

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

**ISI EŞANJÖRLERİNDE NANOAKIŞKAN OLARAK GRAFEN OKSİT
KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Muhammet KAHVECİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

AĞUSTOS 2021

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

**ISI EŞANJÖRLERİNDE NANOAKIŞKAN OLARAK GRAFEN OKSİT
KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

**Muhammet KAHVECİ
(36183618073)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

AĞUSTOS 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA'ya, Prof. Dr. Muhammet KAYFECİ'ye,

Bu yüksek lisans tezini FYL-2020-2253 numaralı proje ile destekleyen İnönü Üniversitesi BAP birimine,

Ayrıca çalışmalarımda tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmamda da beni destekleyen kıymetli eşim ve aileme,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Isı Eşanjörlerinde Nanoakışkan Olarak Grafen Oksit Kullanımının Isıl Performansa 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.

Muhammet KAHVECİ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. GENEL BİLGİLER	10
3.1 Isı Değiştiriciler	10
3.1.1 Isı değişim şekline göre sınıflandırma.....	10
3.1.1.1 Akışkanlar arasında doğrudan temasın olduğu ısı değiştiriciler.....	10
3.1.1.2 Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiriciler	10
3.1.2 Akışkan sayısına göre sınıflandırma	11
3.1.3 Konstrüksiyon özelliklerine göre sınıflandırma	11
3.1.3.1 Borulu ısı değiştiriciler	11
3.1.4 Plakalı ısı değiştiriciler	13
3.1.4.1 Contalı plakalı ısı değiştiriciler	13
3.1.4.2 Spiral levhalı ısı değiştiriciler.....	14
3.1.4.3 Lamelli ısı değiştiriciler.....	14
3.1.5 Kanatlı yüzeyli ısı değiştiriciler.....	15
3.1.5.1 Levhalı kanatlı ısı değiştiriciler	15
3.1.5.2 Borulu kanatlı ısı değiştiriciler	16
3.1.6 Akış şekillerine göre ısı değiştiriciler	16
3.1.6.1 Tek geçişli ısı değiştiriciler.....	16
3.1.6.2 Çok geçişli ısı değiştiriciler	18
3.2 Nanoakışkanlar	18
3.2.1 Nanoakışkan oluşumunda kullanılan nano partikül tipleri.....	19
3.2.2 Nanopartikül boyutları.....	19
3.2.3 Nano partikül üretim yöntemleri	20
3.2.3.1 Yukarıdan aşağıya üretim yöntemi.....	20
3.2.3.2 Aşağıdan yukarıya yöntemi	20
3.2.4 Nanoakışkan oluşumunda kullanılan baz sıvılar	20
3.2.5 Nanoakışkan çeşitleri.....	20
3.2.6 Nanoakışkanların kullanıldığı yerler	21
3.2.6.1 Güneş enerjisi uygulama alanlarında kullanımı	21
3.2.6.2 Uzay araçları ve savunma endüstrisinde kullanımı	21
3.2.6.3 Talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak kullanımı	22
3.2.6.4 Elektronik alanda soğutma sıvısı olarak kullanımı.....	23
3.2.6.5 Kameralar, mikro cihazlar ve ekranlarda kullanımı	24
4. MATERYAL VE YÖNTEM	25
4.1 Deneyde Kullanılan Nanoakışkanın Hazırlanması	25
4.2 Deney Seti.....	27
4.3 Deney Setinde Kullanılan Ölçüm Cihazları	29
4.3.1 Debimetre	29
4.3.2 Deney setinde kullanılan sirkülasyon pompası	29

4.3.3 Atmosferik brülör	30
4.3.4 Plakalı ısı değıştirici	31
4.3.4 Ana eşanjör.....	31
4.3.5 Veri aktarım cihazı	32
4.3.6 Mekanik pompa	33
4.4 Teorik Analiz	34
5. DENEYİN YAPILIŞI, BULGULAR VE TARTIŞMA	36
5.1 Etkinlik Katsayısı.....	36
5.2 Isı Transferi Miktarı.....	43
5.3 Toplam Isı Transfer Katsayısı	45
5.4 İyileştirme Oranı	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	56



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Literatürde kullanılan bazı nano parçacıklar.	19
Çizelge 4.1: 20 °C de akışkanların termofiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 4.2: Deney setinde kullanılan debimetreye ait özellikler.....	29
Çizelge 4.3: Deney setinde kullanılan sirkülasyon pompasına ait özellikler.....	30
Çizelge 4.4: Deney setinde kullanılan veri aktarım cihazının özellikleri.	32
Çizelge 5.1: Deneyde kullanılan değişkenler.....	36



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Akışkanlar arasında doğrudan temasın olduğu ısı değiştiriciler.	10
Şekil 3.2: Düz borulu ısı değiştiriciler.	11
Şekil 3.3: Spiral borulu ısı değiştiriciler.	12
Şekil 3.4: Gövde borulu ısı değiştiriciler.	12
Şekil 3.5: Plakalı ısı değiştiriciler.	13
Şekil 3.6: Contalı plakalı ısı değiştiriciler.	14
Şekil 3.7: Spiral levhalı ısı değiştiriciler.	14
Şekil 3.8: Lamelli ısı değiştiriciler.	15
Şekil 3.9: Levhalı kanatlı ısı değiştiriciler.	15
Şekil 3.10: Borulu kanatlı ısı değiştiriciler.	16
Şekil 3.11: Zıt akışlı ısı değiştiriciler.	17
Şekil 3.12: Paralel akışlı ısı değiştiriciler.	17
Şekil 3.13: Çapraz akışlı ısı değiştiriciler.	18
Şekil 3.14: Çok geçişli ısı değiştiriciler.	18
Şekil 3.15: Güneş enerjisi uygulama alanlarında kullanımı.	21
Şekil 3.16: Uzay araçları ve savunma endüstrisinde kullanımı.	22
Şekil 3.17: Talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak kullanımı.	23
Şekil 3.18: Elektronik alanda soğutma olarak kullanımı.	23
Şekil 4.1: Nanoakışkan hazırlamada kullanılan ultrasonifikatör ve homojenizatör.	26
Şekil 4.2: Nanoakışkan ile ilgili ölçümler.	26
Şekil 4.3: Deney setinin şematik görünümü.	27
Şekil 4.4: Deney setine ait fotoğraflar.	28
Şekil 4.5: Deney setine ait fotoğraflar.	28
Şekil 4.6: Deney setinde kullanılan debimetre.	29
Şekil 4.7: Deney setinde kullanılan sirkülasyon pompası.	30
Şekil 4.8: Deney setinde kullanılan atmosferik brülör.	31
Şekil 4.9: Deney setinde kullanılan plakalı ısı değiştirici.	31
Şekil 4.10: Deney setinde kullanılan ana eşanjör.	32
Şekil 4.11: Deney setinde kullanılan veri aktarım cihazı.	33
Şekil 4.12: Deney setinde kullanılan mekanik pompa.	33
Şekil 5.1: Saf su için debiye bağlı sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	37
Şekil 5.2: %0,02 su bazlı grafen oksit için debiye bağlı sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	38
Şekil 5.3: %0,04 su bazlı grafen oksit için debiye bağlı sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	39
Şekil 5.4: 4 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	40
Şekil 5.5: 5 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	40
Şekil 5.6: 6 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	41
Şekil 5.7: 7 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	42
Şekil 5.8: 8 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.	43
Şekil 5.9: Saf su için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı.	44
Şekil 5.10: %0,02 su bazlı grafen oksit için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı.	44
Şekil 5.11: %0,04 su bazlı grafen oksit için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı.	45

Şekil 5.12: 4 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.	46
Şekil 5.13: 5 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.	46
Şekil 5.14: 6 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.	47
Şekil 5.15: 7 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.	48
Şekil 5.16: 8 l/dk debide farklı akışkanlar için giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi	48
Şekil 5.17: %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit için debiye bağlı iyileştirme oranı değerleri.	49



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Isı geçiş yüzey alanı (m^2)
C_p	: Özgöl ısı (kJ/kgK)
h	: Isı transfer katsayısı (W/m^2K)
t	: Zaman (s)
m	: Kütlesel debi (kg/s)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
V	: Hacim (m^3)
ε	: Etkinlik katsayısı
nm	: Nanometre
Ø	: Hacimsel oran
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
n_p	: Nano partikül
f	: Baz sıvı
n_f	: Nanoakışkan
Q	: Toplam ısı transferi (W)
Q_{max}	: Maksimum ısı transferi (W)
m	: Kütle (kg)
Ṁ	: Hacimsel debi (m^3/s)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISI EŞANJÖRLERİNDE NANOAKIŞKAN OLARAK GRAFEN OKSİT KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

MUHAMMET KAHVECİ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

56+X sayfa

2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

Bu çalışmada plakalı ısı değiştiricilerde nanoakışkan kullanarak ısı verimliliği artırılmaya çalışılmıştır. Deneylerde içerisinde plakalı ısı değiştiricisi bulunan birleşik sıcak su hazırlama sistemi deney seti olarak kullanılmıştır. Çalışmanın amacı plaka tip ısı değiştiricilerde sıcak akışkan olarak grafen oksit-su nanoakışkan kullanımının, saf suya göre ısı verimliliğe etkisinin deneysel olarak incelenmesidir. Deneylerde kullanılan grafen oksit partiküllerin tane boyutu ortalama 7,5 nm olup saflığı ise %99,8'dir. Deneyler ters akış şartlarında gerçekleştirilmiş olup, deneylerde saf suya %0,02 ile %0,04 hacimsel oranlarda grafen oksit partikülleri eklenerek oluşturulan nanoakışkanlar kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada soğuk su debileri 4,5,6,7,8 l/dk olacak şekilde beş farklı değer seçilmiştir. Sıcak akışkanın plakalı ısı değiştiriciye giriş sıcaklıkları ise 40, 45, 50, 55, 60 °C olarak alınmıştır. Tüm deneylerde ısı transferi miktarı, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranı analiz edilmiştir. En yüksek iyileştirme oranı değerine %0,04 grafen oksit-su nanoakışkan ile yapılan deneylerde ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde hacimce %0,04 oranında nanoakışkanın en yüksek iyileştirme oranı 4 l/dk değerinde %8,8 olarak elde edilmiştir. Sıcak akışkan giriş sıcaklığının artmasıyla doğru orantılı olarak etkinlik katsayısı artmıştır. Debi miktarı arttıkça etkinlik katsayısı azalmaktadır. Saf suyla kıyaslandığında nanoakışkan kullanımının ısı transferini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Grafenoksit, Isı değiştirici, Saf su

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE USE OF GRAPHEN AS NANO FLUID ON THERMAL PERFORMANCE IN HEAT EXCHANGERS

Muhammet KAHVECİ

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

56+X sayfa

2021

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tarkan KOCA

In this study, it has been tried to increase the thermal efficiency by using nanofluid in plate type heat exchangers. In the experiments, a combined hot water preparation system with a plate heat exchanger was used as the experiment set. The aim of the study is to experimentally investigate the effect of using graphene oxide-water nanofluid as hot fluid on thermal efficiency compared to pure water in plate type heat exchangers. The average particle size of the graphene oxide particles used in the experiments is 7.5 nm and the purity is 99.8%. The experiments were carried out under counter flow conditions, and in the experiments, nanofluids formed by adding graphene oxide particles in volumetric ratios of 0.02% to 0.04% to pure water were used. In the study, five different values were chosen so that the cold water flows would be 4,5,6,7,8 l/min. The inlet temperatures of the hot fluid to the plate heat exchanger are taken as 40, 45, 50, 55, 60 °C. In all experiments, the amount of heat transfer, efficiency coefficient and improvement rate were analyzed. The highest improvement rate value was reached in experiments with 0.04% graphene oxide-water nanofluid. When the results obtained were examined, the highest improvement rate of 0.04% by volume of nanofluid was obtained as 8.8% at 4 l/min. The efficiency coefficient increased in direct proportion to the increase in the hot fluid inlet temperature. As the flow rate increases, the efficiency coefficient decreases. It has been observed that the use of nanofluid significantly increases the heat transfer compared to pure water.

Keywords: Nanofluid, Grapheneoxide, Heat exchanger, Pure water

1.GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte fosil yakıtların ömrünün azalması ve rezerv miktarlarının düşmesi sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük bir yönelme olmuştur. Bilim insanları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmaktadırlar. Yapılan çalışmalarda asıl amaç, enerjinin daha etkili ve verimli kullanılmasıdır. Enerjinin etkili kullanılmasıyla birlikte enerji transferinin optimum şartlarda olması önemli bir gereksinimdir.

Bir sistemden başka bir sisteme transfer olan ısı, bir enerji çeşididir. Yani ısı bir enerji şekli olup iki sistem arasındaki sıcaklık farkından dolayı belirli bir sıcaklıkta sistemden başka bir sisteme geçer. Isı transferi sadece sıcaklık farkı olan iki sistem arasında gerçekleşir.

Isı transferi uygulamalarından bir tanesinde, farklı ısı kapasitelerine sahip iki ve daha fazla akışkan arasında ısı alışverişi sağlayan ısı değiştiricilerdir. Bilim dünyasında ve mühendislik alanında bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde ısı değiştiricilerin tasarımı, çeşidi, kullanım özellikleri ve özellikle de sistem içinde kullanılan akışkanlar önem arz etmektedir. Enerjiye ihtiyacın artmasıyla birlikte ısı değiştiricilerin önemi giderek artmakta ve ısı değiştiricilerin verimliliği üzerine çalışmalara daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Isı değiştiriciler; konforlu ortam sağlamada, kaliteli ürün üretiminde, ısıl dengenin sağlanmasında, iklimlendirmede, kimya endüstrisinde, enerji, gıda, havacılık, tarım, ilaç sektörlerinde, hidroelektrik, termik, nükleer santrallerde, elektronik aletlerde, taşıtlarda ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Endüstrinin bütün alanlarında kullanılmakta olan ısı değiştiriciler üzerinde ısı transferini iyileştirmeye yönelik olarak yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Isı transferini iyileştirmeye yönelik olarak yapılan çalışmalar aktif, pasif ve karma sistemler olarak adlandırılmaktadırlar. Pasif yöntemler olarak nitelendirilen yöntemler dışarıdan herhangi bir güce gereksinim duymayan yöntemlerdir. Pürüzlü yüzeyler, dönmeli akış cihazları, borunun içine yerleştirilmiş olan iyileştirme elamanları bunlardan birkaçıdır. Pasif yöntemler kullanıldığı zamanlarda ısı transferinde önemli bir artış meydana gelmesine rağmen, basınç düşüşü de önemli derecede artmaktadır. Basınç düşüşünü karşılayabilmek için önemli derecede enerji tüketimine ihtiyaç duyulmaktadır. Pasif yöntemlerle önemli derecede iyileşme sağlanırken, büyük santrallerde boru içine yerleştirilmiş olan şaşırtma levhaları nedeniyle borularda büyük titreşimler meydana gelmektedir. Bilindiği üzere borularda meydana gelen titreşimler boruların çatlamasına hatta kırılmasına neden olmaktadır. Ayrıca içerisine yerleştirilen şaşırtma

levhaları nedeniyle sistemin geometrisinin büyük oranda artmasına neden olmaktadır. Aktif yöntemler olarak nitelendirdiğimiz yöntemler ise harici olarak bir güç kaynağına ihtiyaç olan sistemlerdir. Mekanik titreşimi, akışkan titreşimi, yüzey titreşimi bunlara verilebilecek örneklerdir. Karma sistemler olarak nitelendirilen sistemlerde ise aktif ve pasif sistemler birlikte kullanılmaktadır. Isı değiştiriciler çok çeşitli tiplerde bulunmasına rağmen kompakt yapısı ve yüksek verimliliği ile plakalı ısı değiştiricilerin kullanımı önerilmektedir [1]. Plakalı ısı değiştiricilerde de bütün diğer ısı değiştiricilerde olduğu gibi temel amaç ısı verimliliği arttırmaktır.

Isı transfer işlemlerinde baz akışkan olarak genellikle su, yağ ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılmaktadır. Bu akışkanların ısı transfer performansının düşük olmaları nedeniyle mühendislikte kullanılan ısı transfer cihazının performansının artırılmasında sorun teşkil etmektedir. Isı transferini artırmak için çok sayıda çalışma yapılmakta olup; ısı değiştiricilerinde farklı akışkanların kullanılması son yıllarda bilim dünyası tarafından üzerinde durulan konulardan biridir. Geçmiş yıllarda baz sıvı olarak, genellikle su kullanılırken günümüzde nano boyuttaki partiküllerin üretilmesiyle birlikte bu alanda çalışmalar yapılmaktadır.

Nano ifadesi fiziksel olarak büyüklükleri ifade etmektedir. Bir nanometre, metrenin milyarda biri, milimetrenin milyonda birine denk gelen bir ölçü birimidir. Bu büyüklükler çeşitli elektron mikroskopları ile görülebilmektedir. Nanopartiküllerin ısı iletim katsayısının yüksek olması, dikkat çekmiş ve geleneksel akışkana eklenerek nanoakışkanların ortaya çıkması sağlanmıştır. Nanoakışkan; akışkan içerisine nano büyüklükteki parçacıkların süspanse edilmesi ile elde edilir. Akışkan; temel akışkan olarak, içerisine ilave edilen nano büyüklükteki parçacıklar ise, nano parçacık olarak adlandırılır. Temel akışkan olarak çoğunlukla su kullanılmasına rağmen etilen, glikol ve mineral yağda kullanılmaktadır. Parçacık olarak ise metal ve metal oksitler kullanılmaktadır. Milimetre ölçüsünde veya daha büyük ölçeklerde metal parçacıklarının sıvı içerisine süspansiyonu yüzyıllardır bilinmektedir. Ancak bu uygulamalarda çökelme, tortulaşma, aşınma, basınç düşümleri, aşırı gürültü ve titreşim önemli sorunlardır. Ancak ısı transfer hızındaki artış bu olumsuzlukların göz ardı edilmesine neden olmuştur. Akışkan içine süspanse edilen parçacık akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini arttırmaktadır. Geçmiş yıllarda kullanılmış olan nanoakışkanlar, parçacık boyutlarının büyük olmasından dolayı çok farklı sorunlara sebep olmuştur. Bu nedenle istenilen verim elde edilememiştir.

