

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

**KARBON TABANLI NANOAKIŞKANLARIN HAVA
SOĞUTMALI ÇAPRAZ AKIŞLI MİKROKANALLI ISI
DEĞİŞTİRİCİSİNDEKİ ISI AKTARIM PERFORMANSLARININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özge ÖSTÜRK
(201392121027)**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kerim YAPICI

SİVAS

HAZİRAN 2015

ÖZGE ÖSTÜRK'ün hazırladığı ve “**Karbon Tabanlı Nanoakışkanların Hava Soğutmalı Çapraz Akışlı Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Isı Aktarım Performanslarının Deneysel İncelenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Kerim YAPICI**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Kerim YAPICI**
Cumhuriyet Üniversitesi

Prof. Dr. H. Hüseyin DURMAZUÇAR
Cumhuriyet Üniversitesi

Doç. Dr. M. Serdar GENÇ
Erciyes Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, REHİS-IA-2012-105 Nolu ve Mikrokanal Isı Değiştiricisinde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması başlıklı proje kapsamında ASELSAN A.ř. tarafından desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Özge ÖSTÜRK, 2015

Çalışma süresince bana maddi ve manevi destek olan aileme...

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

.../.../2015

Özge ÖSTÜRK

ÖZET

KARBON TABANLI NANOAKIŞKANLARIN HAVA SOĞUTMALI ÇAPRAZ AKIŞLI MİKROKANALLI ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDEKİ ISI AKTARIM PERFORMANSLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Özge ÖSTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kerim YAPICI

2015, 95+xxi sayfa

Yüksek güç ve hızda çalışan elektronik cihazlar soğutma yüzeylerinde oldukça yüksek ısı akısı üretirler. Bu tür ekipmanların istenilen performansta çalışabilmeleri için açığa çıkan ısının etkin bir şekilde uzaklaştırılması ve cihazın güvenilir çalışma sıcaklığında tutulması gerekmektedir. Mikrokanallı soğutucu plakalar ve/veya ısı değiştiriciler sahip oldukları üstün özelliklerinden dolayı (yüksek yüzey alanı/hacim oranı; küçük boyut, kütle ve hacim; yüksek ısı aktarım katsayısı ve küçük boyutlarda soğutucu gereksinimi) yüksek güç ve hızda çalışan mikroelektronik cihazların kullanıldığı uzay, savunma, elektronik ve otomotiv endüstrilerinde kullanılabilir en uygun soğutma ekipmanlarıdır. Mikrokanallı ısı plakası ve/veya ısı değiştirici performanslarının artırılmasına yönelik uygulanan yöntemler aktif ve pasif olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır. Aktif metot ısı değiştiricisinde kullanılan çalışma akışkanının akış hidrodinamiği değiştirilerek ısı aktarım hızı artırılması için ısı değiştiricisinin tasarımında değişikliklere dayanmaktadır. Buna karşın pasif olarak isimlendirilen yöntemde ise çalışma akışkanı yüksek ısı özelliklerine sahip çalışma akışkanları ile değiştirilmektedir. Maliyet ve zaman göz önüne alındığında pasif yöntem, aktif metoda göre daha avantajlıdır. Gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında, kütlece %0.05-%0.02 fraksiyon aralığında grafen oksit, karbon nanotüp nanoşerit ve asit ile işlem görmüş çok duvarlı karbon nanotüp nanomalzemeler kullanılarak hazırlanan DI su tabanlı nanoakışkanların tasarımı ve üretimi ASELSAN A.Ş. tarafından gerçekleştirilen hava soğutmalı, çapraz akışlı ve mikrokanallı ısı değiştiricisindeki ısı

aktarım performanslarının deneysel olarak incelenmesi ve elde edilen sonuçların taban akışkanı olarak kullanılan su ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak test edilen karbon tabanlı nanoakışkanlar hem kendi aralarında hem de DI su çalışma akışkanına göre ısı aktarımından elde edilen nispi artış/azalış miktarları dört farklı kütlesel akış hızı ve üç farklı ısı yükü için karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen kapsamlı deneyler sonucunda: i) Ribon nanoparçacıklar ile üretilen DI su tabanlı nanoakışkanların aynı işletme koşullarında ve nanoparçacık konsantrasyonunda çalışılan diğer karbon tabanlı nanoakışkanlardan daha kararlı olduğu, ii) buna karşın aynı kütlesel bölüntü oranında nanoparçacık içeren karbon tabanlı nanoakışkanlar içerisinden toplam ısı aktarım katsayısında DI su taban akışkanına göre en yüksek artış Grafen oksit/DI su nanoakışkanı için bulunmuştur. Sonuç olarak, taban akışkanı içerisinde yüksek dispersiyon kararlılığına sahip olan Ribon/DI su nanoakışkanı mikrokanal ısı değiştiricisinde ısı aktarım akışkanı olarak kullanılabilen en güçlü nanoakışkan adaydır.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Grafen oksit, Ribon, Asit ile muamele edilmiş ok duvarlı karbon nanotüp, Mikrokanal ısı değiştirici, Isı aktarımı

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER PERFORMANCE OF CARBON BASED NANOFLUIDS IN AIR COOLED CROSS FLOW MICROCHANNEL HEAT EXCHANGER

Özge ÖSTÜRK

Master of Science Thesis

Department of Chemical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kerim YAPICI

2015, 116 pages

The increasing performance of electronic equipments lead to higher heat flux dissipation. In order to keep these devices under their allowable operating temperature and to run at desirable performance the heat released by the devices must be removed using effective cooling system. Due to superior properties of microchannel heat sinks or heat exchanger (high surface area to volume ratio, small size, mass and volume, high heat transfer coefficient and small cooler requirement), they can be considered potential candidates for cooling devices in space, defense, electronic and automotive industries. Active and passive methods are commonly employed to enhance heat transfer performance of microchannel heat sinks or heat exchangers. An active method is based on the doing modification on the structure of heat exchangers to change hydrodynamic behavior of working fluid. On the other hand replace working fluid with fluids having high thermal properties is called passive method. In the viewpoints of cost and time, the latter one has more advantages. The purpose of this thesis is to investigate heat transfer performance and effectiveness of DI water based nanofluids containing Graphene oxide, Ribon and acid treated multiwalled carbon nanotubes by the mass fraction of 0.005%-0.02% in the air cooled cross flow microchannels heat exchanger designed by ASELSAN.

To find out relative enhancement/reducement of heat transfer performance of carbon based nanofluids with respect to water and between each other, comparisons are carried out for four different mass flow rates and three different heat loads. Following

conclusions can be drawn from the experiments: i) DI water based nanofluid containing Ribon nanoparticles exhibits higher stability than that of the other examined nanofluids at the same particle concentrations and operating conditions; ii) on the other hand it is found that Graphene oxide/DI water nanofluids give highest overall heat transfer coefficient enhancement in the carbon based nanofluids that containing same particle mass fraction. The results obtained from the experiments suggested that due to high dispersion stability in based fluid, nanofluids containing Ribon nanoparticles can be considered potential candidate for heat transfer fluid in microchannel heat exchanger.

Key words: Nanofluid, Graphene oxide, Ribon, acid treated multiwalled carbon nanotube, Microchannel heat exchanger, Heat transfer

TEŞEKKÜR

Danışmanım Doç. Dr. Kerim YAPICI'ya tez süresince yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim.

REHİS-IA-2012-105 numaralı proje kapsamında verdikleri destekten dolayı ASELSAN A.Ş. REHİS grubu başkanı Oğuz ŞENER'e ve tasarım direktörü Serhat ERZİN'e teşekkür ederim. Ayrıca mikrokanal ısı değiştiricisi ve deney düzeneğinin kullanımı ve deneylerin yapılmasında yardımcı olan başta Murat PARLAK ve Selçuk ÖKSÜZ olmak üzere Murat ÇETİN ve Uğur ETİZ'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince benden yardımlarını esirgemeyen Nanoteknoloji Araştırma Grubu'nun üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Ümit Nazlı TEMEL'e, Kutlu SÖMEK'e ve bu tez çalışması kapsamında kullanmış olduğum nanomalzemeleri sentezleyen Fatih ERAVCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim için benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zorlukta yanımda olan kıymetli annem Fatma ÖSTÜRK, değerli babam Bülent ÖSTÜRK ve sevgili kardeşlerim Bilge ÖSTÜRK ve Tugay ÖSTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER DİZİNİ	xix
KISALTMALAR DİZİNİ	xx
ALT VE ÜST İNDİSLER DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çift Borulu (Konsantrik) Isı Değiştiricileri	7
1.2 Gövde Borulu (Kabuk-Tüp) Isı Değiştiricileri	15
1.3 Plakalı Isı Değiştiricileri	20
1.4 Hava Soğutmalı Isı Değiştiricileri.....	25
1.5 Mikrokanallı Isı Değiştiricileri.....	30
2. GENEL BİLGİLER	33
2.1 Nanoakışkanların üretilmesi	33
2.2 Mikrokanal ısı değiştiricisi ve deney düzeneği.....	35
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	38
3.1 Newton Kuralına Uyan DI Su Çalışma Akışkanının Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri.....	38
3.2 Grafen Oksit/DI Su Nanoakışkanlarının Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri.....	50
3.3 Karbon Nanotüp Nanoşerit(Ribon)/DI Su Nanoakışkanlarının Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri.....	69
3.3 Asit ile Muamele Edilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüp/DI Su Nanoakışkanlarının Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri.....	80
4. GENEL SONUÇLAR	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	19.01.2015 tarihi itibariyle Scopus veri tabanına “heat exchanger” ve “nanofluid” kelimeleri girilerek yapılan araştırma sonucunda elde edilen çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	5
Şekil 1.2	19.01.2015 tarihi itibariyle Scopus veri tabanına “heat exchanger” ve “nanofluid” kelimeleri girilerek yapılan araştırma sonucunda elde edilen çalışmaların a) doküman türüne göre b) ısı değiştiricisi türüne göre dağılımı.....	6
Şekil 2.1	Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan makine teçhizat a) hassas elektronik terazi, b) sonifikatör banyosu.....	34
Şekil 2.2	Nanoakışkanların kararlılık testlerinin incelenmesinde kullanılan Malvern Zetasizer Nano Z.....	35
Şekil 2.3	Newton kuralına uyan DI su ve nanoakışkanların yoğunluk ölçümlerinin yapıldığı DMA 4100 dijital yoğunluk ölçme cihazı.....	35
Şekil 2.4	Newton kuralına uyan DI su ile karbon tabanlı nanoakışkanların performans testlerinin yapıldığı deney düzeneği.....	37
Şekil 2.5	Mikrokanal ısı değiştiricisine yerleştirilen ısı çiftlerinin konumları.....	37
Şekil 3.1	ASELSAN A.Ş. tarafından tasarlanan ve üretilen mikrokanallı ısı değiştiricisi.....	44
Şekil 3.2	Isı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığında iki farklı ısı değiştiricisi tasarımı için hesaplanan a) etkinlik faktörünün ve b) ısı performans değerlerinin kütleli akış hızı ile değişimi. Not: Isı değiştiricisi 2 yeni tasarımı belirtmektedir.....	47
Şekil 3.3	Isı değiştiricisi kanal numaralandırılması ve kanal giriş çıkışlarına yerleştirilen ısı çiftlerinin konumları.....	48
Şekil 3.4	Farklı kütleli akış hızlarında Şekil 9’da numaralandırılan ısı değiştiricisi kanallarına giren çıkan DI su çalışma akışkanı için duvar sıcaklık farkları.....	50
Şekil 3.5	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden DI su çalışma akışkanının 200 W ve 600 W ısı yüklerinde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerinin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile değişimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimi.....	52
Şekil 3.6	Kütlece %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	54
Şekil 3.7	Kütlece %0.02 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	55
Şekil 3.8	Kütlece %0.03 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	55

Şekil 3.9	Kütlece %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit/DI su nanoakışkanına 200 W'lık ısı yükü verildikten sonra aldığı durumu.....	56
Şekil 3.10	Kütlece %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 400 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	56
Şekil 3.11	Kütlece %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 600 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	57
Şekil 3.12	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.01-%0.03 bölüntü aralığında Grafen oksit/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerinin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile değişimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimi.....	63
Şekil 3.13	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.01-%0.03 bölüntü aralığında Grafen oksit/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.....	64
Şekil 3.14	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanının 600 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerinin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile değişimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimi.....	68
Şekil 3.15	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden a) kütlece %0.01 ve b) %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 200 W, 400 W ve 600 W ısı yüklerinde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.....	69
Şekil 3.16	Kütlece a) %0.005, b) %0.01 ve c) %0.02 bölüntü oranında hazırlanan Ribon /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	71
Şekil 3.17	Kütlece %0.005 bölüntü oranında hazırlanan Ribon /DI su nanoakışkanının a) 400W ve b) 600W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	72
Şekil 3.18	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında Ribon/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerinin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile değişimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimi.....	73
Şekil 3.19	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının 200 W. 400W ve 600 W ısı yüklerinde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.....	74

Şekil 3.20	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değıştircisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında Ribon/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütlese akış hızı ile değışimi.....	75
Şekil 3.21	Kütlece a) %0.005, b) %0.01 ve %0.02 bölüntü oranında hazırlanan asit ile muamele edilmiş MWCNT/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.....	82
Şekil 3.22	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değıştircisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında AMWCNT/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütlese akış hızı ile değışimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değışimi.....	83
Şekil 3.23	Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değıştircisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında AMWCNT/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütlese akış hızı ile değışimi.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1	Mehendale vd. (2000) tarafından önerilen mikrokanal sınıflandırması..... 2
Çizelge 1.2	Kandlikar ve Grande (2009) tarafından önerilen mikrokanal sınıflandırması..... 2
Çizelge 1.3	Nanoakışkanların, konsantrik tüp ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel çalışmalar..... 8
Çizelge 1.4	Nanoakışkanların, gövde borulu (kabuk – tüp) ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel çalışmalar..... 16
Çizelge 1.5	Nanoakışkanların, plakalı ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel çalışmalar..... 22
Çizelge 1.6	Nanoakışkanların, hava soğutmalı ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel çalışmalar..... 26
Çizelge 3.1	DMA 4100 dijital yoğunluk ölçme cihazı ile farklı sıcaklıklarda Newton kuralına uyan DI su çalışma akışkanının ölçülen yoğunlukları..... 41
Çizelge 3.2	Farklı kütleli akış hızlarında DI su çalışma akışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları..... 43
Çizelge 3.3	Mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığında farklı kütleli akış hızlarında ısı değiştiricisinden yayılan, fan tarafından soğurulan ve ortalama ısı değerleri..... 44
Çizelge 3.4	Farklı kütleli akış hızlarında DI su çalışma akışkanının yeni tasarım mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları b) basınçları ve farkları c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları..... 45
Çizelge 3.5	Yeni tasarım mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığında farklı kütleli akış hızlarında ısı değiştiricisinden yayılan, fan tarafından soğurulan ve ortalama ısı değerleri..... 46
Çizelge 3.6	Farklı kütleli akış hızlarında DI su çalışma akışkanı için mikrokanal ısı değiştiricisinin Şekil 3.3’de gösterilen konumlarına yerleştirilen ısı çiftlerinden ölçülen duvar sıcaklıkları..... 49
Çizelge 3.7	Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları..... 58

Çizelge 3.8	Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	59
Çizelge 3.9	Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.03 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	60
Çizelge 3.10	Farklı kütleli akış hızlarında ve 600 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	65
Çizelge 3.11	Farklı kütleli akış hızlarında ve 600 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	66
Çizelge 3.12	Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları b) basınçları ve farkları c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	76
Çizelge 3.13	Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	77
Çizelge 3.14	Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	78
Çizelge 3.15	Farklı kütleli akış hızlarında ve 400 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	79
Çizelge 3.16	Farklı kütleli akış hızlarında ve 600 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	80

Çizelge 3.17	Farklı kütlelesel akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranında asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AMWCNT) içeren DI su tabanlı nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	85
Çizelge 3.18	Farklı kütlelesel akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranında asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AMWCNT) içeren DI su tabanlı nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları, b) basınçları ve farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	86
Çizelge 3.19	Farklı kütlelesel akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranında asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AMWCNT) içeren DI su tabanlı nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve farkları b) basınçları ve farkları c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve farkları.....	87

SİMGELER DİZİNİ

D	Çap, m
L	Uzunluk, m
k	Isıl iletkenlik, W/m ² K
C_p	Özgül ısı, J/kgK
μ	Vizkozite, Pa.s
R	Termal performans
f	Sürtünme faktörü
h	Konveksiyon ısı aktarım katsayısı, W/m ² K
δ	Isıl sınır tabaka kalınlığı, m
P	Basınç, bar
ΔP	Basınç düşüşü, bar
ρ	Yoğunluk, g/cm ³
V	Hız, m/s
X	İstenilen kütlece % fraksiyon
m	Kütle, g
Q	Isı aktarım hızı, W
ṁ	Kütlesel akış hızı, kg/s
ΔT	Sıcaklık farkı, °C
ε	Etkinlik faktörü
T	Sıcaklık, °C
U	Toplam ısı aktarım katsayısı, W/m ² K
A	Isı aktarım alanı, m ²

KISALTMALAR DİZİNİ

DI su	Deiyonize su
Re	Reynolds sayısı
Nu	Nusselt sayısı
Pe	Peclet sayısı
NTU	Transfer birim sayısı
EG	Etilen glikol
MKID	Mikrokanallı ısı değiştiricisi
-OH	Hidroksil grubu
AKNT	Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp
MKSP	Mikrokanallı soğutucu plakalar
CNT	Karbon Nanotüp
MWCNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
GA	Gum arabik
PK	Paralel konfigürasyon
ÇK	Çapraz konfigürasyon
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
T	Isıl çift
CCVD	Katalitik kimyasal buhar biriktirme
CFD	Hesaplamaalı akışkan dinamiği

ALT VE ÜST İNDİSLER DİZİNİ

avg	Ortalama
max	Maksimum
min	Minimum
h	Sıcak akışkan
c	Soğuk akışkan
i	Giriş
o	Çıkış
nf	Nanoakışkan
lm	Ortalama logaritmik
np	Nanoparçacık
t	Taban akışkanı

1. GİRİŞ

Son yıllarda elektronik, otomotiv, savunma sanayi gibi endüstriyel alanlarda meydana gelen gelişmeler küçük hacimli ve daha hafif ekipmanların kullanımını ön plana çıkarmıştır. Endüstriyel donanımların ebatlarındaki küçülme beraberinde bu yüzeylerde oluşan yüksek ısı akısına neden olmaktadır. Cihazın istenilen etkinlikte güvenilir bir şekilde çalıştırılabilmesi için oluşan bu ısının hızlı ve etkin olarak yüzeyden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda mikrokanallı soğutucu plakalar ve/veya ısı değiştiriciler sahip oldukları üstün özelliklerinden dolayı (yüksek yüzey alanı/hacim oranı; küçük boyut, kütle ve hacim; yüksek ısı aktarım katsayısı ve küçük boyutlarda soğutucu gereksinimi) yüksek güç ve hızda çalışan mikroelektronik cihazların kullanıldığı uzay, savunma, elektronik ve otomotiv endüstrilerinde kullanılabilir en uygun soğutma ekipmanlarıdır. Bu kapsamda literatürde mikrokanallı ısı plakası ve/veya ısı değiştiricilerinin veriminin artırılmasına yönelik birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler aktif ve pasif olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Aktif metot olarak isimlendirilen yöntemde ısı değiştiricisinin tasarımında değişiklikler yapılarak ısı değiştiricisinde kullanılan çalışma akışkanının akış hidrodinamiği değiştirilerek ısı aktarım hızı artırılmaya çalışılmaktadır. Buna karşın pasif olarak isimlendirilen yöntemde ise çalışma akışkanı yüksek ısı özelliklerine sahip çalışma akışkanları ile değiştirilmektedir. Maliyet ve zaman göz önüne alındığında pasif yöntem aktif metoda göre daha avantajlıdır.

Tuckerman ve Pease (1981) yapmış oldukları öncü bir çalışma ile yüksek ısı akısı (790 W/cm^2) meydana getiren elektronik ekipmanlardan ısının su geçişli mikrokanallı soğutucu plakalar (MKSP) ile uzaklaştırılabileceğini deneysel olarak göstermişlerdir. Gerçekleştirilen bu öncü çalışma, hem birçok bilim insanını bu alanda çalışmaya sevk etmiş hem de mikrokanal tasarım iyileştirme ve üretimi yöntemlerinde çok önemli gelişmelere sebep olmuştur.

Günümüze kadar birçok araştırmacı mikrokanal tanımı ve sınıflandırması önermiştir. Örneğin Mehendale vd. (2000) ile Kandlikar ve Grande (2009) yaptıkları çalışmalarda ısı plakası ve/veya ısı değiştiricilerini içerdikleri en küçük kanal boyutlarına göre sırasıyla Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2'de belirtildiği gibi sınıflandırmışlardır. Mehendale vd. (2000)'ne göre $1 \mu\text{m}$ ile $100 \mu\text{m}$ aralığında

değişen kanal boyutlarından üretilen ısı plakası ve/veya ısı değiştiricileri mikrokanallı olarak isimlendirilmişken Kandlikar ve grande (2009)'e göre 10 µm ile 200 µm aralığında değişen kanal boyutlarından üretilen ısı plakası ve/veya ısı değiştiricileri mikrokanallı olarak isimlendirilmiştir. Obot (2003) ise sınıflandırmayı hidrolik çapa göre önermiştir. Obot (2003) sınıflandırmasına göre hidrolik çapı 1 mm'den az olan ısı plakası ve/veya ısı değiştiricileri mikrokanallı olarak adlandırılmıştır. Bu çalışma kullanılan ısı değiştiricisinin su tarafı ve hava tarafı kanal genişlikleri sırası ile 4 mm ve 10 mm olup hidrolik çapları ise su ve hava tarafları için 0.653 mm ve 0.683 mm'dir. Verilen boyutlardan anlaşılacağı üzere ısı değiştiricisi Mehendale vd. (2000) ve Kandlikar-Grande (2009)'nin sınıflandırmalarına göre mini kanallı, Obot (2003) sınıflandırmasına göre ise mikrokanallı ısı değiştiricisidir. Çetin (2010) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında bu çalışmada da kullanılacak olan hava soğutmalı çapraz akışlı ısı değiştiricisini mikrokanallı olarak isimlendirmiştir. Bu sebepten dolayı gerçekleştirilmiş olan yüksek lisans tez çalışmasında kullanılmış olan ısı değiştiricisi mikrokanallı olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 1.1 Mehendale vd. (2000) tarafından önerilen mikrokanal sınıflandırması.

Klasik kanal	$D > 6 \text{ mm}$
Kompakt kanal	$1 \text{ mm} < D < 6 \text{ mm}$
Meso-kanal	$100 \text{ } \mu\text{m} < D < 1 \text{ mm}$
Mikrokanal	$1 \text{ } \mu\text{m} < D < 100 \text{ } \mu\text{m}$

Çizelge 1.2 Kandlikar ve Grande (2009) tarafından önerilen mikrokanal sınıflandırması.

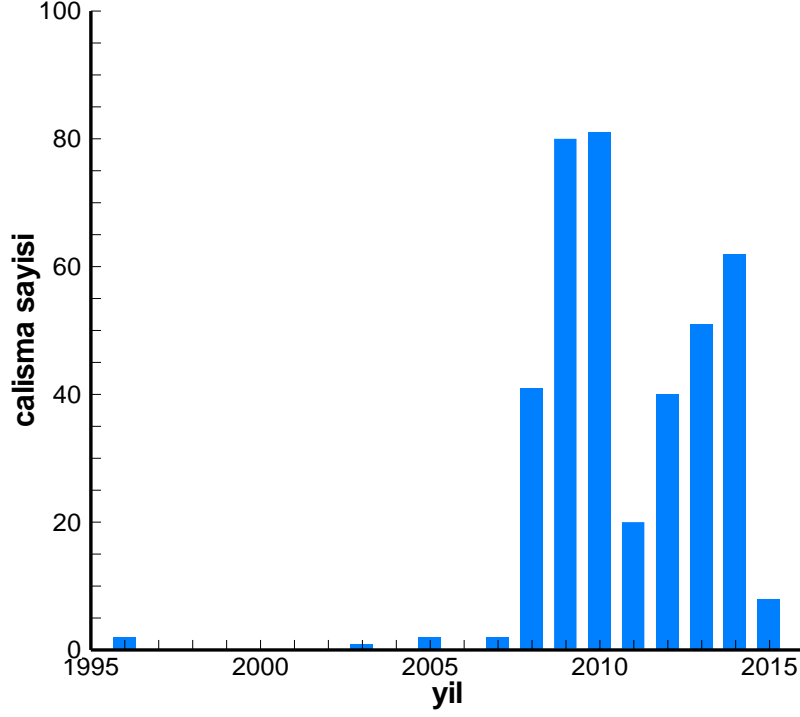
Klasik kanallar	$D > 6 \text{ mm}$
Minikanal	$200 \text{ } \mu\text{m} < D < 3 \text{ mm}$
Mikrokanal	$10 \text{ } \mu\text{m} < D < 200 \text{ } \mu\text{m}$
Geçişli mikrokanal	$1 \text{ } \mu\text{m} < D < 10 \text{ } \mu\text{m}$
Geçişli nanokanal	$0.1 \text{ } \mu\text{m} < D < 1 \text{ } \mu\text{m}$
Nanokanal	$D < 0.1 \text{ } \mu\text{m}$

Nanoakışkan, 100 nm ve daha küçük boyutlardaki metal, metal oksit ya da karbon nanotüp parçacıklarının genelde Newton kuralına uyan (su, etilen glikol, makine yağı) akışkanlar içerisine düşük derişimlerde dağıtılmasıyla oluşturulan süspansiyon akışkanlarına denilmektedir. Nanoakışkan terimi ilk olarak 1995 yılında Choi (1995) tarafından literatüre kazandırılmış ve günümüzün en sıcak araştırma konuları arasında yerini almıştır. Özellikle nanoakışkanların termal özelliklerinin (ısıl iletkenlik ve konveksiyon ısı aktarım katsayıları) eklendikleri taşıyıcı akışkaninkine göre (su, etilen glikol, makine yağı) daha yüksek olması, eklendiği taşıyıcı akışkanın reolojik özelliklerini değiştirmesi ve ayrıca birçok uygulama alanının bulunması nanoakışkanlara olan ilgiyi arttırmıştır. Yu vd. (2008) yayınladıkları derleme çalışmasında nanoakışkanların uygulama alanlarını altı ana başlık altında gruplandırmışlardır: ulaşım (otomotiv sanayisi), savunma, mikroelektronik, nükleer, uzay ve biyomedikal. Özetle nanoakışkanlar ısıtma ya da soğutma süreçlerinin olduğu birçok endüstride (kimya, gıda, malzeme vb.) geleneksel çalışma akışkanı olarak kullanılan su, etilen glikol, makine yağı vb. akışkanların yerine kullanılabilen en güçlü adaydır.

