

**OTO RADYATÖRLERDE NANOAKIŞKAN
KULLANILARAK ISI AKTARIM
PERFORMANSININ ARTTIRILMASI**

FERHAT KILINÇ

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2015**

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

**OTO RADYATÖRLERDE NANOAKIŞKAN
KULLANILARAK ISI AKTARIM
PERFORMANSININ ARTTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Ferhat KILINÇ
(201192092004)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ertan BUYRUK

İkinci Danışman: Doç. Dr. Kerim YAPICI

**SİVAS
AĞUSTOS 2015**

Ferhat KILINÇ' ın hazırladığı ve “**Oto Radyatörlerde Nanoakışkan Kullanılarak Isı Aktarım Performansının Arttırılması**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**' nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ertan BUYRUK**
Cumhuriyet Üniversitesi

Eş/İkinci Danışman : **Doç. Dr. Kerim YAPICI**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN**
Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Beşir ŞAHİN
Çukurova Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet FERTELLİ
Cumhuriyet Üniversitesi

Yrd. Doç.Dr. Yavuz TÜRKAY
Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA 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, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-526 No' lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Ferhat KILINÇ, 2015

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.

18.08.2015

Ferhat KILINÇ

TEŞEKKÜR

Tezim başta olmak üzere yapmıŐ olduğum t¼m çalışmalar boyunca her anlamda desteğini esirgemeyen, danıŐmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ertan BUYRUK' a tez boyunca yaptığı maddi manevi katkıları, her konuda ve her zaman yanımda olduğu için sonsuz teŐekk¼rlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda yapmıŐ olduğu katkılar ve desteklerinden dolayı Doç. Dr. Kerim YAPICI' ya da teŐekk¼r ederim. Ayrıca çalışmaların baŐından beri her t¼rl¼ desteğini esirgemeyen AraÇ. Gör. Koray KARABULUT' a da teŐekk¼rlerimi sunarım.

ÖZET

OTO RADYATÖRLERDE NANOAKIŞKAN KULLANILARAK ISI AKTARIM PERFORMANSININ ARTTIRILMASI

Ferhat KILINÇ

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ertan BUYRUK

Eş Danışman: Doç. Dr. Kerim YAPICI

2015, 130+xvii sayfa

Bu doktora tez çalışmasında, nanoakışkan kullanımının oto radyatörlerin ısı aktarım performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Tüm deneyler farklı akışkan giriş sıcaklıkları (36 °C, 40 °C ve 44°C) ve farklı debilerde (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h ve 0.9 m³/h) gerçekleştirilmiştir. Deneyler için taban akışkanı olarak saf su kullanılarak hacimce %0.01 ve 0.02 konsantrasyondaki grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) nanoakışkanları elde edilmiştir. Kullanılan oto radyatörü ise stadyum kesitine sahip 36 adet yatay tüpten oluşmaktadır. Sistem sanayi tipi bir fan kullanılarak sabit debide hava ile soğutulmuştur. Radyatör ile fan arasına dikdörtgen kesitli (40cmx63cm) 2.5 m uzunluğa sahip paslanmaz çelik hava kanalı yerleştirilmiştir. Paslanmaz çelikten yapılmış ısıtma tankı yaklaşık 25 l hacminde olup, DC (doğru akım) güç kaynaklı varyak kontrollü elektrikli bir ısıtıcı (2500 W) ile ısıtılmıştır. Toplam tank hacminin yaklaşık üçte biri olan 8 l hacminde nanoakışkan kullanılarak tüm deneyler gerçekleştirilmiştir. Hava giriş-çıkış sıcaklıkları iki adet K tipi, akışkan giriş-çıkış sıcaklıkları iki adet daldırma J tipi ve radyatör duvar yüzey sıcaklığı 7 adet J tipi ısıt eleman çiftiyle ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak analitik ve deneysel olarak etkenlik, ϵ , Nusselt sayısı, Nu ve toplam ısı transferi katsayısı, U değerleri hesaplanmıştır. Oto radyatörün etkenlik değerlerinin akışkan konsantrasyonunun artması ile arttığı ve %0.02 konsantrasyondaki GO ve GNR nanoakışkanlarında saf suya kıyasla analitik değerin üzerine çıktığı sonucu elde edilmiştir. Saf suyla kıyaslandığında %0.01 grafen oksit

nanoakışkanı için en yüksek %6.9 ve %0.02 grafen oksit nanoakışkanı için en yüksek %32.0 toplam ısı transferi katsayısında, U artış olduğu elde edilmiştir. Grafen nano ribon nanoakışkanı için ise saf suya kıyasla %0.01 konsantrasyon için en yüksek %18.9 ve %0.02 konsantrasyon için en yüksek %24.8 toplam ısı transferi katsayısı, U artışı elde edilmiştir. Grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanları birbirleri ile kıyaslandığında toplam ısı transferi katsayısındaki, U artışın; GNR nanoakışkanı için %0.01 konsantrasyonda ve GO nanoakışkanı için ise %0.02 konsantrasyonda daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki nanoakışkan için Nusselt sayıları, Nu farklı giriş sıcaklıkları ve farklı konsantrasyonlar için hesaplanmıştır. Öncelikle saf suyla kıyaslamalar yapılmış ve en yüksek ortalama artış 36 °C sıcaklık ve %0.01 konsantrasyon için GNR-su nanoakışkanında %29.53 ve GO-su nanoakışkanı için %28.96 olarak elde edilmiştir. Her iki nanoakışkan için de %0.01 konsantrasyonun daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak; toplam ısı transferi katsayısında, U ve Nusselt sayılarında, Nu elde edilen artışlar oto radyatörlerin ısı aktarım performansını artırmakta olup aynı miktarda ısının daha küçük boyutlardaki oto radyatörler ile sistemden atılabileceği anlamına gelmektedir. Bu durum araç soğutma sistemlerinde kullanılan oto radyatörlerin boyutlarının küçültülebileceği ve ağırlıklarının azaltılabileceği anlamına gelmektedir. Böylece yeni nesil araçlar daha iyi aerodinamik tasarımlara sahip olacak ve daha az yakıt tüketen çevreci araçlara dönüşebilecektir.

Anahtar kelimeler: Grafen oksit (GO), Isı transferi performansı, nanoakışkanlar, oto radyatör.

ABSTRACT

ENHANCEMENT OF HEAT TRANSFER PERFORMANCE BY USING NANOFLUIDS IN AUTO RADIATORS

Ferhat KILINÇ

Ph. D. Thesis

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ertan BUYRUK

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kerim YAPICI

2015, 130+xvii pages

In this Ph.D. Thesis study, examined the effect to heat transfer performance of nanofluid usage in automobile radiator. For this purpose an experimental setup is designed. All experiments were carried out at different inlet temperatures (36 °C, 40 °C and 44 °C) and at different mass flow rates (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h and 0.9 m³/h). Graphene oxide and graphene nano ribbon nanofluids are obtained at 0.01% and 0.02 %vol. concentrations by using of pure water as a basefluid. Radiator which is used in experiments has a stadium shaped cross-section and consist of 36 horizontal tubes. Experimental setup is cooled with air at constant volumetric flow rate by using an industrial fan. There in an air channel by made stainless which has rectangular section (40cm×63cm) and 2.5 m length steel between radiator and air fan. Stainless steel heating tank which has 25 l volume is controlled by a 2500W-DC (direct current) variac (variable transformer). 8 l nanofluids are used in all experiments. Air inlet-outlet (2 K-type), fluid inlet-outlet (2 J-type) and radiator wall (7 J-type) temperatures are measured with thermocouples. Effectiveness, ϵ , Nusselt numbers, Nu and overall heat transfer coefficients, U were calculated by using of experimental results. Effectiveness of auto radiators is increased by increasing of particle volumetric concentration and is obtained for GO and GNR nanofluids at 0.02% vol. concentration have higher effectiveness compared to pure water. The highest enhancement of overall heat transfer coefficient, U is obtained for 0.01% GO-water nanofluid is 6.9% and 32.0%

for 0.02% GO-water nanofluid compared to pure water. And also for GNR-water nanofluid the highest enhancement of overall heat transfer coefficient, U is obtained 18.9% (0.01 % vol.) and 24.8% (0.02 % vol.) compared to pure water. GO and GNR nanofluids are compared each other 0.01% GNR-water and 0.02% GO-water is better heat transfer performance. Furthermore Nusselt numbers, Nu are calculated for two nanofluids at different inlet temperatures and concentrations. At 36 °C inlet temperature the highest mean enhancement is obtained 29.53% (for 0.01 % vol. GNR-water) and 28.96% (for 0.01 % vol. GO-water) compared to pure water. 0.01 % vol. concentration has better results for two nanofluids. As a results, enhancement of overall heat transfer coefficient, U and Nusselt numbers, Nu increases the heat transfer performance of auto radiator. It means that smaller sized radiator has the same heat transfer rate. Thus, smaller and lighter radiators can be used in vehicle cooling systems. Also new generation vehicles could have more aerodynamic design and could transform more economical green vehicles.

Key words: Car radiator, Graphene oxide (GO), heat transfer performance, nanofluids.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Farklı Tip Isı Değiştiricilerinde Nanoakışkan Kullanımıyla İlgili Literatür Taraması.....	3
1.2 Oto Radyatörlerde Nanoakışkan Kullanımıyla İlgili Literatür Taraması.....	14
2. MOTORLU ARAÇLARDA SOĞUTMA SİSTEMİ.....	22
2.1 Isı Değiştiricileri ve Sınıflandırılması.....	22
2.1.1 Konstrüksiyon Geometrisi.....	22
2.1.1.1 Borulu Isı Değiştiricileri.....	22
2.1.1.2 Levhalı Isı Değiştiricileri.....	24
2.1.1.3 Kompakt Isı Değiştiricileri.....	27
2.1.2 Isı Transferi Mekanizmaları.....	29
2.1.3 Akış Düzenlemeleri.....	29
2.1.4 Isı Transferi İşlemleri.....	29
2.2 Oto Radyatörlerde Soğutma Sistemi.....	30
2.2.1 Pompalı Soğutma Sistemleri.....	33
2.2.2 Soğutma Sistemi Elemanları.....	34
2.2.2.1 Radyatör.....	34
2.2.2.2 Su Devir-Daim Pompaları.....	38
2.2.2.3 Vantilatör (Fan).....	38
2.2.2.4 Termostat.....	38
2.2.2.5 Antifriz Sıvıları.....	39
2.2.2.6 Sıcaklık Göstergeleri ve Sensörleri.....	40
3. NANOAKIŞKANLAR.....	41
3.1 Nanoakışkan Hazırlama.....	48
3.2 Nanoakışkan Çeşitleri.....	50
3.3 Nanoakışkanlara Ait Özellikler.....	52
3.3.1 Kararlılık.....	52
3.3.2 Isı Transferi Özellikleri.....	53
3.3.3 Isı İletimi Mekanizması.....	53
3.3.4 Isıl İletkenlik.....	55
3.3.5 Viskozite.....	57
3.3.6 Yoğunluk ve Özgül Isı.....	57
3.3.7 Nanoparçacıkların Boyutu ve Şekli.....	58
3.4 Nanoakışkanların Farklı Kullanım Alanları.....	59
3.5 Nanoakışkan Hazırlamada Kullanılan Cihazlar.....	62
3.5.1 Nanoakışkanın Viskozite Ölçümleri.....	64
3.5.2 Nanoakışkanın Isıl İletkenlik Ölçümleri.....	64
3.5.3 Deneylerde Kullanılan Nanoakışkanlar.....	66
4. DENEYSEL SİSTEM VE YÖNTEM.....	68
4.1 Deneysel Sistem.....	68
4.2 Oto Radyatörlerde Isı Geçişi Çözümlemesi.....	72

4.2.1 Toplam Isı Geçiş Katsayısı	72
4.2.2 Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı Yöntemi	74
4.2.2.1 Paralel Akışlı Isı Değiştiricisi	75
4.2.2.2 Ters Akışlı Isı Değiştiricisi.....	78
4.2.2.3 Özel Çalışma Koşulları	79
4.2.2.4 Çok Geçişli ve Çapraz-Akışlı Isı Değiştiricileri	80
4.2.3 Etkenlik-NTU Yöntemi	83
4.2.4 Deneysel Verilerin Analizi	90
5. SONUÇLAR ve TARTIşMA	92
5.1 Deneysel Sonuçların Analizleri	92
5.1.1 Grafen Oksit Nanoakışkanı	92
5.1.2 Grafen Nano Ribon Nanoakışkanı	101
5.1.3 Nanoakışkanların Karşılaştırılması	110
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	117
KAYNAKLAR.....	122
ÖZGEÇMİş	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Gövde-Boru ısı değiştirici.23
Şekil 2.2	Contalı - Levhalı ısı değiştiricisi.24
Şekil 2.3	Spiral levhalı ısı değiştirici.25
Şekil 2.4	Lamelli levhalı ısı değiştiricisi.26
Şekil 2.5	Gazdan sıvıya kompakt ısı değiştiricisi.27
Şekil 2.6	Kanatçıklı borulu ısı değiştirici.28
Şekil 2.7	Soğutma sisteminin motor güç çıkışı (P_e) ve özgül yakıt tüketime (b_e) etkisi.31
Şekil 2.8	Soğutma sistemi kısımları.33
Şekil 2.9	Su çıkışı üzerinde termostat bulunan tip (by-pass valfli) soğutma sistemi.34
Şekil 2.10	Radyatörde hava akımı.35
Şekil 2.11	Radyatör boru ve kanatçıkta hava akımı.35
Şekil 2.12	Çift fanlı klima radyatörü.36
Şekil 2.13	Radyatörün içyapısı ve su ceketleri.37
Şekil 3.1	Nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri b) altın nanoçubuklar, c) altın çekirdek-silika kabuk nanoparçacıklar, d) içi boşluklu platin nanoparçacıklar.43
Şekil 3.2	Nanoakışkanların tanımlanması için çeşitli parçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri.44
Şekil 3.3	Nanoakışkanlar, nanoakışkanlarda ısı transferi ve nanoakışkanların özellikleri konularında yayınlanan makale sayıları.46
Şekil 3.4	Nanoakışkanların iki aşamalı hazırlama işlemi.50
Şekil 3.5	AXIS hassas terazi ile taneciklerin kütle oranlarının ölçülmesi.63
Şekil 3.6	a) Prob tipi ve b) banyo tipi sonifikatör cihazı.63
Şekil 3.7	Malvern Kinexsus Pro reometre.64
Şekil 3.8	CP1/60 plaka.64
Şekil 3.9	Decagon Devices KD2 Pro ısı iletkenlik ölçer cihazı.65
Şekil 3.10	Grafen atomlarının kristal yapısı.66
Şekil 3.11	Ribon parçacıkları ve Ribon-su nanoakışkanı.67
Şekil 4.1	Deneysel sistem.69
Şekil 4.2	Deney sisteminde kullanılan otomobil radyatörü.70
Şekil 4.3	Kıvrım tipli otomobil radyatörü ve tüp kesiti.71
Şekil 4.4	İki akışkanlı bir ısı değiştiricisinde, sıcak ve soğuk akışkanlar için toplam enerji dengesi.74
Şekil 4.5	Paralel akışlı bir ısı değiştiricisinde sıcaklık dağılımları.75
Şekil 4.6	Ters akışlı bir ısı değiştiricisinde sıcaklık dağılımları.78
Şekil 4.7	Isı değiştiricisi özel çalışma koşulları. (a) $C_h \gg C_c$ veya bir buharın yoğuşması. (b) Bir sıvının buharlaşması veya $C_h \ll C_c$. (c) Isıl kapasite debilerinin eşit olduğu ters akışlı ısı değiştiricisi ($C_h = C_c$).80
Şekil 4.8	Gövde-borulu bir ısı değiştiricisinde, bir gövde geçişi ve ikinin katları (iki, dört, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme katsayısı.81
Şekil 4.9	Gövde-borulu bir ısı değiştiricisinde, iki gövde geçişi ve dördün katları (dört, sekiz, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme katsayısı.81
Şekil 4.10	Her iki akışkanın da karışmadığı, tek-geçişli, çapraz-akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı.82
Şekil 4.11	Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı, tek-geçişli, çapraz-akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı.82

Şekil 4.12	Paralel akışlı ısı değiştiricisi etkenliği.	88
Şekil 4.13	Ters akışlı ısı değiştiricisi etkenliği.	88
Şekil 4.14	Bir gövde, ikinin herhangi bir katı olan boru geçişli (iki, dört,...) gövde- borulu ısı değiştiricisi etkenliği.	89
Şekil 4.15	Bir gövde, dördün herhangi bir katı olan boru geçişli (dört, sekiz,...) gövde- borulu ısı değiştiricisi etkenliği.	89
Şekil 4.16	Her iki akışkanın da karışmadığı, çapraz akışlı tek geçişli ısı değiştiricisi etkenliği.	89
Şekil 4.17	Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı, çapraz akışlı, tek geçişli ısı değiştiricisi etkenliği.	89
Şekil 5.1	Oto radyatörün 36 °C sıcaklıktaki etkenlik değerlerinin (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	93
Şekil 5.2	Oto radyatörün 44 °C sıcaklıktaki soğutma performansının nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	93
Şekil 5.3	Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C sıcaklıkta nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	94
Şekil 5.4	Toplam ısı transferi katsayısının 40 °C sıcaklıkta nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	95
Şekil 5.5	Toplam ısı transferi katsayısının 44 °C sıcaklıkta nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	95
Şekil 5.6	Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C, 40 °C ve 44 °C sıcaklıklarda nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	96
Şekil 5.7	Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	97
Şekil 5.8	Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	97
Şekil 5.9	Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	98
Şekil 5.10	Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	98
Şekil 5.11	Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	99
Şekil 5.12	Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	99
Şekil 5.13	Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 Grafen Oksit-Su) için karşılaştırılması.	100
Şekil 5.14	Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 Grafen Oksit-Su) için karşılaştırılması.	100
Şekil 5.15	Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 Grafen Oksit-Su) için karşılaştırılması.	101
Şekil 5.16	Oto radyatörün 36 °C sıcaklıktaki etkenlik değerlerinin (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	102
Şekil 5.17	Oto radyatörün 44 °C sıcaklıktaki soğutma performansının nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	102
Şekil 5.18	Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C sıcaklıkta nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	103
Şekil 5.19	Toplam ısı transferi katsayısının 40 °C sıcaklıkta nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	104
Şekil 5.20	Toplam ısı transferi katsayısının 44 °C sıcaklıkta nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	104

Şekil 5.21	Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C, 40 °C ve 44 °C sıcaklıklarda nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.	105
Şekil 5.22	Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	106
Şekil 5.23	Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	106
Şekil 5.24	Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	107
Şekil 5.25	Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	107
Şekil 5.26	Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	108
Şekil 5.27	Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.	108
Şekil 5.28	Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 GNR-Su) için karşılaştırılması.	109
Şekil 5.29	Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 GNR-Su) için karşılaştırılması.	109
Şekil 5.30	Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 GNR-Su) için karşılaştırılması.	110
Şekil 5.31	36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	110
Şekil 5.32	40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	111
Şekil 5.33	44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	111
Şekil 5.34	36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	112
Şekil 5.35	40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	113
Şekil 5.36	44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	113
Şekil 5.37	36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	114
Şekil 5.38	36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	114
Şekil 5.39	40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	115
Şekil 5.40	40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	115
Şekil 5.41	44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	116
Şekil 5.42	44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1	İçten yanmalı motorlarda açığa çıkan yaklaşık enerji dağılımı (%). ...	31
Çizelge 3.1	Yaygın olarak kullanılan bazı katı ve sıvıların ısı iletkenlik değęerleri	42
Çizelge 4.1	Radyatöre ait boyutlar (safsü-nanoakışkan tarafı).	71
Çizelge 4.2	Radyatöre ait boyutlar (hava tarafı).	71
Çizelge 4.3	Isı değiştiricilerinde etkenlik bağıntıları.....	87
Çizelge 4.4	Isı değiştiricilerinde NTU bağıntıları.	88
Çizelge 5.1	Deneylerde kullanılan saf su ve grafen oksit nanoakışkanına ait termofiziksel özellikler.	92
Çizelge 5.2	Deneylerde kullanılan saf su ve grafen nano ribon nanoakışkanına ait termofiziksel özellikler.....	101

SİMGELER DİZİNİ

A	Alan [m ²]
C_p	Özgül ısı [J/kg K]
C	Isıl kapasite debisi [W/K]
D	Borunun çapı [m]
f	Sürtünme faktörü
h	Isı taşınım katsayısı [W/m ² K]
U	Toplam ısı transferi katsayısı [W/m ² K]
P	Borunun çevre uzunluğu [m]
F	Düzeltilme katsayısı
q, Q	Isı [W]
k	Isıl iletkenlik [W/mK]
L	Boru uzunluğu [m]
ṁ	Kütleli debi [kg/s]
μ	Viskozite [kg/ms]
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
Pr	Prandtl sayısı [=μC _p /k]
Re	Reynolds sayısı [=4ṁ /πDμ]
Nu	Nusselt sayısı [hD/k]
T	Sıcaklık [°C]
u	Hız [m/s]
x	Borunun girişinden olan yerel uzaklık [m]
ΔP	Basınç farkı [Pa]
Φ	Konsantrasyon, fraksiyon [%]
R_f	Kirlilik faktörü [m ² K/W]
β	Alan yoğunluğu [m ² /m ³]

Alt Simgeler

bf	Taban akışkanı
c	Kesit
i	Giriş
ic	İç çap
o	Çıkış
m	Ortalama
nf	Nanoakışkan
p	Parçacık
f	Akışkan
s	Boru yüzeyi
nm	Nano metre
exp	Deneysel

1. GİRİŞ

Enerjinin daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasına bugün için alternatif bir enerji kaynağı olarak yaklaşılmaktadır. Bu kapsamda endüstrinin her alanında kullanılan ısı değiştiricileri de, ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalarda enerji ekonomisi açısından dikkate değer bir literatür oluşturmuştur. Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar genel olarak "pasif", "aktif" ve "karma" yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Pasif yöntemler, dış güç kullanılmasını gerektirmeyen yöntemlerdir. Dönmeli akış cihazları, pürüzlü yüzeyler, borunun içine yerleştirilen iyileştirme elemanları vs. pasif yöntemlere örnek olarak verilebilir. Aktif yöntemler, dış güç kaynağının kullanılmasını gerektiren yöntemlerdir ve mekanik karıştırıcılar, akışkan titreşimi, yüzey titreşimi, elektrostatik alanlar vs. bu yöntemler arasında sayılabilir. Karma yöntemlerde ise aktif veya pasif yöntemlerden iki veya daha fazlası birlikte kullanılmaktadır (Bergles, 1999).

Her sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de enerji verimliliği, enerji tüketiminin minimuma indirilmesi, üretilmesi planlanan parçaların optimizasyon testlerinin yapılması konularında çalışmalar yapılmaktadır. Bu alışmalar yapılıp enerji tasarrufu sağlanırken aynı zamanda ihtiyaç duyulan performans kriterinin de sağlanması gerekmektedir. Otomobil soğutma sistemlerinin en önemli elemanlarından birisi radyatörlerdir. Otomobil radyatörleri bir çeşit kompakt ısı değiştiricisidir. Motorların soğutma devrelerinde dolaşan soğutma sıvısı motor alıřtıķça ısınır. Otomobil radyatörlerinin birincil görevi de soğutma sıvısındaki bu aşırı ısıyı dış ortama atmak, dolayısıyla motorun güvenli bir sıcaklıkta çalışmasını sağlamaktır (Canbolat vd., 2014).

Akışkan, radyatörden motora kapalı bir sistem içinde hareket eder, bu hareketi esnasında motor parçaları üzerindeki ısıyı radyatöre taşır. Radyatör, genelde aracın ön tarafındaki ızgaralı bölüme monte edilmiştir. Soğuk hava bu ızgaralardan geçerek radyatörü soğutur. Otomotiv endüstrisindeki süregelen teknolojik gelişmeler yüksek verimli motorlara olan talebi artırmıştır. Yüksek verimli bir motor sadece performanslı demek değil aynı zamanda daha iyi yakıt ekonomisi ve daha az salınım demektir. Radyatörlerin soğutma oranını artıran yaklaşımlardan biri kanatçıklar eklemektir. Bu durum daha fazla ısı transferi alanı sağlar ve hava taşınım ısı transferi katsayısını

artırır. Bununla birlikte kanatçıklar ve mikrokanallar kullanarak soğutma oranını artırmak gibi geleneksel yaklaşımlar artık sınırlarına ulaşmışlardır (Kulkarni vd., 2008a).

Soğutucu akışkanlar, su, motor yağı, etilen glikol vb. gibi geleneksel akışkanlar zayıf ısı transferi performansına sahiptir ve bu yüzden gereken ısı transferini elde edebilmek için yüksek kompaktlıkta ve etkenlikte sistemler gerekmektedir. Isı transferi geliştirilmesi için gösterilen çabalar arasında akışkana katkılar uygulaması daha belirgindir. Son zamanlarda nano teknolojideki ilerlemeler nanoakışkan denilen yeni bir akışkan kategorisi gelişmesini sağlamıştır (Peyghambarzadeh vd., 2011b).

Isı değiştiricideki iş yapan taban akışkan içerisine katı parçacıkların süspansiyon şeklinde katılması pasif ısı transferi iyileştirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem geleneksel akışkanın ısı iletkenliğini artırarak akışkanın ısı transferi karakteristiklerini iyileştirmektedir. Bir katı metalin ısı iletkenliği taban akışkanından yüksek olduğu için taban akışkan içerisine süspansiyon olarak katılan ince katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır (Şahin vd., 2006).

Nanoparçacıkların katılması ile iş yapan akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar şu şekilde sıralanabilir; akışkan içerisine süspansiyon edilen parçacıklar akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür. Parçacıklar akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır. Parçacıklar arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçişinin yüzeyinin artmasına neden olur. Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar. Nanoparçacıkların saçılması akışkanın enine sıcaklık eğiminin düzleşmesine neden olur (Xuan vd., 2000).

Motor parçaları iyi derecede soğutulmadığı takdirde şu arızalar meydana gelebilir: Hareketli motor parçalarının dayanma mukavemeti azalır içyapısında değişimler meydana gelebilir. Piston, segman ve yataklar gibi hareketli parçalar arasında, zorunlu olarak bulunan boşluklar genişleme sonucu daralır ve boşluk toleransının değişmesinden dolayı sarma ve sıkışmalar meydana gelebilir. Yağlama yağları aşırı ısınma neticesinde fiziksel ve kimyasal yapısı ve yapışkanlık özellikleri kaybolur ve viskozitesi azalır. Silindir kafası ve silindir gömleği aşırı ısı yükü sebebiyle genişler ve ani soğutulmalarda çatlayabilirler. Hareketli motor parçaları yüksek ısı yükü sebebiyle

erken aşınabilir ve arızalanabilir. Aşırı ısı yükü altında yağlama yağı yanabilir ve eşdeğer çalışan yüzeyler aşırı sürtünmeye maruz kalmak suretiyle sarabilir.

Soğutma belli bir sınırdan daha fazla yapılmamalıdır. Motorun soğuk çalıştırılması da sakıncalıdır. Soğuk olarak motorun çalıştırılması halinde; motorun termik verimi ve elde edilen iş düşer, motorun yakıt sarfiyatı artar, motor yağı çabucak kirlenir ve sulanır, yağlama düzgün olmadığı gibi yüzeylerde korozyon etkisi meydana gelir, hareketli motor parçaları ile yatakları arasındaki çalışma boşluğunun ölçüsü değişebilir. Buna göre soğutma sistemi motorun çalışma sıcaklığının, yağlama yağlarının fiziksel ve kimyasal özelliğini bozmayacak kadar yükselmesini ve iyi bir yağlama temin ettiği gibi, motorun termik verimini de en yüksek değere çıkarabilmelidir. Motorun ne aşırı derecede soğutulması ve ne de aşırı derecede ısıtılması iyi değildir. Optimum bir soğutmanın temini ile motorun verimli olarak çalışması sağlanabilir. Buna göre soğutma sisteminin motorun ayrılmaz bir parçası olduğu söylenebilir. Soğutma donanımı motor çalıştığı sürece çalışır ve motor durdurulunca soğutma donanımının çalışması da durur (Şengün, 2014).

Görüldüğü üzere araçlardaki soğutma sistemi çok önemli olup, geliştirilmesi için son yıllarda teorik, deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, parçacık tipi ve boyutu, konsantrasyonu, debisi, yoğunluğu, viskozitesi gibi birçok parametre araştırılarak en uygun nanoakışkanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu tezde farklı nanoakışkanların deneysel analizleri yapılarak, uygun nanoakışkanın belirlenmesi neticesinde; ısı transferi performansındaki iyileşme oranı temel alınarak radyatörün ısı transferi alanındaki azalmanın elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.1 Farklı Tip Isı Değiştiricilerinde Nanoakışkan Kullanımıyla İlgili Literatür Taraması

Nanoakışkan, 100 nm ve daha küçük boyuttaki metal, metal oksit ya da karbon nanotüp parçacıklarının genelde Newton kuralına uyan akışkanlar içerisine düşük derişimlerde eklenmesiyle oluşturulan, süspansiyon akışkanına denilmektedir. Nanoakışkan kavramı ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından literatüre kazandırılmış ve günümüzün en sıcak araştırma konuları arasında yerini almıştır. Özellikle, nanoakışkanların termal özelliklerinin (ısıl iletkenlik, k ve konveksiyon ısı aktarım katsayıları, h) eklendikleri akışkana göre (su, etilen glikol, makine yağı) daha yüksek olması ve ayrıca eklendiği akışkanın reolojik özelliklerini değiştirmesi sonucu

nanoakışkanlara olan ilgi artmış ve birçok bilim insanını bu alanda çalışmaya sevk etmiştir (Peyghambarzadeh vd., 2011a).

Yu ve diğerleri (2008), yayınladıkları derleme çalışmasında nanoakışkanların uygulama alanlarını, altı ana başlıkta toplamışlardır: 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 adaylardır. Bunun sebebi yukarıda bahsedildiği üzere nanoakışkanların termal özelliklerinin, eklendiği geleneksel akışkanlara göre yüksek olması ve Newton kuralına uymayan akış davranışı göstermesidir.

Bazı araştırmalar nanoakışkanların ısı değiştiricisi uygulamalarında faydalanılması için başlatılmıştır ve önceki çalışmaların çoğu sayısaldır. Roy vd. (2004), radyal akışlı soğutma sisteminde Al_2O_3 – su nanoakışkanını kullanarak 1200 Re sayısı için ısı transferini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma, %5 ve %10 hacimsel konsantrasyon ile ısı transferinin %45 ve %110 arttığını göstermiştir. Yine benzer bir soğutma sisteminde ve sıcaklık-bağımlı özellikler kullanılarak Palm vd. (2006) tarafından Al_2O_3 – su nanoakışkanının ısı transferine faydası sayısal olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak %4 hacimsel fraksiyon için saf suya kıyasla ısı transferi katsayısında %25 artış elde etmişlerdir. Jang ve Choi (2006), mikrokanallı ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımının önce ve sonraki soğutma performansı sayısal olarak çalışılmıştır. Suya eklenen elmas parçacıklar (%1 hacim konsantrasyonu ve 2nm çapında), sabit pompalama gücünde %10 daha yüksek ısı transferi performansı sergilemişlerdir. Nguyen vd. (2007), kapalı bir devredeki Al_2O_3 – su nanoakışkanının ısı transferi performansını ölçmüşlerdir. Çalışmaları göstermiştir ki, %6.8 hacim konsantrasyonunda ısı transferi katsayısındaki, h artış %40 daha yüksektir. Ayrıca 47nm parçacık çapının 36nm boyutuna göre daha fazla iyileşme sağladığından da bahsetmişlerdir. Chun vd. (2008), konsentrik çift borulu ısı değiştiricisi sisteminde yağ taban akışkanı için alümina nanoparçacıklar kullanmışlardır. Çalışmalarında %0.5 hacimsel konsantrasyonu için taşınım ısı transferi katsayısında, h %10-13 artış ve düşük Re sayısı ($Re < 200$) için ortalama ısı transferi katsayısında, h yaklaşık %25 artış elde etmişlerdir. Daha yakın zamanda, Duangthongsuk ve Wongwises (2009),

konsentrik çift borulu ısı değiştiricisinde TiO₂ – su nanoakışkanı kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Hacimsel konsantrasyon %0.2 (21nm ortalama çapında) ve türbülanslı akış koşullarında taşınım ısı transferi katsayısında, h %6-11 artış elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Pantzali vd. (2009), minyatür plakalı ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımının etkilerini deneysel ve sayısal olarak çalışmışlardır. İlk olarak nanoakışkanın (hacimce %4 CuO-su 30nm ortalama çapında) termofiziksel özelliklerini (ısıl iletkenlik, ısı kapasitesi, viskozite, yoğunluk ve yüzey gerilimi) sistematik olarak ölçmüşlerdir. Deneysel çalışmada farklı debilerde ve sayısal çalışmada farklı eleman sayılarında çalışılmıştır. Genel olarak tüm çalışmalar şartlarında, nanoakışkan suya göre 4 kat daha düşük debiye ve 6 kat daha düşük basınç düşüşüne sahip olduğu bulunmuştur. Sayısal sonuçların deneysel ile uyuruştuğu da gözlenmiştir. Sonuç olarak ise nanoakışkanların ısı değiştirici sistemler için uygun olduğu ancak pahalı ve kararsız oldukları vurgulanmıştır.

Fard vd. (2011), plakalı ve eş eksenli ısı değiştiricisinde ZnO/Su nanoakışkanı kullanarak ısı transferi performansını sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Taban akışkana (su) kıyasla nanoakışkan kullanıldığında ısı transferi oranı plakalı ve eş eksenli her iki ısı değiştiricisi için artmıştır. 10 g/s, 25 g/s, 40 g/s debilerde ve %0.5 hacim konsantrasyonundaki ZnO/Su nanoakışkanı için deneyler gerçekleştirilmiştir. 10 g/s debide plakalı ısı değiştiricisi için ısı transferi katsayısında, h %20 ve aynı koşullarda eş eksenli ısı değiştiricisi için %14 artış gerçekleşmiştir. Sayısal sonuçlar deneysel verilerle uyumlu olup, plakalı ve eş eksenli ısı değiştiricisi için ortalama bağlıl hata sırasıyla %7.5 ve %8' dir.

Zamzamian vd. (2011), bakırdan yapılmış çift borulu (12mm içteki, 50.8mm dıştaki boru çapı ve 70cm uzunluğunda) ve plakalı (40cm yükseklik ve 60cm uzunluğunda tipik ev radyatörü) ısı değiştiricisinde yaptıkları deneysel çalışmalarında etilen glikol tabanlı yaklaşık 20nm çapında Al₂O₃ ve CuO nanoakışkan kullanmışlardır. Al₂O₃/EG nanoakışkanı için kütlece %0.1, 0.5 ve 1.0 ve CuO/EG için %0.1, 0.3, 0.5, 0.7 ve 1.0 örnekler hazırlanmıştır. Nanoakışkan sıcaklıkları 45 C, 60 C ve 75 C ve debisi 3 l/dak. olup ve dış taraftaki soğuk su 2.5 l/dak. ayarlanmıştır. Deneyler sonucunda taban akışkan (EG) ile kıyaslandığında taşınım ısı transferi katsayısında, h artış

hesaplanmıştır. Tüm deneyler sonucunda en büyük ve en küçük artışlar sırasıyla, %49 ve %3' tür.

Pandey ve Nema (2012), plakalı ısı değıştiricisi kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarında su ve Al_2O_3 (su tabanlı %2, 3 ve 4 hacimsel konsantrasyon) nanoakışkanının ısı transferi, sürtünme kayıpları ve ekserji kayıplarını araştırmışlardır. Reynolds ve Peclet sayısının artışıyla ve nanoakışkan konsantrasyonundaki azalma ile ısı transferi karakteristiklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Yaklaşık 40-50nm çapında Al_2O_3 %2, 3 ve 4 hacimsel konsantrasyon ve 2-5 l/dak. debi aralığında deneyler yapılmıştır. %2 Al_2O_3 için %21 ısı transferi oranında artış elde edilmiştir. En yüksek ısı transferi katsayısı, h artışı %2 konsantrasyonunda Al_2O_3 /Su nanoakışkanı için sudan %11 daha fazladır. En yüksek ısı transferi katsayısı, h artışı %2 konsantrasyon ve 7700 Peclet sayısı, Pe için gerçekleşmiştir. %2, 3 ve 4 hacim konsantrasyonu için Pe sayısındaki artış sırasıyla %10, %7.3 ve %4.6' dır. Sürtünme faktörü su için 0.9 ile 1.2, nanoakışkan için 4.6 ile 8.7 (%0-4 hacimsel konsantrasyon) arasında değişmiştir. Enerji açısından plakalı ısı değıştiricisinin deneysel ortalama etkenlik değeri su-su için %84 ve su-nanoakışkan için %87 elde edilmiştir.

Tiwari vd. (2013), ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristiklerini zikzak tipli plakalı (chevron-type PHE) ısı değıştiricisinde CeO_2 /Su (30nm çapında) nanoakışkanı kullanarak araştırmışlardır. Deneylerde ısı transferi ve basınç düşüşü performansı geniş aralıkta hacimsel konsantrasyon (%0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 2.0 ve 3.0) ve farklı akış debilerinde (1.0 l/dak., 2.0 l/dak., 3.0 l/dak., 3.5 l/dak. ve 4.0 l/dak.) hesaplanması amaçlanmıştır. En uygun CeO_2 /Su konsantrasyonu belirlenerek, taban akışkana göre en yüksek ısı transferi iyileşmesi sağlanmıştır. Deneyler öncesinde nanoakışkanın gerekli termofiziksel özellikleri ölçülmüştür. Verilen çalışma aralıklarında, CeO_2 /Su nanoakışkanın ısı transferi katsayısındaki, h en yüksek artış %0.75 konsantrasyonda %39 olarak görülmüştür. Nanoakışkanın basınç düşüşü uygun hacim konsantrasyonunda su ile yaklaşık olarak aynıdır. Bu durum pompa gücünü olumsuz etkilemeden önemli oranda ısı transferi iyileşmesi sağlamaktadır ve pratik uygulamada uygun olabilir.

Javadi vd. (2013), plakalı bir ısı değıştiricisinde SiO_2 , TiO_2 ve Al_2O_3 uygulayarak taban akışkana kıyasla termofiziksel özelliklere ve ısı transferi karakteristiklerine etkileri incelenmiştir. Isıl iletkenlik, ısı transferi katsayısı, toplam ısı transferi

katsayısı, ısı transferi oranı, toplam ısı direnç, basınç düşüşü ve entropi üretimi araştırılmıştır. Şu sonuçlar elde edilmiştir: Isıl iletkenlik nanoparçacık eklenmesiyle artmaktadır. Bu artış TiO_2 ve Al_2O_3 hemen hemen aynı olup SiO_2 ' den daha yüksektir. Nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonunun artması ile ısı transferi katsayısı artmaktadır. TiO_2 ve Al_2O_3 ısı transferi katsayısı SiO_2 ' den daha fazla etkilenmektedir. Nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonunun artması ile Prandtl sayısı, Pr azalmaktadır. En yüksek Prandtl sayısı, Pr %0.2 hacim konsantrasyonunda SiO_2 , Al_2O_3 ve TiO_2 için sırasıyla 0.415, 0.406 ve 0.382. Nanoparçacık kullanılması ile basınç düşüşü önemli oranda artmıştır. Bunun sebebi taban akışkana kıyasla nanoparçacıkların yüksek yoğunlukta olmasıdır. Nanoparçacık kullanımı entropi üretimini artırmış ve parçacık konsantrasyonuyla yükselme yönünde etki göstermiştir. %2 hacim konsantrasyonunda SiO_2 ile kıyaslandığında, TiO_2 ve Al_2O_3 %57 ve %50 entropi üretim oranında artış göstermiştir.

Khairul vd. (2014), plakalı ısı değiştiricisinde CuO/Su nanoakışkanı kullanarak, ısı transferi katsayısı, sürtünme kayıpları, basınç düşüşü, pompalama gücü ve ekserji yok oluşunu incelemişlerdir. Saf suya göre CuO/su nanoakışkanı için %0.5, 1 ve 1.5 hacimsel konsantrasyonda ısı transferi katsayısında, h sırasıyla %17.7, %21.8 ve %24.7 artış elde edilmiştir. Ekserji yok oluşu saf suya göre CuO/su nanoakışkanı için %0.5, 1 ve 1.5 hacimsel konsantrasyonda sırasıyla %8, %16.25 ve %24 olarak sonuçlanmıştır. Ekserjetik ısı transferi etkenliği ise saf suya göre CuO/su nanoakışkanı için %0.5, 1 ve 1.5 hacimsel konsantrasyonda sırasıyla %12, %22 ve %34 olarak bulunmuştur. Aynı hacimsel ve kütleli debide taban akışkana nanoparçacık eklenmesiyle ısı transferi katsayısı artmıştır.

Schroeder ve Morris (2010), manyetik rezonans görüntüleme kullanılan (Magnetic resonance imaging-MRI) sistemdeki tekli-IGBT (Insulated Gate, Bipolar, Transistor) için soğuk plaka ile nanoakışkan kullanılarak soğutulması amaçlanmıştır. En yüksek akış oranında (1.6 gpm) %1.5 CuO ve %1 Al_2O_3 nanoakışkanı için taşınım ısı transferi katsayısında, h sırasıyla %4 ve %4.5 artış görülmüştür. Yapılan çalışma; saf suya kıyasla ısı transferi katsayısında, h artış olmasına rağmen, literatürde bildirilen %20-40 iyileşmenin aksine beklenenden daha düşük sonuçlanmıştır. Pompalama gücü %1.5 CuO nanoakışkan için saf suya kıyasla %40 daha fazla bulunmuştur. Taşınım ısı

transferi artışı için Al_2O_3 nanoakışkanı saf suya göre pompalama gücü ihtiyacı açısından daha fazla yarar sağlamıştır.

Teng vd. (2011), Al_2O_3 /Su nanoakışkanı kullanarak hava soğutmalı ısı değiştiricisinin ısı dağılımı yakıt hücresi veya elektronik devre soğutma için analiz etmişlerdir. Nanoparçacık boyutları 80-310nm aralığında olup, kütlece üç farklı konsantrasyon (%0.5, 1 ve 1.5) kullanılmıştır. Çalışma sıcaklığı ise 20-60 °C aralığındadır. Laminer akış koşullarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Al_2O_3 /Su nanoakışkanının suya göre daha yüksek ısı değişimi kapasitesine sahip olduğu ve nanoparçacık konsantrasyonunun daha fazla ısı değişimi oranı sağladığı elde edilmiştir. Ancak yüksek sıcaklıklarda, dikdörtgen kesit alanlı tüpün büyük uzunluk oranı ve artan viskozite oranı sebebiyle daha fazla ısı değişimi oranı sağlanamamaktadır. Tüm deneyler sonucunda, en yüksek ısı değişimi oranı %39 ve basınç düşüşü %5.6 olmuştur. En iyi toplam verimlilik ise 30-40 °C aralığında sağlanmıştır. Bu nedenle, parçacık konsantrasyonuna ek olarak sıcaklık ve kütleli debi oranı da ısı değişimi oranını etkilediği belirlenmiştir. Kesite ait en/boy oranının ısı değişiminde göz önüne alınması gereken önemli bir faktör olduğu da vurgulanmıştır.

Jung vd. (2009), dikdörtgen mikrokanallı ısı değiştiricisinde taşınım ısı transferi katsayısı ve sürtünme faktörünü araştırmışlardır. Mikrosistem bir tarafında tekli mikrokanal, iki ısıtıcı ve beş polisilikon sıcaklık sensöründen oluşmaktadır. Deneylerde alüminyum oksit (Al_2O_3 - 170nm çapında) nanoakışkanın farklı hacimsel fraksiyonları ve taban akışkan olarak %50-50 su-etilen glikol kullanılmıştır. %1.8 hacim fraksiyonuna sahip Al_2O_3 nanoakışkanı için laminer akış koşulunda önemli bir sürtünme kaybı olmadan, ısı transferi katsayısında, h suya oranla %32 artış ölçülmüştür. Laminer akışta Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısının, Nu arttığı görülmüştür.