Yapılan bu çalışmada, birleşik tip su ısıtma cihazında nano akışkan kullanımının ısı verimliliğe etkisi incelenmiştir. Sıcak döngüde akışkan olarak saf su, %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkanları kullanılmıştır. Deneyler sıcak döngü giriş sıcaklığının 40, 45, 50, 55 ve 60 °C olduğu durumlarda yapılmıştır. Soğuk döngüde ise akışkan olarak saf su kullanılmıştır. Soğuk döngü debisi 4, 5, 6, 7, 8 l/dk olarak seçilmiştir. Deneyler oda koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney setinde plakalı tip ısı değiştiricisi kullanılmış olup, akış şekli zıt akıştır. Deney setinde kullanılan nanoakışkan laboratuvar koşullarında hazırlanmıştır. Nanoakışkan içerisinde bulunan nano partiküllerin birbirine yaklaşmasını engellemek ve askıda kalmasını sağlamak için sürfektan kullanılmıştır. Deneyler soğuk döngü debisinin her değeri için (4, 5, 6, 7, 8 l/dk), sıcak döngü giriş sıcaklığının 40, 45, 50, 55, 60 °C sıcaklık değerlerinde 3'er kez tekrarlanmıştır. Çalışma ile birleşik tip su ısıtma cihazlarında, ısı transfer performansının artırılması için nano akışkan kullanılmasının ısı değiştirici performansına etkisi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırmasında ısı eşanjörleri üzerinde yapılan çalışmalar irdelenmiş, ısı eşanjörlerinde kullanılan nano akışkanlar değerlendirilmiş ve bu çalışmalarla ilgili özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

Abreu ve diğ. (2014) çok duvarlı karbon nano tüplerin sulu süspansiyonlarının konvektif ısı transfer performansı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Sonuçlar, %0,5 hacim fraksiyonu için ısı transfer katsayısında %47'lik bir artış olduğunu göstermiştir [2].

Sundar ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada, düzenli şekilde ısıtılmış sabit ısı akısı koşulunda, dairesel borudan akan MWCNT-Fe₃O₄/su hibrid nanoakışkanlarının tamamen gelişmiş, türbülanslı akışı için konvektif ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörünü araştırmışlardır. Sonuçlar, baz sıvı ile kıyaslandığında 22000 Reynold sayısında ve %0,3'lük partikül oranında %18 lik basınç düşüşü ve Nusselt sayısında maksimum %31,10 artış olduğunu göstermiştir [3].

Takabi ve diğ. (2015) homojen ısıtılmış dairesel tüp aracılığı ile saf su, Al₂O₃-su nano akışkanı ve Al₂O₃-Cu/su hibrid nano akışkanlarını, gelişmiş, türbülanslı ve zorlanmış akış koşullarında konveksiyonunu sayısal olarak analiz etmişlerdir. Sonuçlar, hibrid nano akışkan kullanımının saf su ve Al₂O₃-su nanoakışkanına göre ısı aktarım hızını arttırdığını, ancak sürtünme faktörü üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olduğunu ortaya koymuş ve basınç düşüşüne sebep olduğunu göstermiştir [4].

Hosseini ve diğ. (2016) düzgün duvar ısı akısı koşulunda, dairesel bir borudan geçen, laminer akış koşullarında grafen-su nanoakışkanının konvektif ısı transfer katsayısını deneysel olarak incelemiştir. Sonuçlar, suya düşük miktarlarda (hacimsel fraksiyonun %0,02'sine kadar) grafen nano parçacıklarının ilave edilmesinin, çalışma akışkanının termal iletkenliğini ve konvektif ısı transfer katsayısını önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir. Maksimum artışlar %0,02 konsantrasyonda gözlemlenmiştir. Bu iyileştirmeler, termal iletkenlik için %10,3 ve Re=1850 iken ısı transfer katsayısı için %14,2'dir [5].

Hussein ve diğ. (2019), soğutucu olarak çok duvarlı karbon nano tüplerin yüksek termal iletkenliklerinden yararlanmak amacıyla çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu nedenle, bu çalışma MWCNT'lerin farklı kütle oranlarında (%0,075; %0,125 ve %0,25) zorlanmış konveksiyon koşullarında ısı transferi üzerindeki etkisini araştırmaktadır. %0,25 MWCNT ile hazırlanan nanoakışkan için ısı transfer katsayısındaki maksimum artış %2,9'dur. Deneysel sonuç, MWCNT-su nanoakışkanı kullanılarak sürtünme faktöründe bir artış

olduğunu ortaya koymuştur. MWCNT'lerin en yüksek kütle oranı için maksimum %9,9' luk bir basınç düşüşü gözlenmiştir [6].

Noghrehabadi ve diğ. (2016) düzgün sabit ısı akısı sınır koşulu altında, nanoakışkanların dairesel tüpler içindeki ısı transferi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Nanoakışkan kullanımı saf suyla karşılaştırıldığında ortalama ısı transfer katsayısının %0,9 hacim konsantrasyonunda ve Reynolds sayısı 2070'te %16,8 arttığı görülmüştür [7].

Mikkolaa ve diğ. (2018) boyut ve termal iletkenlik gibi parçacık özelliklerinin, nanoakışkanların konveksiyon ısı transferini nasıl etkilediğini incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, polistiren, SiO₂, Al₂O₃ gibi farklı türdeki partiküllere sahip kendinden sentezlenmiş su bazlı nanoakışkanlar hazırlamış ve incelemişlerdir. Nanoakışkanlar su ile karşılaştırıldığında sudan daha yüksek Nusselt sayıları elde edilmiştir [8].

Duangthongsuk ve diğ. (2009) saf su ve hacimce %0,2 TiO₂ nano partiküllerinden oluşan nanoakışkanın zorlanmış konvektif ısı transferi akış koşullarında deneysel bir çalışma yapmışlardır. TiO₂-su nanoakışkan kullanımının, saf suyla karşılaştırıldığında önemli ölçüde ısı transfer artışı sağlamıştır [9].

Humenic ve diğ. (2011) yapmış oldukları çalışmada, laminar akış koşulları altında nano akışkan kullanılan çift borulu ısı eşanjörünün ısı transfer karakteristiklerini incelemek için üç boyutlu bir analiz kullanmışlardır. Çalışma sıvısı olarak hacimce %0,5-3 hacim konsantrasyonunda su içinde dağılmış 24 nm çaplı CuO ve TiO₂ nano partikülleri kullanmışlardır. Suda dağılmış olarak bulunan CuO ve TiO₂ nano partiküllerinin kullanımının, laminar akış rejiminde konvektif ısı transferini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir [10].

Lotfi ve diğ. (2012) yatay borulu ısı eşanjöründe çok duvarlı karbon nano tüp (MWCNT)-su nanoakışkanının ısı transfer artışı deneysel olarak incelemiştir. Sonuçlar, saf suyla karşılaştırıldığında çok duvarlı nano tüplerin varlığının ısı transferine önemli bir artış sağladığını göstermiştir [11].

Darzi ve diğ. (2013) ortalama 20 nm çapında su-Al₂O₃ nanoakışkanın çift borulu ısı eşanjöründe ısı transferi, basınç düşüşü ve termal performansı üzerindeki etkilerini incelemek için deneysel bir çalışma yapmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, ciddi bir basınç düşüşünün bulunmadığı, nano parçacıklar eklemenin ısı değiştiricinin termal performansının artırılmasında etkili olduğu görülmüştür [12].

Aghayari ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışmada, hacimce %0,1-0,3 alüminyum oksit nano parçacıkları içeren nanoakışkanın ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarını türbülanslı akış koşullarında yatay, çift borulu, ters akışlı ısı eşanjöründe yaklaşık 20 nm çapında alüminyum oksit içeren sıvı kullanarak yapmışlardır. Sonuçlar, baz sıvıyla karşılaştırıldığında nanoakışkanın ısı transferinde %12'den biraz daha yüksek bir artış olduğunu göstermiştir [13].

Khedkar ve diğ. (2014) yapmış oldukları çalışmada eş merkezli borulu ısı eşanjöründe soğutucu olarak TiO_2 -su nanoakışkanının ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. Nano akışkanların ısı transfer özellikleri, baz akışkanlara kıyasla aynı Reynold sayılarında önemli ölçüde iyileşmiştir. Reynold sayısının aynı aralığı için, nano parçacıkların eklenmesi baz sıvının ısı transfer performansını arttırmış ve baz sıvınınkinden daha yüksek ısı transfer katsayısı elde edilmiştir. Baz sıvılar için, deneysel sonuçlar öngörülen değerlerine çok yakın olarak bulunmuştur [14].

Fard ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada plakalı ve eş merkezli borulu ısı eşanjörleri kullanarak, su-su ve nanoakışkan-su akışkanlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sıcak akış olarak ZnO -su (%0,5 hacimce) nano akışkanını kullanılmışlardır. Deneysel sonuçlardan, plakalı ısı eşanjöründeki hem saf su için hem de nanoakışkan için ısı transfer katsayılarının çift borulu ısı eşanjöründen daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Hesaplanan ısı transfer katsayıları ve nanoakışkanın ısı transfer oranı deneysel verilerle uyum içindedir [15].

Zamzamian ve diğ. (2011) çalışmalarında, etilen glikol içinde alüminyum oksit ve bakır oksit nano parçacıklarını kullanarak yaptıkları nanoakışkanların ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Türbülanslı akışta zorlanmış konvektif ısı transfer katsayısının etkisi, çift borulu ve plakalı ısı eşanjörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan deneylerde en büyük ve en küçük artışlar sırasıyla %49 ve %3 olarak görülmüştür [16].

Chun ve diğ. (2012) çalışmalarında, çift borulu paralel akışlı ısı eşanjöründe, laminar akış rejiminde ısı eşanjör sisteminden akan alümina nano parçacık ve transformatör yağından yapılmış nanoakışkanların konvektif ısı transfer katsayısını incelemişlerdir. Deneysel veriler, sıvıya nano partiküllerin eklenmesinin, sistemin laminar akıştaki ortalama ısı transfer katsayısını arttırdığını göstermiştir. Nano partiküllerin yüzey özellikleri, partikül yükü ve partikül şekli nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini arttırmak için en önemli faktörlerdir [17].

Albard ve diğ. (2013) çalışmalarında, türbülanslı akış koşullarında, yatay, zıt akışlı, borulu ısı eşanjörü içinde akan su ve farklı hacim konsantrasyonlarında Al_2O_3 -su nanoakışkanın (0,3-2) zorlanmış konvektif ısı transferi ve akış karakteristikleri üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır [18].

Kwon ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada, plakalı ısı değiştiricide ZnO ve Al_2O_3 nanoakışkanın ısı transfer karakteristiklerini ve basınç düşüşünü incelemiştir. Aynı Reynold sayısı artışına göre toplam ısı transfer katsayısı, su ile karşılaştırıldığında hacimce %6 Al_2O_3 konsantrasyonunda %30'a kadar yükselmiştir [19].

Dan Huang ve diğ. (2016) alümina nanopartiküller ve çok duvarlı karbon nanotüpler içeren hibrit nanoakışkan karışımının ısı transferi ve basınç düşüşü özelliklerini, plakalı ısı değiştiricide deneysel olarak incelemiştir. Aynı akış hızında hibrit nanoakışkan karışımının ısı transfer katsayısının Al_2O_3 -su nanoakışkan ve suyunkinden biraz daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [20].

Çakır ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışmada, ısı borusunda hacimsel olarak %2 Al_2O_3 nano partiküller bulunan nanoakışkan kullanarak ısı performans etkisini araştırmışlardır. Deney sonucuna göre ısı direncin önemli ölçüde düştüğü görülmüş, 500 W'lık giriş gücünde, 0,0075 kg/s'lik kütleli debide ve 75°'lik boru eğiminde nanoakışkanın saf suya göre verimi %35,7 artmıştır [21].

Kılınç ve diğ. (2019) araç radyatöründe soğutma performansını araştırmak amacıyla saf su, grafen oksit-saf su ve grafen nano ribon-saf su nanoakışkanlarını kullanılarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneylerini 36, 40 ve 44 °C akışkan giriş sıcaklığında ve 0,6, 0,7, 0,8 ve 0,9 m³/h debilerde gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda U değerlerindeki artış oranları %0,01 GO-saf su, %0,02 GO-saf su ve %0,01 GNR-saf su nanoakışkanları için sırasıyla %6,9, %32 ve %1,9 olarak bulunmuştur [22].

Kumar ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada soğutma sıvısı olarak CeO_2 -su nanosıvısı kullanarak plakalı ısı eşanjöründe ısı transferi ve basınç düşüşü özelliklerini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Plakalı ısı eşanjöründeki nanoakışkanın, hacimce %0,75'lik konsantrasyonda suya göre maksimum %39 daha yüksek ısı transfer katsayısına sahip olduğu bulunmuştur [23].

Bhattad ve diğ. (2019) yapmış oldukları çalışmada, ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için farklı konsantrasyonlarda hibrit nanoakışkan (Al_2O_3 -MWCNT/su) kullanarak plakalı ısı eşanjöründe sayısal ve deneysel araştırmalar

yapmışlardır. Hibrit nanoakışkan kullanarak, ısı transfer katsayısı %39,16 artmış ve pompalama gücünde %1,23'lük ihmal edilebilir bir artış olmuştur. Isı transferi ve basınç düşüşü özellikleri açısından birlikte değerlendirildiğinde plakalı ısı değiştiricide baz akışkan yerine hibrit nanoakışkanlar kullanılabileceğini değerlendirmişlerdir [24].

Zheng ve diğ. (2020) yapmış oldukları çalışmada çeşitli nanoakışkanların ısı transferini ve akışkan akış özelliklerini araştırmak için güneş enerjisi sistemlerinde plakalı ısı eşanjörü kullanmışlardır. Baz sıvıya çeşitli nanopartiküller (Al_2O_3 -30 nm, SiC-40 nm, CuO-30 nm ve Fe_3O_4 -25 nm) ekleyerek, nanoakışkan türlerinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarını ağırlıkça %0,1, %0,5 ve %1,0 konsantrasyonlarında ve 3–9 l/dk aralığında gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, nanoakışkanlar için hem ısı transferinin artırılmasının hem de basınç düşüşünün, baz akışkan ile karşılaştırıldığında önemli artışlar gösterdiğini göstermiştir. Fe_3O_4 -su ve CuO-su nanoakışkanlar, sırasıyla plakalı ısı değiştiricinin en iyi ve en kötü termal performanslarını göstermiştir [25].

Dustin ve diğ. (2014) etilen glikol ve su karışımında alüminyum oksit, bakır oksit ve silikon dioksit nano partiküllerinden oluşan üç nanakışkanın plakalı ısı eşanjöründeki performanslarını teorik olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, %1 hacimsel konsantrasyonda, tüm nanakışkanların, baz sıvıya göre performanslarında iyileşme görülmüştür [26].

Javadi ve diğ. (2013) çalışmalarında, plakalı ısı değiştiricide SiO_2 , TiO_2 ve Al_2O_3 kullanarak termofiziksel özellikler ve ısı transfer özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Basınç düşüşünün en aza indirilmesi istendiğinden, nanosıvı uygulamasının basınç düşüşü ve entropi oluşumu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde ettikleri sonuçlarda TiO_2 ve Al_2O_3 eklenerek hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlik, ısı transfer katsayısı ve ısı transfer hızının artmasının SiO_2 'ye göre daha yüksek termofiziksel özellikler sağladığını görmüşlerdir [27].

Pantzali ve diğ. (2009) yapmış oldukları çalışmada, plakalı ısı değiştiricide nanoakışkan kullanımının etkisini hem deneysel hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde nanoakışkan kullanımının etkili olduğunu tespit etmişlerdir [28].

Pandey ve diğ. (2009) yapmış oldukları çalışmada nanoakışkanın hacimce %2,3 ve %4 oranında Al_2O_3 kullanarak hazırladıkları nanoakışkanın, plakalı ısı değiştiricide ısı transferi, sürtünme kayıpları ve ekserji kaybı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Elde

ettikleri sonuçlarda Reynold ve Peclet sayısının artması ve nanoakışkan konsantrasyonunun azalması ile ısı transfer özelliklerinin iyileştiğini görmüşlerdir [29].

Bu tez çalışmasında, ısı iletkenliği çok yüksek olan grafen oksit, %0,02 ve %0,04 hacimsel oranlarda baz akışkan olarak saf suyla karıştırılarak nanoakışkan elde edilmiştir. Kurulan deney düzeneği ile plakalı ısı eşanjöründe, farklı debilerde etkinlik, iyileştirme oranı ve ısı transferi miktarları incelenmiştir. Bu çalışma; bu konuda çalışma yapacak bilim insanlarına nanoakışkan seçimi, nanoakışkan hazırlama yöntemleri, nanoakışkanların uygulama alanları, ısı değiştirici seçimi, nano partikül boyutu ve nano partikülün termo fiziksel özelliklerinin seçimi konusunda ışık tutacaktır. Ayrıca bu çalışma, büyük hacimli eşanjörler gibi endüstriyel eşanjörlerin verimliliğinin arttırılmasında, maliyetlerin düşürülmesinde ve boyutlarının küçültülmesine katkı sağlayacaktır.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Isı Değiştiriciler

Farklı sıcaklıklardaki iki akışkan arasında ısı geçişi sağlayan cihazlar ısı değiştirici olarak adlandırılır. Diğer bir ifade ile, ısı transferini gerçekleştirecek akışkanların birbirlerine karışmadığı, akışkanların metal bir plaka ile birbirinden ayrılarak yapılan ısı transfer sistemidir. Isı değiştiricilerin kullanım alanları üretim sistemleri, soğutma, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme sistemleri ve kimyasal tesisler olarak sınıflandırılabilir. Isı değiştiriciler aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

3.1.1 Isı değişim şekline göre sınıflandırma

Akışkanlar arasında doğrudan temasın olduğu ve doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiriciler olarak sınıflandırılırlar.

