük -10°C ve en yüksek 55°C ortam sıcaklığında çalışmaktadır. Sıcaklık kontrol cihazı Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 9: Termokupl



Şekil 4. 10: Sıcaklık kontrol cihazı



Şekil 4. 11: Sıcaklık kontrol cihazları konumlandırılması

Şekil 4.9’de görüldüğü üzere Elimko sıcaklık kontrol cihazları Cihaz -50°C ile 100°C arasında ölçüm yapabilmekte ve -5°C ile 50°C arasındaki ortam sıcaklıklarında çalışmaktadır.

4.2.5 Sıcak akışkan şartlandırma deposu

Sıcak akışkanın ısı değiştiricisine istenilen sıcaklıkta gönderilebilmesi için şartlandırma deposu imal edilmiştir. Depo içerisinde bir adet ısıtıcı rezistans bulunmaktadır. Ayarlı akım kontrol kolu sayesinde akışkan sisteme istenilen sıcaklıkta gönderilmiştir. Şartlandırma deposu Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 12: Sıcak akışkan şartlandırma deposu

4.2.6 Isı değıştiricisi

Deney setinde kullanılan ısı değıştiricisinde iç boru kangal bakır borudan yay makinasında helisel boruya çevirilerek imal edilmiştir. Helisel borunun çapı $d=12$ mm ve et kalınlığı $t=1$ mm'dir. Helisin merkez çapı 120 mm'dir. Boru Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Boru 10 sarımdır. Toplam boyu 3m'dir. İç boru dış borunun içine Şekil 4.14'deki gibi yerleştirildikten sonra $t=5$ mm et kalınlığındaki flanşlar ile kapatılmıştır. Şekil 4.15'deki gibi sistemin sıcak akışkan helisel borusu, gövdeden sızıntı olmaması için bakır kaynağı ile kaynatılıp flanşlar kapatıldıktan sonra tazyikli hava ile sızdırmazlık kontrolü yapılmıştır. Sistemin bitmiş halinin sembolik gösterimi Şekil 4.17'deki gibidir.



Şekil 4. 13: İç boru



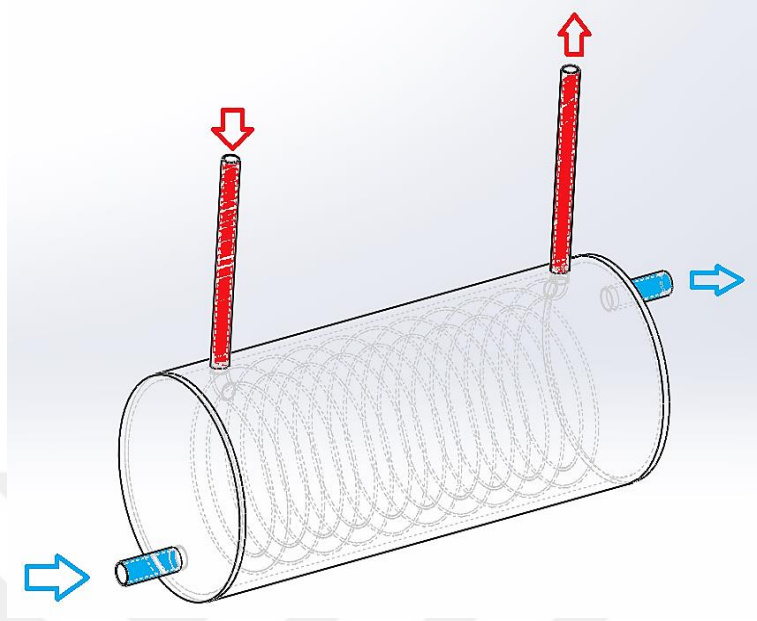
Şekil 4. 14: Isı değiştiricisinin imalatı



Şekil 4. 15: Bakır boru çıkışlarının sızdırmazlık için kaynatılması



Şekil 4. 16: Isı değıştirici flanşların kapatılması



Şekil 4. 17: Isı değiştiricisinin sembolik gösterimi



Şekil 4. 18: Isı değişşiricisi montaj hali

4.2.7 Mekanik pompa

Deney setinde akışkanın sistemden adışarı atılması için mekanik pompa kullanılmıştır. Kullanılan pompa sisteme basınçlı su ile nanoakışkan kalıntılarından arındırmak için kullanılmıştır. Pompa 4 bar kadar basınçlandırılabilir. Kullanılan pompa Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4. 19: Mekanik pompa

4.3 Deney Düzeneğinde Kullanılan Nanoakışkanın Hazırlanması

Yapılan deney çalışmasında grafit nanoakışkanı kullanılmıştır. Nano partiküller Nanografi firmasından alınıp, İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Hacimsel konsantrasyon istenilen ölçüde olması için 0.1 mg hassasiyetindeki hassas terazi kullanılmıştır.

4.3.1 Grafit/saf su nanoakışkanın hazırlanması

Kütlesel olarak ayarlanan oran hacimsel orana dönüştürülmüş ve hacimsel olarak %0.25 konsantre sağlayabilmek için 8 litre saf suya 46 gr grafit nano partikülü ilave edilmiştir. Akışkan iki aşamalı yöntem ile elde edilmiştir. Partiküllerin içerisinde homojen dağılmayı sağlamak ve çökelmeyi önlemek amacıyla ultrasonifikatör ve homojenizatör cihazı kullanılmıştır. Nanoakışkanın kararlı hale getirmek için kullanılan ultrasonifikatör cihazı Hiel Sher Up 400 ST dir. Cihaz 65 Hz frekans ve 400 watt'lık bir güce sahiptir. Kullanılan ultrasonifikatör ve homojenizatör cihazları Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1: Grafit ve Saf Suyun Termofiziksel Özellikleri

	Grafit	Saf Su
ρ (kg/m ³)	2300	992
C_p (J/kgK)	711	4182
k (W/mk)	168	0,618
μ (mPa.s)	-	0,62

Kullanılan saf suyun ve grafitin termofiziksel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu özellikler tedarikçi firmadan temin edilmiştir.