Rashmi vd. (2013), karbon nanotüp (CNT) nanoakışkanını kütleli %0.01 konsantrasyonda eş eksenli (iç boru çapı 11.3mm, dış boru çapı 14.4mm ve uzunluğu 859mm) bakır bir ısı değiştiricisinde laminer akış koşullarında ısı transferi açısından deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Soğuk akışkan tarafında CNT nanoakışkanı dışında su ve akasya sakızı (gum arabic kütlece %1) kullanmışlardır. Deneyler 10-50 g/s debi ve 25-60 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar akış debisinin artması ısı iletkenliğinin %4-125 ve ısı transferinin yaklaşık %70 oranında arttığını

göstermiştir. İki boyutlu ve 60000 hücre sayısı kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar ise deneysel sonuçlarla uyumlu olup $\pm 3\%$ sapma sergilemiştir. CNT nanoakışkanının (kütlece 0.01%) yoğunluğunda önemli bir artış olmadan Newtonian davranış sergilediği belirlenmiştir. Ancak gelecekte CNT nanoakışkanları ile daha çok deneysel çalışma (yüksek sıcaklık ve akış debilerinde) yapılmasının gerekliliği de vurgulanmıştır.

Akhtari vd. (2013), 80nm parçacık boyutlu $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -su nanoakışkanının ısı transferi çift borulu ve gövde geçişli ısı değiştiricisinde laminer akış koşullarında deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Sıcak ve soğuk akışkan hacimsel debileri (soğuk akışkan 90 l/h, 180 l/h, 270 l/h ve sıcak akışkan 100 l/h, 200 l/h, 300 l/h), nanoakışkan sıcaklıkları (soğuk $23\text{ }^\circ\text{C}$ ve sıcak $50\text{ }^\circ\text{C}$) ve parçacık konsantrasyonu (hacimsel $0.2\text{-}0.5\%$) gibi önemli parametrelerin etkisi incelenmiştir. Sonuçlar tüm bu parametrelerin (akış debileri, parçacık konsantrasyonu ve akışkan giriş sıcaklıkları) artmasının ısı transferini her iki ısı değiştiricisi için de artırdığını göstermiştir. Saf suyla kıyaslandığında çift borulu ve gövde geçişli ısı değiştiricisi için ısı transferi katsayıları 0.5% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -su nanoakışkanı için sırasıyla 13.2% ve 21.3% elde edilmiştir. Buna göre gövde geçişli ısı değiştiricisinin ısı transferi performansı çift borulu ısı değiştiricisinden 26.2% daha fazladır. Sayısal sonuçlar deneysel verilerle uyumlu elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar çift borulu ve gövde geçişli ısı değiştiricisi için sırasıyla 11.2% ve 15.6% ortalama hata oranıyla elde edilmiştir.

Zhang vd. (2013), yeni tip düz mikro boru dizili ısı değiştiricisinde (new-type flat micro-heat pipe array heat exchanger-FMHPAHE) $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-R141b}$ nanoakışkanı kullanarak ısı geri kazanımı karakteristiklerinin araştırılması amaçlanmıştır. $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-R141b}$ nanoakışkanı farklı hacimsel fraksiyonlarda (0.001% , 0.01% ve 0.1%) hazırlanmıştır. Deneysel farklı hava akış debileri ($60\text{ m}^3/\text{h}$ ve $120\text{ m}^3/\text{h}$), evaporatör kısmı hava giriş sıcaklıkları ($27\text{-}40\text{ }^\circ\text{C}$) ve kondansör kısmı giriş sıcaklığı ise $24\text{ }^\circ\text{C}$ kullanılmıştır. Deneysel sonuçları göstermiştir ki, 0.01% hacimsel fraksiyonlu nanoakışkan kullanıldığında ısı transferi etkinliği R141b kıyasla önemli oranda artmıştır. En yüksek artış 0.01% hacimsel fraksiyonda 110% olmuştur. 0.001% hacimsel fraksiyonda parçacıkların ısı iletkenlik katsayısında, k çok az artış sağlamış ve nanoakışkanın etkinliği taban akışkanla (R141b) hemen hemen aynı olmuştur. 0.1% hacimsel fraksiyon ise viskozitenin azalması sebebiyle ısı transferini

artırmamıştır. Isı değiştiricisindeki (FMHPAHE) basınç dūřuřu oranı 200 Pa/m ve en yūysek basınç kaybı 12 Pa' dır. Sonuçlar dūz mikro boru dizili ısı değiştiricisinde (FMHPAHE) nanoakışkan kullanımının efektif enerji tasarrufu sağlayabileceğini gōstermektedir.

Halelfadl vd. (2014), su tabanlı çok katmanlı karbon nanotūp (MWCNT) nanoakışkanı kullanarak paslanmaz elik eř eksenli bir ısı değiştiricisinin (i çapı 18.7mm, dış çapı 47.6mm ve uzunluğu 660mm) ısıl performansını laminer akış (Reynolds sayısı, Re 500-2500) koşullarında hesaplamışlardır. Soęutma tarafında (dış boru) 10 C sabit sıcaklık ve 336 l/h sabit debide damıtılmış su, iç boruda ise 50 C sabit sıcaklık ve 5-80 l/h debi aralığında kūtlece %0.05 konsantrasyonda CNT nanoakışkanı bulunmaktadır. Nanoakışkanın ısıl iletkenlik ve ortalama taşınım ısı transferinin nanotūplerin boyut oranıyla (en/boy oranı) arttığı ve taban akışkanının ısıl iletkenliğinin artmasıyla azaldığını gōstermiřlerdir. Sonuç olarak ise dūřuk hacimsel fraksiyonlarda (%0.026 CNT) taban akışkana kıyasla %12 daha fazla ortalama taşınım ısı transferi gerçekleştiği elde edilmiştir.

Ghozatloo vd. (2014), gōvde geçişli ısı değiştiricisinde grafen tabanlı nanoakışkan kullanarak laminer akış koşullarında ısı transferi davranışını araştırmışlardır. Deneyler farklı sıcaklık (25 C, 32 C, 38 C), farklı konsantrasyon (kūtlece %0.05, 0.075 ve 0.1) ve laminer akış koşullarında (Re = 1940) yapılmıştır. Sonuçta grafenin nanoakışkanın ısıl iletkenliği artışına etkisinin ısı transferi katsayısındaki artıştan daha fazla olduğu ve bu etkinin grafen konsantrasyonunun artmasıyla arttığı elde edilmiştir. Bu durum ısıl iletkenlik ve ısı transferi katsayısının sırasıyla statik ve dinamik özelliklerinin farklılıklarıyla alakalıdır. Grafen nanoakışkanının 25 C sıcaklıktaki ısıl iletkenliği kūtlece %0.05, 0.075 ve 0.1 kūtlesele konsantrasyon için sırasıyla %15, %29.2 ve %12.6 artmıştır. Sıcaklığın 25 C' den 38 C' ye çıkarılmasıyla %0.1 kūtlesele konsantrasyon için ısı transferinde %13.1 artış gōrūlmūřtur. Grafen konsantrasyonunun etkisinin yūysek sıcaklıklarda daha belirgin olduğu vurgulanmıştır. Grafen konsantrasyonu %0.025' ten %0.1' e çıkarıldığında 25 C için ısı transferi katsayısındaki artış %15.3 iken 38 C sıcaklıkta %23.9 elde edilmiştir.

Pak ve Cho (1998), %1-3 hacimsel oranlarda karışıma sahip Al₂O₃-su nanoakışkanlarının tūrbūlanslı taşınım ısı transferi karakteristiklerinin deneysel bir araştırmasını sunmuşlardır. Sonuçlar nanoakışkanların Nusselt sayılarının, Nu, artan

hacimsel konsantrasyon ve Reynolds sayısıyla, Re arttığını göstermektedir. Heris vd. (2006), sabit duvar sıcaklığı sınır şartında Al_2O_3 – su nanoakışkanının bir borudaki laminer akış ısı transferi artışını incelemiştir. Diğer bir çalışmada Heris vd. (2007), Reynolds sayısının, Re 700 ve 2050 arasında değiştiği %0.2-%2.5 hacimsel konsantrasyonda Al_2O_3 – su nanoakışkanlarının sabit duvar sıcaklığı altında laminer akış taşınım ısı transferini araştırmışlardır. Ve nanoakışkan Nusselt sayısının, Nu taban akışkandan daha fazla olduğunu tekrarlamışlardır.

Lai vd. (2006), milimetre boyutlu paslanmaz çelik test borusunda (suda 20 nm Al_2O_3 nanoparçacıkları) nanoakışkanın sabit duvar ve düşük Reynolds sayısında ($Re < 270$) akış davranışını çalışmışlardır. %1 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanın Nusselt sayısındaki, Nu maksimum artış %8’ dir. Sharma vd. (2009), yatay boru geometrisinde suya %1 - %2.5 hacimsel konsantrasyonda Al_2O_3 katmışlar ve sonuç olarak Peclet sayısı, Pe 3500 ve 6000 arasında iken saf suyla karşılaştırıldığında ısı transferi katsayısının %41’ in üzerinde arttığı gözlemlenmiştir.

Kulkarni vd. (2008b), silikon dioksit (SiO_2) nanoparçacıkları etilen glikol ve su (kütlece 60:40) karışımına süspansiyon ederek elde ettikleri nanoakışkanların ısı transferi ve akış dinamiği performanslarını araştırmışlardır. Deney sistemleri dış çapı 4.76mm, iç çapı 3.14mm ve uzunluğu 1m olan düz bakır bir borudur. Değişen sıcaklıklarda ve hacimsel debilerde SiO_2 nanoakışkanının reolojik özellikleri araştırılmıştır. Parçacık çaplarının (20nm, 50nm, 100nm) viskoziteye etkisi de incelenmiştir. Deneyler hacimsel debi %2-10 ve Reynolds sayısı, Re 3000-12000 aralığında gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkan viskozitesi parçacık konsantrasyonunun bir fonksiyonu olup, konsantrasyon artışıyla artmaktadır. Bu etki sıfırın altındaki sıcaklıklarda daha belirgindir. Parçacık boyutu arttıkça, nanoakışkanın viskozitesi azalmaktadır. Isı transferi katsayısı hacimsel konsantrasyonla artmaktadır. %10 hacimsel konsantrasyonda (20nm parçacık çapında) ve 10000 Reynolds sayısında, Re ısı transferi katsayısı, k %16 artmıştır. Reynolds sayısı, Re sabitken parçacık çapının artırılması ısı transferi katsayısını artırmaktadır. Basınç kaybı parçacık konsantrasyonunun bir fonksiyonu olup, konsantrasyon artışıyla artmaktadır. Deneylerde parçacık çapına bağlı olarak basınç kaybıyla ilgili fark edilir bir değişiklik görülmemiştir.

Ho vd. (2009), %1-2 hacimsel konsantrasyonlarda Al_2O_3 – su nanoakışkalarının laminer akışta yatay boruda soğutulması için yaptıkları deneyde, ısı transferi katsayısında %51' lik artış elde etmişlerdir. Xie vd. (2010), sabit duvar sıcaklığında dairesel bir bakır boru içerisinde laminer akışta soğutucu olarak nanoakışkanların ısı transferi artırımını incelemişlerdir. Al_2O_3 , ZnO, TiO_2 ve MgO nanoparçacıklarıyla taban akışkanı hacimce %45 EG ve %55 saf su olan nanoakışkan karışımları hazırlamışlardır. MgO, Al_2O_3 ve ZnO nanoakışkanlarının, ısı transferi katsayıları önemli artışlar sergilemiş ve en yüksek artışına MgO nanoakışkanı ile Reynolds sayısı, Re 1000 olduğu durumda %252' lik artışla ulaşılmıştır.

Rea vd. (2009), dikey ısıtılmış boruda alümina-su ve zirkonya-su nanoakışkanı kullanarak laminer taşınım ısı transferini ve viskoz basınç kayıplarını araştırmışlardır. Farklı debi ve giriş sıcaklıklarında yapılan deneyler sonucunda; %6 hacim konsantrasyonundaki alümina nanoakışkanı için ısı transferi katsayısı giriş bölgesi ve tam gelişmiş bölgede sırasıyla %17 ve %27 artmıştır. Zirkonya-su nanoakışkanında ise %1.32 hacim konsantrasyonunda ısı transferi katsayısı, h giriş bölgesi ve tam gelişmiş bölgede sırasıyla %2 ve %3 artmıştır. Ölçülen basınç kaybı genel olarak saf suya göre daha yüksektir. Bunun yanında nanoakışkanın ölçülen ısı transferi katsayısı ve basınç kaybı değerleri laminer akış için kullanılan geleneksel modellerle iyi bir uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir. Nanoakışkanla kanatlı boru ısıtma ünitelerinin performansı, %60 EG ve %40 sudan oluşan geleneksel ısı transferi akışkanı ile matematiksel olarak Strandberg ve Das (2010) tarafından incelenmiştir. Çalışmalarında, %4 Al_2O_3 - %60 EG nanoakışkan durumunda kanatlı boru ısı çıkışında %11.6' lik artış sağlanırken, %4 CuO - %60 EG nanoakışkanı için taban akışkanı ile karşılaştırıldığında %8.7' lik artış elde edilmiştir.

Vajjha vd. (2010a), taşınım ısı transferi ve sürtünme faktörü için yeni bağıntılar sundukları çalışmada; su etilen glikol taban akışkanlı (60:40 EG/Su) alüminyum oksit, bakır oksit ve silikon dioksit nanoakışkanlarını deneysel olarak (3.14mm iç çapında ve 1.168m uzunluğunda bakır boru) kıyaslamışlardır. Isı transferi ve basınç kayıplarına ait deneysel veriler analiz edilerek; yeni reolojik ve termofiziksel özellik bağıntılar geliştirilmiştir. Reynolds sayısı, Re 7240 için, ısı transferi katsayısındaki, h artış %10 Al_2O_3 nanoakışkanında %81.74 ve basınç kaybındaki artış ise %10 Al_2O_3 nanoakışkanı için taban akışkana kıyasla 4.7 kat daha fazladır. Tek fazlı akışkan için yeni geliştirilen Nusselt sayısı, Nu bağıntısı Gnielinski denklemine benzerdir. Yeni geliştirilen bu

bağıntı Reynolds, Re ve Prandtl, Pr sayılarının yanında nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun da fonksiyonudur. Ayrıca, Blasius sürtünme faktörü kullanılarak nanoakışkanların yoğunluk ve viskozitesi ile desteklenmiş yeni bir sürtünme faktörü bağıntısı geliştirilmiştir.

Sommers ve Yerkes (2010), 10nm boyutundaki alüminyum oksit nanoparçacıklarının kütlece %0.5, 1 ve 3 konsantrasyonlarda propanol tabanlı akışkanda kullanarak $\frac{3}{4}$ inç çapında ve 18inç uzunluğundaki bakır boruda ısı transferi performansını araştırmışlardır. Deneyler farklı hacimsel debi (0.5-2.5 gpm) ve ısı oranlarında (50-250 W) yapılmıştır. Yoğunluk, özgül ısı ve ısı iletkenliğinin parçacık konsantrasyonu ile doğrusal arttığı elde edilmiştir. Saf propanol için $Re < 3000$ için ısı transferi katsayısı 200 ile 330 W/m^2K , %1 Al_2O_3 -propanol için ise 200 ile 380 W/m^2K aralığındadır. Aynı andaki basınç düşüşündeki artış ise %400 ile 600 aralığında (%1 Al_2O_3 -propanol, $Re < 2100$) bulunmuştur. Sonuçlara göre ısı iyileşme için Al_2O_3 -propanol nanoakışkanı kullanmanın doğru olmadığı bildirilmiştir. Ayrıca, ısı transferi performansını artırmak için nanoparçacıklar kullanmak yerine, ısı transferi yüzey alanını artırmak ve ısı sınır tabakasını inceltmek gibi geleneksel yöntemler aynı ısı akışkan davranışı elde etmek için kullanılabileceği önerilmiştir.

Nassan vd . (2010), Al_2O_3/su (30nm ortalama boyut) ve CuO/su (30-50nm ortalama boyut) nanoakışkanlarının ısı transferi karakteristiklerini, kare kesitli bir kanalda ($1cm^2$ kesit ve 100cm uzunluk) laminer akış koşullarında ve uniform ısı akısında (740W) karşılaştırmışlardır. Al_2O_3/su için %0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 ve CuO/su için %0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5 konsantrasyonlarında nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Aynı ısı akısında Reynolds sayısı, Re 660 ile 2050 aralığında deneyler yapılmıştır. Sonuçlar her iki nanoakışkan için ısı transferi katsayısında artış olduğunu ayrıca aynı konsantrasyonda CuO/su nanoakışkanının Al_2O_3/su nanoakışkanına göre daha fazla artış sergilediğini göstermiştir. Sonraki teorik ve deneysel araştırmalarda dairesel kesitli olmayan kanallardaki ısı transferi karakteristiklerini anlamak için farklı kesitli kanallara ve nanoakışkanlara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Julia vd. (2012), su tabanlı Al_2O_3 (11nm boyutunda) ve SiO_2 (12nm boyutunda) nanoakışkanlarının ısı transferi katsayısı ve basınç düşüşünü 31.2mm çapında 1000mm uzunluğunda alüminyum boruda karakterize etmişlerdir. Hacimsel konsantrasyonlar %1-5 ve debiler $3000 < Re < 10^5$ aralığında deneyler yapılmıştır.

Akışkan giriş sıcaklığı 60 °C ve Prandtl sayısı, Pr hemen hemen sabit tutularak tüm deneyler yapılmıştır. Zorlanmış taşınım ısı transferi katsayısı, h saf suyla kıyaslandığında Al₂O₃ için %180 ve SiO₂ için %300 oranında artmıştır (Re yaklaşık 3x10⁴ ve %5 hacimsel konsantrasyon). Basınç düşüşü nanoakışkan kullanımıyla artmıştır ve bu artış akışkan viskozitesiyle alakalıdır. En yüksek basınç düşüşü %5 hacimsel konsantrasyonunda SiO₂ için %1000 olmuştur.

Darzi vd. (2013), ortalama çapı 20nm olan Al₂O₃ nanoakışkanın ısı transferi, basınç düşüşü ve ısı performansını etkisini bulmak için çift borulu ısı değiştiricisinde (iç boru çapı 8.1mm, dış boru çapı 150mm ve 220cm uzunluk) deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneylerde sıcaklıklar 27–55 °C, Reynolds sayısı 5000-20000 ve hacimsel konsantrasyon %0-1 aralığında değişmektedir. Sonuçlar göstermiştir ki, nanoakışkan konsantrasyonunun artması ısı transferi ve basınç düşüşünü eş zamanlı artırmaktadır. Aynı zamanda, yüksek ve düşük Reynolds sayılarında ısı transferi ve sürtünme faktörü şiddetlenmektedir. Bu nedenle, yüksek Re sayılarında akışkana nanoparçacık eklenmesinin daha iyi olacağı sonucu çıkarılabilir.

1.2 Oto Radyatörlerde Nanoakışkan Kullanımıyla İlgili Literatür Taraması

Otomobil radyatörlerinde, zorlanmış hava kanatlar üzerine doğrudan gönderilirken, soğutucu akışkan düz borular boyunca pompalanır. Böylece sirkülasyonu yapılan sıcak akışkanla hava arasında ısı değişimi olur. Bu kanatlı borular radyatörlerde, nanoakışkanların uygulanmasıyla aynı sıvı akışıyla artan ısı aktarımını kapsayan birçok potansiyel faydası olacaktır. Performansı etkileyen bu olumlu sonuçlarla, gereken toplam ısı transferi alanında azalma olacaktır. Nanoakışkanın yüksek ısı transferi özellikleri, verilen ısı transferi oranı için düşük akışkan debisiyle sonuçlanabilir. Bunun sonucunda da taban akışkanla karşılaştırıldığında, sıvı pompalama gücünde azalma olacaktır (Peyghambarzadeh vd., 2011b).

Yaygın olarak sıcak ve soğuk havalarda otomobil radyatöründeki suya bazı katkıları eklenir. Bu katkıları suyun donma noktasını azaltır ve kaynama noktasını yükseltir. Bu katkıları soğuk havalarda radyatörü donmaktan korurken, sıcak havalarda otomobili aşırı ısınmadan korumaktadır. Kullanılan bu katkıların hemen hemen hepsi glikol esaslıdır. Özellikle etilen glikol (EG) – su, en iyi motor soğutucusu olduğu için suyun etilen glikol ile karışımı kullanılır. Suyla ilgili sorun uç sıcaklıklarda donması ya da

kaynamasıdır. EG gibi donmaya karşı kullanılan katkıları daha yüksek uç sıcaklıklarla baş etmeye yardımcı olabildiğinden suya eklenmesiyle bir karışım elde edilebilir. Karışımın iyi soğutma kabiliyetinin çoğu su sayesinde olurken, uç sıcaklıklara dayanma kabiliyeti etilen glikolden kaynaklanmaktadır. Örneğin; %60 EG ve %40 su karışımı -45 °C sıcaklığın altında donmamaktadır. EG hidrojen bağlarına dağılarak suda çözülür. Saf EG -12 °C' de donar fakat suyla karıştırıldığında, karışımın donma noktası önemli derecede düşmektedir. Minimum donma noktası sıcaklığı EG'nin sudaki yüzdesi 70 olduğunda gözlemlenmiştir. Bununla birlikte sulu EG'nin kaynama noktası EG yüzdesi arttıkça zaman yükselmektedir. Bu nedenle EG kullanımını sadece donma noktasını azaltmaz aynı zamanda kaynama noktasını da yükseltir.

Görüldüğü üzere, su ve EG gibi geleneksel akışkanlar, zayıf taşınım ısı transferi performansı gösteren akışkanlardır ve bu nedenle gerekli ısı transferini sağlamak için sağlam ve etkin ısı transferi sistemlerine gerek duyulmaktadır. Isı transferini artırmak için gösterilen çabalar arasında akışkana nanoparçacıkların katılması dikkate değer bir konudur ve bu konuyla ilgili çok sayıda araştırma yapılmaktadır (Peyghambarzadeh vd., 2011b).

Choi (2006), enerji verimli nanoakışkanlar ve daha küçük ve daha hafif radyatörler geliştirilmesi yoluyla otomotiv endüstrisi için yakıt tasarrufunu hedefleyen bir proje sunmuştur. Nanoakışkanlar projesinin temel amacı, güç motorlarının yüksek soğutma ihtiyacına rağmen araç soğutma sistemlerinin boyut ve ağırlıklarının %10' dan daha fazla oranda azaltılmasıdır. Nanoakışkanlar otomotiv motorlarında daha yüksek sıcaklıklarda soğutuculara ve daha yüksek ısı atılmasına izin verecek potansiyele sahiptirler. Bu yüksek sıcaklığın radyatörün boyutunu yaklaşık %30 azaltabileceği tahmin edilmektedir. Bu aerodinamik sürtünme, akışkan pompalama ve fan gereksinimlerini azaltarak belki de durumu %10 yakıt tasarrufuna dönüştürür.

Etilen glikol temelli bakır nanoakışkanının otomobil soğutma sistemin için uygulaması Leong vd. (2010) tarafından çalışılmıştır. Bir otomobil radyatörünün ısı transferi artırımını araştırmak için nanoakışkan özellikleri ve deneysel korelasyonlar gibi gerekli veriler literatürden elde edilmiştir. Hacimce %2 Cu/EG nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısı 164 W/m²K (142 W/m²K taban akışkana kıyasla) elde edilmiştir. Hava ve su için sırasıyla 6000 ve 5000 Reynolds sayısı, Re değerlerinde taban akışkana %2' lik bakır parçacıkları eklenmesiyle %3,8' lik ısı transferi artışını

elde edilmiştir. Bu durumun hava tarafındaki ısı transferi alanında (radyatör alanı) %18.7 azalma sağlayacağını hesaplamışlardır. Ayrıca nanoakışkan kullanımının fazladan basınç düşüşüne neden olarak pompa gücünü artırdığını tespit etmişlerdir. Taban akışkana kıyasla, 0.2 m³/s hacimsel debideki %2 bakır parçacık eklenmiş nanoakışkanın pompa gücünün %12.13 arttığı hesaplanmıştır.

Vajjha vd. (2010b), iki farklı nanoakışkan ile (Al₂O₃ ve CuO, su ve etilen glikol karışımı; 60:40 EG/Su) düz tüplü (2.54mm×8.09mm kesitli ve 0.5m uzunluğunda) otomobil radyatöründe üç boyutlu laminar akış ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Viskozite ve ısıl iletkenlik hesabı için parçacık hacimsel konsantrasyonunun ve sıcaklığın fonksiyonu olan deneysel çalışmalardan alınan bağıntılar kullanılmıştır. Parçacık hacimsel konsantrasyonu ile değişen Al₂O₃ ve CuO nanoakışkanları için yapılan ısı transferi hesaplarında konsantrasyonla ortalama ısı transferi katsayısında, h önemli artışlar olduğu görülmüştür. Reynolds sayısı, Re 2000 için, ortalama ısı transferi katsayısı, h %10 Al₂O₃ nanoakışkanında %94 ve %6 CuO nanoakışkanında %89 artmıştır. Analizler göstermiştir ki, Reynolds sayısı, Re ve parçacık konsantrasyonunun artması ile ortalama ısı transferi katsayısı artmıştır. %10 Al₂O₃ nanoakışkanı için Reynolds sayısı, Re 100' den 2000' e çıkarıldığında ortalama ısı transferi katsayısı 865 W/m²K' ten 1762 W/m²K' ye yükselmiştir. Sabit giriş hızında parçacık hacimsel konsantrasyonundaki artış, boru boyunca yüzey sürtünme katsayısında artışla sonuçlanmıştır. Ortalama yüzey sürtünme katsayısı, %6 CuO nanoakışkanı için tam gelişmiş akış bölgesinde ve sabit hızda (0.3952 m/s) taban akışkana kıyasla 2.75 kat fazladır. Aynı miktar ısı transferi için taban akışkana kıyasla pompalama gücü, %10 Al₂O₃ nanoakışkan için %82 ve %6 CuO nanoakışkanı için %77 daha azdır.

Peyghambarzadeh vd. (2011a), otomobil radyatörünün soğutma performansını 20nm boyutunda alüminyum parçacıklar eklenmiş Al₂O₃/su nanoakışkanı kullanarak artırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Hazırladıkları sistemde deneyler, beş farklı nanoakışkan konsantrasyonunda (0.1-1 %hac.) ve hava hızı sabit tutularak gerçekleştirmişlerdir. Taban akışkan giriş sıcaklıkları 37-49 °C aralığında değişirken debisi 2 l/dak., 3 l/dak., 4 l/dak. ve 5 l/dak. tam türbülanslı akış koşullarına ($9 \times 10^3 \leq Re \leq 2.3 \times 10^4$) sahiptir. Saf suya kıyasla %1 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanda %45 ısı transferi artışı kaydedilmiştir. Taban akışkanının debisinin

artırılması saf su ve nanoakışkanın her ikisinde de ısı transferi performansını artmıştır. Isıl iletkenlik verimliliğindeki artış ve diğer termofiziksel özelliklerdeki değişikliklerin ısı transferindeki büyük artışın sebebi olmadığı vurgulanmış bu durumun Brownian hareketinden kaynaklanabileceği ifade edilmiştir.

Peyghambarzadeh vd. (2011b), saf su, saf etilen glikol ve farklı oranlardaki su/etilen glikol (5, 10 ve 20 % hac. EG) karışımlarına 20nm gama alüminyum parçacıkların farklı miktarlarda eklenmesiyle elde edilmiş nanoakışkanlar kullanarak araç radyatöründeki zorlanmış taşınımınla gerçekleşen ısı transferi performansını araştırmışlardır. Nanoakışkan farklı konsantrasyonlarda (0.1, 0.3, 0.5, 0.7 ve 1 % hac. Al_2O_3) olup debisi 2 l/dak., 3 l/dak., 4 l/dak., 5 l/dak. ve 6 l/dak. olarak değiştirilmiştir. Su tabanlı nanoakışkan için giriş sıcaklıkları 35 °C, 45 °C ve 50 °C ve EG tabanlı nanoakışkan için 45 °C, 50 °C ve 60 °C' dir. Hacimce %1 Al_2O_3 nanoparçacık eklenmiş su veya EG nanoakışkanlarda, saf su ve saf EG kıyasla Nusselt sayısında %40 artış kaydedilmiştir.

Hung vd. (2012), alümina nanoakışkanının (Al_2O_3 /su) hava soğutmalı ısı değiştiricisinde ısı dağılımına uygunluğunu incelemişlerdir. Al_2O_3 /su nanoakışkanı doğrudan sentezleme yöntemiyle %0.5, 1 ve 1.5 kütleli konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. 20nm nominal çapındaki parçacıklı Al_2O_3 /su nanoakışkanı 1.8 l/dak., 2.1 l/dak. ve 2.4 l/dak. debilerde ve 30 °C, 40 °C, 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. %0.5 kütleli konsantrasyon ve 30-60 °C sıcaklık aralığında ısı iletkenlikteki artış oranı %3.8-17.2, %1 kütleli konsantrasyondaki %4.6-19.7 ve %2 kütleli konsantrasyondaki %8.1-20.5' dir. Deneyler pompalama gücü 15.35 W iken en yüksek ısı değişimi değerinin 0.325 kW olduğunu göstermiştir. En yüksek ısı transferi artışı en fazla kütleli fraksiyon (%1.5) ve düşük nanoakışkan sıcaklığında (30 °C) %40 olmuştur.

Peyghambarzadeh vd. (2013), deneysel çalışmalarında geleneksel etkenlik, ϵ -NTU (Number Of Transfer Unit) yöntemine göre toplam ısı transferi katsayısını, U hesaplayarak otomobil radyatöründe ısı transferi performansını araştırmışlardır. 60nm boyutundaki bakır oksit (CuO) ve 40nm boyutundaki demir oksit (Fe_2O_3) nanoparçacıklar, üç farklı (hacimce %0.15, 0.4 ve 0.65) konsantrasyonda ve uzun süre kararlı olması için en iyi pH değerinde (pH=10.1 ve pH=11.1 CuO ve Fe_2O_3 nanoparçacıklar için sırasıyla) suya eklenmiştir. Deneylerde, sıvı tarafındaki Reynolds

sayısı, Re 50-1000 arasında değiştirilmiş ve sıvının radyatöre giriş sıcaklığı 50 °C, 65 °C ve 80 °C de sabit tutulmuştur. Ortam havasının sıcaklığı sabit tutularak soğutma için kullanılmış ve hava Reynolds sayısı, Re 500-700 aralığında değiştirilmiştir. Deneysel sonuçlarda; sıvı giriş sıcaklığı azaltıldığında toplam ısı transferi katsayısının arttığı, sıvı ve havanın debilerinin artırılmasının toplam ısı transferi katsayısını artırdığı, nanoparçacık konsantrasyonunun artırılmasının toplam ısı transferi katsayısını, U (özellikle de Fe₂O₃/su nanoakışkanında) artırdığı sonuçları elde edilmiştir.

Naraki vd. (2013), araç radyatöründe laminer akış koşullarında ($100 \leq Re \leq 1000$) CuO/su nanoakışkanı kullanarak deneysel olarak toplam ısı transferi katsayısını, U araştırmışlardır. Tüm deneylerdeki bakır parçacıklar 60nm küresel çapta olup, en kararlı pH=10.1 değeri olduğu görülmüştür. Nanoakışkanın konsantrasyonu hacimce %0-0.4 ve giriş sıcaklığı 50-80 °C' ye artırılarak toplam ısı transferi katsayısı hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar, yazılım kullanılarak Taguchi yöntemine göre istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şunlardır: Nanoakışkanın giriş sıcaklığı artırıldığında toplam ısı transferi katsayısı azalmaktadır. Taban akışkana nanoparçacık eklenmesi toplam ısı transferi katsayısını artırmaktadır. Hacimce %0.15 ve %0.4 CuO nanoparçacık konsantrasyonda saf suyla kıyaslandığında toplam ısı transferi katsayısındaki artış %6 ve %8' dir. Nanoakışkanın hacimsel debisi artırıldığında toplam ısı transferi katsayısı da önemli oranda artmaktadır. Havanın debisi (Re sayısı) artırıldığında toplam ısı transferi katsayısı artmaktadır. Taguchi yöntemi kullanılarak analizler yapıldığında; minimum sıcaklık, maksimum nanoakışkan konsantrasyonu, maksimum nanoakışkan ve hava debileri en iyi çalışma koşulları olarak elde edilmiştir. Hesaplanan maksimum toplam ısı transferi katsayısı 94.11 W/m²K olup deneysel değerle arasında hata %2' dir. Havanın hacimsel debisinin CuO/su nanoakışkanının toplam ısı transferi katsayısındaki katkısı %42' dir. Nanoakışkan hacimsel debisi, giriş sıcaklığı ve nanoakışkan konsantrasyonunun CuO/su nanoakışkanının toplam ısı transferi katsayısındaki katkısı sırasıyla %23, %22 ve %13' tür.

Nieh vd. (2014), 10-20nm boyutundaki Al₂O₃ ve 20-30nm boyutundaki TiO₂ nanoparçacıklarla 210mmx27mmx133mm ölçülerinde 16 düz borudan oluşan alüminyumdan bir motosiklet radyatörüyle deneysel bir çalışma yapmışlardır. NC

(nano-coolant) olarak tanımladıkları 6 farklı nanoakışkan –(NC₁ (EG/0.5 %kütülec Al₂O₃/Su NF), NC₂ (EG/1.0%küt. Al₂O₃/Su NF), NC₃ (EG/2.0%küt. Al₂O₃/Su NF), NC₄ (EG/0.5%küt. TiO₂/Su NF), NC₅ (EG/1.0%küt. TiO₂/Su NF) ve NC₆ (EG/2.0%küt. TiO₂/Su NF). Nanoparçacıkların kütle konsantrasyonları %0.24 (NC₁ ve NC₄), %0.48 (NC₂ ve NC₅), ve %0.96 (NC₃ ve NC₆))– kullanarak 4.5 l/dak., 6.5 l/dak. ve 8.5 l/dak. debilerinde; 80 °C, 85 °C, 90 °C ve 95 °C sıcaklıklarında ve 3.5 m³/dak. sabit hava debisinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Giriş-çıkış basınçlarını ve pompanın harcadığı gücü dijital olarak kayıt altına almışlardır. İklimlendirme sistemi kullanarak ortam sıcaklığını 30 ±1 °C ve bağıl nemi %65 ±5 tüm deneylerde sabit tutmaya çalışmışlardır. Tüm deneyler sonucunda EG/Su ile karşılaştırıldığında NC₁, NC₂, NC₃, NC₄, NC₅ ve NC₆ için sırasıyla; en yüksek ısı iletkenlik oranlarında %26.6, %38.7, %39.7, %24.3, %26.3 ve %35.2, en yüksek özgül ısı oranlarında %2.1, %1.9, %0.1, %0.7, %0.8 ve %3.2 ayrıca en yüksek viskozite oranlarında ise %16.8, %18.3, %20.9, %25.3, %28.6 ve %30.4 artış elde edilmiştir. Tüm deneysel parametreler için Reynolds sayısı, Re Al₂O₃ NC için 292-781 ve TiO₂ NC için 272-719 aralığında değişmiştir. Deneysel verilerin çoğunda, TiO₂ NC‘ nin Al₂O₃ NC‘ den daha yüksek ısı yayma kapasitesine ve tüm NC‘ lerin EG/Su‘ dan daha yüksek ısı yayma kapasitesine olduğu sonucu elde edilmiştir. Optimal koşullarda tüm deneysel parametreler, Al₂O₃ NC (NC₃) ısı yayma kapasitesini %10.5 (8.5 l/dak.debide), TiO₂ NC (NC₆) ısı yayma kapasitesini %25.6 (6.5 l/dak. debide) iyileştirdiğini göstermiştir. Genel olarak ise, EG/Su ile kıyaslandığında ısı yayma kapasitesi, basınç düşüşü, pompalama gücü ve EF (Efficiency Factor: verimlilik faktörü; ısı yayma kapasitesinin pompalama gücüne oranı) en yüksek artış oranları sırasıyla %25.6, %6.1, %2.5 ve %27.2 deneysel olarak elde edilmiştir.

Hussein vd. (2014a), otomobil soğutma sistemindeki ısı transferi artışını ve sürtünme faktörünü hem deneysel hem de sayısal olarak araştırmışlardır. Kullanılan araç radyatörü 345mm uzunluğunda 32 düz dikey bakır tüpten oluşmaktadır. 30nm çapındaki SiO₂ nanoparçacıklar farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%1, 1.5, 2 ve 2.5) ve farklı pH (8.2, 8.6, 9.3 ve 10.2) değerlerinde su taban akışkanına eklenmiştir. Deneylerde akışkan giriş sıcaklığı 60-80 °C ve akışkan debisi ise 2-8 l/dak.aralığında (Re=500-1750) değişmektedir. Sayısal çalışma için sonlu hacim metodu ve Fluent yazılımı kullanılmıştır. Hacimsel konsantrasyonlar %1-2.5 ve Reynolds sayılarında, Re 250-1750 aralığında değişmektedir. Saf su için dört farklı ağ yüzeyi (18x345,

36x345, 72x345 ve 108x345) oluşturulmuş ve 12000 dikdörtgen hücre kullanılmıştır. Deneyle sonuçunda sürtünme faktörü ve ısı transferinde gözle görülür artışlar elde edilmiştir. SiO₂-su nanoakışkanı için en yüksek değerler; hacimsel konsantrasyonun %2.5 olduğu durumda sürtünme katsayısında %22 artış ve Nusselt sayısında, Nu %40 iyileşme olmuştur. Sonuçlar sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının, Nu yüksek oranda hacimsel konsantrasyona ve Reynolds sayısına, Re bağlı olduğunu göstermiştir. Sayısal çalışmada deneysel çalışmadakine benzer olarak Nusselt sayısında, Nu artış elde edilmiştir. Sürtünme faktörü debiyle artarken giriş sıcaklığının artmasıyla azalmaktadır. Reynolds sayısının, Re 1000' den az iken sürtünme faktöründeki sapma %82 olurken bu maksimum durumdan sonraki sapma %40 olmuştur. Su tabanlı SiO₂ için en yüksek Nusselt sayısı, Nu artışı %56 olarak elde edilmiştir.

Araç radyatöründeki ısı transferi artışının Hussein vd. (2014b) tarafından, su tabanlı TiO₂ ve SiO₂ nanoparçacık kullanılarak laminer akış koşulları altında incelendiği çalışmada; akışkan giriş sıcaklığı 60-80 °C arasında, akışkan debisi ise 2 l/dak., 5 l/dak., 8 l/dak. değerlerinde ve hacimsel konsantrasyon %1-2 olarak değişmektedir. Yapılan deneyler sonucunda su tabanlı TiO₂ ve SiO₂ nanoparçacıklar için en yüksek Nusselt sayısı, Nu artışı sırasıyla %11 ve %22.5 elde edilmiştir. TiO₂-su nanoakışkanının saf suya kıyasla ve SiO₂-su nanoakışkanının TiO₂-su nanoakışkanından daha yüksek ısı transferi artışına sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Hussein vd. (2014c), araç radyatörünün ısıl performansını su taban akışkanına TiO₂ ve SiO₂ nanoparçacıklar (50nm ve 22nm) ekleyerek araştırmışlardır. Deneyler, hacimce %0.1-2.5 fraksiyon, 2-7 l/dak. debilerde ve 250-1750 Reynolds sayısı, Re aralığında yapılmıştır. Elde edilen en yüksek sürtünme faktörü değerleri TiO₂-su ve SiO₂-su için sırasıyla 0.24 ve 0.16' dır. Nusselt sayısının, Nu Reynolds sayısı, Re ve nanoakışkanın hacim konsantrasyonu ile arttığı gözlenmiştir. Laminer akış şartlarında en yüksek Nusselt sayısı, Nu TiO₂-su için 16.4 ve SiO₂-su için 17.85 elde edilmiştir. Ayrıca, suyla kıyaslandığında Nusselt sayısı, Nu için en yüksek sapma oranı TiO₂-su ve SiO₂-su için sırasıyla %25.12 ve %30.06' dır. En yüksek ısı transferi oranları TiO₂-su ve SiO₂-su için sırasıyla 63 W ve 74 W elde edilmiştir. SiO₂-su nanoakışkanının TiO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksek ısı transferi oranına sahip olmasının sebebi SiO₂-su yüksek ortalama hıza ve TiO₂-su nanoakışkanına kıyasla düşük yoğunluğa sahip

olmasıdır. Benzer şekilde, TiO_2 -su ve SiO_2 -su için en yüksek ısı enerji etkenlik değerleri sırasıyla 20.138 ve 21.6 olarak elde edilmiştir.

Vermahmoudi vd. (2014), su tabanlı demir oksit (40nm çapında Fe_2O_3 /su) nanoakışkanının toplam ısı transferi katsayısını, U hava soğutmalı ısı değiştiricisinde (34 dikey tüplü otomobil radyatörü) laminer akış koşullarında deneysel olarak ölçmüşlerdir. Farklı hacimsel konsantrasyonlardaki (%0.15, 0.4 ve 0.65) Fe_2O_3 /su nanoakışkanı 0.2-0.5 m^3/h aralığında incelenmiştir. Demir oksit parçacıklarının daha iyi dağılımları için suya kütlece %0.8 polietilen glikol eklenmiş ve pH değeri 11.1 olarak ayarlanmıştır. Havanın akış debisi 740-1009 m^3/h ve nanoakışkanın giriş sıcaklığı için 50 °C, 65 °C ve 80 °C değerleri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır: i) toplam ısı transferi katsayısı için elde edilen sonuçlar Sieder–Tate, Dehghandokhtet vd. ile Xuan ve Li bağıntılarıyla uyumlu olup sırasıyla ortalama hata oranları %7, %17 ve %3 hesaplanmıştır ii) nanoakışkan sıcaklık farkındaki artışın logaritmik ortalama sıcaklık farkındaki artışa göre az olması sebebiyle nanoakışkan giriş sıcaklığının artması toplam ısı transferi katsayısını, U azaltmıştır iii) nanoakışkanın ve havanın Reynolds sayısındaki, Re artış toplam ısı transferi katsayısı, U ve ısı transferi oranını artırmıştır iv) nanoakışkanın ısı transferi performansı parçacıkların hacimsel konsantrasyonu ile artmıştır. Taban akışkana (suya) kıyasla %0.65 hacimsel konsantrasyondaki nanoakışkan uygulaması için ısı transferi katsayısında %13 ve ısı transferi oranında %11.5 artış sağlanmıştır.

Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar teorik, deneysel ve sayısal olarak gruplandırılabilir. Gerek deneysel gerekse teorik olarak yapılan çalışmaların birçoğu nanoakışkanların ısı iletkenlik katsayılarının ve viskozitelerinin ölçülmesi ya da model eşitliklerinin belirlenmesi üzerinedir. Sayısal çalışmalar ise nanoparçacıkların eklendiği akışkan içerisinde çok iyi yayıldığı (tek faz akış) varsayımı yapılarak kütle, momentum ve enerji korunum eşitliklerinin sayısal olarak çözümlenmesi prensibine dayanmaktadır. Momentum ve enerji korunum denklemleri içerisinde yer alan akışkan termofiziksel özellikleri (viskozite, yoğunluk, ısı iletkenlik, özgül ısı ve ısı genleşme katsayısı) nanoakışkanın fiziksel özellikleri ile değiştirilerek sayısal çözüm yapılmaktadır. Şu durum vurgulanmalıdır ki, otomobil radyatörlerinde nanoakışkanın deneysel performansını değerlendirmek için mevcut doküman sayısı neredeyse yok denecek kadar azdır. Bu nedenle bu çalışmada, bu konu üzerine inceleme yapılacaktır.

2. MOTORLU ARAÇLARDA SOĞUTMA SİSTEMİ

2.1 Isı Değiştiricileri ve Sınıflandırılması

Farklı sıcaklıkta ve birbirinden katı bir cidar ile ayrılan iki akışkan arasındaki ısı geçişi, birçok mühendislik uygulamasında önem taşır. Bu tür bir ısı geçişini gerçekleştirmek için kullanılan cihaz, ısı değiştiricisi olarak adlandırılır ve hacim ısıtmasında, iklimlendirme tesislerinde, termik santrallarda, atık ısının geri kazanılmasında ve kimyasal işlemlerde uygulama alanı bulur (Incropera ve DeWitt, 2000).

Isı değiştiricileri genel olarak; konstrüksiyon geometrilerine, ısı transferi mekanizmasına, akış düzenlemelerine, ısı transferi işlemine göre sınıflandırılır.