3.1.1.1 Akışkanlar arasında doğrudan temasın olduğu ısı değiştiriciler

Farklı sıcaklıklardaki iki akışkan arasında doğrudan temasın olduğu ve birbirleri arasında direkt olarak ısı aktarımının olduğu ısı değiştiricilerdir. Şekil 3.1’de akışkanlar arasında temasın olduğu ısı değiştirici gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Akışkanlar arasında doğrudan temasın olduğu ısı değiştiriciler.

3.1.1.2 Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiriciler

Bu tip ısı değiştiricilerde akışkanlar arasında direkt temas yoktur. Isı öncelikle akışkanlar arasındaki ayırıcı yüzeye daha sonra diğer akışkana aktarılır.

3.1.2 Akışkan sayısına göre sınıflandırma

Isı değıştircilerinde ısı transferi genellikle iki akışkan arasında gerçekleştirilir. Bu akışkanlar iki sıvı, sıvı-gaz, sıvı-buhar akışkanlarından oluşur. Bazı uygulamalarda ikiden fazla akışkanda kullanılmaktadır.

3.1.3 Konstrüksiyon özelliklerine göre sınıflandırma

Isı değıştirciler genellikle konstrüksiyon şekillerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu tip ısı değıştirciler borulu ve levhalı ısı değıştirciler olarak sınıflandırılabilir.

3.1.3.1 Borulu ısı değıştirciler

Borulu ısı değıştirciler, uygulamada yüksek basıncın istendiğı yerlerde kullanılır. Özellikle basınca dayanabilmesi için dairesel kesitli yapılmıştır. Isı iletiminin sağlanabilmesi için bakır ve çelik borulardan yapılırlar.

Düz borulu ısı değıştirciler

Eş merkezli iç içe geçmiş iki borudan oluşur. Genellikle içerideki borudan sıcak akışkan, dıştaki borudan soğuk akışkan akar. Çoğunlukla boru demeti şeklinde uygulanmaktadır. Akışkanlar birbirine paralel ya da zıt olarak akar. Şekil 3.2’de düz borulu ısı değıştirici gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Düz borulu ısı değıştirciler.

Spiral borulu ısı değıştirciler

Bu tip ısı değıştirciler bir depo içerisine yerleştirilen bir veya daha fazla spiral şekilde sarılmış borudan oluşur. Spiral şekilli ısı borularında ısı transfer katsayısı düz borulara göre daha fazladır. Spiral borulu ısı değıştirciler, soğutma sistemlerinde kullanılan kondenser ve evaporatörler için tasarlanırlar. Spiral borularda temizlik işlemi zordur. Bu nedenle bu tip ısı

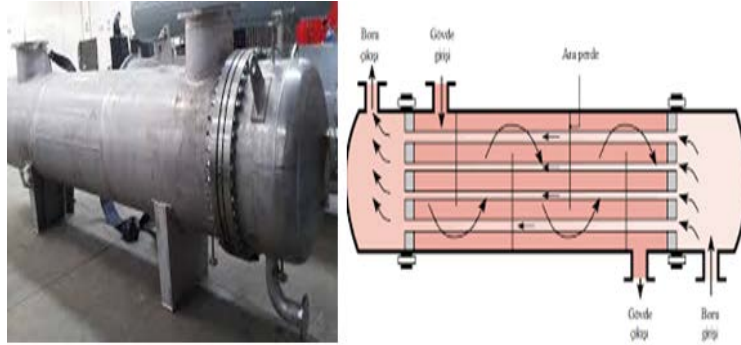
değiştiriciler temiz akışkanların kullanıldığı sistemlerde kullanılır. şekil 3.3'te spiral borulu ısı değiştiriciler gösterilmiştir.



şekil 3.3: Spiral borulu ısı değiştiriciler.

Gövde borulu ısı değiştiriciler

Silindir şeklinde bir gövde ile bu gövde içine paralel şekilde yerleştirilen borulardan oluşan, gövde borulu ısı değiştiricilerinde akışkanlardan birisi boruların içinden akarken, diğer akışkan ise gövde içinden akar. Bu tür ısı değiştiricilerde, ısı transferi katsayısını artırmak ve tüplere destek sağlamak için şaşırtıcı levhalar kullanılmaktadır. Sistemin ana elemanları borular, gövde, perdeler, n ve arka aynalardır. şekil 3.4'te gövde borulu ısı değiştirici gösterilmiştir.



şekil 3.4: Gövde borulu ısı değiştiriciler.

Özel gövde borulu ısı değiştiriciler

Gövde borulu ısı değiştiricilere benzemesine rağmen özel kullanımlar için tasarlanmaktadır. Kimyasal maddelere ve korozyona karşı dayanıklı olması ve ısı iletim katsayısının yüksek olması sebebiyle grafit gövde borulu ısı değiştiriciler uygulamada tercih edilmektedir.

3.1.4 Plakalı ısı değiştiriciler

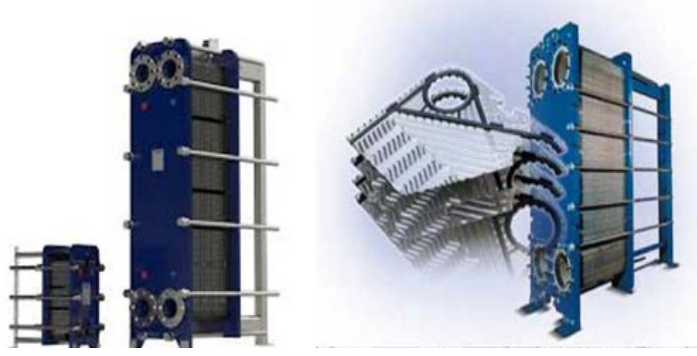
Sıcaklıkları aynı olmayan, farklı türden akışkanların plakalar arasında birbirine karışmadan dolaşarak aralarında ısı aktarımı yaptığı ısı değiştirici çeşididir. Borulu ısı değiştiricilere göre daha düşük sıcaklık ve basınca dayanıklıdır. Isı geçişinin olduğu yüzeyler genelde düz veya dalgalı ince metal levhalardan oluşur. Akışkan, iki farklı akışkan plakaların birlikte dizilmesi ile oluşan kanallar arasından geçer. Plakaların balıksırtı tasarımı sayesinde akış sırasında akışkanın hızı, sürekli olarak değişir. Balıksırtı tasarımı sayesinde akışkanın düşük hızlarında bile yüksek türbülansa ulaşır. Bu sayede ısı alışverişi daha etkin bir şekilde geręekleşir. Şekil 3.5’ te plakalı ısı değiştirici gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Plakalı ısı değiştiriciler.

3.1.4.1 Contalı plakalı ısı değiştiriciler

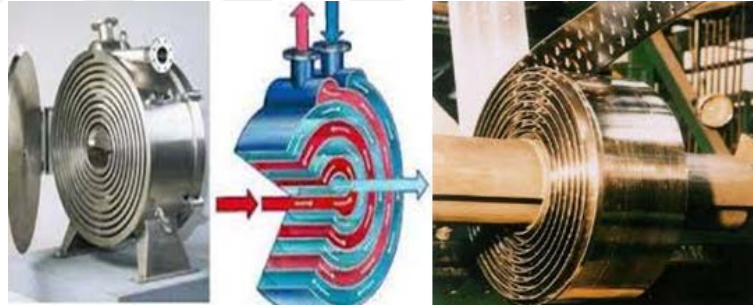
Bu tip ısı değiştiriciler, ince metal levhaların bir araya getirilmesiyle oluşur. Levhalar arasındaki boşluklardan, sıcak ve soğuk akışkanlar birbirlerine karışmadan akarlar. Sistemin ısı kapasitesinin değiştirilmesi istendiğinde sisteme yeni levha eklenir veya sistemden levha çıkartılır. Metal levhalar birbirine birleştirilirken sızdırmazlığı sağlamak için aralarında contalar kullanılır. Bu tip ısı değiştiricinin temizlenmesi kolay olduğu için gıda ve ilaç sanayisinde çoğunlukla kullanılır. Şekil 3.6’da contalı plakalı ısı değiştirici gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Contalı plakalı ısı değıştirciler.

3.1.4.2 Spiral levhalı ısı değıştirciler

Spiral levhalı ısı değıştirci, birbirlerine paralel olacak şekilde sarılmış iki saç levhanın bir kabuk içirisine yerleştirilmesi sonucu elde edilir. Spiral sarımlı ve dikdörtgen kesitli iki kanal elde edilerek, bu kanallardan farklı akışkanlar geçirilir ve bu şekilde akışkanlar arasında ısı transferi gerçekleştirilir. Sızdırmazlık sağlamak için levhaların iki tarafına contalı kapaklar yerleştirilir. Sistemde kullanılan akışkanlar hem zıt akışlı hem de paralel akışlı olabilir. Basınç kayıpları diğer ısı değıştircilere nazaran daha azdır. Şekil 3.7’de spiral levhalı ısı değıştirci gösterilmiştir.

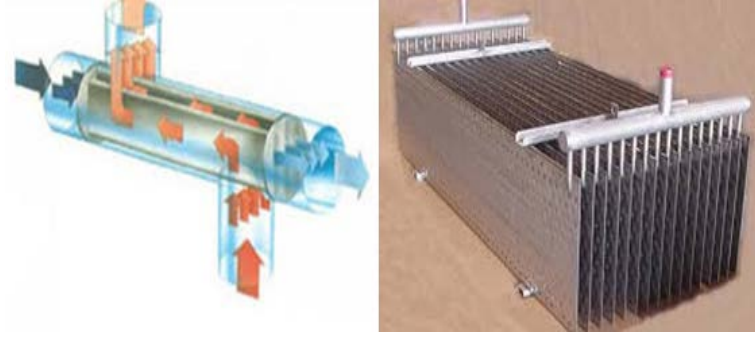


Şekil 3.7: Spiral levhalı ısı değıştirciler.

3.1.4.3 Lamelli ısı değıştirciler

Lamelli ısı değıştirciler yassı şeklinde borulardan oluşur. Akışkanlardan bir tanesi lamel şeklindeki boruların içinden akarken, diğer akışkan lameller arasından akar. Akış, zıt akış veya paralel akış şeklinde olabilir. Bu tip ısı değıştircilerde aspest ve teflon conta kullanılmaktadır. Kullanılacak sistemin sıcaklık ihtiyacına göre contalar kullanılır. Bu tip ısı değıştirciler, zıt akış için düzenlenebilir çünkü gövde tarafında saptırıcı yoktur. Akış yüzeyleri düzgün olduğu için ve düzgün dağılımlı bir akış gerçekleştiği için yüzeyler kolaylıkla kirlenmez. Isıl verimleri tam zıt akış elde edilebildiği için yüksektir. Hidrolik çap

küçük olduğu için ısı taşınım katsayıları yüksektir. Düzgün akış yollarına sahip oldukları için kimyasal olarak temizlenebilirler. Şekil 3.8’de lamelli ısı değıştirci gösterilmiştir.



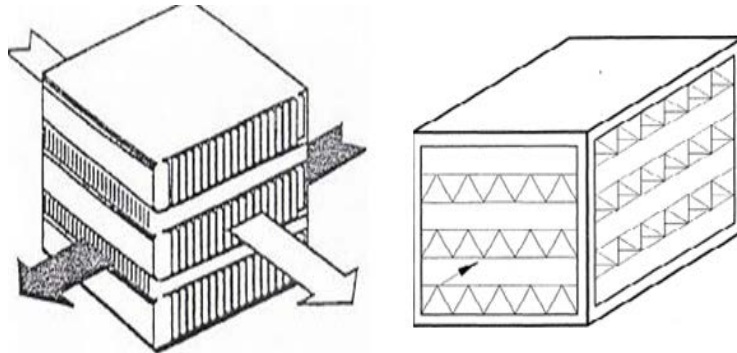
Şekil 3.8: Lamelli ısı değıştirciler.

3.1.5 Kanatlı yüzeyli ısı değıştirciler

Isı transferinin artırılmasında en önemli etkenlerden birisi yüzey alanını arttırmaktır. Kanatlı yüzeyli ısı değıştircilerinde yüzey alanını arttırmak için boru veya levha şeklinde kanatlar kullanılır. Kanatlar genellikle gaz akışkanının kullanıldığı tarafta kullanılmasına rağmen bazen de sıvı akışkanının olduğu tarafa yerleştirilir. Bu tip ısı değıştircilerde ısı transferi artmasına karşın, yüzeylere eklenen çıkıntılar nedeniyle basınç düşüşü gerçekleşir, tasarımlarda bu etken göz önünde bulundurulmalıdır. Kanatlı yüzeyli ısı değıştirciler, levhalı kanatlı ve borulu kanatlı olarak iki grupta sınıflandırılır.

3.1.5.1 Levhalı kanatlı ısı değıştirciler

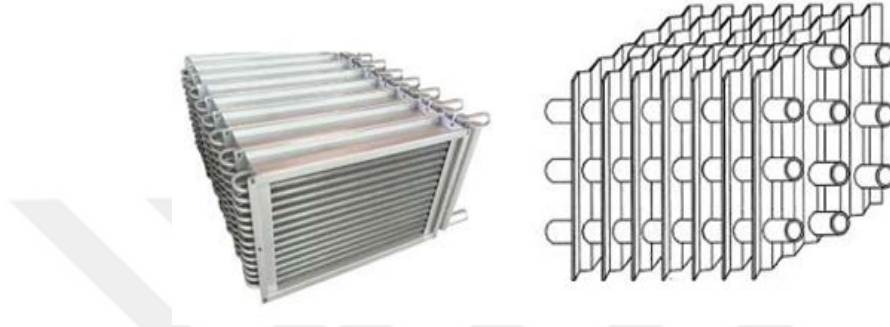
Bu tip ısı değıştircilerde kanatlar, paralel levhalar arasına yerleştirilir. Kompaktlığın yüksek olduğu yerlerde kullanılır. Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde ve elektronik sistemlerin soğutma devrelerinde kullanılır. Şekil 3.9’da levhalı kanatlı ısı değıştirci gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Levhalı kanatlı ısı değıştirciler.

3.1.5.2 Borulu kanatlı ısı değiştiriciler

Borulu kanatlı ısı değiştiricilerde akışkan olarak bir tarafta gaz diğer tarafta sıvı kullanılır. Sıvı akışkanın basıncı yüksek olduğundan boru içinden akarken, gaz akışkan boru dışından akar. Kanat eklenecekse gaz akışkanın aktığı kısma eklenir. Eğer boru içindeki akışkanın ısı taşınım katsayısı küçük ise boru içine de kanat eklenebilir. şekil 3.10’da borulu kanatlı ısı değiştirici gösterilmiştir.



şekil 3.10: Borulu kanatlı ısı değiştiriciler.

3.1.6 Akış şekillerine göre ısı değiştiriciler

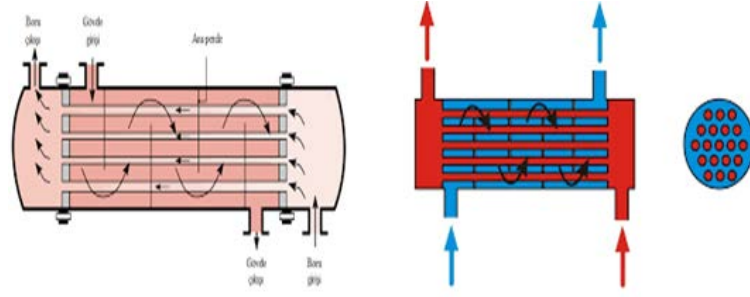
Isı değiştiricilerinde akış şekillerinin seçimi verim, basıncı düşümü, minimum, maksimum hızlar, akış güzergahları, stresler, sıcaklık seviyeleri, borulama işlemleri ve diğer tasarım kriterlerine göre yapılır.

3.1.6.1 Tek geçişli ısı değiştiriciler

Akışkanların ısı değiştirici içerisinde bir defa karşılaştıkları ısı değiştirici türüdür. Tek geçişli ısı değiştiricilerinde zıt akış, paralel akış, çapraz akış olarak akış şekillerini sınıflandırabiliriz.

Zıt akışlı ısı değiştiriciler

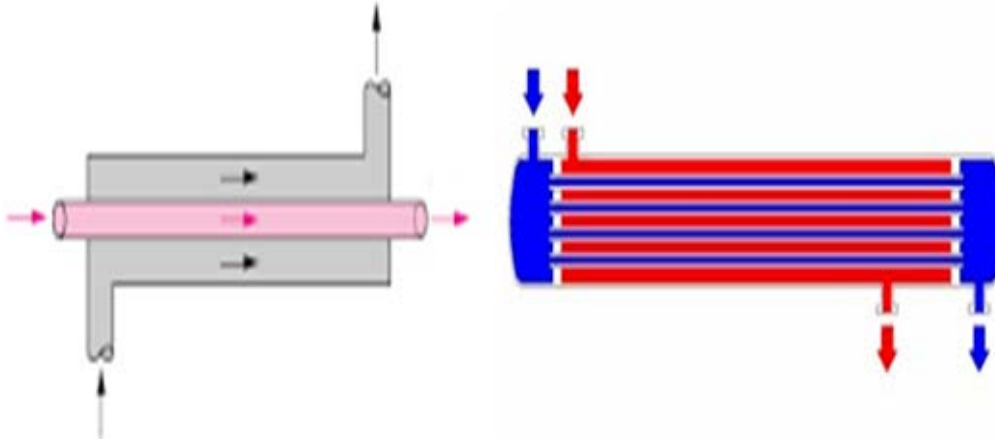
Zıt akışlı ısı değiştiricilerde akışkanlar, zıt taraflardan ısı değiştiriciye girerek birbirlerine paralel; fakat zıt yönlü olarak akarlar ve ısı değiştiricinin zıt uçlarından çıkış yaparlar. En yüksek ısı değiştirici etkinliği zıt yönlü akış düzeninde sağlanır [30]. şekil 3.11’de zıt akışlı ısı değiştirici gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Zıt akışlı ısı değıştirciler.