Şekil 4. 20: Ultrasonifikatör ve homozenizatör cihazı



Şekil 4. 21: Nanoakışkan ölçüm cihazları



Şekil 4. 22: Grafit/saf su nanoakışkanı

4.4 Teorik Analiz ve Hesaplama Yöntemi

Kesit Alanı (m²)

$$A = \frac{\pi \cdot d_{ic}^2}{4} \quad (4.1)$$

Yüzey Alanı (m²)

$$A_{yüzey} = \pi \cdot d_{ic} \cdot L \quad (4.2)$$

Sıcak Suyun Hızı (m/sn)

$$v_h = \frac{\dot{m}_n}{\rho \cdot A} \quad (4.3)$$

Sıcak Akışkanın Birim Zamanda Verdiği Isı (W)

$$\dot{Q}_h = \dot{m} \cdot c_{p,h} \cdot (T_{h_1} - T_{h_2}) \quad (4.4)$$

Buradaki nanoakışkanın özgül ısısı Maxwell-Garnet modeli kullanılarak hesaplanabilmektedir [40].

$$c_{p,nf} = \frac{\phi \cdot (\rho_n \cdot c_{p,n}) + (1-\phi) \cdot (\rho_f \cdot c_{p,f})}{\rho_{nf}} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5’de verilen yoğunluk su için soğuk su tabloları ile okunmaktadır [41], nanoakışkan yoğunluğuda Pak ve Choi modeli ile 4.6 numaralı denklemden tahmin

edilmektedir [42]. Burada ρ yoğunluğu, n nano partikülleri, f temel sıvıyı ve nf nano sıvıyı, ϕ nano partikülün hacimsel oranını temsil etmektedir.

$$\rho_{nf} = \phi \cdot \rho_n + (1 - \phi) \cdot \rho_f \quad (4.6)$$

Ortalama Logaritmik Sıcaklık Farkı (K)

$$\Delta T_{log} = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})}{\ln \frac{(T_{h1} - T_{c1})}{(T_{h2} - T_{c2})}} \quad (4.7)$$

Isı Taşınım Katsayısı (W/m²K)

$$Q_h = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{log} \quad (4.8)$$

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{1}{k \cdot A} + \frac{1}{h_o \cdot A}} \quad (4.9)$$

Boru et kalınlığı sistemde çok küçük olduğu için ihmal edilirse;

$$U = h_i$$

Elde edilir ve

$$Q_h = h \cdot A_y \cdot \Delta_{log} \text{ (W)}$$

Buradan;

$$h = \frac{Q_h}{A_y \cdot \Delta T_{log}} \quad (4.10)$$

Nusselt Sayısı

$$d_{es} = d_{iç}$$

$$Nu = \frac{h \cdot d_{es}}{k} \quad (4.11)$$

Nusselt sayısı hesabında ısı iletkenlik su için yine tablolardan okunabilir. Nanoakışkan için ise Maxwell-Garnet modeli ile denklem 4.10 kullanılarak hesaplanabilir [43].

$$k_{nf} = k_f \cdot \frac{k_n + 2k_f - 2\phi(k_f - k_n)}{k_n + 2k_f + \phi(k_f - k_n)} \quad (4.12)$$

$$\phi = \frac{\frac{m_n}{\rho_n}}{\frac{m_n}{\rho_1} + \frac{m_f}{\rho_f}} \quad (4.13)$$

Burada m_n ve m_f partiküllerin ve kullanılan temel sıvının kütlesidir. Nano partiküllerin kütleleri tedarikçi firmalaradan alınabilir.

Reynolds Sayısı

$$Re = \frac{\rho \cdot V_h \cdot d_{es}}{\mu_h} \quad (4.14)$$

Etkinlik Değeri [44]

$$\varepsilon = \frac{Q_{gerçek}}{Q_{max}} \quad (4.15)$$

$$Q_{gerçek} = \dot{m}_h \cdot c_{p_h} \cdot (T_{h_2} - T_{h_1}) \quad (4.16)$$

$$Q_{max} = \dot{m}_c \cdot c_{p_c} \cdot (T_{h_1} - T_{c_1}) \quad (4.17)$$

-İyileştirme Oranı

$$\frac{\varepsilon_{nanoakışkan} - \varepsilon_{su}}{\varepsilon_{su}} \quad (4.18)$$

ile hesaplanır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Deney setinde çalışmalar öncelikle su ile yapılmıştır. Daha sonra grafit/saf su nanoakışkanı ile sonuçlandırılmıştır. Yapılan bu çalışmada sıcak akışkan sabit debide ve sabit sıcaklıkta sisteme gönderilmiştir. Kurulan deney sisteminde 3 l/dk ile sabit tutulan sıcak akışkan 55°C sabit sıcaklıkta sisteme gönderilmiştir. Sıcak ve soğuk akışkan debi oranları 1, 0.75, 0.5 ve 0.25 olarak ayarlanmış olup soğuk akışkan 3, 4, 6 ve 12 l/dk debilerde sisteme gönderilmiştir.

Tüm deneyde sistemin kararlı hale gelmesi beklendikten sonra ölçümler yapılmıştır. Deneysel çalışmada hata payını azaltmak için ölçümler her durum şartı için 3 kez tekrarlanıp okunan değerlerin ortalamaları alınmıştır. Deney oda sıcaklığında yapılmıştır.

5.1 Su ile Yapılan Deneysel Çalışma

Yapılan çalışma öncelikle su ile gerçekleştirilmiştir. Soğuk akışkan sisteme 3, 4, 6 ve 12 l/dk debilerde sabit gönderilirken sıcak akışkan şartlanma tankından su 55°C’de ve 3 l/dk debi ile gönderilmiştir. Çalışma her iki akış şartı için ayrı ayrı yapılmıştır. Doğru değerlere ulaşmak için her deney 3 kez tekrarlanmıştır. Bu deneylerin ortalaması alınmıştır.

5.1.1 Paralel akışta yapılan çalışma

Paralel akış şartlarında sistem öncelikle test edilmiştir. Yapılan teorik hesaplarla akışın türbülanslı olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında alınan veriler Tablo 5.1’deki gibidir.

Tablo 5. 1: Paralel akış şartlarında suyun giriş çıkış sıcaklıkları

Soğuk akışkan debisi (l/dk)	T_{H1} (°C)	T_{H2} (°C)	T_{C1} (°C)	T_{C2} (°C)
3	55	42,100	19,700	31,200
4	55	39,100	19,100	28,200
6	55	36,900	18,700	26,000
12	55	33,600	18,700	24,200

Bu değerler ile hesaplanan Reynolds sayısı 3 l/dk için 11215.29'dur. Akış trblanslı kabul edilmiştir.