Nanoakışkanların ısıl iletkenliklerini ölçen çalışmalar parçacık boyutunun, parçacığın eklendiği taşıyıcı akışkanın, sıcaklığın, parçacığın ısıl özelliklerinin ve hacimsel fraksiyon parametrelerinin nanoakışkanın ölçülen ısıl iletkenlik değerini etkilediği vurgulanmıştır. Buna karşın, belirtilen etkilerden hangisinin diğerlerine göre daha etkin olduğu tam olarak açık değildir. Yapılan çalışmaların genelinde gözlemlenen, hacimsel fraksiyon ve nanoakışkanın sıcaklığı arttırıldığında ya da parçacık boyutu azaltıldığında ısıl iletkenlik değerinde artma olduğu yönündedir. Ayrıca akışkan içerisine eklenen nanoparçacığın ısıl özelliklerinin de ısıl iletkenlikteki artış miktarını etkilediği gözlemlenmiştir. Örneğin Das vd. (2003) yaptıkları çalışmada Al_2O_3/su ve CuO/su nanoakışkanlarının aynı boyut, fraksiyon ve sıcaklıktaki ısıl iletkenlik değerlerini ölçmüşlerdir ve CuO nanoparçacık ile oluşturulan nanoakışkanın ısıl iletkenlik değerindeki artışın Al_2O_3 'e göre daha yüksek çıktığını vurgulamışlardır. İncelenen diğer bir parametre ise nanoparçacık şeklinin ısıl iletkenlik değerine olan etkisidir. Yakın zamanda Timofeeva vd. (2009) yaptıkları deneysel çalışmada dört farklı şekilde (silindir, kübik, disk ve dallanmış çubuk) sentezlenmiş Al_2O_3 nanoparçacıkların 1:1 su-etilen glikol akışkanı ile oluşturduğu nanoakışkanın ısıl iletkenliklerini ve viskozitelerini ölçmüşlerdir. Aynı

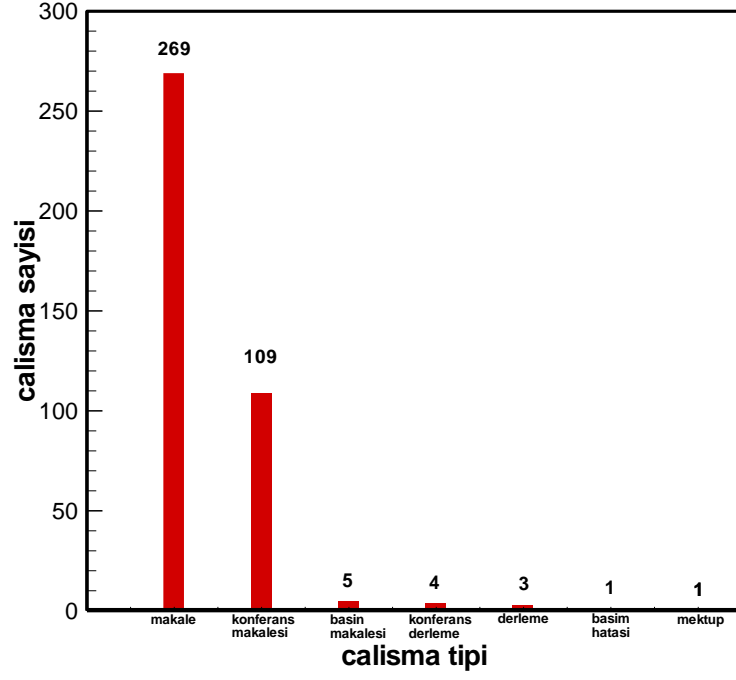
hacimsel fraksiyon ve sıcaklıkta küresellikten uzaklaştıkça ısı iletkenlik değeri artma olduğunu ve en yüksek artışın 80x10 nm boyutundaki silindir şeklindeki nanoparçacık kullanıldığında gözlemlendiğini vurgulamışlardır. Literatürde yapılan çalışmalarda nanoakışkanların ısı iletkenlik katsayılarında çok küçük nanoparçacık hacimsel fraksiyonlarında bile gözlemlenen artışın muhtemel beş farklı fiziksel mekanizmadan kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. (Chandrasekar ve Suresh, 2009). Bunlar; i) Brownian hareket ii) nano tabaka iii) nano kümelenme iv) ısı difüzyon ve v) ısı aktarımına olan balistik etki. Fakat günümüze kadar yapılan çalışmalar hangi mekanizmanın diğerlerine göre baskın ya da önemsiz olduğunu net olarak ortaya koyamamıştır.

Nanoakışkanların farklı tip ve boyutlardaki ısı değiştiricisi uygulamaları literatürde çeşitli çalışma gruplarınca deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 1.1, 19.01.2015 tarihi itibarıyla *Scopus* veri tabanına “*heat exchanger*” ve “*nanofluid*” kelimeleri girilerek yapılan araştırma sonucunda elde edilen çalışmaların yıllara göre dağılımı göstermektedir. Şekil 1.1’den görüldüğü üzere 1995 yılı itibarıyla nanoakışkanların ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanılmasına yönelik bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu noktada belirtmek gerekirken bu tarih, nanoakışkan teriminin ilk olarak Choi (1995) tarafından literatüre kazandırıldığı tarihtir. Sonuç olarak, klasik akışkanlara göre birçok üstün özelliğe sahip olan nanoakışkanların keşfiyle beraber bu akışkanların ısı değiştiricilerinde kullanılması fikri araştırma gruplarının ilgisini çekmiştir. Gelişen teknolojiyle beraber 2007 yılından sonra ısı değiştiricisi uygulamalarında nanoakışkan kullanımı önceki yıllara nazaran ciddi bir artış göstermiştir. Bu durumun nedeni, yüksek güç ve hızda çalışan elektronik cihazların yüzeylerinde üretilen yüksek ısı akısının uzaklaştırılması hususunda duyulan ihtiyacın her geçen gün artmasından kaynaklanmaktadır.

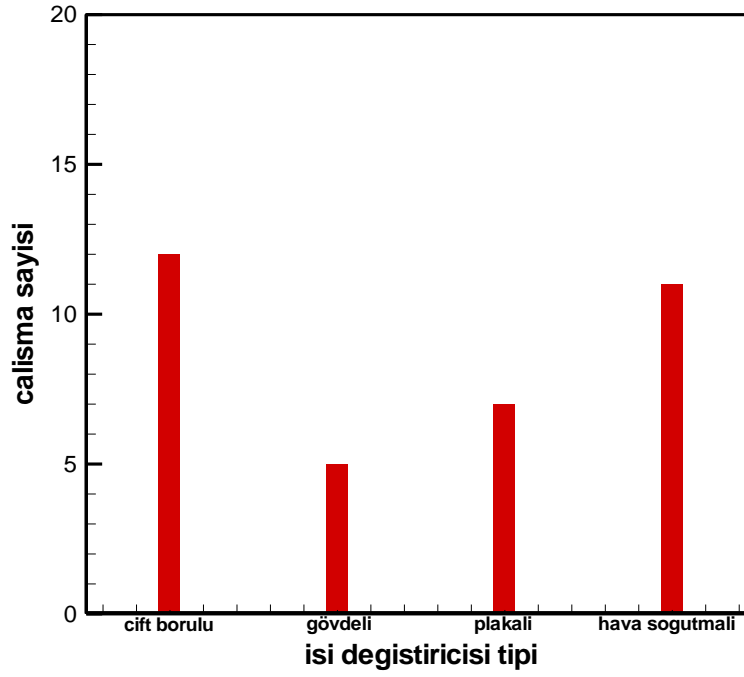


Şekil 1.1 19.01.2015 tarihi itibariyle Scopus veri tabanına “heat exchanger” ve “nanofluid” kelimeleri girilerek yapılan araştırma sonucunda elde edilen çalışmaların yıllara göre dağılımı.

Şekil 1.2 (a) 1996 yılından günümüze kadar ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanımına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların doküman türlerine göre dağılımını göstermektedir. Şekil 1.2 (a)’dan da görüldüğü üzere literatürde gerçekleştirilmiş olan çalışmalar arasında 269 makale, 109 konferans makalesi, 5 basın makalesi, 3 derleme, 4 konferans derlemesi ve birer adet basın hatası ve mektup yer almaktadır. Bu alışmalar içerisinde bulunan 269 makale ve 3 derleme çalışması esas alınarak literatür araştırması yapılmıştır. Belirtmek gerekir ki literatürde yapılan çalışmaların birçoğu sayısal veya teorik olarak gerçekleştirilmiştir. Buna karşın gerçekleştirilen tez çalışmasında nanoakışkanların ısıl performansı çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanalı ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelenmiştir. Bu sebepten dolayı gerçekleştirilmiş olan yüksek lisans tez çalışmasında 269 makale arasında yer alan deneysel çalışmalar belirlenerek şekil 1.2 (b)’de gösterildiği gibi ısı değiştiricisi tiplerine göre sınıflandırılmış ve kendi aralarında detaylı olarak tartışılmıştır.



a)



b)

Şekil 1.2 19.01.2015 tarihi itibarıyla *Scopus* veri tabanına “*heat exchanger*” ve “*nanofluid*” kelimeleri girilerek yapılan araştırma sonucunda elde edilen çalışmaların a) doküman türüne göre b) ısı değıştiricisi türüne göre dağılımı.

1.1 Çift Borulu (Konsantrik) Isı Değiştiricileri

Bir borunun daha büyük çaplı bir boru içerisine eş merkezli olarak yerleştirilmesi ile elde edilen ve akışkanlardan birinin içteki borudan, diğeri ise dışarıdaki borudan aktığı çift borulu ısı değiştiricileri en basit ısı değiştiricisi tipidir. Literatürde istenen basınç düşümü ve sıcaklık farkı gereksinimlerini karşılamak için seri ve paralel konfigürasyonlar şeklinde düzenlenebilen çift borulu (konsantrik) ısı değiştiricilerinde soğutma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanıldığı deneysel çalışmalar Çizelge 1.3’de belirtilmiştir.

Bu kapsamda, Khedkar vd. (2014) yakın bir zamanda yapmış oldukları deneysel çalışma ile TiO₂/su nanoakışkanının ısı aktarım karakteristiklerini konsantrik tüp ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelemişlerdir. Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada Khedkar vd. (2014) Reynolds (Re) sayısı artıkça tüm ısı aktarım katsayısının arttığını ve hacimce %3 fraksiyon oranındaki TiO₂/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısındaki artış miktarını su taban akışkanına göre %47.36 olarak elde etmişlerdir. Bunlara ilaveten taban akışkanı olarak kullanılan su için deneysel sonuçların mevcut korelasyonlarla uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Reddy vd. (2014) tarafından gerçekteştirilen benzer bir çalışmada, ortalama 21 nm parçacık boyutlarında titanyum nanoparçacıklarının, 3:2 su-etilen glikol (EG) akışkanı ile oluşturduğu TiO₂/EG nanoakışkanlarının ısı aktarım katsayıları ile sürtünme faktörleri konsantrik tüp ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelenmiştir. Reddy vd. (2014) geniş Re sayısı aralığında (4000-15000) yaptıkları deneyler neticesinde, hacimce %0.02 fraksiyon oranındaki TiO₂/EG nanoakışkanının ısı aktarım hızındaki artış miktarını su taban akışkanına göre 4000 ve 15000 Re sayıları için sırasıyla %7.85 ve %10.73 olarak bulmuşlardır. Bunlara ilaveten eş merkezli borusal ısı değiştiricisi içerisinde p/d oranı 2.5 olan spiral bobin yerleştirilerek aynı hacimsel fraksiyon oranı ve aynı Re sayılarında ısı aktarım hızındaki artış miktarı spiral bobin kullanılmadığı duruma göre %16.11 ve %17.11 olarak elde edilmiştir. Ayrıca hacimce %0.02 fraksiyon oranındaki TiO₂/EG nanoakışkanının sürtünme faktöründeki artış miktarının su taban akışkanına göre %8.73 olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 1. 3 Nanoakışkanların, konsantrik tüp ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel çalışmalar.

Referans	Nanoparçacık tipi	Nanoparçacık boyutu (nm)	Taban akışkanı	Nanoparçacık % fraksiyonu	Bulgular
Khedkar vd. (2014)	TiO ₂	-	Su	%2-%3 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %3 fraksiyon oranındaki TiO₂/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre %47.36 artış
Reddy vd. (2014)	TiO ₂	21	Hacimce 60:40 su-etilen glikol (EG)	%0.02 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %0.02 fraksiyon oranındaki TiO₂/EG nanoakışkanının ısı aktarımını taban akışkanına 4000 ve 15000 Re sayıları için sırasıyla %7.85 ve %10.73 oranında arttırdığı Aynı hacimsel fraksiyon oranında TiO₂/EG nanoakışkanının sürtünme faktöründe EG taban akışkanına göre %8.75 artış
Aghayari vd. (2014)	Al ₂ O ₃	20	Su	%0.1-%0.3 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %0.2 fraksiyon oranındaki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı aktarım hızında su taban akışkanına göre %7.32 artış
Wu vd. (2013)	Al ₂ O ₃	40	Su	%0.78-%7.04 (kütlece)	<ul style="list-style-type: none"> Al₂O₃/su nanoakışkanlarının ısı aktarım performansını su taban akışkanına göre %0.37-%3.43 aralığında arttırdığı
Darzi vd. (2013)	Al ₂ O ₃	20	Su	%0.25-%1 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %1 fraksiyon oranındaki Al₂O₃/su nanoakışkanının Nusselt sayısında su taban akışkanına göre %20 artış

					<ul style="list-style-type: none"> • Aynı hacimsel parçacık fraksiyon oranı ve işletim koşullarında basınç düşüşünde %38 artış • Nu sayısı ve basınç kayıplarını beraber içeren termal performans katsayısında %1 hacimsel parçacık fraksiyonu için %15 artış
Rashmi vd. (2013)	CNT	20	Su	%0.01-%1 (kütlece)	<ul style="list-style-type: none"> • CNT/su nanoakışkanının ısı iletkenliğinde su taban akışkanına göre %42.5 oranında artış • Kütlece %0.01 fraksiyon oranındaki CNT/su nanoakışkanının Nu sayısında su taban akışkanına göre %68.6 artış
Akhtari vd. (2013)	Al ₂ O ₃	80	Su	%0.2 & %0.5 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> • Konsantrik tüp ısı değiştiricisi için. hacimce %0.5 ve %0.2 fraksiyon oranlarındaki Al₂O₃/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre sırasıyla %13.2 ve %4.3 artış • Aynı hacimsel parçacık fraksiyon oranlarında ve işletme koşullarında kabuk-tüp ısı değiştiricisi için toplam ısı aktarım katsayısında %26.2 ve %17.1 artış
Wongcharee ve Eiamsa-ard (2012)	CuO	30-50	Su	%0.3-%0.7 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> • Hacimce %0.3, %0.5 ve %0.7 fraksiyon oranındaki CuO/su nanoakışkanlarının sırasıyla Nu sayısında su taban akışkanına göre %4.7, %7.7 ve %11.8 artış
Zamzamian vd. (2011)	Al ₂ O ₃ CuO	20	Etilen glikol	%0.1-%1 (kütlece)	<ul style="list-style-type: none"> • Konsantrik tüp ısı değiştiricisi için. kütlece %1 fraksiyon oranlarındaki Al₂O₃/EG ve CuO/EG nanoakışkanlarının Nu sayılarında EG taban akışkanına göre sırasıyla %26 ve %37 artış

					<ul style="list-style-type: none"> Aynı parçacık fraksiyon oranında plaka tip ısı değiştiricisi için Al_2O_3/EG ve CuO/EG nanoakışkanlarının Nu sayılarında EG taban akışkanına göre %38 ve %49 artış
Fard vd. (2011)	ZnO_2	-	Su	%0.05 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %0.5 fraksiyon oranındaki ZnO/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısındaki artış miktarının su taban akışkanına göre plakalı ve konsantrik tüp ısı değiştiricileri için sırasıyla %20 ve %14.1 olduğu
Duangthongsuk ve Wongwises (2009)	TiO_2	21	Su	%0.2 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Düşük fraksiyon oranlarında üretilen nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin (k, μ, C_p) konveksiyon ısı aktarım katsayısını çok fazla etkilemediği
Duangthongsuk ve Wongwises (2008)	TiO_2	21	Su	%0.2 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %0.2 fraksiyon oranındaki TiO_2/su nanoakışkanının konveksiyon ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre %6-11 artış
Chun vd. (2008)	Al_2O_3	~43 ~27-43 ~7	Transformatör yağı	%0.5 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %0.5 fraksiyon oranında hidrofobik Al_2O_3 parçacığı içeren nanoakışkanın ısı aktarım katsayısında taban akışkanına göre %13 artış Aynı hacimsel fraksiyon oranında hidrofilik Al_2O_3 parçacığı içeren nanoakışkanın ısı aktarım katsayısında taban akışkanına göre %10 artış

Aghayari vd. (2014) tarafından yakın bir zamanda gerçekleştirilen çalışmada, ortalama 20 nm parçacık boyutlarında alüminyum nanoparçacığı ile oluşturulan su tabanlı nanoakışkanların ters akışlı konsantrik tüp ısı değiştiricisindeki akış karakteristiği ile ısı aktarım performansı türbülans akış koşulları altında deneysel olarak incelenmiştir. Aghayari vd. (2014) yapmış oldukları bu çalışma neticesinde hacimce %0.2 fraksiyon oranındaki Al_2O_3 /su nanoakışkanının ısı aktarım hızındaki artış miktarının su taban akışkanına göre %7.32 olduğu sonucuna varmışlardır.

Wu vd. (2013) yapmış oldukları deneysel çalışma ile kütlece %0.78-7.04 fraksiyon aralığında değişen ve ortalama 40nm parçacık boyutlarında alüminyum nanoparçacıkları kullanılarak oluşturdukları Al_2O_3 /su nanoakışkanlarının basınç düşüşü ile kondüksiyonla ısı aktarım performansını laminer ve türbülans akış koşulları altında çalıştırılan konsantrik tüp ısı değiştiricisi için incelemişlerdir. Wu vd. (2013) yapmış oldukları bu çalışma neticesinde her iki akış koşulu için, Al_2O_3 /su nanoakışkanlarının ısı aktarım hızındaki artış miktarının su taban akışkanına göre %0.37-%3.43 aralığında değiştiğini ifade etmişlerdir. Ancak yapılan benzer çalışmalara kıyasla Wu vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarına göre, Al_2O_3 /su nanoakışkanlarının ısı aktarım hızını önemli ölçüde arttırmadığı anlaşılmaktadır.

Darzi vd. (2013) yapmış oldukları deneysel çalışmada hacimce %0.25-1 fraksiyon aralığında değişen ve ortalama 20 nm parçacık boyutlarında Al_2O_3 nanoparçacıkları kullanılarak hazırladıkları Al_2O_3 /su nanoakışkanlarının ısı aktarım performanslarını eş merkezli borusal (konsantrik) ısı değiştiricisi için incelemişlerdir. Gerçekleştirilen bu çalışmada Darzi vd. (2013) hacimce %1 fraksiyon oranındaki Al_2O_3 /su nanoakışkanının Nusselt sayısındaki artış miktarını su taban akışkanına göre %20 olarak bulmuşlardır. Bunlara ilaveten aynı hacimsel parçacık fraksiyon oranı ve işletim koşullarında basınç düşüşündeki artış oranını ise %38 olduğunu vurgulamışlardır. Sonuç olarak Darzi vd. (2013) aşağıda verilen eşitlik 1.1'de gösterildiği üzere Nu sayısı ve basınç kayıplarını beraber içeren termal performansının %1 hacimsel parçacık fraksiyonu için %15 olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ilaveten Darzi vd. (2013) deneylerde kullanılan Al_2O_3 /su nanoakışkan kararlılığı ile ilgili herhangi bir bilgi vermemişlerdir.

$$R = \frac{Nu_{nf} \left(\frac{f_f}{f_{nf}} \right)^{\frac{1}{3}}}{Nu_f} \quad [1.1]$$

Yakın bir zamanda gerçekleştirilen benzer bir çalışmada Rashmi vd. (2013) kütlece %0.01 konsantrasyonda karbon nanotüp (CNT) içeren su tabanlı nanoakışkan ile kütlece %1 konsantrasyonda gum arabik (GA) içeren su tabanlı solüsyonun termofiziksel özelliklerini ve laminar akış koşulları altında çalıştırılan ters akışlı konsantrik tüp ısı değiştiricisi için ısı aktarım performanslarını hem deneysel hem de sayısal olarak (CFD) incelemişlerdir. Yapılan bu çalışma kapsamında saf su, kütlece %1 konsantrasyondaki GA/su solüsyonu ve kütlece %0.01 konsantrasyondaki CNT/su nanoakışkanı için 10-50 g/s kütleli akış hızı aralığında ayrı ayrı yürütülen testler neticesinde elde edilen sonuçlar şunlardır; i) CNT/su nanoakışkanının ısı iletkenliğindeki artış miktarının su taban akışkanına göre %42.5 oranında olduğu, buna karşın GA/su solüsyonunun ısı iletkenliği artırma hususunda önemli bir rol oynamadığı, ii) 30 g/s kütleli akış hızında ve kütlece %0.01 fraksiyon oranındaki CNT/su nanoakışkanının Nu sayısındaki artış miktarının su taban akışkanına göre %68.6 olduğu ifade edilmiştir. Bunlara ilaveten Rashmi vd. (2013). konveksiyonla ısı aktarım terimlerinin (h) kondüksiyonla ısı aktarım terimlerinden (k) fazla olmasının nedenini eşitlik 1.2'de belirtildiği üzere ısı sınır tabaka kalınlığının (δ) azalmasıyla açıklamışlardır. Ayrıca bu farkın nedenini, ısı iletkenlik (k) ölçümlerinin statik koşullarda yürütülmesine karşın ısı değiştiricisinin dinamik koşullar altında çalışması olarak ifade etmişlerdir. Rashmi vd. (2013) deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların birbiriyle uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

$$h = \frac{k}{\delta} \quad [1.2]$$

Akhtari vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, ortalama 80nm parçacık boyutlarında alüminyum nanoparçacığı kullanılarak üretilen Al_2O_3 /su nanoakışkanlarının ısı aktarım performansları, laminar akış koşulları altında çalıştırılan eş merkezli borusal ısı değiştiricisi ve kabuk tüp ısı değiştiricisi için deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda Akhtari vd. (2013), her iki ısı değiştiricisi için sıcak ve soğuk akışkanın akış hızı, parçacık konsantrasyonu, nanoakışkanın giriş sıcaklığı gibi işletme koşullarının

değiştirilmesiyle ısı aktarım performansının iyileştiğini ifade etmişlerdir. Akhtari vd. (2013), konsantrik tüp ısı değiştiricisi için hacimce %0.5 ve %0.2 fraksiyon oranlarındaki Al_2O_3/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayısındaki artış miktarının su taban akışkanına göre sırasıyla %13.2 ve %4.3 olarak bulmuşlardır. Buna karşın aynı hacimsel parçacık fraksiyon oranlarında kabuk-tüp ısı değiştiricisi için toplam ısı aktarım katsayısındaki artış miktarlarını %26.2 ve %17.1 olarak elde etmişlerdir. Sonuç olarak deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu ve CFD simülasyonunun nanoakışkanların modern ısı değiştiricilerindeki ısı aktarım karakteristiklerini belirlemede uygun ve güvenilir bir metot olduğunu ifade etmişlerdir.

Wongcharee ve Eiamsa-ard (2012) yapmış oldukları bir deneysel çalışma ile hacimce %0.3-0.7 fraksiyon aralığındaki CuO/su nanoakışkanlarının ısı aktarım performanslarını eş merkezli borusal ısı değiştiricisi için incelemişlerdir. Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışmada, y ile w sırasıyla helezonun boyu ve genişliği olmak üzere farklı y/w oranlarına sahip dalgalı yapıdaki helezonlar ısı değiştiricisi içerisine paralel ve çapraz konfigürasyonlar (PK ve ÇK) şeklinde yerleştirilerek ısı aktarım performansı üzerine etkileri araştırılmıştır. Wongcharee ve Eiamsa-ard (2012), hacimsel parçacık fraksiyonunun artması ve y/w oranının azalmasıyla ısı aktarım performansının iyileştirildiğini ifade etmişlerdir. Bunlara ilaveten ÇK'ya sahip eş merkezli borusal ısı değiştiricisi için elde edilen ısı aktarım performansının, aynı işletim koşullarında PK'dan daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Sonuç olarak Wongcharee ve Eiamsa-ard (2012), eşitlik 1'de belirtilen ısı performans katsayısının bu çalışma kapsamında en yüksek değeri olan 1.57 değerine, hacimce parçacık fraksiyon oranı %0.7 olan nanoakışkan ve y/w oranı 2.7 olan ÇK kullanıldığı durumda ulaşmışlardır.

Zamzamian vd. (2011) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, kütlece %0.1-1 fraksiyon aralığında değişen ve ortalama 20nm parçacık boyutlarındaki bakır ve alüminyum nanoparçacıkları kullanılarak oluşturulan CuO/EG ve Al_2O_3/EG nanoakışkanlarının ısı aktarım katsayıları türbülans akış koşulları altında çalıştırılan plaka ve konsantrik tüp ısı değiştiricileri için incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında Zamzamian vd. (2011), konsantrik ısı değiştiricisi için kütlece %1 fraksiyon oranındaki Al_2O_3/EG ve CuO/EG nanoakışkanlarının Nu sayısındaki artış miktarlarını EG taban akışkanına göre sırasıyla %26 ve %37 olarak

bulmuşlardır. Buna karşın, plaka tip ısı değiştiricisi için, aynı parçacık fraksiyon oranında bu artış miktarlarını %38 ve %49 olarak elde etmişlerdir.

Benzer bir çalışmada Fard vd. (2011), hacimce %0.5 fraksiyon oranındaki ZnO/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısındaki artış miktarını ters akışlı, plakalı ısı değiştiricisi ve konsantrik tüp ısı değiştiricisi için deneysel ve sayısal olarak ayrı ayrı incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada işletim koşullarına bağlı olarak, plakalı ısı değiştiricisi ve konsantrik tüp ısı değiştiricisi için ısı aktarım miktarındaki maksimum artışın su kullanıldığı duruma göre sırasıyla %20 ve %14.1 olduğu belirtilmiştir. Fard vd. (2011) bu farkın sebebini, plakalı ısı değiştiricisinde kullanılan plakaların yüzey alanını arttırmasıyla ısı aktarımının arttığı şeklinde ifade etmişlerdir. Ayrıca deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların kendi içerisinde uyumlu olması neticesinde farklı ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanların ısı aktarım özelliklerini belirleme hususunda CFD simülasyonunun güvenilir bir teknik olduğu vurgulanmıştır.

Duangthongsuk ve Wongwises (2008) ve (2009) yapmış oldukları iki farklı çalışmada, TiO₂/su nanoakışkanının ısı aktarım performansını, türbülans akış koşulları altında çalıştırılan ters akışlı konsantrik tüp ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelemişlerdir. İlk çalışmalarında TiO₂/su nanoakışkanın termal ve fiziksel özelliklerinin (viskozite, özgül ısı, ısı iletkenlik) ısı aktarım performansı üzerine etkilerini araştıran Duangthongsuk ve Wongwises (2008), ikinci çalışmalarında hacimce %0.2 fraksiyon oranındaki TiO₂/su nanoakışkanının ısı aktarım hızındaki artış miktarını su taban akışkanı ile karşılaştırarak belirtmişlerdir. Duangthongsuk ve Wongwises (2009), konsantrik tüp ısı değiştiricisi için çalışma akışkanı olarak TiO₂/su nanoakışkanının kullanılması sonucunda ısı değiştiricisinden aktarılan ısının su taban akışkanına göre daha fazla olduğunu ve basınç kaybı ile sürtünme faktörünün neredeyse su kullanıldığı durumla aynı kaldığını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar neticesinde, ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımının pompalama gücünü çok fazla arttırmadığını ve uygulanabilir bir soğutma akışkanı olabileceğini vurgulamışlardır.

Chun vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen benzer bir deneysel çalışmada, transformatör yağı içerisine alüminyum nanoparçacıklarının dağıtılmasıyla oluşturulan nanoakışkanların ısı aktarım katsayıları, laminer akış koşulları altında işletilen eş boru merkezli (konsantrik tüp) ısı değiştiricisi için incelenmiştir. Yapılan

bu çalışmada, nanoparçacıkların yüzey özellikleri (hidrofobi. hidrofil), hacimsel fraksiyonu ve şeklinin, nanoakışkanların ısı aktarım performansının iyileştirilmesi hususunda önemli etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Hacimce %0.5 fraksiyon oranında Al_2O_3 parçacığı içeren nanoakışkanın ısı aktarım katsayısındaki artış miktarını taban akışkanına göre değerlendiren Chun vd. (2008), bu artışı kullanılan alüminyum parçacığı hidrofobik olduğunda %13, hidrofilik olduğunda %10 olarak elde etmişlerdir.

1.2 Gövde Borulu (Kabuk-Tüp) Isı Değiştiricileri

Proses endüstrisinde yaklaşık olarak kullanılan tüm ısı değiştiricilerinin % 60'ını oluşturan gövde borulu ısı değiştiricileri, gövdenin eksenine paralel olacak şekilde büyük silindirik gövde içine yerleştirilen birbirine paralel yuvarlak borulardan üretilmektedir. Akışkanlardan biri boruların içinden, diğeri ise gövde tarafında ve borulara paralel veya çapraz olarak akmaktadır. Temel elemanları; borular (veya boru demeti), gövde, iki baştaki kafalar, boruların tespit edildiği ön ve arka ayna ile gövde içindeki akışı yönlendiren ve borulara destek olabilen şaşırtma levhaları (perde) ve destek çubuklarıdır. Literatürde, gövde borulu ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanıldığı deneysel çalışmalar Çizelge 1.4'de belirtildiği gibidir.

Bu çalışmalar içerisinde yer alan deneysel bir çalışmada Elias vd. (2014), dört farklı şekilde (silindirik, tuğla, yaprak ve plaka) sentezlenmiş olan $\gamma-AlOOH$ nanoparçacıklarını kullanarak hacimce %1 fraksiyon oranında hazırladıkları nanoakışkanların E tipi gövde borulu ısı değiştiricisi için ısı aktarım karakteristiklerini incelemişlerdir. Gövde borulu ısı değiştiricisi, bakır malzemeden üretilmiş olup yatay gövde içerisine akışı yönlendiren ve farklı açılara sahip (20° , 30° , 40° ve 50°) perdelerin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur.