Paralel akışlı ısı değıştirciler

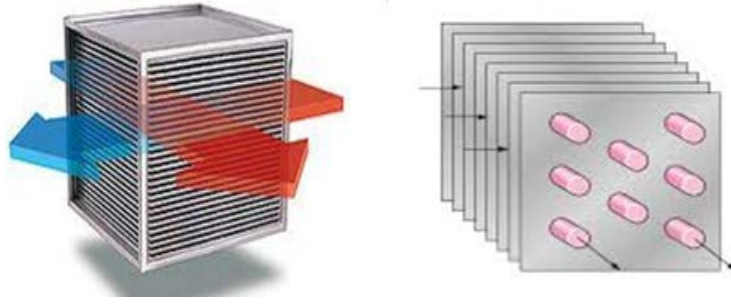
Paralel akışlı ısı değıştircilerde, akışkanlar ısı değıştirciye aynı yönden ve birbirine paralel olarak girip, aynı taraftan terk ederler. Paralel akış modeli yüksek sıcaklık veriminin gerektiğı uygulamalarda kullanılmazlar. Akışkanlardan biri boru içinden akarken, diğeri gövde içerisinden akar. Şekil 3.12’de paralel akışlı ısı değıştirci gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Paralel akışlı ısı değıştirciler.

Çapraz akışlı ısı değıştirci

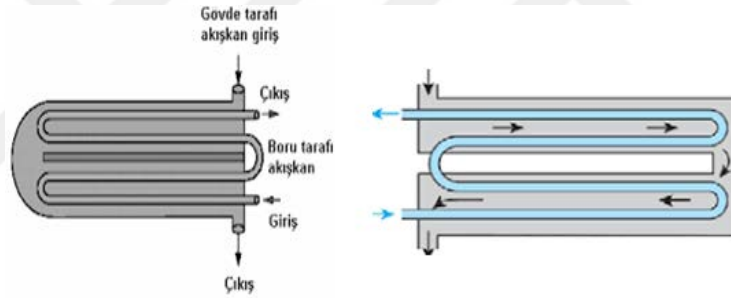
Bu tip ısı değıştircide akışkanlar birbirine dik şekilde akarlar. Isıl etkinlik paralel akışlı ısı değıştircilerinden daha yüksek, zıt akışlılardan daha düşüktür. Üretimleri diğeri ısı değıştircilerden daha kolay olduğundan uygulamalarda sıklıkla rastlanır. Şekil 3.13’te çapraz akışlı ısı değıştirci gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Çapraz akışlı ısı değiştiriciler.

3.1.6.2 Çok geçişli ısı değiştiriciler

Isı değiştiricilerin boylarının çok uzun olması gerektiğinde, akışkan hızları yeterli hıza ulaşamaz, bu nedenle verimde düşüşler yaşanır. İstenilen verimin elde edilebilmesi için birden fazla geçişin olduğu ısı değiştiriciler kullanılır. En önemli avantajı tek geçişli ısı değiştiriciye göre, yüksek verimlerin elde edilebilmesidir. Şekil 3.14'te çok geçişli ısı değiştirici gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Çok geçişli ısı değiştiriciler.

3.2 Nanoakışkanlar

Nano ifadesi, diğer ölçü birimleri gibi fiziksel olarak büyüklükleri ifade etmektedir. Nano; fiziksel bir büyüklüktür. Bir nanometre denildiği zaman metrenin milyarda biri, milimetrenin milyonda birine denk gelen bir ölçü birimidir. Nanometre büyüklüğündeki parçacık ise 1-100 mikron aralığında bulunan madde parçacığdır. Bu büyüklükler insanların çıplak gözle görebileceği büyüklükler olmamakla birlikte çeşitli elektron mikroskopları ile görülebilmektedir.

Nano akışkan; akışkan içerisine nano büyüklükteki parçacıkların eklenmesi ve çeşitli kimyasal işlemlerden geçirilmesi ile elde edilir. Nanoakışkan hazırlama esnasında eklenen sıvı bazdaki akışkana taban akışkanı, çeşitli metodlarla nano boyutta üretilen ve baz akışkana

eklenen parçacıklara ise nano partikül denir. Taban akışkanı olarak çoğunlukla su kullanılmasına rağmen etilen, glikol, mineral yağda kullanılmaktadır. Parçacık olarak ise metal ve metal oksitler kullanılmaktadır. Metaller (Zn, Cu, Al, Au, Mg vb.), metal oksitler ise Al_2O_3 , TiO_3 , CuO , SiO_2 vb. olarak sıralanabilir. Yüzyıllardır milimetre ve daha büyük ölçekli metal partiküller sıvı içerisine süspansiyon edilmektedir. Fakat bu büyüklükteki partiküllerin ilavesi sistemlerde çeşitli sıkıntılara yol açmaktadır. Karşılaşılan sorunlar çökelme, tortulaşma, aşınma, basınç düşümleri, aşırı gürültü ve titreşim olarak sınıflandırılabilir. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile malzeme bilimi büyük yol kat etmiş ve nano büyüklükte partiküller üretilebilir hale gelmiştir. Nano boyuttaki partiküllerin üretimi, partikülün ısı iletim katsayısının yüksek olmasından dolayı geleneksel akışkana eklenerek nano akışkanların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Akışkan içine süspansiyon edilen parçacık akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini arttırmaktadır. Nano partiküller akışkanların efektif ısı kapasitesinin artmasını sağlamaktadırlar. Ayrıca partiküller arasından çarpışma ve etkileşimden dolayı akışkan ve akış geçiş yüzeylerinde artış meydana gelmektedir.

3.2.1 Nanoakışkan oluşumunda kullanılan nano partikül tipleri

Nano parçacıklar kimyasal yapıları farklı olan malzemeler kullanılarak üretilebilirler. Bunlara genellikle; metaller, seramikler, silikatlar, metal oksitler, organik ve karbon malzemeler örnek olarak verilebilir. Çizelge 3.1’de nano parçacık üretiminde kullanılan bazı malzemeler verilmiştir.

Çizelge 3.1: Literatürde kullanılan bazı nano parçacıklar [31].

Metaller	Oksitler ve seramikler	Alaşımlar	Karbon bazlı parçacıklar
Cu	CuO	Ag-Cu	CNT
Ag	CuO_2	Al-Cu	Elmas
Fe	Al_2O_3	Ag-Al	Grafit
Ti	TiO_2		Grafen

3.2.2 Nano partikül boyutları

Nanoakışkan hazırlama aşamasında kullanılan nano partiküllerin çapı 10-100 nm arasındadır. Partiküller boru ve lamel şeklinde olanlarda, çapları 100 nm’nin altında kalabilir fakat bu parçacıkların uzunluğu mikrometre ölçüsündede olabilir. [32].

Nanoakışkan hazırlama aşamasında kullanılan nano partiküller küresel, çubuk, boru veya disk formlarında olabilirler. Uygulamalarda genellikle küresel formda olanlar tercih edilmesine rağmen çubuk, boru ve disk şeklinde olan nanopartiküller de yaygın olarak kullanılır.

3.2.3 Nano partikül üretim yöntemleri

Nanoakışkan içerisinde kullanılan nano yapıları malzemelerin üretimi genel olarak iki şekilde gerçekleştirilir. Bu yöntemleri aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya yöntemler olarak sınıflandırabiliriz.

3.2.3.1 Yukarıdan aşağıya üretim yöntemi

Hacimsel malzemeye dışarıdan mekaniksel ve kimyasal işlemler ile enerji verilmesi sonucunda malzemenin nano boyuta kadar inebilecek parçalara ayrılması amaçlanmaktadır. Bu yöntemlere verilebilecek en önemli örnekler aşındırma ve öğütme işlemleridir. Mekanik yöntemler kesme, sıkıştırma, haddeleme, frezeleme olarak sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerle nano boyutta parçacıklar üretilir. İşlem sadece mekanik olarak gerçekleştirilir kimyasal olarak işlem yoktur.

3.2.3.2 Aşağıdan yukarıya yöntemi

Aşağıdan yukarıya yönteminde, atomlar ve moleküller kimyasal yöntemlerle birleştirilerek nano boyutta partiküller üretilir. Bu yaklaşıma örnek olarak gaz yoğunlaştırma tekniği, kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma ve sprey piroliz yöntemleri verilebilir [33].

3.2.4 Nanoakışkan oluşumunda kullanılan baz sıvılar

Nanoakışkan oluşumunda kullanılan baz sıvılar genel olarak kullanılan ısı transfer sıvılarıdır. Bunlar; su, makine yağı, etilen glikol ve etanol benzeri sıvılardır.

3.2.5 Nanoakışkan çeşitleri

Literatürde kullanılan nanoakışkanlar; metalik bazlı nanoakışkanlar, (Ag, Al, Fe, Cu), seramik nanoakışkanlar; (CuO, CuO₂, Al, Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, Fe₂O₃), polimer ve karbon nanotüp nano akışkanlar olarak sınıflandırılabilir [34-36].

3.2.6 Nanoakışkanların kullanıldığı yerler

Nanoakışkanlar, ısı transferi uygulamalarında kullanılan geleneksel akışkanlarla karşılaştırıldığında termo fiziksel özellikleri ve ısı iletim özelliklerinin yüksek olmasından dolayı ön plana çıkmaktadır ve çeşitli uygulama alanında kullanılmak üzere araştırılmaktadır. Bu uygulamaların bir kısmı aşağıda sıralanmıştır.

3.2.6.1 Güneş enerjisi uygulama alanlarında kullanımı

Fosil yakıtların kullanılması ile birlikte çeşitli sorunlar ortaya çıkmıştır. Gerek çevre kirliliğini arttırması gerek yenilenemez olması gerekse maliyetinin yüksek olmasından dolayı fosil yakıtların yerini yeni enerji kaynakları almaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisi de bunlardan birisidir. Güneş enerjisinin ısıl uygulamalarında nanoakışkan kullanımı, fosil yakıtların dezavantajlarını ortadan kaldırmaya yönelik olarak devam etmektedir. Nanoakışkanlar güneş enerjisinin ısıl uygulamalarında çoğunlukla güneş kolektörlerinde ve güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bunun yanında literatür incelendiğinde az da olsa enerji depolama ve güneş pili uygulamalarında kullanılmaktadır. Güneş kolektörleri üzerinde yapılan çalışmalarda nanoakışkan kullanımının ısıl performansı arttırdığı görülmüştür. Ayrıca çevre kirliliğinin azalmasına yardımcı olduğu görülmüştür [37]. Şekil 3.15'te nanoakışkanın güneş enerjisi uygulamalarında kullanımı verilmiştir.



Şekil 3.15: Güneş enerjisi uygulama alanlarında kullanımı.

3.2.6.2 Uzak araçları ve savunma endüstrisinde kullanımı

Yüksek teknolojinin kullanıldığı uygulama alanlarından en önemlilerinden birisi uzak araçları ve savunma endüstrisidir. Bu nedenle nano teknolojiye ihtiyaç duyulan alanlardan birisidir. Soğutma ihtiyacın en fazla ihtiyaç olduğu enerji silahları, güç elektronikleri bu

alana girmektedir. Nanoakışkanlar, soğutma ihtiyacının giderilmesi konusunda termo fiziksel özelliklerinin yüksek olmasından dolayı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca savunma sanayi uygulamalarında nanoakışkan kullanımı, bilinen özelliklerinin yanı sıra enerji depolama veya kimyasal reaksiyonlar sırasında enerji toplama gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır. Şekil 3.16'da nanoakışkanın uzay araçları ve savunma endüstrisinde kullanımı verilmiştir.



Şekil 3.16: Uzay araçları ve savunma endüstrisinde kullanımı.

3.2.6.3 Talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak kullanımı

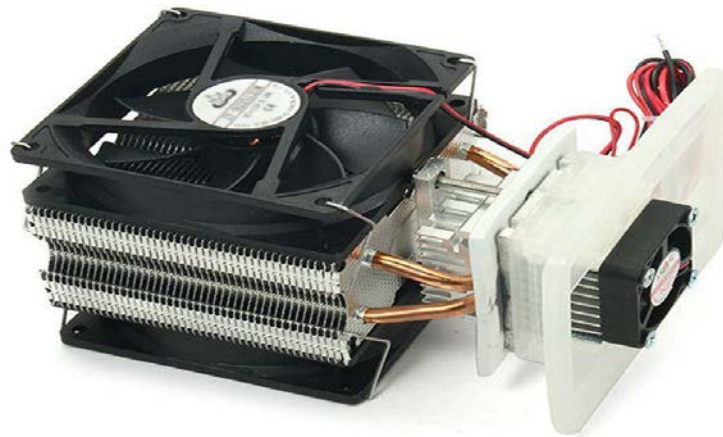
Talaşlı imalat sırasında açığa çıkan aşırı ısı ve sürtünme, işlem esnasında kullanılan takımların ömrünü önemli oranda kısaltmaktadır. Soğutma amaçlı geleneksel sıvılar kullanılmaktadır. Ancak bu sıvıların çevreye verdikleri zararlar kullanımlarının sınırlandırılmasına neden olmuştur. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte nano sıvılarla kesme işlemi gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu noktada nanoakışkanlar, ısı transfer karakteristikleri ve yağlama özellikleri ile aşırı ısınma probleminin çözümünde alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır [38]. Şekil 3.17'de nanoakışkanın talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak kullanımı verilmiştir.



Şekil 3.17: Talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak kullanımı.

3.2.6.4 Elektronik alanda soğutma sıvısı olarak kullanımı

Elektronik uygulamalarda kullanılan alanın kısıtlı olması, soğutma işleminde zorluklara neden olmaktadır. Bilgisayar vb. gibi cihazlarda kullanılan işlemci güçlerinin sürekli olarak artmasının yanı sıra soğutma zorlukları bilim insanlarını farklı soğutma yöntemlerini araştırmaya yönlendirmişlerdir. Bununla birlikte elektronik cihazların da küçültülmeye çalışılması da ön plana çıkmıştır. Kısıtlı koşullar altında nanoakışkanlar, yüksek ısı iletim özellikleri sayesinde soğutma için önemli bir alternatif sunmaktadır. Ancak elektronik soğutmada kullanmak üzere nanoakışkan seçimi yapılırken bazı noktalara dikkat edilmelidir. Seçilecek akışkan kararlı olmalı, soğutma sistemi üzerinde korozif bir etkisi olmamalı, daha iyi ısıl iletkenliğe sahip olmalı ve ekonomik olmalıdır [39]. Şekil 3.18’de nanoakışkanın elektronik alanda soğutma sıvısı olarak kullanımı verilmiştir.



Şekil 3.18: Elektronik alanda soğutma olarak kullanımı.

3.2.6.5 Kameralar, mikro cihazlar ve ekranlarda kullanımı

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, nanoakışkanların elektrik alanlara maruz kaldıklarında daha yüksek ısıl performans ve kararlılık gösterdikleri görülmüştür [40]. Bu özellik ile yeni tip mini kameraların lenslerinin, cep telefonu ekranlarının ve diğer bazı küçük ölçekli sıvı yapıdaki cihazların geliştirilmesinde önemli ölçüde katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu çalışmalar, nanoakışkanların mikro veya nano boyuttaki cihazların tahrik düzeneklerinde kullanılabilme imkanını ortaya koymuştur.

Bütün bunların yanısıra ilaç sanayisinde, tıp alanında, temizleme ve yüzey kaplama sıvısı olarak, nükleer reaktörlerde soğutma sıvısı, ısı pompalarında, otomotiv sektöründe radyatörlerde ve madencilik sektöründe kullanılmaktadır.



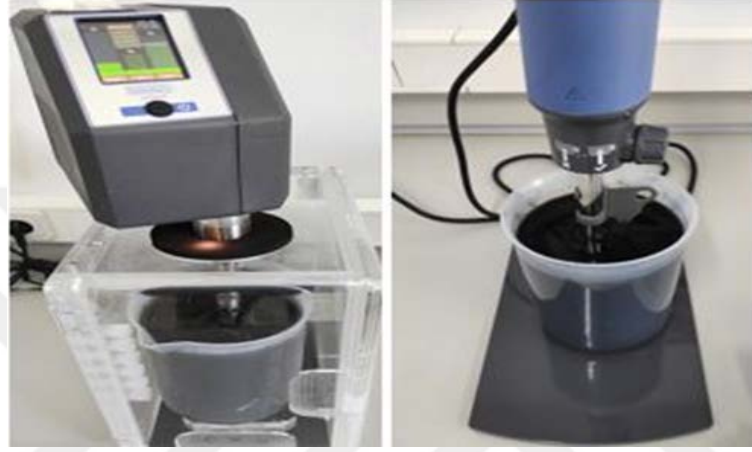
4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 24 kW gücünde hermetik tip birleşik tip sıcak su hazırlama cihazı kullanılmıştır. Sıcak su hazırlama cihazı zıt yönlü, paralel akışlı, plakalı tip ısı değiştiriciye sahiptir. Sıcak suyu hazırlamak için kullanılan birleşik tip sıcak su hazırlama cihazı lpg uyumlu hale getirilmiştir. Sisteme giren soğuk suyun debisi 2-18 l/dk akış özelliklerine sahip debimetre ile ayarlanmaktadır. Sıcak akışkanın sistemde dolaşması pompa tarafından sağlanmaktadır. Sistem de sıcak ve soğuk akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçebilmek için 4 adet K tipi termokupl kullanılmıştır. Termokupllardan alınan sıcaklık değerleri Picolog marka veri kayıt cihazına aktarılmakta ve buradan da bilgisayarda kaydedilmektedir. Hazırlanmış olan nanoakışkanın sisteme doldurma işlemi, mekanik güçle çalışan ve 4 bar maksimum basınçlandırılma özelliğine sahip pompa tarafından gerçekleştirilmektedir. Nanoakışkan doldurma esnasında sistemde oluşabilecek havayı tahliye edebilmek için sistemde 2 adet by-pass hattı kullanılmıştır. Sistemde dolaşan nanoakışkan ve suyu tahliye edebilmek için 1 adet tahliye vanası kullanılmıştır. Ayrıca sisteme giren soğuk akışkanın debisini ayarlamak için mekanik olarak çalışan 1 adet vana kullanılmıştır. Alınan her değer 3 kere tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır. Sistemde kullanılan grafen oksit-su nano akışkanları farklı konsantrasyonlarda hazırlanmıştır.