5.1.2 Zıt akışta yapılan çalışma

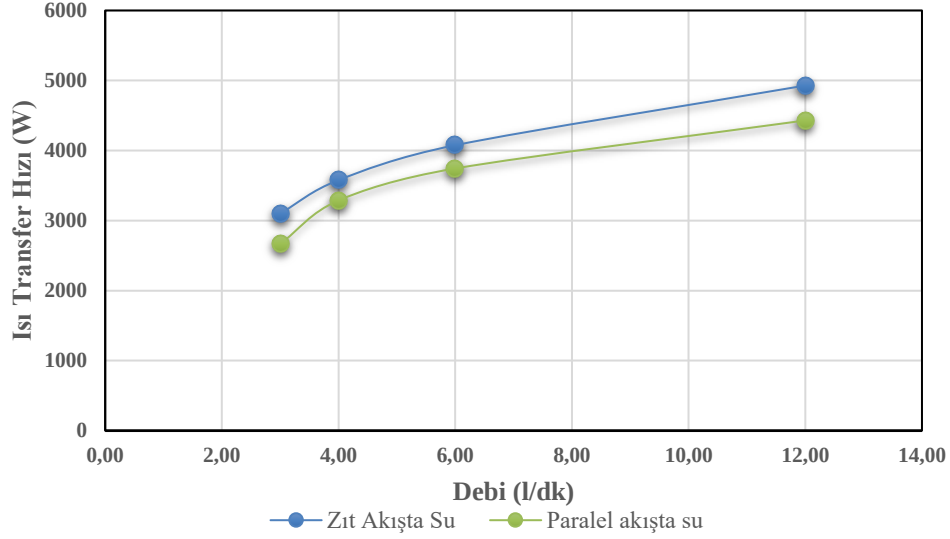
Zıt akış şartlarında yapılan deneyde alınan veriler teoriye uygun şekildedir. Isı transfer hızı beklendiği gibi paralel akışa oranla artmıştır. Zıt akış şartlarında alınan değerler Tablo 5.2'deki gibidir.

Tablo 5. 2: Zıt akış şartlarında suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları

Soğuk akışkan debisi (l/dk)	T_{H1} (°C)	T_{H2} (°C)	T_{C1} (°C)	T_{C2} (°C)
3	55	40,000	20,700	35,700
4	55	37,700	20,500	35,300
6	55	35,300	20,200	33,700
12	55	31,200	19,700	28,300

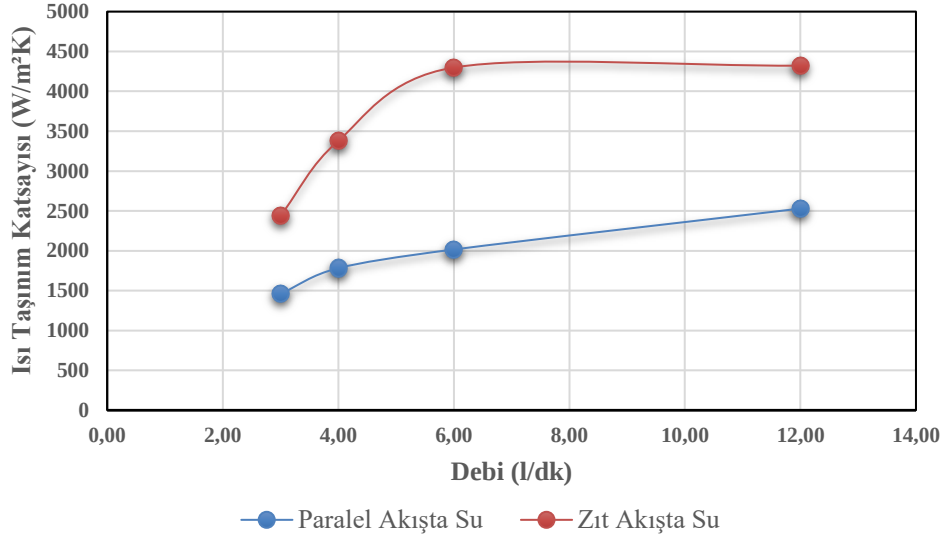
5.1.3 Paralel ve zıt akış durumunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Yapılan su deneyinde paralel ve zıt akış şartlarında değerler okunmuştur. Deney hedeflendiği gibi her değer için deney 3 kez tekrarlanmış ve ortalaması alınmıştır. Yapılan alışma sonucunda teorik hesaplamalar ile ısı transfer hızı 3 l/dk debide %16.323'lk bir artış görülmüştür. Isı transfer hızındaki karşılaştırma şekil 5.1'deki gibidir.



Şekil 5. 1: Isı transfer hızının (Q) paralel ve zıt akışta karşılaştırılması

Paralel ve zıt akış şartlarında ısı taşınım katsayısında da fark ortaya çıkmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 5.2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5. 2: Isı taşınım katsayısının paralel ve zıt akışta karşılaştırılması

5.2 Grafit/Saf Su ile Yapılan Deneysel Çalışma

Sistem tamamen boşaltıldıktan sonra grafit/saf su nanoakışkanın sıcak akışkan şartlandırma deposuna doldurulmuştur. Pompanın hava yapmaması için tank yüksek konumlandırılmış pompaya kadar akışkanın doğal yollardan ilerlemesi sağlanmıştır. Daha sonra pompa 3 l/dk debide çalıştırılmaya başlanmış ve devirdaim sağlanmıştır. Akışın yön değiştirileceği zaman sistem deposu ısı değiştiricisinden aşağı konumlandırılmış ve

borudaki akışkan depoya doğal yollar ile alınmıştır. Sistem zıt akışa göre ayarlanıp işlem tekrarlanmıştır.

5.2.1 Paralel akışta yapılan çalışma

Paralel akış şartlarında grafit/saf su nanoakışkanı ile yapılan deneyde akışkan sisteme 3 l/dk sabit debide ve 55°C sabit sıcaklıkta gönderilmiştir. Giriş çıkış sıcaklıkları ile okunan değerler Tablo 5.3'deki gibidir.

Tablo 5. 3: Paralel akış şartlarında grafit/saf su nanoakışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları

Soğuk akışkan debisi (l/dk)	$T_{H1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{H2}(^{\circ}\text{C})$	$T_{C1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{C2}(^{\circ}\text{C})$
3,00	55	40,600	20,200	34,700
4,00	55	37,700	19,800	32,700
6,00	55	35,500	19,600	31,300
12,00	55	33,100	19,400	28,000

5.2.2 Zıt akışta yapılan çalışma

Sistem zıt akışa göre düzenlendikten sonra sıcak akışkan istenilen sıcaklığa gelene kadar beklenmiştir. Sistem kararlı hale geldikten sonra yapılan ölçümler Tablo 5.4'deki gibidir.