Çizelge 1. 4 Nanoakışkanların, gövde borulu (kabuk – tüp) ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel alışmalar.

Referans	Nanoparçacık tipi	Nanoparçacık boyutu (nm)	Taban akışkanı	Nanoparçacık % fraksiyonu	Bulgular
Elias vd. (2014)	γ -AlOOH	-	Hacimce 50:50 su-etilen glikol (EG)	%1 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> • silindirik şekle sahip γ-AlOOH nanoparçacığı ile hacimce %1 fraksiyon oranında üretilen nanoakışkanın diğer üç nanoparçacık şekli ile kıyaslandığında toplam ısı aktarım katsayısını daha fazla attırđıęı • En yüksek artışın 20°'lik perde açısı ile üretilen ısı değiştiricisi için elde edildiği
Ghozatloo vd. (2014)	Grafen	-	Su	%0.05-%0.1	<ul style="list-style-type: none"> • Kütlece parçacık fraksiyon oranı %0.05, %0.075 ve %0.1 olan Grafen/su nanoakışkanlarının ısı iletkenliklerinde su taban akışkanına göre sırasıyla %15, %29.2 ve %12.6 artış • Aynı kütlesel fraksiyon oranlarındaki Grafen/su nanoakışkanlarının konveksiyon ısı aktarım katsayılarında su taban akışkanına göre sırasıyla %8.2, %17.1 ve %27.2 artış • Sıcaklık 25 dereceden 38 dereceye yükseltildiğinde konveksiyon ısı aktarım katsayısında artış

Anoop vd. (2013)	SiO ₂	20	Su	%2-%6 (kütlece)	<ul style="list-style-type: none"> • Kütlece %2 fraksiyondaki SiO₂/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre %5 artış • Nanoakışkan kullanımı neticesinde basınç düşüşünde su taban akışkanına göre yaklaşık %10 artış
Albadr vd. (2013)	Al ₂ O ₃	-	Su	%0.3-%2 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> • Hacimce %2 fraksiyon oranındaki Al₂O₃/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre %57 artış
Lofti vd. (2012)	MWCNT	-	Su		<ul style="list-style-type: none"> • Kütlece %0.015 fraksiyondaki MWCNTs/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre önemli ölçüde artış
Farajollahi vd. (2010)	TiO ₂ Al ₂ O ₃	10 25	Su	%0.15-%0.75 %0.3-%2	<ul style="list-style-type: none"> • Hacimce %0.5 fraksiyondaki Al₂O₃/su ve hacimce %0.3 fraksiyondaki TiO₂/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarında su taban akışkanına göre sırasıyla %20 ve %24 artış

Elias vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, silindirik şekle sahip alüminyum nanoparçacığı ile hacimce %1 fraksiyon oranında üretilen nanoakışkanın diğer üç nanoparçacık şekli üretilen nanoakışkanlar ile kıyaslandığında toplam ısı aktarım katsayısını daha fazla attığı ve en yüksek artışın 20°'lik perde açısı ile üretilen ısı değiştiricisi için elde edildiği belirtilmiştir.

Ghozatloo vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada kütlece fraksiyon oranı %0.05-0.1 aralığında değişen Grafen/su nanoakışkanlarının konveksiyon ısı aktarım katsayıları gövde-borulu ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada Ghozatloo vd. (2014), kütlece parçacık fraksiyon oranı %0.05, %0.075 ve %0.1 olan Grafen/su nanoakışkanlarının ısı iletkenliklerindeki artış miktarlarını su taban akışkanına göre sırasıyla %15, %29.2 ve %12.6 olarak bulmuşlardır. Bu sonuçlar ışığında kütlece %0.075 fraksiyon oranından sonra ısı iletkenliğinin azalma eğiliminde olmasının nedenini belli bir fraksiyondan sonra su içerisindeki grafen parçacıklarının çökmesiyle kararlılığın azalması şeklinde açıklamışlardır. Buna karşın aynı kütlece fraksiyon oranlarındaki Grafen/su nanoakışkanlarının konveksiyon ısı aktarım katsayılarındaki artış miktarlarını su taban akışkanına göre sırasıyla %8.2, %17.1 ve %27.2 olarak elde etmişlerdir. Aradaki bu tezatlığı ısı değiştiricisi içerisinde nanoakışkanının hareketli olmasından dolayı grafen parçacıklarının çökmemesiyle ifade etmişlerdir. Bunlara ilaveten nanoakışkanının sıcaklığı 25 dereceden 38 dereceye yükseltildiğinde konveksiyon ısı aktarım katsayısının arttığı belirtilmiştir. Sonuç olarak Ghozatloo vd. (2014), konveksiyon ısı aktarım katsayısında en yüksek artışın 38°C'da ve kütlece %0.1'lik Grafen/su nanoakışkanı kullanıldığı durumda %35.6 olarak elde edildiğini vurgulamışlardır ancak deneylerde kullanılan Grafen/su nanoakışkan kararlılığı ile ilgili herhangi bir bilgi vermemişlerdir.

Anoop vd. (2013) yakın zamanda yapmış oldukları deneysel çalışmada, kütlece %2-6 fraksiyon aralığında değişen ve ortalama 20nm parçacık boyutlarında silisyum nanoparçacığı kullanarak hazırladıkları SiO₂/su nanoakışkanlarının plakalı ve gövde borulu ısı değiştiricileri için tüm ısı aktarım katsayıları ile basınç kayıplarını incelemişlerdir. Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde Anoop vd. (2013), düşük akış hızlarında, kütlece parçacık fraksiyon oranı az olan nanoakışkanların toplam ısı aktarım katsayılarındaki artış miktarının daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Bu kapsamda kütlece %2 fraksiyondaki SiO₂/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım

katsayısındaki artış miktarının su taban akışkanına göre %5 olduğu belirtilmiştir. Bu durumun temel sebebi olarak, yüksek fraksiyon oranlarında parçacıkların birikmesinden dolayı ısı değiştiricisinin yüzeylerinde oluşan kirlilik ifade edilmiştir. Bunlara ilaveten nanoakışkan kullanımı neticesinde basınç düşüşünün su taban akışkanına göre yaklaşık %10 oranında arttığı ve bu artıştan kaynaklı olarak pompalama gücünün arttığı, dolayısıyla nanoakışkanların ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak uygulanabilirliğinin sınırlı olabileceği ifade edilmiştir.

Literatürde ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak metal tabanlı nanoakışkanların yerine karbon tabanlı nanoakışkanların kullanıldığı az sayıda deneysel çalışma arasında Lofti vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışma da yer almaktadır. Yapılan bu çalışmada, karbon nanotüpler katalitik kimyasal buhar biriktirme (CCVD) tekniğiyle Lofti vd. (2012) tarafından sentezlenmiştir. Sentezlenen karbon nanotüpler üç aşamadan oluşan bir metot ile (oksidasyon, HCl ve HNO₃ ile muamele) saflaştırılarak çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNTs) taban akışkanı içerisindeki kararlılığını arttırmak için suyu seven COOH fonksiyonel grupları bağlanmıştır. Bu kapsamda Lofti vd. (2012), MWCNTs/su nanoakışkanlarının ısı aktarım performansını, çapı 7 mm, boyu 588 mm olan 14 adet boru demeti boyunca nanoakışkanın aktığı ve çapı 101 mm olan gövde (kabuk) boyunca su akışkanının aktığı gövde borulu ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, kütlece %0.015 fraksiyondaki MWCNTs/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısını su taban akışkanına göre önemli ölçüde arttırdığı vurgulanmıştır.

Albadr vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, hacimce %0.3-2 fraksiyon aralığında hazırlanan Al₂O₃/su nanoakışkanlarının. çelik malzemedен üretilen, 2.4 mm çapa ve 0.05 m² ısı aktarım alanına sahip 248 mm uzunluğunda 37 adet borudan oluşturulmuş gövde borulu ısı değiştiricisi için akış özellikleri ve ısı aktarım performansları deneysel olarak incelenmiştir. Albadr vd. (2013), hacimce %2 fraksiyon oranındaki Al₂O₃/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısındaki artış miktarını su taban akışkanına göre %57 olarak elde etmişlerdir.

Anoop vd. (2013)'ün ele etmiş oldukları deneysel sonuçlara benzer sonuçlar Farajollahi vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir deneysel çalışmada da ifade edilmiştir. Farajollahi vd. (2010) yapmış oldukları bu çalışmayla su tabanlı titanyum ve alüminyum nanoakışkanlarının ısı aktarım performanslarını gövde borulu ısı

değiştiricisi için incelemişlerdir. Her iki nanoakışkanın da düşük konsantrasyonlarda daha verimli olduğunu ifade eden Farajollahi vd. (2010), hacimce %0.5 fraksiyondaki Al_2O_3/su ve hacimce %0.3 fraksiyondaki TiO_2/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarındaki artış miktarlarının su taban akışkanına göre sırasıyla %20 ve %24 olduğu belirtmişlerdir.

1.3 Plakalı Isı Değiştiricileri

Isı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanımına yönelik çalışmalar arasında yer alan plakalı ısı değiştiricileri, genellikle ısı geçişinin gerçekleştiği ince metal levhalardan meydana gelmektedir. Bu metal yüzeyler düz veya dalgalı biçimde olabilmektedir. Literatürde, plakalı ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanıldığı deneysel çalışmalar Çizelge 1.5’de belirtilmiştir.

Bu kapsamda, yakın zamanda Khairul vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada CuO/su nanoakışkanının dalgalı plakalardan oluşturulan plakalı ısı değiştiricisi için ısı aktarım performansı deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışma neticesinde Khairul vd. (2014), hacimce %1.5, %1.0 ve %0.5 fraksiyonlardaki CuO/su nanoakışkanlarının ısı aktarım katsayılarındaki artış miktarlarını su taban akışkanına göre sırasıyla %24.7, %21.8 ve %17.7 olarak elde etmişlerdir. Bunlara ilaveten nanoakışkanın parçacık fraksiyonu ile hacimsel akış hızı arttıkça sürtünme faktörünün arttığı ve bunun sonucunda daha fazla pompalama gücünün gerektiği ifade edilmiştir.

Javadi vd. (2013) ısı değiştiricisi performansının iyileştirilmesi için toplam ısı aktarım katsayısının artırılması ve basınç düşüşünün minimize edilmesi fikrinden yola çıkarak gerçekleştirmiş oldukları bir çalışmada TiO_2 , SiO_2 ve Al_2O_3 nanoparçacıkları kullanılarak oluşturdukları nanoakışkanların plakalı ısı değiştiricisi için ısı aktarım karakteristiklerini ve termodinamik özelliklerin ısı aktarım performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sıcak akışkan için giriş ve çıkış sıcaklıkları 310K ve 124.26K, soğuk akışkan için giriş ve çıkış sıcaklıkları 99.719K ve 301.54K olan işletme koşulları için Javadi vd. (2013) tarafından elde edilen sonuçlar şunlardır; i) Taban akışkanının ısıl iletkenlik değerinin nanoparçacık varlığından kaynaklı olarak arttığı ve bu artışın SiO_2 ’ye kıyasla TiO_2 ve Al_2O_3 ile oluşturulan nanoakışkanlarda daha fazla olduğu, ii) Nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça yoğunluğun yükselmesinden dolayı basınç kaybının taban akışkanına göre

arttığı ve bunun sonucunda işletim koşulları kapsamında daha fazla pompalama gücü gerekeceğinden nanoakışkanların uygulamalarına yönelik yeni tasarımların gerekli olabileceği, iii) Nanoakışkan kullanılarak entropinin arttığı ve hacimce %2 konsantrasyondaki SiO₂ nanoakışkanına kıyasla TiO₂ ve Al₂O₃ nanoakışkanlarının sırasıyla %57 ve %50 oranında entropiyi arttırdığı belirtilmiştir.

Yapılan benzer bir çalışmada Tiwari vd. (2013), hacimce %0.5-3 fraksiyon aralığında değişen ve ortalama 30 nm parçacık boyutlarında seryum nanoparçacığı kullanarak oluşturdukları su tabanlı nanoakışkanların basınç düşüşü ile ısı aktarım karakteristiklerini plakalı ısı değiştiricisi için farklı hacimsel akış hızlarında (1-4 lpm) deneysel olarak incelemişlerdir. Tiwari vd. (2013), geniş konsantrasyon aralığında gerçekleştirmiş oldukları bu çalışma neticesinde optimum konsantrasyon oranının hacimce %0.75 olduğunu ve bu konsantrasyonun üzerine çıkıldığında ısı sınır tabaka kalınlığının artmasından dolayı ısı aktarım performansının azaldığını ifade etmişlerdir. Bunlara ilaveten işletim koşulları kapsamında, nanoakışkan kullanılarak konveksiyon ısı aktarım katsayısındaki en fazla iyileşmenin %39 oranında olduğunu vurgulamışlardır.

Kabeel vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, hacimce %1-4 fraksiyon aralığında ve ortalama 47 nm boyutlarında alüminyum nanoparçacığı ile oluşturulan su tabanlı nanoakışkanların ısı aktarım karakteristikleri (konveksiyon ısı aktarım katsayısı, etkenlik, aktarılan ısı gücü ve basınç kaybı) ters akışlı, plakalı ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelenmiştir. İşletim koşullarına bağlı olarak Kabeel vd. (2013), hacimce %4 fraksiyon oranındaki Al₂O₃/su nanoakışkanının konveksiyon ısı aktarım katsayısındaki artış miktarını su taban akışkanına göre %13 olarak elde etmişlerdir. Bunlara ilaveten aynı hacimsel parçacık fraksiyon oranı ve işletim koşullarında basınç düşüşündeki artış oranının ise %45 olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak plakalı ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak Al₂O₃/su nanoakışkanının kullanımı neticesinde su taban akışkanına kıyasla %95 daha fazla pompalama gücünün gerektiği vurgulanmıştır.

Çizelge 1. 5 Nanoakışkanların, plakalı ısı değıştircilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel çalışmalar.

Referans	Nanoparçacık tipi	Nanoparçacık boyutu (nm)	Taban akışkanı	Nanoparçacık % fraksiyonu	Bulgular
Khairul vd. (2014)	CuO	-	Su	%0.5-%1.5 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %1.5, %1.0 ve %0.5 fraksiyonlardaki CuO/su nanoakışkanlarının ısı aktarım katsayılarında su taban akışkanına göre sırasıyla %24.7, %21.8 ve %17.7 artış
Javadi vd. (2013)	SiO ₂ Al ₂ O ₃ TiO ₂		Sıvı nitrojen (SN)	%0.25-%2 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Taban akışkanının ısıl iletkenlik değeri nanoakışkan varlığından kaynaklı olarak arttığı ve bu artışın SiO₂'ye kıyasla TiO₂ ve Al₂O₃ ile oluşturulan nanoakışkanlarda daha fazla olduğu Nanoparçacık fraksiyonu artıkça basınç kaybının taban akışkanına göre arttığı
Tiwari vd. (2013)	CeO ₂	30	Su	%0.5-%3 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Optimum fraksiyon oranının hacimce %0.75 olduğu ve bu konsantrasyonun üzerine çıkıldığında ısıl sınır tabaka kalınlığının artmasından dolayı ısı aktarım performansının azaldığı Nanoakışkan kullanılarak konveksiyon ısı aktarım katsayısında en fazla %39 oranında artış
Kabeel vd. (2013)	Al ₂ O ₃	47	Su	%1-%4 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %4 fraksiyon oranındaki Al₂O₃/su nanoakışkanının konveksiyon ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre %13 artış

					<ul style="list-style-type: none"> Aynı hacimsel parçacık fraksiyon oranı ve işletim koşulları için basınç düşüşünde %45 artış
Pandey ve Nema (2012)	Al ₂ O ₃	40-50	Su	%0-%4 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Nanoparçacık fraksiyon oranı arttıkça ısı aktarım hızının azaldığı ve hacimce %2 fraksiyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı aktarım hızını su taban akışkanına göre yaklaşık olarak %21 oranında arttırdığı Hacimce %2, %3 ve %4 fraksiyonlardaki Al₂O₃/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarında su taban akışkanına göre sırasıyla %10, %7.3 ve %4.6 artış Plakalı ısı değiştiricisi etkenlik faktörünün su-su sistemi için %84, nanoakışkan-su sistemi için %87 olduğu
Mare vd. (2011)	γAl ₂ O ₃ CNT	37 9-10	Su	%1 (hacimce) %0.55 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %1 fraksiyondaki γAl₂O₃/su ve hacimce %0.55 fraksiyondaki CNT/su nanoakışkanlarının konveksiyon ısı aktarım katsayılarında su taban akışkanına göre sırasıyla %42 ve %50 artış Aynı hacimsel fraksiyon oranları ve işletim koşullarında γAl₂O₃/su ve CNT/su nanoakışkanlarının basınç kaybında su taban akışkanına göre sırasıyla 3 ve 7 kat artış
Pantzali vd. (2009)	CuO	30	Su	%4 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> CuO/su nanoakışkanının ısı aktarım performansını iyileştirmediği ve yaklaşık olarak su ile aynı olduğu Pompalama gücünün su kullanıldığı duruma göre iki katına çıktığı

Pandey ve Nema (2012) yaptıkları bir çalışmada hacimce %0-4 fraksiyon aralığındaki Al₂O₃/su nanoakışkanlarının ısı aktarım performansları ile sürtünme ve enerji kayıplarını, 30 derece açığa sahip dalgalı plakalardan oluşturulan çapraz akışlı, plakalı ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelemiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde Pandey ve Nema (2012), Tiwari vd. (2013) tarafından ifade edilen sonuçlarına benzer olarak nanoparçacık fraksiyon oranı arttıkça ısı aktarım hızının azaldığını ve hacimce %2 fraksiyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı aktarım hızını su taban akışkanına göre yaklaşık olarak %21 oranında arttırdığını bulmuşlardır. Bunlara ilaveten toplam ısı aktarım katsayısı ile Nu sayısının Peclet sayısı (Pe) arttıkça arttığı ve Pe = 7700 olduğunda hacimce %2, %3 ve %4 fraksiyonlardaki Al₂O₃/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarındaki artış miktarlarının su taban akışkanına göre sırasıyla %10, %7.3 ve %4.6 olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ısı değiştiricisinin geometrisine ek olarak yoğunluk, akış hızı ve viskozitenin bir fonksiyonu olarak tanımlanan basınç kaybının nanoparçacık fraksiyon oranı ve hacimsel akış hızı arttıkça arttığını vurgulamışlardır. Buna karşın eşitlik 1.3'de belirtildiği üzere sürtünme faktörünün basınç kaybı, yoğunluk ve hıza bağlı olarak Pe sayısı arttıkça azaldığı ve konsantrasyon arttıkça arttığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak Pandey ve Nema (2012) plakalı ısı değiştiricisi etkenlik faktörünü su-su sistemi için %84, nanoakışkan-su sistemi için %87 olarak bulmuşlardır.

$$f = \frac{\Delta P}{\rho V^2} \quad [1.3]$$

Mare vd. (2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada gama alüminyum (γ Al₂O₃) ve karbon nanotüp (CNT) nanoparçacıkları kullanılarak üretilen su tabanlı nanoakışkanların ısı performansları plakalı ısı değiştiricisi için düşük sıcaklıklarda deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kapsamında Mare vd. (2011), hacimce %1 fraksiyondaki γ Al₂O₃/su ve hacimce %0.55 fraksiyondaki CNT/su nanoakışkanlarının konveksiyon ısı aktarım katsayılarındaki artış miktarlarını su taban akışkanına göre sırasıyla %42 ve %50 olarak elde etmişlerdir. Buna karşın aynı hacimsel fraksiyon oranları ve işletim koşullarında γ Al₂O₃/su ve CNT/su nanoakışkanlarının yüksek viskozitelerinden dolayı basınç kaybını su taban akışkanına göre sırasıyla 3 ve 7 katına çıkardığını vurgulamışlardır. Sonuç olarak, ısı

aktarımında meydana gelen artış miktarı ile basınç kaybının artmasından kaynaklanan fazladan pompalama gücü göz önüne alındığında $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ ve CNT/su nanoakışkanları kullanılarak elde edilen kazanımın su taban akışkanına göre sırasıyla %22 ve %150 olabileceği ifade edilmiştir.

Pantzali vd. (2009) yapmış oldukları deneysel bir çalışmada hacimce %4 fraksiyon oranında üretilen CuO/su nanoakışkanının ısı aktarım performansı plakalı ısı değiştiricisi için araştırmışlardır. Gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda CuO/su nanoakışkanının plakalı ısı değiştiricisinde soğutma akışkanı olarak kullanılması ısı aktarım performansını iyileştirmemiş ve yaklaşık olarak su ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bunlara ilaveten Pantzali vd. (2009), nanoakışkan kullanıldığı durumda gerekli olan pompalama gücünün su kullanıldığı duruma göre iki katına çıktığını ifade etmişlerdir.

1.4 Hava Soğutmalı Isı Değiştiricileri

Hava soğutmalı ısı değiştiricileri, kanalların dışından akan çevre havasının, kanalların içinden akan akışkanı soğutmak için kullanıldığı ısı değiştiricileridir. Başka bir deyişle, hava soğutmalı ısı değiştiricileri, bir sıvı veya gazdan çıkan ısıyı ortam havasına atan ısı değiştiricileri olarak adlandırılmaktadır. Bu cihazların en büyük avantajı, soğutma işlemini yaparken herhangi bir soğutma akışkanına ihtiyaç duymamalarıdır. Bu sebepten dolayı çevresel kaygılar veya yüksek maliyet olmadan çalışma özelliği göstermektedirler.

Bu kapsamda, nanoakışkanların farklı tip ve boyutlardaki hava soğutmalı ısı değiştiricisi uygulamaları literatürde çok olmamakla birlikte çeşitli çalışma gruplarınca deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmalar Çizelge 1.6'da belirtilmiştir. Bu çalışmalar dikkatle incelendiğinde dünyada sadece iki grup tarafından nanoakışkanların hava soğutmalı ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı, Dasgupta vd. (2012 ve 2013) tarafından yapılan çalışmalarda ise çalışma akışkanı olarak su kullandığı görülmektedir. Bu noktada, gerçekleştirilen bu çalışmaların son dört yılda yapıldığını belirtmek gerekmektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere hava soğutmalı ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı oldukça yeni ve araştırılıp geliştirilmeye açık bir alandır.

Çizelge 1. 6 Nanoakışkanların, hava soğutmalı ısı değıştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığı uygulamalara yönelik deneysel çalışmalar.

Referans	Nanoparçacık tipi	Nanoparçacık boyutu (nm)	Taban akışkanı	Nanoparçacık % fraksiyonu	Bulgular
Vermahmoudi vd. (2014)	Fe ₂ O ₃	40	Su	%0.15-%0.65 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Nanoakışkanın giriş sıcaklığı 50 dereceden 80 dereceye çıkarıldığında toplam ısı aktarım katsayısının azaldığı Nanoakışkanın ısı aktarım performansının nanoparçacık fraksiyon oranı artıkça arttığı Hacimce %0.65 fraksiyondaki Fe₂O₃/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısı ve ısı aktarım hızında su taban akışkanına göre sırasıyla %13 ve %11.5 artış
Peyghambarzadeh vd. (2013)	Fe ₂ O ₃ CuO	-	Su	%0.15-%0.65 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %0.65 fraksiyondaki Fe₂O₃/su ve CuO/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarında su taban akışkanına göre sırasıyla %9 ve %7 artış
Naraki vd. (2013)	CuO	60	Su	%0-%0.4 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %0.4 fraksiyondaki CuO/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısında su taban akışkanına göre %8 artış Otomobil radyatörlerinde soğutma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanılması neticesinde daha hafif ve boyutu daha küçük olan radyatörlerin tasarlanabileceği ve bu sayede yakıt tasarrufu sağlanabileceği Nanoakışkanların kararlılıklarını sadece birkaç gün koruyabildiği

Dasgupta vd. (2012 ve 2013)	-	-	Su	-	<ul style="list-style-type: none"> Sırasıyla toplam ısıl direncin %89-94 ve %85-91'inin hava tarafından kaynaklandığı İşletim koşullarına bağlı olarak mesokanalların düz plaka geometrisi sayesinde ısı değiştiricisi boyunca sıcaklığın düzenli olarak dağıldığı Havanın giriş sıcaklığı ile Re sayısı arttıkça ısı aktarım hızı, etkenlik ve NTU değerlerinin arttığı
Hung vd. (2012)	Al ₂ O ₃		Su	%0-%1.5 (kütlece)	<ul style="list-style-type: none"> Kütlece %1.5 fraksiyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı değişim kapasitesinde su taban akışkanına göre %40 artış Isı değiştiricisinin yüzey alanının nanoakışkan kullanılarak %3-6 oranında azaltılabileceği ancak fazladan %11 daha pompalama gücü gerektiği
Teng vd. (2011)	Al ₂ O ₃		Su	%0-%1.5 (kütlece)	<ul style="list-style-type: none"> Kütlece %1.5 fraksiyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı değişim kapasitesinde su taban akışkanına göre %33-39 artış Aynı kütleli fraksiyon oranı ve işletim koşulları için basınç düşüşünde suya göre %5.6 artış
Peyghambarzadeh vd. (2011a)	Al ₂ O ₃		Su	%1 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %1 fraksiyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı aktarım hızında su taban akışkanına göre en yüksek %45 artış
Peyghambarzadeh vd. (2011b)	Al ₂ O ₃		EG	%1 (hacimce)	<ul style="list-style-type: none"> Hacimce %1 fraksiyondaki Al₂O₃/EG nanoakışkanının ısı aktarım hızında EG taban akışkanına göre en yüksek %40 artış

Vermahmoudi vd. (2014) tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada hacimce %0.15-0.65 fraksiyon aralığındaki Fe₂O₃/su nanoakışkanlarının ısı aktarım performansları, alüminyum malzemedan üretilen, 38.4 cm uzunluğa ve 33 cm genişliğe sahip 34 adet dikey kanatçıklı tüpten oluşturulmuş çapraz akışlı, hava soğutmalı ısı değiştiricisi olan otomobil radyatörü için farklı akış hızları (0.2-0.5 m³/h) ve işletim sıcaklıklarında (50-80°C) deneysel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde Vermahmoudi vd. (2014), nanoakışkanın giriş sıcaklığı 50 dereceden 80 dereceye çıkarıldığında ortalama logaritmik sıcaklık farkının büyük oranda artmasıyla toplam ısı aktarım katsayısının azaldığını vurgulamışlardır. Buna karşın ısı aktarım hızında %116 oranında artış elde etmişlerdir. Bunlara ilaveten Vermahmoudi vd. (2014), nanoakışkan ve havanın Re sayısı arttıkça toplam ısı aktarım katsayısı ile ısı aktarım hızının iyileştirildiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, nanoakışkanın ısı aktarım performansının nanoparçacık fraksiyon oranı arttıkça arttığı ve hacimce %0.65 fraksiyondaki Fe₂O₃/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısı ve ısı aktarım hızındaki en yüksek artış miktarının su taban akışkanına göre sırasıyla %13 ve %11.5 olduğu bulunmuştur.

Vermahmoudi vd. (2014)'ün yapmış oldukları çalışmaya benzer bir çalışma Naraki vd. (2013) tarafından aynı ısı değiştiricisi için gerçekleştirilmiştir. Naraki vd. (2013) yapılan bu çalışmayla, hacimce %0-0.4 fraksiyon aralığında hazırladıkları CuO/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarını, laminar akış koşulları altında çalıştırılan çapraz akışlı, hava soğutmalı ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, hacimce %0.4 fraksiyondaki CuO/su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısındaki en yüksek artış miktarını su taban akışkanına göre %8 olarak bulmuşlardır. Bu sonuç ışığında Naraki vd. (2013), otomobil radyatörlerinde soğutma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanılması neticesinde daha hafif ve boyutu daha küçük olan radyatörlerin tasarlanabileceğini ve bu sayede yakıt tasarrufu sağlanabileceğini ifade etmişlerdir. Buna karşın nanoakışkanlar kararlılıklarını sadece birkaç gün koruyabildikleri için bu teknolojinin hayata geçmesi hususunda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Vermahmoudi vd. (2014) ve Naraki vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmalara benzer olarak Peyghambarzadeh vd. (2013) hacimce %0.15-%0.65

fraksiyon aralığında değişen Fe₂O₃/su ve CuO/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarını aynı otomobil radyatörü için deneysel olarak incelemiştirlerdir. Yapılan bu çalışmada çalışma akışkanı olarak kullanılan su ve nanoakışkanların giriş sıcaklıkları 50, 65 ve 80°Cda sabit tutularak gerçekleştirilen testler neticesinde giriş sıcaklığı arttıkça toplam ısı aktarım katsayısının azaldığı sonucuna varılmıştır. Bunlara ilaveten hacimce %0.65 fraksiyondaki Fe₂O₃/su ve CuO/su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayılarındaki artış miktarlarını su taban akışkanına göre sırasıyla %9 ve %7 olarak bulmuşlardır.