4.1 Deneyde Kullanılan Nanoakışkanın Hazırlanması

Deney setinde kullanılan nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan grafenoksit nano partikülleri Nanografi firmasından temin edilmiştir. Nanoakışkan hazırlama işlemi İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Grafen oksit nano partikülleri, istenilen hacimsel konsantrasyonda karışım yapabilmek için 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazide tartılmıştır. Nano parçacık tartım işlemi tamamlandıktan sonra kütle oranlar hacimsel orana çevrilmiştir. Çalışmalarda hacimsel konsantrasyon kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılmak üzere hacimce %0,02 ve %0,04 konsantrasyonunda nanoakışkan hazırlanmıştır. Grafen oksit-su nanoakışkanı iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Bu yöntemde temel akışkan ile nano parçacıkların bir araya getirilmesi sağlanmış ve nanoparçacık kümeleşmesini önlemek için ultrasonifikatör cihazı kullanılmıştır. Ultrasonifikatör cihazının amacı ultrasonik titreşimler meydana getirmektir. Tartım işlemi yapılan grafen oksit nano parçacığı baz akışkan olan saf su ile karıştırılarak elde edilen nanoakışkanın kararlılığının sağlanabilmesi için nanoakışkan

5 saat boyunca 63 Hz'lik frekansa ve 400 W'lık maksimum güce sahip Hiel Sher Up 400 ST ultrasonifikatör cihazında bekletilmiş ve karışımdaki garfen oksit nano parçacıklarının birbirine yaklaşmasını ve çökmeyi engellemek için ise benzen sülfonat eklenerek Ika T25 digital homojenizatör cihazında mekanik olarak 3 saat boyunca 3000 d/dk ile karıştırılmıştır. Nanoakışkanın hazırlanmasında yapılan işlemlere ait resimler gösterilmektedir. Şekil 4.1'de nanoakışkanın hazırlanma işleminde kullanılan cihazlar ve şekil 4.2'de nanoakışkan hazırlamada kullanılan ölçümler verilmiştir.



Şekil 4.1: Nanoakışkan hazırlamada kullanılan ultrasonifikatör ve homojenizatör



Şekil 4.2: Nanoakışkan ile ilgili ölçümler.

Çizelge 4.1: 20°C de akışkanların termofiziksel özellikleri.

Akışkan	k(W/mK)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)
Saf Su	0,604	998,1	4181
GO (%0,02)	0,641	998,5	4181
GO (%0,04)	0,665	998,5	4181

4.2 Deney Seti

Çalışmada kullanılan deney setinin şematik görünümü Şekil 4.3’ te verilmiştir. Deney setinin tasarımı tarafımızca yapılmıştır.



Şekil 4.3: Deney setinin şematik görünümü.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te deney setine ait fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.4: Deney setine ait fotoğraflar.



Şekil 4.5: Deney setine ait fotoğraflar.

4.3 Deney Setinde Kullanılan Ölçüm Cihazları

4.3.1 Debimetre

Sisteme giren soğuk akışkanın debisi, LZS-15 modelinde 2-18 l/dk ölçme kapasitesine sahip olan debimetre vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Debimetreye ait olan özellikler çizelge 4.2’de, şekli ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.2: Deney setinde kullanılan debimetreye ait özellikler.

Modeli	Ölçü Aralığı (l/dk)	Bağlantı Çapı	Basınç Aralığı (bar)	Gövde Malzemesi	Şamandıra	Maksimum Çalışma Sıcaklığı
LZS-15	2-18	1/2”	0-10	Platstik	Plastik	70 °C



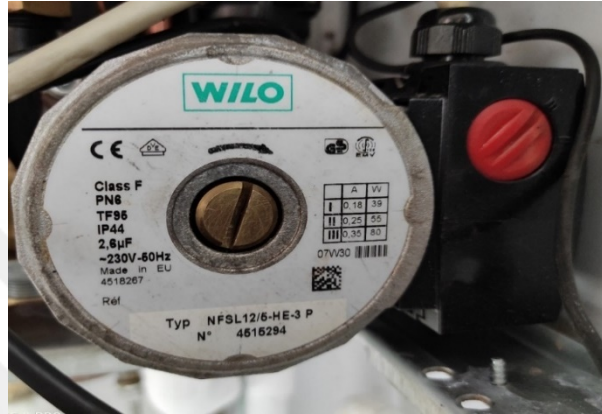
Şekil 4.6: Deney setinde kullanılan debimetre.

4.3.2 Deney setinde kullanılan sirkülasyon pompası

Deney setinde kullanılan sirkülasyon pompasının kullanılma amacı, yanma odasındaki ısı değiştirici ile plakalı ısı değiştirici arasındaki sıcak akışkanın sirküle etmektir. Sistemde kullanılan pompa 3 kademelidir. Deney aşamasında pompa 3. kademeye ayarlanmıştır. Bu kademede pompa 18 l/dk debide çalışmaktadır. Çizelge 4.3’te sirkülasyon pompasına ait özellikler, Şekil 4.7’de ise deney setinde kullanılan sirkülasyon pompası verilmiştir.

Çizelge 4.3: Deney setinde kullanılan sirkülasyon pompasına ait özellikler.

Model	Amper (A)	Maksimum Sıcaklık	Maksimum Çalışma Basıncı (Bar)	Voltaj (V)	Frekans (Hz)
Wilo NFSL/5-HE-3P	0,18-0,35	95 °C	0,3	230	50



Şekil 4.7: Deney setinde kullanılan sirkülasyon pompası.

4.3.3 Atmosferik brülör

Deney düzeneğinde atmosferik brülör kullanılmaktadır. Brülörün temel çalışma prensibi ortamdan almış olduğu atmosferik hava ile lpg yi yanma için uygun hale getirmektir. Yanma sonucu oluşan enerji ısı değiştiriciye giderek akışkanın ısınması sağlamaktadır. Şekil 4.8’de deney setinde kullanılan atmosferik brülör verilmiştir.



Şekil 4.8: Deney setinde kullanılan atmosferik brülör.

4.3.4 Plakalı ısı değiştirici

Deney sisteminde kullanılan ısı değiştirici plakalı, zıt yönlü paralel akışlı ısı değiştiricidir. Plakalı ısı değiştiriciler, farklı sıcaklıklardaki iki farklı akışkan arasında ısı transferi yapma prensibine göre çalışan cihazlardır. Isıtacak akışkan ve ısınacak akışkan, plakalar ile birbirinden tamamen ayrılmıştır. Atmosferik brülör tarafından ısıtılan sıvı akışkan pompa tarafından ana eşanjöre gönderilir buradan ısınmış haldeki akışkan plakalı ısı değiştiriciye gönderilir. Plakalı ısı değiştirici içerisine gelen sıcak akışkan, zıt yönden gelen soğuk akışkana enerjisini transfer eder. Sistem çalıştığı sürece enerji alışverişi bu şekilde devam eder. Şekil 4.9’da deney setinde kullanılan plakalı tip ısı değiştirici verilmiştir.



Şekil 4.9: Deney setinde kullanılan plakalı ısı değiştirici.

4.3.4 Ana eşanjör

Ana eşanjörün sistemdeki görevi brülörden aldığı ısı enerjisini sistemden gelen soğuk akışkana aktarmaktır. Bu görevi pompa yardımıyla yapar. Pompanın basınçlı olarak

gönderdiği soğuk akışkanı ısıtarak sisteme gönderir. Şekil 4.10’da deney setinde kullanılan ana eşanjör verilmiştir.



Şekil 4.10: Deney setinde kullanılan ana eşanjör.

4.3.5 Veri aktarım cihazı

Deney setinden termokupllar vasıtasıyla alınan 4 adet sıcaklık verisi Picolog marka veri aktarım cihazına, buradan da USB vasıtasıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Çizelge 4.4’te veri aktarım cihazının özellikleri, Şekil 4.11’de deney setinde kullanılan veri aktarım cihazı verilmiştir.

Çizelge 4.4: Deney setinde kullanılan veri aktarım cihazının özellikleri.

Modeli	Picolog TC-08
Kanal sayısı	8 Kanallı
Termokupl özellikleri	B, E, J, K, N, R, S, T
Ölçüm aralığı	-270 °C- 1820 °C
Güç kaynağı	USB ile çalışır
Sıcaklık doğruluğu	0,2 °C
Aşırı yükleme koruması	30 V
Giriş aralığı	±70 Mv
Dönüşüm süresi	100 ms
Çözünürlük	20 bit



Şekil 4.11: Deney setinde kullanılan veri aktarım cihazı.

4.3.6 Mekanik pompa

Deney setinde elle basınçlandırılabilen mekanik pompa kullanılmıştır. Hazırlanmış olan akışkanın sisteme doldurulabilmesi için genişleme tankının basıncı olan 1,5 bar'lık basıncın üzerinde olması gerekmektedir. Kullanılan basınç pompası mekanik olarak 4 bar basınca kadar basınçlandırılabilir. Hazırlanmış olan nanoakışkan pompa içerisine doldurulduktan sonra pompa kolu vasıtasıyla basınçlandırılıp sisteme nanoakışkanın doldurulması sağlanmaktadır. Şekil 4.12' de deney setinde kullanılan mekanik pompa verilmiştir.



Şekil 4.12: Deney setinde kullanılan mekanik pompa.

4.4 Teorik Analiz

Nanoakışkanın yoğunluğunu hesaplamak için Pak ve Choi modeli kullanılmıştır [41]. Denklem 1 kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Burada ρ yoğunluk, n , f ve nf alt simgeleri sırasıyla nano partikülleri, temel sıvıyı ve nano sıvıyı ifade etmektedir. Nano partiküllerin hacimsel oranı (ϕ) ile gösterilir.

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

Nanoakışkanın özgül ısısı, Xuan ve Roetzel modeli kullanılarak hesaplanmıştır [42]. Burada C_p özgül ısıdır.

$$C_{p,nf} = \frac{\phi \cdot (\rho_n \cdot C_{p,n}) + (1 - \phi) \cdot (\rho_f \cdot C_{p,f})}{\rho_{nf}} \quad (2)$$

Nano partiküllerin hacimsel oranı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Burada m_n ve m_f nano partiküllerin ve temel sıvının kütesidir.

$$\phi = \frac{m_n / \rho_n}{m_n / \rho_n + m_f / \rho_f} \quad (3)$$

Toplam ısı transfer miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Burada Q , ısı transferi miktarı, $\dot{m}$, kütleli debi c_{pc} , c_{ph} sırasıyla soğuk ve sıcak akışkanın özgül ısısıdır.

$$Q = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad (4)$$

Plaka tip ısı değiştiricisinde sıcak ve soğuk suyun ısı kapasitesi denklem 5 ve denklem 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{hot} = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \quad (5)$$

$$C_{cold} = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \quad (6)$$

Isı değiştiricisinde gerçekleştirilebilecek maksimum ısı transferi miktarını bulmak için denklem 5 ve denklem 6 kullanarak hesaplanan değerlerden küçük olan değer C_{min} dir. Q_{max} plakalı ısı değiştiricisinde gerçekleştirilebilecek maksimum ısı transferi miktarıdır.

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{hi} - T_{ci}) \quad (7)$$

Isı değiştiricinin etkinliği denklem 8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (8)$$

Burada Q gerçek ısı transferini, $Q_{\max}$ ise ısı değiştiricide olabilecek maksimum ısı transferini göstermektedir. İyileştirme oranı denklem 9 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{(\varepsilon_{\text{Grafit}} - \varepsilon_{\text{Su}})}{\varepsilon_{\text{Su}}} \quad (9)$$

Toplam ısı transfer katsayısı denklem 10’da verilen formülle hesaplanmıştır.

$$U = \frac{Q}{A \times \Delta T_{LM}} \quad (10)$$

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı denklem 11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (11)$$

$$\Delta T_1 = T_{\text{Sıcak giriş}} - T_{\text{Soğuk çıkış}} \quad (12)$$

$$\Delta T_2 = T_{\text{Sıcak çıkış}} - T_{\text{Soğuk giriş}} \quad (13)$$

Hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliği Maxwell-Garnet modeli kullanılarak belirlenmiştir [43].

$$k_{nf} = k_f \frac{k_n + 2k_f - 2\phi(k_f - k_n)}{k_n + 2k_f + \phi(k_f - k_n)} \quad (14)$$

5. DENEYİN YAPILIŞI, BULGULAR VE TARTIŞMA

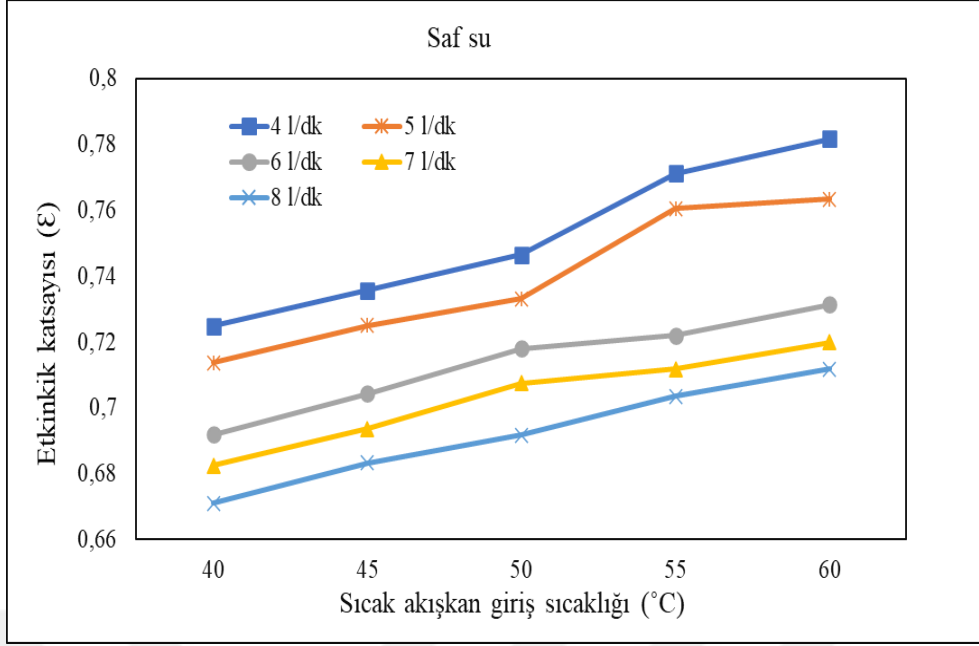
Deneyler İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler saf su, %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit hacimsel debi oranlarında, her sıcaklık değerleri için 3'er kez tekrarlanmıştır. Deney esnasında sistemde kullanılan soğuk suyun sıcaklığı 19-23 °C aralığında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi soğuk suyun hacimsel debisi 4, 5, 6, 7 ve 8 l/dk olarak alınmış, sıcak döngü sıcaklıkları ise 40, 45, 50, 55, 60 °C sıcaklıklara ayarlanmıştır. Bütün deneylerde sıcak suyun hacimsel debisi 18 l/dk'dır. Deneyler ilk olarak saf su ile gerçekleştirilmiştir. Saf suyla deneylerin gerçekleştirilmesinin ardından çalışma sıvısı olarak, su bazlı grafen oksit nano akışkanı kullanılmıştır. Su bazlı grafen oksitin hacimsel konsantrasyonu %0,02 ve %0,04 olarak seçilmiştir. Bütün debi değerleri ve sıcaklık değerleri için deneyler tekrar edilmiştir. Hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır. Deney esnasında sıcaklık değerleri kararlı hale gelinceye kadar beklenmiştir. Değerlerde stabil durum sağlandıktan sonra veri aktarım cihazı vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bütün değerlerin ortalaması alınmış ve teorik analiz bölümünde verilen denklemler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 5.1: Deneyde kullanılan değişkenler.

Deney Numarası	Soğuk su debisi (l/dk)	Sıcak su giriş sıcaklığı (°C)
1	4	40-45-50-55-60
2	5	40- 45-50-55-60
3	6	40-45-50-55-60
4	7	40-45-50-55-60
5	8	40-45-50-55-60

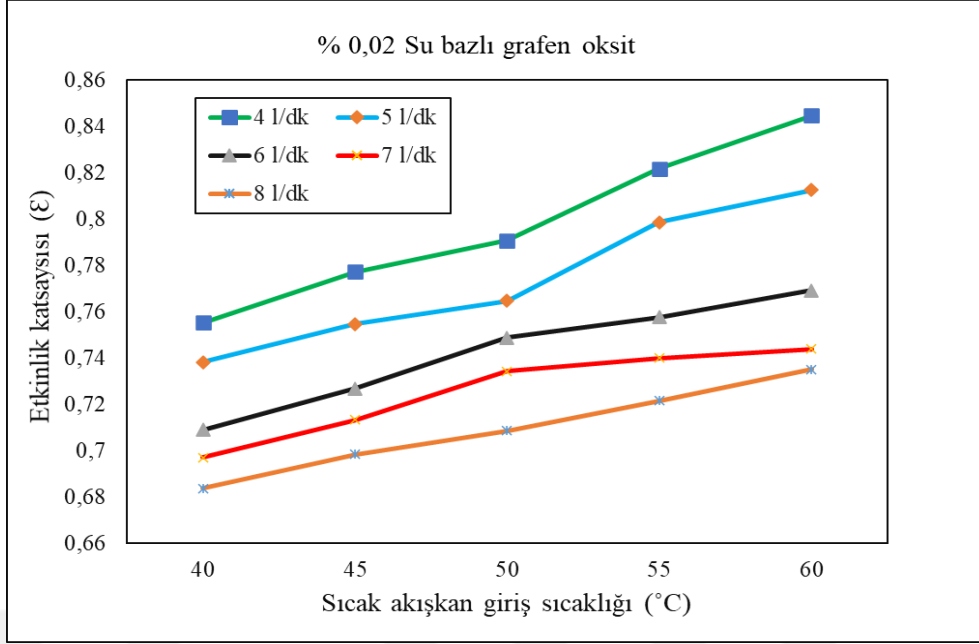
5.1. Etkinlik Katsayısı

Şekil 5.1'de saf su ile yapılan deney verileri verilmiştir. Soğuk akışkan girişinin 4, 5, 6, 7, 8 l/dk olduğu hacimsel debi değerlerinde, plakalı ısı değiştiriciye giren sıcak akışkanın 40, 45, 50, 55, 60 °C değerleri için veriler alınmıştır. 4 l/dk ve 40 °C değeri için etkinlik katsayısı 0,7249 iken, bu değer sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak artmış ve 60 °C değeri için etkinlik 0,7818 olarak hesaplanmıştır. Debinin artmasına bağlı olarak etkinlik katsayısı azalmıştır. Her debi değeri kendi içinde değerlendirildiğinde sıcaklık arttıkça etkinlik artmıştır.