Tablo 5. 4: Zıt akış şartlarında grafit/saf su nanoakışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları

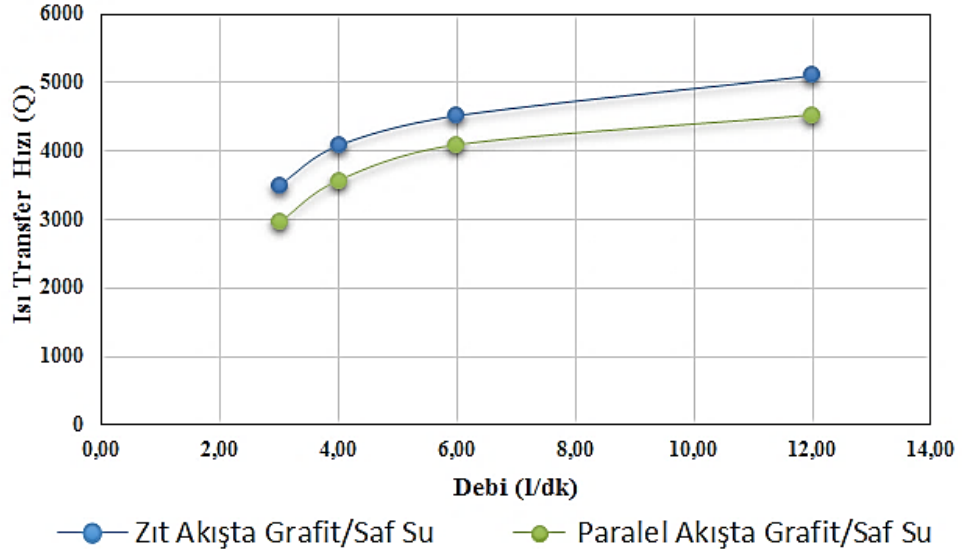
Soğuk akışkan debisi (l/dk)	$T_{H1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{H2}(^{\circ}\text{C})$	$T_{C1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{C2}(^{\circ}\text{C})$
3,00	55	38,400	18,900	41,200
4,00	55	35,200	18,700	40,100
6,00	55	33,100	18,600	36,500
12,00	55	30,300	18,700	31,300

5.2.3 Paralel ve zıt akış durumunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Sistemde grafit/saf su nanoakışkanı ile değerler alındıktan sonra yapılan teorik hesaplamalar, literatürdeki çalışmalarada uygun olarak temel sıvıya eklenen nano partikülün ısı performansa etkisini gözlemlene fırsatı sağlamıştır. Bu hususta hem akış

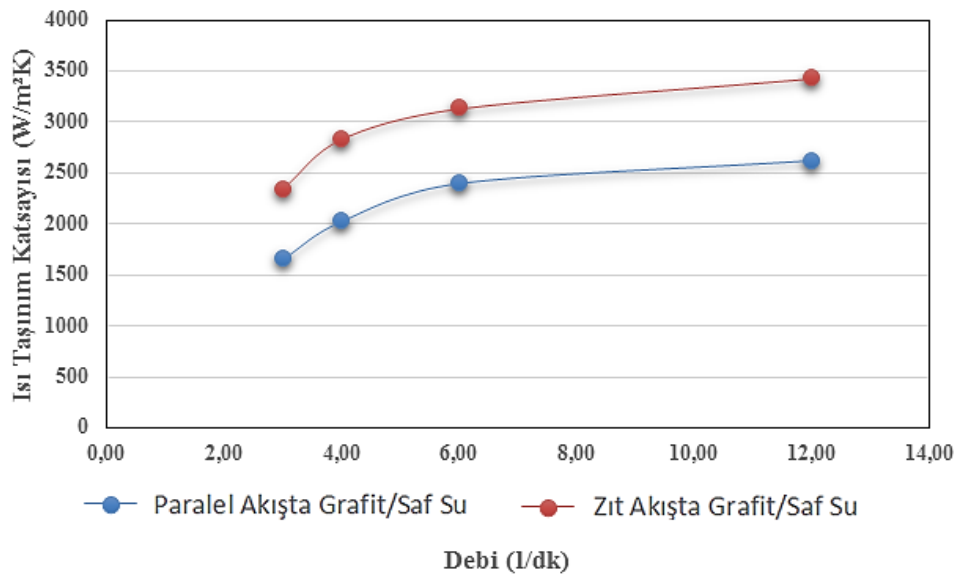
şartlarındaki verimin hemde soğutucu olarak su kullanımı ile grafit/saf su nanoakışkanı kullanımı arasındaki farklar gözlemlenmiştir.

Grafit/saf su nanoakışkanında yapılan deneyde paralel ve zıt akıştaki ısı transferindeki artış gözlemlenmiştir. 3 l/dk'lık debide %18.39'luk bir artış gözlemlenmiştir. Isı transferindeki değişim Şekil 5.3'de verilmiştir.



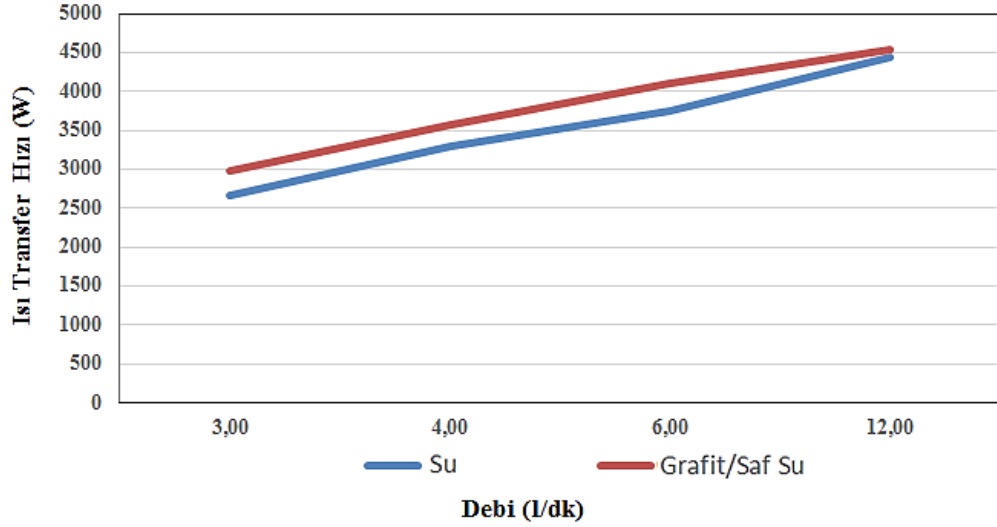
Şekil 5. 3: Grafit/saf su için ısı transfer hızının paralel ve zıt akışta karşılaştırılması

Suda görüldüğü ve beklenildiği gibi zıt akış şartları paralel akış şartları ile kıyaslandığında ısı transfer hızında artış gözlemlenmiştir. Aynı şekilde ısı taşınım katsayısı üzerinde akışın etkisinde Şekil 5.4'de verilmiştir.