2.1.1 Konstrüksiyon Geometrisi

Konstrüksiyon geometrisine göre ısı değiştiricileri; borulu, plakalı ve kompakt olmak üzere genel olarak üç alt başlık altında sınıflandırılabilir.

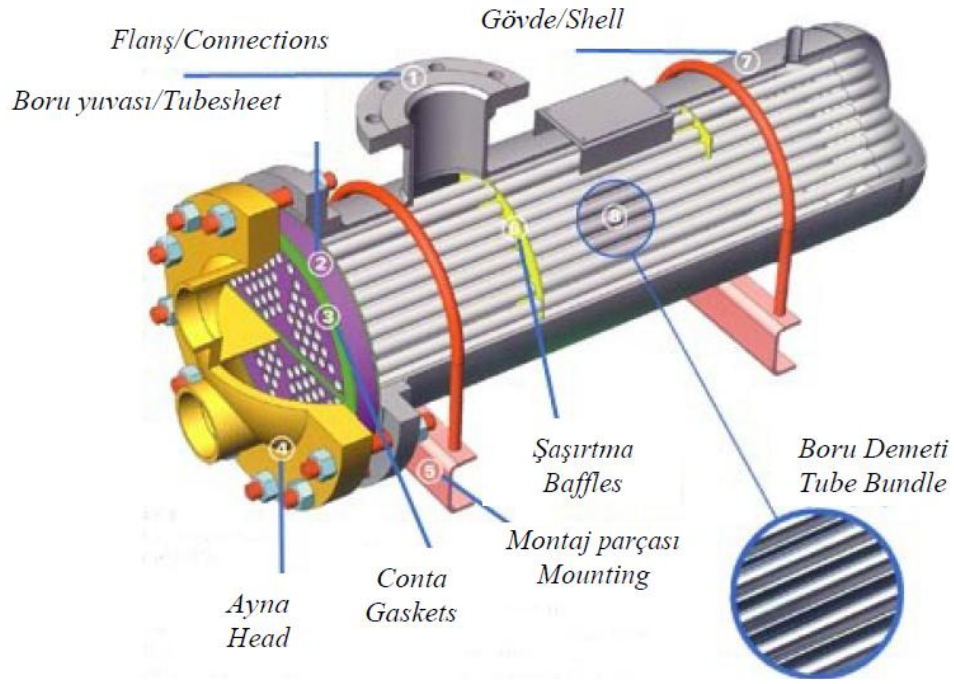
Borulu ısı değiştiricileri; çift borulu, gövde boru tipi, spiral borulu olarak, plakalı ısı değiştiricileri; contalı - plakalı, spiral plakalı ve lamelli olarak, kompakt ısı değiştiricileri de; plakalı - kanatlı, kanatlı - borulu olarak çeşitlendirilir. Daha büyük konstrüksiyon tipleri; tüplü, düzlemlili ve uzatılmış yüzeyli ısı değiştiricileridir (Kakaç ve Liu, 2012).

2.1.1.1 Borulu Isı Değiştiricileri

Dairesel kesitli tüplerden yapılan bu eşanjörlerde, akışkanlardan biri içteki tüpten, diğeri dıştaki tüpten akar. Tüplerin çapının, uzunluğunun ve sayısının değiştirilebilir olması, modelin tasarımı sırasında esneklik sağlamaktadır. Borulu ısı değiştiriciler genellikle yuvarlak kesitli borulardan imal edilse de; eliptik, prizmatik ya da burulmuş tip borular da kullanılabilir. Borulu ısı değiştiriciler çoğunlukla aralarında yüksek basınç farkı bulunan akışkanlar için tasarlanır ve sıvı-sıvı veya faz değişimi uygulamaları için kullanılır. Gövde-boru, çift boru ve spiral boru olmak üzere üçe ayrılırlar (Kakaç ve Liu, 2012; Kaçar ve Erbay, 2013).

Gövde Boru Tipi Isı Değiştiricileri: Taşıdıkları ısı yüküne, üretim tekniklerine ve maliyetlerine, kirlenme faktörüne, basınç düşüşüne ve basınç miktarına karşı çeşitli gövde boru tipi ısı değiştiricisi uygulamaları vardır. Bu tür ısı değiştiricilerinde, ısı

transferi katsayısını artırmak ve tüpleri desteklemek için saptırıcılar kullanılmaktadır. Sadece bir ayna gerekli olduğundan U borular en ucuz konstrüksiyonlardır. U dönüşünün keskinliğinden dolayı boru tarafı mekanik olarak temizlenemez. Bu tür konstrüksiyonlarda termal genişleme sınırlandırılmaz ancak boru geçiş sayısı farklı olabilir (Kakaç ve Liu, 2012).



Şekil 2.1 Gövde-Boru ısı değıştirci (Kaçar ve Erbay, 2013).

Borulu ısı değıştirciler genellikle yuvarlak kesitli borulardan imal edilse de; eliptik, prizmatik ya da burulmuş tip borular da kullanılabilir. Borulu ısı değıştirciler çoğunlukla aralarında yüksek basınç farkı bulunan akışkanlar için tasarlanır ve sıvı-sıvı veya faz değışimi uygulamaları için kullanılır. Gövde-boru, çift boru ve spiral boru olmak üzere üçe ayrılırlar. Gövde-boru ısı değıştirciler; bir grup yuvarlak borunun, silindirik bir kabuğun içine yerleştirilmesiyle elde edilir. Ana bileşenleri; borular, gövde, ön ayna, arka ayna, şaşırtma levhası, boru destekleridir (Kaçar ve Erbay, 2013).

Çift Borulu Isı Değıştircileri: Sistem genellikle birinin çapı diğlerinden daha büyük, aynı eksenli, iç içe geçmiş iki borudan yapılır. Ancak pratikte çift borunun yanı sıra boru demeti şeklinde olan çeşitlerine de rastlanır. Akışkanlardan biri içteki, diğeri dıştaki borudan akar ve bu akışlar birbirlerine paralel olabileceği gibi ters de olabilir. Çift borulu ısı değıştirciler; toplam ısı transferi alanının 50 m^2 ya da daha az olduğu

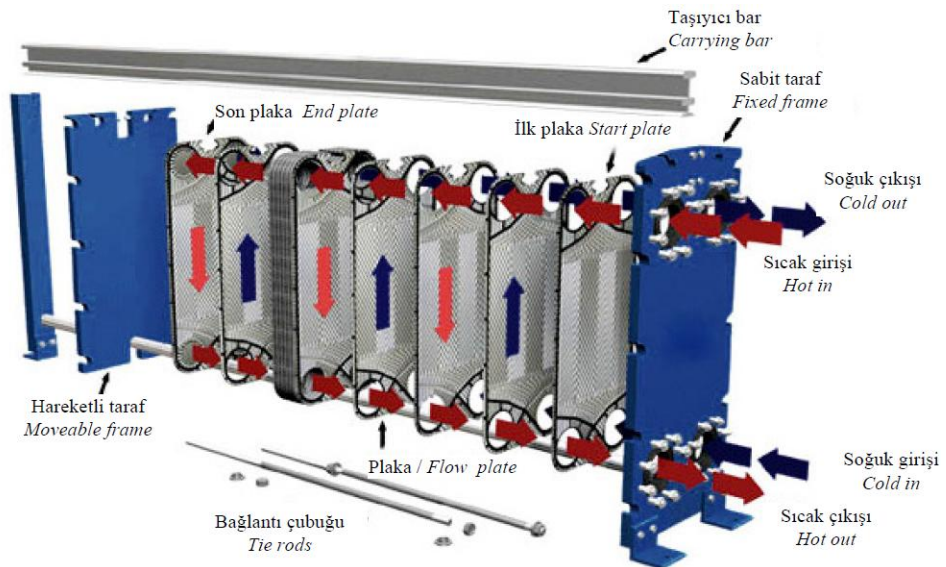
küçük kapasiteli uygulamalar için kullanılırlar. Çünkü birim ünite maliyeti fazladır (Kakaç ve Liu, 2012; Kaçar ve Erbay, 2013).

Spiral Borulu Isı Değiştiricileri: Bu tür ısı değiştiricileri, soğutma sistemlerinde kullanılan kondenser ve evaporatörler için tasarlanırlar. Spiral borulu ısı değiştiricileri, bir gövde içerisine yerleşmiş spiral bir şekilde kıvrıla kıvrıla devam eden serpantinlerden oluşur. Spiral borudaki ısı transferi katsayısı, düz boruya göre daha büyüktür. Bu eşanjörler temiz akışkanlara ve termal genleşmeye daha uygundur çünkü bunların temizlenmesi neredeyse imkânsızdır (Kakaç ve Liu, 2012).

2.1.1.2 Levhalı Isı Değiştiricileri

Bu tip ısı eşanjörleri akış kanallarını oluşturan ince levhalardan oluşmaktadır ve akışkan akımları düz levhalarla ayrılmıştır. Levhalı ısı eşanjörleri, herhangi bir gaz, sıvı ve iki fazlı akışlar için ısının transfer edilmesinde kullanılır. Levhalar, düz ya da girintili-çıkıntılı olabilir. Bu tip ısı değiştiriciler yüksek basınca, sıcaklığa ya da yüksek basınç veya sıcaklık farklarına dayanıksızdırlar. Contalı, spiral levhalı, lamelli olarak üçe ayrılırlar (Kakaç ve Liu, 2012; Kaçar ve Erbay, 2013).

Contalı - Levhalı Isı Değiştiricileri: Contalı levhalı ısı değiştiriciler, ince metal levhalardan bir paket yapılarak elde edilir. Bu levhaların dört köşesinde akışkanların geçebilmesi için delikler bulunmaktadır. Uygun contalarla akışkanlar yönlendirilir ve birbirlerine karışmaları engellenir. Sıkıştırma çubukları ile sıkıştırılır. İstenildiğinde sisteme levha eklenip çıkarılarak, ısıl kapasite değiştirilebilir (Kakaç ve Liu, 2012).

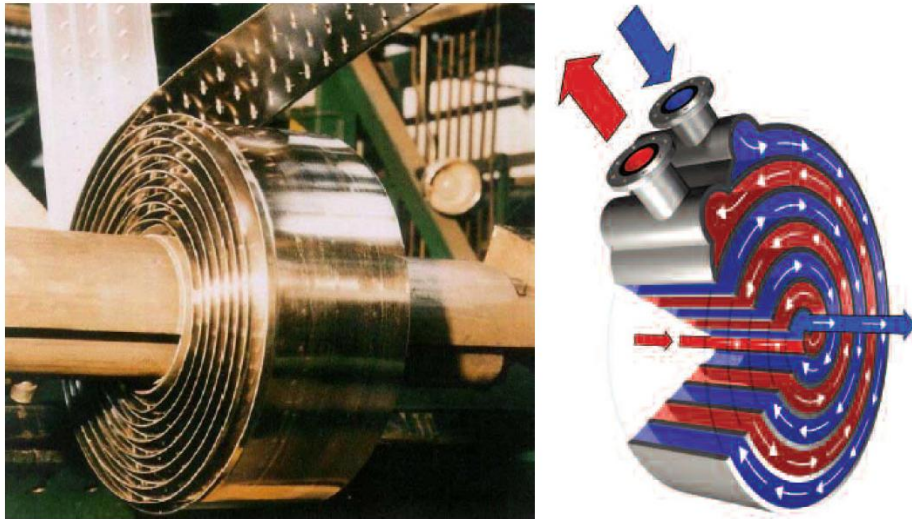


Şekil 2.2 Contalı - Levhalı ısı değiştiricisi (Kaçar ve Erbay, 2013).

Contalı - levhalı ısı değiştiricileri, akışkanları ayıran bir dizi dalgalı veya oluklu ince levhalardan oluşmaktadır. Contaların işlevi levhalar içinde akışkanları istenen şekilde yönlendirmek ve dışarıya sızıntı olmasını engellemektir. Akış düzeni genellikle akışkanlar birbirine karşılıklı akacak şekilde düzenlenir.

Bu tip ısı değiştiricileri genellikle 250 C sıcaklık ve 25 bar basınç altında çalışabilmektedirler. Bunlar contalama ve konstrüksiyon detayları nedeniyle çalışma basıncı ve sıcaklığı yönünden sınırlandırılabilirler. Bu ısı değiştiricileri rahatlıkla temizlenebilir çünkü parçaları tamamen sökülebilir. Bu zellikleri nedeniyle bu tip eşanjörler gıda endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Contalı - levhalı ısı değiştiricilerinin çalışma sıcaklığı ve basıncı, gövde boru tipi ısı eşanjörlerine göre daha düşüktür.

Spiral Levhalı Isı Değiştiricileri: Bu tip ısı değiştiricileri iki uzun, paralel levhanın spiral şeklinde yuvarlatılıp akış kanallarını oluşturmak için kenarlarından diğer levhalara kaynaklanmasından meydana gelmiştir. Her iki spiral kanal içindeki metal yzeyleyler arasındaki mesafe, metal yzeyleyere kaynaklanan uzaklık pimleri ile muhafaza edilmiştir. Bu uzaklık pimlerinin uzunluğu 5 ile 20 mm arasında değişir. Bu nedenle akış debisine bağlı olarak farklı kanal boşlukları seçmek mümkündür (Kakaç ve Liu, 2012).

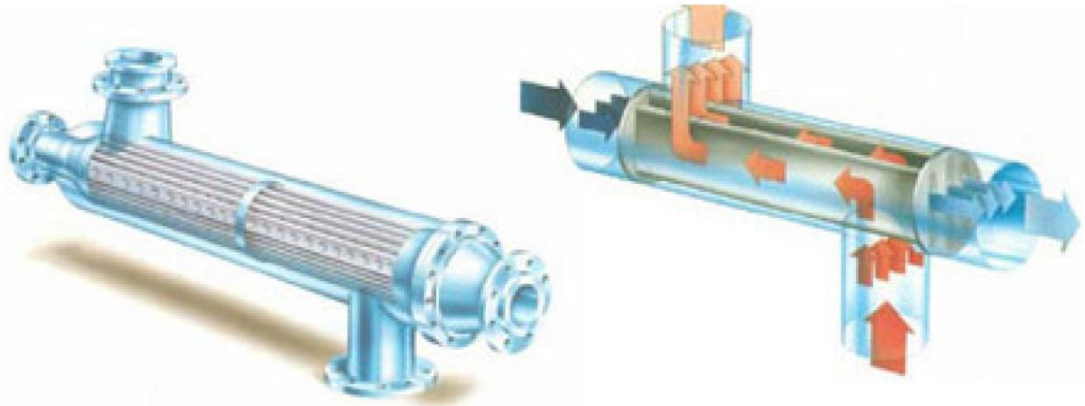


şekil 2.3 Spiral levhalı ısı değiştirici (Kaçar ve Erbay, 2013).

Spiral levhalı ısı değiştiricilerinin kirlenme eğilimi düşüktür ve bakımı kolay yapılır. Rahatlıkla temizlenebilirler ve kimyasal temizleme etkin bir şekilde yapılabilir. Isıl verimleri yüksektir. Montaj maliyeti düşük olup orta ve yüksek dereceli akışkanlar için

çok verimlidir. İstendiği takdirde levhalar üzerinde oluklar oluşturularak ısı transferi arttırılabilir. Yüksek hızlar kullanılabilirdiğinden ve akış dağılımı iyi olduğundan sıcaklığa duyarlı akışkanlar için son derece uygundur. Spiral dönüşlerden dolayı spiral levhalı ısı değiştiricilerin çapı çok fazladır. Sistemin ısı transferi katsayıları; gövde-boru tip ısı değiştiricilerinden fazla olsa da, levhalı ısı değiştiricilerinden azdır (Kakaç ve Liu, 2012; Kaçar ve Erbay, 2013).

Lamelli Levhalı Isı Değiştiricileri: Ramen tip olarak da bilinen lamelli ısı eşanjörleri, bir gövde içerisine boylu boyunca yerleştirilmiş bir takım paralel, kaynaklı, ince levha kanalları veya lamellerden oluşur. Bu lameller dikdörtgen veya düzleştirilmiş borular şeklinde olabilir. Bu ısı değiştirici türleri yüzen başlıklı bir gövde-boru tipi ısı eşanjörünün bir modifikasyonudur. Lamel olarak adlandırılan düzleştirilmiş borular iki levhanın dikiş kaynağı veya nokta kaynağı ile birleştirilmesinden meydana gelir. Lameller her iki ucundan çelik çubuklarla kaynak edilirler. Lamel demetinin her iki ucu, dıştaki uçları giriş ve çıkış lülelerine (nozzles) kaynaklı olan lamel kaplamasına çevresel olarak kaynaklanırlar. Böylece lamel kısmı tamamen kaynaklanmış olur. Kana kaplaması gövde flanşına civata ile bağlanan bir flanş halkasına sahiptir (Kakaç ve Liu, 2012).



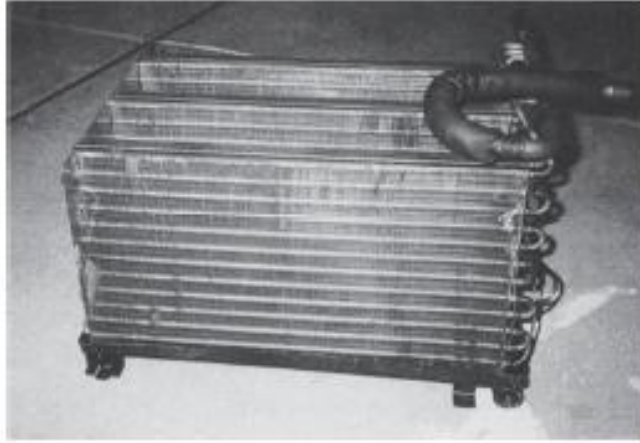
Şekil 2.4 Lamelli levhalı ısı değiştiricisi (Kaçar ve Erbay, 2013).

Lamelli ısı değiştiricileri doğru bir karşıt akış için düzlenenebilir çünkü gövde tarafında hiç saptırıcı yoktur. Düzgün yüzeyler, yüksek türbülans ve düzgün dağılımlı bir akış nedeniyle lameller kolaylıkla kirlenmezler. Levha demeti temizlik ve bakım için kolaylıkla çıkarılabilir. Bu tasarım 35 bar çalışma basıncı altında, asbest contalarla 500 °C ve teflon contalarla 200 °C çalışma sıcaklığında kullanılabilirler. Bu tip ısı değiştiricilerinin ısı verimleri yüksektir çünkü tam karşıt akış elde edilebilmektedir. Hidrolik çap küçük olduğu için büyük ısı taşınım katsayıları elde edilebilir. Bakımları

kolaydır ve minimum kirlenme eğilimine sahiptirler. Gövde borulu ısı değiştircilerine göre daha kompaktırlar. Düzgün akış yollarına sahiptir. Kimyasal temizleme etkin bir şekilde yapılabilir (Kakaç ve Liu, 2012).

2.2.1.3 Kompakt Isı Değiştircileri

Kompakt veya diğer adıyla genişletilmiş yüzeyli bir ısı eşanjöründe ısı transferi miktarını arttırmak amacıyla birincil ısı transferi yüzeyi (borular veya plakalar) üzerine kanatlar ve eklentileri olan cihazlardır. Gaz tarafındaki ısı transferi katsayısı sıvı tarafındaki ısı transferi katsayısından olduğundan gaz tarafındaki ısı transferi miktarını arttırmak için gaz tarafında kanatlı ısı transferi yüzeyleri kullanılır. Kanatlar genellikle sıvı ile gaz veya gaz ile gaz akışkanların olduğu ısı eşanjörlerinde kullanılır.



Şekil 2.5 Gazdan sıvıya kompakt ısı değiştircisi (Kakaç ve Liu, 2012).

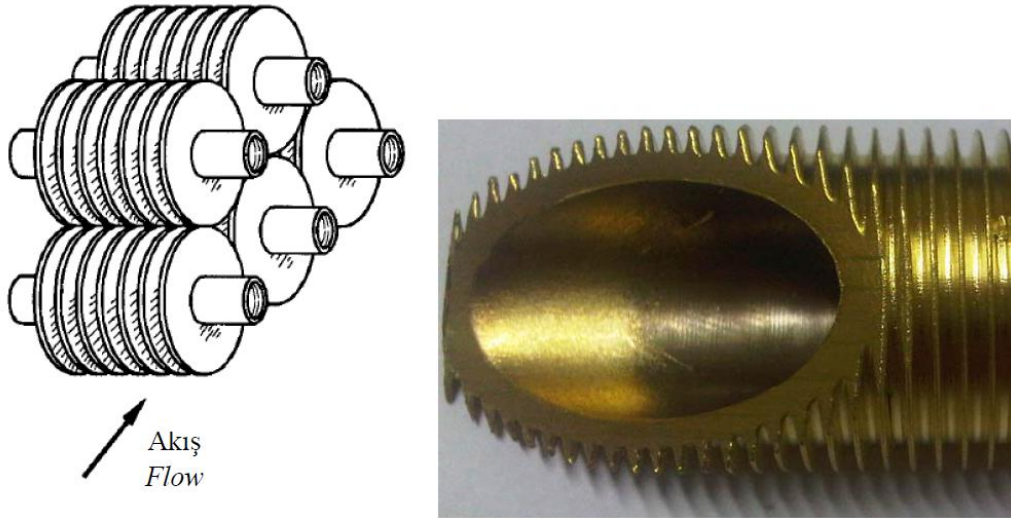
Kompakt ısı değiştircileri küçük bir hacimde bulunan iki akışkan arasında yüksek ölçüde ısı transferinin gerçekteşmesine imkân sağlarlar ve ısı değiştircilerin ağırlık ve hacminde katı sınırlamaları olan uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılırlar (Çengel, 2011).

En yaygın iki kompakt ısı eşanjörü tipi, kanatlı – plakalı ve kanatlı – borulu ısı eşanjörüdür (Kakaç ve Liu, 2012).

Kanatlı – Plakalı Isı Değiştircileri: Plakalı-kanatlı ısı eşanjörleri öncelikli olarak her iki akışkanın da gaz olduğu uygulamalarda kullanılır. Birçok uygulamada (kamyonlarda, arabalarda ve uçaklarda) hacim azalması önemlidir. Plakalı-kanatlı ısı eşanjörlerinin kullanım alanları, gaz ve buhar türbinleri, otomobil, kamyon, uçak motorları soğutma sistemleri, ısı pompaları, soğutma ve iklimlendirme tesisleri, elektronik devrelerin soğutma devreleri ile enerji geri kazanım sistemleridir.

Çapraz-akışlı veya karşıt-akışlı akış uygulamalarına sahip olabilir. Düşük ağırlığa sahiptir. Kullanılan kanatlar ısı değıştirgecinin rijitliğini artırır ve yüksek basınçlarda çalışmasını sağlar. Plakalı-kanatlı ısı eşanjörleri küçüktürler ve bu nedenle aşırı basınç düşümlerinden kaçınmak için küçük kütleli debilerin (10 ile 300 kg/m²s) olması gerekir. Küçük kütleli debilerin olması kanalların kirlenmeye eğilimli olabileceği gerçeğini de beraberinde getirir. Mekanik olarak temizlenmesi zor olan bu eşanjörler için temiz akışkanların kullanılmasını zorunlu hale getirir.

Kanatlı Borulu Isı Değıştiricileri: Bu ısı değıştiricileri, gazdan sıvıya ısı değıştiricileri olarak kullanılırlar. Gaz tarafındaki ısı transferi katsayısı genellikle sıvı tarafındakine göre çok daha düşüktür ve kanatlar gaz tarafı için gereklidir. Kanatlı borulu bir ısı eşanjörü, dışında sabit kanatlar bulunan bir dizi borudan oluşur. Pratikte dairesel veya oval kesitli boru dışındaki kanatlı yüzeyler ile daha çok karşılaşılır. Kanatlar boru ile birlikte imal edilebildiği gibi, sonradan boru üzerine döküm, kaynak, lehim veya sıkı geçme tekniği ile tespit edilebilir. Kullanım alanları, güç santralleri, pervaneli soğutma grupları, taşıt araçları, iklimlendirme ve soğutma tesisatlarıdır (Kakaç ve Liu, 2012).



Şekil 2.6 Kanatçıklı borulu ısı değıştirici (Kaçar ve Erbay, 2013).

2.1.2 Isı Transferi Mekanizmaları

Isı eşanjörleri aynı zamanda ısı transferi mekanizmalarına göre de sınıflandırılırlar:

1. Her iki tarafta da tek fazlı taşınım
2. Bir tarafta tek fazlı diğer tarafta iki fazlı taşınım
3. Her iki tarafta da iki fazlı taşınım

Kazanlardaki hava ısıtıcıları, ekonomizerler, kompresör ara soğutucuları, otomobil radyatörleri, rejeneratörler, yağ soğutucuları gibi ısı eşanjörlerinde her iki tarafta da tek fazlı taşınım gerçekleşir.

Kondenserler, kazanlar, buhar jeneratörleri, evaporatörler ve iklimlendirmede kullanılan radyatörler yoğunlaşma, kaynama ve radyasyon mekanizmalarına sahiptirler. İki fazlı ısı transferi eşanjörün iki yüzeyinde de gerçekleşir. Örneğin; kondenserlerde eşanjörün bir yüzeyinde yoğunlaşma olurken diğer yüzünde kaynama olur (Kakaç ve Liu, 2012).

2.1.3 Akış Düzenlemeleri

Isı eşanjörleri, eşanjör boyunca olan akış yörüngelerine göre de sınıflandırılabilir. Üç temel konfigürasyon tipi vardır: Paralel akış, karşıt akış ve çapraz akış.

Paralel akışlı ısı eşanjörlerinde iki akışkan bir uçtan aynı anda girerler ve diğer uçtan ayrılırlar. Karşıt akışlı eşanjörlerde iki akışkan zıt yönde akar. Çapraz akışlı ısı eşanjörlerinde bir akışkan diğer akışkanın aktığı düzlemde farklı bir düzlemde çıkar. Çapraz akışlı düzenlemede akış, karışmış veya karışmamış olarak adlandırılır. Eğer düzenlemede boru içindeki akışkan dik yönde hareket serbestliğine sahip değil, boruların dışında akan akışkan da dik yönde hareket serbestliğine (kendi kendine karışabilme) sahipse bu eşanjör karışmamış-karışmış çapraz akış (unmixed-mixed cross flow) ısı eşanjörü adını alır (Kakaç ve Liu, 2012).

2.1.4 Isı Transferi İşlemleri

Isı değiştiricileri transfer işlemlerine göre doğrudan temaslı ve dolaylı temaslı olarak sınıflandırılırlar. Doğrudan temaslı ısı değiştiricilerinde ısı, iki akışkan arasındaki direkt temastan dolayı, soğuk ve sıcak akışkan arasında iletilir. Sıcak ve soğuk akımlar

arasında duvar yoktur. Isı transferi iki akım arasındaki yüzey boyunca meydana gelir. Doğrudan temaslı ısı değiştiricilerinde akışkanlar, iki tane karışmayan sıvı, gaz-sıvı çifti ya da katı parçacık-sıvı kombinasyonudur. Püskürtmeli, tray yoğunlaştırıcılar ve soğutma kuleleri bu tür ısı değiştiricilerine örnektir. Bu tür ısı değiştiricilerinde oldukça sık ısı ve kütle transferi, eş zamanlı olarak meydana gelir. Soğutma kulelerinde suyun kulenin tepesinden püskürtülmesi doğrudan temaslıdır ve yukarı doğru akan havanın buharı tarafından soğutulur.

Dolaylı temaslı ısı değiştiricilerinde, ısı enerjisi bir transfer yüzeyi boyunca akan sıcak ve soğuk akışkanlar arasında değiştirilir. Isı enerjisi ayırma duvarları boyunca transfer edilirken, soğuk ve sıcak akışkan eş zamanlı olarak akar. Akışkanlar karışmazlar. Doğrudan temaslı ve dolaylı temaslı tip eşanjörler recuperatörler olarak da bilinirler. Borulu (çift borulu, gövde boru tipi), düzlem tipi ısı değiştiricileri, soğutma kuleleri, tabla yoğunlaştırıcılar bu tip ısı değiştiricilerine örnektir (Kakaç ve Liu, 2012).

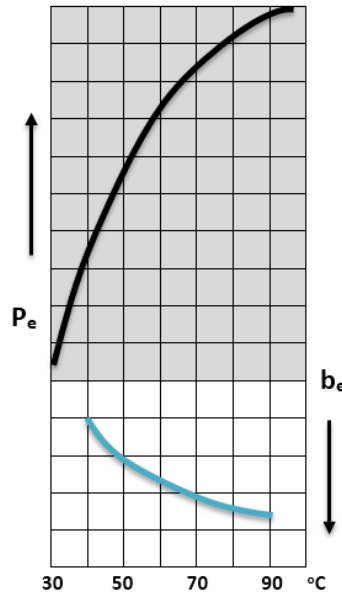
2.2 Oto Radyatörlerde Soğutma Sistemi

İçten yanmalı termik motorlarda ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi sırasında silindir içinde sıkıştırma sonunda (11-18 bar basınç ve 300-500 °C sıcaklıkta) yakıtın yanmasıyla ve hareket halindeki parçaların sürtünmesi ile oluşan sıcaklık 2000-2500 °C' ye kadar ulaşır. Yanma sonucunda oluşan basınç ve ısı pistonu A.Ö.N.' ye (Alt Ölü Nokta) iterken motorda kullanılan faydalı güç elde edilir. Oluşan ısı ve basınç ne kadar artarsa, pistonun yüzeyine o kadar kuvvet etkiyerek faydalı (efektif) güç miktarını o oranda artırır. Motorda efektif gücün elde edilmesi sırasında açığa çıkan yüksek ısı, dökme demir ve alüminyumdan oluşan motor parçalarını eritecek kadar yüksektir. Bu sebeple motor parçalarının yüksek ısıdan dolayı özelliklerini kaybetmemeleri için, yüksek ısının çalışma ortamından uzaklaştırılarak, motorun işletim sıcaklığında sabit tutulması zorunludur. Yanma ve sürtünme kuvvetleri nedeni ile oluşan yüksek ısının bir kısmı, silindir yüzeyleri, silindir kapağı, pistonlar, motor yağı ve egzoz gazları tarafından absorbe edilirken, büyük bir kısmı da soğutma sistemi ile çalışma ortamından uzaklaştırılır. İçten yanmalı motorlar ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürken, açığa çıkan ısının ancak 1/3'ünden faydalı enerji olarak yararlanılır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 İçten yanmalı motorlarda açığa çıkan yaklaşık enerji dağılımı (%).

Dizel motorda faydalı iş	~% 32
Benzin motorunda faydalı iş	~% 24
Soğutma sistemi kaybı	~% 32
Egzoz kaybı	~% 29
Sürtünme ve yayılma kaybı	~% 7

Termik motorlarda soğutma sistemi kontrolü, çalışma şartlarının oluşturulmasını belirlemekle birlikte, motor güç çıkışı ve yakıt tüketimi üzerinde doğrudan etkiler göstermektedir.



Şekil 2.7 Soğutma sisteminin motor güç çıkışı (P_e) ve özgül yakıt tüketime (b_e) etkisi.

Her iki soğutma devresinin amacı motorda istenmeyen fazla ısının alınıp havaya aktarılmasını sağlamaktır. Silindirler arasındaki su ceketlerinde bulunan soğutma suyu yanma sonucu oluşan ısıyı üzerine alır. Daha sonra ısınan su devir daim pompası yardımıyla radyatör üst haznesine gönderilerek alınan ısının havaya iletilmesi sağlanır. Radyatör petekleri arasından geçen hava ile soğuyan su alt hazneye iner ve tekrar devir daim pompası tarafından alt hortumdan çekilerek motorun soğutulmasına devam edilir.

Motor soğulmasının dayandığı temel ilke, basınç altında tutulan suyun kaynama sıcaklığını 100 °C' den 115-130 °C arasına yükseltmektir. Bu amaçla soğutma suyu

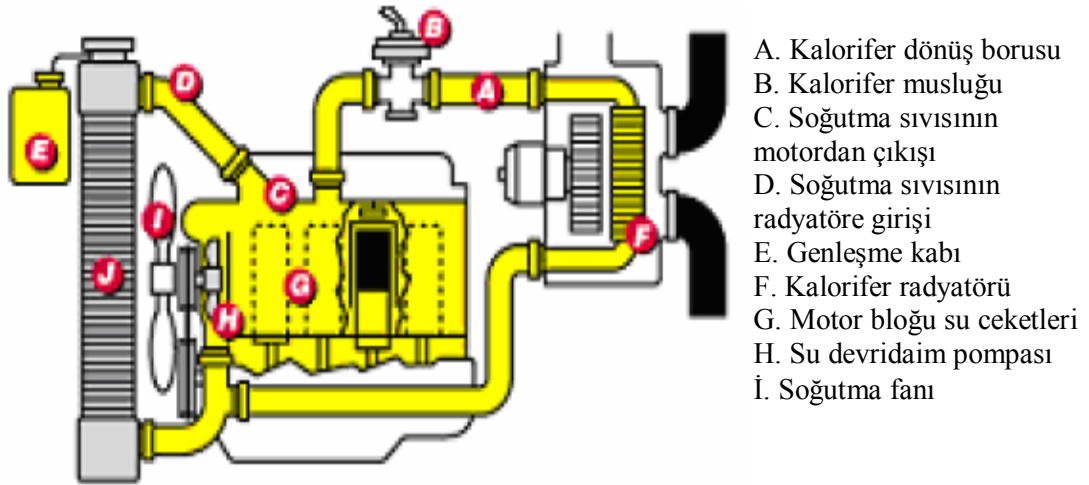
devresi 0.98-1.4 kg/cm² (bar) basınca maruz tutulur, bu nedenle de günümüzde kullanılan su ile soğutma devreleri 'kapalı devre soğutma sistemi' olarak adlandırılır. Örneğin; ısıtılan suyun basıncı 1 kg/cm² arttırıldığında, kaynama derecesi yaklaşık olarak 126 °C' ye yükselir. Böylece ağır çalışma şartları altında, motor çalışma ısısı 110°C' ye ulaşan motorlarda, soğutma sisteminin etkin bir şekilde çalışması sağlanmış olur. Soğutma sisteminin kapalı devre olması suyun kaynama derecesini yükselttiği gibi, rakım farklılıklarına bağlı olarak değişen atmosfer basınçlarında oluşan, su kaynama dereceleri değişikliklerinden motor soğutma suyunun etkilenmesini önlemektedir. Motor performansı soğutmanın etkili yapılmasına bağlıdır. Termostat kontrollü kapalı devre soğutma sistemlerinde soğutma suyu sıcaklık aralığı, kısmi motor yüklerinde 95-110 °C arasında, tam yük konumlarında ise 85-95 °C arasındadır (Ülger vd., 2011).

Nanoakışkanlar, araçların performansının iyileştirilmesinde verimliliği artırarak uzun ömürlü motor soğutma oranlarına ulaşılmasında, ağırlığın ve ısıl sistemlerin karmaşıklığının azaltılmasında büyük potansiyellere sahiptirler. Otomobil ve kamyon motorları için geliştirilmiş soğutma hızları, aynı kapasiteli soğutma sistemine sahip fakat yüksek beygir güçlü motorlardan daha çok ısı atımı sağlamak için kullanılabilir. Ayrıca, daha küçük ve hafif radyatörlü daha kompakt soğutma sistemi tasarlamak için de kullanılabilir. Etilen glikol tabanlı nanoakışkanlar, evrensel boyutta otomotiv soğutma suyu olarak kullanılan hacimce 50:50 etilen glikol-su karışımıyla karşılaştırıldığında daha düşük basınç işletme şartları nedeniyle motor soğutma uygulamalarında daha fazla ilgi çekmektedir. Nanoakışkanlar, yüksek kaynama noktasına sahiptirler ve normal soğutucu çalışma sıcaklığını artırmak için ve sonra mevcut soğutma sistemiyle daha fazla ısıyı sistemden uzaklaştırmak için kullanılabilirler (Yu vd., 2007).

Argonne National Laboratory araştırmacıları, ulaşım için nanoakışkanların uygulamasını değerlendirdiler (Singh vd., 2006). Buna göre, radyatörlerde yüksek ısı iletim katsayılı nanoakışkanların kullanılması radyatörün ön yüzey alanında %10' a kadar azalma sağlamaktadır. Yakıt tasarrufu ise aerodinamik sürtünmedeki azalma nedeniyle %5' e ulaşmaktadır. Bu durum, sürtünmeyi azaltarak emisyonları azaltan yeni aerodinamik otomobil tasarımları için öncülük etmektedir.

2.2.1 Pompalı Soğutma Sistemleri

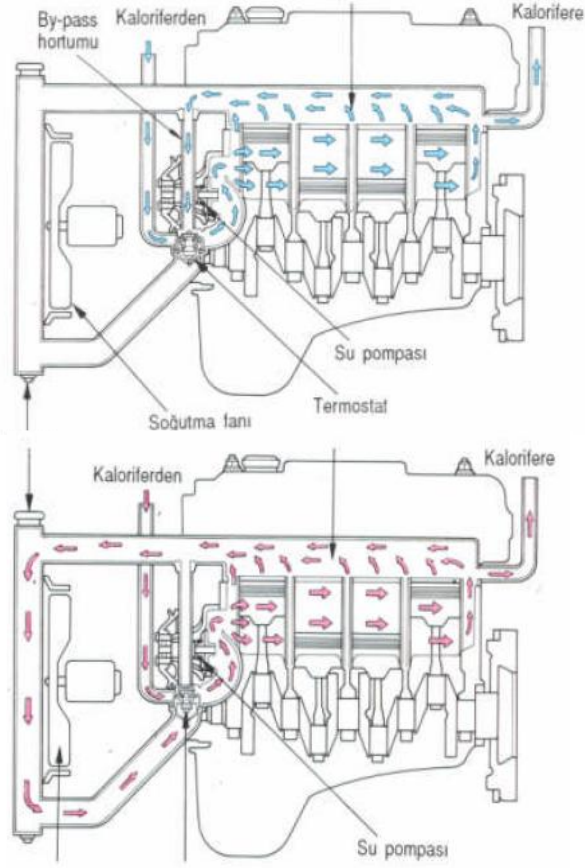
Sıvı soğutmalı motorlarda soğutucu akışkan olarak genellikle su kullanılır. Su soğutmalı motorlarda, motorun içerisinde meydana gelen ısı, motor soğutma suyu tarafından alınır ve radyatörde soğutulur. Soğutma suyu su pompası vasıtasıyla devridaim ettirilir. Radyatör içerisindeki sıcak olan motor soğutma suyu, radyatör fanının dönmesi ile birlikte veya aracın ileri doğru gitmesiyle birlikte doğal olarak içeri giren hava ile soğutulur.



Şekil 2.8 Soğutma sistemi kısımları.

Soğuk bir motor çalıştırıldığı zaman, motorun çabuk ısınması için, radyatöre giden su kanalı bir termostat tarafından kapatılmıştır ve bu yüzden soğutma suyu sadece motorun su ceketleri içerisinde devridaim edilir. Motorun ısınması ile birlikte, termostat açılır ve soğutma suyunun radyatöre gitmesine izin verilir. Soğutma suyunun bir kısmı hava-yakıt karışımının daha iyi buharlaşabilmesi için emme manifolduna gönderilir. Soğutma suyu aynı zamanda kalifer peteklerinin içerisinde devridaim ettirilerek araç içinin ısıtılmasında da kullanılır. Bazı araçlarda ise jikle tertibatı motor suyu sıcaklığına bağlı olarak hareket eder.

Soğutma suyu sıcaklığı yükseldiğinde, termostat açar ve by-pass valfi kapanır. Isınmış olan soğutma suyu soğumak üzere radyatöre geçer ve daha sonra termostat üzerinden su pompasına geçer (MEGEP, 2007).

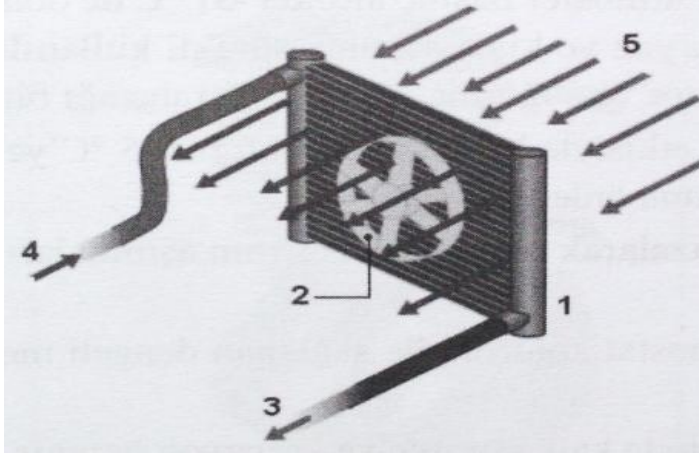


Şekil 2.9 Su çıkışı üzerinde termostat bulunan tip (by-pass valfli) soğutma sistemi.

2.2.2 Soğutma Sistemi Elemanları

2.2.2.1 Radyatör

Radyatörler, havaya temas yüzeyi arttırılmış ısı eşanjörleri olup soğutma sıvısının ısını dağıtan elemanlardır. Bir hava akımı bu ısı alışverişini kolaylaştırır. Bu hava akımının hareketi araç hızı ve bir ya da iki ayarlanabilen fan motoru ile sağlanır. Fan motorları, gelişmiş motorlarda elektronik kontrol ünitesi ve termostat üzerinde bulunan bir elektrokotak tarafından kontrol edilir (Ülger vd., 2011).

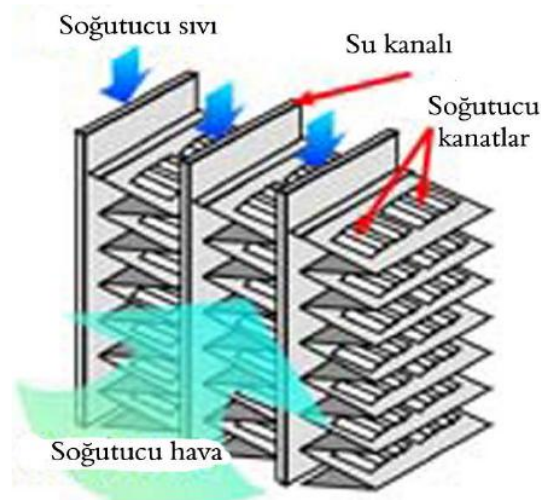


1. Radyatör
2. Devir ayarlı fan motoru
3. Soğuk su çıkışı
4. Sıcak su girişi
5. Hava akımı

Şekil 2.10 Radyatörde hava akımı.

Radyatörler, bakır, pirinç ve son yıllarda alüminyum alaşımlarından yapılmaktadır. Radyatörlerin bakır veya pirinç malzemeden yapılmasının nedeni; bu malzemeler korozyona karşı dayanıklı oldukları gibi ısı iletkenlikleri de çok iyidir. Ayrıca kolay lehimlenebilmektedir (MEGEP, 2007). Radyatörlerin yapısında alt, üst ya da yan su depoları ile bu depoları birleştiren dikey-yatay borular bulunmaktadır. Dikey-yatay boruların etrafına soğutma yüzeyini genişletmek amacıyla bakır veya pirinçten yapılmış çok ince hava kanatçıkları lehimlenmiştir. Pompanın tahriki ile soğuk su, motor gövdesindeki ceketlere sevk edilir (Yardım, 2008).

Silindir temas yüzeylerinden alınan ısıyı dolaşım yapan su yardımı ile dış ortama aktarır. Radyatör, motordan alınan ısıyı havaya aktaran parçaya verilen isimdir. Azami miktarda suyu kanallarında tutup, atmosferle büyük bir alanını temas ettirerek soğutma işlemini gerçekleştirir.



Şekil 2.11 Radyatör boru ve kanatçıkta hava akımı.

Bazı radyatörlerde hava akışını ayarlayan panjurlar bulunur. Bu panjurlar, motorun çabuk ısınması istendiği durumlarda kapatılır. Böylece hava akışı azalacağından radyatör yeterli soğutma yapamaz ve motor çabuk ısınır.