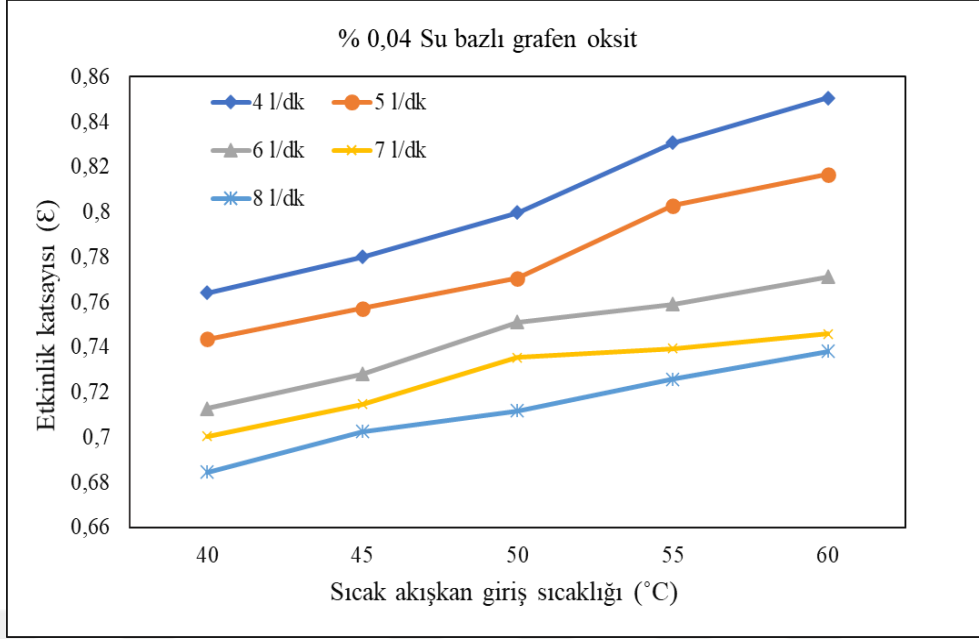
Şekil 5.1: Saf su için debiye bağlı sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

Hacimsel konsantrasyonu %0,02 olan su bazlı grafen oksit nanoakışkanı ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre etkinlik katsayısı değeri Şekil 5.2’de verilmiştir. Grafik değerlendirildiğinde saf suya paralel olarak 4 l/dk değerlerinde en yüksek etkinlik katsayısı elde edilmiştir. 4 l/dk ve 40 °C değerinde etkinlik 0,7552 olarak elde edilirken, 60 °C sıcaklığında etkinlik katsayısı ise maksimum değer olan 0,8447 olarak elde edilmiştir. Diğer debi değerleri incelendiğinde debinin artışına bağlı olarak etkinlik katsayısı azalmış ve her debi değeri kendi içinde değerlendirildiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak etkinlik artmıştır.



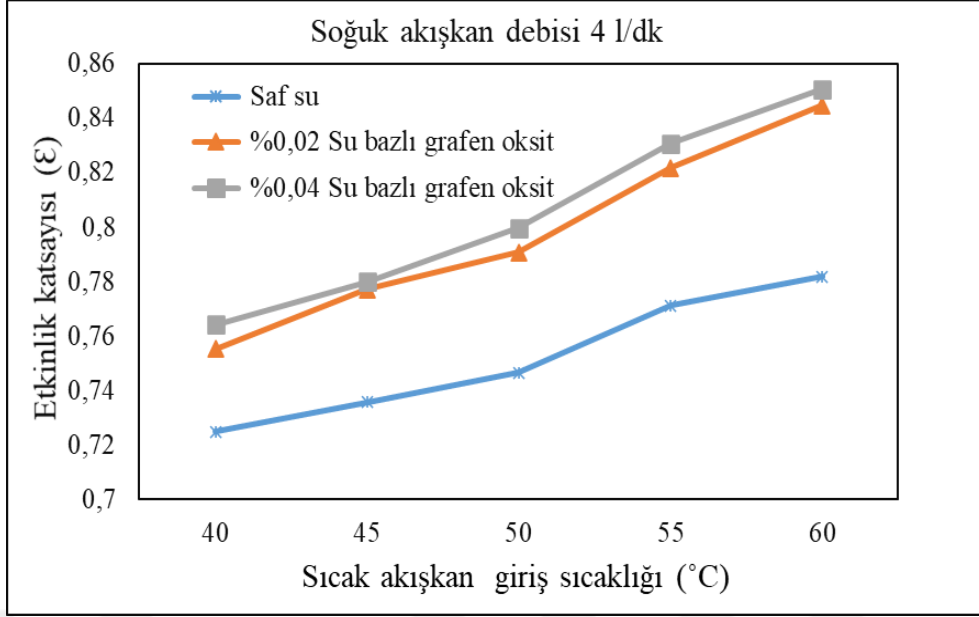
Şekil 5.2: %0,02 su bazlı grafen oksit için debiye bağlı sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

Hacimsel konsantrasyonu %0,04 olan su bazlı grafen oksit nanoakışkanı ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre etkinlik katsayısı değeri Şekil 5.3'te verilmiştir. Değerler incelendiğinde, %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkanının etkinlik katsayısını önemli derece arttırdığı gözlenmektedir. 4 l/dk hacimsel debi ve 40 °C değerinde etkinlik katsayısı 0,7642 olarak bulunmuştur. Aynı debi değeri için maksimum sıcaklık değerinde etkinlik katsayısı 0,8506 olarak bulunmuştur. Debinin artmasıyla ters orantılı olarak etkinlik katsayısı azalmıştır. Her debi değeri için sıcaklığın artmasıyla etkinlik katsayısı da artmıştır. 8 l/dk hacimsel debi ve 40 °C sıcaklık değeri için etkinlik katsayısı 0,6846 iken, 8 l/dk hacimsel debi ve 60 °C sıcaklık değeri için etkinlik katsayısı 0,7381 olarak bulunmuştur.



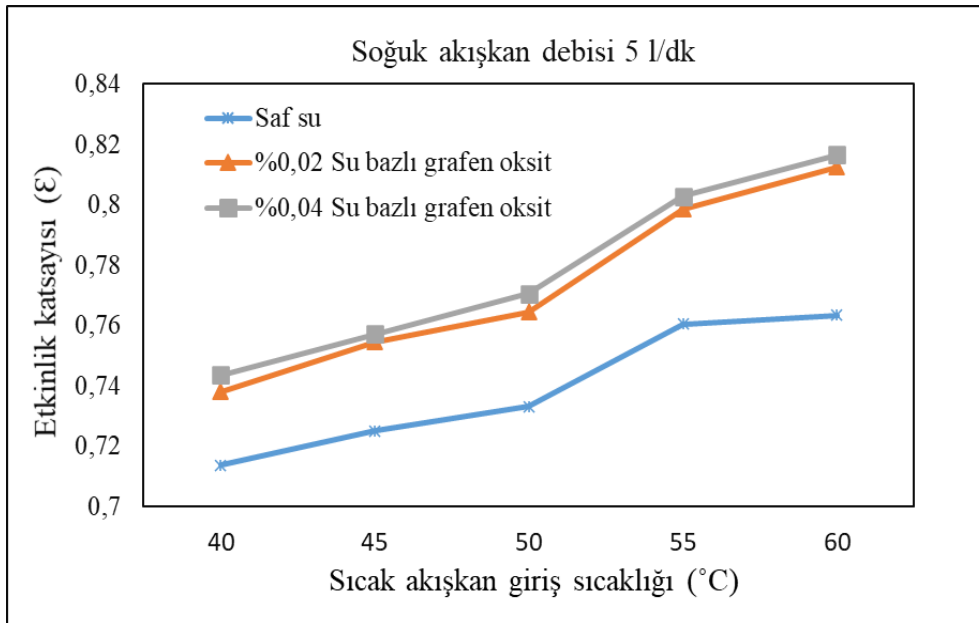
Şekil 5.3 %0,04 su bazlı grafen oksit için debiye bağlı sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

Şekil 5.4'te 4 l/dk hacimsel debi değerinde saf su, hacimce %0,02 su bazlı grafen oksit ve %0,04 su bazlı grafen oksit akışkanları için etkinlik katsayısı-sıcak akışkan giriş sıcaklığı grafiği verilmiştir. 40 °C sıcaklık değeri için saf suyun etkinlik katsayısı 0,7249 iken, %0,02 su bazlı grafen oksit değeri için etkinlik 0,7552 ve %0,04 su bazlı grafen oksit değeri için 0,7642 olarak bulunmuştur. 60 °C saf su için etkinlik katsayısı 0,7818 olurken, %0,02 su bazlı grafen oksit değeri için etkinlik katsayısı 0,8447 ve %0,04 su bazlı grafen oksit değeri için 0,8506 olarak bulunmuştur. Grafikte de görüldüğü gibi en yüksek etkinlik katsayıları %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkanında görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak bütün akışkanlar için etkinlik katsayısı artmıştır.



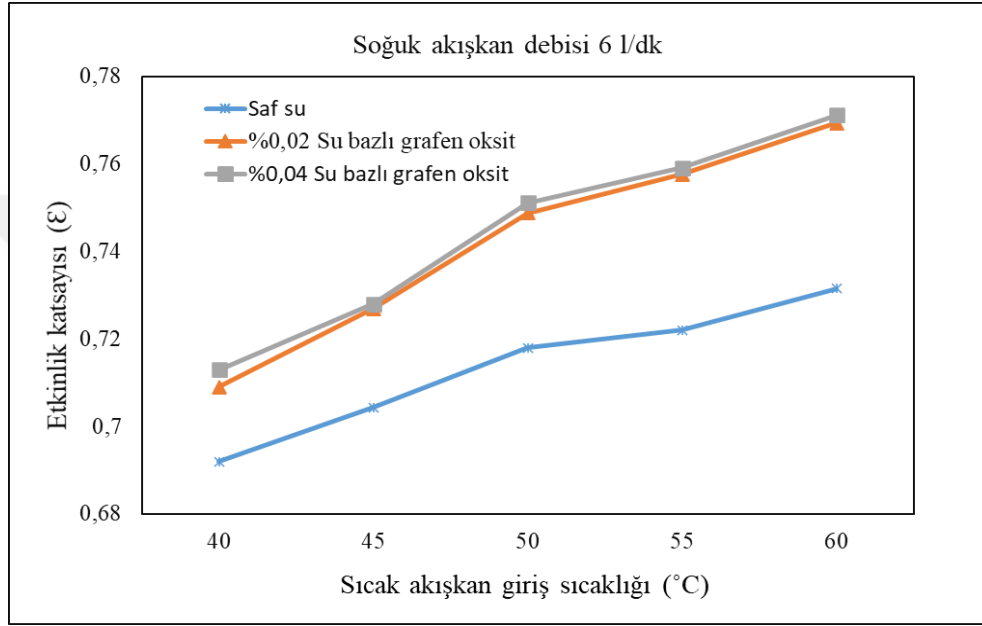
Şekil 5.4: 4 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

Şekil 5.5'te 5 l/dk hacimsel debide saf su, hacimce %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkanlarının etkinlik katsayısı grafikleri verilmiştir. 5 l/dk ve 40 °C sıcaklık değerlerinde, saf su için etkinlik 0,7137 iken, %0,02 su bazlı grafen oksit için 0,7382 ve %0,04 su bazlı grafen oksit için 0,7436 olarak bulunmuştur. 60 °C değeri için etkinlik katsayıları saf su için 0,7635 değerinde iken, %0,02 su bazlı grafen oksit için 0,8125 ve %0,04 su bazlı grafen oksit için 0,8167 olarak bulunmuştur. Değerler incelendiğinde grafen oksitin etkinliği önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.



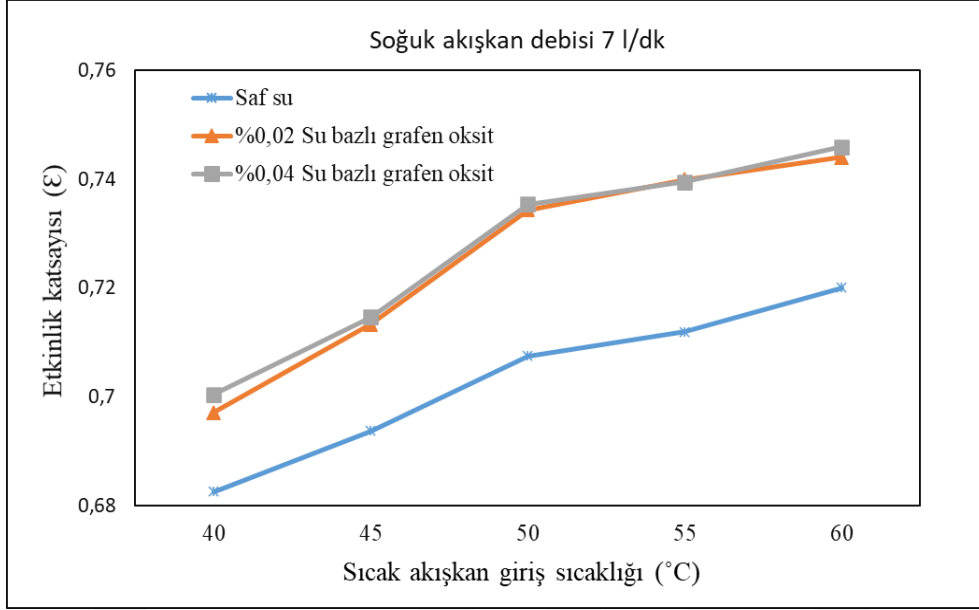
Şekil 5.5: 5 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

Şekil 5.6’da 6 l/dk debi değerinde saf su, hacimce %0,02 su bazlı grafen oksit ve %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkan grafikleri verilmiştir. 40 °C ve 6 l/dk da yapılan deneylerde saf suyun etkinlik katsayısı 0,692 bulunmuştur, %0,02 su bazlı grafen oksit için etkinlik katsayısı 0,709 ve %0,04 su bazlı grafen oksit için etkinlik katsayısı 0,7129 olarak bulunmuştur. Aynı debi koşullarında sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak etkinlik katsayısı artmıştır. En yüksek etkinlik 6 l/dk hacimsel debide ve 60 °C sıcaklık koşulunda %0,04 su bazlı grafen oksit değerinde 0,7712 olarak bulunmuştur.



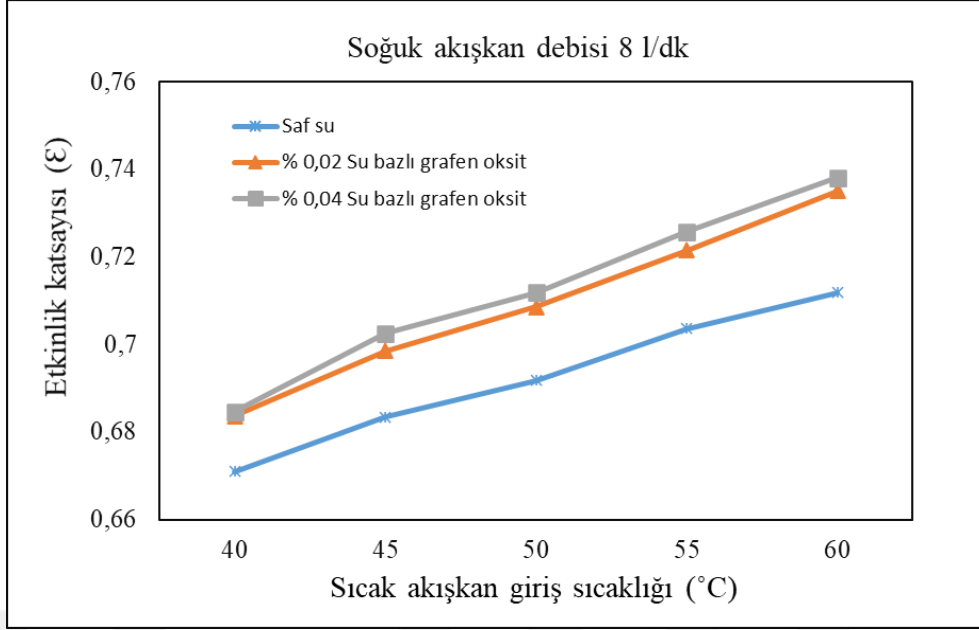
Şekil 5.6: 6 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

Şekil 5.7’de 7 l/dk hacimsel debi değerinde saf su, hacimce %0,02 su bazlı grafen oksit ve %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkan değerleri için etkinlik katsayısı-sıcak akışkan giriş sıcaklığı grafiği verilmiştir. Hacimsel debinin artmasına bağlı olarak etkinliğin azaldığı görülmektedir. Grafik incelendiğinde, saf su için en düşük etkinlik katsayısı 40 °C sıcaklık değerinde 0,6826 olarak bulunurken, en yüksek etkinlik katsayısı değeri ise 60 °C sıcaklık değerinde 0,72 olarak bulunmuştur. Grafen oksit-su nanoakışkanları değerlendirildiğinde 40 °C sıcaklık değerleri için %0,02 su bazlı grafen oksit için etkinlik katsayısı 0,6971 iken, %0,04 su bazlı grafen oksit için 0,7004 olarak elde edilmiştir. Maksimum sıcaklık olan 60 °C sıcaklık değeri, %0,02 su bazlı grafen oksit için 0,744 olurken %0,04 su bazlı grafen oksit için 0,7459 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.7: 7 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

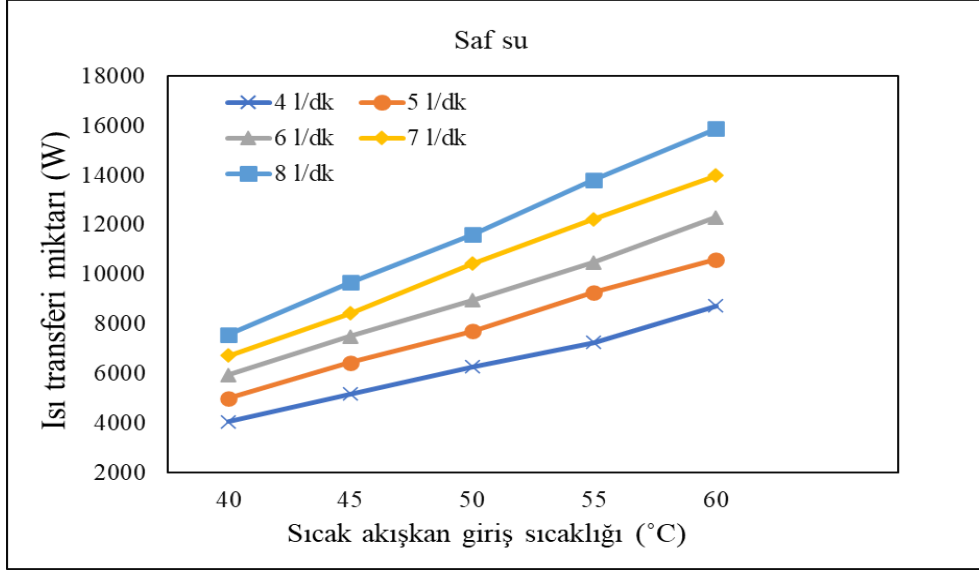
Şekil 5.8’de 8 l/dk hacimsel debi değerlerinde saf su, hacimce %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkanı için etkinlik katsayısı-sıcak akışkan giriş sıcaklığı grafiği verilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde diğer debi değerlerine paralel olarak etkinlik katsayılarında düzgün bir artış vardır. 40 °C sıcaklık değeri için en düşük etkinlik katsayısı saf suda görülmektedir. Su bazlı grafen oksit değerleri incelendiğinde 40 °C de, %0,02 ve %0,04 değerleri için etkinlik katsayısı sırasıyla 0,6837 ve 0,6846 olarak bulunmuştur. Maksimum sıcaklık değerleri incelendiğinde en düşük etkinlik katsayısı saf su da görülmüştür. En yüksek etkinlik katsayısı %0,04 su bazlı grafen oksit için etkinlik katsayısı 0,7381 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.8: 8 l/dk debide sıcak akışkan giriş sıcaklığı-etkinlik katsayısı değişimi.