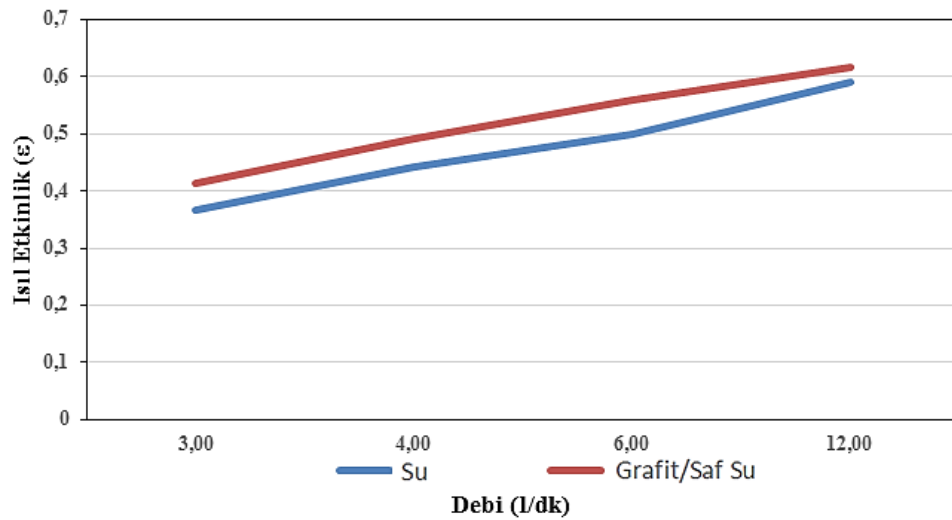
Şekil 5. 4: Grafit/saf su için ısı taşınım katsayısının paralel ve zıt akışta karşılaştırılması

Grafit/saf su nanoakışkanı ile su paralel akışta teorik hesaplar sonucu kıyaslandığında ısı transfer hızının %11.657'lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu iki akışkanın paralel akış şartlarındaki ısı transferi karşılaştırması Şekil 5.5'de verilmiştir.



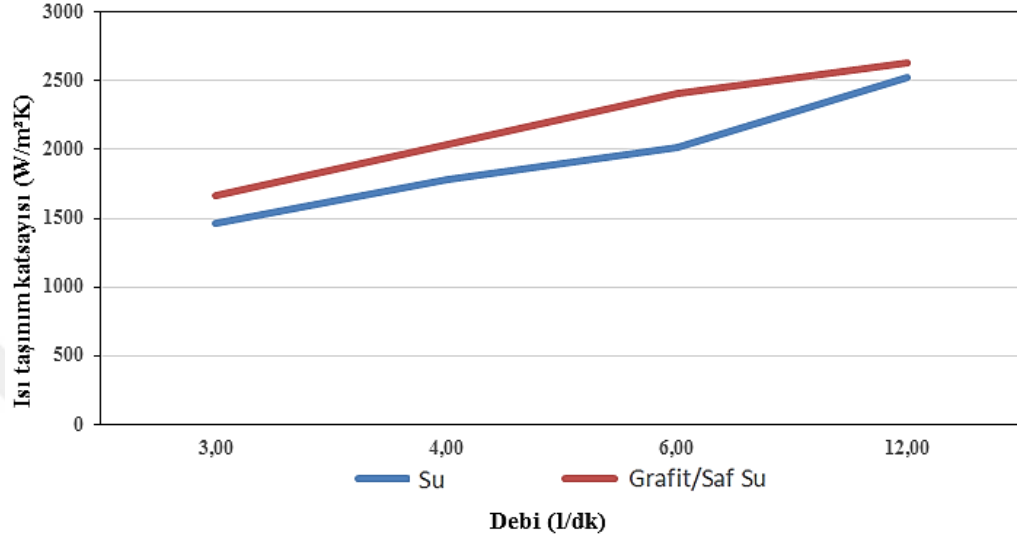
Şekil 5. 5: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun paralel akış şartlarındaki ısı transfer hızı karşılaştırılması

Akışkanın ısısal etkinliği Denklem 4.15'e göre hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler ışığında ısısal etkinlik katsayısında 3 l/dk debide %40.83'lük oranda grafit/saf su nanoakışkanının daha iyi olduğu ortaya konulmuştur. Isıl etkinlikte alınan değerlerin karşılaştırılması Şekil 5.6'daki gibidir.



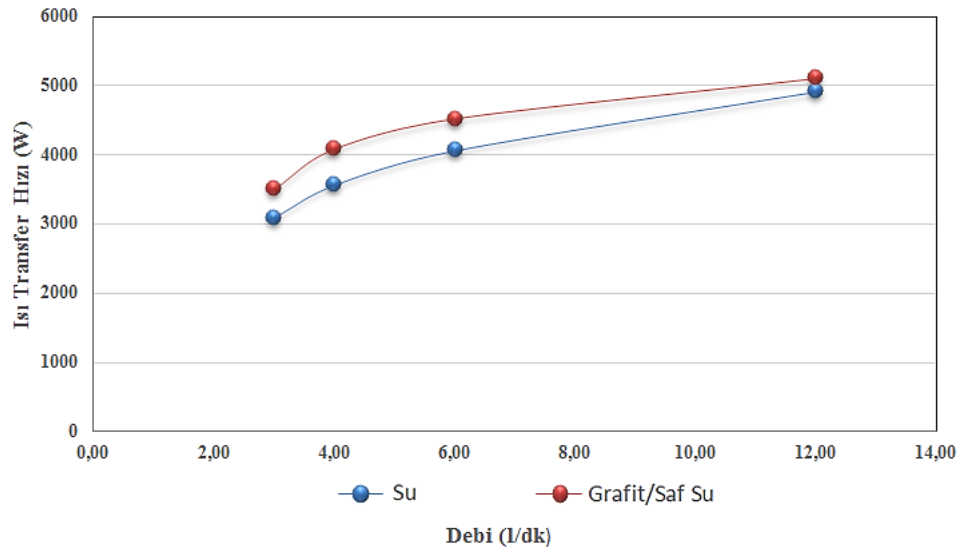
Şekil 5. 6: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun paralel akış şartlarındaki ısısal etkinlik değerleri karşılaştırması

Temel sıvıya eklenen nano partiküllerin yüzey alanını arttıracaklarını literatürdeki çalışmalardan görmekteyiz. Bu netice grafit/saf su nanoakışkanının ısı taşınım katsayısında soğuk akışkan olarak suyun kullanılması ile kıyaslandığında artacağını öngörmekteyiz. Yapılan deney sonucunda ısı taşınım katsayısındaki artış Şekil 5.7’de gösterildiği gibi gerçekleşmiştir.