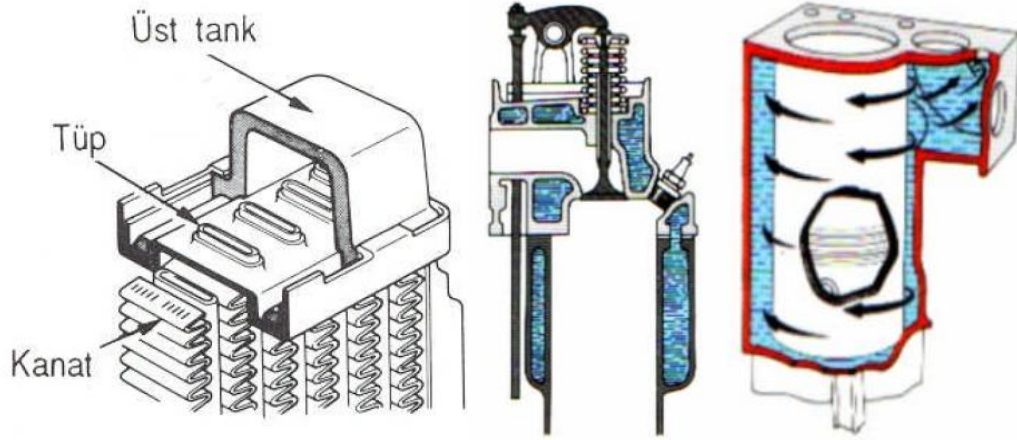


Şekil 2.12 Çift fanlı klima radyatörü.

Radyatörler su geçişlerini sağlayan boruların ve borular arasına lehimlenen ince saçların aldığı şekillere göre isimlendirilir. Çeşitli radyatör peteği olmakla beraber, binek otomobillerinde en çok, borulu ve düz hava kanatçıklı olmak üzere iki tip kullanılır. Isının dağıtımını açısından, radyatör ne kadar büyük ise o nispette soğutma etkinliğine sahip olur. Radyatörler petek şekline bağlı olarak sınıflandırılırlar. Oluklu kanatçıklı tip en çok kullanılan tiptir. Bu tip radyatörlerde üst ve alt radyatör tankları arasında bakır veya pirinç malzemeden borular vardır ve borular arasına oluklu kanatçıklar lehim ile tutturulmuştur. Alüminyum radyatörlerde reçineli üst ve alt tanklar vardır ve hafif olduklarından dolayı daha çok alüminyum malzemeden imal edilmiş petek (kanatçıklar) kullanılır.

Boru tipi radyatörler, alt ve üst su depolarının başlık yerlerine lehimlenmiş, yuvarlak ve yassılaştırılmış bir takım su borularından (su tüplerinden) oluşur. Genellikle su boruları dik olarak yerleştirilir. Bazen yatay akışlı radyatörler de bulunmaktadır. Hava kanatçıkları, ince bakır veya pirinç malzemeden düz veya kıvrık olarak yapılır. Bu kanatçıklar su boruları üzerine lehimlenmiştir. Bu lehimler, su borularının sağlamca durmasını sağladıkları gibi, borulardan ısıyı daha iyi alarak kanatçıklara iletir. Hava ile geniş bir temas yüzeyi sağlayan kanatçıklar ısıyı havaya verir. İçinde borulara

paralel olarak kanatçıklar ve borular arasında yerleştirilmiş körük biçiminde plakalar bulunmaktadır (MEGEP, 2007).



Şekil 2.13 Radyatörün iç yapısı ve su ceketleri.

Su ceketleri, silindir bloğu ve kapağı iç kısmında yer almaktadır. Soğutma suyunun kolay dolaşımını temin eder. Kuru gömlek kullanılan motorlarda en direk, yağ gömlek biçiminde tasarlanmış motorlarda ise doğrudan silindirlere suyun temasını sağlamaktadır. Kışın donma anında motor gövdesini çatlamalara karşı korumak amacıyla üzerinde dış ortama açılan tapalar bulunmaktadır (Yardım, 2008).

Birim hacim başına yüksek bir ısı transferi yüzey alanı elde etmek için özel olarak tasarlanan ısı değiştiricisi tipi kompakt ısı değiştiricidir. Bir ısı değiştiricinin ısı transferi yüzey alanının, hacmine oranına *alan yoğunluğu* (β) denir. Alan yoğunluğu $\beta > 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ olan bir ısı değiştiricisi kompakt sınıftandır. Otomobil radyatörleri ($\beta \approx 1,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$), cam-seramik gaz türbini ısı değiştiriciler ($\beta \approx 6,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$), Stirling motoru rejeneratörleri ($\beta \approx 15,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$) ve insan ciğeri ($\beta \approx 20,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$) kompakt ısı değiştiricilerine örnektir. Kompakt ısı değiştiriciler, küçük bir hacimde iki akışkan arasında yüksek ısı transferi hızları elde edilmesini sağlar ve genellikle, ağırlık ve hacim açısından önemli kısıtlamalar içeren ısı değiştirici uygulamalarında kullanılırlar (Çengel, 2011).

Bu çalışmada kullanılan ısı değiştiricisi (otomobil radyatörü), kompakt sınıf olup 400mmx620mmx26mm boyutlarındadır. Toplam ısı transferi alanı ise (kanatçık ve tüplere ait alanlar sırasıyla 5.52 m^2 ve 1.21 m^2) 6.74 m^2 hesaplanmıştır. Bu değerlerden, radyatörün alan yoğunluğu $\beta \approx 1044 \text{ m}^2/\text{m}^3$ bulunur.

2.2.2.2 Su Devir-Daim Pompaları

Su devir daim pompaları genellikle santrifüj tip bir pompa olup, silindir bloğunun ön tarafında motor ile radyatör arasında yer almaktadır. Hareketini krank kasnağından alır, ana malzemesi dökme demirdir. Ortalama olarak bir su pompasının debisi 1800-2700 l/h (30-45 l/dak.) arasında olmalıdır. Motor ile radyatör arasında suyun etkin bir biçimde dolaşmasını sağlar (Yardım, 2008).

2.2.2.3 Vantilatör (Fan)

Yakın geçmişe kadar vantilatörler krank kasnağından kayış aracılığı ile hareket alarak çalışıyorlardı. Vantilatörlerin temel görevi radyatör petekleri arasında hızlı bir hava akışı sağlamaktır. Mekanik tahrikli vantilatörler, hareketini krank kasnağından aldıkları için sürekli çalışır. Bu durum özellikle gürültü açısından istenilen bir durum değildir. Ayrıca sürekli çalışma durumuna göre tasarlandıkları için kütlesi, boyutları da ağır ve büyük olmaktadır. Bu durum mekanik olarak kayıp güç miktarını artırdığı gibi motorun gereksiz biçimde de sesli çalışmasına ve radyatörün yüksek hızlarda ihtiyacından fazla soğutulmasına yol açar. Bu durum motorun ideal çalışmasını olumsuz biçimde etkilemektedir.

Bu nedenlerden dolayı günümüz motorlarının çoğunda vantilatör, fan motoru adı verilen bir elektrik motoruna bağlıdır. Fan motoru su ceketine bağlanan bir fan sensörü ile irtibatlıdır. Sensör, soğutma sıvısının sıcaklığına bağlı olarak çalışır. Motor soğuk iken fan motorunun akımını keserek çalışmasını önler. Motor sıcaklığı, çalışma sıcaklığının üzerine çıktığında fan sensörü elektrik motorunun çalışmasına izin vererek motorun gereği kadar soğumasını sağlar (Yardım, 2008).

2.2.2.4 Termostat

Motor ile radyatör arasındaki su akışını motor sıcaklığına duyarlı olarak ayarlayan bir mekanizmadır. Motorun soğukken, suyun radyatöre akışını keserek, pompa üzerinden kısa devre yaptırır. Soğutma suyu tekrar motora geri dönmüş olur. Bu çalışma sırasında motor, daha kısa sürede ısınır. Motorun ısınması artınca termostat, suyun radyatöre geçişine izin verir. Motor içerisinde sıcaklığı yükselen su, radyatörde soğutulmuş olarak motora geri gelir.

Termostatların yapısı bir gövde ve bir supaptan oluşmaktadır. Supaplar, bimetal özellikte olabilecekleri gibi içerisinde kolay eriye bilen parafin ya da kolay buharlaşabilen sıvılar bulunur. Sıcaklık karşısında duyarlı olan bu malzemeler açma-kapama fonksiyonlarını rahatlıkla yerine getirirler. Termostatlar, motorun ideal çalışma sıcaklığı olan 70-90 °C' nin alt ve üst değerlerinde çalışırlar (Yardım, 2008).

2.2.2.5 Antifriz Sıvıları

Saf su, deniz seviyesinde (1 atmosfer basınç altında) 100 °C' de kaynarken, aynı koşullarda 0 °C' de donmaktadır ve en önemli özelliği donarken genleşmesidir. Motorların kullanım koşulları arasında, 0 °C' den daha düşük koşullar da vardır. Bu koşullarda donacak suyun, motor parçalarını deforme etmemesi amacıyla içerisine bazı donma noktasını düşürücü katkıları ilave edilir. Genellikle motor üretici firmaları motor suyuna hacimsel olarak %50 oranında 'Etilen Glikol bazlı antifriz' katkısı ilave edilmesini önerirler. Karışım olarak, %50 hacim saf su, %50 hacim antifriz katkısı ile soğutma sıvısı hazırlanır. Böyle bir karışım 1 atmosfer basınç altında -37 °C' de donarken, 110 °C' de kaynar. Bu açıklama, motorda antifrizin, yaz ve kış aylarında sürekli kullanılmasının gerekliliğini ortaya koyar. Antifriz katkısının motor ve soğutma suyunda yaratacağı birçok etki vardır. Bunlar;

- Kapalı devre basıncı etkisiyle kaynama sıcaklığı 125 °C' ye kadar yükselir. Sıcak çalışma şartlarında kaynama önlenir.
- Sürtünme kayıpları azalarak motor parçalarının aşınmaları azaltılarak yakıt ekonomisi sağlanır.
- Tüm koşullarda termostat kontrolü ile sağlanan dengeli motor sıcaklığı, yağlama verimini artırır.
- Motor parçaları üzerinde kalker, kireç ve korozyon önlenir.
- İçerisindeki katkılarla asit oluşumu önlenir. Böylece, metal parçaların deformasyonunun önüne geçilir (Ülger vd., 2011).

Antifriz sıvıları, suyun donma noktasını aşağı çekerek sistemin kış koşullarında da rahat çalışmasını temin ederler. Donma sırasında suyun yoğunluğu azalacağı için hacimde büyüme meydana gelecektir. Bu hacim büyümesi soğutma sistemi elemanları veya motor bloğu üzerinde çatlamalara yol açacaktır. Bu durumların yaşanmaması için soğutma suyu içerisine, sistemin kapasitesine göre antifriz eklenir. Suyun donma sıcaklığı, iklim koşulları da göz önüne alınarak -45 °C' ye kadar düşürülür. Antifriz

sıvısı olarak genellikle alkol, alkol esaslı sıvılar veya etilen glikol kullanılır. Antifriz sıvıları, buharlaşmaya, paslanmaya, kavitasyona, aşınmaya karşı dayanıklı ve koruyucu olmalıdır (Yardım, 2008).

2.2.2.6 Sıcaklık Göstergeleri ve Sensörleri

Motorun tüm çalışma koşullarında istenen performansı verebilmesi için aynı zamanda değişik parametrelerden de kontrol edilmesi gerekir. Soğutma sisteminin de çalışması, motor ve soğutma suyu sıcaklıkları aracılığı ile takip edilir. Sıcaklık sensörleri, sistem üzerinde ölçtüğü değerleri göstergelere iletirler. Böylece sürücü tarafından motor soğutma sistemi denetlenmiş olur. Elektrikli fanlarda da yine sensörler sıcaklık değerini ölçerek fanın çalışıp çalışmaması için devrenin açılıp kapanmasını sağlamaktadırlar. Yakıt ve ateşleme sistemleri elektronik olarak kontrol edilen sistemlerde doğru karışım oranı ve ateşleme avansı verilebilmesi için de sıcaklık sensörlerinden yararlanılmaktadır. Motor soğukken daha zengin karışıma gereksinim duyulmaktadır. Çünkü soğuk motorda buharlaşma daha zor olduğu için zengin karışım gerekmektedir (Yardım, 2008).

3. NANOAKIŞKANLAR

Yüksek performanslı soğutma endüstrideki birçok teknolojinin en önemli ihtiyaçlarından biridir. Ancak doğası gereği düşük ısı iletkenlik, yüksek performanslı soğutma için gerekli olan enerji tasarruflu ısı transferi sıvılarının gelişimindeki başlıca kısıtlamadır. Modern nanoteknoloji nanometre boyutunda metalik ya da metalik olmayan parçacıklar üretebilmektedir. Nanoakışkanlar, ortalama boyutu 100nm' nin altında olan nanoparçacıkların geleneksel ısı transferi akışkanlarına (su, yağ ve etilen glikol) eklenmesiyle elde edilmiştir. Bu nanoparçacıkların çok küçük miktarlarının düzgün ve kararlı bir şekilde eklenmesiyle, taban akışkanın termal özelliklerinde etkileyici gelişmeler sağlanabilir (Das vd., 2008). Su, yağlar, glikoller gibi geleneksel ısı transferi akışkanları düşük ısı iletkenlikleri nedeni ile zayıf ısı transferi performansı göstermektedirler. Bu nedenle, akışkanların ısı transferi özelliklerini iyileştirmek için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Karbon nanotüpler (Tek-çok duvarlı), metalik parçacıklar (Cu, Al, Fe, Au ve Ag), metal olmayan parçacıklar (Al_2O_3 , CuO, Fe_3O_4 , TiO_2 ve SiC) geleneksel ısı transferi akışkanlarından daha fazla ısı iletkenlik katsayısı değerlerine sahiptirler. Çizelge 1' de bu parçacıkların 300 K sıcaklığındaki ısı iletkenlik değerleri gösterilmiştir. Örneğin, bakırın ısı iletkenliği suyunkinden 654 kat, motor yağinkinden ise 2673 kat daha fazladır. Yüksek ısı iletkenliğe sahip tüm katı nanoparçacıklar, nanoakışkan hazırlamak için taban akışkanına katılan madde olarak kullanılabilirler.

Maxwell' in önderliğinde 1881 yılında başlatılan ve ısı iletkenlik değerini arttırmak için geleneksel ısı transferi akışkanlarına katı parçacıkların eklenmesi yenilikçi bir fikirdir. İlk başlarda, mikrometre hatta milimetre boyutlu katı parçacıklar süspansiyon oluşturmak için taban akışkanlarına karıştırılmıştır. Bununla birlikte, bu büyük boyutlu katı parçacıklar, mikro kanalların tıkanması, boru hatlarının aşınması ve pratik uygulamaları kısıtlayan basınç düşüşünün artması gibi can sıkıcı sorunlara yol açmıştır. Aslında, sıvı süspansiyonlar başlarda yalnızca teorik bir ilgi alanı iken bir takım araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar küçük başarılar göstermiştir. Parçacıkların boyutunun büyük olması ve küçük boyutlu parçacıkların üretimindeki zorluklar diğer sınırlayıcı faktörler olmuştur (Maxwell, 1904; Gupte vd., 1995).

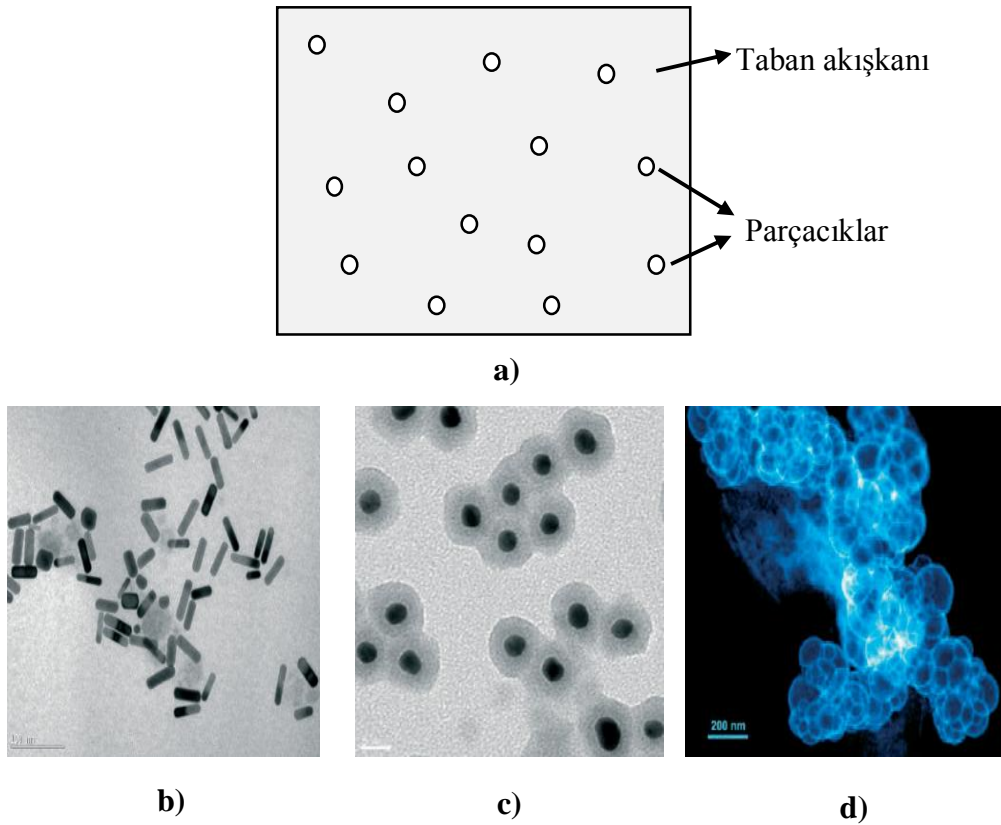
Çizelge 3.1 Yaygın olarak kullanılan bazı katı ve sıvıların ısı iletkenlik değerleri (Sundar ve Singh, 2013).

Malzeme	Isıl iletkenlik (W/mK)
TiO ₂	8.4
CuO	32.9
Al ₂ O ₃	40
Platinyum	70
Na	72.3
Fe	80
Cd	92
Grafit	120
Si	148
Al	237
AlN	285
Au	317
TiC	330
SiC	350
Cu	401
Ag	429
Karbon nanotüp	3000
Elmas	3300
Motor yağı	0.15
Gaz yağı	0.15
Etilen glikol	0.253
Su	0.613

Masuda vd. (1993), nanoparçacık süspansiyonlarını içeren en eski ve bağımsız raporu bildirmelerine rağmen “nanoakışkan” terimi ilk olarak Dr. Stephen Choi (Choi, 1995) tarafından öne sürülmüştür. Choi ve Eastman, nanoboyutlu metalik parçacıklar ve karbon nanotüp süspansiyonu alanıyla ilgili olan Argonne ulusal laboratuvarını ziyaret etmeleri ile çalışmalara başlamışlardır. Choi ve Eastman’ın çalışmasında nanoakışkanlar; “nano boyutta metalik parçacıkların, su, etilen glikol veya motor yağı gibi endüstriyel ısı transferi akışkanları içerisinde dağıtılmasıyla oluşturulmuş, yaklaşık 10 nm büyüklüğünde metalik parçacıklar içeren ve günümüzde kullanılan nano boyut teknolojisi ile üretilebilecek, yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni tür akışkanlar” olarak tanımlanmıştır (Choi ve Eastman, 1995; Eastman vd., 1996). Choi ve Eastman, birçok farklı akışkana çeşitli metal ve metal oksit nanoparçacıkları katmayı denemişlerdir (Choi, 1998; Choi vd., 2001; Chon vd., 2005; Chon vd., 2006; Eastman vd., 2001; Eastman vd., 1999; Eastman vd., 2004). Nanoakışkanlar üzerine olan araştırmanın ilk aşaması, makroskobik olarak durağan şartlar altında ısı iletkenlik

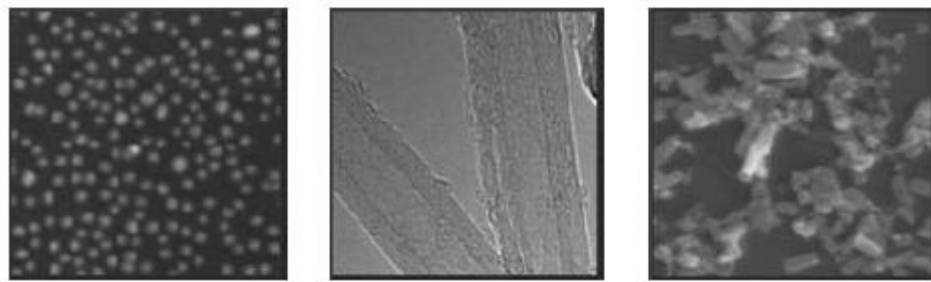
üzerine odaklanılarak Amerika' daki ulusal Argonne laboratuvarlarında yapılmıştır. 1990 yılının sonlarında dünya çapında ilgi görmüş ve çok sayıda yapılan çalışmaların kanıtı olarak 2002' den itibaren çok daha fazla ilgi gören bir çalışma alanı olmuştur. Nanoakışkanlara olan ilgi; ısı transferinde (Kebblinski vd., 2002), kütle transferinde (Krishnamurthy vd., 2006; Olle vd., 2006) ve antimikrobiyal (Zhang vd., 2007) olmak üzere bu alanlarda yapılan deneysel çalışmalar sonucu artan özellikler ve davranışlarla ilgilidir.

Nanoakışkan, en az bir boyutu 100 nm' den daha az olan parçacıkları içeren sıvı süspansiyona denilmektedir. Bu yüzden bir nanoakışkan taban akışkan ve taban akışkanın içinde çok sayıda nano boyutta parçacıklar içermektedir (Şekil 3.1a). Şekil 3.1' de farklı tip nanoparçacıklara ait (altın nanoçubuklar, altın çekirdek-silika kabuk nanoparçacıklar, içi boşluklu platin nanoparçacıklar) nanoakışkanların elektron mikroskobu görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri b) altın nanoçubuklar, c) altın çekirdek-silika kabuk nanoparçacıklar, d) içi boşluklu platin nanoparçacıklar (Gürmen ve Ebin, 2008).

Nanoakışkanlar, eklenen parçacıkların konsantrasyonuna ve özelliklerine bağlı olarak şeffaf, yarı şeffaf veya opak olabilir. Nanoakışkanlar, kararlılıklarının artırılabilmesi için belli miktarlarda yüzey katkı maddeleri veya seyrelticiler içerebilirler. Taban akışkanları; su, etilen glikol, mineral yağ, soğutucu ve hatta iki veya daha fazla akışkanın karışımı olabilir. Parçacıklar ise metal (Cu, Ni, Al, v.s.), metal oksit (Al_2O_3 , TiO_2 , CuO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $BaTiO_3$, v.b.) karbon, karbit ve nitrit olabilir. Parçacıklar küresel, çubuk veya boru şekline sahip (Şekil 3.2a) bağımsız olarak katılmış veya birçok bağımsız parçacığın bir araya gelerek oluşturduğu kümeleşmiş veya Şekil 3.2b' deki gibi karmaşık şekilde olabilir.

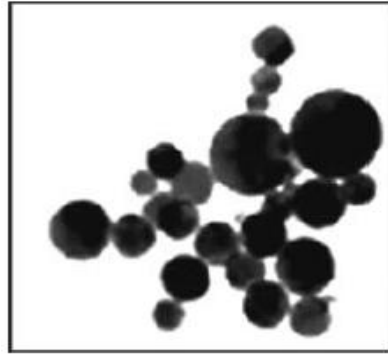


Küresel altın nanoparçacıklar

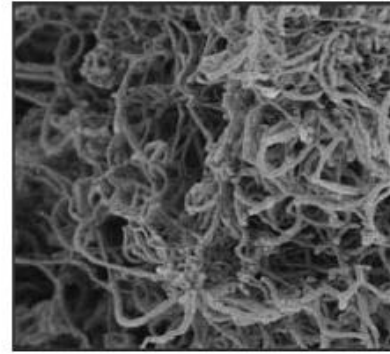
Karbon nanotüpleri

Çinko oksit nanoçubukları

a)



Kümeleşmiş titanyumdioksit nanoparçacıklar



Karmaşık karbon nanotüpleri

b)

Şekil 3.2 Nanoakışkanların tanımlanması için çeşitli parçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri (Witharana vd., 2010).

Nanoparçacıklar, hacim oranına göre büyük yüzey alanı, boyuta bağlı fiziksel özellikler, daha düşük parçacık momentumu, yüksek hareketlilik gibi eşsiz özelliklere sahiptirler. Aynı zamanda, büyük yüzey alanı nanoparçacıkları taban akışkanından

daha iyi ve daha istikrarlı dağıtılmış bir süspansiyon yapmaktadır. Parçacıklar uygun şekilde karıştırıldıklarında aşağıdaki şu özelliklere sahip olmaktadır:

Yüksek ısı iletimi, birim hacim başına nanoparçacıkların büyük yüzey alanı, katı parçacıklarla taban akışkanı arasında daha fazla ısı transferinin meydana gelmesini sağlamaktadır. Nanoparçacıkların bir diğer avantajı, parçacıkların hareketliliğidir. Bu durum akışkanın mikro-hareketliliğini oluşturan küçük boyuta bağlanabilir ki böylece ısı transferi artar. Mikro-taşınım ve artan ısı transferi akışkanda daha yüksek oranda ısının dağılımını sağlamaktadır. Aynı zamanda nanoakışkandaki ısıl iletkenliğin sıcaklıktaki artışla önemli bir şekilde arttığı bulunmuştur ki bunun sebebi yukarıda açıklandığı gibi mikro-konveksiyon hareketidir.

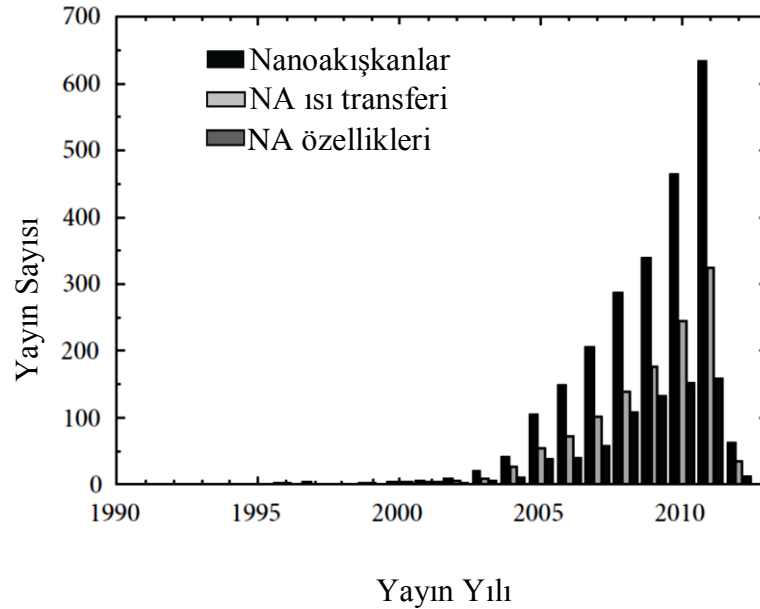
Parçacıkların kararlılığı da nanoakışkanlar için önemli bir özellik olup, parçacıklar küçük oldukları için hafiftirler ve çökme ihtimalleri daha azdır. Bu azalan çökme olasılığı, nanoakışkanı daha kararlı yapabilmektedir. Ayrıca, Brownian hareketi (bir sıvı içinde süspansiyon haline getirilmiş parçacıkların rasgele hareketi) nanoakışkanın kararlılığını artırabilmektedir.

Tıkanma olmadan mikro kanalların soğutulması parçacıkların uygun şekilde karıştırılmalarıyla doğrudan ilgilidir. Nanoakışkanlar yalnızca ısı transferi için uygun bir ortam olmayacak aynı zamanda yüksek ısı yüklerinin olduğu mikro kanal uygulamaları için de uygun olacaktır. Nanoakışkanlarla mikro kanalların kombinasyonu hem daha yüksek akışkanlı sıvılar hem de daha büyük ısı transferi alanı sağlayacaktır. Mikro veya milimetre boyutlu parçacıklar kanalları tıkadıkları için bu özellikler mikro kanallarda sağlanamaz. Fakat nanoparçacıkların yüzlerce veya binlerce atomu vardır ve büyüklük olarak mikro kanallardan küçüktürler.

Nanoparçacıklar çok küçüktürler ve momentumu katı duvara daha az aktarırlar. Bu azalan momentum ısı değiştiricileri, boru hatları ve pompalar gibi öğelerin aşınma ihtimalini azaltmaktadır. Pompa gücündeki azalma ve azalan basınç düşüşü önemli sorunlardan biridir. Özgül yüzey alanının büyük olması nedeniyle, nanoparçacıklar akışkanların ısıl iletkenliğini artırmaktadır. Pompalama gücündeki gerekli artış, akışkan viskozitesinde keskin bir artış olmadıkça azaltılabilecektir. Bu nedenle eğer küçük hacimsel konsantrasyonlarla fazla miktarda ısıl iletkenlik artışı meydana gelebilirse pompalama gücünde büyük oranlarda tasarruf sağlanabilir (Das vd., 2006).

Choi yeni nanokışkan konseptini 1993 baharında ortaya çıkardığında yetenekli ve çalışkan termal bilim adamları ve mühendisler, nanoakışkanların beklenmedik ısı özelliklerini keşfetmekle kalmayıp hızla büyüyen nanoakışkan topluluğunda bilimsel atılımlar yaptılar ama aynı zamanda nanoakışkanların gelişmiş ısı özelliklerinin ardındaki yeni mekanizmaları, geleneksel olmayan modellerinin geliştirilmesi ve bilgisayarlar için akıllı ve nükleer reaktörler için güvenli soğutucular gibi yeni nesil soğutucular geliştirmeye yönelik alışılmadık olanaklarının belirlenmesini önerdiler. Sonuç olarak, nanoakışkanlar dünya çapında artan bir araştırma konusu olmuştur. Katlanarak artan yayın sayısı son dönemde hızla gelişen nanoakışkan alanındaki büyümenin en belirgin olanıdır (Das vd., 2008).

Isı transferi alanındaki araştırma faaliyetlerinin hızla büyümesi önemli ölçüde artmaktadır. Aslında bu konuyla ilgili araştırma sayısındaki artışın giderek çoğalması genel olarak bugüne kadar fark edilir bir büyüme ve ısı transferi artış teknolojisinin önemini göstermektedir. Bu artışı gösteren 1993 - 2012 (Haziran) yılları arasına ait veriler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Veriler nanoakışkanlara ait araştırma ve mühendislik uygulaması faaliyetlerdeki yoğun ilgiyi doğrular niteliktedir (Jaluria vd., 2012).



Şekil 3.3 Nanoakışkanlar, nanoakışkanlarda ısı transferi ve nanoakışkanların özellikleri konularında yayınlanan makale sayıları (Jaluria vd., 2012).

İş dünyasında küçülme yoluna gitmenin popüler olduğu gibi mikroeletromekanik sistem (mems) teknolojileri ve nanoteknoloji de bilim ve teknoloji dünyası için rağbet

gören bir küçülme yaklaşımıdır. Sürekli popülerleşen bu teknolojilerin bir özelliği de oldukça disiplinler arası olmasıdır. Önümüzdeki nano çağda, nanoteknoloji ve öngörülemeyen uygulamalarının birçok endüstriyi devrim niteliğinde değiştireceği beklenmektedir. Nanoteknolojinin toplumsal etkisi, 20. yüzyılda silikon transistör, plastiklerin ve antibiyotiklerin bıraktığı etki gibi 21. yüzyılda görülmesi beklenmektedir. Nanoteknolojinin gelişme sürecinin, 1950'lerdeki bilgisayar/bilgi teknolojileri gibi bir aşama kaydedeceği görülmektedir (Roco, 1998).

Günümüzde mühendisler toz zerrecikleri kadar büyüklüğe sahip mikropompalar ve mikrokanallı ısı eşanjörleri gibi mikro ölçekli cihazlar üretmektedir. Mikrokanallardan geçen soğutucu akışkanın nano ölçekte parçacıklar içermesi ile ısı transferi artışı sağlanabildiği zaman sonraki çalışmalarda büyük faydaları görülebilecektir. Nanoakışkan teknolojisi, 21.yy için heyecan verici ve hızla yayılan bir gelişmedir. Teknolojinin pek çok alanında süregelen minyatürleşme ile $1000\text{W}/\text{cm}^2$ yi aşan yüksek ısı akısı kapasitelerine sahip nanoakışkanlar; tüm yüksek teknolojiler için olağan üstü olacaktır (Das vd., 2008).

Etkin enerjili ısı transferi akışkanlarının gelişiminde, ısı transferi akışkanının ısı iletkenliği ciddi bir rol oynamaktadır. Önceki araştırma ve gelişmelerin ışığında ısı transferini arttırma çalışmalarında, soğutma kapasitelerindeki büyük gelişmeler engellenmiştir. Çünkü günümüzdeki ısı sistemlerde kullanılan su, yağlar ve etilen glikol gibi geleneksel ısı transferi akışkanları diğer pek çok katıya göre çok daha zayıf ısı iletkenliğe sahiptir. Küresel rekabetin artması sebebiyle pek çok sanayi kolunda, özellikle günümüzde ulaşılabilir olanlardan net bir şekilde yüksek ısı iletkenliğe sahip ileri ısı transferi akışkanlarının üretimine büyük gereksinim duyulmaktadır (Das, 2008).

Oda sıcaklığında katı fazdaki metal malzemelerin çok yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğu bilinmektedir (Touloukian vd., 1970). Metalik sıvıların ısı iletkenliği, metal olmayan sıvılardan çok daha yüksek bir değerdedir. Bundan yola çıkarak katı metal parçacık içeren sıvıların ısı iletkenliklerinin geleneksel ısı transferi akışkanlarına göre çok daha fazla olması beklenmektedir (Das vd., 2008).

100 yıldan uzun süredir bilim adamları ve mühendisler, sıvıların göreceli olarak zayıf ısı iletkenliklerini arttırmak için sıvılara katı parçacıklar eklemek kaydıyla büyük

çabalar sarfetmişlerdir. Maxwell tarafından 100 yıldan daha öncesine ait süspansiyonların efektif iletkenliği için teori bazlı çalışmalarının klavuzluğunda katı parçacık içeren süspansiyonların etkin ısı iletkenliği için çok sayıda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır (Maxwell, 1873). Ancak süspansiyonların ısı iletkenliği için yapılan tüm bu çalışmalar milimetrik ya da mikrometrik boyuttaki parçacıklara kadar küçültülebilmektedir. Bu geleneksel uygulamalarda iki büyük teknik sorunla karşılaşmaktadır. (1) geleneksel milimetrik ya da mikrometrik parçacıklar sıvı içinde çabukça topraklanmakta (settle) ve (2) bu süspansiyonların iletkenlikleri düşük parçacık konsantrasyonlarında düşük olmaktadır. Ayrıca bu konvansiyonel süspansiyonlar, çok küçük kanalları tıkadığından dolayı, yaygınlaşan "minyatürize" cihazlarla birlikte kullanılamamaktadırlar.

Modern nanoteknoloji, ortalama kristalit boyutu 100nm 'nin altında metal ya da metal olmayan nanoparçacık üretimine müsaade etmektedir. Nanoparçacıkların mekanik, optik, elektriksel, manyetik ve ısı özellikleri; diğer geleneksel iri taneli yapıdaki yığın malzemelere göre oldukça üstündür. Nanoteknolojiyi termal mühendislikte uygulama fırsatını öne süren Choi, nanoparçacıkların eşsiz özelliklerini kullanarak, yüzyıllık teknik engelleri yıkmaya imkân tanıyan hipotezi ile nanoakışkan fikrinin kâşifi olarak bilinmektedir. Nanoakışkanlar; 1nm 'den 100nm 'ye kadar boyutlarda (tercihen 10nm 'den daha küçük çaplarda) nano boyuttaki parçacıkların geleneksel ısı transferi sıvılarına katılması şeklinde tasarlanan yeni bir nanoteknoloji temelli ısı transferi akışkanlarıdır. Amerikan makine mühendisleri topluluğunun 1995' teki yıllık kış toplantılarında (Choi, 1995) Choi; pompa gücünü yüzde 10 arttırması karşılığında ultrayüksek iletkenlikli nano akışkanları kullanarak ısı transferi katsayılarını iki katına kadar arttırabilme imkânının oldukça yüksek olduğunu belirtmiştir.

3.1 Nanoakışkan Hazırlama

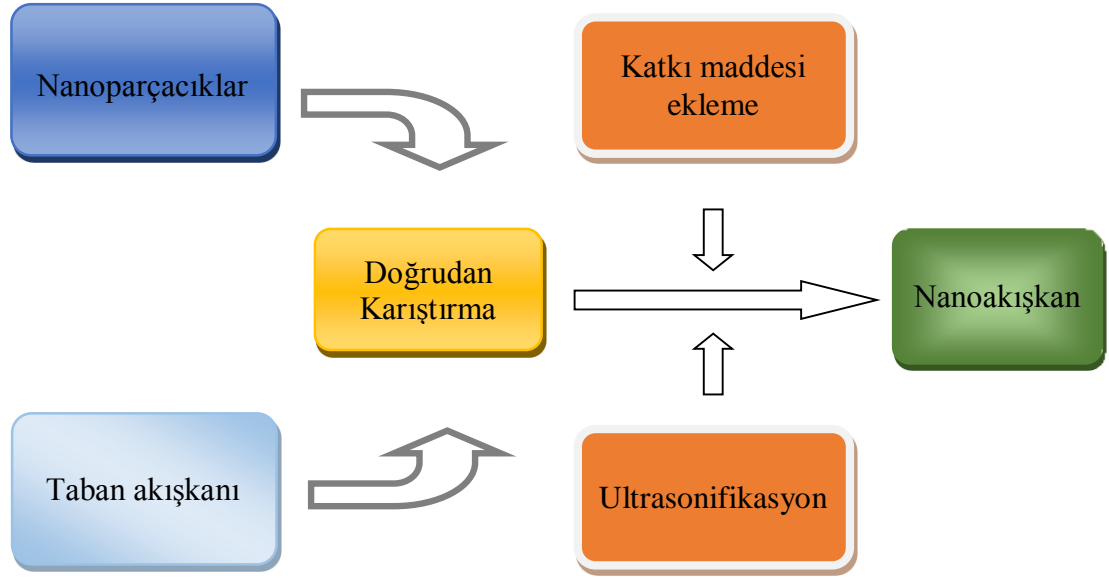
Taban akışkanlar ve nanoparçacıklar birbirinden farklı malzemelerdir. Kararlı ve yüksek iletken nanoakışkanlar tek ve iki-aşamalı üretim yöntemleri ile üretilmektedir. Nanoparçacık süspansiyonları için kullanılan her iki yaklaşım nanoparçacık topraklanmalarından müzdarip olup bu durum nanotozlarla ilgili tüm teknolojilerde de önemli bir sorundur. Bu nedenle, sıvılardaki neredeyse topraklaşmamış veya tekil dağılmamış nanoparçacıkların sentezi ve süspansiyonu nanoakışkanların ısı özelliklerinin önemli oranda iyileştirilmesinde anahtar role sahiptir.

Nanoakışkanlar hazırlanmasında kullanılan nanoparçacıklar farklı malzemelerden yapılırlar; oksit seramikler (Al_2O_3 , CuO), nitrür seramikler (AlN, SiN), karbür seramikler (SiC, TiC), metaller (Cu, Ag, Au), yarı iletkenler (TiO_2 , SiC), karbon nanotüpler ve $Al_{70}Cu_{30}$ alaşımlı kompozit malzemeler veya nanoparçacık çekirdek-polimer kabuk kompozitler. Bunlara ek olarak nanoparçacıklar için metal olmayan, metal ve katı-sıvı arayüz yapıdaki hamurumsu kıvamlı moleküllü benzeri diğer malzemeler tamamen yeni malzemeler ve yapılar olup istenilen özelliklere sahip olabilirler. Su, etilen glikol ve yağ gibi birçok akışkan ise nanoakışkanlarda taban akışkan olarak kullanılırlar.

Nanoparçacıkların üretimi fiziksel işlemler ve kimyasal işlemler olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Bu günlerde, nanoparçacıkların üretimi için bir dizi yöntem mevcuttur. Tipik fiziksel yöntemler, Granqvist ve Buhrman (1976) tarafından geliştirilen inert gaz yoğunlaştırılması (IGC) ve mekanik aşındırma içerir. Kimyasal yöntemler ise, kimyasal buhar biriktirme (CVD), kimyasal çökeltme, mikro emülsiyonlar, ısıl püskürtme ve püskürtme piroliz içermektedir. Bir sonokimyasal yöntem, oleik asit ile kararlı hale getirilen demir nanoparçacık süspansiyonları yapmak için geliştirilmiştir.

Geleneksel ısı transferi akışkanlarında kararlı nanoparçacık süspansiyonları üretmek için iki-aşamalı ve tek-aşamalı olmak üzere iki yöntem kullanılır. İki-aşamalı yöntemde ilk olarak daha önce bahsedilen nanoparçacık işlem tekniğinden biriyle nanoparçacıklar yapılır ve sonrasında taban akışkan içerisine dağıtılır. Tek-aşamalı yöntemde ise nanoparçacıklar eş zamanlı olarak üretilir ve doğrudan taban akışkan içerisine dağıtılır. Her iki durumda da, nanoakışkan iyi karıştırılmalı ve eşit dağılmış başarılı üretim veya yeniden üretim gelişmiş özellikler üreme ve deneysel verilerin yorumlanması için gereklidir. İki-aşamalı bir yöntemle hazırlanabilir nanoakışkanlar için, yüksek kayma ve ultrason gibi dispersiyon teknikler çeşitli parçacık sıvı bileşimleri oluşturmak için de kullanılabilir. Her iki durumda da, başarılı üretim veya gelişmiş özelliklerin tekrarlanması ve deneysel verilerin yorumlanması için, nanoakışkanın iyice karıştırılması ve eşit dağıtılmış olması gerekmektedir. İki-aşamalı yöntemle hazırlanan nanoakışkanlar, çeşitli parçacık-akışkan bileşimleri oluşturmak için yüksek kayma ve ultrason gibi dağılma teknikleriyle kullanılabilir (Das vd., 2008).

İki aşamalı yöntem kullanarak kararlı nanoakışkanlar hazırlamanın zorluğu nedeniyle nanoakışkan elde edilmesinde tek aşamalı yöntemi de içeren birçok ileri teknik gelişim aşamasındadır.



Şekil 3.4 Nanoakışkanların iki aşamalı hazırlama işlemi (Mukherjee ve Paria, 2013).

Homojen bir süspansiyon hazırlamak, çok güçlü Van der Waals etkileşimlerinin nanoparçacıkların sürekli topak oluşumlarına sebep olması nedeniyle teknik bir sorun olmaya devam etmektedir. Kararlı nanoakışkanlar elde etmek için, yüzey aktif madde eklemek, süspansiyon edilmiş parçacıkların yüzey modifikasyonu yada süspansiyon edilmiş parçacık kümelerine güçlü kuvvet uygulamak gibi fiziksel veya kimyasal işlemler yapılmaktadır (Saidur vd., 2011).

3.2 Nanoakışkan Çeşitleri

Nanoakışkanlar parçacıkların tipine bağlı olarak kapsamlı bir şekilde dört gruba ayrılabilir. Seramik, saf metalik, alaşım, karbon tabanlı nanoakışkanların allotroplarıdır. Bu parçacıkların ve akışkanların farklı kombinasyonları, farklı tip nanoakışkanları oluşturmaktadır (Goharshadi vd., 2013).

Seramik maddeler nanoakışkanlar için denenen ilk maddeler olup, üretimi kolay ve solüsyonda kimyasal kararlılıkları olduklarından dolayı seramik parçacıklardır. Seramikler, farklı kategorilere ayrılırlar: alüminyum ve zirkonyum gibi oksitler, karbitler, nitridler ve silisidler gibi non-oksitler ile oksit ve non-oksitlerin kombinasyonu gibi kompozitlerdir. Bu sınıfların her biri benzersiz malzeme özellikleri ortaya koymaktadırlar. Farklı tip seramikler arasında en fazla ilgi oksit

nanoakışkanlara gösterilmiştir. Masuda vd. (1993) tarafından yayınlanan ilk raporda, suya hacimce %4.3 Al₂O₃ nanoparçacıklarının eklenmesiyle ısı iletkenlikte %30 artış sağlandığıdır.

Saf metalik nanoparçacık eklenen nanoakışkanlar ise ikinci grup nanoakışkanlardır. Oksit nanoparçacıkların olduğu nanoakışkan çalışmalarına göre, metal nanoparçacıkları içeren daha az çalışma olmasına rağmen sonuçlar umut vericidir. Genellikle, aynı hacimsel konsantrasyonda metal parçacık içeren nanoakışkan metal oksit nanoparçacıklı nanoakışkandan daha fazla ısı iletkenlik değerine sahiptir (Eastman vd., 2001).