Hung vd. (2012) ve Teng vd. (2011) yaptıkları iki farklı çalışmada, kütlece %0-1.5 fraksiyon aralığındaki Al₂O₃/su nanoakışkanlarının ısı aktarım performanslarını, hava soğutmalı ısı değiştiricisi için farklı giriş sıcaklıklarında (30-60°C) ve akış hızlarında (1.8-2.4 L/dak) deneysel olarak incelemiştirlerdir. Her iki çalışmada da, alüminyum malzemeden üretilen, kanal uzunluğu, genişliği ve yüksekliği sırasıyla 118 mm, 17.3 mm ve 1.9 mm şeklinde değişen 11 adet tüp ve her bir tüp arasına yerleştirilen dalgalı kanatçık yapısından oluşturulmuş hava soğutmalı ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Hung vd. (2012) ve Teng vd. (2011) gerçekleştirmiş oldukları bu çalışmalar neticesinde, çalışılan en düşük giriş sıcaklığında kütlece %1.5 fraksiyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı değişim kapasitesindeki artış miktarını su taban akışkanına göre sırasıyla %40 ve %33-39 olarak bulmuşlardır. Hung vd. (2012) bu artış miktarından hareketle ısı değiştiricisinin yüzey alanının nanoakışkan kullanılarak %3-6 oranında azaltılabileceğini ancak fazladan %11 daha pompalama gücü gerektiğini vurgulamıştır. Teng vd. (2011) ise kütlece %1.5 fraksiyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanı kullanılması neticesinde basınç kaybının suya göre %5.6 oranında arttığını elde etmişlerdir.

Dasgupta vd. (2012 ve 2013) sırasıyla yaptıkları farklı iki çalışmada, alüminyum malzemeden üretilen ve dalgalı kanatçık yapısına sahip 15 adet plakadan her birinin 1 mm çaplı 68 akış kanalından oluştuğu çapraz akışlı, hava soğutmalı, mesokanallı ısı değiştiricisinin ısı aktarım özellikleri ile akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştirlerdir. Gerçekleştirilen bu çalışmalarda Dasgupta vd. (2012) ve Dasgupta vd. (2013) sırasıyla toplam ısı direncin %89-94 ve %85-91'inin hava tarafından kaynaklandığı ifade etmişlerdir. Bunlara ilaveten işletim koşullarına bağlı olarak mesokanalların düz plaka geometrisi sayesinde ısı değiştiricisi boyunca sıcaklığın

düzenli olarak dağıldığını ve bunun sonucunda havanın giriş sıcaklığı ile Re sayısı artıkça ısı aktarım hızı, etkenlik ve NTU değerlerinin arttığını ifade etmişlerdir.

Vermahmoudi vd. (2014). Naraki vd. (2013) ve Peyghambarzadeh vd. (2013) tarafından yapılan çalışmalara benzer bir deneysel çalışma Peyghambarzadeh vd. (2011a ve 2011b) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla yapılan bu iki çalışmada, Al_2O_3 /su ve Al_2O_3 /etilen glikol nanoakışkanlarının ısı aktarım performansları, hava soğutmalı çapraz akışlı ısı değiştiricisi olan otomobil radyatörü için incelenmiştir. Taban akışkanı olarak su ve etilen glikol kullanıldığı durumlarda işletim koşullarına bağlı olarak, hacimce %1 fraksiyondaki nanoakışkanlardan elde edilen en yüksek ısı aktarım hızındaki artış miktarının taban akışkanlarına göre sırasıyla %45 ve %40 olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Bununla birlikte Peyghambarzadeh vd. (2011b) oto radyatörlerin daha küçük boyut ve ağırlıkta tasarlanabileceği ve yakıt tasarrufu sağlanabileceği sonucuna varmışlardır.

1.6 Mikrokanallı Isı Değiştiricileri

1980'lerde elektronik ekipmanların soğutulmasına yönelik mikrokanallardan faydalanma fikri ortaya atıldığından bu yana bu konuyla ilgili önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Ancak ısı değiştiricilerinde kullanılan akışkanların sınırlı sayıda olması ve bu akışkanların ısı aktarım katsayılarının yüksek olmaması istenilen performansta çalışabilen cihazların üretilmesine engel olmuştur. Bununla birlikte son zamanlarda nanoteknolojinin gelişmesiyle beraber ısı aktarım katsayısı yüksek olan akışkanların üretilebilmesi ve bu akışkanların çok sayıda mikro ölçekli kanalın bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş mikro kanallı ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanılabilmesi neticesinde çok sayıda araştırmacı bu alana yönelmiştir. Dolayısıyla tasarlanan bu ısı değiştiricileri başta havacılık, mikroelektronik, otomotiv ve haberleşme olmak üzere birçok endüstri dalının ilgisini çekmektedir.

Literatürde mikrokanallı ısı değiştiricilerin ısı aktarım performansını artırma hususunda çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanımı yok denecek kadar azdır. Bu konuda Mohammed vd. (2011) yapmış oldukları bir derleme çalışmasıyla, literatürde gerçekleştirilmiş olan mikrokanallı ısı değiştiricileri (MKID) ile nanoakışkanlar arasındaki ilişkiyi ayrıntılı olarak ele almışlardır. Bu çalışma, MKID türleri ile üretim yöntemlerini, mikroakışkan kavramı ile bulgularını ve son olarak nanoakışkanlar üzerine literatürde yapılmış olan çalışmaları kapsamaktadır. Mohammed vd. (2011)'e göre literatürde bu konuyla ilgili ortak kanının

mikrokanalların ısı aktarımını arttırdığı ancak bununla beraber basınç kaybının yükselmesiyle maliyetlerinde artacağı yönündedir. Dolayısıyla mikrokanallarda ısı aktarım mekanizmalarının henüz tamamen anlaşılmadığı ve bu konunun daha kapsamlı bir şekilde geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Jwo vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, kütlece %0-1 fraksiyon aralığında değişen ve ortalama 20 nm boyutlarında alüminyum nanoparçacığı kullanılarak hazırlanan Al_2O_3 /su nanoakışkanlarının toplam ısı aktarım katsayıları, U (W/m^2K), çoklu kanallı ısı değiştiricisi için deneysel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde Al_2O_3 /su nanoakışkanının toplam ısı aktarım katsayısını, U (W/m^2K), su taban akışkanına arttırdığı belirtilmiştir. Bunlara ilaveten Al_2O_3 fraksiyon oranı arttıkça ve kütleli akış hızı azaldıkça toplam ısı aktarım katsayısının arttığı sonucuna varılmıştır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması, asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp, nanoribon ve grafen nanomalzemeler ile kütlece %0.005-0.02 fraksiyon aralığında hazırlanacak olan nanoakışkanların çapraz akışlı, hava soğutmalı, mikrokanallı ısı değiştiricisindeki ısı aktarım performanslarının deneysel olarak incelenmesini ve elde edilen sonuçların su taban akışkanı ile karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan nanoakışkanların mikrokanal ısı değiştiricisindeki performans analizleri ASELSAN A.Ş. tarafından tasarlanan ve geliştirilen mikrokanal ısı değiştiricisi ve deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp, nanoribon ve grafen şu an devam etmekte olan başka bir yüksek lisans tez çalışmasından temin edilmiştir.

Gerçekleştirilmiş olan yüksek lisans tez projesi aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır;

- Giriş bölümünde ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanımına yönelik deneysel çalışmalar esas alınarak literatür araştırması yapılmış ve bu çalışmaların ısı değiştiricisi türlerine göre sınıflandırılması yapılmıştır.
- Giriş bölümünü takiben genel bilgiler bölümünde karbon tabanlı nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanların ısı performans analizlerinin yapıldığı deney düzeneği ile kararlılık testlerinin gerçekleştirildiği cihazlar ayrıntılı

bir şekilde anlatılmıştır. Bununla birlikte farklı kütleli fraksiyonlarda asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp, nanoribon ve grafen oksit kullanılarak üretilen su tabanlı nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan makine teçhizat detaylandırılmıştır.

- Sonuçlar ve tartışma bölümünde ASELSAN A.Ş. tarafından aynı boyutlarda fakat farklı olarak tasarlanan iki mikrokanallı ısı değiştiricisi ısı aktarım performansı bakımından karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar ışığında performans değerleri diğer ısı değiştiricisi sonuçlarından üstün çıkan ısı değiştiricisi seçilmiştir. Bunlara ilaveten gerek Newton kuralına uyan su taban akışkanının gerekse asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp, nanoribon ve grafen oksit nanomalzemeleri kullanılarak hazırlanan su tabanlı nanoakışkanların ısı performansları ile kararlılıkları yeni tasarım mikrokanallı ısı değiştiricisi için detaylı olarak tartışılmıştır.
- Sonuç bölümünde ise tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde bulunan sonuçlar özetlenerek elde edilen kazanımlar ışığında ısı değiştiricileri için en uygun nanoakışkan belirtilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde sırası ile i) karbon tabanlı nanoakışkanların hazırlanmasında izlenen yöntem; ii) Newton kuralına uyan DI su ve karbon tabanlı nanoakışkanların ısı aktarım performans testlerinin gerçekleştirileceği hava soğutmalı çapraz akışlı mikrokanallı ısı değiştiricisi ve deney düzeneği detaylandırılmıştır.

2.1 Nanoakışkanların Üretilmesi

Giriş bölümünde tanımlandığı üzere nanoakışkan, nanometre boyutlarındaki metal, metal oksit ya da karbon nanotüp ve/veya grafen nanoparçacıklarının genelde Newton kuralına uyan akışkanlar (su, etilen glikol, makine yağı, poli alfa olefen) içerisine düşük hacimsel ya da kütleli fraksiyonlarda eklenmesiyle oluşturulan süspansiyon akışkanına verilen isimdir. Bu çalışmada kullanılan Grafen, nanoşerit (Ribon) ve asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AKNT) nanoparçacıkları, bu tez çalışması ile eş zamanlı yürüyen ve Yüksek Lisans öğrencisi Fatih ERAVCU tarafından gerçekleştirilen “Karbon tabanlı nanomalzemelerin sentezi, karakterizasyonu, reolojisi, ısıl iletkenliği ve kararlılığı” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasından temin edilmiştir. Bu tez çalışmasında karbon tabanlı nanoakışkanlar literatürde iki basamaklı yöntem olarak adlandırılan yöntem kullanılarak üretilmiştir. Kısaca bu yöntem istenilen kütlece yüzde fraksiyonda nanoparçacıkların taban akışkanı içerisine eklenmesine ve ardından sonifikatör ile belli bir süre karıştırılmasına dayanmaktadır. Eşitlik 2.1 istenilen kütlece % fraksiyonlarda nanoakışkanların hazırlanabilmesi için taban akışkanı içerisine eklenmesi gereken nanoparçacık miktarını göstermektedir. Gerekli olan nanoparçacık miktarı, beş basamak hassasiyete sahip Shimadzu AUW220D model elektronik terazi ile belirlenmiştir (Bkz. Şekil 2.1.a)

$$\frac{x}{100} = \frac{m_{np}}{m_{np} + (V_t * \rho_t)} \quad [2.1]$$

x: istenilen kütlece % fraksiyon

m_{np} : nanoparçacığın kütlesi

V_t : taban akışkanının hacmi

ρ_t : taban akışkanının yoğunluğu

Bu çalışmada nanoparçacık kümeleşmesini kırmak ve nanoparçacıkların taban akışkanı içerisinde kararlılığını arttırmak için nanoakışkanlar Şekil 2.1 (a) da gösterilen 330 W ultrasonik güç'e ve 50 kHz frekans'a sahip Jeitech UC-10 model sonifikatör banyosunda yaklaşık olarak altı saat bekletilmişlerdir. Nanoakışkan kararlılığı, nanoparçacıkların belli bir süre boyunca durgun taban akışkanı içerisinde çökmeden asılı durumda kalmaları olarak tanımlanır. Nanoakışkanların hazırlanmasında tüm araştırma grupları tarafından belirtilen ve büyük bir sorun olarak adlandırılan, nanoparçacıkların kümeleşme davranışında olmaları ve bunun sonucunda kararlılıklarını kaybederek çökmeleridir. Nanoparçacıkların kümeleşmesini kırmak amacıyla şu ana kadar yapılan çalışmalarda uygulanan ve en etkin yöntem olarak kabul edilen işlem nanoakışkana belli bir zaman aralığında sonifikasyon uygulamaktır.

Karbon tabanlı nanoakışkanların mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak kullanılmadan önce ve sonraki kararlılık testleri Şekil 2.2'de gösterilen Malvern Zetasizer Nano Z model zeta potansiyel cihazı ile belirlenmiştir. Mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak kullanılan gerek Newton kuralına uyan DI su gerek ise karbon tabanlı nanoakışkanların yoğunlukları Şekil 2.3'de gösterilen ve dört basamak hassasiyete sahip DMA 4100 dijital yoğunluk ölçme cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



a)



b)

Şekil 2.1 Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan makine teçhizat a) hassas elektronik terazi, b) sonifikatör banyosu.



Şekil 2.2 Nanoakışkanların kararlılık testlerinin incelenmesinde kullanılan Malvern Zetasizer Nano Z.



Şekil 2.3 Newton kuralına uyan DI su ve nanoakışkanların yoğunluk ölçümlerinin yapıldığı DMA 4100 dijital yoğunluk ölçme cihazı.

2.2 Mikrokanal Isı Değiştiricisi ve Deney Düzeneği

Çalışma kapsamında farklı kütleli bölüntülerde üretilen karbon tabanlı nanoakışkanların ısı aktarım performans analizleri ASELSAN A.Ş. tarafından tasarlanan ve geliştirilen hava soğutmalı, çapraz akışlı mikrokanal ısı değiştiricisi ve deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çapraz akışlı, hava soğutmalı mikrokanal ısı değiştiricisi çalışma akışkanı (nanoakışkan ve/veya Newton kuralına uyan akışkanlar: su, etilen glikol, su-etilen glikol karışımı) için altı, hava akışı için yedi sıralı mikrokanallardan oluşmaktadır. Mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma

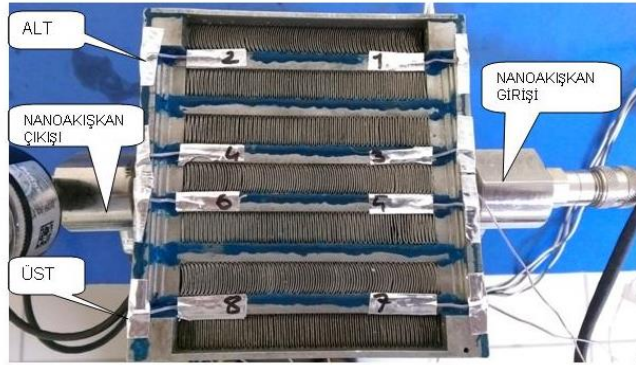
akışkanı olarak nanoakışkan ve/veya Newton kuralına uyan akışkanların geçtiği kanal yüksekliği 4 mm, hava akışkanının geçtiği yükseklik ise 10 mm'dir. Günümüze kadar, birçok araştırmacı mikrokanaal tanımı ve sınıflandırması önermiştir. Örneğin Mehendale vd. (2000) yaptıkları çalışmada ısı plakası ve/veya ısı değiştiricilerini içerdikleri en küçük kanal boyutlarına göre sınıflandırmış ve 1 µm ile 100 µm aralığında değişen kanal boyutlarında üretilen ısı plakası ve/veya ısı değiştiricileri mikrokanaal olarak isimlendirmişlerdir. Obot (2003) ise mikrokanaal sınıflandırmasını hidrolik çapa göre önermiştir. Obot (2003) sınıflandırmasına göre hidrolik çapı 1 mm'den az olan ısı plakası ve/veya ısı değiştiricileri mikrokanaal olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ısı değiştiricisinin çalışma akışkan tarafı ve hava tarafı kanaal genişlikleri sırası ile 4 mm ve 10 mm olup hidrolik çapları ise sırası ile çalışma akışkan tarafı için 0.653 mm ve hava tarafları için ise 0.683 mm'dir. Verilen boyutlardan anlaşılacağı üzere ısı değiştiricisi Mehendale vd. (2000)'nin sınıflandırmasına göre mini kanaal, Obot (2003) sınıflandırmasına göre ise mikrokanaal ısı değiştiricisidir. Çetin (2010) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında bu çalışmada da kullanılan hava soğutmalı çapraz akışlı ısı değiştiricisini mikrokanaal olarak isimlendirmiştir. Bu sebepten dolayı, gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan ısı değiştiricisi mikrokanaal sınıflandırılmasında kabul edilip adlandırılmıştır.

Şekil 2.4 nanoakışkanların mikrokanaal ısı değiştiricisinde ısı aktarım performans testlerinin gerçekleştirildiği deney düzeneğini göstermektedir. Şekil 2.4'den görüleceği üzere deney düzeneği; mikrokanaal ısı değiştiricisi, mikro pompa, 2 litrelik hacme sahip ısıtma/genleşme tankı, fan ve veri kaydedicisinden oluşmaktadır. Bunlara ek olarak, mikrokanaal ısı değiştiricisine giren ve çıkan akışkanların basınç ve sıcaklıklarının belirlenebilmesi için ısı değiştiricisinin giriş ve çıkışına Kulite® HKL basınç sensörü yerleştirilmiştir. Şekil 2.4'de görüleceği üzere soğutma akışkanı havanın ısı değiştiricisi mikrokanaallarına düzgün dağılımlı girebilmesi için hava kanaal uzunluğu /ısı değiştiricisi boyu (L/D) oranı 8 olacak şekilde alüminyum malzemenle imal edilmiş olan hava kanaal ısı değiştiricisine entegre edilmiştir. Yine aynı amaç doğrultusunda fan ısı değiştiricisinden yaklaşık 4 cm geriye çekilmiştir. Bunlara ilaveten sistemden konveksiyon ile ortama aktarılan ısının minimum olması için tüm boru dolaşım sistemi yalıtılmıştır. Mikrokanaal ısı değiştiricisi duvar sıcaklığının zaman ile değişiminin belirlenmesi için Şekil 2.5 (a)'da gösterildiği üzere ısı

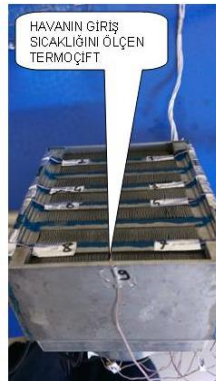
değiştiricisinde çalışma akışkanın geçtiği kanalların giriş ve çıkışlarına J tipi ışıl çiftler yerleştirilmiştir. Ayrıca Şekil 2.5 (b) ve (c)'de gösterildiği üzere fana giren ve çıkan hava sıcaklıklarının ölçülebilmesi için ışıl değiştiricisinin ve fanın önüne ışıl çiftler yerleştirilmiştir.



Şekil 2.4 Newton kuralına uyan DI su ile karbon tabanlı nanoakışkanların performans testlerinin yapıldığı deney düzeneği.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.5 Mikrokanal ışıl değiştiricisine yerleştirilen ışıl çiftlerin konumları.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde bir önceki bölümde detaylandırılan çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak i) Newton kuralına uyan DI su ile ii) karbon tabanlı nanoparçacıklar ile üretilen grafen/DI su, ribon/DI su ve asit ile muamele görmüş karbon nanotüp/DI su nanoakışkanların mikrokanal ısı değiştiricisindeki ısı aktarım performans testlerinden elde edilen deney sonuçları verilerek ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

3.1 Newton Kuralına Uyan DI Su Çalışma Akışkanının Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri

Çalışma kapsamında ilk olarak Newton kuralına uyan DI su çalışma akışkanının mikrokanal ısı değiştiricisindeki ısı aktarım performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerek Newton kuralına uyan akışkanlar gerek ise nanoakışkanların performans deneylerinde aşağıda maddeler halinde belirtilen yöntemler izlenmiştir:

- 2 litrelik hacme sahip ısıtma/genleşme tankı (Şekil 2.5) ısı kaybına karşı yalıtılmıştır.
- 2 litrelik hacme sahip ısıtma/genleşme tankına Newton kuralına uyan akışkanlar doğrudan, nanoakışkanlar ise altı saat süre ile sonifikasyon banyosunda tutularak eklenmiştir.
- Tank içerisine eklenen çalışma akışkanlarına fişek tipi ısıtıcılar ile 200W, 400W ve 600W'lık ısı yükleri verilmiştir.
- Çalışma akışkanlarının hacimsel akış hızı mikro pompanın voltaj değerleri değiştirilerek ayarlanmıştır. Bu kapsamda gerek Newton kuralına uyan gerekse nanoakışkanların hacimsel akış hızları mikro pompaya verilen dört farklı voltaj değeri ile ayarlanmış olup bunlar sırası ile 10, 15, 20 ve 28 voltur.
- Mikro pompaya verilen dört farklı voltaj değerlerine karşılık gelen akışkan hacimsel akış hızları, hem rotometre hem de manuel yöntem kullanılarak ölçülmüştür. Manuel yöntem kısaca hacmi belli olan bir kaba akışkanın dolması için gerekli olan sürenin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada ısı değiştiricisinden çıkan akışkanın akış hızı, hacmi belirli bir silindirik şeklindeki beheri doldurması için gerekli olan süre ölçülerek belirlenmiştir. Tüm akışkanların hacimsel akış hızlarının belirlenmesinde

belirtilen yöntem en az üç defa tekrarlanmış olup, elde edilen ortalama değer kullanılmıştır. Akışkanların hacimsel akış hızları sistem yatışkın koşula geldikten sonra ölçülmüştür.

- Gerçekleştirilen tüm deneylerde hava tarafındaki akış hızı sabit olarak 0.0218 kg/s alınmıştır. Belirtilen akış hızı değerine, fan voltaj/akım değeri 26V/1.09A girilerek erişilmiştir. Kullanılan bu değer Çetin (2010) tez çalışmasında kullanılan değer ile aynıdır.
- Deneylerde çalışma akışkanı olarak kullanılan tüm akışkanların kütleli akış hızlarının belirlenebilmesi için, gerek Newton kuralına uyan gerekse nanoakışkanların yoğunlukları Şekil 2.3'de gösterilen DMA 4100 dijital yoğunluk ölçme cihazı ile 20-50 °C sıcaklık aralığında ölçülmüştür.
- Sistemin yatışkın duruma gelip gelmediği, ısı değiştiricisine giren/çıkan akışkan sıcaklığının zaman ile değişimi kaydedilerek belirlenmiştir. Isı değiştiricisine giren ve çıkan akış sıcaklığı her 30 s'de kaydedilerek iki ölçüm arasındaki fark yaklaşık ± 0.5 °C'ye ulaştığında sistemin yatışkın duruma geldiği varsayılarak ölçümler sonlandırılmıştır.
- Mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak kullanılan DI su akışkanının özgül ısı değeri ısı değiştiricisine giren/çıkan akışkan sıcaklıklarının ortalaması olan sıcaklık değerinde alınmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde akışkan ısı değiştiricisine giriş/çıkış ortalama sıcaklığı yaklaşık 50 °C olarak hesaplanmış olup bu sıcaklık değerinde DI su akışkanının özgül ısı değeri 4182 kJ/kgK olarak alınmıştır. Benzer biçimde fan giriş/çıkış ortalama sıcaklığı olarak belirlenen 35 °C'de havanın özgül ısı değeri 1005 kJ/kgK olarak alınmıştır.
- Çalışma akışkanları tarafından ısı değiştiricisinden yayılan ve fan tarafından soğrulan ısı aktarım hızı Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda gerek ısı değiştiricisine gerek ise fana giren/çıkan akışkanların sıcaklıkları yatışkın durumda ölçülen ortalama sıcaklığın ortalaması alınarak belirlenmiştir.

$$Q = \dot{m}C_p \Delta T_f \quad [3.1]$$

- Literatürde ısı değiştiricisi etkinliği aşağıda verilen Eşitlik 3.2 ile belirlenmektedir. Burada q ısı değiştiricisinden gerçekte alınan ısıyı, q_{\max} ise

termodinamik olarak ısı değiştiricisinden alınabilecek maksimum ısı miktarını belirtmektedir. Çalışma kapsamında, etkinlik faktörü eşitliğindeki q değeri ısı değiştiricisinden yayılan ve hava tarafından soğrulan ısı miktarlarının ortalaması olan değer alınarak hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{q_{avg}}{q_{max}} \quad [3.2]$$

$$q_{max} = (mCp)_{min} (Th_i - Tc_i) \quad [3.3]$$

$$q_{avg} = \frac{q_{akiskan} + q_{hava}}{2}$$

- Çalışma kapsamında kütlece farklı bölüntülerde üretilen karbon tabanlı nanoakışkanların taban akışkanına göre ısı aktarım performansı ayrıca Eşitlik 3.4'de verilen tüm ısı aktarım katsayıları, U (W/m²K) karşılaştırılarak incelenmiştir. Bunlara ilaveten tez kapsamında ısı aktarım performansı, incelenen tüm çalışma akışkanlarının transfer birim sayısı (NTU) Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$U = \frac{q_{avg}}{A\Delta T_{lm}} \quad [3.4]$$

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

$$\Delta T_1 = Th_{in} - Tc_{in}$$

$$\Delta T_2 = Th_{out} - Tc_{out}$$

$$NTU = \frac{UA}{(mCp)_{min}} \quad [3.5]$$

Çizelge 3.1 mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanını olarak kullanılan DI su akışkanının 20-50 °C sıcaklık aralığında DMA 4100 dijital yoğunluköler cihazı ile ölçölen yoğunluk değerlerini listelemektedir. Beklendiği üzere sıcaklık arttıķa akışkanın yoğunluk değeri azalmıştır. Bilindiği üzere, kütlelel akış hızının hesaplanabilmesi için hacimsel akış hızının çalışma sıcaklığında akışkan yoğunluğu ile çarpılması gereklidir. Bu alışma kapsamında çalışma akışkanlarının kütlelel akış hızları ısı değiştiricisine giren/çıkan akışkanların ortalama sıcaklığında ölçölen yoğunlukları kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1 DMA 4100 dijital yoğunluk ölçme cihazı ile farklı sıcaklıklarda Newton kuralına uyan DI su çalışma akışkanının ölçölen yoğunlukları.

sıcaklık (°C)	DI su (g/cm ³)
20	0.9983
25	0.9972
30	0.9958
35	0.9941
40	0.9922
45	0.9903
50	0.9881

Çizelge 3.2 (a) ve (b) sırası ile dört farklı kütlelel akış hızlarında DI su çalışma akışkanının yatışkın koşul altında mikrokanal ısı değiştiricisine giriş/çıkış noktalarından ölçölen sıcaklık ve basınç değerleri ile farklarını göstermektedir. Hava tarafı giriş sıcaklıkları ise Çizelge 3.2 (c)'de listelenmiştir. Daha önce belirtildiği üzere Çizelge 8'de verilen tüm sıcaklık ve basınç değerleri yatışkın koşulda alınan on ölçüm sonucunun ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.3, Eşitlik 3.1 yardımı ile mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanını olarak DI su kullanıldığı durumda dört farklı kütlelel akış hızlarında ısı değiştiricisinden yayılan, fan tarafından soğrulan ve ortalama ısı değerlerini göstermektedir. Bilindiği üzere ısı değiştiricisinden yayılan ısı aktarım hızı ile fan tarafından soğrulan ısı miktarlarının eşit çıkması gerekmektedir. Fakat sistemdeki ısı kayıpları ve deneysel ölçüm hataları sebebi ile hesaplanan ısı aktarım hızları eşit çıkmamaktadır. Bu sebepten dolayı literatürde ısı değiştiricisi etkinlik faktörü hesaplanırken gerçekte ısı değiştiricisi tarafından yayılan ısı miktarı,

yayılan ve soğrulan ısı aktarım hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Ayrıca şunu da belirtmek gerekirken, ölçümlerin ortam sıcaklığından etkilenmemesi için ölçümler aynı gün içerisinde gerçekleştirilmiştir. Fakat yine de gün içerisinde ortam sıcaklığında meydana gelen küçük değişimlerin ölçüm sonuçlarını etkilediği düşünülmektedir. Çizelgeler 3.2 ve 3.3’de verilmiş olan sonuçlar ayrıntılı irdelendiğinde şu yargılara ulaşılabilir; i) beklendiği üzere kütleli akış hızı arttıkça ısı değiştiricisine giren akışkanın yatışkın durumda ölçülen sıcaklığı ile giriş/çıkış sıcaklık farkı azalmıştır. ii) buna karşın kütleli ısı akış hızı arttıkça ısı değiştiricisi basınç düşüşü artmıştır. iii) sisteme verilen 600 W’lık ısı yüküne karşılık çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığında mikrokanailli ısı değiştiricisinden 0.0119 kg/s akış hızında maksimum 477 W’lık ısı çekilmiştir. Çizelge 3.3’den görüleceği üzere 0.0164 kg/s akış hızından sonra soğrulan ısı azalmıştır. Benzer durum Çetin (2010) çalışmasında ve ayrıca daha önce yürütülen yüksek lisans tez çalışması kapsamında ASELSAN A.Ş. REHİS ısı analiz laboratuvarında gerçekleştirilen ölçümlerde gözlemlenmiştir. Belli bir kütleli akış hızından sonra akış hızı arttıkça soğrulan ısı miktarındaki azalmanın ısı değiştirici tasarımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Öyle ki ASELSAN A.Ş. tarafından aynı boyutlarda fakat farklı tasarıma sahip yeni ısı değiştiricisi ile gerçekleştirilen ölçümlerde böyle bir olumsuz etkiye rastlanmamıştır. Şekil 3.1 ASELSAN A.Ş. tarafından bir önceki ısı değiştiricisi boyutları ile birebir aynı olan fakat farklı tasarıma sahip ısı değiştiricisini göstermektedir. Şekil 3.1’den görüleceği üzere çalışma akışkanı, yeni olarak isimlendirilen ısı değiştiricisine sol üst kanallara yakın olan bölümden girmekte ve ısı değiştiricisi üst bölümünde yer alan üç kanalda dolaştıktan sonra sol alt kanallara yakın olan bölümden çıkmaktadır. Sonuç olarak çalışma akışkanı ısı değiştiricisinde toplam iki tur atmış olmaktadır. Böylece bir önceki tasarımda karşılaşılan ve ilerleyen bölümlerde detaylandırılacak olan çalışma akışkanının ısı değiştiricisi kanallarında farklı akış hızlarında akması yenilmiştir. Sonuç olarak Şekil 3.2’de gösterilen yeni tasarımın, Şekil 2.6 (a)’da gösterilen tasarıma göre ısı aktarım performansı açısından ilerleyen bölümde gösterileceği üzere daha avantajlı olduğu düşünülmektedir. Çizelge 3.4 (a) ve (b) sırası ile dört farklı kütleli akış hızlarında DI su çalışma akışkanının yatışkın koşul altında yeni tasarım mikrokanailli ısı değiştiricisine giriş/çıkış noktalarında ölçülen sıcaklık ve basınç değerleri ile farklarını göstermektedir. Hava tarafı giriş sıcaklıkları ise Çizelge 3.4 (c)’de listelenmiştir. Çizelge 3.5 ise Eşitlik 3.1 yardımı ile yeni tasarım mikrokanailli ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığı durumda dört farklı

kütlesel akış hızlarında ısı değıştiricisinden yayılan, fan tarafından soğrulan ve ortalama ısı değerlerini göstermektedir. Yeni tasarım ısı değıştiricisi sonuçları ile Çizelgeler 3.2 ve 3.3’de verilen sonuçlar karşılaştırıldığında şu yargılara ulaşılabilir: i) kütlesel akış hızları her iki ısı değıştiricisinde aynı çıkmıştır. Diğer bir ifade ile her iki tasarım için ölçülen basınç düşüşleri yaklaşık aynı çıkmıştır; ii) çalışma akışkanı giriş/çıkış sıcaklık farkı sonuçları karşılaştırıldığında, yeni tasarım ısı değıştiricisinin çalışılan tüm kütlesel akış hızlarında daha yüksek sıcaklık farkı ürettiği bulunmuştur.