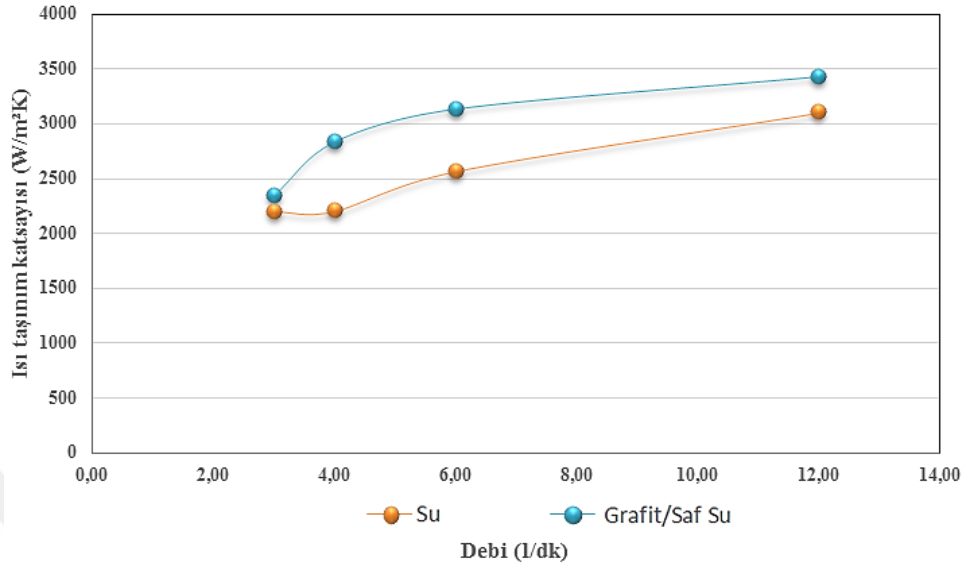


Şekil 5. 7: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun paralel akış şartlarındaki ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması

Paralel akış şartlarında olduğu gibi grafit/saf su nanoakışkanının su ile olan kıyaslamasında grafit nano partiküllerinin kullanımı zıt akışta da fayda sağlamıştır. Yapılan çalışmada zıt akış şartlarında su ile grafit/saf su nanoakışkanı kıyaslandığında ısı transfer hızında %13.498’lik bir artış görülmüştür. Zıt akış şartlarında grafit/saf su nanoakışkanı ve suyun ısı transfer hızındaki değişim Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

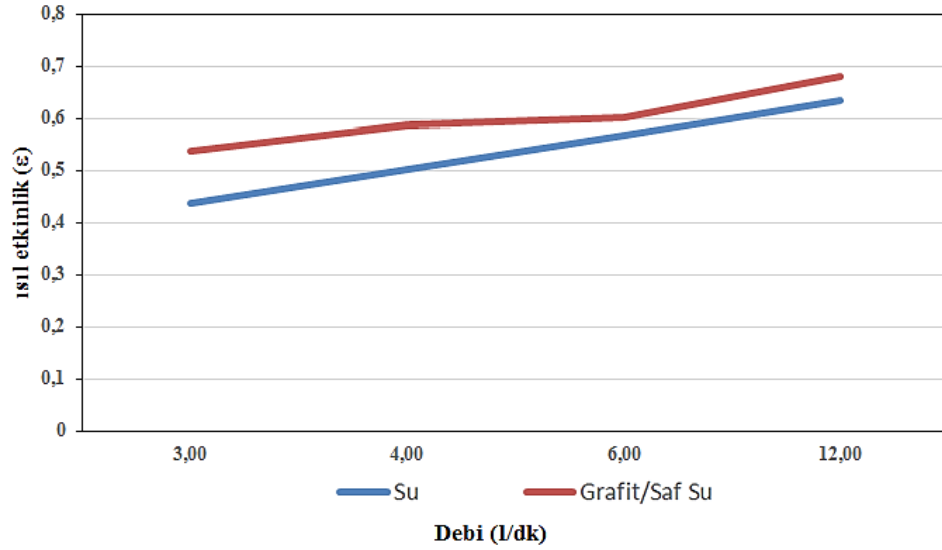


Şekil 5. 8: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun zıt akış şartlarındaki ısı transfer hızı karşılaştırılması

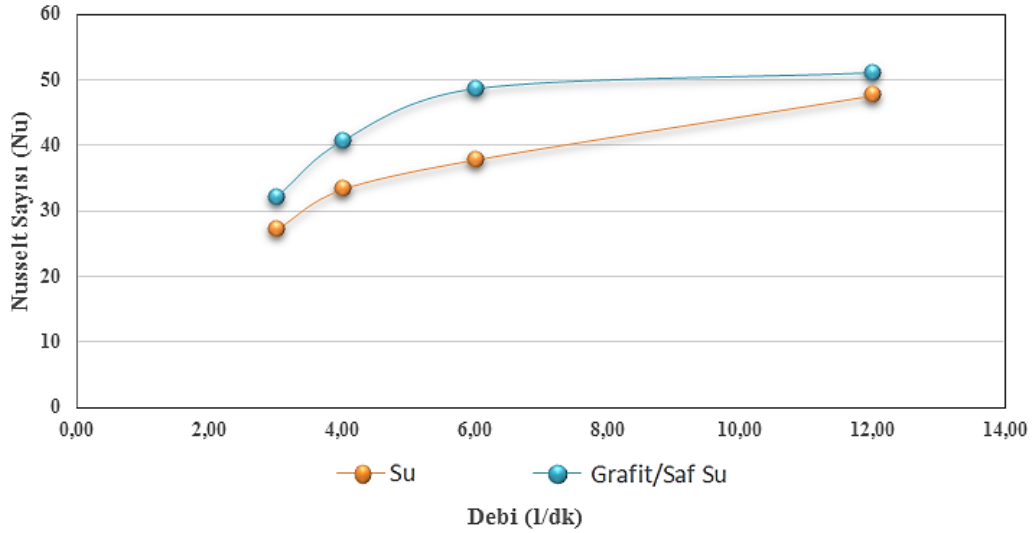


Şekil 5. 9: Grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun zıt akış şartlarındaki ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması

Bu iki sıvının ısı taşınım katsayısındaki değişim Şekil 5.9'daki gibidir. Sıvıların ısıl etkinlik değerleri Şekil 5.10'da verilmiştir.