Farklı tip metallerin olduğu metal alaşımlı nanoakışkanlar, aynı kökten gelen metallerin özellikleriyle karşılaştırıldıklarında teknolojik açıdan daha iyi özelliklere sahip yeni malzemeleri geliştirme yöntemidir (Ceylan vd., 2006). Alaşım nanoparçacıklar üzerinde yapılan çalışmalar, onların fiziksel özelliklerinin kullanılan numune örneklerinden farklı olduğunu göstermiştir (Ceylan vd., 2006; Chopkar vd., 2007). Alaşım nanoparçacıklara örnek olarak, Ag-Cu, Ag-Al ve Al-Cu verilebilir.

Son olarak ise karbon tabanlı nanoparçacık içeren nanoakışkanlar çeşitleri bulunmaktadır. Bazı karbon tabanlı nanoyapıların büyük ısı iletkenliği aynı zamanda metallerle karşılaştırıldığında yoğunluklarının düşük olması da göz önüne alındığında onları nanoakışkan hazırlamada kullanmak için ilgi çekici birer aday haline getirmektedir.

Karbon tabanlı nanoakışkanlara örnek olarak; farklı akışkanlardaki tek katmanlı karbon nanotüp (SWCNT-single walled carbon nanotube), çok katmanlı karbon nanotüp (MWCNT- multi walled carbon nanotube) ve ultra-dağılmış elmadır. Metal ve metal-oksit malzemelerle karşılaştırıldığında, CNT' ler daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Örneğin, tek katmanlı nanotüp, çift katmanlı nano tüp ve çok katmanlı karbon nanotüpün ısı iletkenlikleri sırasıyla 3000 W/mK, 3986 W/mK ve 6000 W/mK' dir (Chen ve Xie, 2010).

3.3 Nanoakışkanlara Ait Özellikler

3.3.1 Kararlılık

Nanoakışkanların kararlılığı, sedimentasyon yöntemi (çökme zamanına bağlı konsantrasyon değişiminin özel cihazlarla ölçülebildiği) gibi birçok yöntemle belirlenebilir. Sedimentasyon fotoğraf yöntemi (test tüpündeki nanoakışkanların fotoğraflarının kamera ile çekilmesi) ve zeta potansiyel analiz yöntemi diğer bir yöntemdir. Zeta potansiyel yöntemi sadece viskozite ve konsantrasyon değerlerinin ölçülebilmesiyle sınırlıdır. Peng ve Yu (2007), nanoakışkanların kararlılığını etkileyen faktörler üzerine çalışmışlardır. Nanoparçacık süspansiyonlarının kararlılıklarını belirlemede en önemli faktörlerin konsantrasyon, dağıtıcı (yüzey katkı maddesi), taban akışkanın viskozitesi ve son olarak pH değeri olduğunu rapor etmişlerdir. Çap, yoğunluk ve ultrasonik vibrasyon süresi de süspansiyon kararlılığına etki etmektedir. Başka bir çalışmada Wang vd. (2003), nanoparçacığın eşdeğer çapı ve dinamik viskozitesinin nanoakışkanların kararlılığını üzerinde çok önemli bir etkisi olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Stabilizatör kullanılmadan üretilen nanoakışkanlar hızla değişme eğilimindedir.

Bu problemin üstesinden gelebilmek için yüzey aktif maddelerin eklenmesi ve sıvının pH seviyesinin kontrolü gibi pek çok yöntem kullanıldı. Xuan ve Li (2000), stabilizer olarak tuz ve oleik asit Cu/yağ ve Cu/su nanoakışkanının kararlılığını artırmışlardır. Murshed vd. (2005), oleik asit ve setiltrimetilamonyum bromid (CTAB) yüzey aktif maddeleri kullanmıştır. Wei vd. (2009), CuSO₄ çözeltilerinde yüzey aktif madde olarak polivinil piroolidon (PVP) kullanmış ve 24 saat sonrasında kararlı bir nanoakışkan elde etmişlerdir. Ancak bu yöntemlerin ısı transferini ve nanoakışkanların akış davranışlarını değiştirdiği de eklenmelidir. Bunun yanı sıra bu yöntemler sadece bazı örnekler için parçacıkları günler veya haftalarca kararlı tutmaktadır. Kararlı nanoakışkan üretmek için uygun yöntemin henüz belirlenmediği ve bu konuda sistematik bir sonuç elde etmek amacıyla gelecek çalışmalar ve standartlaşmış yöntemlere ihtiyaç duyulduğu dürüstçe belirtilmelidir (Mohammed vd., 2011).

Nanoakışkanların kararlılığı doğrudan onun elektro-kinetik özellikleriyle alakalıdır. Bu nedenle; nanoakışkanların pH' ının kontrolü güçlü itme kuvvetleri nedeniyle kararlılığı artırabilir. Örnek olarak, basit bir asit işleme sudaki CNT' ün kararlılığının

artmasına sebep olabilir (Yu vd., 2008). Xie vd. (2003), Al_2O_3 nanoakışkanı için çeşitli pH değerlerini araştırmışlar ve pH'ın değişimiyle topaklanmanın (kümeleşme) arttığını veya azaldığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak; en uygun pH değeri bir örnekten diğerine değişmektedir. Örneğin; sudaki alüminyum, bakır ve grafit için uygun pH değeri sırasıyla 8, 9.5 ve 2' dir (Fovet vd., 2001).

3.3.2 Isı Transferi Özellikleri

Wen vd. (2009), ısı transferi kuvvetlendirilmesine yönelik geleneksel katı-sıvı süspansiyonlar ile karşılaştırıldığında, uygun tasarımı nanoakışkanların aşağıdaki avantajlara sahip olduğunu belirtmişlerdir; (i) yüksek özgül yüzey alanı ve dolayısıyla parçacıklar ve akışkan arasında daha fazla ısı transferi yüzeyi, (ii) parçacıkların baskın Brownian hareketi ile yüksek dağılma kararlılığı, (iii) eşdeğer ısı transferi elde edildiğinde durumda saf su ile kıyaslandığında azaltılmış pompalama gücü, (iv) geleneksel yarı sıvılara (bulamaç) kıyasla parçacık tıkanmasında azalma, neticesinde sistemde küçülmeye yönelme ve (v) ısıl iletkenlik ve yüzey ıslanabilirliği gibi parçacık konsantrasyonuyla değişen ayarlanabilir özellikler farklı uygulamalar için uygundur. Isı transferi etkinliği ısı transferi katsayısı (h) ile verilmiştir. Bu değer eğer faz değişimi söz konusu ise ısıl iletkenlik, ısı kapasitesi, viskozite, yoğunluk ve yüzey gerilmesi gibi bir dizi termodinamik özelliğe bağlıdır. Genel eğilim ısıl iletkenlik, özgül ısı ve yoğunluk azaldığında ısı transferi katsayısı artarken, viskozite ile azalmaktadır (Mohammed vd., 2011).

3.3.3 Isı İletimi Mekanizması

Choi vd. (2001), geleneksel ısı transferi akışkanlarına küçük miktarlarda (hacimce %1'den az) nanoparçacık eklendiğinde akışkanın ısıl iletkenliğinin yaklaşık iki katına çıktığını bildirdiklerinden bu yana, nanoakışkanların ısı transferi uygulamalarında kullanılması çığırını başlatmıştır. Daha birçok araştırmacı, geleneksel akışkanlara nanoparçacık eklendiğinde ısı transferindeki benzer eğilimleri belirtmişlerdir. Örneğin, Masuda vd. (1993) ve Xuan ve Li (2000), düşük nanoparçacık konsantrasyonlarında (hacimce %1-5) süspansiyonların ısıl iletkenliklerinin %20'den fazla arttığını belirtmişlerdir. Eastman vd. (1997), süspansiyon edilmiş nanoparçacıklarla (hacimce %5 CuO/su) yaptıkları deneylerde, yaklaşık %60 ısıl iletkenlik artışı elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Karışımların ve kompozitlerin efektif ısı iletkenliklerini anlamak süreklilik denklemlerine bağlı olup, tipik olarak parçacık boyutu, şekli ve hacim fraksiyonu gibi değişkenler içermekte ve sıvı ve katı her iki fazda uygun ısı transferi sayılmaktadır. Katı/sıvı arayüzleri veya parçacık hareketliliğinin etkileri dikkate alınmamıştır. Bu yöntem, makrometre ve mikrometre boyutlu parçacıklarla iyi bir tanımlama sağlarken nanoakışkanlardaki olağandışı ısı iletkenlik artışını tanımlama da başarısızdır.

Nanoakışkanlardaki anormal ısı iletkenlik artışına mantıklı bir açıklama bulmak için ilginç bir teorik analiz Keblinski vd. (2002) tarafından yapılmış, kompozit malzemelerdeki makroskopik ısı taşınım teorisini açıklayabilecek etkenlerin kapsamlı bir listesi analiz edilmiştir: (i) ısı iletkenlik artışının nanoparçacıkların Brownian hareketinden kaynaklandığı olasılığı, (ii) akışkanın katı/sıvı arayüzündeki moleküler-seviye tabakasından ısı iletkenlikte ne kadar artış beklendiği, (iii) nanoparçacıklardaki ısı aktarımının doğası ve parçacık ve akışkan matriksin her ikisindeki makroskopik teorisinin ısı yayılımının temel varsayımının geçerliliği, (iv) nanoparçacıkların kümeleşme etkileri, hem doğrudan katı-katı yolları ve hem de kısa parçalar arası mesafe sınırı içinde mevcut sıvı aracılığı ile olası kümeleşme etkileri yaptıkları çalışmada elde edilen bulgular sonrasında açıklanmıştır.

Brownian hareketi (sıvı içinde hareket eden ve çarpışan parçacıklar) ısının birinden diğerine doğrudan katı-katı aktarımında ve ısı iletkenlikteki aşırı artıştaki bir başka sebeptir. Stokes-Einstein formülünde Brownian hareketi parçacık difüzyon katsayısı $D=k_B T/3\pi\eta d$ ile tanımlanır. Burada k_B Boltzmann sabiti, η akışkan viskozitesi ve d parçacık çapıdır. Bu denklem sıvıdaki ısı yayılımı ile parçacık hareketini zamana göre etkisi kıyaslanarak Brownian hareketinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisinin tahmin edilmesini sağlamaktadır. Bir parçacığın zamana göre kıyaslanabilmesi için, sıvıdaki ısı hareketinin aynı mesafe için zamana göre kat ettiği mesafenin boyutuna eşit olması gerekir. Keblinski' nin ekibi nanoparçacıklar söz konusu olduğunda, ısı difüzyonunun Brownian difüzyonundan daha hızlı olduğunu göstermişlerdir. Brownian hareketinden kaynaklanan nanoparçacık hareketlerinin, nanoakışkan boyunca olan ısının önemli miktarını taşımak için çok yavaş olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Bunun yanında Brownian hareketi parçacık kümeleşmesi oluşumunda önemli ve dolaylı bir role sahip olup bu durum ısı iletkenliği artırmaktadır (Mohammed vd., 2011).

Peyghambarzadeh vd. (2011b), taban akışkana küçük miktarlarda Al_2O_3 nanoparçacıklar eklendiğinde viskozite daha belirgin bir şekilde artarken, yoğunluk ve ısı iletkenliğinin arttığı ve özgül ısının ise azaldığı gösterilmiştir. Bu değişiklikler ısı transferindeki %40'lık artışa nazaran çok küçüktür (yaklaşık %4). Heris vd. (2007), laminerden türbülanslı akış koşullarına kadar suda Al_2O_3 nanoparçacıklar ile yaptıkları deneylerde, ısı iletkenlikteki artış %15' den daha azken ısı transferinde %40 kadar artış elde etmişlerdir. Pek çok araştırmacı Brownian hareketinin aslında ısı transferi artışındaki en önemli faktörlerden biri olduğunu öne sürmüşlerdir. Nanoparçacıkların varlığı ve temel akışkan içindeki rastgele hareketleri ısı sınır tabaka kalınlığının azalmasına sebep olmakta ve bu durum ısı transferi iyileştirilmesinde önemli bir katkı sağlamaktadır (Maiga vd., 2005). Ultra-ince parçacıkların bu rastgele hareketi katı parçacıklar ve akışkan ortamı arasında bir kayma hareketi yaratacaktır (Kakaç vd., 2009). Xuan ve Roetzel (2000), ayrıca sıcaklık ve hızdaki küçük düzensizliklerin rolünü Brownian hareketiyle açıklayan bir formülasyon önermiştir.

3.3.4 Isıl İletkenlik

Daha öncesinde de bahsedildiği üzere, ısı iletkenlik ısı transferi akışkanlarının ısı transferi performanslarının artışında çok önemli bir parametredir ve birçok deneysel çalışma bu konuyla alakalıdır. Isıl iletkenliği ölçmede kullanılan yöntemlerden bazıları, geçici sıcak tel (transient hot wire-THW) yöntemi, sıcaklık salınımları yöntemi ve son olarak kararlı hal paralel plaka tekniğidir. Geçici sıcak tel yöntemi malzemelerin ısı iletkenliklerini ölçmede kullanılan en hassas ve en yararlı yöntemdir. Bu yöntem sıcaklık ölçümü ve ani bir elektrik sinyaline zamana bağlı verilen yanıtının ölçülmesi ile çalışır. Fourier kanunu ve sıcaklık verilerindeki sapma ısı iletkenliği hesaplamada kullanılır. Akışkanların elektriksel temasının sebep olabileceği sorunları engellemek için, tel ince bir elektrik yalıtım tabakası ile kaplanmıştır.

Zhang vd. (2006), farklı nanoakışkanların efektif ısı iletkenlik ve ısı yayınımlarını hassas olarak ölçmek için geçici kısa sıcak tel yöntemi (transient short hot wire-SHW) kullandıklarını bildirmişlerdir. Ölçme hassasiyetinde nanoparçacıkların statik yük ve elektriksel iletkenliklerinin etkilerini önlemek için, SHW ölçüm uçları saf Al_2O_3 ile ince film tabakası şeklinde kaplanmıştır. Mükemmel elektriksel yalıtım ve ısı iletkenlik sağlamak için, Nagasaki ve Nagashima (1981) epoksi yapıştırıcı ile kaplı sıcak tel kullanılarak değiştirilmiş sıcak tel hücresi ve elektrik sistemi ile gelmişlerdir.

Ancak Das vd. (2003), bu tür deneylerde sıcak tel etrafındaki akışkan iletiminde olası iyon konsantrasyonlarının ölçme hassasiyetine etkisi olduğuna dikkat çekmişlerdir. Isıl iletkenliği ölçmede kullanılan bir diğer yöntem salınım yöntemi olup Czarnetzki ve Roetzel (1995) tarafından önerilmiştir. Bu yöntem test numunesinden sadece ısıl ve elektriksel cihazların bileşenleri çıkarıldığında, iyon hareketi ölçümü etkilememektedir.

Katı nanoparçacıkların ısıl iletkenlikleri akışkanlardan çok daha yüksektir, bu nedenle parçacıklar ısıl iletkenlik ve ısı transferi performansı artışından sorumludur. Birçok deneysel araştırma yapılmış ve boyut, hacim fraksiyonu, nanoparçacıkların ısıl iletkenliği, viskozite, sıcaklık ve taban akışkanın ısıl iletkenliği gibi faktörlerin nanoakışkanların ısıl iletkenliğini etkilediği bildirilmiştir. Genel olarak, çoğunlukla nanoparçacıkların hacim fraksiyonunun artışıyla ısıl iletkenliğin arttığı bulunmuştur. Choi vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada yağ taban akışkanında karbon nanotüpler kullanıldığında nanotüp yükü artışıyla doğrusal olmayan artış bildirilmiştir. Ölçtükları ısıl iletkenlik teorik tahminlerden çok daha yüksektir. Nanotüp süspansiyonlarındaki ısı iletimin doğası ve katı-sıvı ara yüzündeki düzenli yapının bu durumdan sorumlu bir faktör olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Efektif ısıl iletkenliği hesaplamak için mevcut bazı deneysel bağıntılarda Maxwell 'in klasik araştırmasındaki efektif ısıl iletkenlik temel alınmıştır:

$$K_{eff,Maxwell} = \frac{2K_2 + K_1 + \phi(K_2 - K_1)}{2K_2 + K_1 - 2\phi(K_2 - K_1)} \quad [3.1]$$

burada K_1 ve K_2 sırasıyla akışkan ve parçacıkların ısıl iletkenlikleri ve ϕ parçacık hacim fraksiyonudur. Maxwell 'in çalışması küresel şekillerde sürekli olmayan faz kabulüne ve nanoakışkanın ısıl iletkenliği; küresel parçacıkların, taban akışkanın ısıl iletkenliğine ve parçacık hacim fraksiyonuna bağlıdır. Bu çalışma Hamilton ve Crosser (HC) tarafından devam ettirilerek, küresel olmayan parçacıkları kapsayacak ve farklı malzemeler için deneysel olarak belirlenebilen şekil faktörü (n) sunulmuştur. Parçacık şekli, kompozisyonu ve sürekli-sürekli olmayan faz durumlarındaki iletkenlik fonksiyonuna bağlı bir model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Sürekli bir faz durumunda, sürekli olmayan bir faz (parçacık) dağılımı için Hamilton ve Crosser modeli:

$$K_{eff.HC} = K_1 \left[\frac{K_2 + (n-1)K_1 - (n-1)\phi(K_1 - K_2)}{K_2 + (n-1)K_1 + \phi(K_1 - K_2)} \right] \quad [3.2]$$

burada deneysel şekil faktörü (n), $n=3/\psi$; ψ küresellik olup, parçacık eşit hacimde bir kürenin yüzeyi alanlarının oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu model sürekli fazın ısı iletkenliği an az 100 faktörden büyük olan nanoparçacıkların ısı iletkenlikleri için geçerlidir (Mohammed vd., 2011).

3.3.5 Viskozite

Wang ve Mujundar (2007), nanoakışkanların reolojik davranışları hakkında sınırlı sayıda çalışma olduğunu belirtmişlerdir. CuO parçacıklı su süspansiyonlarının viskozitesi kılcak bir viskometre kullanılarak ölçülmüştür (Li vd., 2002). Yaptıkları çalışma sıcaklık arttığında nanoakışkanların viskozitesinin azalmasıyla sonuçlanmıştır. Özellikle düşük sıcaklıklarda kılcak tüp çapının, yüksek nanoparçacık kütle fraksiyonu için viskoziteyi etkilediğine dikkat çekmişlerdir. Diğer bir çalışmada Das vd. (2003) tarafından Al₂O₃-su nanoakışkanının kayma oranına dayalı viskozite ölçümü yapılmıştır. Parçacık konsantrasyonun artışı ile viskozitenin arttığını ve bazı viskoelastik durumlarda bile nanoakışkanın güçlü olasılıkla non-Newtonian akışkan olabileceğini belirtmişlerdir. İleriki deneysel çalışmalarda viskozite modelleri tanımlanırken daha hassas simülasyon çalışmaları yapılmasını önerdiler. Ding vd. (2006) tarafından CNT(karbon nanotüp)-su nanoakışkanının kayma oranının fonksiyonu olarak viskozitesi ölçülmüştür. CNT konsantrasyonunu artması ve sıcaklığın azalmasının nanoakışkanın viskozitesini artırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca nanoakışkanın kayma inceme davranışı (duvardaki yüksek kayma oranı nedeniyle daha iyi akış performansı sağlaması) sergilemesi sonucu viskozitesinin düştüğünü gözlemlemişlerdir (Mohammed vd., 2011).

3.3.6 Yoğunluk ve Özgül Isı

Khanafer ve Vafai (2011) tarafından nanoakışkanın yoğunluğunu belirlemek için karışımın kütle dengesini kullanarak aşağıdaki bağıntı verilmiştir:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho_{nf} = \frac{m_{bf} + m_p}{V_{bf} + V_p} = \frac{\rho_{bf} V_{bf} + \rho_p V_p}{V_{bf} + V_p} = (1 - \phi_p) \rho_{bf} + \phi_p \rho_p \quad [3.3]$$

Burada, bf ve p sırasıyla taban akışkanı ve nanoparçacığı gösterirken, $\phi_p = \frac{V_p}{V_p + V_{bf}}$ nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonudur.

Nanoakışkana ait özgül ısısı ise, enerji dengesini kullanarak yine Khanafer ve Vafai (2011) tarafından verilen aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir:

$$(\rho c)_{nf} = \rho_{nf} \left(\frac{Q}{m \Delta T} \right)_{nf} = \rho_{nf} \frac{Q_{bf} + Q_p}{(m_{bf} + m_p) \Delta T}$$

$$(\rho c)_{nf} = \rho_{nf} \frac{(mc)_{bf} \Delta T + (mc)_p \Delta T}{(m_{bf} + m_p) \Delta T} = \rho_{nf} \frac{(\rho c)_{bf} V_{bf} + (\rho c)_p V_p}{\rho_{bf} V_{bf} + \rho_p V_p}$$

$$c_{nf} = \frac{(1 - \phi_p) \rho_{bf} c_{bf} + \phi_p \rho_p c_p}{\rho_{nf}} \quad [3.4]$$

Bu bağıntıda, ρ_p nanoparçacığın yoğunluğu, ρ_{bf} taban akışkanının yoğunluğu, ρ_{nf} nanoakışkanın yoğunluğu, c_p ve c_f sırasıyla nanoparçacığın ve taban akışkanının özgül ısılarıdır.

Bununla birlikte, aşağıda basitleştirilmiş hali olan bağıntı araştırmacılar tarafından hesaplamalarda tercih etmektedirler.

$$c_{nf} = (1 - \phi_p) c_{bf} + \phi_p c_p \quad [3.5]$$

Nanoakışkanların yoğunlukları ve özgül ısıları için deneysel veriler bulunmamaktadır.

3.3.7 Nanoparçacıkların Boyutu ve Şekli

Nanoakışkanların ısı iletkenlik üzerindeki etkisi hakkındaki literatür verisi sınırlı ve tutarsızdır. Küçük boyutlu parçacıklar içeren nanoakışkanlar, büyük parçacıklı olanlardan daha fazla ısı iletkenlik artışı göstermektedirler. Nanoparçacıkların rastgele hareketi (Brownian), ısı iletkenlik artışının olası bir açıklaması olabilir. Çünkü küçük parçacıklar daha kolay harekete geçebilir ve daha yüksek seviyede rastgele harekete sebep olurlar.

Teng vd. (2010), alüminyum/su nanoakışkanının ısı iletkenlik artışı üzerinde parçacık boyutunun etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonuçları, parçacık boyutunun

azalmasının nanoakışkanların ısı iletkenliğini artırdığını göstermiştir.

Nanoakışkanların viskozitesi ile ilgili olarak, literatürde parçacık büyüklüğü etkisiyle alakalı tutarlı veri eksikliği daha dikkat çekicidir. Birçok faktörün süspansiyon viskozitesini etkilemesi verilerdeki tutarsızlığın sebebidir. Yapılan çalışmalarda, katı/sıvı arayüzlerinin daha büyük yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle küçük parçacık boyutlarında daha yüksek viskozite artışı sağladığı görülmüştür (Timofeeva vd., 2010).

Nanoakışkan araştırmalarında temel olarak iki parçacık şekli bulunmaktadır. Küresel ve silindirik parçacıklar. Küresel şekle sahip nanoparçacıklı nanoakışkanlar, silindirik (çubuk veya boru) nanoparçacıklı nanoakışkanlarla karşılaştırıldığında ısı iletkenlikte küçük bir artış göstermektedir (Murshed vd., 2005). Bunun nedeni; silindirik parçacıkların genellikle daha büyük uzunluk-çap oranına sahip olmasıdır (Özerinç vd., 2010). Murshed vd. (2005), 10 nm x 40 nm (çap-boy) oranına sahip çubuk şeklinde ve 15 nm çaplı küresel şekilli TiO₂ nanoparçacıklarının saf suda hazırlanmış nanoakışkanların ısı iletkenlik sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Parçacık boyutunun ısı iletkenlik artışını etkilediğini göstermişler ve çubuk şeklindeki nanoparçacıklara sahip nanoakışkanın ısı iletkenliğindeki artışın küresel şekilli parçacıklara sahip nanoakışkandan daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

3.4 Nanoakışkanların Farklı Kullanım Alanları

Nanoakışkanlar; elektronik, ulaşım, endüstriyel soğutma, konutların ısıtılması, nükleer sistemlerin soğutulması, uzay, savunma sanayi ve bazı enerji uygulamaları gibi farklı kullanım ve uygulama alanlarına sahiptir. Çiplerin elektronik olarak yüksek yoğunluğu nedeniyle daha kompakt elektronik parçaların tasarımı ısı yayılımını zorlaştırmaktadır. İleri düzeydeki elektronik aletlerde yüksek seviyedeki ısı üretiminden dolayı ısı yönetimi zorluklarıyla ve ısı atımı için var olan yüzey alanının azalması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle, güvenilir bir ısı yönetim sistemi ileri düzeydeki elektronik cihazların düzgün çalışması için büyük önem taşımaktadır. Genellikle, elektronik donanımlar için ısı atımını iyileştirmede iki yaklaşım vardır. Bunlardan bir tanesi; soğutma cihazlarının en uygun geometrisini bulmak, bir diğeri ise ısı iletim kapasitesini artırmaktır. Yüksek ısı iletkenlik değerine sahip nanoakışkanlar, taban akışkanlarıyla karşılaştırıldıklarında daha yüksek taşınım ısı transferi katsayılarına sahiptirler. Son araştırmalar, nanoakışkanların bir soğutucunun

ısı iletkenliğini artırarak ısı taşınım katsayısını artırabileceğini göstermiştir. Kişisel bilgisayar üzerindeki ısı yükler, işlemcinin de ısı atımındaki artışla daha ciddi seviyelere ulaşmaktadır. Bu konudaki çözümlerden birisi, ısı boruları kullanmaktır. Nanoakışkanlar, geleneksel ısı boruları için çalışma akışkanı olarak işlev görmekte, daha iyi ısı performans göstermekte ve ısı borusunda geleneksel akışkan olarak kullanılan suyun yerini alma potansiyeline sahiptir (Tsaia vd., 2004).

Nanoakışkanların endüstriyel soğutma uygulamalarında kullanılması büyük bir enerji tasarrufu ve emisyonlarda azalma ile sonuçlanacaktır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) sanayinde soğutma ve ısıtma suyunun nanoakışkanla değiştirilmesi, 1 trilyon Btu' luk enerji korunum potansiyeline sahiptir (Wong ve Leon, 2010; Routbort vd., 2009). ABD elektrik üretimi sanayisi için kapalı devre soğutma sistemlerinde nanoakışkanın kullanılması 10-30 trilyon Btu' luk enerji tasarrufu meydana gelmesine sebep olabilir (bu da yaklaşık 50.000 ile 150.000 arası evin yıllık enerji tüketimine eşittir). Böylece karbondioksit, nitrojen oksit ve sülfür dioksit salınımlarında azalma sağlanacaktır.

Nanoakışkanlar konut ısıtma uygulamalarında da kullanılabilir. Kulkarni vd. (2009), soğuk bölgelerde ısıtılan binalarda nanoakışkanları denemişlerdir. Soğuk iklimlerin yaşandığı bölgelerde ısı transferi akışkanı olarak farklı oranlarda su ile karıştırılmış etilen veya propilen glikol kullanılması yaygın bir uygulamadır. Kütlece 60:40 oranında etilen glikol/su taban akışkanı olarak seçilmektedir. Sonuçlar, ısı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanımının kütle ve hacimsel debiyi azaltarak pompalama gücünde tasarruf sağladığını göstermektedir. Nanoakışkanlar, büyük bir ısıtma sistemiyle aynı miktarda ısıtma enerjisini taşıma kapasitesine sahip daha küçük ısıtma sistemleri gerektirmektedir. Bu durum nanoakışkan maliyeti hariç tutulduğunda başlangıçtaki yatırım maliyetini azaltmaktadır. Ayrıca, kullanılan küçük ısıtma üniteleri daha az güç harcamakta ve böylece çevreyi daha az kirletmekte ve ömürleri boyunca daha az sıvı kullanarak daha az atık madde oluşturmaktadırlar.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, nükleer enerji enstitüsü için nanoakışkan teknolojisiyle ilgili disiplinlerarası merkezi bir belge yayımlamıştır. Araştırmacılar, özellikle şu üç konuyla ilgili nanoakışkanların nükleer uygulamalarını araştırmaktadırlar (Boungiorno vd., 2008). 1) Basınçlı su reaktörleri için temel reaktör soğutucusu. Bu şu anda önemli miktarda güç kapasitesi artışına olanak sağlar ki bu da reaktörlerin gelecekteki ekonomik performansını artıracaktır. Özellikle,

nanoakışkanların kullanımı yakıt aksamının tasarımını değiştirmeden şu anki reaktörlerde % 32 daha fazla kritik ısı akısına ve % 20' lik oranda daha fazla güç artışına olanak sağlayabilecektir. 2) Hem basınç reaktörlerinin hem de kaynama suyu reaktörlerinin acil çekirdek soğutma sistemleri için soğutucu olarak kullanılması. Acil çekirdek soğutma sistemleri akümülatörlerinde ve emniyet enjeksiyonlarında nanoakışkan kullanımı en yüksek kaplama-sıcaklık sınırlarını artırabilir ve nanoakışkan daha yüksek ısı transferi oranına sahipse güçlendirilmiş çekirdeklere bu durumu sürdürebilir. 3) Yüksek güç yoğunluklu hafif su reaktörlerinde ciddi kazalarda erimiş kazanın çekirdeği için soğutucu olarak kullanımı. Önemli kazalarda % 40' a kadar kazan sınır değerlerini artırabilir. Fakat nükleer güç reaktörlerinde nanoakışkanların kullanımının daha iyi bir şekilde değerlendirilebilmesi için daha çok araştırma yapılması gerekmektedir.

Nanoakışkanlar uzay ve savunma sanayi gibi daha özel uygulama alanlarında da kullanılmaktadır. Uzay istasyonu ve uçakta alan, enerji ve ağırlık kısıtlaması nedeniyle küçük boyutlu yüksek verimli soğutma sistemlerine çok büyük bir talep vardır. You vd. (2003) ve Vassalo vd. (2004) yalnızca taban akışkanıyla karşılaştırıldığında nanoakışkanlı havuz kaynamasında ısı akısında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Nanoakışkanlar kullanılarak yapılan daha fazla araştırma, elektronik elemanlarda çip gücünü artırma olasılığı sağlayan veya uzay uygulamaları için soğutma gereksinimlerini azaltan yüksek ısı akılı elektronik sistemlerde nanoakışkanları içeren yeni nesil soğutma elemanlarının gelişimine yol açacaktır. Askeri cihaz ve sistemlerin çoğu MW/m^2 ' nin onlarca katı daha yüksek seviyede soğutma akısı gerektirmektedir. Güvenilir bir uygulama için bu seviyede askeri cihaz ve sistemlerin soğutulması çok önemlidir. Nanoakışkanlar, askeri araçlar, denizaltılar ve yüksek güçlü lazer diyotlar gibi diğer askeri sistemler için gerekli soğutmayı sağlama potansiyeline sahiptirler. Bu nedenle, nanoakışkanlar güç gereksiniminin çok yoğun ve elemanların çok küçük ve hafif olduğu uzay ve savunma alanlarında büyük bir uygulama alanına sahiptir.

Nanoakışkanların enerji uygulamaları için iki önemli özelliği kullanılmaktadır. Bir tanesi, nanoakışkanların yüksek ısı iletkenliği ile ısı taşınımını artırması diğeri ise emicilik özellikleri. Enerji ihtiyaçları ve enerji kaynağının zamansal farkı, depolama sisteminin gelişmesini gerekli kılmaktadır. Gizli ve duyulur ısı biçiminde ısı enerjisinin depolanması endüstri ve binalarda güneş enerjisi ve atık ısının korunumu, verimli kullanımı ve yönetimi açısından önemlidir (Demirbas, 2006). Gizli ısı depolama, en

verimli ısı enerji depolama yollarından biridir. Wu vd. (2010), soğutma sistemlerinde ısı enerji depolanması için yeni bir faz değişim maddesi olarak Al_2O_3 -su nanoakışkanının potansiyelini değerlendirmiştir. Isıl testler, Al_2O_3 nanoparçacıkların eklenmesinin suyun aşırı soğuma derecesini azalttığını, donma zamanı başlangıcını geciktirdiğini ve toplam donma zamanını azalttığını göstermiştir.

3.5 Nanoakışkan Hazırlamada Kullanılan Cihazlar

Yapılan çalışmada nanoakışkanlar hazırlanırken, hassas terazi, sonifikatör (banyo tipi veya prob tipi) makine teçhizatı kullanılmıştır. Nanoakışkanlar kütlece farklı bölüntülerde hazırlanmıştır. Kullanılacak nanoparçacığın kütlesi belirlendikten sonra şu işlemler yapılmaktadır.

* Belirlenen kütlede nanoparçacık alınır ve istenilen hacimdeki taban akışkanı içerisine ilave edilir.

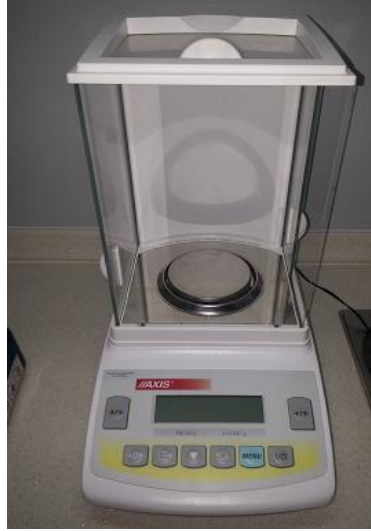
* Daha sonra bu süspansiyon homojen ve kararlı bir hal alabilmesi için, istenilen zeta potansiyel değerine geldiği ana kadar sonifikatör işlemine maruz bırakılır.

* Sonrasında belirli aralıklarla zeta potansiyel değerlerine bakılarak nanoakışkanların kararlı hale gelip gelmediği kontrol edilir.

Bu çalışmada hazırlanan nanoakışkanlar 4-8 saat olmak koşulu ile sonifikasyon işlemine maruz bırakılmıştır. Bu süre kullanılan hacim ve nanoparçacığa göre değişmektedir.

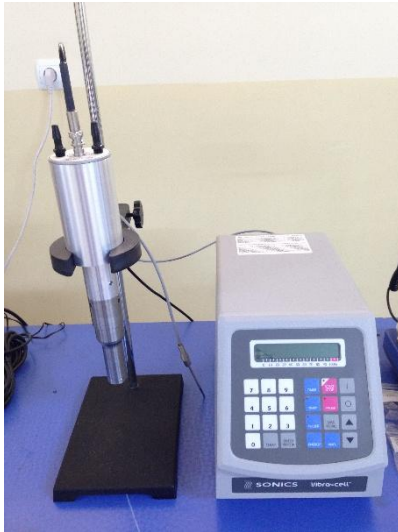
Isıl iletkenlik ve viskozitenin deneysel ölçümü için nanoakışkan hazırlanmasında ilk aşama, nanoparçacıkların tartılması ve nanoakışkanın hazırlanması kısmıdır. Nanoparçacıklar Şekil 3.5' de verilen 0.0001 g (0.1 mg) hassasiyete sahip AXIS terazi ile tartılmış ve sonrasında kütle oranlar denklem [3.6] ile hacimsel oranlara çevrilmiştir.

$$\frac{V_p}{V_{nf}} = \frac{V_p}{V_f + V_p} = \frac{\frac{m_p}{\rho_p}}{\frac{m_p}{\rho_p} + \frac{m_f}{\rho_f}} = \frac{m_p \rho_f}{m_p \rho_f + m_f \rho_p} \quad [3.6]$$



Şekil 3.5 AXIS hassas terazi ile taneciklerin kütle oranlarının ölçülmesi.

Farklı nanoparçacık hacimsel fraksiyonlarında tartımları yapılan nanoparçacık ve taban akışkanları ile oluşturulan nanokışkanların stabilitesini sağlayabilmek amacıyla hazırlanan nanoakışkan 4-8 saat boyunca ultrasonifikatör cihazında bırakılmıştır.



a)



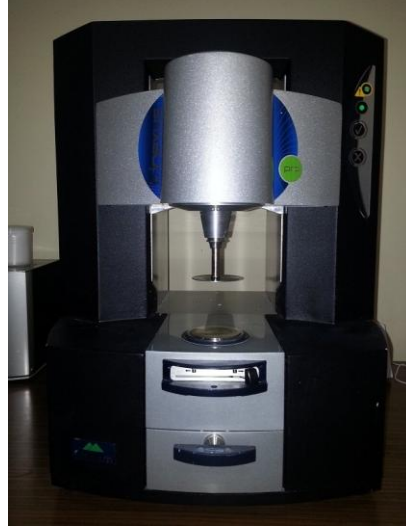
b)

Şekil 3.6 a) Prob tipi ve b) banyo tipi sonifikatör cihazı.

Hazırlanan nanoakışkan uzun bir süre stabilitesini koruyabilmiştir. Parçacık ile taban akışkanı arasındaki potansiyel farka zeta potansiyel denilmektedir. Nanoakışkanın zeta potansiyelinin mutlak değeri onun kararlılığı ile doğrudan ilgilidir. Literatürde nanoakışkanların zeta potansiyel değerlerinin 20 mV ve üstündeki değerlerin kararlı olduğuna değinilmektedir. Hazırlanmış olan nanoakışkanların kararlı olduğundan emin olunduktan sonra deneyler yapılmıştır.

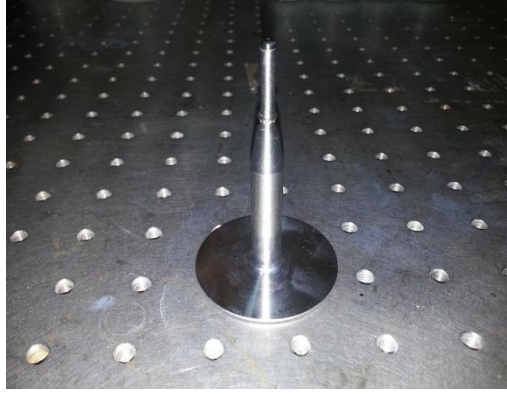
3.5.1 Nanoakışkanın Viskozite Ölçümleri

Kütlesel olarak hazırlanan nanoakışkanların reolojik analizi Şekil 3.7’ de görülen Malvern Kinexus Pro koni ve plaka (cone and plate) gerilim kontrollü reometre ile yapılmıştır.



Şekil 3.7 Malvern Kinexus Pro reometre.

Koni çapı 60 mm ve koni açısı 1° olan reometre plakası kullanılmıştır.

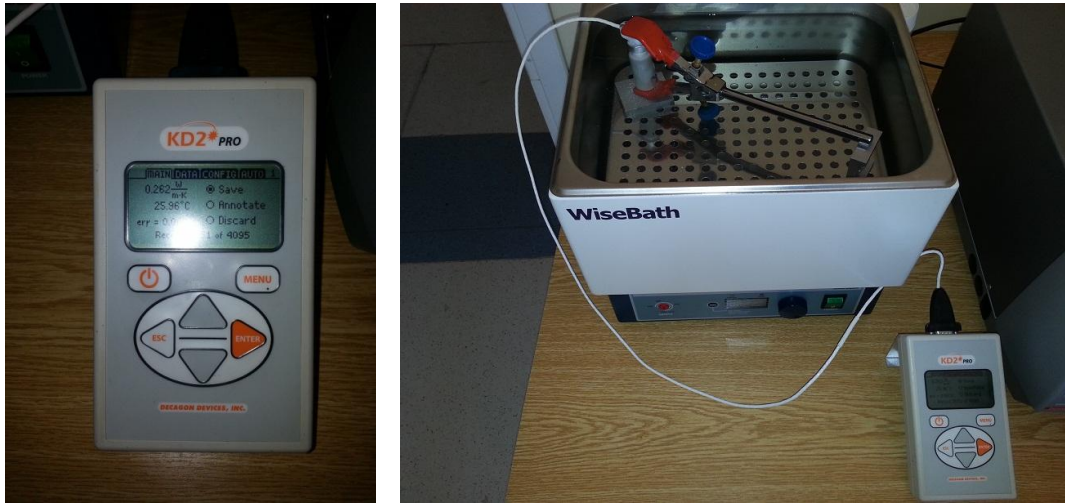


Şekil 3.8 CP1/60 plaka.

3.5.2 Nanoakışkanın Isıl İletkenlik Ölçümleri

Bir katı metalin ısı iletkenliği taban akışkanın ısı iletkenliğinden yüksek olduğu için taban akışkan içerisine katılan küçük katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini arttırmaktadır. Nanoakışkan içerisine katılan bu parçacıkların çapı $0.1 \mu\text{m}$ ' nin altında olması nedeniyle hareketleri düzensizdir. Bununla beraber nanoparçacıklar, akışkan içerisindeki moleküller ile çarpışıklarında rastgele yönde hareket ederler. Katetikleri

yolun cebirsel toplamı da sıfırdır. Bu tip bir hareket Brownian hareket olarak tanımlanır. Parçacık boyutu küçüldükçe Brownian hareketi ve hareket etkinliği artar. Bu hareketin yarattığı kuvvet, akışkan içerisinde etki eden toplam net kuvvetin (yerçekimi ve akışkanın kaldırma kuvvetler) büyüklüğüne hemen hemen eşittir. Bu nedenle nanoparçacıklar sıvı içerisinde ortam sıcaklığına da bağlı olarak yüzerler. Nanoparçacıkların sıvı içerisindeki hacimsel oranlarının küçük olduğu durumlarda akışkanın ısı iletiminin iyileştirilmesinde Brownian hareketin rolü büyüktür. Isıl iletkenlik ölçümü için literatürde sıcak tel, yatışkın koşul paralel plaka, sıcaklık salınım tekniği, sıcak çubuk ve optik ışın sapma gibi birçok yöntem kullanılmıştır (Wang vd. 1999; Czarnetzki ve Roetzel 1995; Ju vd.2008; Putnam vd. 2006). Bunlardan en sık kullanılan yöntem sıcak tel yöntemidir (Ding vd. 2006; Zhu vd. 2007; Hong vd. 2005; Beck vd. 2009). Sıcak tel yöntemi ilk kez 1931 yılında kullanılmış daha sonraki yıllarda ise geliştirilmiştir. Bu yöntemin üstünlükleri, doğal konveksiyon etkisinden neredeyse tamamen kaçınılabilmesi, kolay ve hızlı ölçüm yapılabilmesi olarak tanımlanabilir. Yapılan bu tez çalışmasında sıcak tel yöntemi kullanılmış ve bu amaçla deneysel olarak Şekil 3.9’ de görülen Decagon Devices KD2 Pro ısıl iletkenlik ölçer cihazı kullanılmıştır.



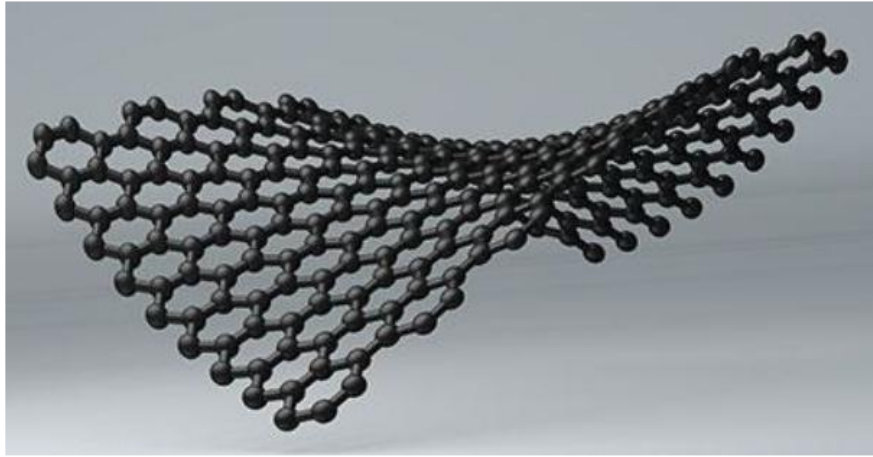
Şekil 3.9 Decagon Devices KD2 Pro ısıl iletkenlik ölçer cihazı.

%5 doğruluğa sahip bu cihaz 5 °C - 40 °C sıcaklık aralığında çalışabilmektedir. Ölçümlerin doğruluğu ve hassasiyeti, her ölçümden önce standart çözeltilerle yapılmıştır. Hazırlanan nanoakışkan sıcaklığının sabit kalması amacıyla ölçüm işlemleri su banyosu içerisinde yapılmıştır (Çakmak, 2014).