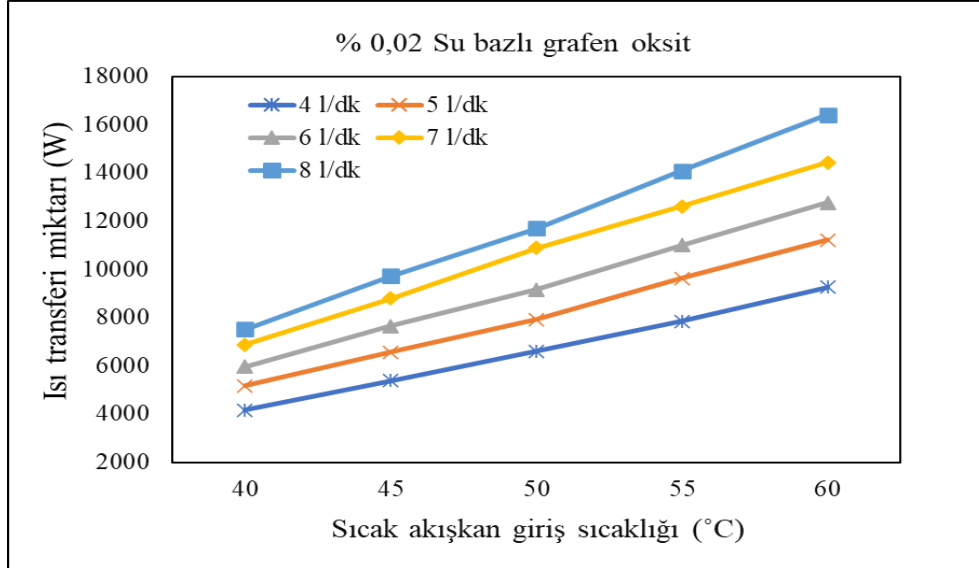
5.2 Isı Transferi Miktarı

Şekil 5.9’da saf su için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı verilmiştir. 4 l/dk hacimsel debideki değerler incelendiğinde sıcak akışkanın 40 °C giriş sıcaklığı için ısı transferi miktarı 4068,75 W, 45 °C için ısı transferi miktarı 5167,47 W, 50 °C sıcaklık değeri için 6274,74 W, 55 °C sıcaklık değeri için 7249,11 W ve 60 °C sıcaklık değeri için 8725,42 W olarak hesaplanmıştır. Her debi değeri kendi içinde değerlendirildiğinde sıcaklığın artışı ile doğru orantılı olarak ısı transfer miktarı artmaktadır. 8 l/dk ve maksimum sıcaklıkta ısı transferi miktarı 15886 W olarak hesaplanmıştır.



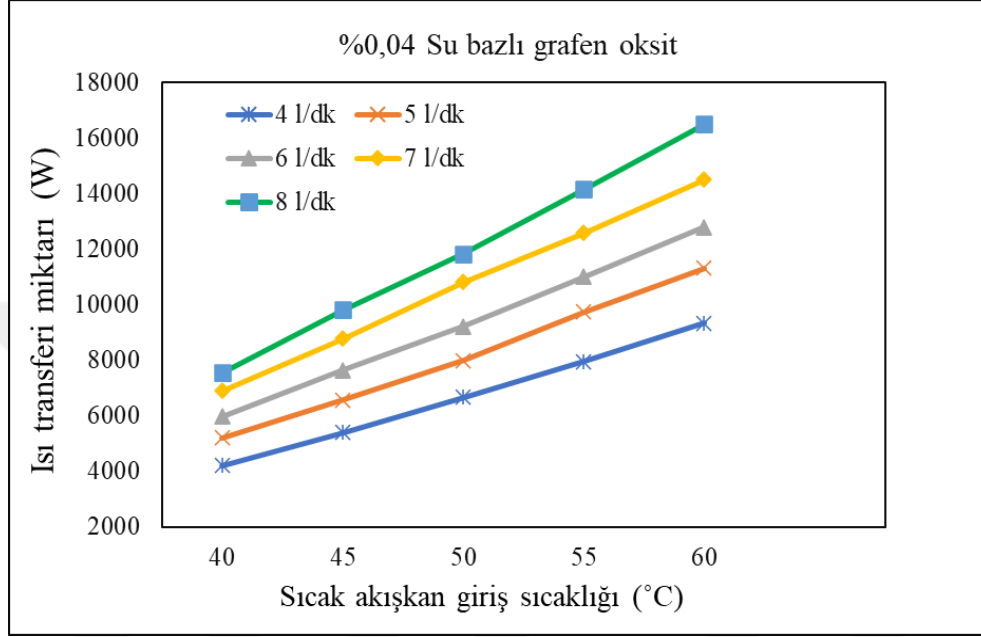
Şekil 5.9: Saf su için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı.

Şekil 5.10’da hacimce %0,02 su bazlı grafen oksit nanoakışkanı için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı verilmiştir. Isı transferi debinin artmasına bağlı olarak artmıştır. En düşük ısı transferi miktarı 4 l/dk hacimsel debi değerinde ve 40 °C sıcaklıkta 4155,78 W olurken, en yüksek ısı transferi miktarı 8 l/dk ve 60 °C sıcaklıkta gerçekleşmiş olup, bu değer 16420,3 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.10: %0,02 su bazlı grafen oksit için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı.

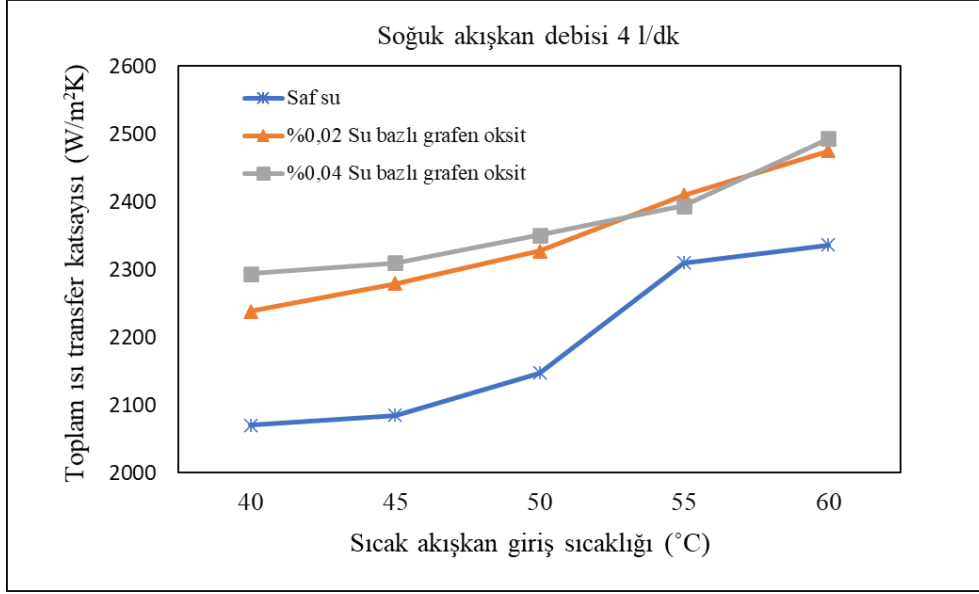
Şekil 5.11’de hacimce %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkanı için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı verilmiştir. Isı transferi en düşük 4 l/dk hacimsel debi ve 40 °C sıcaklık değerinde 4205,7 W olarak, en yüksek ısı transferi ise 8 l/dk hacimsel debide ve 60 °C sıcaklık değerinde 16505 W olarak hesaplanmıştır. Debinin ve sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak ısı transferi miktarı artmıştır.



Şekil 5.11: %0,04 su bazlı grafen oksit için farklı debilerde sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı ısı transferi miktarı.

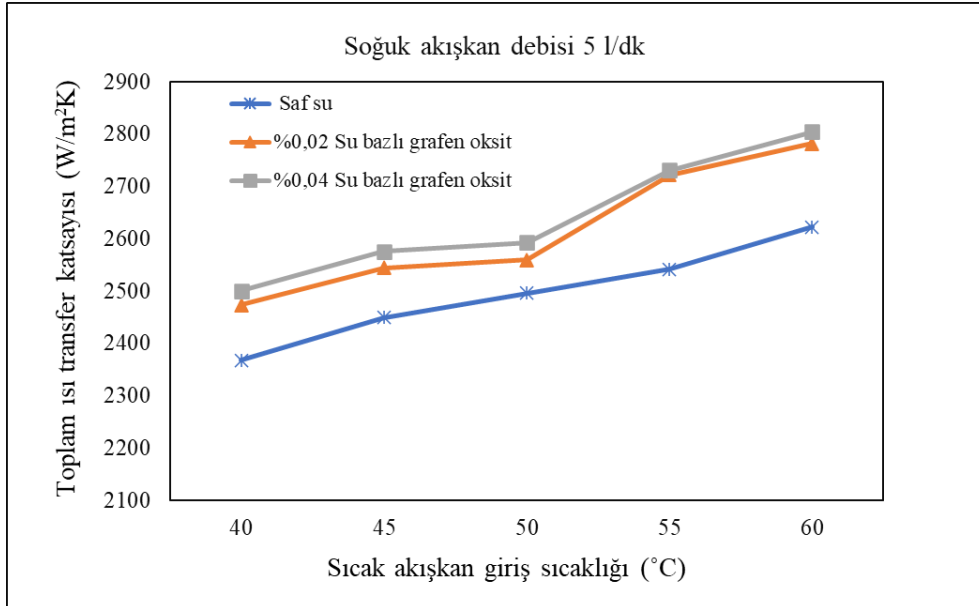
5.3 Toplam Isı Transfer Katsayısı

Şekil 5.12’de 4 l/dk hacimsel debide saf su, %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit hacimsel oranları için toplam ısı transfer katsayısı grafiği verilmiştir. Bu değer saf su için 40 °C’de 2070 W/m²K iken aynı debi değerinde ve 60 °C de 2336 W/m²K olarak hesaplanmıştır. En yüksek toplam ısı transfer katsayısı 4 l/dk hacimsel debide ve 60°C’de, %0,04 su bazlı grafen oksit oranında 2493 W/m²K olarak hesaplanmıştır.



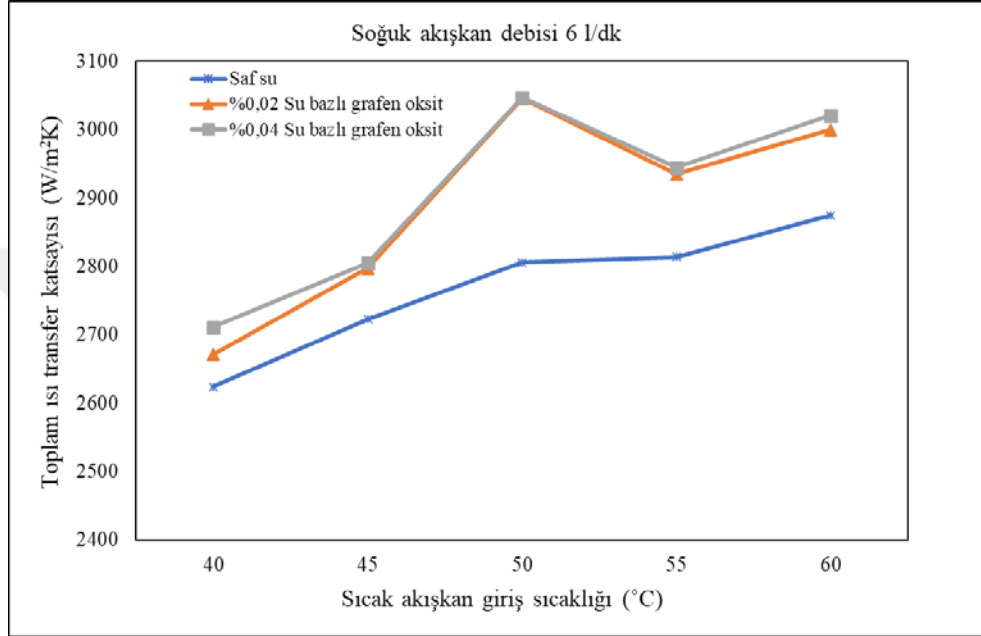
Şekil 5.12: 4 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.

Şekil 5.13'te 5 l/dk hacimsel debide saf su, %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit hacimsel oranları için toplam ısı transfer katsayısı verilmiştir. Grafik incelendiğinde sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak ısı transfer katsayısı artmıştır. En düşük ısı transfer katsayısı 2368 W/m²K olurken en yüksek ısı transfer katsayısı %0,04 hacimsel oranda ve 60 °C sıcaklıkta görülmüştür. Bu değer 2805 W/m²K olarak hesaplanmıştır.



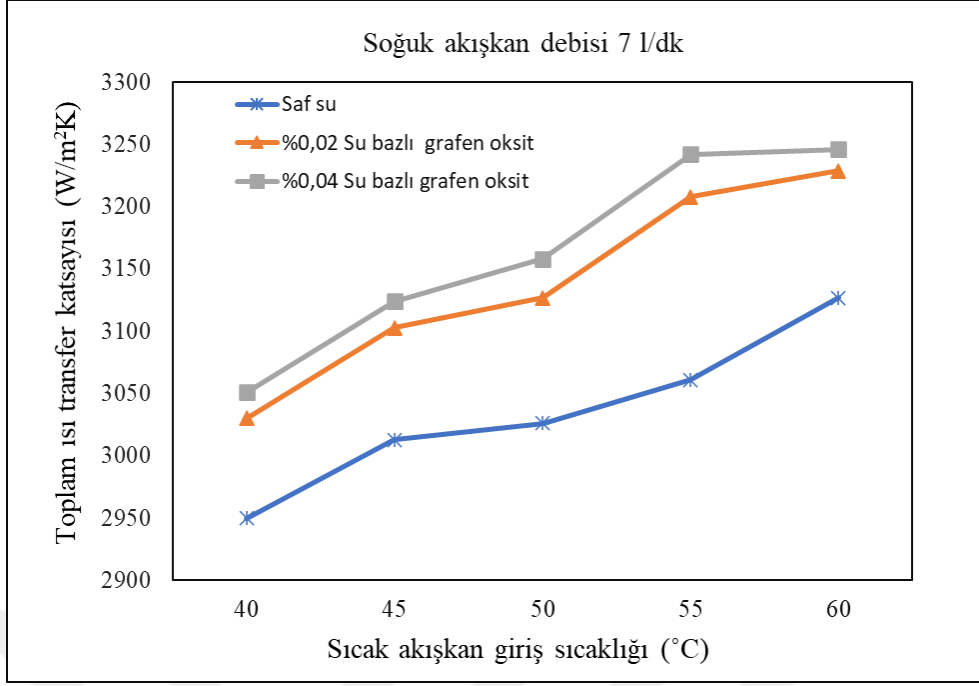
Şekil 5.13: 5 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.

Şekil 5.14'te 6 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde 40-45 °C değerleri arasında düzgün bir artış görülmüş ve 45-50 °C derece aralığında hızlı bir yükseliş ve 50-55 derece aralığında hızlı bir düşüş görülmüştür. 55 °C değerinden sonra doğrusal bir artış görülmüştür. Maksimum ısı transfer katsayısı 60 °C'de ve %0,04 hacimsel oranda 3021 W/m²K olarak hesaplanmıştır.