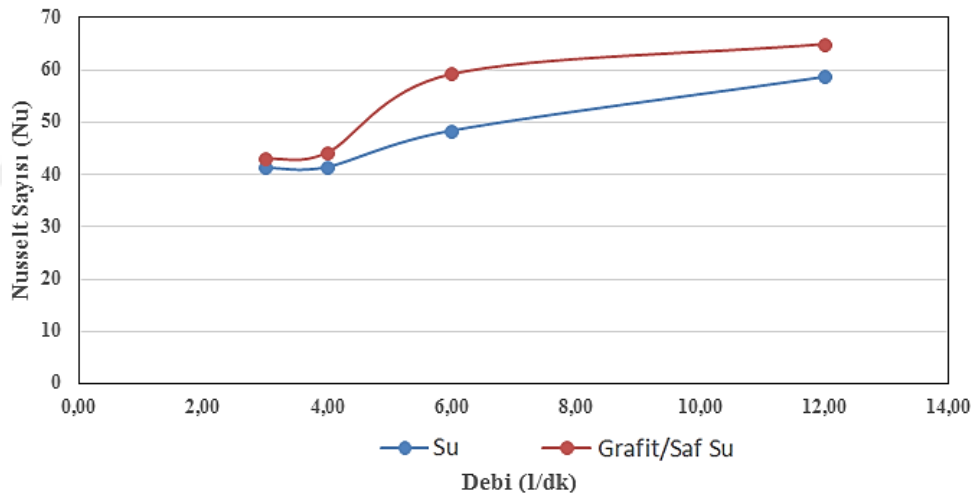


Şekil 5. 10: Zıt akışta grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun ısıl etkinlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5. 11: Paralel akışta grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun Nusselt sayısının karşılaştırılması

Paralel akışta hesaplanan Nusselt sayılarının karşılaştırması Şekil 5.11’de verilmiştir. Zıt akışta yapılan deneyde Nusselt sayısı ise Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 12: Zıt akışta grafit/saf su nanoakışkanı ile suyun Nusselt sayısının karşılaştırılması

Denklem 4.18 kullanılarak iyileştirme oranı hesaplandığı zaman akışkana grafit partiküllerinin süspanse edilmesi sonucu 3 l/dk da paralel akış şartlarında %13.23 ve zıt akış şartlarında %23.05’lik iyileştirme oranı görülmüştür. Hesaplanan değerler Tablo 5.5’de ve 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5. 5: Paralel akışta grafit/saf su-su iyileştirme oranı

Debi(l/dk)	İyileştirme Oranı (%)
3	13,234
4	10,962
6	12,178
12	4,358

Tablo 5. 6: Zıt akışta grafit/saf su-su iyileştirme oranı

Debi (l/dk)	İyileştirme Oranı (%)
3	23,053
4	17,256
6	6,281
12	7,025

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu deneysel çalışmada temel sıvıya eklenen nano partiküllerin ısı transferine, ısı taşınım katsayısına ve iyileştirme oranına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan deney setinde düz boru içerisine yerleştirilmiş helisel iç borulu bir ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Çalışma literatürdeki diğer çalışmalar ile doğrusallık göstermiştir. Yapılan deneysel çalışma da;

- Akış şartlarının ısı transferini, ısı transfer hızını, ısı taşınım katsayısını etkilediği açıkça görülmüştür.
- Temel sıvıya nano partikül eklenmesinin ısı performansını olumlu etkilediği görülmüştür.
- Çalışma süresince nanoakışkanlarda gözle görülür bir çökeltme meydana gelmemiştir.

Bu çalışmada grafit nano partikülleri ve temel sıvı olarak su kullanılarak bir nanoakışkan elde edilmiştir ve ölçümler yapılmıştır. Deney sıcak akışkan için sabit sıcaklık ve sabit debi şartlarında yapılmıştır. Grafit/saf su nanoakışkanının kullanıldığı deneyde ısı performansının saf su ile yapılan deneye göre daha iyi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda Nusselt sayısının daha yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Grafit/saf su nanoakışkanının ısı transfer katsayısının suya göre yüksek olması deney sonuçlarında belirgin olarak görülmüştür. Grafit-saf su nanoakışkanının saf suya göre ısı taşınım katsayısının daha iyi olduğu deneysel çalışma ile de sağlanmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada grafit/saf su bazlı nanoakışkan kullanılarak, ısı transfer hızı, toplam ısı transferi ve Nusselt sayısı gibi termal performans değerlerinde saf su ile yapılan deneylere göre daha iyi değerlere ulaşılmıştır. Paralel ve zıt akış şartlarında alınan sonuçlar literatür çalışmaları ile uyum sağlamaktadır.

Nanoakışkanları oluşturan nanoparçacıkların türbülanslı bir akışta ısı verimliliği yüksek miktarda artırması oldukça önemlidir. Nanoakışkanların ısı değiştiricilerinde kullanılmasının verimliliğe etkisini tespit edebilmek için daha çok çalışma yapılmalıdır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan farklı tip bir ısı değiştiricisi ile elde edilen sonuçların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., & Yılmaz, M.** (2006). Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 47(559), 29-34.
- [2] **Bergles, A. E.** (1998). The imperative to enhance heat transfer, in: energy conservation through heat transfer enhancement of heat exchangers. NATO Advanced Study Institute, Izmir, Turkey, 547-563.
- [3] **Lee, S., Choi, S. S., Li, S. A., & Eastman, J. A.** (1999). Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles.
- [4] **Maxwell, J.C.** (1904). A Treatise on Electricity and Magnetism, Oxford University Press, Cambridge.
- [5] **Ali, H.M., Azhar, M.D., Saleem, M., Saeed, Q.S., Saieed, A.,** (2015), Heat transfer enhancement of car radiator using aqua based magnesium oxide nanofluids, *Thermal Science* 19(6), 2039–2048.
- [6] **Yakut, K., Şahin, B.,** 2004, The Effects of Vortex Characteristics on Performance of Coiled Wire Turbulators Used for Heat Transfer Augmentation, *Applied Thermal Engineering*, 24, 2427-2438
- [7] **Karabay, H., Ayhan, T.,** 1988, Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Daralan Genişleyen Konik Yüzeylerin Isı Transferine Etkisi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt. 11, 39-43
- [8] **Çulcu, B.,** 1998, Yeni Bir Tip Türbülötörün Isı Transferine ve Basınç Kayıplarına Olan Etkilerinin Araştırılması, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ
- [9] **Kavak, E., Biçer, Y. Yıldız, C.,** 1998, Konsantrik ısı değiştirgeçlerinde üçgen sıralı dairesel delikli dönel akış üreticisinin ısı transferine ve basınç düşüşüne etkisi, *Termodinamik Dergisi*, sayı 67, 72-80
- [10] **Sundar, S., K. Singh, M., Antonio, C.M, S.** (2014). Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT–Fe₃O₄/water hybrid nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 52, 73–83.
- [11] **Takabi, B., Hossein, S.** (2015). Effects of Al₂O₃–Cu/water hybrid nanofluid on heat transfer and flow characteristics in turbulent regime. *International Journal of Modern Physics C Vol. 26, No. 4*:1550047.
- [12] **Hossein, A. Z., Majid, S.A., Mohsen, M., Farhad S., Mohammad, A.** (2016). Experimental investigation of laminar forced convective heat transfer of Graphene water nanofluid inside a circular tube. *International Journal of Thermal Sciences* 100, 316-323.
- [13] **Noghrehabadi, A., Rashid P.** (2016). Experimental investigation of forced convective heat transfer enhancement of γ -Al₂O₃/water nanofluid in a tube. *Journal of Mechanical Science and Technology* 30 (2), 943-952.
- [14] **Duangthongsuk, W., Wongwises, S.** (2009). Heat transfer enhancement and pressure drop characteristics of TiO₂–water nanofluid in a double-tube counter flow heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52, 2059–2067.