3.5.3 Deneylerde Kullanılan Nanoakışkanlar

Karbon elementinin bal peteği örgülü yapıları olan grafen, iki boyutlu düzlemsel yapıların çok ender örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Grafen maddesi ilk olarak 2004 yılında, Manchester Üniversitesi'nden Andre Geim ve Konstantin Sergeevich Novoselov isimli iki bilim adamının çalışmaları sonucu bulunmuştur. Bu araştırmaları 2010 Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür. Bilim dünyasında oldukça fazla heyecan yaratan grafen aslında çok nadir bulunan bir malzeme değildir. Kullandığımız kurşun kalemlerin içindeki grafit, grafen tabakalarının üst üste binmesinden oluşmaktadır. Grafen, karbon atomlarının tek düzlemde altıgen yapıda dizilmesiyle oluşan iki boyutlu, bir atom kalınlığında karbon allotropu bir yapıdır.

Grafen ısıyı çok iyi ileten bir malzemedir. Grafen bilinen en ince malzeme olmasına rağmen güçlü karbon bağları ona yeryüzündeki bilinen en sağlam malzemelerden biri olma özelliğini kazandırmıştır. Çelikten yaklaşık 100 kat daha güçlüdür ve kolayca esneyebilmek farklı formlardaki malzemelerin yüzeylerine de kolaylıkla kaplanabilmektedir. Tüm bu özellikleriyle gelecekte dünyada pek çok önemli teknolojik değişikliklere neden olabilecek bir maddedir (Devrim, 2012).



Şekil 3.10 Grafen atomlarının kristal yapısı (Devrim, 2012).

Yapılan tez çalışmasında, grafen nanoparçacıkları kullanılarak hacimsel konsantrasyonları %0.01 ve %0.02 olan su tabanlı nanoakışkan elde edilmiştir.

Deneilerin ikinci aşamasında grafen nano ribon kullanılarak su tabanlı nanoakışkan üretilmiştir. Kullanılan nanoakışkanlar %0.01 ve %0.02 hacimsel konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Nanoakışkanların hazırlanması işlemi Cumhuriyet Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiş olup, deneyde kullanılan nanoakışkanlar buradan temin edilmiştir.

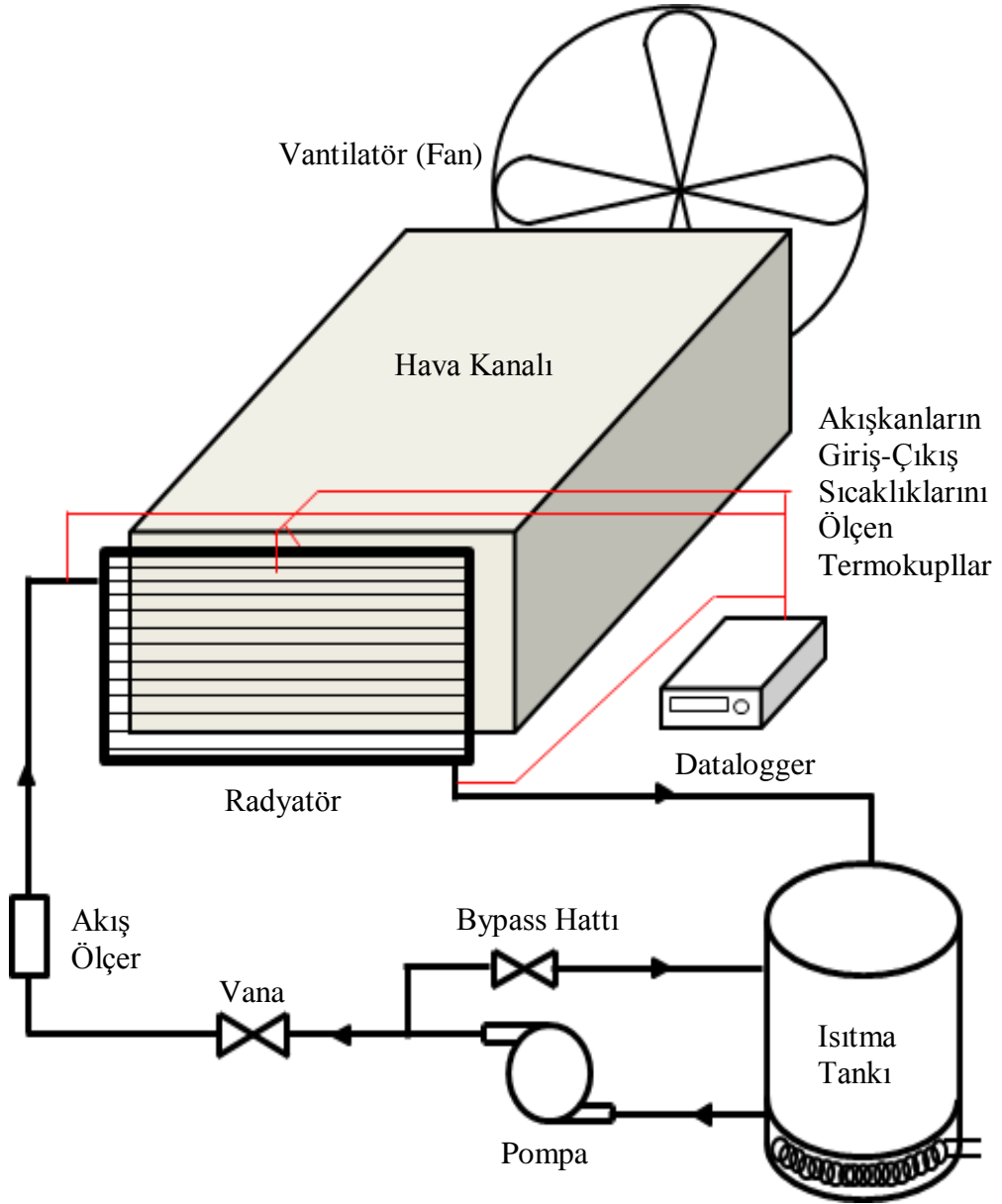


şekil 3.11 Ribon parçacıkları ve Ribon-su nanoakışkanı.

4. DENEYSSEL SİSTEM VE YÖNTEM

4.1 Deneysel Sistem

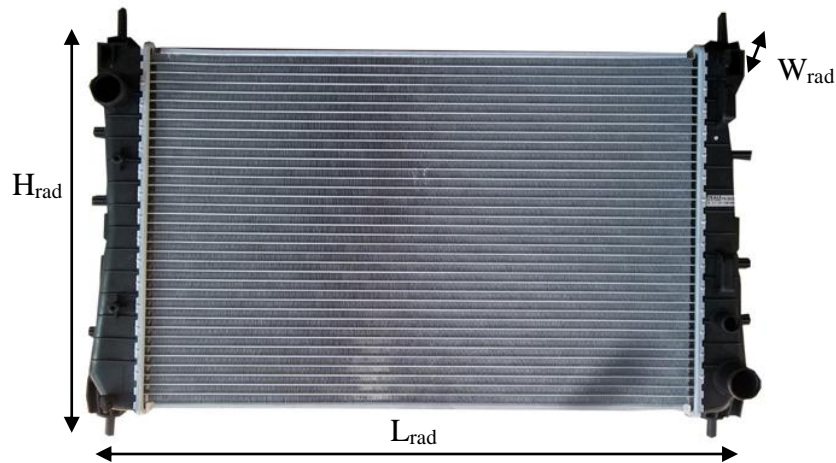
Otomobil radyatörlerinde nanoakışkan kullanılarak ısı transferi performansının artırılmasının amaçlandığı doktora tez çalışması için aşağıdaki şekilde gösterilen deney sistemi tasarlanmıştır. Sistem Cumhuriyet Üniversitesi Makine mühendisliği bölümüne ait 11m×7.5m×3.5m ölçülerindeki laboratuvarında bulunmaktadır. Yapılan doktora çalışması, C.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından M-526 no' lu proje kapsamında desteklenmektedir.



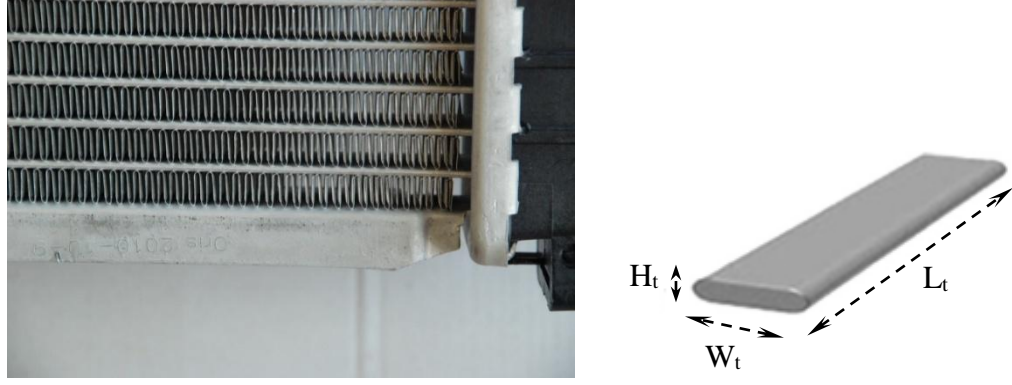


Şekil 4.1 Deneysel sistem.

Deneyleerde kullanılan otomobil radyatörü; kıvrımlı kanatçık tipi olan 36 adet yatay tüplü ve stadyum kesit alanlı çapraz akışlı bir ısı eşanjörüdür. Paslanmaz çelikten yapılmış ısıtma tankı (30 cm çap ve 35 cm yükseklik) yaklaşık 25 l hacminde olup, DC güç kaynaklı varyak kontrollü elektrikli bir ısıtıcı (2500 W) ile ısıtılmaktadır. Toplam tank hacminin yaklaşık üçte biri (8 l) hacminde nanoakışkan kullanılarak tüm deneyleer gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki akışkan, 1” çapındaki plastik borulardan oluşan gidiş-dönüş hattından akmaktadır. Sistemde; 1” (DN25) çaplı, 2.7 m³/h maksimum debili, 6 m basma yüksekliğe sahip, 10 bar basınca dayanabilen ve 0 ile +110 °C sıcaklık aralığında çalışabilen frekans konvertörlü sirkülasyon pompası (Grundfos Alpha2 25-60 180) bulunmaktadır. Pompa üç farklı güçte çalışabilmekte olup, ayrıca boru hattında bulunan küresel vana ile akışkan debisi ayarlanabilmektedir. Akışkana ait debi değerleri; 10 bar basınca ve 80 °C sıcaklığa dayanabilen, 0.01 l/dak. hassiyette ($\pm\%2$ doğruluğa sahip) ayar yapılabilen, 1.6-32 l/dak. aralığında çalışabilen bir akış ölçer (Kobold MIK-5VA30KE14R) ile ölçülmektedir. Dikdörtgen kesitli (40cmx63cm) 2.5 m uzunluğa sahip paslanmaz çelik hava kanalı içerisinden bir fan (Dündar SV 60 (24”) 1350 rpm) ile radyatör üzerine farklı hızlarda hava gönderilmektedir. Hava giriş-çıkış sıcaklıkları iki adet K tipi ısıl eleman çiftiyle (termokupl), akışkan giriş-çıkış sıcaklıkları iki adet daldırma J tipi ısıl eleman çiftiyle ve radyatör duvar yüzey sıcaklığı 7 adet J tipi ısıl eleman çiftiyle ölçülmektedir. Saniyede 250 kanala kadar tarama yapabilen 6 ½-DDM (22-bit) (Agilent Technologies 34970A Data Logger) veri toplayıcı ile veriler kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 4.2 Deneyle sisteminde kullanılan otomobil radyatörü.



Şekil 4.3 Kıvrım tipli otomobil radyatörü ve tüp kesiti.

Yukarıdaki şekillerde kullanılan otomobil radyatörüne ait resimler gösterilmiş, boyutlarına ait özellikler ise aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Ayrıca çizelgelerde radyatörün kendisi, iç akış (safsu-nanoakışkan) ve dış akış (hava) taraflarına ait boyutlar da ayrıntılı olarak verilmiştir. Hidrolik çap ve alanların hesaplanmasında denklem 4.43 kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Radyatöre ait boyutlar (saf su-nanoakışkan tarafı).

Boyut	Sembol	Değer
Radyatör uzunluğu	L_{rad}	0.66 m
Radyatör yüksekliği	H_{rad}	0.44 m
Radyatör genişliği	W_{rad}	0.026
Tüp uzunluğu	L_t	0.0621 m
Tüp yüksekliği	H_t	0.0021 m
Tüp genişliği	W_t	0.0260 m
Tüp sayısı	-	36
Tüp hidrolik çapı	d_h	0,00395 m
Toplam tüp alanı	A_i	1,214 m ²

Çizelge 4.2 Radyatöre ait boyutlar (hava tarafı).

Boyut	Sembol	Değer
Kanatçık uzunluğu	L_f	0.009 m
Kanatçık yüksekliği	H_f	0.001 m
Kanatçık genişliği	W_f	0.026 m
Her kolondaki kanal sayısı	-	287
Toplam kanal sayısı	-	10619
Toplam tüp alanı	A_o	6,74 m ²

4.2 Oto Radyatörlerde Isı Geçişi Çözümlemesi

4.2.1 Toplam Isı Geçiş Katsayısı

Herhangi bir ısı değiştiricisi çözümlemesinin en temel ve çoğunlukla en belirsiz bölümü, toplam ısı geçiş katsayısının bulunmasıdır. Bir ısı değiştiricisinin normal çalışması sırasında, akışkan içindeki yabancı maddeler, paslanmalar veya akışkan ile cidar arasındaki diğer başka reaksiyonlar nedeniyle, yüzeylerde çoğunlukla bir kirlenme olur. Yüzey üzerinde biriken bu film veya tabaka, akışkanlar arasındaki ısı geçişi direncini çok artırır. Bu etki, R_f kirlilik faktörü olarak adlandırılan ek bir ısıl direnç tanımı ile göz önüne alınabilir. Bu faktörün değeri, çalışma sıcaklığına, akışkan hızına ve ısı değiştiricisinin işletmede kaldığı süreye bağlıdır.

Diğer taraftan, çoğu zaman bir akışkana veya her iki akışkana ait yüzeylere eklenen kanatların, yüzey alanını artırdıkları için ısı taşınımında ısıl direnci azalttıkları bilinmektedir. Bu nedenle, kanat ve yüzey kirliliği etkileri göz önüne alındığında, toplam ısı geçiş katsayısı,

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_c A_c} = \frac{1}{U_h A_h} = \frac{1}{(\eta_o hA)_c} + \frac{R''_{f,c}}{(\eta_o A)_c} + R_w + \frac{R''_{f,h}}{(\eta_o A)_h} + \frac{1}{(\eta_o hA)_h} \quad [4.1]$$

biçiminde yazılabilir. Burada c ve h indisleri, sırasıyla soğuk ve sıcak akışkanları göstermektedir. Dikkat edilirse, UA çarpımının sıcak veya soğuk yüzeye ilişkili olduğunu belirtmeye gerek yoktur ($U_c A_c = U_h A_h$). Ancak, $A_c \neq A_h$ ise, $U_c \neq U_h$ olacağı için toplam ısı geçiş katsayısının sıcak ve soğuk taraftaki yüzeylerden hangisine göre hesaplandığını belirtmek gerekir. Isı iletim direnci R_w , düzlemsel cidar ve silindirik cidar için kullanılan denklemlerden bulunabilir.

Denklem 4.1' de görülen η_o değeri, kanatlı yüzeyin *toplam yüzey etkenliği* olarak adlandırılır. Bu değer, sıcak veya soğuk yüzeyler için tanımlanabilir, bu durumda ısı geçişi

$$q = \eta_o hA (T_b - T_\infty) \quad [4.2]$$

biçiminde olup, bu bağıntıda T_b taban yüzey sıcaklığını ve A ise (kanat ile tabandaki çıplak) toplam yüzey alanını göstermektedir.

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_f) \quad [4.3]$$

Burada, A_f tüm kanat yüzey alanı, η_f ise tek bir kanadın etkenliği anlamlarındadır. Isı değiştiricisi tasarımında yaygın olarak kullanılan terimlere uygun olması için, kanat yüzey alanının, toplam yüzey alanına oranı A_f/A şeklinde yazılmıştır. L uzunluğunda boyuna veya çubuk biçiminde bir kanat (Şekil 3.16) kullanılır ve kanat ucu yalıtılmış alınırsa

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL)}{mL} \quad [4.4]$$

elde edilebilir. Bu eşitlikte $m = (2h/kt)^{1/2}$ ve t kanat kalınlığı olmaktadır. Çok kullanılan birkaç kanat türü için etkenlik değerleri gerekli çizelgelerde bulunabilir.

Cidar kalınlığının ince ve ısı iletim katsayısının büyük olması durumunda, Denklem 4.1' deki cidar iletim terimi çoğu zaman göz ardı edilebilir. Ayrıca, çoğunlukla bir taraftaki ısı taşınım katsayısı, h diğer taraftakine göre çok küçüktür ve küçük olan bu ısı taşınım katsayısı, toplam ısı geçiş katsayısının belirlenmesinde daha etkili olur. Örnek olarak, akışkanlardan biri gaz, diğeri içinde kaynama veya yoğunlaşma olan sıvı veya sıvı-buhar karışımı iki fazlı bir akış ise, gaz tarafındaki ısı taşınım katsayısı, h diğer taraftakine göre çok küçüktür. Böyle durumlarda, gaz tarafındaki ısı taşınım katsayısını artırmak için gaz tarafına kanatlar eklenir.

Kanatsız, borulu ısı değiştiricileri için, Denklem 4.1

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R''_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R''_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad [4.5]$$

biçiminde basitleşebilir. Burada, i ve o indisleri, sıcak veya soğuk akışkanın temas edebileceği, iç ve dış boru yüzeylerini göstermektedir ($A_i = \pi D_i L$, $A_o = \pi D_o L$). Toplam ısı geçiş katsayısı, sıcak ve soğuk akışkanlara ait ısı taşınım katsayıları, kirlilik faktörleri ve uygun geometrik parametrelere ait bilgileri kullanarak hesaplanabilir (Incropera ve DeWitt, 2000).

4.2.2 Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı Yöntemi

Bir ısı değiştiricisinin tasarımı veya performansının belirlenebilmesi için, ısı değiştiricisindeki toplam ısı geçişi ile akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, toplam ısı geçiş katsayısı ve ısı geçişi toplam yüzey alanı arasında bir bağıntı bulmak gereklidir. Şekil 4.4 göz önüne alınarak, sıcak ve soğuk akışkanlarda toplam enerji dengesinin yazılması ile iki bağıntı elde edilebilir. Sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki toplam ısı geçişi q ise ve ısı değiştiriciden çevre ortama bir ısı kaybı yoksa, potansiyel ve kinetik enerjilerin göz ardı edilmesi durumunda, enerjinin korunumu,

$$q = \dot{m}_h (i_{h,i} - i_{h,o}) \quad [4.6a]$$

ve

$$q = \dot{m}_c (i_{c,o} - i_{c,i}) \quad [4.6b]$$

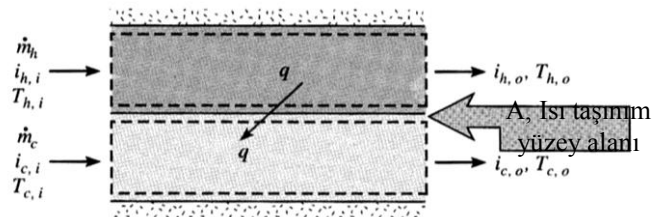
bağıntılarını verir. Bu bağıntılarda i akışkan entalpisini gösterirken, h ve c indisleri, sıcak ve soğuk akışkanları, i ve o indisleri ise giriş ve çıkış koşullarını belirtir. Akışkanlarda bir faz değişimi yoksa ve özgül ısıları sabit kabul edilebilirse, bu eşitlikler yerine

$$q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad [4.7a]$$

ve

$$q = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad [4.7b]$$

yazılabilir. Buradaki sıcaklıklar, belirli konumlardaki *ortalama* akışkan sıcaklıklarını göstermektedirler. Dikkat edilirse, Denklem 4.6 ve 4.7 ısı değiştiricisinin türünden bağımsızdırlar.



Şekil 4.4 İki akışkanlı bir ısı değiştiricisinde, sıcak ve soğuk akışkanlar için toplam enerji dengesini.

Diğer bir yararlı bağıntı, sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki

$$\Delta T \equiv T_h - T_c \quad [4.8]$$

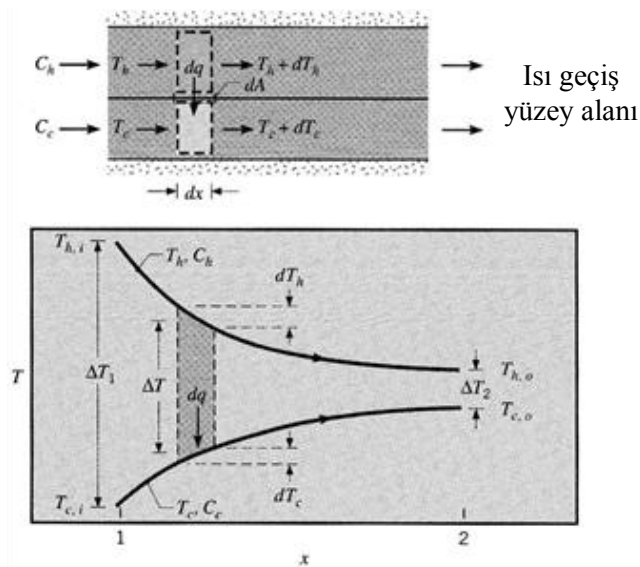
sıcaklık farkı ile toplam ısı geçişi q arasında bir ilişki kurularak elde edilebilir. Böyle bir bağıntı, Newton'un soğuma yasasında, ısı taşınım katsayısı h yerine toplam ısı geçiş katsayısı U 'yu yazarak bulunabilir. Bu durumda, ΔT ısı değiştiricisi içinde değiştiğinden, bu bağıntıyı

$$q = UA\Delta T_m \quad [4.9]$$

biçiminde yazmak gerekir. Burada ΔT_m uygun bir *ortalama* sıcaklık farkı anlamındadır (Incropera ve DeWitt, 2000).

4.2.2.1 Paralel Akışlı Isı Değiştiricisi

Paralel akışlı bir ısı değiştiricisi içindeki sıcak ve soğuk akışkanların sıcaklık dağılımları, Şekil 4.5' de gösterildiği gibidir. Başlangıçta ΔT sıcaklık farkı büyüktür, fakat x arttıkça hızla azalır ve asimtotik olarak sifıra ulaşır. Böyle bir ısı değiştiricisinde, soğuk akışkanın çıkış sıcaklığının hiçbir zaman sıcak akışkan sıcaklığından daha fazla olamayacağını, burada belirtmekte yarar vardır. Şekil 4.5' de 1 ve 2 indisleri, ısı değiştiricisinin iki zıt ucunu belirlemektedir. Bu gösterim, diğer bütün ısı değiştiricilerinde de kullanılacaktır. Paralel akışlı ısı değiştiricileri için $T_{h,i} = T_{h,1}$, $T_{h,o} = T_{h,2}$, $T_{c,i} = T_{c,1}$ ve $T_{c,o} = T_{c,2}$ olmaktadır.



Şekil 4.5 Paralel akışlı bir ısı değiştiricisinde sıcaklık dağılımları.

Sıcak ve soğuk akışkanlardaki diferansiyel hacim elemanlarına enerji korunumunun uygulanması ile ΔT_m ifadesi elde edilebilir. Şekil 4.5’ de görüldüğü gibi, her bir elemanın uzunluğu dx ve ısı geçiş yüzey alanı dA değerlerindedir. Enerji korunumu ve daha sonraki çözümler için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Isı değiştiricisi çevreye karşı ısı olarak yalıtılmış olup, ısı geçişi sadece sıcak ve soğuk akışkanlar arasında olmaktadır.
2. Borular boyunca aksel ısı iletimi göz ardı edilmektedir.
3. Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri göz ardı edilmektedir.
4. Akışkanların özgül ısıları sabittir.
5. Toplam ısı geçiş katsayısı sabittir.

Gerçekte ısı değiştiricisi içindeki sıcaklık değişimi nedeniyle, özgül ısı değişecektir. Ayrıca akış koşulları ile akışkan özelliklerinin değişimi nedeniyle de toplam ısı geçiş katsayısı bir ölçüde değişecektir. Ancak, birçok ısı değiştiricisi uygulamasında bu değişimler önemsizdir ve $c_{p,c}$, $c_{p,h}$ ve U için ortalama değerler almak, oldukça doğru sonuçlar verir.

Şekil 4.5’deki her bir diferansiyel eleman için enerji dengesi ayrı ayrı yazılırsa,

$$dq = -\dot{m}_h c_{p,h} dT_h \equiv -C_h dT_h \quad [4.10]$$

ve

$$dq = \dot{m}_c c_{p,c} dT_c \equiv C_c dT_c \quad [4.11]$$

eşitlikleri elde edilebilir. Bu eşitliklerde C_h ve C_c , sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanların ısı kapasite debilerini göstermektedir. Denklem 4.6b ve 4.7b’ de verilen birinci yasa bağıntılarını elde edebilmek için, yukarıdaki denklemlerin ısı değiştiricisi boyunca integrali alınabilir. dA yüzey alanından geçen ısı,

$$dq = U \Delta T dA \quad [4.12]$$

olarak da yazılabilir. Burada $\Delta T = T_h - T_c$, sıcak ve soğuk akışkan arasındaki yerel sıcaklık farkıdır. Denklem 4.12' yi entegre edebilmek için, Denklem 4.10 ve 4.11, diferansiyel biçimde yazılmış Denklem 4.8' e taşınarak,

$$d(\Delta T) = dT_h - dT_c$$

ve

$$d(\Delta T) = -dq \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right)$$

yazılabilir. Denklem 4.12' deki dq değeri bu son eşitliğe taşınıp, ısı değiştiricisi boyunca integrali alınırsa,

$$\int_1^2 \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -U \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \int_1^2 dA$$

veya

$$\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right) = -UA \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \quad [4.13]$$

elde edilir. Denklem 4.6b ve 4.7b' den C_h ve C_c değerleri çekilip, Denklem 4.13' e taşınırsa,

$$\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right) = -UA \left(\frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{q} + \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{q} \right) = -\frac{UA}{q} [(T_{h,i} - T_{c,i}) - (T_{h,o} - T_{c,o})]$$

bulunur. Şekil 4.5' deki paralel akışlı ısı değiştiricisi için $\Delta T_1 = (T_{h,i} - T_{c,i})$ ve $\Delta T_2 = (T_{h,o} - T_{c,o})$ tanımları kullanılırsa,

$$q = UA \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

sonucuna ulaşılır. Bu sonuç, Denklem 4.9 ile karşılaştırılırsa, uygun ortalama sıcaklık farkı için ΔT_{lm} ortalama logaritmik sıcaklık farkı tanımı yapılabilir. Bu durumda,

$$q = UA \Delta T_{lm} \quad [4.14]$$

elde edilir. Bu bağıntıda,

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad [4.15]$$

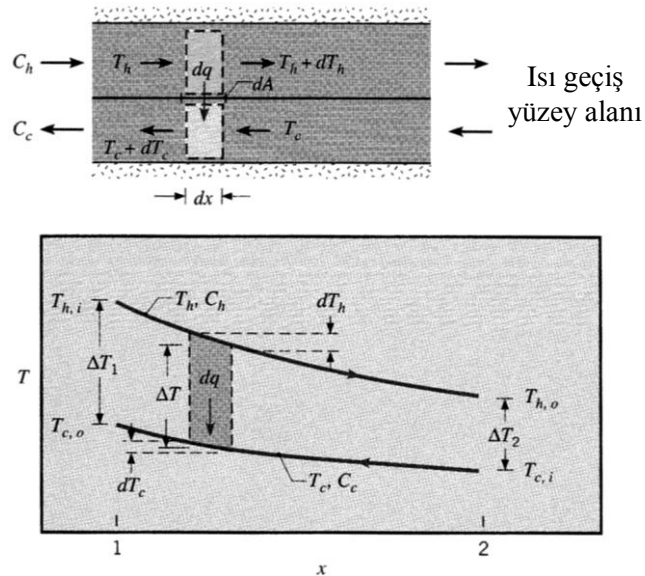
biçiminde tanımlanmıştır. Paralel akışlı ısı değiştiricileri için,

$$\left[\begin{array}{l} \Delta T_1 \equiv T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,i} \\ \Delta T_2 \equiv T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,o} \end{array} \right] \quad [4.16]$$

oldukları unutulmamalıdır (Incropera ve DeWitt, 2000).

4.2.2.2 Ters Akışlı Isı Değiştiricisi

Ters akışlı bir ısı değiştiricisi içindeki sıcak ve soğuk akışkanların sıcaklık dağılımları, Şekil 4.6' de gösterildiği gibidir. Paralel akışlı ısı değiştiricisinin aksine, bu düzenlemede, ısı değiştiricisi boyunca sıcaklık farkı ve buna bağlı olarak ısı geçişi yaklaşık eşittir. Bu nedenle, x değişimine göre verilen $\Delta T = T_h - T_c$ sıcaklık farkı, ters akımlı düzenlemede hiçbir yerde, paralel akışlı ısı değiştiricinin giriş bölümündeki kadar büyük değildir. Dikkat edilirse, bu düzenlemede soğuk akışkanın çıkış sıcaklığı, sıcak akışkanın çıkış sıcaklığından daha fazla olabilir.



Şekil 4.6 Ters akışlı bir ısı değiştiricisinde sıcaklık dağılımları.

Denklem 4.6b ve 4.7b herhangi bir ısı değiştircisine uygulanabildiğinden, ters akışlı dzenlemede de kullanılabilir. Ayrıca, paralel akış için yapılan çözümlmeye benzer olarak, Denklem 4.14 ve 4.15 bu dzenleme için de kullanılabilir. Bununla beraber, ters akışlı ısı değiştircilerinin uç noktalarındaki sıcaklık farkları,

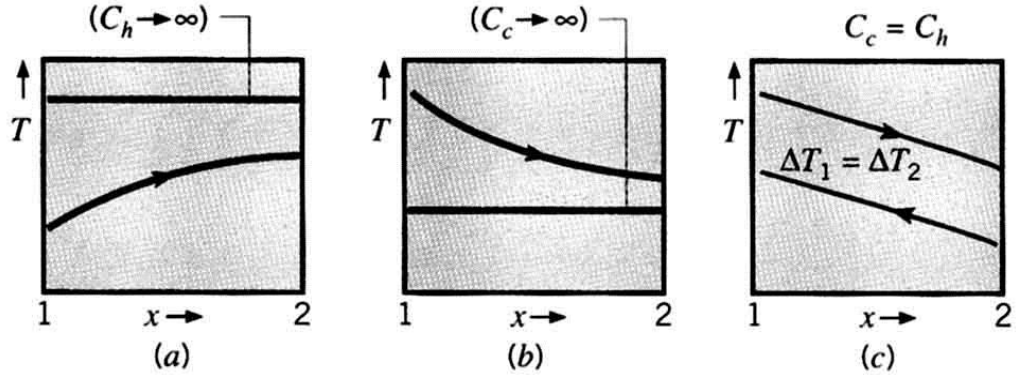
$$\begin{bmatrix} \Delta T_1 \equiv T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 \equiv T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,i} \end{bmatrix} \quad [4.17]$$

biçiminde tanımlanmalıdır. Dikkat edilirse, aynı giriş ve çıkış sıcaklıkları için, ters akışlı dzenlemede ortalama logaritmik sıcaklık farkı, paralel akışlı dzenlemeden daha büyüktür, $\Delta T_{lm,ters} > \Delta T_{lm,paralel}$. Bu nedenle, aynı U toplam ısı geçiş katsayısı ve belirli bir ısı geçişi q için, ters akışlı ısı değiştircisinin ısı geçiş alanı, paralel akışlı ısı değiştircisinden daha küçüktür. Ayrıca, ters akışlı dzenlemede soğuk akışkanın ısı değiştircisinden çıkış sıcaklığı, $T_{c,o}$ sıcak akışkanın çıkış sıcaklığından $T_{h,o}$ daha fazla olabilir, oysa bu durum paralel akışlı ısı değiştircilerinde hiçbir zaman olamaz (Incropera ve DeWitt, 2000).

4.2.2.3 Özel Çalışma Koşulları

Burada ısı değiştircilerinin çalışabileceği bazı özel koşullardan söz etmek yararlı olabilir. Şekil 4.7a'da, $C_h \equiv \dot{m}_h c_{p,h}$ sıcak akışkan ısıl kapasite debisinin, $C_c \equiv \dot{m}_c c_{p,c}$ soğuk akışkan ısıl kapasite debisinden çok büyük olması durumunda, ısı değiştircisi içindeki sıcaklık dağılımları görölmektedir. Bu durumda sıcak akışkanın sıcaklığı, ısı değiştircisi boyunca yaklaşık olarak sabit kalırken, soğuk akışkanın sıcaklığı artmaktadır. Aynı durum, sıcak akışkanın yoğuşması halinde de görölür. Yoğuşma işlemi, sabit sıcaklıkta olur ve uygulamada, $C_h \rightarrow \infty$ alınabilir. Bu işlemin tersi olarak, bir buharlaştırıcıda veya bir buhar kazanında (Şekil 4.7b), soğuk akışkan bir faz değişimine uğrar ve sıcaklığı yaklaşık olarak sabit kalır ($C_c \rightarrow \infty$). Faz değişimi olmamasına rağmen, eğer $C_h \ll C_c$ ise aynı durumla karşılaşılır.

Dikkat edilirse, yoğuşma veya buharlaşma halinde ısı geçişi Denklem 4.6a veya 4.7a ile hesaplanabilir. Üçüncü bir özel durum (Şekil 4.7c), ısıl kapasitelerin birbirine eğit olduğu ters akışlı ısı değiştircisini belirtmektedir. ($C_h = C_c$). Bu durumda, $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_{lm}$ olduğundan, ısı değiştircisi boyunca ΔT sıcaklık farkı sabittir.



Şekil 4.7 Isı değiştircisi özel çalışma koşulları. (a) $C_h \gg C_c$ veya bir buharın yoğuşması. (b) Bir sıvının buharlaşması veya $C_h \ll C_c$. (c) Isıl kapasite debilerinin eşit olduğu ters akışlı ısı değiştircisi ($C_h = C_c$) (Incropera ve DeWitt, 2000).

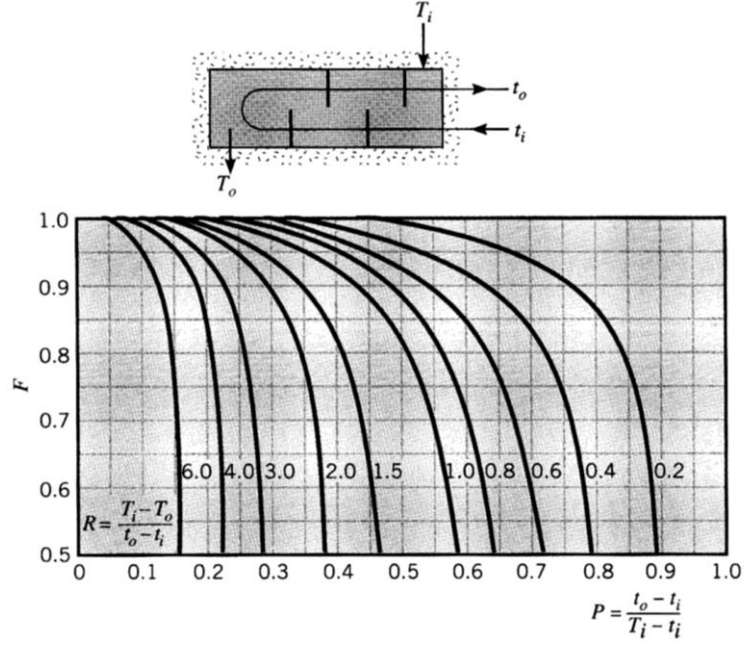
4.2.2.4 Çok Geçişli ve apraz-Akışlı Isı Değiştircileri

Her ne kadar çok geçişli ve ters akışlı ısı değiştircilerindeki akışlar çok karmaşık olsa da, ortalama logaritmik sıcaklık farkında,

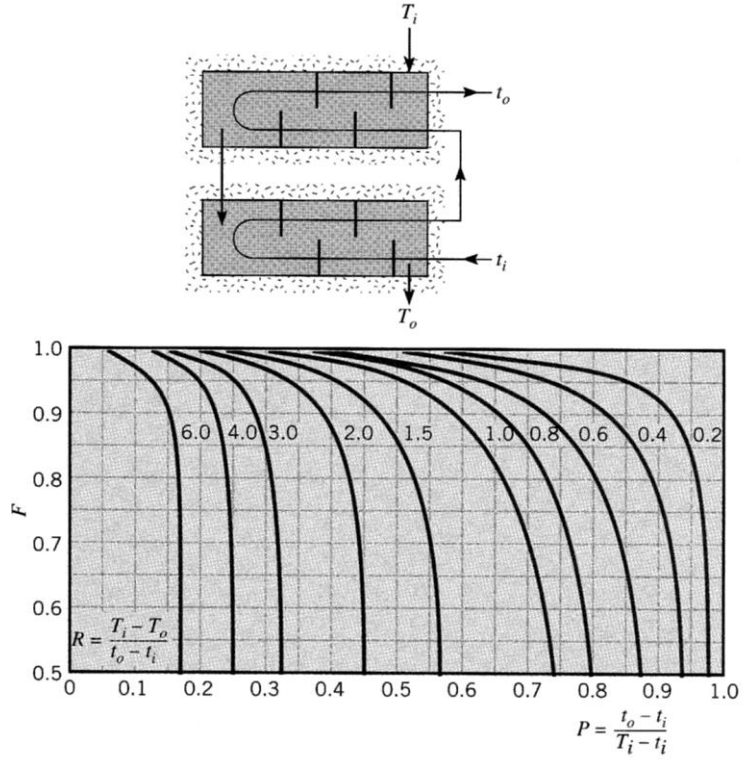
$$\Delta T_{lm} = F \Delta T_{lm,CF} \quad [4.18]$$

biçiminde bir düzeltme yapılırsa, Denklem 4.6, 4.7, 4.14 ve 4.15, bu tür ısı değiştircileri için de kullanılabilir. Buradaki ΔT_{lm} ortalama logaritmik sıcaklık farkı, ısı değiştircisini *ters akışlı kabul ederek* hesaplanan $\Delta T_{lm,CF}$ ile söz konusu akış düzenini belirleyen bir F düzeltme katsayısının çarpımından bulunur. Bu nedenle, Denklem 4.17'den $\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o}$ ve $\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i}$ yazılabilir.

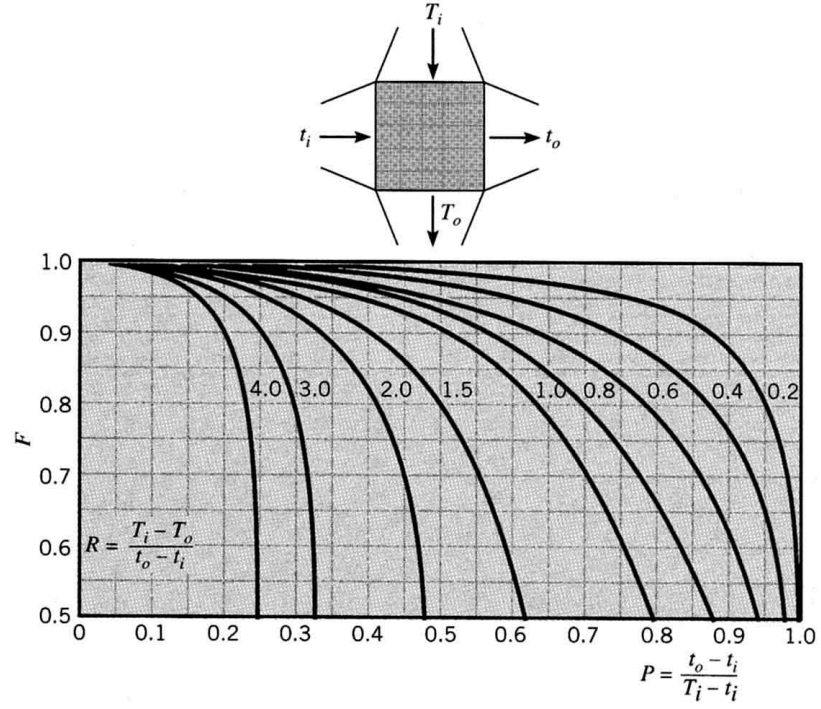
Birçok gövde-borulu ve çapraz akışlı ısı değiştircisi için, F düzeltme katsayısına ilişkin matematik ifadeler çeşitli araştırmacılar tarafından verilmiş ve bu sonuçlar grafik olarak çizilmiştir. Çok karşılaşılan bazı ısı değiştircisi düzenlemelerine ilişkin sonuçlar, Şekil 4.8 ile 4.11 arasında görülmektedir. Bu Şekillerde (T , t) notasyonu akışkan sıcaklıklarını göstermekte olup, t değişkeni her zaman boru içindeki akışkan sıcaklığı için kullanılmıştır. Buradaki gösterime göre, sıcak veya soğuk akışkanın, gövde veya boru içinden akmasının bir önemi yoktur. Isı değiştircisi içinde, *eğer akışkanlardan birinin sıcaklık değişimi göz ardı edilebilecek düzeyde* ya da P veya R sıfır ise, Şekil 4.8' den 4.11' e kadar olan grafiklerde belirtilmesi gereken önemli bir husus $F = 1$ olduğudur. *Bu durumda ısı değiştircisinin davranışı, ısı değiştircisinin düzenlemesinden bağımsızdır.* Eğer akışkanlardan birinde faz değişimi varsa (buharlaşma veya yoğuşma), bu durum gerçekleşir (Incropera ve DeWitt, 2000).



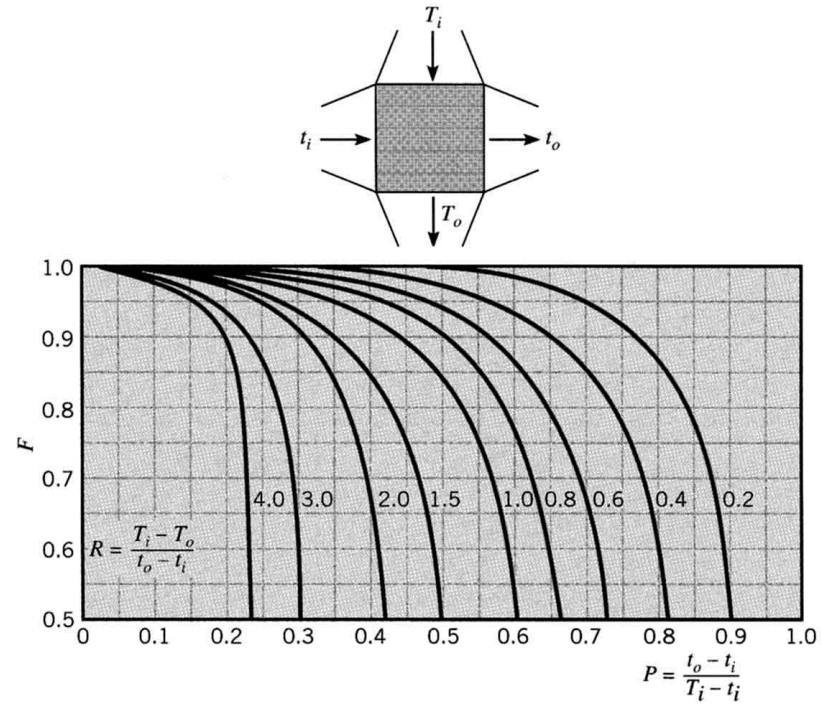
Şekil 4.8 Gövde-borulu bir ısı değıştiricisinde, bir gövde geçişi ve ikinin katları (iki, dört, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme katsayısı.



Şekil 4.9 Gövde-borulu bir ısı değıştiricisinde, iki gövde geçişi ve dördün katları (dört, sekiz, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme katsayısı.



Şekil 4.10 Her iki akışkanın da karışmadığı, tek-geçişli, çapraz-akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı.



Şekil 4.11 Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı, tek-geçişli, çapraz-akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı (Incropera ve DeWitt, 2000).