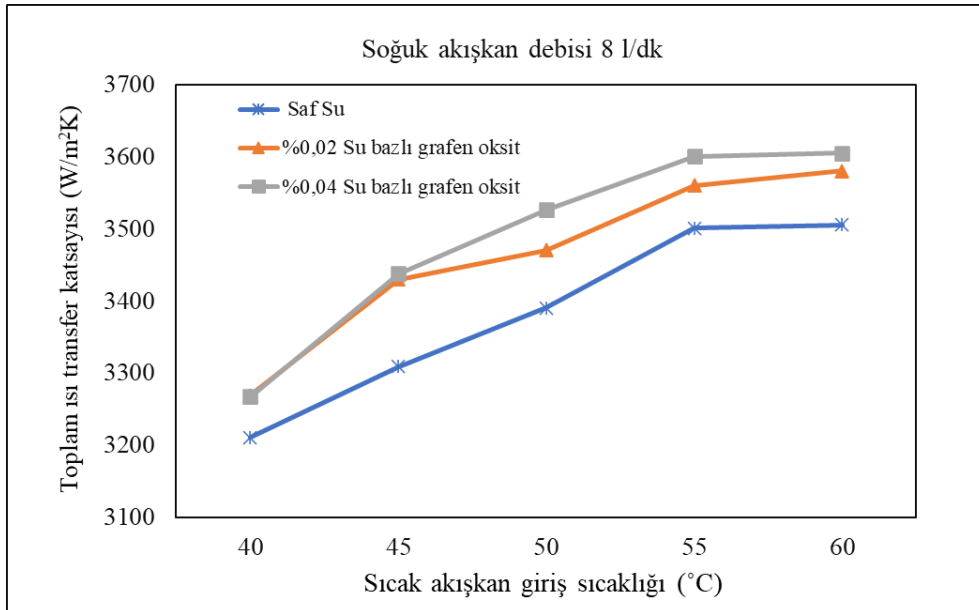
Şekil 5.14: 6 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.

Şekil 5.15'te 7 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi verilmiştir. En düşük ısı transfer katsayısı saf suda görülürken, %0,04 su bazlı grafen oksit hacimsel oranında ve 60 °C değerinde en yüksek ısı transfer katsayısı gözlenmiştir.



Şekil 5.15: 7 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi.

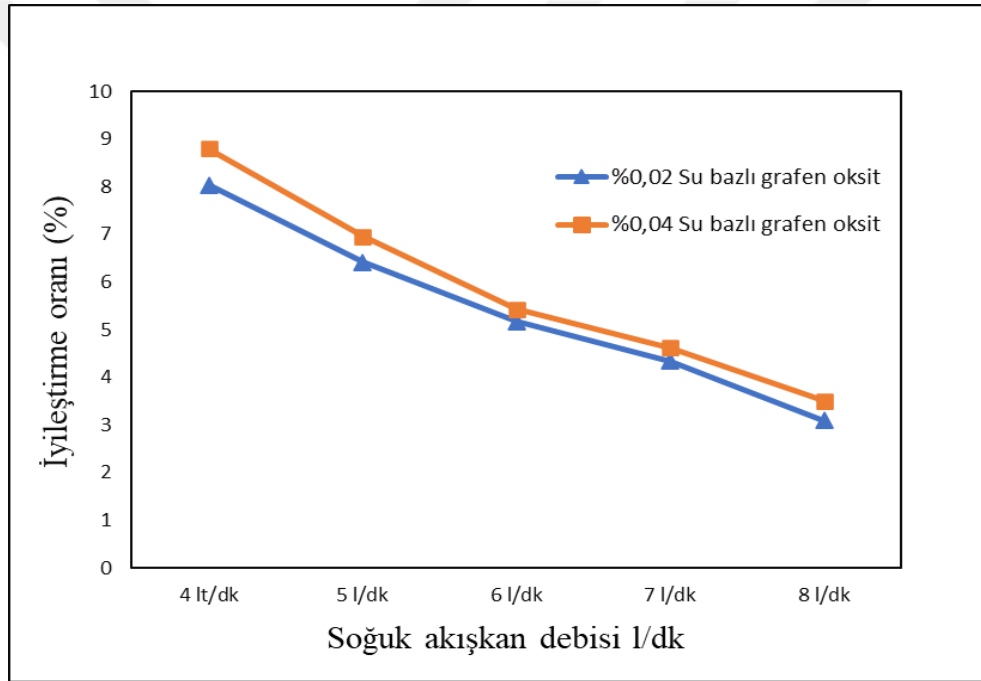
Şekil 5.16'da 8 l/dk debide farklı akışkanlar için sıcak akışkan giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi verilmiştir. En yüksek toplam ısı transfer katsayısı %0,04 hacimsel oranda, sıcaklığa bağlı olarak doğru orantılı artmıştır ve en yüksek değer 3605 W/m²K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.16: 8 l/dk debide farklı akışkanlar için giriş sıcaklığına bağlı toplam ısı transfer katsayısı değişimi

5.4 İyileştirme Oranı

Şekil 5.17’de %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit nanoakışkanları için debiye bağlı iyileştirme oranı değerleri verilmiştir. Nanoakışkan oranının %0,04 olduğu durumda maksimum iyileştirme oranı 4 l/dk hacimsel debide ortalama %8,80 olarak hesaplanmıştır. İyileştirme oranı hacimsel oranın %0,02 olduğu durumda 4 l/dk hacimsel debide ortalama %8,04 olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkan grafikleri her iki veri için değerlendirildiğinde 4 l/dk değerinde maksimum iyileştirme oranı görülmüştür. Hacimsel oranın %0,04 olduğu durumlarda bütün debi değerinde, iyileştirmenin daha yüksek olduğu görülmüştür. Soğuk akışkan debisinin 8 l/dk değerleri incelendiğinde %0,02 ve %0,04 değerleri için iyileştirme oranı sırasıyla %3,09 ve 3,51 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.17: %0,02 ve %0,04 su bazlı grafen oksit için debiye bağlı iyileştirme oranı değerleri.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; saf su ve su bazlı grafen oksit nanoakışkanlarının plakalı bir ısı değiştiricide kullanılmasıyla ısı transfer miktarı, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranları hesaplanmış olup ısı transferini etkileyen faktörlerin incelenmesi ve elde edilen deneysel sonuçların mevcut çalıştırmalarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmada, deney seti olarak içerisinde plakalı ısı değiştiricisi bulunan birleşik sıcak su hazırlama sistemi kullanılmıştır. Deney setinde kullanılan ısı değiştirici zıt, paralel akışlı, plakalı ısı değiştiricidir. Deneyde değişken parametreler olarak, üç farklı çalışma sıvısı kullanılmış, beş farklı debide soğuk akışkan ile deneyler yapılmış ve sıcak akışkanın giriş sıcaklıkları beş farklı değer seçilmiştir. Plakalı eşanjörde sıcak akışkan olarak kullanılan saf su ve farklı hacimsel oranlardaki su bazlı grafen oksit nanoakışkanların ısı transferine, etkinlik katsayısına ve iyileştirme oranlarına etkisini görmek için bu parametreler değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada saf su ile %0,02 ve %0,04 hacimsel debi oranlarında su bazlı grafen oksit nanoakışkan çalıştırma sıvısı olarak kullanılmıştır. Saf su ve nanoakışkanların kullanıldığı sıcak akışkanın plakalı eşanjöre giriş sıcaklığı 40, 45, 50, 55, 60 °C olarak sabitlenerek deneyler yapılmıştır. Soğuk akışkanın hacimsel debisi 4, 5, 6, 7, 8 l/dk olarak ayarlanmıştır. Bu değerler tüm deneyler için değiştirilerek yapılmıştır.

En yüksek etkinlik katsayısına %0,04 hacimsel debi oranında ve su bazlı grafen oksit nanoakışkanının plakalı eşanjöre giriş sıcaklığının 60 °C olduğu ve soğuk akışkanın debisinin 4 l/dk olduğu deneyde ulaşılmıştır. Bu değer 0,8506 olarak hesaplanmıştır. Debinin sabit tutulduğu deneylerde elde edilen sonuçlara göre sıcak akışkanın giriş sıcaklığının artırılması ile etkinlik katsayısı da artmıştır. En düşük etkinlik katsayısı değerlerine 8 l/dk debide ulaşılmıştır. Çalışma sıvısı olarak saf suyun kullanılmasına kıyasla nanoakışkanların kullanılması etkinlik katsayısını artırmıştır. Ayrıca nanoakışkanın hacimsel oranının artırılması etkinlik katsayısının büyümesine sebep olmuştur.

En yüksek iyileştirme oranına %0,04 hacimsel debi oranında su bazlı grafen oksit nanoakışkanının kullanıldığı ve soğuk akışkanın debisinin 4 l/dk olduğu deneyde ulaşılmıştır. İyileştirme oranını bu değeri için %8,8 olarak hesaplanmıştır. En düşük iyileştirme oranına %0,02 hacimsel oranda su bazlı grafen oksit nanoakışkan kullanıldığı ve soğuk akışkanın debisinin 8 l/dk olduğu deneyde ulaşılmış olup bu değer %3,09 olarak hesaplanmıştır.

Isı transferi miktarı debinin ve sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak artmıştır. En yüksek ısı transferi miktarı %0,04 hacimsel oranda su bazlı grafen oksit nanoakışkan kullanıldığı ve soğuk akışkanın debisinin 8 l/dk olduğu çalışmada 16505 W olarak hesaplanmıştır.

Toplam ısı transfer katsayısı da debinin ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak artmış ve en yüksek 3605 W/m²K olarak %0,04 hacimsel oranda su bazlı grafen oksit nanoakışkan kullanıldığı ve soğuk akışkanın debisinin 8 l/dk olduğu çalışmada hesaplanmıştır. Su bazlı grafen oksit nanoakışkanının ısı transferi uygulamaları için önemli bir alternatif olabileceği elde edilen bu sonuçlara göre söylenebilir. Elde edilen sonuçlara paralel olarak literatürde Kwon ve arkadaşları, Dan Huang ve arkadaşları, Ray ve arkadaşları plakalı ısı değiştiricide farklı nanoakışkanlar kullanmışlar ve toplam ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada çalışma sıvısı olarak kullanılan nanoakışkanın içeriği olan grafen oksitin ısı iletim katsayısının suya oranla çok büyük olması, ısı transferin artmasının en önemli sebebi olarak söylenebilir.

Nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun artışıyla birlikte ısı transferi miktarı artmaktadır. Etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranlarına bakıldığında plakalı eşanjörlerde, nanoakışkanların kullanılması saf sudan daha iyi sonuçlar vermektedir.

Baz sıvı içerisine eklenen nano partiküller ısı transferini önemli ölçüde arttırmaktadır. Deneysel olarak yapılmış olan bu çalışmada karşılaşılmış olan ve literatürde de üzerinde durulan konulara önem verilmelidir. Nanoakışkan hazırlama işleminde uygun hazırlama teknikleri kullanılmalıdır. Çökelme, basınç kaybı, tortulaşma gibi sisteme zarar veren etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Sistemde kullanılacak ısı değiştirici çeşidi ve etkinliği dikkate alınmalıdır. Kullanılacak olan nano partikülün termofiziksel özellikleri iyi incelenmelidir. Yapılan çalışmalarda maliyet ön planda tutulmalıdır. Nanoakışkanların kullanılmasının farklı tip ısı değiştiricilerinde etkisini görmek için farklı debilerde ve farklı hacimli konsantrasyonlarda çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Arsenyeva, O., Kapustenko, P., Tovazhnyanskyy, L., Khavin, G.** (2013). The influence of plate corrugations geometry on plate heat exchanger performance in specified process conditions. *Energy*, 57, 201-207.
- [2] **Abreu, B., Lamas, B., A. Fonseca, N., Martins, M., Oliveira, S.A.** (2014). Experimental characterization of convective heat transfer with MWCNT based nanofluids under laminar flow conditions. *Heat Mass Transfer*, 50, 65–74.
- [3] **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.
- [4] **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.
- [5] **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.
- [6] **Hussien, A. A., Nadiahnor, M. Y., Mohd, Z. A., Moh'd A., A.N., Mehrnoush, K.** (2019). Study on convective heat transfer and pressure drop of MWCNTs/water nanofluid in mini-tube. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 135, 123–132.
- [7] **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.
- [8] **Mikkolaa, S., Puupponena, H., Granbohmb, K. Saaria, T., Nissilac, A., Seppala, A.** (2018). Influence of particle properties on convective heat transfer of nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences* 124, 187–195.
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **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.
- [12] **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.

- [13] **Aghayari, R., Maddah, H., Ashori, F., Hakiminejad, A., Aghili, M.** (2015). Effect of nanoparticles on heat transfer in mini double-pipe heat exchangers in turbulent flow. *Heat Mass Transfer* 51, 301-306.
- [14] **Khedkar, R.S., Sonawane, S.S., Wasewar, K.L.** (2014). Heat transfer study on concentric tube heat exchanger TiO_2 -water-based nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 57, 163-169.
- [15] **Fard, M.H., Talaie, M.Z., Nasr, S.** (2011). Numerical and experimental investigation of heat transfer of ZnO/Water nanofluid in the concentric tube and plate heat exchangers. *Numerical And Experimental Investigation of Thermal Science* 15, 183-194.
- [16] **Zamzamian, A., Oskouie, S.N., Doosthoseini, A., Joneidi, A., Pazouki.** (2011). Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{EG}$ and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow. *Experimental Thermal and Fluid Science* 35, 495-502.
- [17] **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.
- [18] **Albadr, J., Tayal, S., Alasadi, M.** (2013). Heat transfer through heat exchange using Al_2O_3 nanofluid at different concentrations. *Case Studies in Thermal Engineering* 1, 38-44.
- [19] **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.
- [20] **Huang, D., Wu, Z., Sunden, B.** (2016). Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers. *Experimental Thermal And Fluid Science*. 72, 190-196.
- [21] **M. Tarık Ç.** (2015). Alimüna içeren nanoakışkan kullanılarak ısı borularının performanslarının iyileştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 4, 547-556.
- [22] **Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut., K.** (2019). Grafen tabanlı nanoakışkanların araç radyatörü soğutma performansı üzerindeki etkisinin deneysel analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 1046-1056.
- [23] **Kumar, T., Ghosh, P., Sarkar. J.** (2013). Heat transfer and pressure drop characteristics of $\text{CeO}_2/\text{Water}$ nanofluid in plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering* 57, 24-32.
- [24] **Bhattad, A., Sarkar, J., Ghosh, P.** Discrete phase numerical model and experimental study of hybrid nanofluid heat transfer and pressure drop in plate heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 91, 262-273
- [25] **Zheng, D., Wang, J., Chen, Z., Baleta, J., Sunden, B.** (2020). Performance analysis of a plate heat exchanger using various nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 158, 119993.

- [26] **Dustin, R., Debendra, K., Ravikanth, S., Vajjha.** (2014). Experimental and numerical investigations of nanofluids performance in a compact minichannel plate heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 71, 732–746.
- [27] **Javadi, F.S., Sadeghipour, S., Saidur, R., Boroumand, J.G., Rahmati, B., Elia, M.M., Sohel, R.** (2013). The effects of nanofluid on thermophysical properties and heat transfer characteristics of a plate heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 44, 58–63.
- [28] **Pantzali, M.N., Kanaris, A.G., Antoniadis, K. D., Mouza, A.A., Paras, S.V.** (2009). Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 30, 691–699
- [29] **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.
- [30] **Thulukkanam, K.** (2013). *Heat Exchanger Design Handbook*. CRC Press, Boca Raton 18-20, 28-34, 237-320
- [31] **Çiloğlu, D., Bölükbaşı, A., Çifçi, H.** (2015). Experimental investigation of pool boiling heat transfer in nanofluids around spherical surfaces. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 30, 405-415.
- [32] **Choi, S. U. S., Eastman, J. A., Li, S., Thompson, L. J., Yu, W.** (2001). Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Apply Physic Letters* 78(6), 718-720.
- [33] **Luther, W.** (2006). International strategy and foresight report on nanoscience and nanotechnology. VDI Technologiezentrum for Riöse National Laboratory, Düsseldorf.
- [34] **Kong, T., Wang, L., Wei, X., Zhu, H.** (2009). Synthesis and thermal conductivity of Cu₂O nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52, 19-20, 4371-4374.
- [35] **Boey, F. Y., C. Tok, A. I. Y., Zhao, X. L.** (2006). Novel synthesis of Al₂O₃ nanoparticles by flame spray pyrolysis. *Journal of Materials Processing Technology* 178, 270–273.
- [36] **Leal, S. H., Longo, E., Matos, J. M. E., Santos, M. R. M. C., Santos, V., Santos Junior, L. S. and Gonçalves, J. S.** (2009). Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO₂ nanoparticles. 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro, Brazil.
- [37] **Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S. A., Pop, I. and Wongwises, S.** (2013). A review of the applications of nanofluids in solar energy. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2), 582–594.
- [38] **Srikant, R. R., Rao, D. N., Rao, P. N.** (2008). Influence of emulsifier content in cutting fluids on cutting forces, cutting temperatures. *Tool Wear and Surface Roughness, Journal of Engineering Tribology*. 223, 203-209.

- [39] **Ganvir, R. B., Walke, P. V. and Kriplani, V. M.** (2017). Heat transfer characteristics in nanofluid-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 451–460.
- [40] **Saidur, R., Leong, K. Y., Mohammad, H. A.** (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1646–1668.
- [41] **Pak, B.C., Choi, Y.I.** (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle. *Experimental Heat Transfer and International Journal* 11 (2), 151–170.
- [42] **Xuan, Y., Roetzel, W.** (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 43(19), 3701–3707.
- [43] **Maxwell, J.C, Garnett, J.C.** (1904). Colours in metal glasses and in metallic films. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engeneering Sciences* 203, 385–420.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Muhammet KAHVECİ

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans : 2018, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- Yüksek Lisans : 2021, İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği.

MESLEKİ DENEYİM:

- 2005- Hala devam ediyor TSK

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- KAHVECİ, M., & Koca, T. (2021). Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2021.
- KAHVECİ, M., & Koca, T. (2021). Use of Nano Fluids in Heat Exchangers. Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-V. Ankara, March 27-28.