Çizelge 3.2 Farklı kütlesel akış hızlarında DI su çalışma akışkanının mikrokanal ısı değıştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütlesel akış hızı (kg/s)	$T_{giriş}$ ($^{\circ}C$)	$T_{çıkış}$ ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)
0.0075	59.8771	46.0772	13.7999
0.0119	54.8578	46.0655	8.7921
0.0164	52.1962	46.6064	5.5898
0.0220	49.2078	45.2982	3.9096

b)

Kütlesel akış hızı (kg/s)	$p_{giriş}$ (bar)	$p_{çıkış}$ (bar)	Δp (bar)
0.0075	1.0162	0.9941	0.0221
0.0119	1.0562	1.0318	0.0244
0.0164	1.1117	1.0834	0.0283
0.0220	1.2280	1.1941	0.0338

c)

Kütlesel akış hızı (kg/s)	$T_{giriş}$ ($^{\circ}C$)	$T_{çıkış}$ ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)
0.0218	23.5919	46.8909	23.2990
0.0218	23.2809	46.8672	23.5862
0.0218	23.6791	46.9277	23.2486
0.0218	23.2704	45.9909	22.7205

Çizelge 3.3 Mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığında farklı kütlesel akış hızlarında ısı değiştiricisinden yayılan, fan tarafından soğurulan ve ortalama ısı değerleri.

Kütlesel akış hızı (kg/s)	Q_{verilen} (W)	$Q_{\text{soğurulan}}$ (W)	Q_{ortalama} (W)
0.0075	432.73	510.45	471.59
0.0119	437.44	516.75	477.09
0.0164	383.28	509.35	446.31
0.0220	359.61	497.78	428.70



şekil 3.1. ASELSAN A.ř. tarafından tasarlanan ve üretilen mikrokanallı ısı değiştiricisi

Çizelge 3.4 Farklı kütleel akış hızlarında DI su çalışma akışkanının yeni tasarım mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları b) basınçları ve basınç farkları c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleel akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0076	59.7475	44.4618	15.2857
0.0120	55.6440	45.2485	10.3955
0.0165	54.4366	45.8343	8.6024
0.0220	52.6764	46.2182	6.4582

b)

Kütleel akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0076	1.0229	1.0003	0.0226
0.0120	1.0882	1.0643	0.0239
0.0165	1.1302	1.1045	0.0257
0.0220	1.2891	1.2562	0.0328

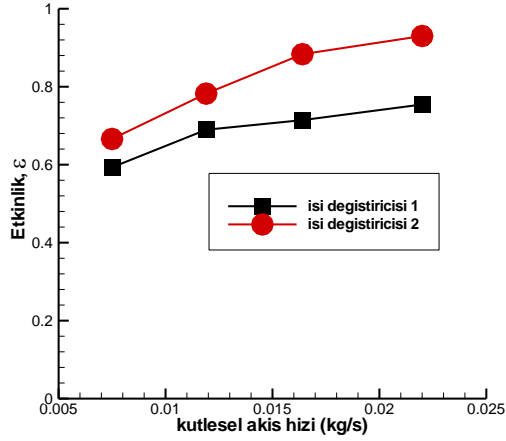
c)

Kütleel akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0218	25.0858	49.3807	24.2949
0.0218	24.6630	49.5260	24.8630
0.0218	24.7882	50.2516	25.4635
0.0218	24.3895	49.8948	25.5054

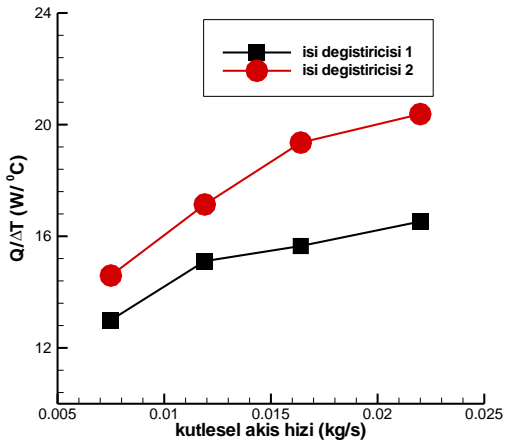
Çizelge 3.5 Yeni tasarım mikrokanal ısı değiştiricisinde çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığında farklı kütlesel akış hızlarında ısı değiştiricisinden yayılan, fan tarafından soğurulan ve ortalama ısı değerleri.

Kütlesel akış hızı (kg/s)	Q_{verilen} (W)	$Q_{\text{soğurulan}}$ (W)	Q_{ortalama} (W)
0.0075	479.3222	532.2772	505.7997
0.0119	517.2144	544.7235	530.9689
0.0164	589.8503	557.8788	573.8646
0.0220	594.0365	558.797	576.4167

şekil 3.2 (a) ve (b) alışılan dört farklı kütlesel akış hızında ısı değiştiricilerden hesaplanan etkinlik ve performans değerlerini karşılaştırmaktadır. Daha önce açıkladığı üzere etkinlik faktörü, ısı değiştiricisinden gerçekte alınan ısı miktarının termodinamik olarak alınabilecek maksimum ısı miktarına oranıdır. Performans değeri ise, ısı değiştiricisinden gerçekte alınan ısı miktarının çalışma akışkanı (sıcak akışkan) ve havanın (soğuk akışkan) ısı değiştiricisine giriş sıcaklık farkına oranı olarak tanımlanmaktadır. Isı değiştiricisi performans değerleri genelde ya sabit kütlesel akış hızında farklı fan hızları alınarak ya da sabit fan hızında farklı kütlesel akış hızları alınarak hesaplanmaktadır. Isı değiştiricisi performans değerlerinin kütlesel akış hızı ve/veya fan hızlarına karşı değişimi biliniyor ise o ısı değiştiricisi için istenilen işletme koşullarındaki fan seimi yapılabilmektedir. Bu çalışmada ısı değiştiricisi performans ve etkinlik değerleri sabit fan hızında ve dört farklı kütlesel akış hızlarında hesaplanmıştır. şekil 3.2'den görüleceği üzere ısı değiştiricisi etkinlik faktörü ile performans değerlerinin kütlesel akış hızı ile değişimi nitel olarak birbirlerine benzemesine karşın nicel olarak farklıdır. Açıkça görüleceği üzere yeni tasarım ısı değiştiricisi için hesaplanan hem etkinlik faktörü hem de performans değerleri çalışılan tüm kütlesel akış hızlarında diğer ısı değiştiricisi sonuçlarından üstün çıkmıştır. Yeni tasarım ısı değiştiricisinin etkinlik faktörü düşük kütlesel akış hızında diğer ısı değiştiricisinden %12, yüksek kütlesel akış hızında ise yaklaşık %23 daha yüksek bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar ışığında çalışma akışkanın yeni tasarım ısı değiştiricisinin tüm kanallarında yaklaşık eşit akış hızlarında dolaştığı sonucuna varılmıştır. Bu noktada belirtmek gerekirken bundan sonra verilecek olan tüm sonuçlar yeni tasarım ısı değiştiricisi kullanılarak elde edilmiştir.



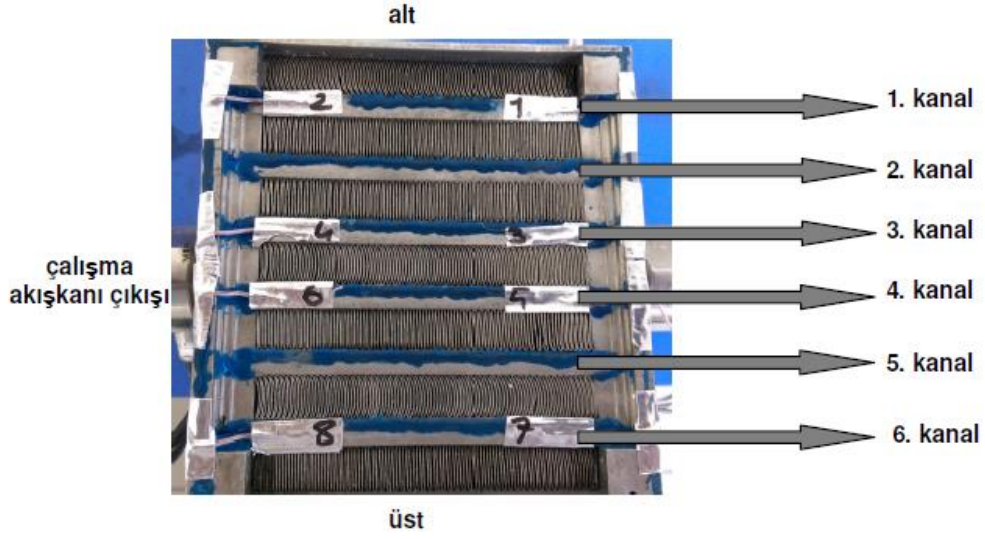
a)



b)

Şekil 3.2 Isı değiştiricilerinde çalışma akışkanını olarak DI su kullanıldığında iki farklı ısı değiştiricisi tasarımı için hesaplanan a) etkinlik faktörünün ve b) ısı performans değerlerinin kütlesel akış hızı ile değişimi. Not: Isı değiştiricisi 2 yeni tasarımı belirtmektedir.

Mikrokanal ısı değiştiricisine giren çalışma akışkanlarının, akış kanalları içerisindeki akış dağılımı hakkında bilgi edinebilmek diğer bir ifade ile kanalların etkinliğini incelemek amacı ile Şekil 3.3’de gösterildiği üzere ısı değiştiricisi kanal duvarlarının giriş ve çıkış noktalarına ısı çiftler yerleştirilmiştir. Şekil 3.3 ısı değiştiricisindeki 6 kanalın numaralandırılması ile bu kanallara yerleştirilen ısı çiftlerin konumlarını göstermektedir. Isı değiştiricisinin alttan ikinci ve beşinci kanallarına ısı çiftler yerleştirilmemiştir.



Şekil 3.3 Isı değiştiricisi kanal numaralandırılması ve kanal giriş çıkışlarına yerleştirilen ısıl çiftlerin konumları.

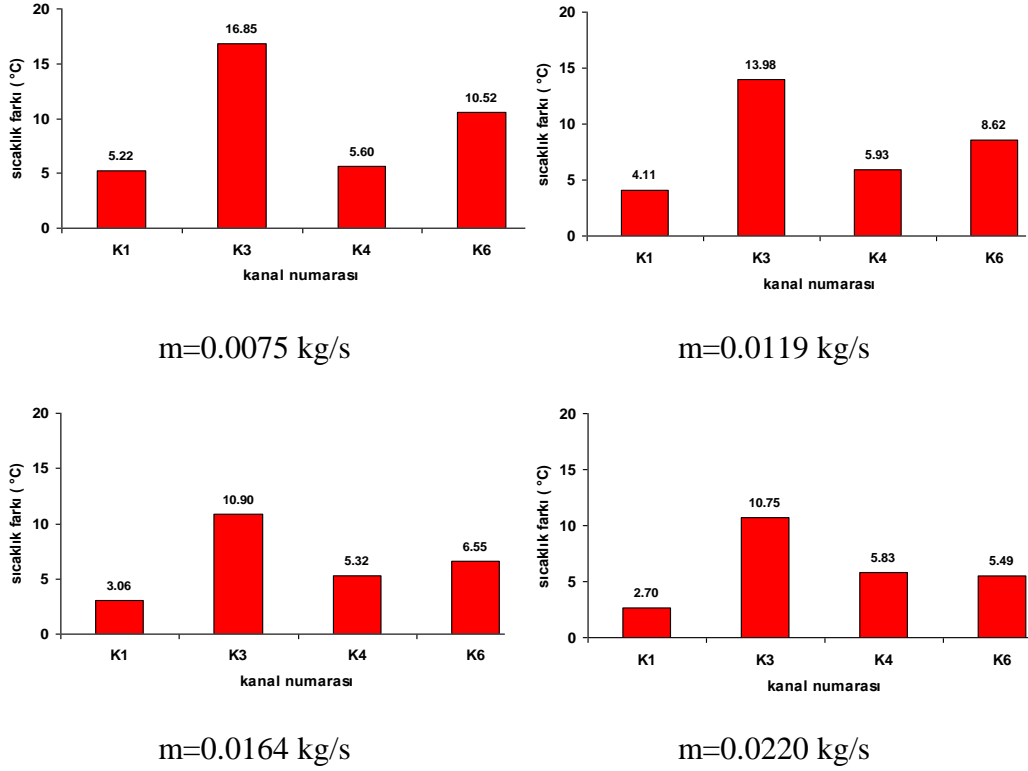
Çizelge 3.6, dört farklı kütleli akış hızlarında çalışma akışkanı olarak DI su kullanıldığında ısı değiştiricisi kanallarının Şekil 3.3’de belirtilen konumlarına yerleştirilen ısıl çiftlerden ölçülen duvar sıcaklıklarını göstermektedir. Çizelge 3.6’da verilen sıcaklık alt indislerinden tek sayı olanlar kanal giriş, çift sayı olanlar ise kanal çıkış sıcaklığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile alt indisler; 1, 3, 5 ve 7 sırası ile ısı değiştiricisi altından itibaren birinci, üçüncü, dördüncü ve altıncı kanal giriş duvar sıcaklıklarını simgelemektedir. Benzer şekilde alt indisler; 2, 4, 6 ve 8 sırası ile ısı değiştiricisi altından itibaren birinci, üçüncü, dördüncü ve altıncı kanal çıkış duvar sıcaklıklarını simgelemektedir. Çizelge 3.6’da verilen veriler dikkatlice incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılabılır: i) T_1 , T_3 , T_5 ve T_7 noktalarından ölçülen kanal giriş duvar sıcaklıkları sabit kütleli akış hızlarında yaklaşık eşit çıkması gerekirken dördüncü kanal giriş duvar sıcaklığı, T_5 çalışılan tüm kütleli akış hızlarında diğer ölçüm noktalarında ölçülen duvar sıcaklıklarından düşük çıkmıştır. Bunun sebebinin ısı değiştiricisine üçüncü ve dördüncü kanalların ortasından belli bir akış hızında giren çalışma akışkanının aynı kesit alanlarına sahip altı kanala eşit akış hızlarında girmemesinin olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde diğer ölçüm noktalarında özellikle düşük akış hızlarında T_1 , T_3 ve T_7 duvar sıcaklıklarının farklı olmasının temel sebebinin kanallardaki akış hızlarının eşit olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunlara ek olarak akış hızı arttığında belirtilen ölçüm noktalarında ki sıcaklık

farkı gittikçe azalmaktadır. ii) çalışma akışkanının kanalların çıkış noktalarına yakın yerlerden ölçülen duvar sıcaklıkları incelendiğinde sabit akış hızında en düşük çıkış duvar sıcaklığını üçüncü ve dördüncü kanallara yerleştirilmiş olan T_4 ve T_6 ısı çiftlerinin verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.6 Farklı kütle akış hızlarında DI su çalışma akışkanı için mikrokanal ısı değiştiricisinin Şekil 3.3’de gösterilen konumlarına yerleştirilen ısı çiftlerinden ölçülen duvar sıcaklıkları.

Kütle	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8
0.0075	43.274	38.053	44.632	27.782	32.486	26.885	42.831	32.307
0.0119	41.770	37.657	42.905	28.926	33.522	27.592	42.352	33.734
0.0164	40.688	37.625	42.111	31.212	34.397	29.072	42.059	35.506
0.0220	38.903	36.201	39.899	29.147	37.317	31.483	40.599	35.111

Şekil 3.4, dört farklı kütle akış hızında Şekil 3.3’de gösterilen kanallara giren/çıkan DI su çalışma akışkanının duvar sıcaklık farklarını göstermektedir. Şekil 3.4’den görüleceği üzere ısı değiştiricisi altından üstüne doğru numaralandırılmış 6 kanaldan en yüksek duvar sıcaklık farkı çalışılan tüm akış hızlarında üçüncü kanalda gözlemlenmiştir. Buna karşın en düşük sıcaklık farkı ise ısı değiştiricisi tabanında bulunan birinci kanalda ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar ışığında en yüksek sıcaklık farkını veren üçüncü kanalda çalışma akışkanının akış hızının en az olduğu, farkın en az olduğu birinci ve dördüncü kanallarda ise akış hızının yüksek olduğu söylenebilir. Sonuç olarak kanallar arasında gözlemlenen giriş/çıkış duvar sıcaklık farkının, çalışma akışkanının kanallardaki akış hızlarının birbirlerinden farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

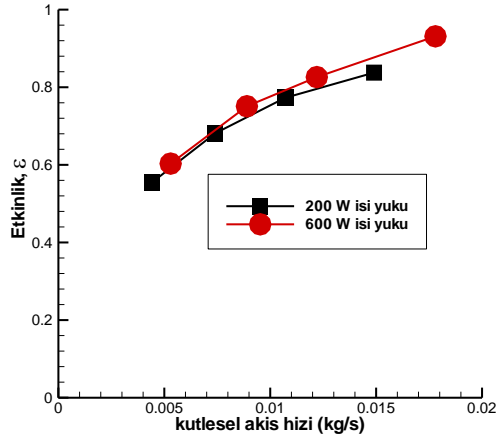


Şekil 3.4 Farklı kütleli akış hızlarında Şekil 9’da numaralandırılan ısı değiştiricisi kanallarına giren çıkan DI su çalışma akışkanı için duvar sıcaklık farkları.

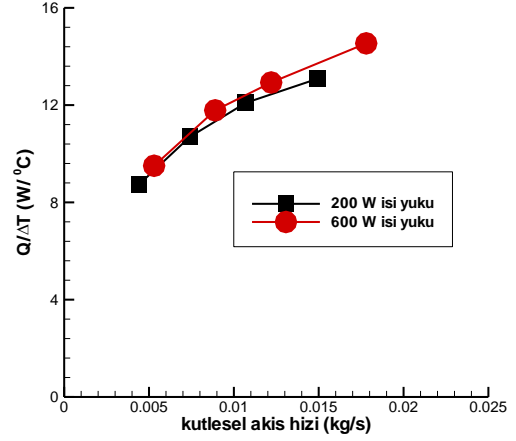
3.2 Grafen Oksit/DI Su Nanoakışkanlarının Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri

Bu bölümde iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıklar kullanılarak kütlece %0.01-%0.03 fraksiyon oranlarında üretilen Grafen/DI su nanoakışkanlarının mikrokanal ısı değiştiricisindeki performans testlerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Şekil 4.5 (a-d) sırası ile 200 W ve 600 W ısı yüklerinde ısı değiştiricisinden hesaplanan etkinlik, performans ve tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile ve etkinlik değerinin transfer birim sayısı (NTU) ile değişimini göstermektedir. Etkinlik faktörü, ısı değiştiricisinden gerçekte alınan ısı miktarının termodinamik olarak alınabilecek maksimum ısı miktarına oranıdır. Performans değeri ise, ısı değiştiricisinden gerçekte alınan ısı miktarının çalışma akışkanı (sıcak akışkan) ve havanın (soğuk akışkan) ısı değiştiricisine giriş sıcaklık farkına oranı olarak tanımlanmaktadır. Isı değiştiricisi performans değerleri genelde ya sabit kütleli akış hızında farklı fan hızları alınarak ya da sabit fan hızında farklı kütleli akış hızları alınarak

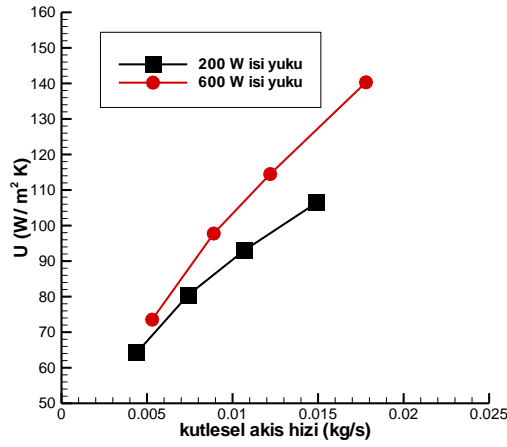
hesaplanmaktadır. Isı değiştiricisi performans değerlerinin kütlesel akış hızı ve/veya fan hızlarına karşı değişimi biliniyor ise o ısı değiştiricisi için istenilen işletme koşullarındaki fan seğimi yapılabilir. Bu çalışmada ısı değiştiricisi performans ve etkinlik değerleri sabit fan hızında ve dört farklı kütlesel akış hızlarında hesaplanmıştır. Eşitlik 3.4’de verilen tüm ısı aktarım katsayısı, U (W/m^2K), birbiri ile karışmayan iki akışkanın birinden diğerine aktarılan toplam ısı direnci göstermektedir. Arzu edilen ve istenilen aynı işletme koşullarında yüksek ısı aktarım katsayısı veren çalışma akışkanıdır. Şekil 3.5’den elde edilen veriler ayrıntılı irdelendiğinde; i) Şekil 3.5 (a-b)’den görüleceği üzere ısı değiştiricisi etkinlik faktörü ile performans değerlerinin kütlesel akış hızı ile değişimi nitel olarak birbirlerine benzemesine karşın nicel olarak birbirinden farklı çıkmıştır. Beklendiği üzere verilen ısı yükü ile etkinlik ve performans değerleri düşük kütlesel akış hızlarında değişmemiş buna karşın yüksek kütlesel akış hızlarında ise çok az değişmiştir. Bunun temel sebebinin sisteme verilen ısı yükü arttırıldığında akışkan sıcaklığının artması ve bunun sonucunda akışkan viskozitesinin azalarak aynı pompalama gücünde daha yüksek kütlesel akış hızına sahip olmasıdır; ii) açıkça görüleceği üzere toplam ısı aktarım sayısı, U , sisteme verilen ısı yükü artışı ve kütlesel akış hızı artışı ile artmıştır (Bkz. Şekil 3.5 (c)). Toplam ısı aktarım katsayısının kütlesel akış hızı ile artış oranı 600 W ısı yükünde 200 W ısı yüküne göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun temel sebebi yukarıda aıklanığı üzere sisteme verilen ısı yükü arttırıldığında ısı değiştiricisine giren akışkan giriş sıcaklığının artması ve sıcaklık ile akışkan viskozitesinin azalması olarak açıklanabilir; iii) Şekil 3.5 (d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı (NTU) ile değişimini göstermektedir. NTU, logaritmik ortalama sıcaklık farkının hesaplanması için gerekli olan veri olmadığında ısı değiştiricisi ısı aktarım performansının hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir. Sonuç olarak 200 W ve 600 W ısı yklerinde DI su çalışma akışkanı için yeni tasarım ısı değiştiricisine ait NTU- ϵ ilişkisi bilinmektedir.



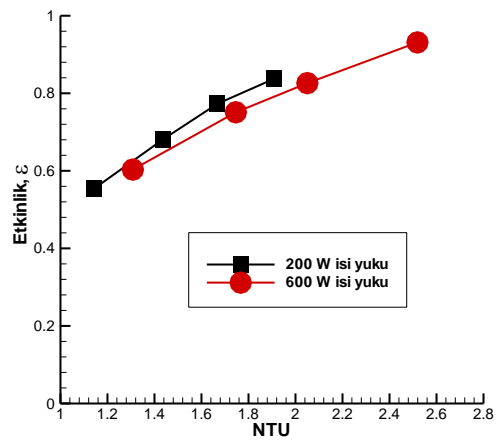
a)



b)



c)



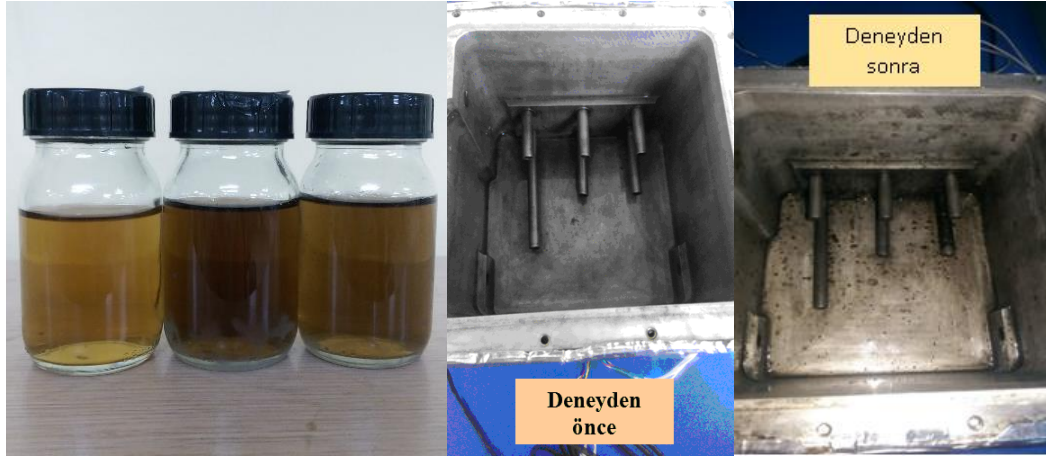
d)

Şekil 3.5 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden DI su çalışma akışkanının 200 W ve 600 W ısı yüklerinde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerinin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütlele akış hızı ile değişimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimi.

Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının hava soğutmalı çapraz akışlı ısı değiştiricisinden elde edilen ısı aktarım performans sonuçları verilmeden önce kütlece %0.01- %0.03 bölüntü aralığında üretilen nanoakışkanların farklı ısı yüklerinde ısıtma/genleşme tankındaki kararlılıkları detaylı olarak tartışılacaktır. Şekiller 3.6, 3.7 ve 3.8 sırası ile kütlece %0.01, %0.02 ve %0.03 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanlarının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumlarını göstermektedir. Nanoakışkan kararlılığı nanoparçacıkların belli bir süre boyunca durgun akışkan içerisinde çökmeden asılı durumda kalmaları olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile nanoparçacıklar hareket eden akışkan içerisinde Brownian harekete sahip

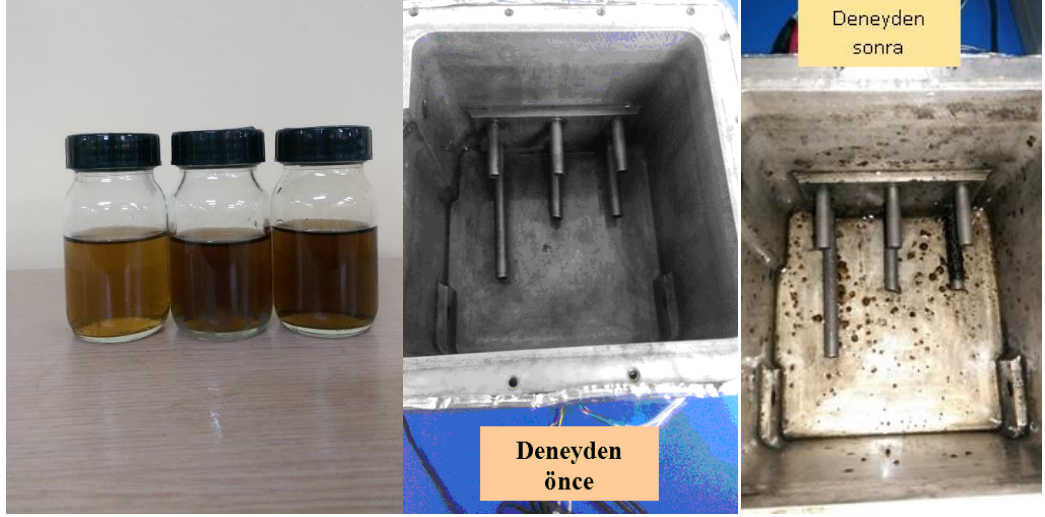
olacaklarından çökmeyeceklerdir. Bu sebepten dolayı literatürde nanoakışkan kararlılığı durgun taban akışkanına göre tanımlanmakta ve ölçülmektedir. İyileştirilmiş Hummers metodu ile kütlece %0.01-%0.03 bölüntü oranlarında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarına verilen 200 W, 400 W ve 600 W ısı yükleri sonucunda nanoakışkanların ısı değiştiricisinde gerçekleştirilen iki çevrimden sonra kararlılıklarını kayb ettikleri gözlemlenmiştir. Şekiller 3.6, 3.7 ve 3.8'den açıkça görüleceği üzere her üç konsantrasyonda üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanı deneylerden önce berrak sarı renge sahip iken ısı değiştiricisinde gerçekleştirilen deneylerden sonra nanoakışkan koyu kahverengi ve siyah renk almış ve ayrıca ısıtma/genleşme tank tabanı ve ısı yükünün verildiği fişek tip ısıtıcılar etrafında Grafen oksit nanoparçacıkları toplanmıştır. Özetle durgun taban akışkanı içerisinde oldukça kararlı olan ve hatta şu ana kadar çalışılan tüm metal ve metal oksit nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanlara göre kıyaslanamayacak kadar yüksek kararlılığa sahip Grafen oksit/DI su nanoakışkanı ısı değiştiricisinde gerçekleştirilen deneylerden sonra kararlılığını kaybetmiştir. Sorulan ve cevaplandırılması gereken soru: hangi ve/veya hangi mekanizmalar sonucunda durgun akışkan içerisinde kararlı olan ve kararlılığını uzun zaman koruyan (~1 yıl) Grafen oksit nanoparçacıkların ısı değiştiricisinde kararlılığını kaybettiğidir. Gerçekleştirilen kapsamlı incelemelerden sonra Grafen oksit nanoparçacıkların yüksek ısı akısı üreten yüzey ile uzun süre teması sonucu nanoparçacıkların şişerek polimerleştiği ve Grafen nanoparçacıklarına bağlı olan hidroksil (OH) gruplarının koptuğu sonucuna varılmıştır. Grafen oksit nanoparçacıkların yüksek sıcaklıklarda polimerik özellik gösterdiğini kanıtlayabilmek amacı ile farklı ısı akısı üreten yüzeyler ile Grafen oksit/DI su nanoakışkanları en az dört saat süre ile temas ettirilmiştir. Şekil 3.9'da gösterildiği üzere 200 W ısı üreten fişek tipi ısıtıcı Grafen oksit/DI su nanoakışkan içerisine daldırılarak yaklaşık dört saat süre ile temas etmesi sağlanarak nanoakışkanın yüksek ısı akısı yayan yüzey ile temas etmeden ve ettikten sonraki kararlılıkları karşılaştırılmıştır. Belirtmek gerekirken 200 W ısı üreten fişek tipi ısıtıcının yatışkın koşuldaki yüzey sıcaklığı yaklaşık 110 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 3.9'dan görüleceği üzere belli bir süre sonra Grafen oksit/DI su nanoakışkanının rengi açık sarıdan koyu kahverengine dönmüştür. Bunun temel sebebinin yukarıda açıklandığı üzere yüksek sıcaklıklarda Grafen nanoparçacık yüzeylerindeki

hidroksil grupların koptuğu ve parçacıkların şişerek polimerik davrandığı olarak düşünülmektedir. Düşük sıcaklıklarda ve/veya 100 °C'dan düşük yüzey sıcaklıklarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanının bozulmadığını gösterebilmek amacı ile Grafen oksit/DI su nanoakışkanı yüzey sıcaklığı kontrol edilebilir “sıcak plaka” üzerinde yaklaşık 4 saat süre ile bekletilmiştir. Sonuç olarak Grafen oksit/DI su nanoakışkanları 100 °C'dan düşük sıcaklıklarda kararlılıklarını kaybetmediklerinden ve çok düşük konsantrasyonlarda yüksek ısı iletkenlik artışı verdiklerinden ısı değiştiricilerinde ısı aktarım çalışma akışkanı olarak kullanılabilirler. Şekiller 3.10 ve 3.11 sırası ile kütlege %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanlarının 400 W ve 600 W ısı yükleri altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumlarını göstermektedir. Şekillerden açıkça görüleceği üzere ısı yükü 600 W'a çıkarıldığında Grafen oksit/DI su nanoakışkanı ısı değiştiricisindeki ilk çevrim deneylerinden sonra iki faza ayrılmıştır.



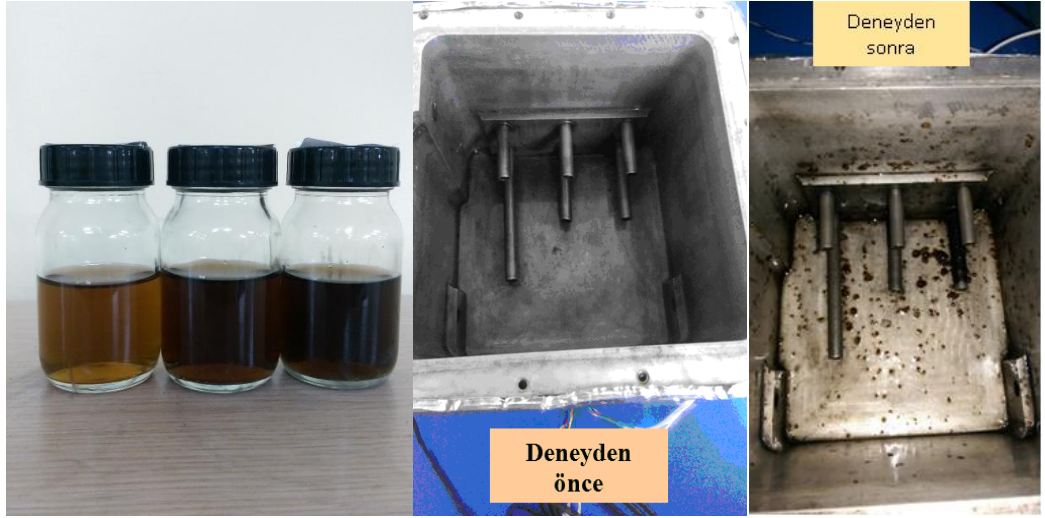
Soldan sağa: Deneyden önce, birinci ve ikinci çevrimden sonra

Şekil 3.6 Kütlege %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.



Soldan sağı: Deneiden önce, birinci ve ikinci çevrimden sonra

Şekil 3.7 Kütlece %0.02 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.

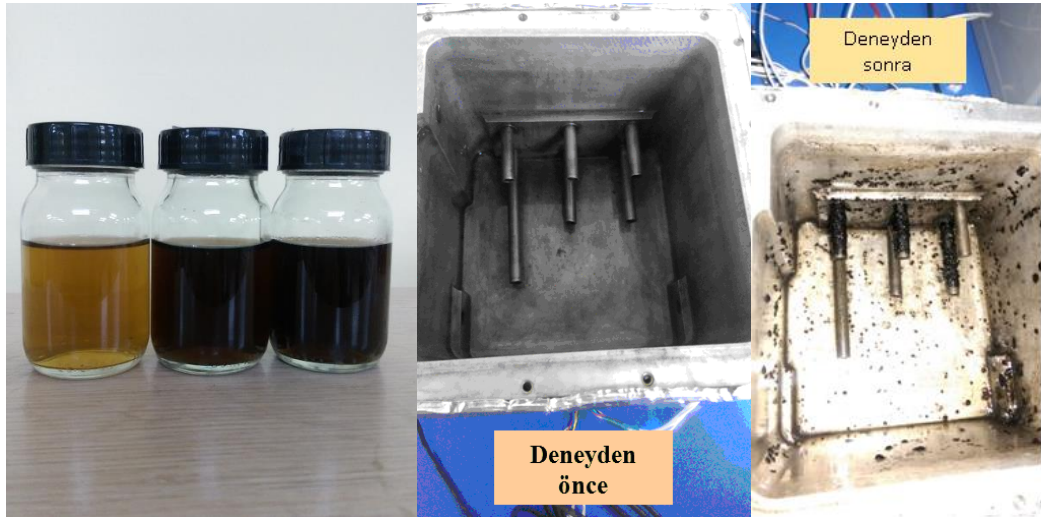


Soldan sağı: Deneiden önce, birinci ve ikinci çevrimden sonra

Şekil 3.8 Kütlece %0.03 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.

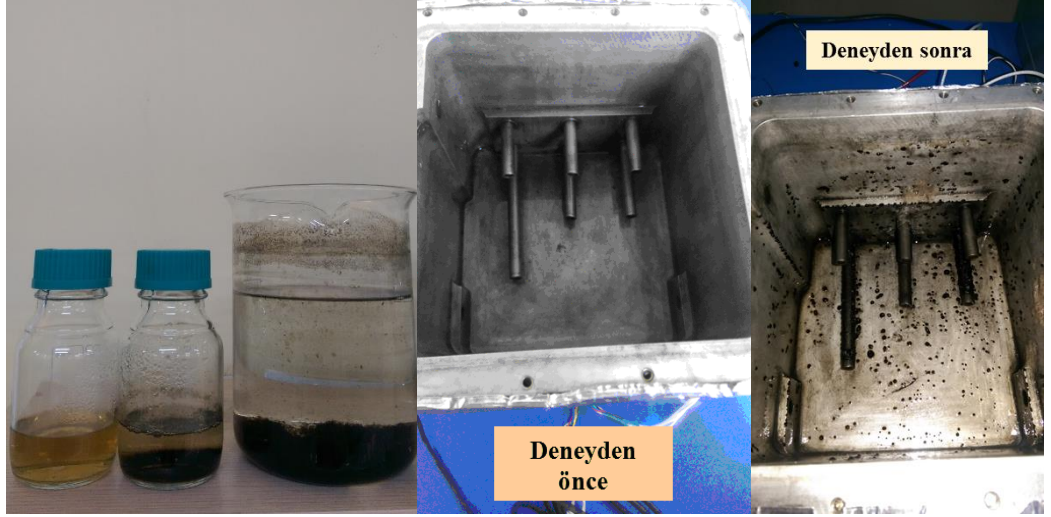


Şekil 3.9 Kütlece %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit/DI su nanoakışkanına 200 W'lık ısı yükü verildikten sonra aldığı durum.



Soldan sağa: Deneyden önce, birinci ve ikinci çevrimden sonra

Şekil 3.10 Kütlece %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit/DI su nanoakışkanının 400 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.



Soldan sağa: Deneyden önce,
birinci çevrimden sonra

Şekil 3.11 Kütlece %0.01 bölüntü oranında hazırlanan Grafen oksit /DI su nanoakışkanının 600 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.

Yukarıda detaylı olarak tartışıldığı üzere DI su taban akışkanı içerisine belli konsantrasyonlarda dağıtılan Grafen oksit nanoparçacıkları yüksek ısı akısı üreten yüzeyler ile uzun süre temas ettiğinde nanoparçacık yüzeylerine bağlı olan hidroksil grupların koptuğu ve ayrıca polimerleşme özelliği gösterdiğinden Grafen oksit nanoparçacıkları kararlılıklarını kaybetmektedirler. Bunlara ilaveten Şekiller 3.10 ve 3.11’de gösterildiği üzere sisteme verilen ısı yükü arttırıldığında Grafen oksit nanoparçacıkların kararlılıklarını kaybetme hızları artmaktadır. Çizelgeler 3.7, 3.8 ve 3.9 sırası ile dört farklı kütleli akış hızında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.01, %0.02 ve %0.03 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş çıkış sıcaklıklarını, basınçlarını ve farklarını listelemektedir. Bunlara ilaveten hava tarafı giriş çıkış sıcaklıkları ile farkları Çizelgelerin (c) şikkında listelenmiştir. Çizelgelerde verilen sonuçlar ayrıntılı olarak tartışıldığında şu yargılara ulaşılmıştır: i) çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı düşük kütleli akış hızlarında nanoakışkan konsantrasyonu ile çok az değişmiş buna karşın akış hızı arttırıldığında değişim azalmıştır; ii) çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş-çıkış sıcaklık farkı tüm kütleli akış hızlarında Grafen oksit nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça artmıştır; iii) beklendiği üzere basınç düşüşü hem kütleli

akış hızı arttıkça hem de Grafen oksit nanoparçacık konsantrasyonu ile çok az artış göstermiştir.

Çizelge 3.7 Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokana1 ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0046	41.6310	34.6330	6.9980
0.0077	39.7261	35.2158	4.5103
0.0101	38.6329	35.2379	3.3950
0.0155	38.2295	35.8085	2.4210

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0046	2.4037	2.0878	0.3159
0.0077	2.5388	2.0751	0.4636
0.0101	2.7441	2.1096	0.6345
0.0155	3.1648	2.2205	0.9443

c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	26.7700	35.7410	8.9710
0.0156	27.1490	36.0590	8.9100
0.0155	26.8357	35.9849	9.1492
0.0155	27.4874	36.5724	9.0850

Çizelge 3.8 Farklı kütlele akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütlele akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0047	42.1189	34.9636	7.1554
0.0079	40.1036	35.4150	4.6886
0.0103	39.2228	35.7021	3.5207
0.0151	38.4519	35.9190	2.5329

b)

Kütlele akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0047	2.3205	1.9736	0.3469
0.0079	2.4803	1.9708	0.5095
0.0103	2.7529	2.0113	0.7416
0.0151	3.2608	2.1234	1.1374

c)

Kütlele akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	26.6276	35.5987	8.9711
0.0156	26.7608	35.8511	9.0903
0.0155	26.8485	36.0391	9.1906
0.0155	27.0090	36.3302	9.3212

Çizelge 3.9 Farklı kütlele akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.03 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütlele akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0044	43.6005	36.2943	7.3062
0.0075	42.1411	37.2694	4.8717
0.0105	40.6825	36.9576	3.7249
0.0150	39.2827	36.6584	2.6244

b)

Kütlele akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0044	2.3415	1.9929	0.3486
0.0075	2.4420	1.8908	0.5511
0.0105	2.6908	1.9242	0.7667
0.0150	3.3073	2.0467	1.2606

c)

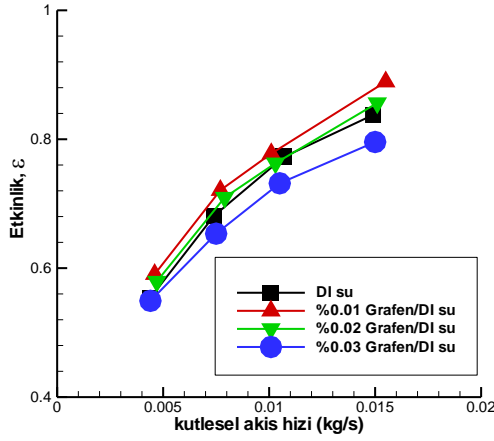
Kütlele akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	28.0575	36.6627	8.6053
0.0156	27.3980	36.9717	9.5737
0.0155	26.8914	36.5977	9.7064
0.0155	26.4780	36.2874	9.8094

Şekil 3.12 (a-d) sırası ile kütlece %0.01-%0.03 bölüntü aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen etkinlik faktörünün, ısıl performans değerinin ve tüm ısı aktarım katsayısının kütlele akış hızı ile ve ayrıca etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimini göstermektedir. Belirtmek gerekir ki 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen tüm deneylerde Grafen oksit/DI su nanoakışkanı kararlılığını kaybetmemiştir. Şekil 3.12’de verilen sonuçlardan açıkça anlaşılacağı üzere DI su taban akışkanı içerisinde dağıtılan Grafen oksit nanoparçacık miktarı arttıkça ölçülen ısı aktarım performans değerleri azalma

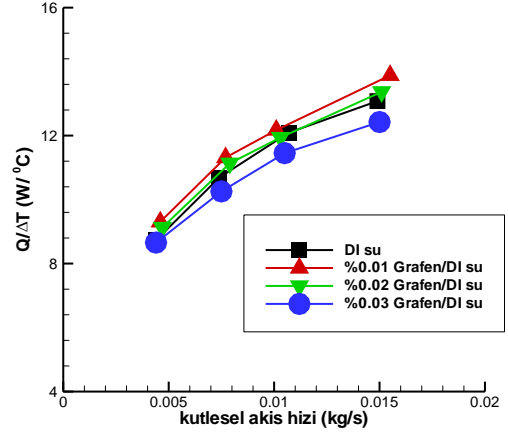
eğilimi göstermiştir. Özellikle bu etki Şekil 3.12 (c)'de gösterilen tüm ısı aktarım katsayısı, U , değerlerinde açıkça görülmektedir. Grafen oksit/DI su nanoakışkanı içerisindeki kütlece Grafen oksit nanoparçacık bölüntü oranı arttıkça çalışılan tüm kütleli akış hızlarında ısı aktarım katsayısı, DI su taban akışkanı için hesaplanan U değerinden düşük çıkmıştır. Benzer durum hali hazırda yürüyen “Karbon tabanlı nanomalzemelerin sentezi, karakterizasyonu, reolojisi, ısı iletkenliği ve kararlılığı” başlıklı tez çalışmasının iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının sabit sıcaklıkta ölçülen ısı iletkenlik değerlerinde de gözlemlenmiştir. Grafen oksit nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça ısı iletkenlik değerindeki azalmanın. Grafen oksit/DI su nanoakışkanının belli bir nanoparçacık konsantrasyondan sonra polimerik özellik göstermesinden kaynaklanabileceği şeklinde açıklanmıştır. Benzer mekanizmanın hava soğutmalı çapraz akışlı mikrokanallı ısı değiştiricisinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar için de geçerli olduğu düşünülmektedir.

Şekil 3.13, kütlece %0.01-%0.03 bölüntü aralığında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 200 W ısı yükü altında mikrokanallı ısı değiştiricisinden elde edilen tüm ısı aktarım katsayısının, DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimini göstermektedir. Grafen oksit/DI su nanoakışkanı için DI su taban akışkanına göre tüm ısı aktarım katsayısında elde edilen artış oranı işletme koşullarına bağlı olarak sırası ile kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit içeren nanoakışkanlar için %16-21 ve %2-8 aralığında hesaplanmıştır. Kütlece %0.03 bölüntü oranında Grafen oksit içeren nanoakışkan ise çalışılan kütleli akış hızına bağlı olarak DI su taban akışkanından yaklaşık %2-10 aralığında daha düşük çıkmıştır. Kütlece %0.01 bölüntü oranında Grafen oksit içeren nanoakışkan için farklı kütleli akış hızları için bulunan tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı ile hali hazırda yürüyen “Karbon tabanlı nanomalzemelerin sentezi, karakterizasyonu, reolojisi, ısı iletkenliği ve kararlılığı” başlıklı tez çalışmasında ölçülen ısı aktarım katsayısındaki artış oranları yaklaşık aynı çıkmıştır. Diğer bir ifade ile çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden elde edilen tüm ısı aktarım katsayısındaki artış nanoakışkan ısı iletkenliği artışından kaynaklanmaktadır. Bilindiği üzere çalışma akışkanının konveksiyon ısı aktarım katsayısı, $h=k/\delta$, akışkan ısı iletkenliği ile doğru, termal sınır tabaka kalınlığı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Verilen

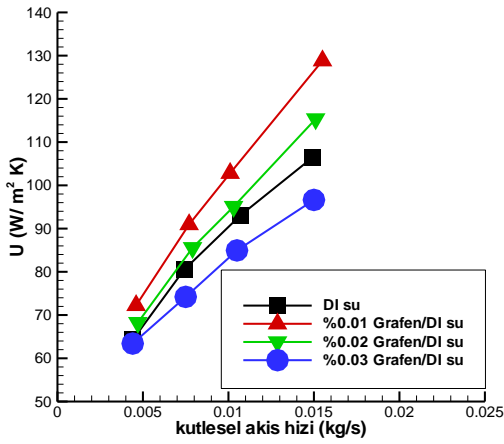
eşitlikten görüleceği üzere konveksiyon ısı aktarım katsayısı, h çalışma akışkanı ısı iletkenliği arttığında veya termal sınır tabaka kalınlığı azaldığında artar. Bilindiği üzere termal sınır tabaka kalınlığı türbülans akış rejiminde azalmaktadır. Şu ana kadar literatürde gerçekleştirilen çalışmalardan, taban akışkanına göre nanoakışkan konveksiyon ısı aktarım katsayısının, ısı iletkenlik artış oranından daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak konveksiyon ısı aktarım katsayısındaki artışın ısı iletkenlik katsayısındaki artıştan değil termal sınır tabaka kalınlığındaki azalmadan kaynaklandığı söylenebilir. Bu noktada, çalışma akışkanı içerisine dağıtılan nanoparçacıklar termal sınır tabaka kalınlığını nasıl azaltmaktadırlar ve tüm nanoparçacıklar için bu durum geçerli midir sorusu sorulabilir. Gerek deneysel gerek ise teorik çalışmalar akışkan içerisine dağıtılan mikron boyutundaki nanoparçacıkların silindirik veya dörtgenel bir borudan akışta kayma geriliminin yüksek olduğu kanal duvarından düşük olduğu merkeze doğru göç ettiklerini göstermiştir. Buna karşın nano boyuttaki parçacıkların kanal içerisinde düzgün doğrusal olmayan davranış içerisinde göç ettikleri sanılmaktadır. Diğer bir ifade ile akışkan içerisine dağıtılan nanoparçacıkların kanal içerisinde düzgün dağılımlı olmayan konsantrasyonlarda göç ettikleri düşünülmektedir. Çalışma akışkanı içerisindeki nanoparçacıkların kanal duvarına yakın bölgelerden göç etmeleri sonucunda termal sınır tabaka kalınlığının azaldığı ve neticesinde konveksiyon ısı aktarım katsayısının arttığı düşünülmektedir. Açıklanan bu mekanizma çalışma akışkanı içerisinde dağıtılmış ve kararlılığını koruyan tüm nanoboyutlu nanoparçacıklar için benzer olduğu tahmin edilmektedir.



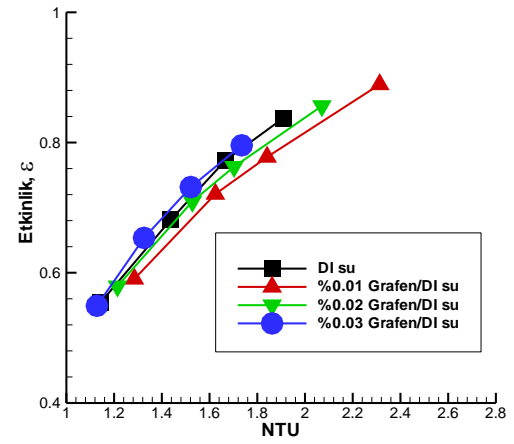
a)



b)

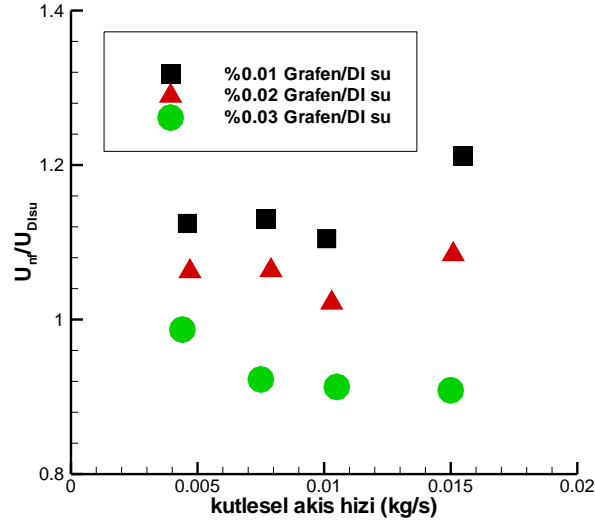


c)



d)

Şekil 3.12 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değıştircisinden kütlece %0.01-%0.03 bölüntü aralığında Grafen oksit/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değeri, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile değışimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değışimi.



Şekil 3.13 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.01-%0.03 bölüntü aralığında Grafen oksit/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.

Çizelgeler 3.10 ve çizelge 3.11 sırası ile dört farklı kütleli akış hızında ve 600 W ısı yükü altında kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş çıkış sıcaklıklarını, basınçlarını ve farklarını listelemektedir. Bunlara ilaveten hava tarafı giriş çıkış sıcaklıkları ile farkları Çizelgelerin (c) şikkında listelenmiştir. Daha önce detaylı olarak tartışıldığı üzere 600 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerde Grafen oksit/DI su nanoakışkanı kısa bir süre sonra kararlılığını kaybetmiştir (Bkz. Şekil 3.11). Çizelgelerde verilen sonuçlar ayrıntılı olarak tartışıldığında şu yargılara ulaşılmıştır: i) çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı düşük kütleli akış hızlarında nanoakışkan konsantrasyonu ile çok az değişmiş buna karşın akış hızı arttırıldığında değişim azalmıştır; ii) 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerde gözlemlendiği üzere çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş-çıkış sıcaklık farkı tüm kütleli akış hızlarında Grafen oksit nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça artmıştır; iii) beklendiği üzere basınç düşüşü hem kütleli akış hızı arttıkça hem de Grafen oksit nanoparçacık konsantrasyonu ile çok az artış göstermiştir. Buna karşın aynı kütleli bölüntü oranında 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerde daha yüksek basınç düşüşü gözlemlenmiş idi. Bunun temel sebebinin düşük ısı yüklerinde gerçekleştirilen deneylerde çalışma akışkanı sıcaklığının yüksek ısı yüklerine göre daha düşük olması neticesinde

viskozitenin yüksek çıkmasına sebep olması şeklinde açıklanabilir. Benzer durum aynı pompa güçlerinde iki farklı ısı yükünde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen kütleli akış hızları karşılaştırıldığında da görülmektedir.