4.2.3 Etkenlik-NTU Yöntemi

Bir ısı değiştiricisinde akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının bilinmeleri veya Denklem 4.6b ile 4.7b enerji korunum denklemlerinden kolayca hesaplanabilmeleri durumunda, ısı değiştiricisinin özömlenebilmesinde, ortalama logaritmik sıcaklık farkı (logarithmic mean temperature difference-LMTD) yöntemi çok kolaylık sağlar. Bu durumda ısı değiştiricisi için ΔT_{lm} değeri kolayca belirlenebilir. Bununla birlikte, bir ısı değiştiricisinde akışkanların sadece giriş sıcaklıkları belli ise, LMTD yöntemini kullanmak için deneme-yanılma yoluna gitmek gerekir. Bu gibi durumlarda, *etkenlik-NTU* yöntemi adı verilen farklı bir yöntemin kullanılması daha uygundur.

Bir ısı değiştiricisi için etkenlik tanımını yapmadan önce, bu ısı değiştiricisi için q_{max} , olabilecek en fazla ısı geçişi tayin edilmelidir. Bu ısı geçişi, q_{max} , ilke olarak, sonsuz uzunluktaki ters akışlı bir ısı değiştiricisinde gerçekleşen ısı geçişi olarak alınır. Böyle bir ısı değiştiricisinde, akışkanlardan biri, $(T_{h,i} - T_{c,i})$ mümkün olabilen en yüksek sıcaklık farkını gerçekleştirecektir. Bu noktayı açıklayabilmek için, $C_c < C_h$ durumu göz önüne alınırsa, bu durum için Denklem 4.10 ve 4.11' den $|dT_c| > |dT_h|$ olacaktır. Soğuk akışkanda daha büyük bir sıcaklık değişimi gerçekleşecektir ve $L \rightarrow \infty$ olduğunda, sıcak akışkanın giriş sıcaklığına kadar ısınabilecektir $(T_{c,o} = T_{h,i})$. Bu nedenle, Denklem 4.7b' den,

$$C_c < C_h : q_{max} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i})$$

yazılabilir. Benzer olarak, eğer $C_h < C_c$ ise, sıcak akışkanda daha büyük bir sıcaklık değişimi gerçekleşecektir ve soğuk akışkanın giriş sıcaklığına kadar soğuyabilecektir $(T_{h,o} = T_{c,i})$. Bu durumda da Denklem 4.6b' den,

$$C_h < C_c : q_{max} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$$

yazılabilir. Buraya kadar olan açıklamalardan, genel bir sonuç olarak,

$$q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad [4.19]$$

verilebilir. Burada, C_{min} ısıl kapasite debisi, C_c veya C_h değerlerinden *hangisi küçükse* o değere *eşit* olarak alınır. Denklem 4.19' da, sıcak ve soğuk akışkan giriş sıcaklıklarının konulması, ısı değiştiricisinde olabilecek en yüksek ısı geçişini sağlar.

Kısa bir inceleme ile olabilecek en yüksek ısı geçişinin $C_{\max}(T_{h,i} - T_{c,i})$ çarpımına eşit olamayacağı hemen anlaşılır. Daha büyük ısı kapasite debisi olan akışkan, olabilecek en yüksek sıcaklık farkını gerçekleştirseydi, enerjinin korunumu, $C_c(T_{c,o} - T_{c,i}) = (T_{h,i} - T_{h,o})$, diğer akışkanın daha büyük bir sıcaklık değişiminden geçmesini gerektirirdi. Örnek olarak, eğer $C_{\max} = C_c$ ise ve $T_{c,o}$ sıcaklığının $T_{h,i}$ sıcaklığına eşit olduğu öne sürülürse, $(T_{h,i} - T_{h,o}) = (C_c/C_h)(T_{h,i} - T_{c,i})$ olur ki bu durumda $(T_{h,i} - T_{h,o}) > (T_{h,i} - T_{c,i})$ olmalıdır. Bu açıkça olanaksızdır. Bu açıklamalardan sonra, ısı değiştiricisinde gerçek ısı geçişinin, olabilecek en yüksek ısı geçişine oranı, ε etkenlik olarak tanımlanabilir:

$$\varepsilon \equiv \frac{q}{q_{\max}} \quad [4.20]$$

Denklem 4.6b, 4.7b ve 4.19 yardımıyla,

$$\varepsilon \equiv \frac{C_h(T_{h,i} - T_{h,o})}{C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i})} \quad [4.21]$$

veya

$$\varepsilon = \frac{C_c(T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i})} \quad [4.22]$$

eşitlikleri yazılabilir. Etkenlik boyutsuz bir büyüklük olup, $0 \leq \varepsilon \leq 1$ arasında değişmek zorundadır. Etkenlik, ε ile sıcak ve soğuk akışkanların ısı değiştiricisine giriş ve çıkış sıcaklıkları, $T_{h,i}$ ve $T_{c,i}$ biliniyorsa, ısı değiştiricisindeki gerçek ısı geçişi aşağıdaki bağıntıdan hemen bulunabilir. Bu bakımdan etkenlik tanımı yararlıdır:

$$q = \varepsilon C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad [4.23]$$

Herhangi bir ısı değiştiricisi için

$$\varepsilon = f\left(NTU, \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right) \quad [4.24]$$

bağıntısı yazılabilir. Bu bağıntıda C_{\min}/C_{\max} oranı, sıcak ve soğuk akışkanların ısı kapasite debilerine bağlı olarak, C_c/C_h veya C_h/C_c değerlerini alabilmektedir. NTU

(*Number of Transfer Unit*) ile gösterilen, *geçiş birimi sayısı*, ısı değiştiricilerinin çözümlenmesinde yaygın olarak kullanılmakta olup,

$$NTU \equiv \frac{UA}{C_{\min}} \quad [4.25]$$

biçiminde tanımlanan boyutsuz bir parametredir.

Denklem 4.24 ile verilen etkenlik-NTU bağıntısını daha belirgin bir biçimde ifade edebilmek için, $C_{\min} = C_h$ olan paralel akışlı bir ısı değiştiricisi göz önüne alınsın. Bu durumda, Denklem 4.21' den

$$\varepsilon = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad [4.26]$$

ve Denklem 4.6b ile 4.7b yardımlarıyla,

$$\frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{\dot{m}_h c_{p,h}}{\dot{m}_c c_{p,c}} = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{h,o}} \quad [4.27]$$

yazılabilir. Denklem 4.13 göz önüne alınırrsa,

$$\ln \left(\frac{T_{h,o} - T_{c,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \right) = - \frac{UA}{C_{\min}} \left(1 + \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \right)$$

yazılabilir veya Denklem 4.25' i kullanarak,

$$\frac{T_{h,o} - T_{c,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} = \exp \left[-NTU \left(1 + \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \right) \right] \quad [4.28]$$

elde edilir. Bu ifadenin sol tarafı yeniden düzenlenirse,

$$\frac{T_{h,o} - T_{c,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} = \frac{T_{h,o} - T_{h,i} + T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}}$$

olur ve Denklem 4.27' den $T_{c,o}$ çekilip, burada yerine konursa,

$$\frac{T_{h,o} - T_{c,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} = \frac{(T_{h,o} - T_{h,i}) + (T_{h,i} - T_{c,i}) - (C_{\min} / C_{\max})(T_{h,i} - T_{h,i} - T_{h,o})}{T_{h,i} - T_{c,i}}$$

bulunur. Denklem 4.26 ile verilen etkenlik tanımını kullanarak,

$$\frac{T_{h,o} - T_{c,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} = -\varepsilon + 1 - \left(\frac{C_{\min}}{C_{\max}} \right) \varepsilon = 1 - \varepsilon \left(1 + \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \right)$$

elde edilir. Yukarıdaki bağıntı, Denklem 4.28' e taşınıp, *paralel akışlı ısı değiştiricisi* için etkenlik, ε çözümlerse,

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\{-NTU[1 + (C_{\min}/C_{\max})]\}}{1 + (C_{\min}/C_{\max})} \quad [4.29a]$$

sonucu bulunur. $C_{\min} = C_c$ için de aynı sonuç bulunduğu için, minimum akışkan ısı kapasite debisinin, sıcak veya soğuk akışkandan hangisine ait olmasına bakılmaksızın, Denklem 4.29a bağıntısı, herhangi bir paralel akışlı ısı değiştiricisine uygulanabilir.

Değişik ısı değiştiricisi türleri için benzer bağıntılar çıkarılmış olup, $C_r \equiv C_{\min}/C_{\max}$ ısı kapasite debilerinin oranı olmak üzere bunlar Çizelge 4.3' te özetlenmiştir. Denklem 4.32a' nın çıkarılışında, toplam NTU, $NTU = n (NTU)_1$ olacak biçimde, aynı düzenlemenin gövde geçişleri arasında eşit olarak dağıtılmıştır. Bu durumda, bu bağıntı ile ε_1 kullanıldığı zaman, Denklem 4.31a' daki NTU yerine $(NTU)/n$ alınır. Dikkat edilirse, buhar kazanlarında veya yoğunlaştırucularda olduğu gibi, $C_r = 0$ ise, *bütün düzenlemeler* için ε eşitliği, Denklem 4.36a' da verilmiştir. Bu nedenle, bu özel durum için, ısı değiştiricinin davranışı, akış düzenlemelerinden bağımsızdır. İki akışkanın da karışmadığı çapraz akışlı ısı değiştiricileri için Denklem 4.33 sadece $C_r = 1$ için doğrudur. Bununla beraber, bu bağıntı $0 < C_r \leq 1$ değerleri için oldukça doğru sonuçlar verir. $C_r = 0$ için Denklem 4.36a kullanılmalıdır.

Isı değiştiricilerinin tasarım hesaplarında, $\varepsilon - NTU$ bağıntısını

$$NTU = f\left(\varepsilon, \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)$$

biçiminde yazmak daha kullanışlıdır. Çeşitli ısı değiştiricilerinde NTU bağıntıları, ε ve C_r değerlerinin fonksiyonu olarak Çizelge 4.4' de verilmiştir. Dikkat edilirse, Denklem 4.33' den yararlanarak, NTU' yu doğrudan ε ve C_r değerlerinin fonksiyonu olarak yazmak olanaksızdır. Ayrıca Denklem 4.32b, c' yi Denklem 4.31 b,c ile birlikte

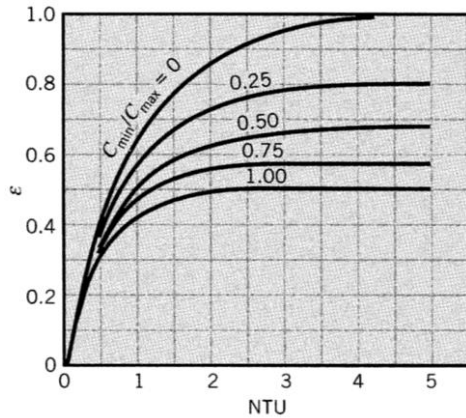
kullanırken *bir gövde başına* NTU hesaplanır. Tüm ısı değiştiricisi için NTU değeri, bir gövde geçişi için bulunan sonucun n ile çarpımıyla bulunur.

Çizelge 4.3 Isı değiştiricilerinde etkenlik bağıntıları.

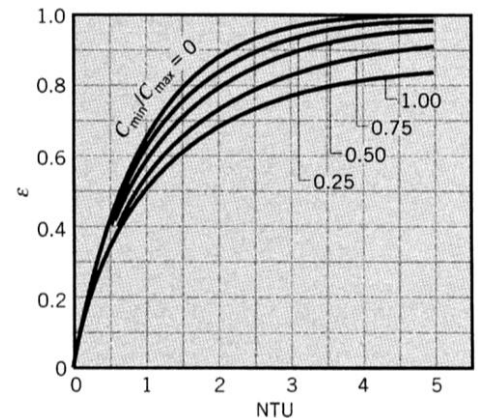
Akış Düzenlemesi	Bağıntı
Eş eksenli iç içe iki boru	
Paralel akış	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C_r)]}{1 + C_r} \quad (4.29a)$
Ters akış	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C_r)]}{1 - C_r \exp[-NTU(1 - C_r)]} \quad (C_r < 1)$
	$\varepsilon = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad (C_r = 1) \quad (4.30a)$
Gövde-borulu	
Bir gövde geçiş (2, 4, ... boru geçiş)	$\varepsilon_1 = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2)^{1/2} \frac{1 + \exp[-NTU(1 + C_r^2)^{1/2}]}{1 - \exp[-NTU(1 + C_r^2)^{1/2}]} \right\}^{-1} \quad (4.31a)$
n Gövde geçiş ($2n, 4n, \dots$ boru geçiş)	$\varepsilon = \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C_r \right]^{-1} \quad (4.32a)$
Çapraz akış (tek geçiş)	
İki akışkan da karışmıyor	$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) (NTU)^{0.22} \{ \exp[-C_r (NTU)^{0.78}] - 1 \} \right] \quad (4.33)$
C_{\max} (karışıyor) C_{\min} (karışmıyor)	$\varepsilon = \left(\frac{1}{C_r} \right) (1 - \exp\{-C_r [1 - \exp(-NTU)]\}) \quad (4.34a)$
C_{\min} (karışıyor) C_{\max} (karışmıyor)	$\varepsilon = 1 - \exp(-C_r^{-1} \{1 - \exp[-C_r (NTU)]\}) \quad (4.35a)$
Tüm ısı değiştiricileri ($C_r = 0$)	$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \quad (4.36a)$

Çizelge 4.4 Isı değıştircilerinde NTU bağıntıları.

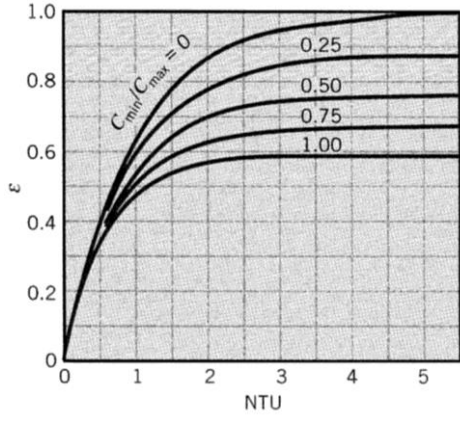
Akış Düzenlemesi	Bağıntı
Eş aksenli iç içe iki boru	
Paralel akış	$NTU = -\frac{\ln[1 - \varepsilon(1 + C_r)]}{1 + C_r}$ (4.29b)
Ters akış	$NTU = \frac{1}{C_r - 1} \ln\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C_r - 1}\right)$ ($C_r < 1$)
	$NTU = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}$ ($C_r = 1$) (4.30b)
Gövde-borulu	
Bir gövde geçiş (2, 4, ... boru geçiş)	$NTU = -(1 + C_r^2)^{-1/2} \ln\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}\right)$ (4.31b)
	$\varepsilon = \frac{2/\varepsilon_1 - (1 + C_r)}{(1 + C_r^2)^{1/2}}$ (4.31c)
n Gövde geçiş ($2n, 4n, \dots$ boru geçiş)	Denklem 4.31b ve 4.31c ile birlikte $\varepsilon_1 = \frac{F - 1}{F - C_r}$, $F = \left(\frac{\varepsilon C_r - 1}{\varepsilon - 1}\right)^{1/n}$ (4.32b,c)
Çapraz akış (tek geçiş)	
C_{max} (karışıyor), C_{min} (karışmıyor)	$NTU = -\ln\left[1 + \left(\frac{1}{C_r}\right) \ln(1 - \varepsilon C_r)\right]$ (4.34b)
C_{min} (karışıyor), C_{max} (karışmıyor)	$NTU = -\left(\frac{1}{C_r}\right) \ln[C_r \ln(1 - \varepsilon) + 1]$ (4.35b)
	$NTU = -\ln(1 - \varepsilon)$ (4.36b)
Tüm ısı değıştircileri ($C_r = 0$)	



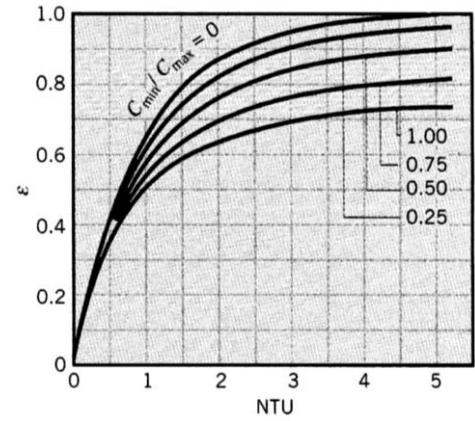
Şekil 4.12 Paralel akışlı ısı değıştircisi etkenliği (Denklem 4.29).



Şekil 4.13 Ters akışlı ısı değıştircisi etkenliği (Denklem 4.30).

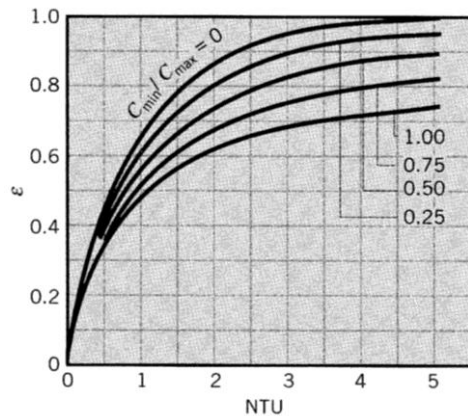


Şekil 4.14 Bir gövde, ikinin herhangi bir katı olan boru geçişli (iki, dört,...) gövde- borulu ısı değiştiricisi etkenliği, (Denklem 4.31).

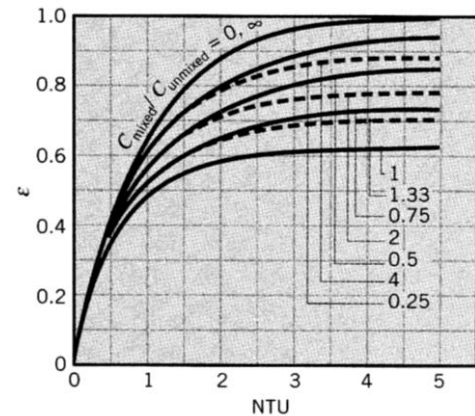


Şekil 4.15 Bir gövde, dördün herhangi bir katı olan boru geçişli (dört, sekiz,...) gövde- borulu ısı değiştiricisi etkenliği, (Denklem

Yukarıda verilen bağıntılar, Şekil 4.12 ile 4.17 arasında grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 4.17' de dolu çizgiler C_{min} karışmış, C_{max} karışmamış akışkan çifti için verilirken, kesikli çizgiler C_{min} karışmamış, C_{max} karışmış akışkan çifti için verilmektedir. Dikkat edilirse, $C_r = 0$ için Denklem 4.36a' dan hesaplanan etkenlik değerleri, bütün ısı değiştiricilerinde aynıdır. Ayrıca, eğer $NTU \leq 0.25$ ise, C_r değerinin büyüklüğüne bakılmaksızın, bütün ısı değiştiricilerinde etkenlik yaklaşık olarak aynıdır ve ε değeri yine Denklem 4.36a' dan hesaplanabilir. Daha genel olarak, $C_r > 0$ ve $NTU \geq 0.25$ için ters akışlı ısı değiştiricilerinin, en etkin ısı değiştiricileri oldukları belirtilebilir. Herhangi bir ısı değiştiricisinde, en yüksek ve en düşük etkenlikler, sırasıyla $C_r = 0$ ile $C_r = 1$ değerlerine karşı gelmektedir (Incropera ve DeWitt, 2000).



Şekil 4.16 Her iki akışkanın da karışmadığı, çapraz akışlı tek geçişli ısı değiştiricisi etkenliği, (Denklem 4.33).



Şekil 4.17 Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı, çapraz akışlı, tek geçişli ısı değiştiricisi etkenliği, (Denklem 4.34, 4.35).

4.2.4 Deneysel Verilerin Analizi

Newton' nun soğutma yasasına göre ısı transferi katsayısı aşağıdaki prosedür izlenerek;

$$Q = hA\Delta T = hA_s(T_b - T_s) \quad [4.37]$$

A_s tüplerin yüzen alanı, T_b ise yığın sıcaklığı,

$$T_b = \frac{T_i - T_o}{2} \quad [4.38]$$

T_i ve T_o sırasıyla giriş ve çıkış sıcaklıkları, T_s tüplerin duvar sıcaklıkları olup yüzeydeki termokuplların ortalaması olarak hesaplanır,

$$T_s = \frac{T_1 + \dots + T_7}{7} \quad [4.39]$$

ve ısı transferi oranı,

$$Q = \dot{m}c\Delta T = \dot{m}c(T_i - T_o) \quad [4.40]$$

\dot{m} kütleli debi olup; $\dot{m} = \rho\dot{V}$ ile hesaplanır.

Isı transferi katsayısı 4.37 ve 4.40 kullanılarak;

$$h_{\text{exp}} = \frac{\dot{m}c(T_i - T_o)}{A_s(T_b - T_s)} \quad [4.41]$$

ve Nusselt sayısı, Nu ise;

$$Nu = \frac{h_{\text{exp}} D_h}{k} \quad [4.42]$$

olarak elde edilir. D_h hidrolik çap olup aşağıdaki gibi hesaplanır (Bejan, 2004):

$$D_h = \frac{4 \times \text{Alan}}{\text{Çevre}} = \frac{4 \times \left[\frac{\pi}{4} d^2 + (D-d) \times d \right]}{\pi \times d + 2 \times (D-d)} \quad [4.43]$$

Reynolds sayısı, Re ise;

$$Re_D = \frac{\rho D_h u}{\mu} \quad [4.44]$$

Ayrıca, Nusselt sayısı, Nu için bilinen bağıntılar Dittus ve Boelter, (1930); ve Gnielinski, (2002) da kullanılmıştır:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad 3000 \leq Re \leq 10^6; 0.6 \leq Pr \leq 100 \quad [4.45]$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000) Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad [4.46]$$

burada f sürtünme faktörü olup $f = (0.79 \ln Re - 1.69)^{-2}$ ile hesaplanır (Filonenko, 1954).

Yine (Gnielinski, 1976) tarafından farklı bir Nu sayısı, Nu bağıntısı aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$Nu = 0.012(Re^{0.87} - 280) Pr^{0.4} \quad 3000 \leq Re \leq 10^6; 1.5 \leq Pr \leq 500 \quad [4.47]$$

Vajjha vd. (2010a), nanoakışkanların parçacık hacimsel konsantrasyonlarını (ϕ) içeren yeni bir bağıntıyı Gnielinski' nin (4.46) bilinen bağıntısını kullanarak elde etmişlerdir:

$$Nu_{nf} = 0.065(Re^{0.65} - 60.22)(1 + 0.0169\phi^{0.15}) Pr^{0.542} \quad [4.48]$$

ϕ , nanoakışkanda kullanılan parçacıkların hacimsel konsantrasyonuna göre değişmektedir.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

5.1 Deneysel Sonuçların Analizleri

Bu tez çalışmasında, farklı nanoparçacıklar kullanılarak hazırlanmış nanoakışkanların otomobil radyatörünün ısı performansına olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ilk olarak deneysel sisteminin güvenilirliğini ve hassasiyetini belirlemek için saf suyla deneyler yapılmıştır. Farklı akışkan sıcaklıkları (36 °C, 40 °C ve 44 °C) ve farklı akışkan debileri (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h ve 0.9 m³/h) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Saf suyla yapılan deneyler sonrasında farklı tipte ve konsantrasyondaki nanoakışkanların ısı performansları deneysel olarak araştırılmıştır.

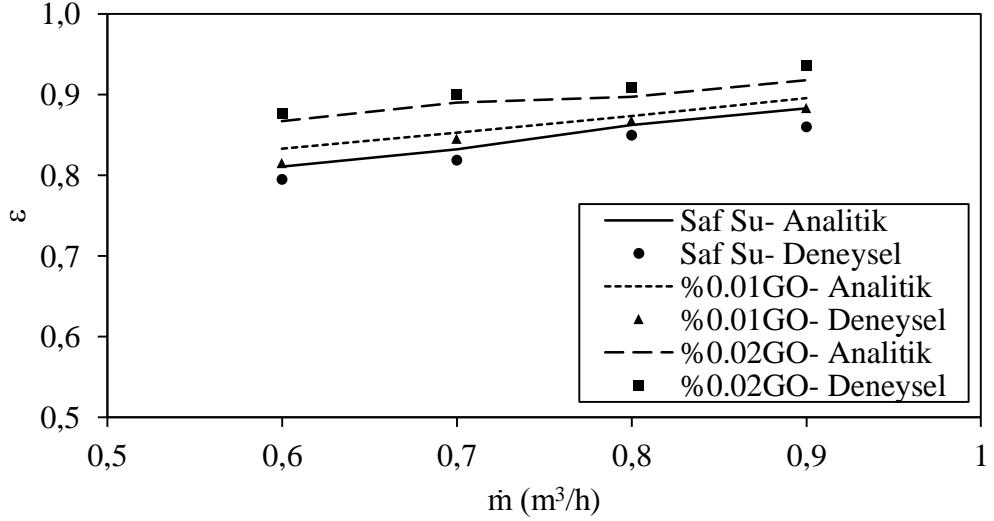
5.1.1 Grafen Oksit Nanoakışkanı

Yapılan deneylerde kullanılan grafen oksit tabanlı nanoakışkan ve saf suya ait termofiziksel özellikler farklı sıcaklıklar için aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Suya ait özellikler termodinamik kitabından (Çengel, 2011) alınmış ve nanoakışkana ait özellikler ise Cumhuriyet Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi laboratuvarında bulunan cihazlardaki ölçümler sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılan saf su ve grafen oksit nanoakışkanına ait termofiziksel özellikler.

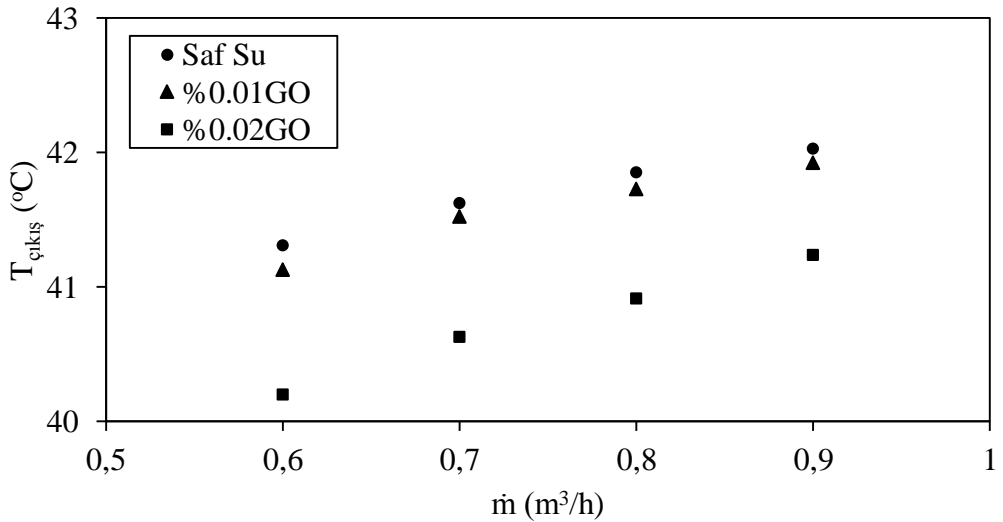
Akışkan	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (J/kgK)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Dinamik viskozite (kg/ms)
Saf Su (36 °C)	992.0	4179	0.6246	706.6×10 ⁻⁶
Saf Su (40 °C)	992.0	4179	0.6310	653.0×10 ⁻⁶
Saf Su (44 °C)	992.0	4179	0.6358	607.4×10 ⁻⁶
%0.01 GO (35 °C)	994.6	4179	0.6696	1000×10 ⁻⁶
%0.02 GO (35 °C)	994.6	4179	0.6780	1060×10 ⁻⁶

Saf suyla yapılan deneyler sonrasında farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0.01 ve 0.02) grafen tabanlı nanoakışkan kullanılmıştır. Deneysel veriler sistem dengeye ulaştıktan sonra 20 saniye aralıkla toplam 10 dakika boyunca kayıt altına alınmış ve son 10 verinin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde sistemin ısı performansına ait grafikler aşağıda verilmiştir. İlk olarak saf su ve grafen oksit nanoakışkanına ait etkenlik ve çıkış sıcaklıkları değerleri gösterilmiştir.



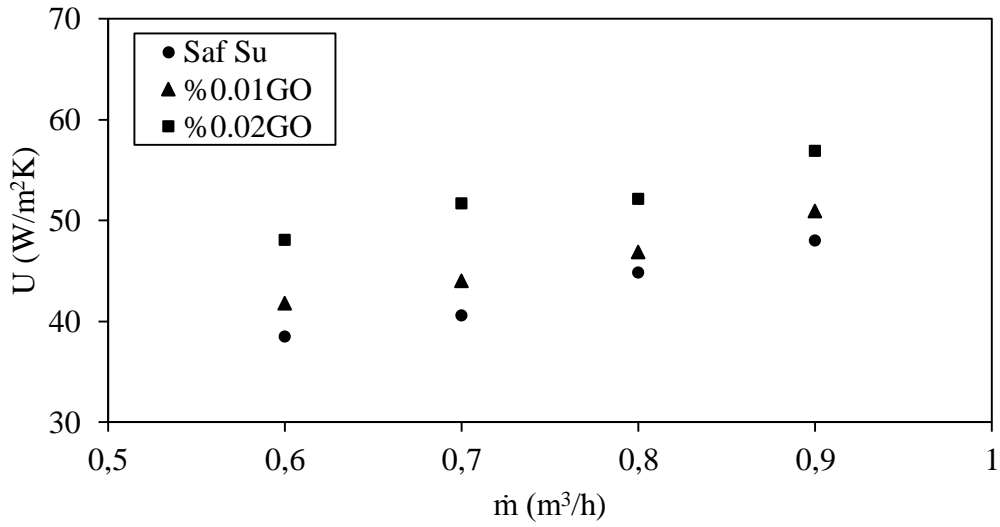
Şekil 5.1 Oto radyatörün 36 °C sıcaklıktaki etkenlik değerlerinin (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Deneysel sonuçları elde edilen verilerden 36 °C sıcaklık için hesaplanan etkenlik değerleri Şekil 5.1’ de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deneysel sonuçların analitik sonuçlarla uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Diğer akışkan sıcaklıklarında (40 °C ve 44 °C) da analitik ve deneysel etkenlik değerlerinin uyumlu olduğu sonuçları elde edilmiştir. Hacimce %0.02 GO-su nanoakışkanının deneysel etkenlik değerleri analitik değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Saf su ve %0.01 GO-su nanoakışkanı için ise analitik etkenlik değerleri deneysel değerlerden daha yüksektir. Verilen sıcaklık için en düşük 0.80 ve en yüksek 0.94 deneysel etkenlik değeri elde edilmiştir.



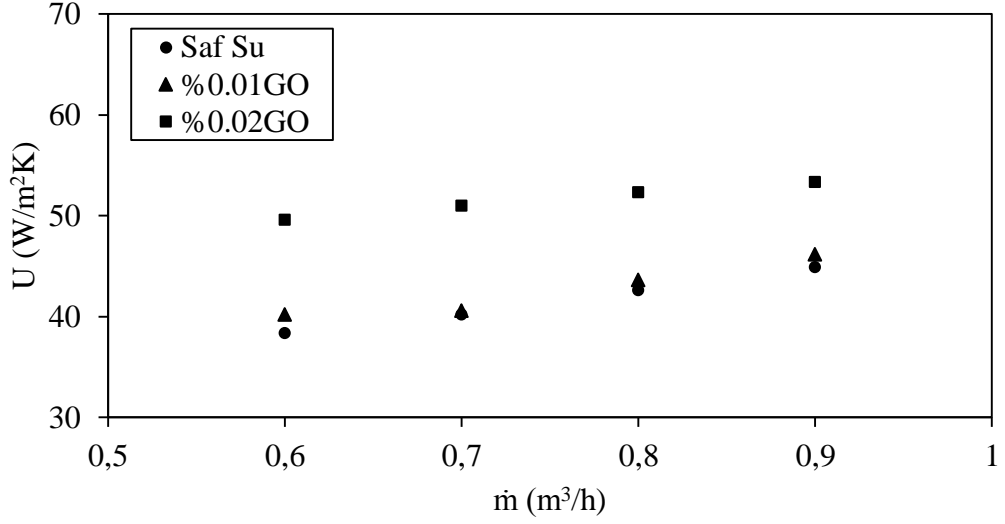
Şekil 5.2 Oto radyatörün 44 °C sıcaklıktaki soğutma performansının nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Akışkan sıcaklığı 44 °C iken nanoakışkan konsantrasyonunun artırılması ile çıkış sıcaklığı değişimine ait değerler Şekil 5.2’ de gösterilmiştir. Hacimsel konsantrasyonu %0.01 GO-su nanoakışkanı için çıkış sıcaklığındaki fark (0.2 °C) az olsa da %0.02 GO-su nanoakışkanı için bu fark (0.9 °C) belirgin olarak görülmektedir. Düşük akışkan sıcaklıklarında (36 °C ve 40 °C) sıcaklık farkı daha az olduğundan ayrıca gösterilmemiştir. Ancak belirtilen sıcaklıklarda da benzer davranışlar elde edilmiştir. Sonuç olarak nanoparçacık konsantrasyonunun artırılması akışkan çıkış sıcaklığını azaltmaktadır.



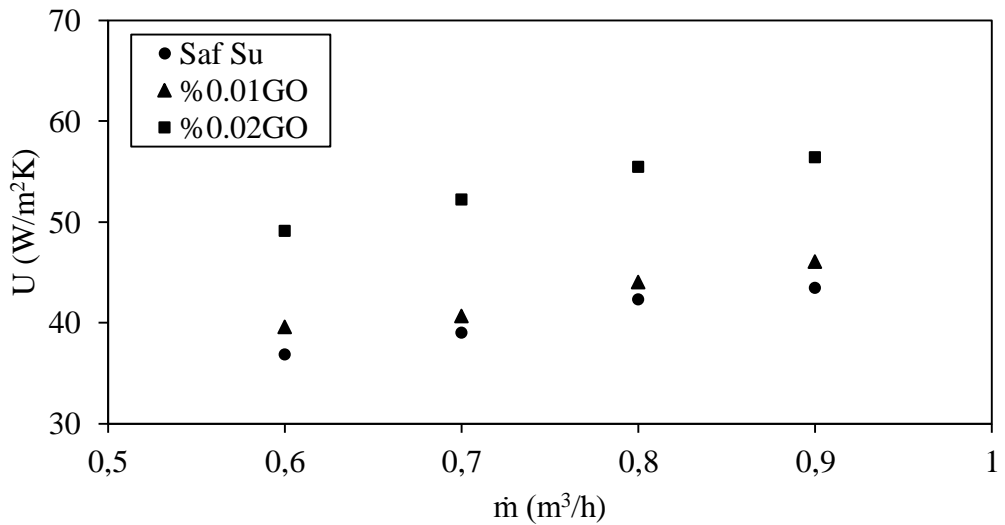
Şekil 5.3 Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C sıcaklıkta nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Şekil 5.3’ te toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış miktarı 36 °C sıcaklık için gösterilmiştir. Grafen konsantrasyonunun artmasıyla ısı transferi katsayısında artış olduğu görülmektedir. Saf suyla kıyaslandığında %0.01 GO-su nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısındaki, U elde edilen en yüksek artış miktarı %8.7 iken %0.02 GO-su nanoakışkanı için %25.0 olmuştur. Akışkan debisi arttıkça toplam ısı transferi katsayısındaki artış miktarı her iki konsantrasyon için de azalmıştır. Toplam ısı transferi katsayısındaki, U en düşük artış miktarı %0.01 GO-su nanoakışkanı için %4.5 ve %0.02 GO-su nanoakışkanı için %15.4 elde edilmiştir.



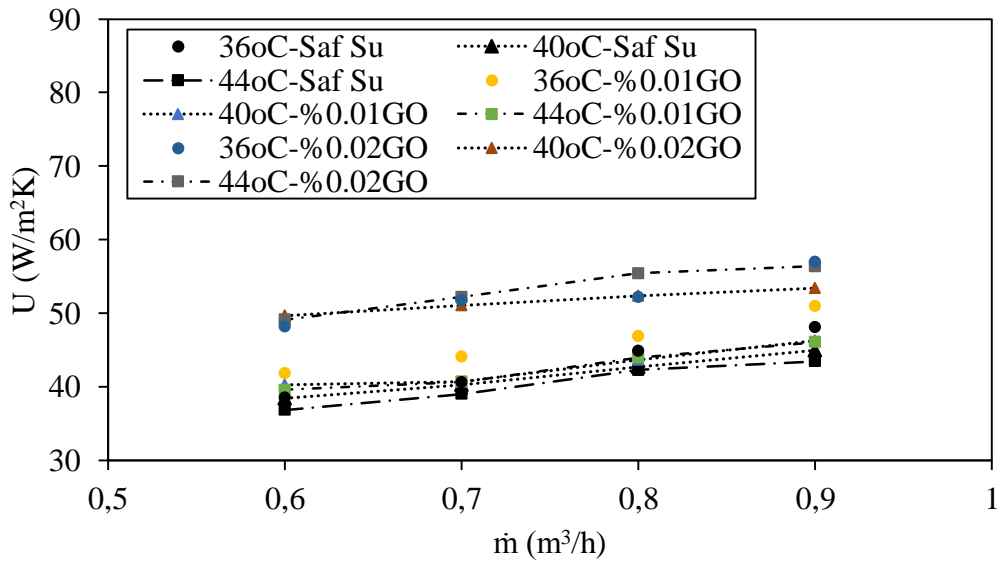
Şekil 5.4 Toplam ısı transferi katsayısının 40 °C sıcaklıkta nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış miktarı 40 °C sıcaklık için Şekil 5.4' te gösterilmiştir. Parçacık konsantrasyonu arttıkça toplam ısı transferi katsayısı artmıştır. Artış miktarı %0.01 GO-su nanoakışkanı için en yüksek %4.7 iken %0.02 GO-su nanoakışkanı için önemli bir artışla en yüksek %29.2 olarak elde edilmiştir. Akışkan debisi arttıkça toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış azalmakta ve bu durum %0.02 GO-su nanoakışkanı için belirgin olarak görülmektedir. Toplam ısı transferi katsayısındaki, U ortalama artış miktarı %0.01 GO-su nanoakışkanı için %2.8 ve %0.02 GO-su nanoakışkanı için %24.4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.5 Toplam ısı transferi katsayısının 44 °C sıcaklıkta nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

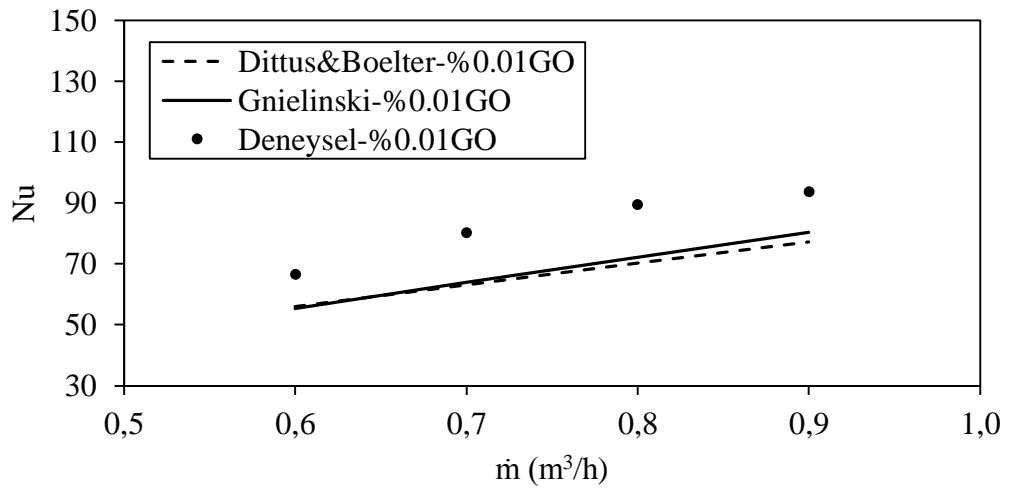
Şekil 5.5 grafen tabanlı nanoakışkan kullanılarak 44 °C sıcaklıkta elde edilen toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış miktarını göstermektedir. Önceki sıcaklık değerlerinde gösterilen, konsantrasyonla miktarıyla orantılı olarak toplam ısı transferi katsayısındaki artış oranı 44 °C sıcaklıkta daha belirgin olarak görülmektedir. Toplam ısı transferi katsayısındaki, U en yüksek artış miktarı %0.01 GO-su nanoakışkanı için %7.9 ve %0.02 GO-su nanoakışkanı için %33.9 olmuştur. Benzer biçimde toplam ısı transferi katsayısındaki, U ortalama artış miktarı %0.01 GO-su nanoakışkanı için %5.4 ve %0.02 GO-su nanoakışkanı için %32.0 olarak hesaplanmıştır. Farklı akışkan sıcaklıkları için verilen şekillerde akışkan sıcaklığının artmasının toplam ısı transferi katsayısında artış sağladığı görülmektedir. Bu durum nanoakışkanın parçacık konsantrasyonunun artmasıyla da doğru orantılı olarak artmıştır. %0.01 GO-su nanoakışkanında artış miktarı daha az olurken, %0.02 GO-su nanoakışkanı için ortalama %32 gibi önemli bir orana sahiptir.



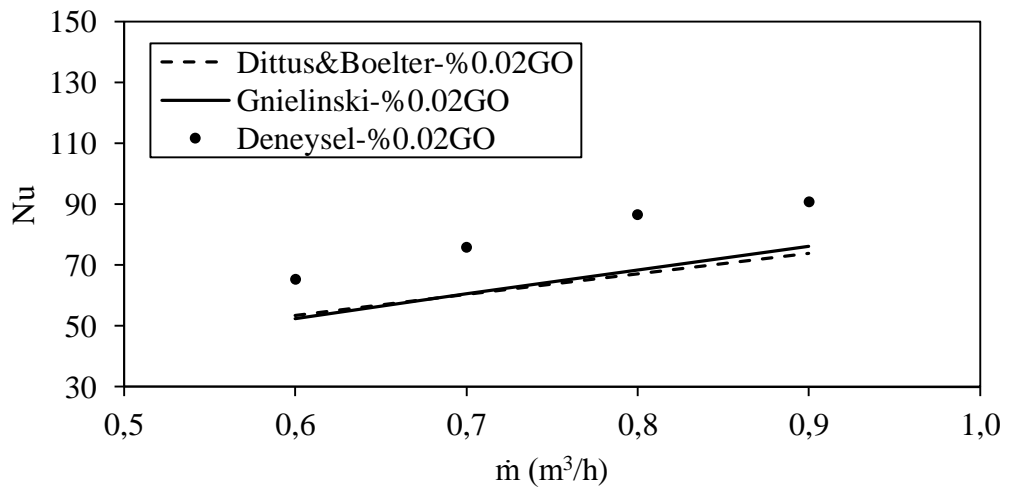
Şekil 5.6 Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C, 40 °C ve 44 °C sıcaklıklarda nanoakışkan (Grafen Oksit-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Şekil 5.6' da tüm sıcaklık ve konsantrasyon değerleri için elde edilen toplam ısı transferi katsayıları, U gösterilmiştir. Akışkan debisinin artması toplam ısı transferi katsayısını, U artırdığı görülmektedir. Ve yine benzer olarak parçacık konsantrasyonunun artmasıyla toplam ısı transferi katsayısı artmıştır.