- [15] **Huminic, G., Huminic, A.** (2011). Heat transfer characteristics in double tube helical heat exchangers using nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54, 4280–4287.
- [16] **Lotfi, R., Rashidi, A. M., Amrollahi A.** (2012). Experimental study on the heat transfer enhancement of MWNT-water nanofluid in a shell and tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39, 108–111.
- [17] **Darzi, R.A.A., Farhadi, M., Sedighi, K.** (2013). Heat transfer and flow characteristics of AL₂O₃–water nanofluid in a double tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 47, 105–112.
- [18] **Khedkar, R.S., Sonawane, S.S., Wasewar, K.L.** (2014). Heat transfer study on concentric tube heat exchanger TiO₂–water-based nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 57, 163–169.
- [19] **Zamzamin, A., Oskouie, S.N., Doosthoseini, A., Joneidi, A., Pazouki.** (2011). Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of Al₂O₃/EG and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow. *Experimental Thermal and Fluid Science* 35, 495–502.
- [20] **Chun, B.H., Kang, H.U., Kim, S.H.** (2008). Effect of alumina nanoparticles in the fluid on heat transfer in double-pipe heat exchanger system. *Korean Journal of Chemical Engineering* 25(5), 966–971.
- [21] **Kwon, Y. H. D., Kim, C. G., Li, J. K., Lee, D. S., Hong, J. G., Lee, S. H., Lee, Y. H., Cho, Kim, S. H.** (2011). Heat transfer and pressure drop characteristics of nanofluids in a plate heat exchanger. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11, 5769–5774.
- [22] **Xuan, Y., & Li, Q.** (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of heat and fluid flow*, 21(1), 58–64.
- [23] **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.
- [24] **Khedkar, R. S., Sonawane, S. S., & Wasewar, K. L.** (2013). Water to Nanofluids heat transfer in concentric tube heat exchanger: Experimental study. *Procedia Engineering*, 51, 318–323.
- [25] **Mintsa, H. A., Roy, G., Nguyen, C. T., & Doucet, D.** (2009). New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids. *International journal of thermal sciences*, 48(2), 363–371.
- [26] **Heris, S. Z., Esfahany, M. N., & Etemad, S. G.** (2007). Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube. *International journal of heat and fluid flow*, 28(2), 203–210.
- [27] **Tsai, C. Y., Chien, H. T., Ding, P. P., Chan, B., Luh, T. Y., & Chen, P. H.** (2004). Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance. *Materials Letters*, 58(9), 1461–1465.
- [28] **Chen, Y. T., Wei, W. C., Kang, S. W., & Yu, C. S.** (2008, March). Effect of nanofluid on flat heat pipe thermal performance. In *2008 Twenty-fourth*

- [29] **Huminic, G., Huminic, A., Morjan, I., & Dumitrache, F.** (2011). Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles. *International journal of heat and mass transfer*, 54(1-3), 656-661.
- [30] **Sarafraz, M. M., Hormozi, F., & Peyghambarzadeh, S. M.** (2014). Thermal performance and efficiency of a thermosyphon heat pipe working with a biologically ecofriendly nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 297-303.
- [31] **Pandey, S.D., 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.
- [32] **Bulgurcu H., Konuk M., Koçyiğit C., Teknik Yayınları** (2020). Konuk Isı, Isı Değiştiricileri, No:1
- [33] **Çengel, Y.A.** (2011). *Isı ve Kütle Transferi*, (Çev. V. Tanyıldızı, İ. Dağtekin), İzmir Güven Kitapevi, İzmir, 879s.
- [34] **Choi, S.U.S., Eastman, J.A.** (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Paper presented at the ASME International Mechanical Enginer Congress Exposition, San Francisco, USA.
- [35] **Menlik, T., Sözen, A., Gürü, M., Çağlayan, N. ve Öztaş, S.** (2015). Spineloksit partikül içeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 285-303.
- [36] **Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee S. and Hadadian, M.** (2013). Nanofluids for heat transfer enhancement-A review, *Physical Chemistry Research*, 1(1), 1-33.
- [37] **Luther, W.** (2006). International strategy and foresight report on nanoscience and nanotechnology. VDI Technologiezentrum for Riöse National Laboratory, Düsseldorf.
- [38] **Xie, H., Wang, J., Xi, T. and Liu, Y.** (2002). Thermal conductivity of suspensions containing nanosized SiC particles, *International Journal of Thermophysics*, 23(2), 571-580.
- [39] **Yang, L., Xu, J., Du, K. and Zhang, X.** (2017). Recent developments on viscosity and thermal conductivity of nanofluids, *Powder Technology*, 317, 348–369.
- [40] **Xuan, Y., Roetzel, W.** (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer* (2000), 43(19), 3701-3707.
- [41] **Çengel, Y. A. ve Ghajar, A. J.** (2017). *Isı ve Kütle Transferi*. Palme Yayınevi.
- [42] **Pak, B.C., Choi, Y.I.** (1998). Hyrdrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submiron metallic oxide particle. *Experimental Heat Transfer and Internation Journal*, 11 (2) (1998), 151-170

- [43] **Mawell, J.C., Garnett, J.C.** (1904). Colours in metal glasses and in metallic films. Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 203 (1904), 385-420.
- [44] **Selbaş, R., Sencan, A.M., Kılıç, B.** (2009). Alternative approach in thermal analysis of plate heat exchanger. Heat and Mass Transfer, 45(2009), 323-329.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yağız ÇOTUR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ön Lisans** : 2014, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale M.Y.O.,
Makine Bölümü
- **Lisans** : 2018, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2022, İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2014-2018 Antalya ve Ankara’da Coşkun Su A.Ş teknik danışman
- 2019-2021 Ankara’da konkasör makinaları üreten firmada proje mühendisi ve proje müdürü

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Çotur, Y. Koca, T.** (2022). Grafit içeren nanoakışkan kullanılarak ısı değıştiricilerin performanslarının iyileştirilmesi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. Yayın Kabul edildi, basım aşamasında
- **Çotur, Y. Koca, T.** (2022). Helezon Yapıda İç Boruya Sahip Çift Borulu Isı Değıştiricisinde Sıcak Akışkan Olarak Grafit ve Suyun Karşılaştırılması, ICEANS 2022, Konya, Turkey