Çizelge 3.10 Farklı kütleli akış hızlarında ve 600 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değıştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0055	65.0082	47.0691	17.9391
0.0089	60.5376	48.3796	12.1580
0.0115	59.3094	50.4586	8.8507
0.0165	54.1783	47.8790	6.2993

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0055	2.0609	1.8244	0.2365
0.0089	2.1731	1.8497	0.3233
0.0115	2.2923	1.9178	0.3745
0.0165	2.6297	2.1232	0.5065

c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	26.3591	49.7427	23.3836
0.0156	26.0603	49.8436	23.7833
0.0155	26.8200	51.0288	24.2088
0.0155	23.8043	48.3210	24.5167

Çizelge 3.11 Farklı kütleli akış hızlarında ve 600 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranında Grafen oksit nanoparçacık içeren Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0047	64.9560	45.6170	19.3390
0.0088	60.2110	47.3030	12.9080
0.0110	57.1360	47.2990	9.8370
0.0159	54.1240	47.1670	6.9570

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0047	2.0896	1.8278	0.2618
0.0088	2.1551	1.8091	0.3459
0.0110	2.3804	1.8673	0.5131
0.0159	2.6946	2.0029	0.6916

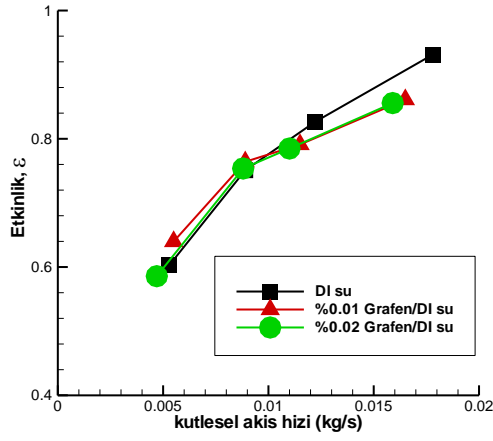
c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	24.4130	48.0120	23.5990
0.0156	23.6820	48.5990	24.9170
0.0155	23.2620	47.5700	24.3080
0.0155	22.2330	47.1370	24.9040

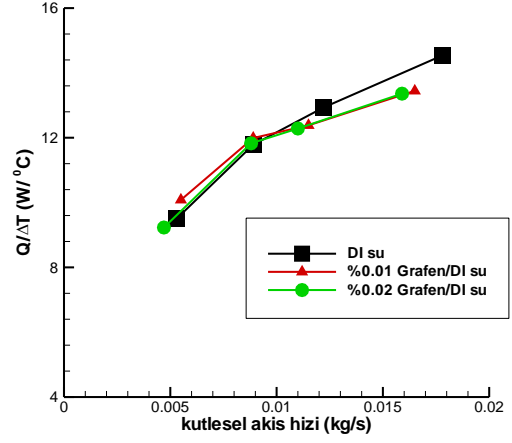
Şekil 3.14 (a-d) sırası ile kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 600 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen etkinlik faktörünün, ısı performans değerinin ve tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile ve ayrıca etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.14’de verilen sonuçlardan görüleceği üzere Grafen oksit/DI su nanoakışkanının mikrokanallı ısı değiştiricisindeki ısı aktarım performansı çalışılan düşük kütleli akış hızlarında DI su çalışma akışkanı ile yaklaşık aynı çıkmasına karşın yüksek akış hızlarında ise daha düşük çıkmıştır. Bunun Şekil 2.1’de gösterildiği üzere yüksek ısı

yüklerinde Grafen oksit/DI su nanoakışkanının şişerek polimerleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

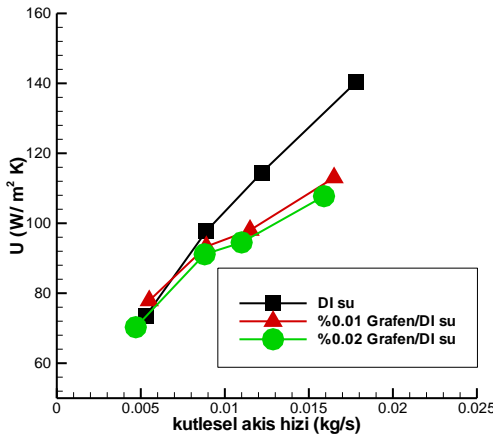
Son olarak çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden sırası ile kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 200 W, 400 W ve 600 W ısı yüklerinde elde edilen tüm ısı aktarım katsayısının, DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi Şekil 3.15 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Sisteme verilen ısı yükü arttırıldığında; i) çalışma akışkanı sıcaklığı artacağından, ii) sıcaklık artışına bağlı olarak ısı iletkenlik değeri artacağından ve yine iii) sıcaklık artışı ile viskozite azacağından hesaplanan tüm ısı aktarım katsayısının artması gerekir. Buna karşın Şekil 3.15 (a) ve (b)'de görüleceği üzere tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı sabit kütleli akış hızında sisteme verilen ısı yükü arttıkça azalmıştır. Yukarıda detaylı olarak tartışıldığı üzere bunun temel sebebinin Grafen oksit/DI su nanoakışkanının yüksek ısı akısı üreten yüzey ile uzun süre temas etmesi durumunda nanoparçacık yüzeylerine bağlı olan hidroksil gruplarının kopması ve Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının polimerleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



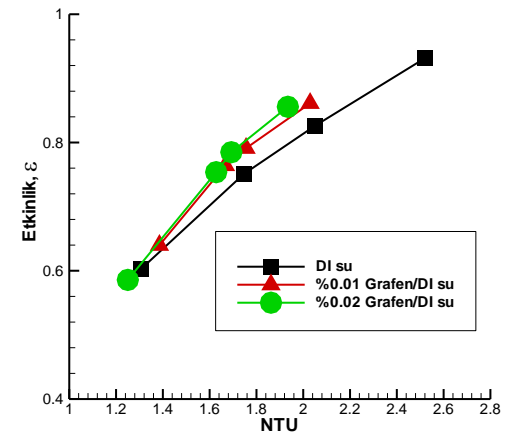
a)



b)

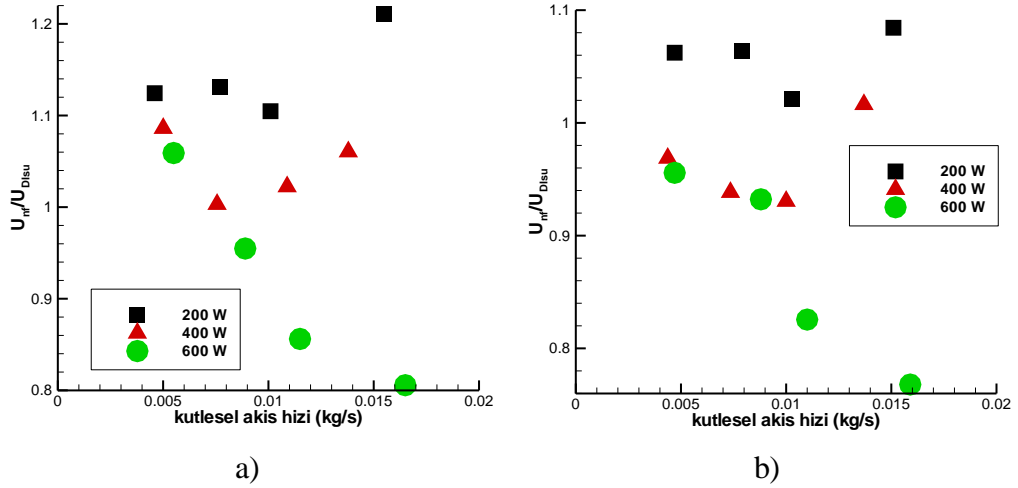


c)



d)

Şekil 3.14 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değıştiricisinden kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanının 600 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile değışimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değışimi.



Şekil 3.15 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanailli ısı değiştiricisinden a) kütlege %0.01 ve b) %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 200 W, 400 W ve 600 W ısı yüklerinde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.

3.3 Karbon Nanotüp Nanoşerit (Ribon)/DI Su Nanoakışkanlarının Mikrokanailli Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri

Bu bölümde ticari olarak temin edilen 20-30nm çapında çok duvarlı karbon nanotüp nanomalzemelerin iyileştirilmiş Hummers metodu ile boylamasına açılması ile sentezlenen ve literatürde Ribon olarak adlandırılan karbon nanotüp nanoşerit nanoparçacıklar kullanılarak kütlege %0.005-%0.02 fraksiyon oranlarında üretilen DI su tabanlı nanoakışkanların 200-600W ısı yükleri altında mikrokanailli ısı değiştiricisindeki performans testlerinden elde edilen sonuçlar sunularak ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır.

Nanoakışkanların ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanılabilmeleri için farklı işletim koşulları altında uzun süre kararlılıklarını koruyabilmeleri gerekmektedir. Bir önceki bölümde detaylandırıldığı üzere durgun taban akışkanı içerisinde yüksek kararlılığa sahip olan Grafen oksit/DI su nanoakışkanları, ısı değiştiricisinde gerçekleştirilen deneylerden sonra kararlılıklarını kaybetmişlerdir. Bunun temel sebebinin yüksek ısı akısı üreten yüzey ile temas eden Grafen oksit nanoparçacıkların şişerek polimerleştiği ve Grafen nanoparçacıklara hidrofilik özelliği kazandıran hidroksil (OH) gruplarının Grafen yüzeylerinden kopması sonucu kaynaklanabileceği vurgulanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde Grafen oksit nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanlar yüksek ısı akısı üreten

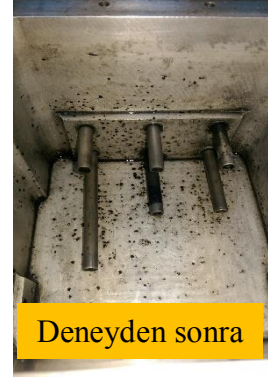
yüzeylerde kararlılıklarını kaybettiklerinden dolayı ısı aktarım akışkanı olarak kullanılamayacakları sonucuna varılmıştır. Şekil 3.16 (a-c) sırası ile kütlece %0.005, %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında üretilen karbon nanotüp nanoşerit/DI su nanoakışkanlarının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumlarını göstermektedir. Şekillerden açıkça görüleceği üzere 200 W ısı yükü altında ve kütlece üç farklı fraksiyon oranlarında Ribon içeren DI su tabanlı nanoakışkanlar kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde Ribon/DI su nanoakışkanlarının kararlılıklarını kaybetmedikleri gözlemlenmiştir. Bunlara ilaveten Ribon/DI su nanoakışkanlarının yüksek ısı akısı üreten yüzeylere teması sonucu kararlılıklarının incelenmesine yönelik 400W ve 600W ısı yükleri altında benzer deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.17 (a) ve (b) bu amaç doğrultusunda sırası ile 400W ve 600W ısı yükleri altında kütlece %0.005 Ribon içeren DI su tabanlı nanoakışkanın gerçekleştirilen deneylerden önceki ve sonraki durumlarını göstermektedir. Şekillerden görüleceği üzere belirtilen ısı yüklerinde dahi Ribon/DI su nanoakışkanı kararlılığını kaybetmemiştir.

Karbon nanotüp nanoşerit yukarıda belirtildiği üzere çok duvarlı karbon nanotüplerin boylamasına açılması ile üretilen nanomalzemedir. Diğer bir ifade ile Karbon nanotüp Grafen'in silindir hale getirilmiş hali olduğundan, Ribon aynı zamanda Grafen olarak adlandırılmaktadır. Grafen oksit ve Ribon iki-boyutlu plaka şeklinde olduklarından ve ayrıca yüzeylerine bağlı hidroksil grupları bulunduğu için diğer metal ve metal oksit nanoparçacıklara oranla DI su taban akışkanı içerisinde oldukça kararlıdır. Gerek Şekil 3.16 gerekse Şekil 3.17'de verilen sonuçlardan görüleceği üzere Ribon/DI su nanoakışkanı, Grafen/DI su nanoakışkanlarının yüksek ısı akısı üreten yüzeylerdeki teması sonucu göstermiş olduğu kararsızlık özelliğini göstermemektedir. Sonuç olarak tez kapsamında gerçekleştirilen deneyler neticesinde, Ribon nanoparçacıklar ile üretilen DI su tabanlı nanoakışkanlar farklı işletim koşulları altında bile kararlılıklarını koruduklarından ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak güven ile kullanılabilir nanoakışkanlardır.



Soldan sağa: Deneden önce ve birinci çevrimden sonra

(a)



Soldan sağa: Deneden önce ve birinci çevrimden sonra

(b)



Soldan sağa: Deneden önce ve birinci çevrimden sonra

(c)

Şekil 3.16 Ktlice a) %0.005, b) %0.01 ve c) %0.02 bölüntü oranında hazırlanan Ribon /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.



(a)

Soldan sağa: Deneyden önce ve birinci çevrimden sonra



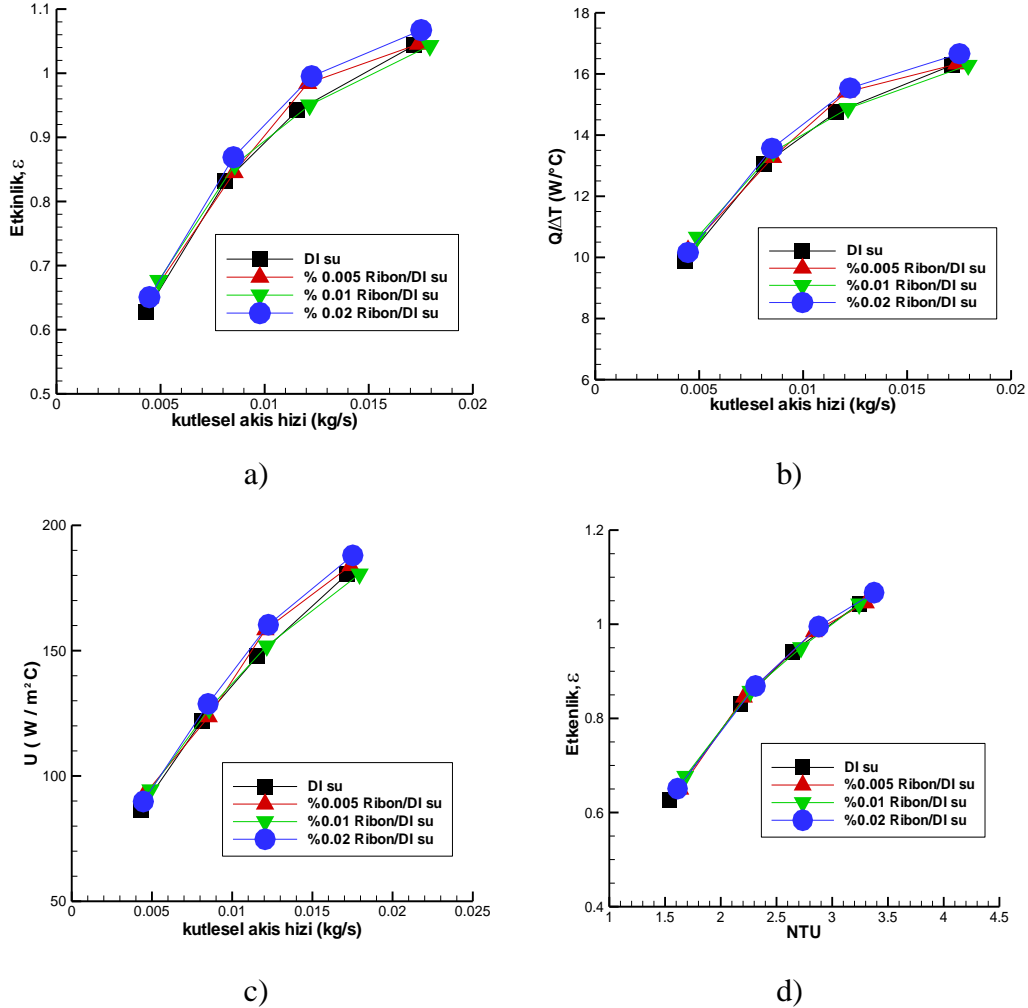
(b)

Soldan sağa: Deneyden önce ve birinci çevrimden sonra

Şekil 3.17 Kütlece %0.005 bölüntü oranında hazırlanan Ribon /DI su nanoakışkanının a) 400W ve b) 600W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.

Şekil 3.18 (a-d) sırası ile 200W ısı yükünde kütlece %0.005-%0.02 fraksiyon oranlarında üretilen DI su tabanlı nanoakışkanların ısı değiştiricisinden hesaplanan etkinlik, performans ve tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile ve etkinlik değerinin transfer birim sayısı (NTU) ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.18’de verilen veriler ayrıntılı irdelendiğinde; i) Grafen/DI su nanoakışkanında gözlemlendiği üzere ısı değiştiricisi etkinlik faktörü ile performans değerlerinin kütleli akış hızı ile değişimi nitel olarak birbirlerine benzemesine karşın nicel olarak birbirinden farklı çıkmıştır. Bunlara ilaveten 200W ısı yükü altında hesaplanan etkinlik ve performans değerleri kütlece fraksiyon değeri arttıkça çok az artış göstermiştir; ii) benzer şekilde toplam ısı aktarım sayısı, U , kütlece Ribon fraksiyon oranı ve kütleli akış hızı artışı arttıkça artmıştır. Şekil 3.13 (c)’den görüleceği üzere DI su taban akışkanına göre toplam ısı aktarım katsayısındaki en yüksek artış miktarı kütlece %0.02 Ribon içeren nanoakışkanda gözlemlenmiştir; iii) Şekil 3.12 (d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı (NTU) ile değişimini göstermektedir. Bir önceki bölümde belirtildiği üzere NTU, logaritmik ortalama sıcaklık farkının hesaplanması için gerekli olan veri olmadığında ısı değiştiricisi ısı aktarım performansının hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir. Şekilden de

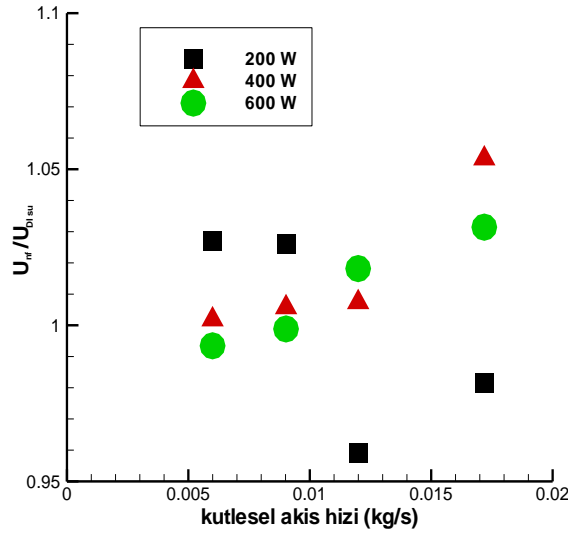
görülebileceği üzere NTU-ε değişimi çalışılan tüm nanoparçacık konsantrasyonları için yaklaşık aynı çıkmıştır.



Şekil 3.18 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında Ribon/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısı performans değerinin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütlese akış hızı ile değişimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimi.

Şekil 3.19, kütlece %0.005 bölüntü aralığında Ribon/DI su nanoakışkanlarının 200W, 400W ve 600W ısı yükleri altında mikrokanallı ısı değiştiricisinden elde edilen tüm ısı aktarım katsayısının, aynı işletim koşullarında DI su taban akışkanına göre artış oranının kütlese akış hızı ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.19'da verilen veriler ayrıntılı olarak irdelendiğinde: i) yüksek ısı yüklerinde tüm ısı

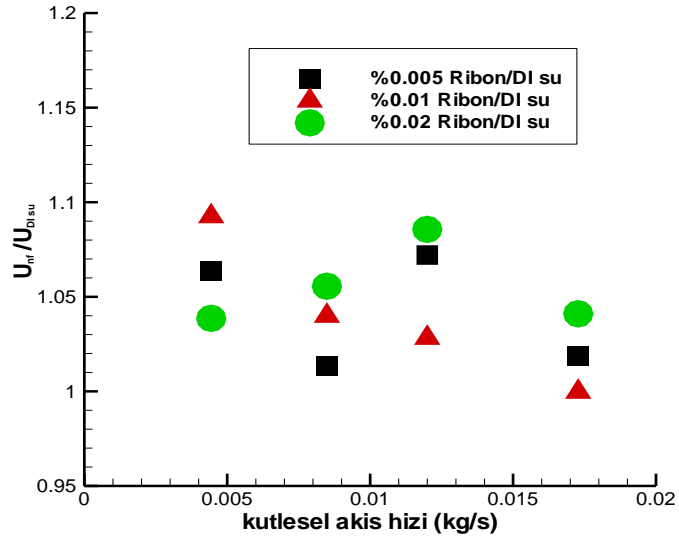
aktarım katsayısındaki artış oranı kütleli akış oranı ile doğrusal değişim gösterirken, düşük ısı yükünde ise 200W, tüm ısı aktarım katsayısı belli bir kütleli akış hızından sonra azalma eğilimi vermiştir; ii) düşük kütleli akış hızlarında tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı düşük ısı yükünde yüksek ısı yüküne göre daha yüksek çıkmasına karşın akış hızı arttıkça artış oranı yüksek ısı yüklerinde daha yüksek çıkmıştır; iii) bilindiği üzere karbon tabanlı nanoakışkanların ısı iletkenliği sıcaklıkla değişmektedir. Diğer bir ifade ile karbon tabanlı nanoakışkanların ısı iletkenliklerindeki taban akışkanına göre artış oranı sıcaklık arttıkça doğrusal olarak artmaktadır. Bu kapsamda sabit nanoparçacık fraksiyonlarında çalışma akışkanı sıcaklığı arttırıldığında ısı değiştiricisinden elde edilen tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranının artması gerekir. Buna karşın Şekil 3.19'da görüleceği üzere düşük kütleli akış hızlarında tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı düşük ısı yükü işletme koşullarında yüksek ısı yüküne göre daha düşük çıkmıştır. Bunun temel sebebinin kullanılan çok düşük Ribon konsantrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.19 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının 200 W, 400W ve 600 W ısı yüklerinde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.

Nanoakışkan içerisindeki kütlece yüzde Ribon bölüntü oranının tüm ısı aktarım katsayısı artış oranına olan etkisinin incelenmesi amacı ile kütlece %0.005-%0.02

bölüntü aralığında Ribon/DI su nanoakışkanlarının 200W, ısı yükü altında mikrokanallı ısı değiştiricisinden elde edilen sonuçlar Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Ribon/DI su nanoakışkanının taban akışkanına göre tüm ısı aktarım katsayısındaki en yüksek artış oranı %10 olarak çalışılan en düşük kütleli akış hızında bulunmuştur. Tüm ısı aktarım katsayısındaki, DI su taban akışkanına göre artış oranı en düşük kütleli akış hızı hariç çalışan diğer tüm kütleli akış hızlarında en yüksek Ribon konsantrasyonu için gözlemlenmiştir.



Şekil 3.20 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında Ribon/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.

Çizelgeler 3.12, 3.13 ve 3.14 sırası ile dört farklı kütleli akış hızında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.005, %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Ribon/DI su nanoakışkanlarının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş çıkış sıcaklıklarını, basınçlarını ve farklarını listelemektedir. Bunlara ilaveten hava tarafı giriş çıkış sıcaklıkları ile farkları Çizelgelerin (c) şikkında listelenmiştir. Çizelgelerde verilen sonuçlar ayrıntılı olarak tartışıldığında şu yargılara ulaşılmıştır: i) Grafen/DI su çalışma akışkanında gözlemlendiği üzere Ribon/DI su çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı düşük kütleli akış hızlarında nanoakışkan konsantrasyonu ile çok az değişmiş buna karşın akış hızı arttırıldığında değişim azalmıştır; ii) çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş-çıkış sıcaklık farkı tüm

kütleli akış hızlarında Ribon nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça çok az değişmiştir; iii) beklendiği üzere basınç düşüşü hem kütleli akış hızı arttıkça hem de Ribon nanoparçacık konsantrasyonu ile çok az artış göstermiştir.

Çizelge 3.12 Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0044	38.6527	31.6455	7.0073
0.0085	36.5635	32.1546	4.4088
0.0120	35.5985	31.9611	3.6375
0.0173	34.9232	32.4056	2.5175

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0044	2.0086	1.6111	0.3975
0.0085	2.0382	1.6230	0.4152
0.0120	2.1580	1.7106	0.4474
0.0173	2.4174	1.9069	0.5105

c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	25.9220	34.2127	8.2907
0.0156	25.7256	34.0795	8.3538
0.0155	25.2453	33.9668	8.7215
0.0155	25.1095	33.9789	8.8694

Çizelge 3.13 Farklı kütlele akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütlele akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0049	38.1614	31.1068	7.0545
0.0085	37.4034	32.9514	4.4520
0.0121	37.9164	34.6199	3.2965
0.0178	37.3597	34.9550	2.4047

b)

Kütlele akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0049	2.1351	1.7904	0.3446
0.0085	2.1821	1.7933	0.3887
0.0121	2.2987	1.8305	0.4682
0.0178	2.5421	1.9940	0.5481

c)

Kütlele akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	25.3177	33.5622	8.2445
0.0156	26.6788	34.9647	8.2859
0.0155	27.7861	36.3915	8.6054
0.0155	27.6638	36.4023	8.7385

Çizelge 3.14 Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0045	38.5961	31.5851	7.0110
0.0085	36.6389	32.0483	4.5906
0.0123	36.0335	32.4636	3.5698
0.0175	35.2429	32.6931	2.5498

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0045	2.0516	1.6315	0.4201
0.0085	2.0819	1.6420	0.4399
0.0123	2.1795	1.7094	0.4701
0.0175	2.4233	1.8907	0.5325

c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	25.7704	34.0089	8.2385
0.0156	25.7739	34.1646	8.3907
0.0155	25.7855	34.4463	8.6607
0.0155	25.5320	34.2971	8.7651

Çizelgeler 3.15 ve 3.16 sırası ile dört farklı kütleli akış hızında ve kütlece %0.005 bölüntü oranında 400W ve 600W ısı yükleri altında Ribon/DI su nanoakışkanlarının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş çıkış sıcaklıklarını, basınçlarını ve farklarını listelemektedir. Bunlara ilaveten hava tarafı giriş çıkış sıcaklıkları ile farkları Çizelgelerin (c) şikkında listelenmiştir. Beklendiği üzere ısıtma/genleşme tankına verilen ısı yükü arttırıldığında çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş-çıkış sıcaklık farkı artmıştır. Sıcaklık artışı ile sıvıların viskoziteleri azaldığından, sabit Ribon parçacık konsantrasyonunda ısı değiştiricisinde ölçülen basınç düşüşü ısı yükü arttıkça azalması gerekirken çok az artış eğilimi göstermiştir.

Çizelge 3.15 Farklı kütleli akış hızlarında ve 400 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0060	47.9771	34.4126	13.5645
0.0090	44.3957	35.6096	8.7861
0.0120	42.8705	36.3005	6.5700
0.0172	41.7796	37.0152	4.7645

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0060	1.9844	1.5237	0.4608
0.0090	2.0995	1.5837	0.5158
0.0120	2.2420	1.6766	0.5654
0.0172	2.5417	1.8740	0.6678

c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	22.8035	37.6330	14.8295
0.0156	22.8175	37.8833	15.0657
0.0155	22.7801	38.0165	15.2365
0.0155	22.7874	38.2489	15.4615

Çizelge 3.16 Farklı kütleli akış hızlarında ve 600 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranındaki Ribon/DI su nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0060	63.2561	42.0145	21.2416
0.0090	57.8103	43.7747	14.0355
0.0120	54.7905	44.4263	10.3642
0.0172	52.4839	45.2186	7.2653

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0060	2.0313	1.5221	0.5092
0.0090	2.1349	1.5676	0.5674
0.0120	2.2791	1.6543	0.6248
0.0172	2.5967	1.8463	0.7505

c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	22.9842	45.4770	22.4928
0.0156	23.0065	45.9430	22.9365
0.0155	22.8133	45.9322	23.1189
0.0155	22.7067	46.0072	23.3005

3.4 Asit ile Muamele Edilmiş Çok duvarlı Karbon Nanotüp /DI Su Nanoakışkanlarının Mikrokanallı Isı Değiştiricisindeki Performans Testleri

Bu bölümde çalışma kapsamında son olarak incelenen asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AMWCNT) nanoparçacıklar ile kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında üretilen DI su tabanlı nanoakışkanların mikrokanal ısı değiştiricisinde 200W ısı yükünde ve farklı kütleli akış hızlarında elde edilen sonuçlar sunularak tartışılmıştır. Karbon nanotüp nanoparçacıklar DI su taban akışkanı içerisinde çok iyi dağılmayarak iki faz oluştururlar. Karbon nanotüp nanoparçacıkların DI su içerisindeki kararlılıklarının artırılması için H_2SO_4 ve/veya hacimce 1:3 oranında HNO_3/H_2SO_4 ait karışımı ile belli bir süre muamele edilir. Asit ile muamele edilen karbon nanotüp nanoparçacıkların hidrofilik özelliği artırılarak DI su taban akışkanı içerisinde istenilen kütleli bölüntü oranlarında dağılması sağlanır. Şekil 3.21 (a-c) sırası ile kütlece %0.005, %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında üretilen AMWCNT/DI su nanoakışkanlarının 200W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumlarını göstermektedir. Şekillerden görüleceği üzere çalışılan tüm AMWCNT nanoparçacık konsantrasyonlarındaki AMWCNT/DI su nanoakışkanları kararlılıklarını korumuşlardır. Sonuç olarak yüksek lisans tezi kapsamında çalışılan karbon tabanlı nanoparçacıklardan Ribon ve AMWCNT nanoparçacıklar ile üretilen DI su tabanlı nanoakışkanlar farklı işletim koşulları altında kararlılıklarını koruduklarından ısı değiştiricilerinde ısı aktarım akışkanı olarak kullanılabilirler.



Soldan sağa: Deneden önce ve birinci çevrimden sonra



Deneden nce



Deneden sonra

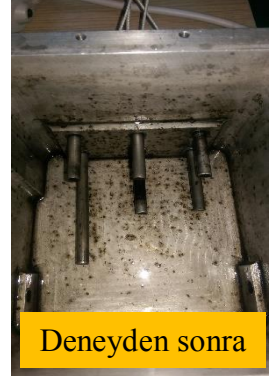
(a)



Soldan sağa: Deneden önce ve birinci çevrimden sonra



Deneden nce



Deneden sonra

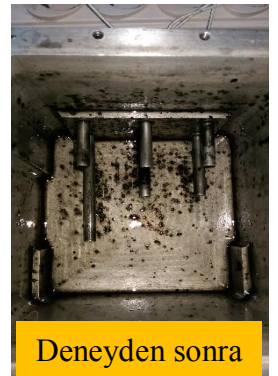
(b)



Soldan sağa: Deneden önce ve birinci çevrimden sonra



Deneden önce

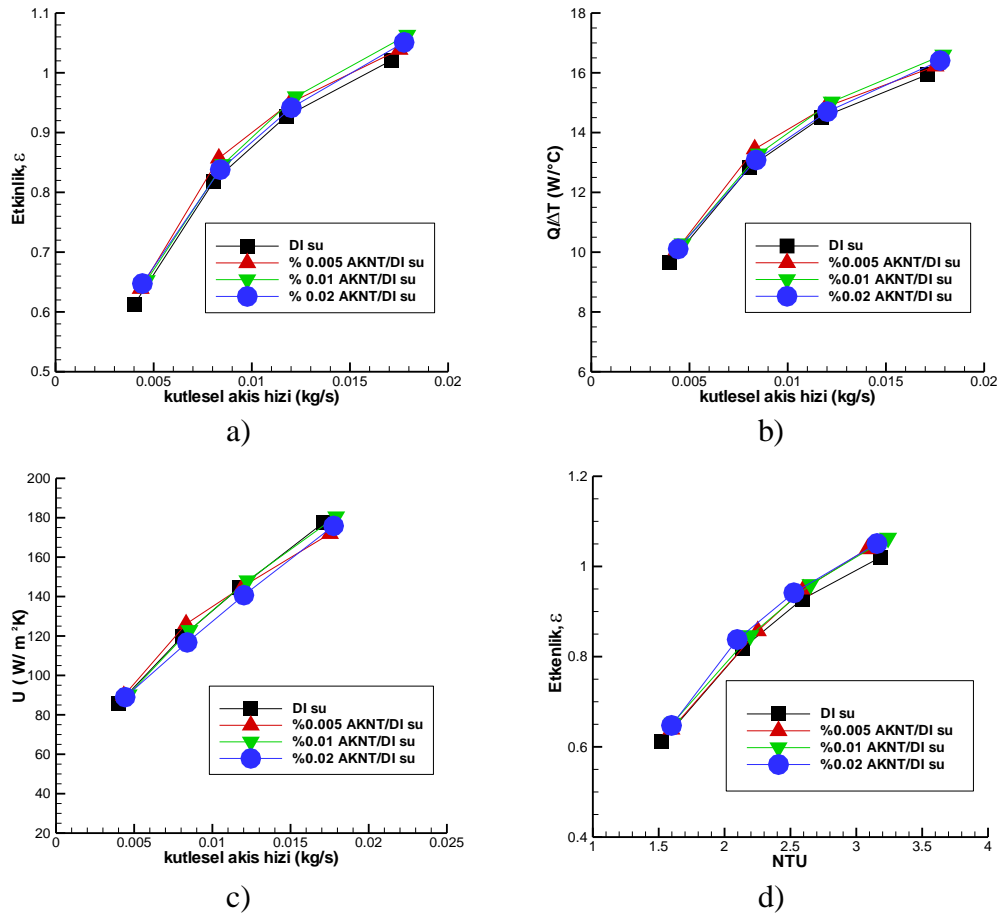


Deneden sonra

(c)

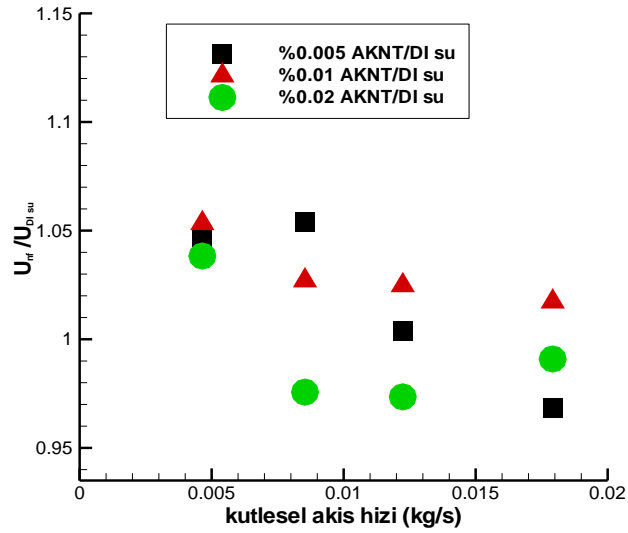
Şekil 3.21 Ktlce a) %0.005, b) %0.01 ve %0.02 bölüntü oranında hazırlanan asit ile muamele edilmiş MWCNT /DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneylerden önce ve sonraki durumu.

Şekil 3.22 (a-d) sırası ile 200W ısı yükü altında kütlece %0.005-%0.02 fraksiyon aralığında üretilen AMWCNT/DI su nanoakışkanların ısı değiştiricisinden hesaplanan etkinlik, performans ve tüm ısı aktarım katsayılarının kütleli akış hızı ile ve etkinlik değerinin transfer birim sayısı (NTU) ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.22’de verilen veriler ayrıntılı irdelendiğinde; i) farklı konsantrasyonlarda AMWCNT/DI su nanoakışkanı için hesaplanan ısı değiştiricisi etkinlik faktör değerinin kütleli akış hızı ile değişimi taban akışkanı ile yaklaşık aynı çıkmıştır; ii) benzer davranış hesaplanan toplam ısı aktarım katsayısı içinde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.22 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında AMWCNT/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde a) etkinlik faktörünün, b) ısıl performans değerinin, c) tüm ısı aktarım katsayısının kütleli akış hızı ile değişimi, d) etkinlik faktörünün transfer birim sayısı ile değişimi.

Şekil 3.23, kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında AMWCNT/DI su nanoakışkanlarının 200W ısı yükü altında mikrokanallı ısı değiştiricisinden elde edilen tüm ısı aktarım katsayısının, aynı işletim koşullarında DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.23’de verilen veriler ayrıntılı olarak irdelendiğinde: i) tüm ısı aktarım katsayısındaki en yüksek artış oranı yaklaşık %6 olarak düşük kütleli akış hızında ve çalışılan en düşük AMWCNT nanoparçacık konsantrasyonu için hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuç neticesinde çalışılan üç farklı karbon tabanlı nanoakışkanlar içerisinde aynı konsantrasyon ve işletme koşullarında mikrokanal ısı değiştiricisi için tüm ısı aktarım katsayısındaki en yüksek değer Grafen nanoparçacıklar kullanılarak üretilen nanoakışkanlar için elde edilmiştir; ii) düşük kütleli akış hızlarında tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı düşük AMWCNT nanoparçacık konsantrasyonları için yüksek çıkmış, buna karşın akış hızı arttırıldığında tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı yüksek nanoparçacık konsantrasyonları için daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 3.23 Çapraz akışlı hava soğutmalı mikrokanallı ısı değiştiricisinden kütlece %0.005-%0.02 bölüntü aralığında AMWCNT/DI su nanoakışkanının 200 W ısı yükünde tüm ısı aktarım katsayısının DI su taban akışkanına göre artış oranının kütleli akış hızı ile değişimi.

Çizelgeler 3.17, 3.18 ve 3.19 sırası ile dört farklı kütleli akış hızında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.005, %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında AMWCNT/DI su nanoakışkanlarının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş çıkış sıcaklıklarını,

basınçlarını ve farklarını listelemektedir. Bunlara ilaveten hava tarafı giriş çıkış sıcaklıkları ile farkları Çizelgelerin (c) şikkında listelenmiştir. Çizelgelerde verilen sonuçlar ayrıntılı olarak tartışıldığında şu yargılara ulaşılmıştır: i) diğer karbon tabanlı nanoakışkanlarda gözlemlendiği üzere AMWCNT /DI su çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı düşük kütleli akış hızlarında nanoakışkan konsantrasyonu ile çok az değişmiş buna karşın akış hızı arttırıldığında değişim azalmıştır; ii) çalışma akışkanının ısı değiştiricisine giriş-çıkış sıcaklık farkı tüm kütleli akış hızlarında AMWCNT nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça çok az değişmiştir; iii) beklendiği üzere basınç düşüşü hem kütleli akış hızı arttıkça hem de AMWCNT nanoparçacık konsantrasyonu ile çok az artış göstermiştir.

Çizelge 3.17 Farklı kütleli akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.005 bölüntü oranında asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AMWCNT) içeren DI su tabanlı nanoakışkanının mikrokanal ısı değiştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütleli akış hızı (kg/s)	$T_{giriş}$ ($^{\circ}C$)	$T_{çıkış}$ ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)
0.0043	37.6670	30.5385	7.1285
0.0083	35.7071	30.9387	4.7684
0.0119	34.7475	31.2472	3.5004
0.0175	34.0987	31.6043	2.4945

b)

Kütleli akış hızı (kg/s)	$p_{giriş}$ (bar)	$p_{çıkış}$ (bar)	Δp (bar)
0.0043	1.9962	1.5421	0.4541
0.0083	2.0620	1.5768	0.4852
0.0119	2.1868	1.6577	0.5291
0.0175	2.4772	1.8610	0.6162

c)

Kütleli akış hızı (kg/s)	$T_{giriş}$ ($^{\circ}C$)	$T_{çıkış}$ ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)
0.0156	24.6667	33.0773	8.4105
0.0156	24.6091	33.0616	8.4525
0.0155	24.3329	32.9408	8.6079
0.0155	24.2803	32.9769	8.6966

Çizelge 3.18 Farklı kütlelesel akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.01 bölüntü oranında asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AMWCNT) içeren DI su tabanlı nanoakışkanının mikrokanal ısı değıştircisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, b) basınçları ve basınç farkları, c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütlelesel akış hızı (kg/s)	$T_{giriş}$ ($^{\circ}C$)	$T_{çıkış}$ ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)
0.0046	37.4661	30.5675	6.8985
0.0085	35.6467	31.0658	4.5809
0.0122	34.7943	31.3449	3.4494
0.0179	34.1867	31.6577	2.5290

b)

Kütlelesel akış hızı (kg/s)	$p_{giriş}$ (bar)	$p_{çıkış}$ (bar)	Δp (bar)
0.0046	2.0663	1.6175	0.4488
0.0085	2.1285	1.6524	0.4761
0.0122	2.2479	1.7256	0.5223
0.0179	2.5102	1.9169	0.5933

c)

Kütlelesel akış hızı (kg/s)	$T_{giriş}$ ($^{\circ}C$)	$T_{çıkış}$ ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)
0.0156	24.4995	32.9196	8.4202
0.0156	24.4170	33.0181	8.6011
0.0155	24.4331	33.0530	8.6199
0.0155	24.3448	33.1358	8.7910

Çizelge 3.19 Farklı kütlelesel akış hızlarında ve 200 W ısı yükü altında kütlece %0.02 bölüntü oranında asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (AMWCNT) içeren DI su tabanlı nanoakışkanının mikrokanal ısı değıştiricisine giriş ve çıkış a) sıcaklıkları ve sıcaklık farkları b) basınçları ve basınç farkları c) hava tarafı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.

a)

Kütlelesel akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0044	37.8140	30.5870	7.2270
0.0084	35.9550	31.2380	4.7170
0.0120	35.0070	31.4630	3.5440
0.0178	34.2210	31.6470	2.5740

b)

Kütlelesel akış hızı (kg/s)	p _{giriş} (bar)	p _{çıkış} (bar)	Δp (bar)
0.0044	1.9524	1.5057	0.4466
0.0084	2.0604	1.5723	0.4881
0.0120	2.1896	1.6659	0.5238
0.0178	2.4797	1.8687	0.6110

c)

Kütlelesel akış hızı (kg/s)	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	ΔT (°C)
0.0156	24.7600	33.0245	8.2645
0.0156	24.5605	33.0152	8.4548
0.0155	24.2580	33.0742	8.8162
0.0155	24.1270	33.1022	8.9752

4. GENEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, tasarımı ASELSAN A.Ş. tarafından gerçekleştirilen hava soğutmalı çapraz akışlı mikrokanal ısı değiştiricisinde, DI su taban akışkanı içerisine kütlece %0.005-%0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit, Ribon ve asit ile muamele ettirilmiş çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıklar dağıtılarak üretilmiş olan nanoakışkanların ısı aktarım performansları incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Durgun taban akışkanı içerisinde oldukça kararlı olan Grafen oksit/DI su nanoakışkanı ısı değiştiricisinde gerçekleştirilen deneylerden sonra kararlılığını kaybetmiştir.
- Gerçekleştirilen kapsamlı incelemelerden sonra Grafen oksit nanoparçacıkların yüksek ısı akısı üreten yüzey ile uzun süre teması sonucu nanoparçacıkların şişerek polimerleştiği ve Grafen nanoparçacıklara bağlı olan hidroksil (OH) gruplarının koptuğu ve bunun sonucunda kararlılıklarını kaybettikleri sonucuna varılmıştır.
- Kütlece %0.01-%0.03 bölüntü aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanları için 200 W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının DI su taban akışkanına göre toplam ısı aktarım katsayısını işletme koşullarına bağlı olarak kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit içeren nanoakışkanlar için sırası ile %16-21 ve %2-8 aralığında arttırdığı bulunmuştur. Buna karşın kütlece %0.03 bölüntü oranında Grafen oksit içeren nanoakışkan da ise çalışılan kütleli akış hızına bağlı olarak DI su taban akışkanından yaklaşık %2-10 aralığında daha düşük çıkmıştır.
- Kütlece %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 200 W, 400 W ve 600 W ısı yüklerinde elde edilen tüm ısı aktarım katsayısının, DI su taban akışkanına göre artış oranının sabit kütleli akış hızında sisteme verilen ısı yükü arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.
- Kütlece %0.005, %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında üretilen karbon nanotüp nanoşerit (Ribon)/DI su nanoakışkanlarının 200W, 400W ve 600W ısı yükleri altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda kararlılıklarını kaybetmedikleri gözlemlenmiştir.

- Ribon/DI su nanoakışkanı yüksek ısı yüklerinde tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı kütleli akış hızı ile doğrusal değişim gösterirken, düşük ısı yükünde ise, 200W, tüm ısı aktarım katsayısı belli bir kütleli akış hızından sonra azalma eğilimi vermiştir. Düşük kütleli akış hızlarında tüm ısı aktarım katsayısındaki artış oranı düşük ısı yükünde yüksek ısı yüküne göre daha yüksek çıkmasına karşın akış hızı arttıkça artış oranı yüksek ısı yüklerinde daha yüksek çıkmıştır.
- Ribon/DI su nanoakışkanının taban akışkanına göre tüm ısı aktarım katsayısındaki en yüksek artış oranı %10 olarak, çalışılan en düşük kütleli akış hızında bulunmuştur.
- Kütlece %0.005, %0.01 ve %0.02 bölüntü oranlarında üretilen asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp/DI su nanoakışkanlarının 200W ısı yükü altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda kararlılıklarını kaybetmedikleri gözlemlenmiştir.
- Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp/DI su nanoakışkanının su taban akışkanına göre tüm ısı aktarım katsayısındaki en yüksek artış oranı yaklaşık %6 olarak, çalışılan düşük kütleli akış hızında ve çalışılan en düşük AMWCNT nanoparçacık konsantrasyonu için hesaplanmıştır.
- Sonuç olarak yüksek lisans tezi kapsamında çalışılan karbon tabanlı nanoparçacıklardan Ribon ve AMWCNT nanoparçacıkları ile üretilen DI su tabanlı nanoakışkanlar farklı işletim koşulları altında kararlılıklarını koruduklarından ısı değiştiricilerinde ısı aktarım akışkanı olarak kullanılabilirler.

KAYNAKLAR

- Aghayari R., Maddah H., Ashori F., Hakminejad A., Aghili M.**, (2014), Effect of Nanoparticles on Heat Transfer in Mini Double-Pipe Heat Exchangers in Turbulent Flow, *Heat Mass Transfer*, 10.1007/s00231-014-1415-0.
- Akhtari M., Haghshenasfard M., Talaie M.R.**, (2013), Numerical and experimental Investigation of Heat Transfer of α -Al₂O₃/Water Nanofluid in Double Pipe and Shell and Tube Heat Exchangers, *Numerical Heat Transfer*, Part A, 63:941-958.
- Albadr J., Tayal S., Alasadi M.**, (2013), Heat Transfer through Heat Exchanger Using Al₂O₃ Nanofluid at Different Concentrations, *Case Studies in Thermal Engineering*, 1, 38-44.
- Anoop K., Cox J., Sadr R.**, (2013), Thermal Evaluation of Nanofluid in Heat Exchanger, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 49, 5-9.
- Chandrasekar M., Suresh S.**, (2009), A Review on The Mechanisms of Heat Transport in Nanofluids, *Heat Transfer Engineering*, 30, 1136-1150.
- Choi S.U.S.**, (1995), Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles in Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, *American Society of Mechanical Engineers*, Newyork, FED, 23, 99-105.
- 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, *Journal of Chemical Engineering*, 25(5), 966-971.
- Çetin M.**, (2010), Design and experimental Investigation of a Microchannel Heat Exchanger, M.Sc, METU.
- Das S.K., Putra N., Thiesen P., Roetzel W.**, (2003), Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids, *Transactions of The ASME, Journal of Heat Transfer*, 125, 567-574.
- Dasgupta E.S., Siddiqui F.A., Quaiyum A., Al-Obaidi S.A., Farjad A.**, (2013), Experimental Study on Air Cooling Via a Multiport Mesochannel Cross-Flow Heat Exchanger, *Heat Transfer Engineering*, 34(2-3):213-222.
- Dasgupta E.S., Aksar S., Ismail M., Farjad A., Quaiyum A.**, (2012), Air Cooling by Multiport Slabs Heat Exchanger: An Experimental Approach, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 42, 46-54.
- Duangthongsuk W., Wongwies S.**, (2008), Effect of Thermophysical Properties Models on The Predicting of The Convective Heat Transfer Coefficient for Low Concantration Nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35, 1320-1326.
- Duangthongsuk W., Wongwies 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.
- Elias M.M., Shahrul I.M., Mahbulul I.M., Saidur R., Rahim N.A.**, (2014), Effect of Different Nanoparticle Shapes on Shell and Tube Heat Exchanger Using Different Baffle Angles and Operated with Nanofluid, *International Journal of Heat and mass Transfer*, 70, 289-297.

- Farajollahi B., Etemad S.Gh., Hojjat M.,** (2010), Heat Transfer of Nanofluids in A Shell and Tube Heat Exchanger, *International Journal of Heat and mass Transfer*, 53, 12-17.
- Fard M.H., Talaie M.R., 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, 1, 183-194.
- Ghozatloo A., Rashidi A., Shariaty-Niassar M.,** (2014), Convective Heat Transfer Enhancement of Graphene Nanofluids in Shell and Tube Heat Exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 53, 136-141.
- Hung Y.H., Teng T.P., Teng T.C., Chen J.H.,** (2012), Assessment of Heat Dissipation Performance for Nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 32, 132-140.
- Javadi F.S., Sadeghipour S., Saidur R., Boroumandjazi G., Rahmati B., Elias M.M., Sohel M.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.
- Jwo C.S., Jeng L.Y., Teng T.P., Chen C.C.,** (2010), Performance of Overall Heat Transfer in Multi-Channel Heat Exchanger by Alumina Nanofluid, *Journal of Alloys and Compounds*, 5045, 5385-5288.
- Kabell A.E., Abou El Maaty T., El Samadony Y.,** (2013), The Effect of Using Nano-Particle on Corrugated Plate Heat Exchanger Performance, *Applied Thermal Engineering*, 52, 221-229.
- Kandlikar S.G., Grande W.J.,** (2003), Evolution of Microchannel Flow Passages- Thermohydraulic Performance and Fabrication Technology, *Heat Transfer Engineering*, 24, 3-17.
- Khariul M.A., Alim M.A, Mahbubul I.M., Saidur R., Hepbasli A., Hossain A.,** (2014), Heat Transfer Performance and Energy Analyses of A Corrugated Plate Heat Exchanger Using Metal Oxide Nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50, 8-14.
- Khedkar R.S., Sonaware S.S., Wasewar K.L.,** (2014), Heat Transfer Study on Concentric Tube Heat Exchanger using TiO₂-Water Based Nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 163-169.
- Lofti R., Rashidi A.M., Amrollahi A.,** (2012), Experimental Study on The Heat transfer Enhancement of MWCNT-Water Nanofluid in A Shell and Tube Heat Exchanger, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 108-111.
- Mare T., Halefadi S., Sow O., Estelle P., Duret S., Bazantay F.,** (2011), Comparison of The Thermal Performances of Two Nanofluids at Low Temperature in A Plate Heat Exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 1535-1543.
- Mehendale S.S., Jacobi A.M., Shah R.K.,** (2000), Fluid Flow and Heat Transfer at Micro and Meso-Scales with Applications to Heat Exchanger Design, *Applied Mechanics Reviews*, 53, 175-193.
- Mohammed H.A., Bhaskaran G., Shuaib N.H., Saidur R.,** (2011), Heat Transfer and Fluid Characteristics in Microchannels Heat Exchanger Using Nanofluids: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1502-1512.

- Naraki M., Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Vermahmoudi Y.,** (2013), Parametric Study of Overall Heat Transfer Coefficient of CuO/water Nanofluids in a Car Radiator, *International Journal of Thermal Science*, 52, 82-90.
- Obot N.T.,** (2003), Toward a Better Understanding of Friction and Heat/Mass Transfer in Microchannels-A Literature Review, *Microscale Thermophysical Engineering*, 6, 155-173.
- 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.
- Pantzali M.N., Mouza A.A., Paras S.V.,** (2009), Investigating The Efficacy of Nanofluids as Coolants in Plate Heat Exchangers (PHE), *Chemical Engineering Science*, 64, 3290-3300.
- Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Hoseini S.H., Seifi Jamnani M.,** (2011), Experimental Study of Heat Transfer Enhancement Using Water/Ethylene Glycol Based Nanofluids as a New Coolant for Car Radiators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 1283-1290.
- Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Seifi Jamnani M., Hoseini S.H.,** (2011), Improving The Cooling Performance of Automobile Radiator with Al₂O₃/Water Nanofluid, 31, 1833-1838.
- Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Naraki M., Vermahmoudi Y.,** (2013), Experimental Study of Overall Heat Transfer Coefficient in The Application of Dilute Nanofluids in The Car Radiator, *Applied Thermal Engineering*, 52, 8-16.
- Rabienataj Darzi 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, 103-112.
- Rashmi W., Khalid M., Ismail A.F., Saidur R., Rashid A.K.,** (2013), Experimental and Numerical Investigation of Heat Transfer in CNT Nanofluids, *Journal of Experimental Nanoscience*.
- Reddy M.C.S., Rao V.V.,** (2014), Experimental Investigation of Heat Transfer Coefficient and Friction Factor of Ethylene Glycol Water Based TiO₂ Nanofluid in Double Pipe Heat Exchanger with and without Helical Coil Inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50, 68-76.
- Teng T.P., Hung Y.H., Teng T.C., Chen J.H.,** (2011), Performance Evaluation on An Air-cooled Heat Exchanger for Alumina Nanofluid Under Laminar Flow, *Nanoscale Research Letters*, 6:488.
- Timofeeva E.V., Routbort J.L., Singh D.,** (2009), Particle Shape Effects on ThermoPhysical Properties of Alumina Nanofluids, *Journal of Applied Physics*, 106, paper number 014304, 10.
- Tiwari A.K., Ghosh P., Sarkar J.,** (2013), Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of CeO₂/Water Nanofluid in Plate Heat Exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 57, 24-32.
- Tuckerman D.B., Pease R.F.W.,** (1981), High-Performance Heat Sinking for VLSI, *IEEE Electron Device Letters* 2, 126-129.

Vermahmoudi Y., Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Naraki M., (2014), Experimental Investigation on Heat Transfer Performance of Fe₂O₃/Water Nanofluid in An Air-Finned Heat Exchanger, *European Journal of Mechanics B/Fluids*, 44, 32-41.

Wongcharee K., Eiamsa-ard S., (2012), Heat Transfer Enhancement by Using CuO/Water Nanofluid in Corrugated Tube Equipped with Twisted Tape, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 251-257.

Wu Z., Wang L., Sunden B., (2013), Pressure Drop and Convective Heat Transfer of Water and Nanofluids in A Double-Pipe Helical Heat Exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 60, 266-274.

Yu W., France D.M., Routbort J.L., Choi S.U.S., (2008), Review and Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancement, *Heat Transfer Engineering*, 29, 432-460.

Zamzamian A., Oskouie S.N., Doosthoseini A., Joneidi A., Pazouki M., (2011), Experimental Investigation of Forced Convective Heat Transfer Coefficient in Nanofluids Of Al₂O₃/EG and CuO/EG in A Double Pipe and Plate Heat Exchangers Under Turbulent Flow, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 495-502.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Özge ÖSTÜRK
Doğum Yeri ve Tarihi	Giresun, 07.07.1991
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas
E-posta Adresi	ozgeosturk@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Öğretmen Hüseyin Hüsnü Tekişik Anadolu Lisesi, 2009
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2013
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2015

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi	ASELSAN A.Ş. tarafından desteklenen REHİS-IA-2012-105 Nolu projede bilimsel proje uzmanı, 2014/ocak-2015/haziran (1.5 yıl)
-------------------------	--

Bilimsel Yayın ve Projeler

- 1- Mikrokanal Isı Değiştiricisinde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması, No: REHİS-IA-2012-105, ASELSAN A.Ş.
- 2- Kerim Yapıcı, Ozge Osturk, Yusuf Uludağ, Dependency of nanofluid rheology on the particle size and concentration of various oxide nanoparticles, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2015 (İnceleme).

3- Kerim Yapici, Ozge Osturk, Ronald Phillips, Rheological behavior of carboxymethyl cellulose (CMC) based TiO₂ nanofluids, 2015 (Hazırlık aşamasında).

4- Ozge Osturk, Murat Parlak, Murat Cetin, Kerim Yapici, Performance Evaluation on An Air-cooled cross flow microchannel Heat Exchanger for Graphene Nanoribbon/DI water, 2015 (hazırlık aşamasında).

Kongreler ve Bildiriler

1- Neşe Çakmak, Naciye İlhan, Esra Kütük, Özge Östürk, Kerim Yapıcı, Rheological Behaviour of TiO₂ nanoparticles dispersed in various based fluids, Nanotr9, Erzurum, 2013.

2- Fatih Eravcu, Özge Östürk, Murat Parlak, Kerim Yapıcı, Effect of the particle size on the thermal conductivity of Ethylene glycol based nanofluids containing oxide nanoparticles, Nanotr10, İstanbul, 2014.

3- Özge Östürk, Fatih Eravcu, Murat Parlak, Kerim Yapıcı, Rheological characterization of non-Newtonian based multiwalled carbon nanotubes nanofluids, Nanotr10, İstanbul, 2014.

4- Özge Östürk, Murat Parlak, Kerim Yapıcı, Karbon tabanlı nanoakışkanların hava soğutmalı çapraz akışlı mikrokanallı ısı değiştiricisindeki ısı aktarım performanslarının deneysel incelenmesi, 1. Ulusal Karbon Konferansı, İstanbul, 2015

5- Özge Östürk, Ümit Nazlı Temel, Murat Parlak, Kerim Yapıcı, Heat Transfer Performance of Graphene Nanoribbon/DI water Nanofluids in an Air-Cooled Microchannel Heat Exchanger, Nanotr11, Ankara, 2015