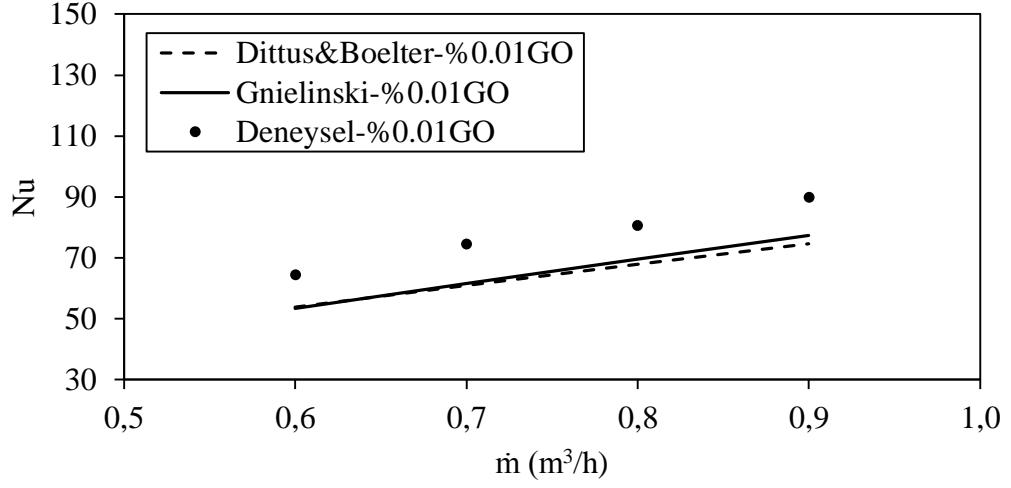
Farklı akışkan giriş sıcaklıkları için elde edilen Nusselt sayısı, Nu değerleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen değerler kabul görmüş analitik bağıntılar (Dittus&Boelter ve Gnielinski) ile kıyaslanmıştır. Deneysel verilerin Dittus&Boelter ve Gnielinski analitik bağıntıları ile uyum içinde olduğu görülmektedir. %0.01 GO-su nanoakışkanı için verilen bütün sıcaklık değerlerinde (36 °C, 40 °C ve 44 °C) Nusselt sayıları, Nu arasındaki ortalama hata Dittus&Boelter için %22.81 ve Gnielinski için %20.73 elde edilmiştir. Aynı koşullarda %0.02 GO-su nanoakışkanı için ortalama hata değerleri Dittus&Boelter ve Gnielinski bağıntıları için sırasıyla %23.81 ve %22.56' dır.



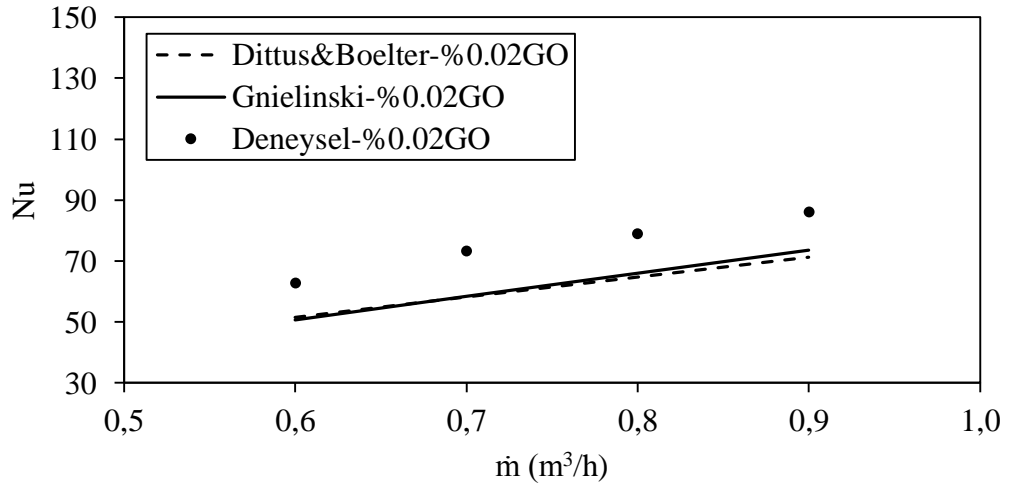
Şekil 5.7 Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



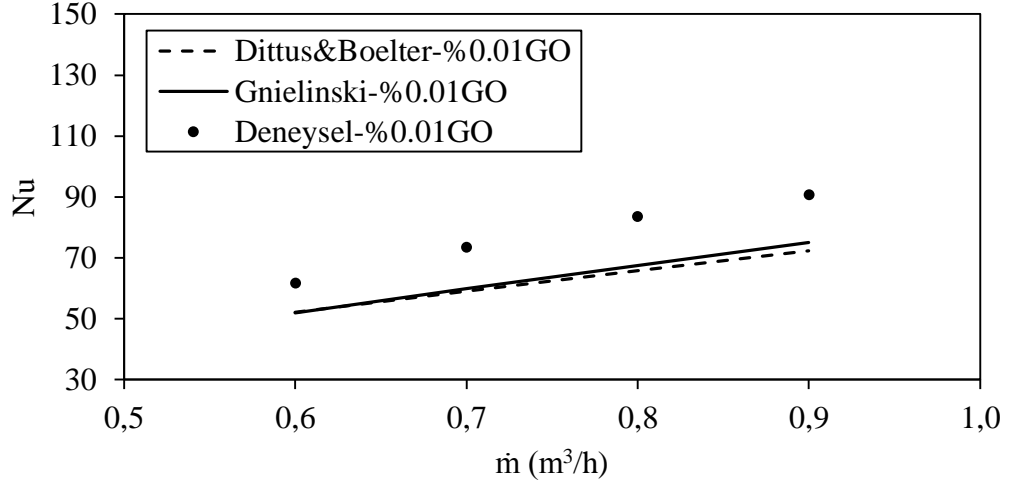
Şekil 5.8 Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



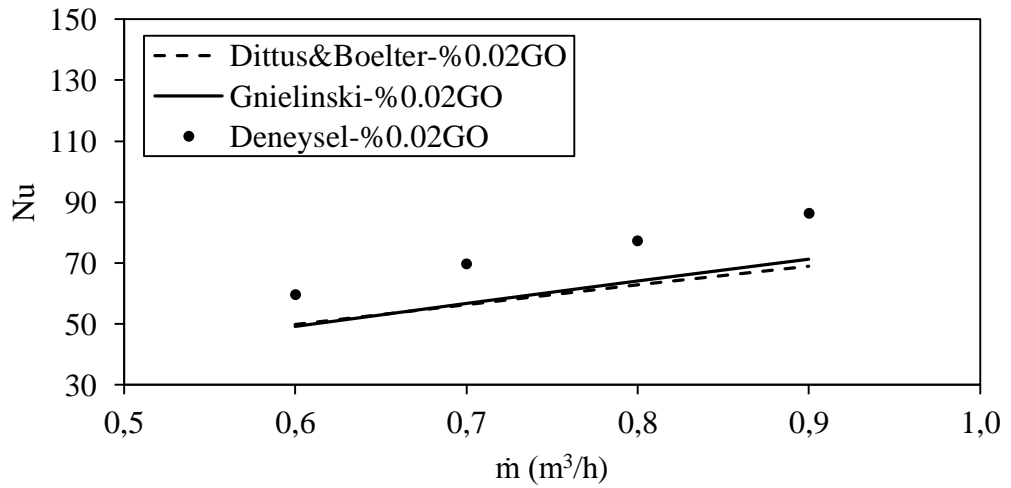
Şekil 5.9 Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



Şekil 5.10 Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



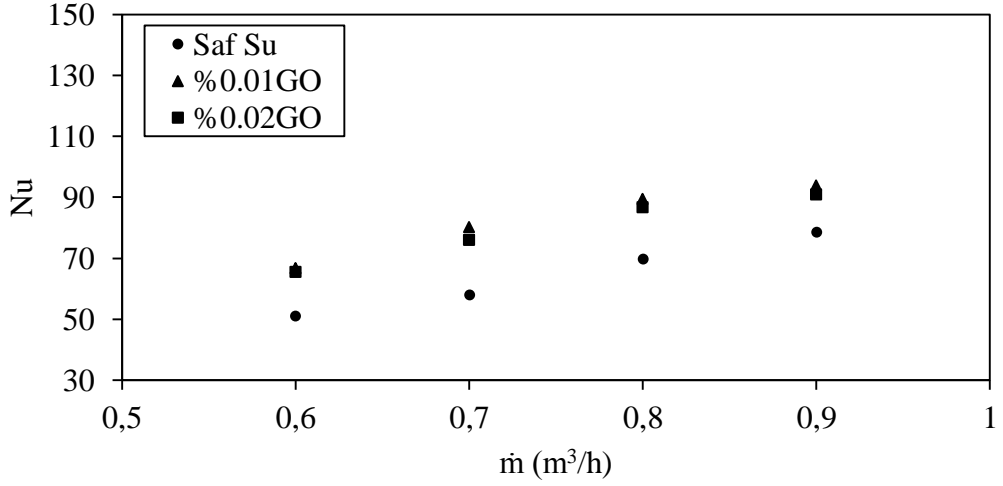
Şekil 5.11 Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



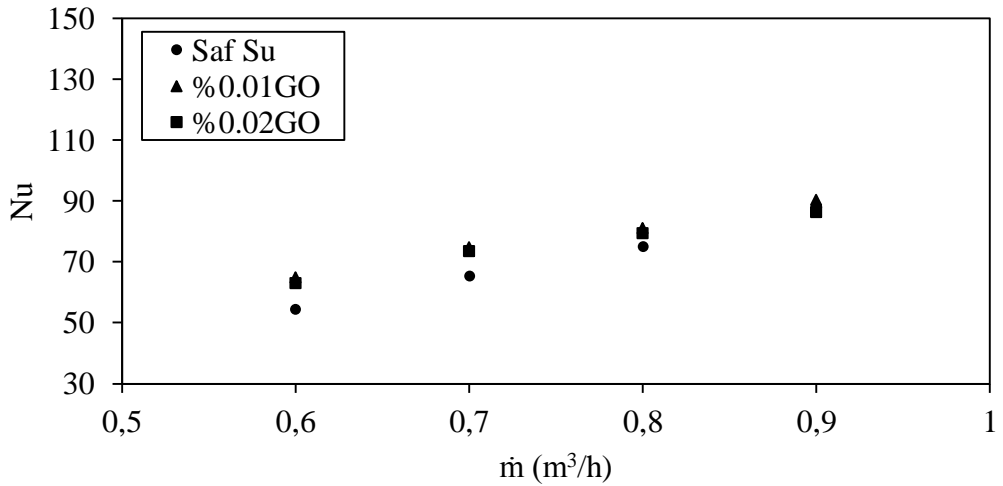
Şekil 5.12 Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 Grafen Oksit-Su) için deneysel ve analitik değerleri.

Aşağıdaki şekillerde grafen nanoparçacıkları içeren su tabanlı nanoakışkan için farklı konsantrasyonlardaki ve farklı giriş sıcaklıklarındaki Nusselt sayıları, Nu saf suyla karşılaştırılmıştır. Nanoakışkanların ısı iletim katsayılarındaki artış saf suya kıyasla %0.01 GO-su için %5.32 ve %0.02 GO-su için %6.64' tür. GO-su nanoakışkanının Nusselt sayılarındaki, Nu tüm debiler için ortalama artışlar ise giriş sıcaklığı 36 °C iken %0.01 konsantrasyonda %28.96 ve %0.02 konsantrasyonda %24.73 olarak elde edilmiştir. Giriş sıcaklığı 40 °C iken %0.01 konsantrasyonda %10.98 ve %0.02 konsantrasyonda %8.92 ve 44 °C sıcaklık için %0.01 konsantrasyonda %17.45 ve %0.02 konsantrasyonda %11.38 olarak elde edilmiştir. Saf suya kıyasla GO-su

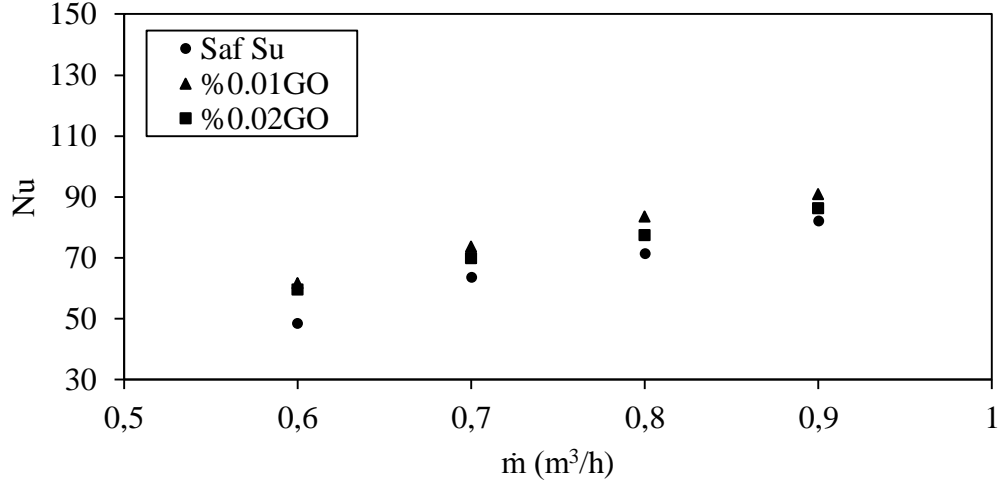
nanoakışkanına ait Nusselt sayılarında, Nu belirgin bir artış olduğu görülürken, parçacık konsantrasyonundaki artışın bu duruma ciddi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Hatta %0.01 konsantrasyonundaki nanoakışkanın Nu sayılarındaki artışın daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir. Parçacık konsantrasyonunun etkisi (%0.01 GO-su nanoakışkanının %0.02 konsantrasyona kıyasla) en fazla 44 °C giriş sıcaklığında %6.07 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.13 Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 Grafen Oksit-Su) için karşılaştırılması.



Şekil 5.14 Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 Grafen Oksit-Su) için karşılaştırılması.



Şekil 5.15 Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 Grafen Oksit-Su) için karşılaştırılması.

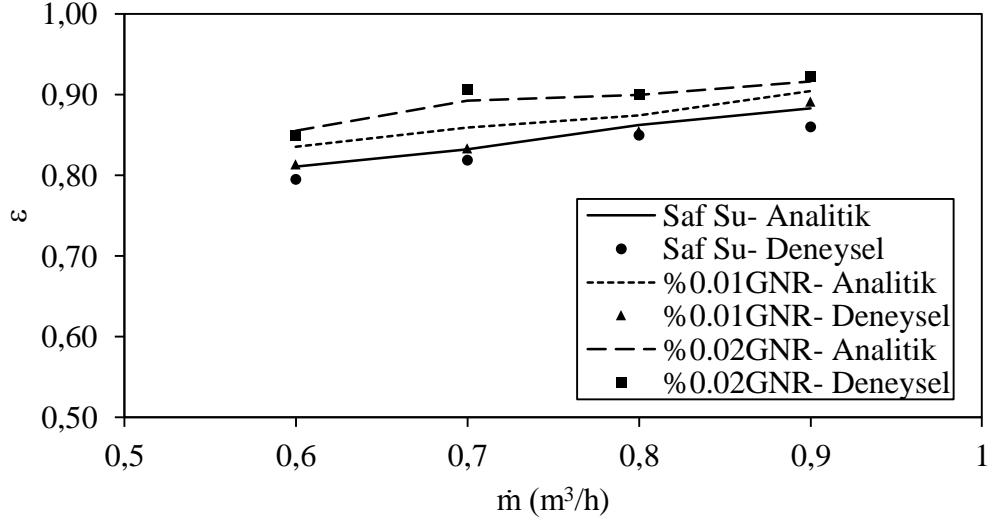
5.1.2 Grafen Nano Ribon Nanoakışkanı

Yapılan deneylerde kullanılan grafen nano ribon tabanlı nanoakışkan (GNR) ve saf suya ait termofiziksel özellikler farklı sıcaklıklar için aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Suya ait özellikler termodinamik kitabından (Çengel, 2011) alınmış ve nanoakışkana ait özellikler ise Cumhuriyet Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi laboratuvarında bulunan cihazlardaki ölçümler sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 5.2 Deneylerde kullanılan saf su ve grafen nano ribon nanoakışkanına ait termofiziksel özellikler.

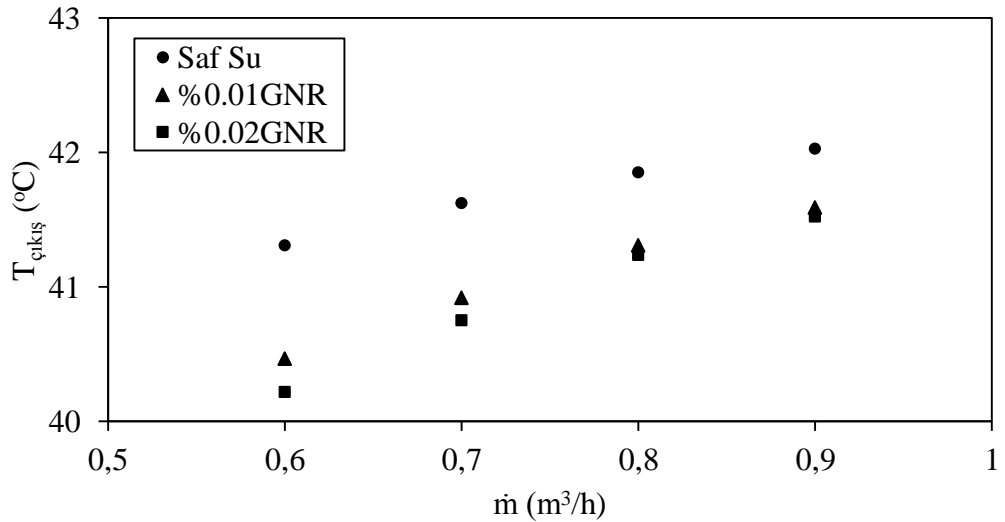
Akışkan	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (J/kgK)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Dinamik viskozite (kg/ms)
Saf Su (36 °C)	992.0	4179	0.6246	706.6×10 ⁻⁶
Saf Su (40 °C)	992.0	4179	0.6310	653.0×10 ⁻⁶
Saf Su (44 °C)	992.0	4179	0.6358	607.4×10 ⁻⁶
%0.01 GNR (35 °C)	994.5	4179	0.6972	1000×10 ⁻⁶
%0.02 GNR (35 °C)	994.5	4179	0.7100	1000×10 ⁻⁶

Saf suyla yapılan deneyler sonrasında farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0.01 ve 0.02) grafen nano ribon tabanlı nanoakışkan kullanılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde sistemin ısıl performansına ait grafikler aşağıda verilmiştir. Başta saf su ve grafen nano ribon nanoakışkanına ait etkenlik ve çıkış sıcaklıkları değerleri gösterilmiştir.



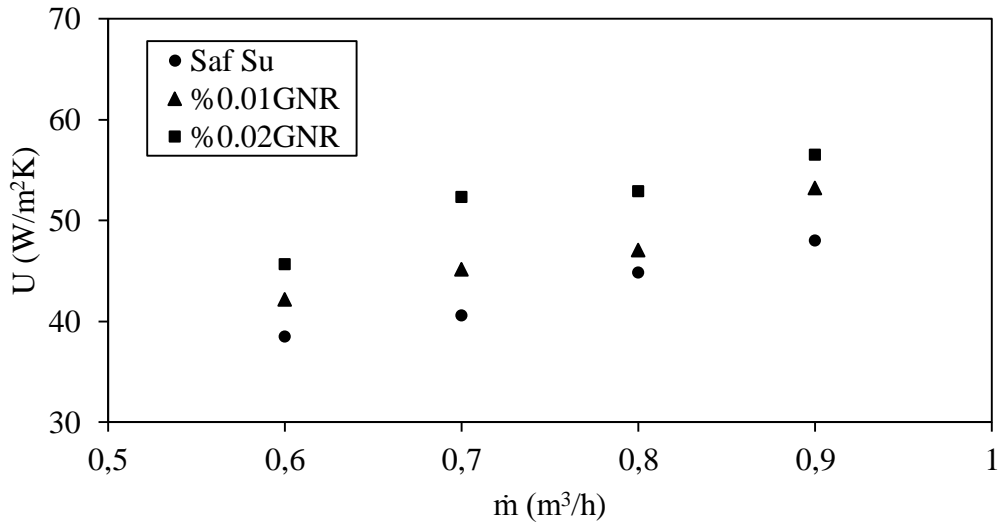
Şekil 5.16 Oto radyatörün 36 °C sıcaklıktaki etkenlik değerlerinin (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Deneysel sonuçlarında elde edilen verilerden 36 °C sıcaklık için hesaplanan etkenlik değerleri Şekil 5.16' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Diğer akışkan sıcaklıklarında (40 °C ve 44 °C) da analitik ve deneysel etkenlik değerlerinin uyumlu olduğu sonuçları elde edilmiştir. Hacimce %0.02 GNR-su nanoakışkanının deneysel etkenlik değerleri analitik değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Saf su ve %0.01 GNR-su nanoakışkanı için ise analitik etkenlik değerleri deneysel değerlerden daha yüksektir. Verilen sıcaklık için en düşük 0.80 ve en yüksek 0.92 etkenlik değeri elde edilmiştir.



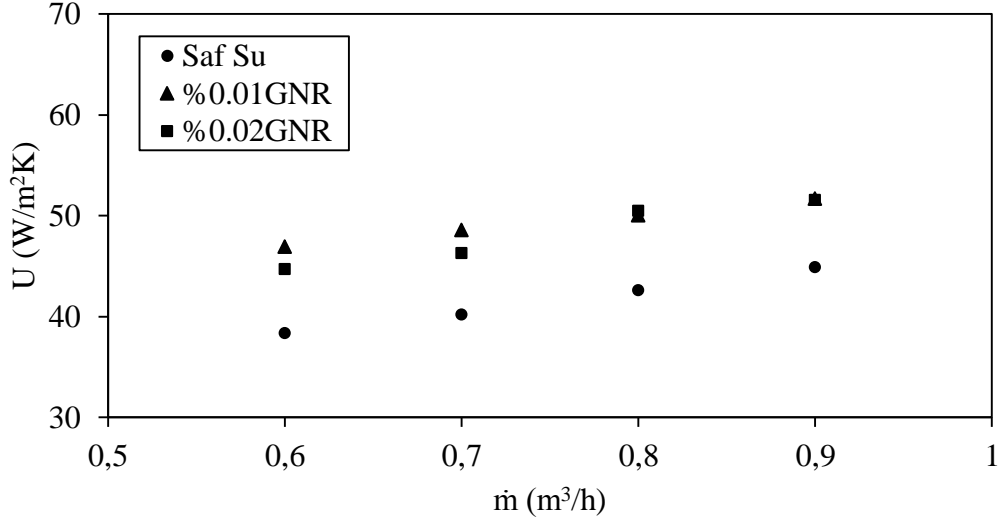
Şekil 5.17 Oto radyatörün 44 °C sıcaklıktaki soğutma performansının nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Akışkan sıcaklığı 44 °C iken nanoakışkan konsantrasyonunun artırılması ile çıkış sıcaklığı değişimine ait değerler Şekil 5.17’ de gösterilmiştir. Hacimsel konsantrasyonun %0.01 olduğu GNR-su nanoakışkanı için çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 0.4-0.8 °C iken, %0.02 GNR-su nanoakışkanı için bu farkın 0.5-1.1 °C aralığında değiştiği görülmektedir. Düşük akışkan sıcaklıklarında (36 °C ve 40 °C) sıcaklık farkı daha az olduğundan ayrıca gösterilmemiştir. Ancak belirtilen sıcaklıklarda da benzer davranışlar elde edilmiştir. Sonuç olarak nanoparçacık konsantrasyonunun artırılması akışkan çıkış sıcaklığını azaltmakta ve dolayısıyla sıcaklık farkını artırmaktadır.



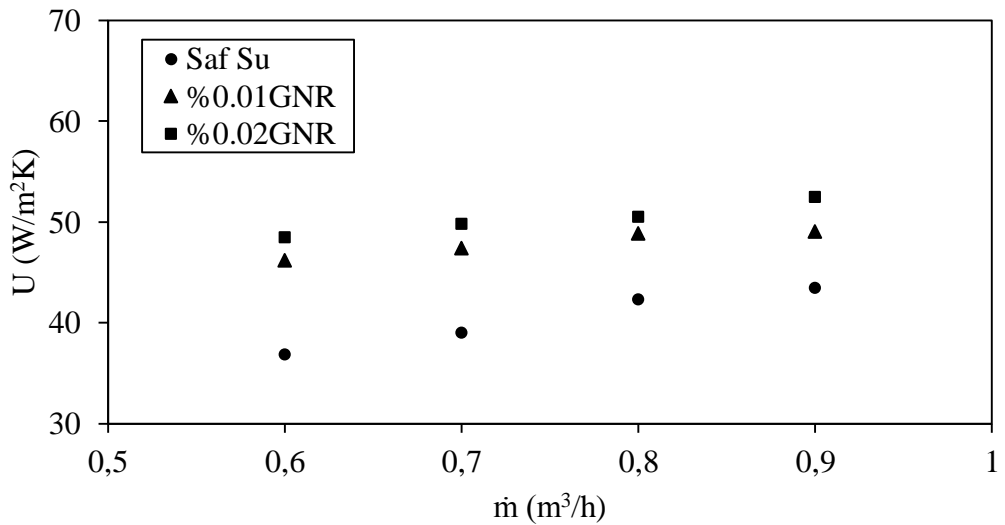
Şekil 5.18 Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C sıcaklıkta nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Şekil 5.18’ de toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış miktarı 36 °C sıcaklık için gösterilmiştir. Grafen nano ribon konsantrasyonunun artmasıyla ısı transferi katsayısında artış olduğu görülmektedir. Saf suyla kıyaslandığında %0.01 GNR-su nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısındaki, U elde edilen en yüksek artış miktarı %11.3 iken %0.02 GNR-su nanoakışkanı için %28.9 olmuştur. %0.02 konsantrasyon için 0.7 m³/h debi değerindeki sapmanın deneysel hatadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Akışkan debisi arttıkça toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış miktarı her iki konsantrasyon için de azalmıştır. Verilen sıcaklıkta toplam ısı transferi katsayısındaki, U ortalama artış miktarı %0.01 GNR-su nanoakışkanı için %9.1 ve %0.02 GNR-su nanoakışkanı için %20.8 elde edilmiştir.



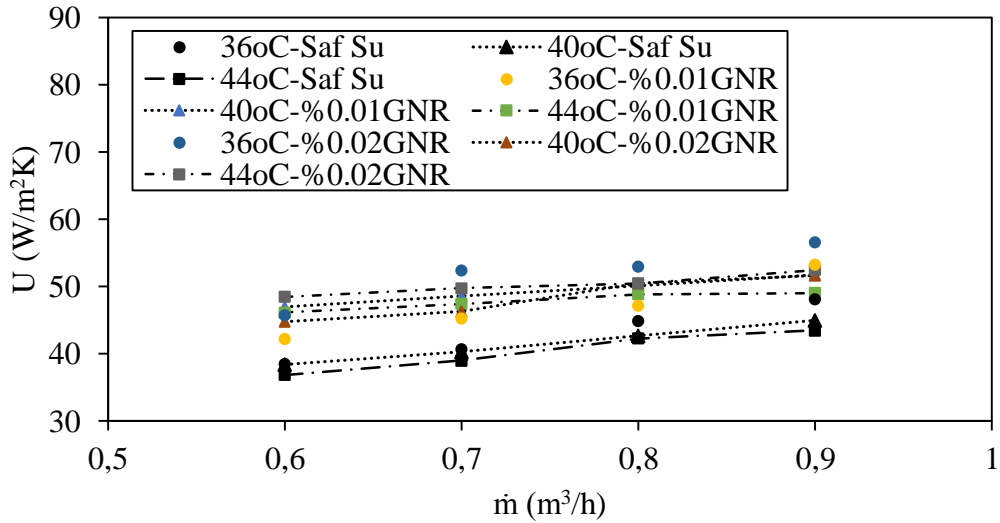
Şekil 5.19 Toplam ısı transferi katsayısının 40 °C sıcaklıkta nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış miktarı 40 °C sıcaklık için Şekil 5.19’ da gösterilmiştir. Parçacık konsantrasyonu arttıkça toplam ısı transferi katsayısı artmıştır. Artış miktarı %0.01 GNR-su nanoakışkanı için en yüksek %22.2 iken %0.02 GNR-su nanoakışkanı için en yüksek %18.5 olarak elde edilmiştir. Akışkan debisi arttıkça toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış azalmakta ve bu durum %0.01 GNR-su nanoakışkanı için belirgin olarak görülmektedir. Toplam ısı transferi katsayısındaki, U ortalama artış miktarı %0.01 GNR-su nanoakışkanı için %18.9 ve %0.02 GNR-su nanoakışkanı için %16.3 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.20 Toplam ısı transferi katsayısının 44 °C sıcaklıkta nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

Şekil 5.20 grafen tabanlı nanoakışkan kullanılarak 44 °C sıcaklıkta elde edilen toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış miktarını göstermektedir. Önceki sıcaklık değerlerinde gösterilen, konsantrasyonla miktarıyla orantılı olarak toplam ısı transferi katsayısındaki artış oranı 44 °C sıcaklıkta da belirgin olarak görülmektedir. Toplam ısı transferi katsayısındaki, U en yüksek artış miktarı %0.01 GNR-su nanoakışkanı için %25.3 ve %0.02 GNR-su nanoakışkanı için %31.6 olmuştur. Benzer biçimde toplam ısı transferi katsayısındaki, U ortalama artış miktarı %0.01 GNR-su nanoakışkanı için %18.8 ve %0.02 GNR-su nanoakışkanı için %24.8 olarak hesaplanmıştır. Farklı akışkan sıcaklıkları için verilen şekillerde akışkan sıcaklığının artmasının toplam ısı transferi katsayısında artış sağladığı görülmektedir. Bu durum nanoakışkanın parçacık konsantrasyonunun artmasıyla da doğru orantılı olarak artmıştır.

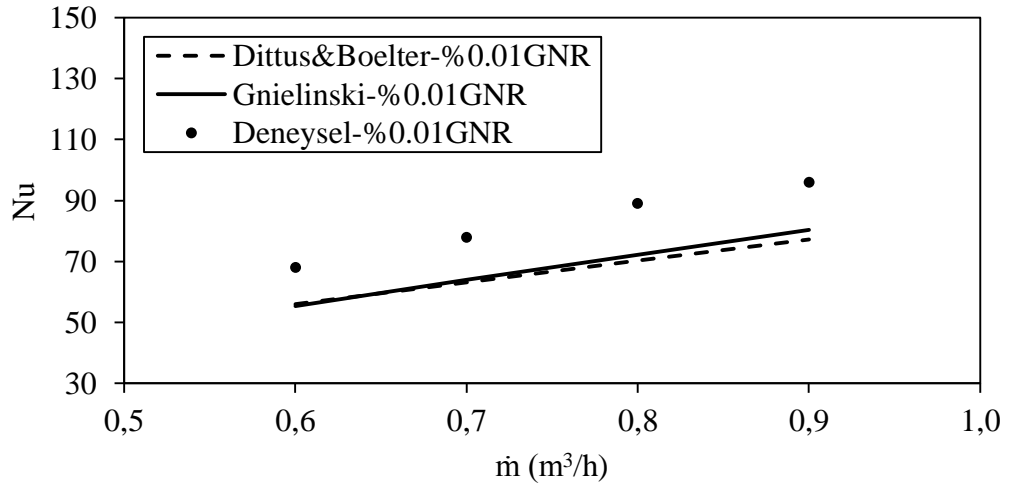


Şekil 5.21 Toplam ısı transferi katsayısının 36 °C, 40 °C ve 44 °C sıcaklıklarda nanoakışkan (GNR-Su) ve saf su için karşılaştırılması.

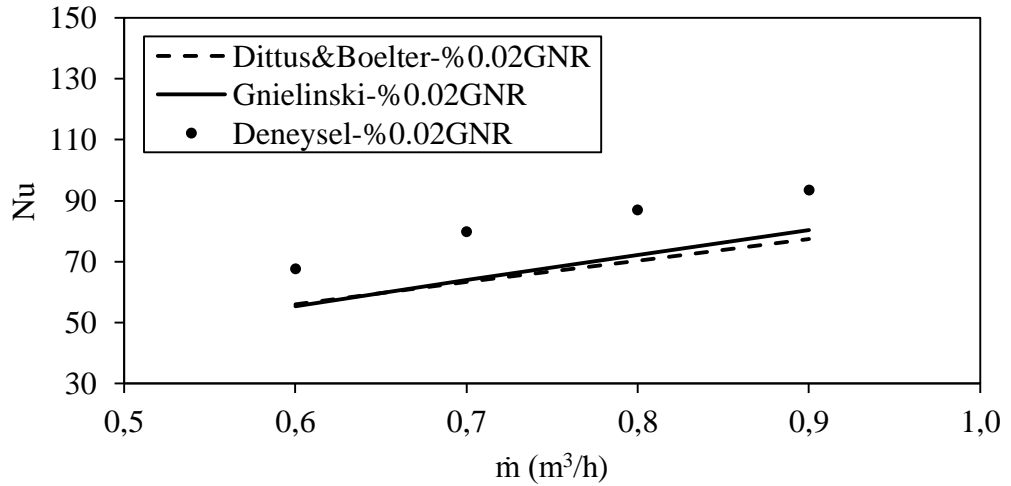
Şekil 5.21' de tüm sıcaklık ve konsantrasyon değerleri için elde edilen toplam ısı transferi katsayıları, U gösterilmiştir. Akışkan debisinin artması toplam ısı transferi katsayısını, U artırdığı görülmektedir. Ve yine benzer olarak parçacık konsantrasyonunun artmasıyla toplam ısı transferi katsayısı artmıştır.

Grafen nano ribon bulunan su tabanlı nanoakışkan için farklı akışkan sıcaklıklarında elde edilen Nusselt sayısı, Nu değerleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen değerler kabul görmüş analitik bağıntılar (Dittus&Boelter ve

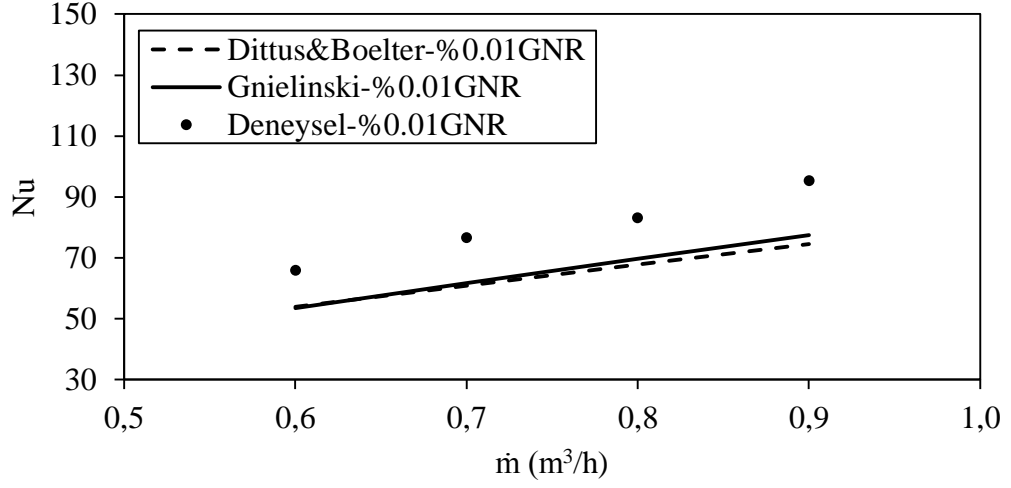
Gnielinski) ile kıyaslanmıştır. Deneysel verilerin Dittus&Boelter ve Gnielinski analitik bağıntıları ile uyum içinde olduğu görülmektedir. %0.01 GNR-su nanoakışkanı için verilen bütün sıcaklık değerlerinde (36 °C, 40 °C ve 44 °C) Nusselt sayıları, Nu arasındaki ortalama hata Dittus&Boelter için %23.94 ve Gnielinski için %21.87 elde edilmiştir. Aynı koşullarda %0.02 GNR-su nanoakışkanı için ortalama hata değerleri Dittus&Boelter ve Gnielinski bağıntıları için sırasıyla %22.95 ve %20.89' dur.



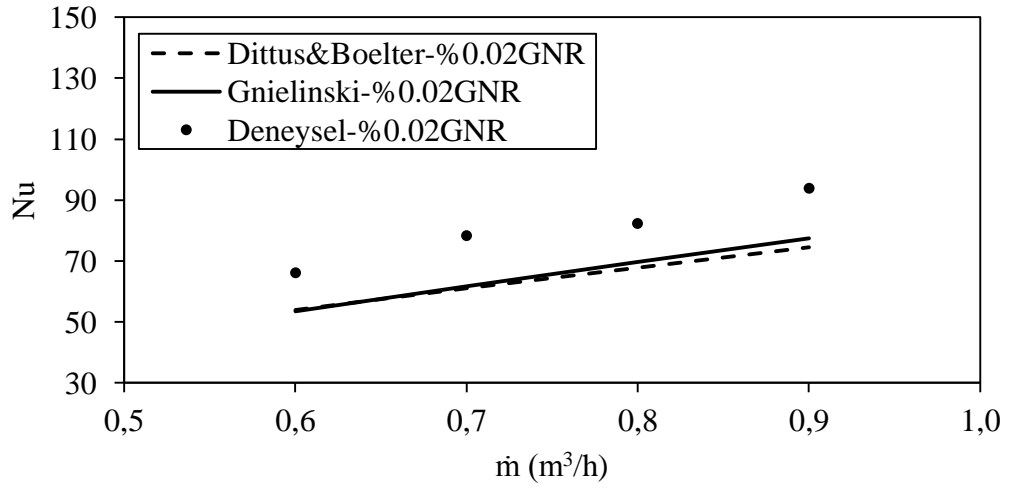
Şekil 5.22 Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



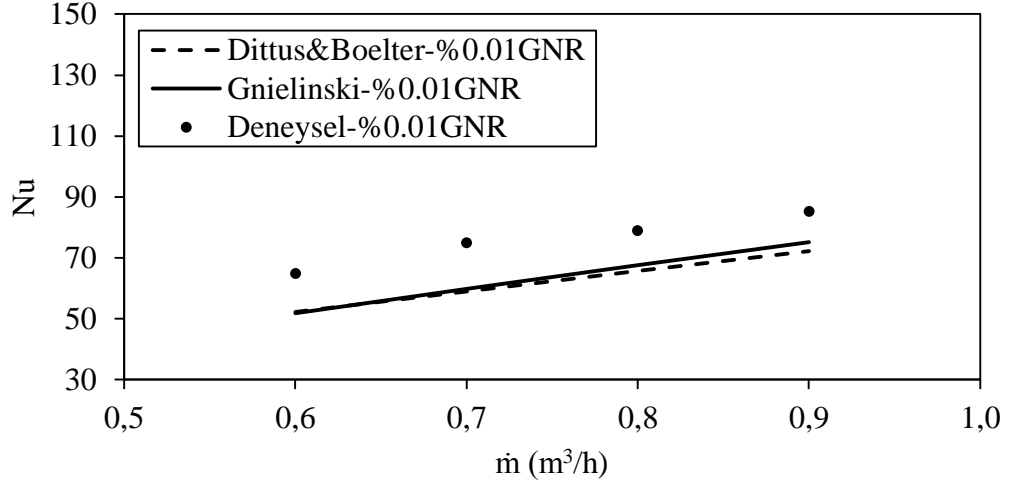
Şekil 5.23 Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



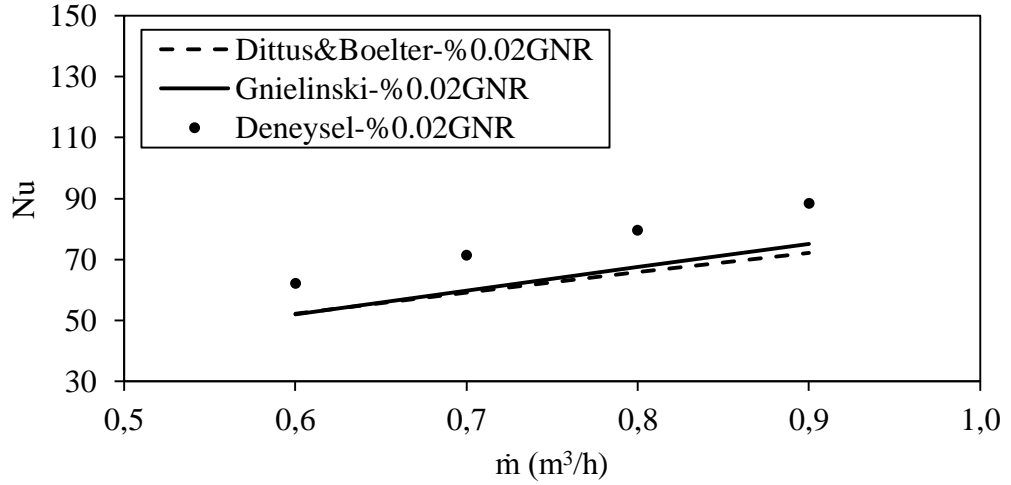
Şekil 5.24 Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



Şekil 5.25 Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



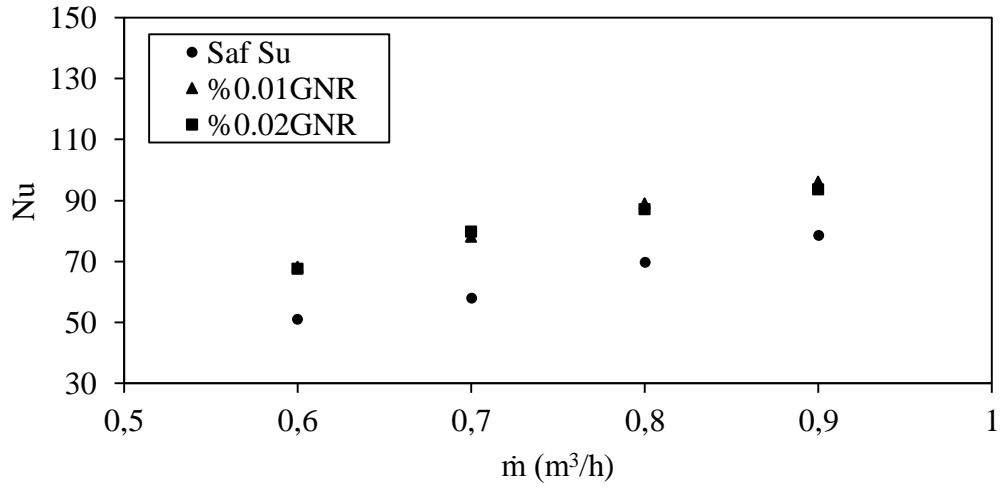
Şekil 5.26 Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.01 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.



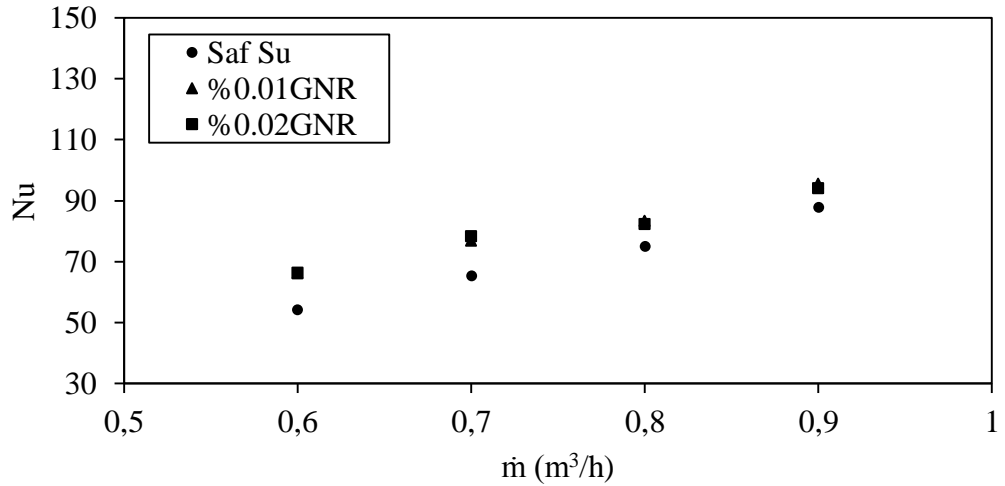
Şekil 5.27 Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki nanoakışkan (%0.02 GNR-Su) için deneysel ve analitik değerleri.

Aşağıda verilen şekillerde grafen nano ribon içeren su tabanlı nanoakışkan için farklı konsantrasyon ve giriş sıcaklıklarındaki Nusselt sayıları, Nu değerleri saf suyla kıyaslanmıştır. Nanoakışkanların ısı iletim katsayılarındaki artış saf suya kıyasla %0.01 GNR-su için %9.66 ve %0.02 GNR-su için %11.67' dir. Grafen oksit nanoakışkanına benzer sonuçlar GNR-su nanoakışkanında da görülmüştür. %0.01 konsantrasyondaki nanoakışkanın Nusselt sayılarındaki, Nu artış miktarının %0.02 konsantrasyona kıyasla daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir. Giriş sıcaklığı 36 °C iken %0.01 konsantrasyonda Nusselt sayılarındaki, Nu ortalama artış miktarı %29.53

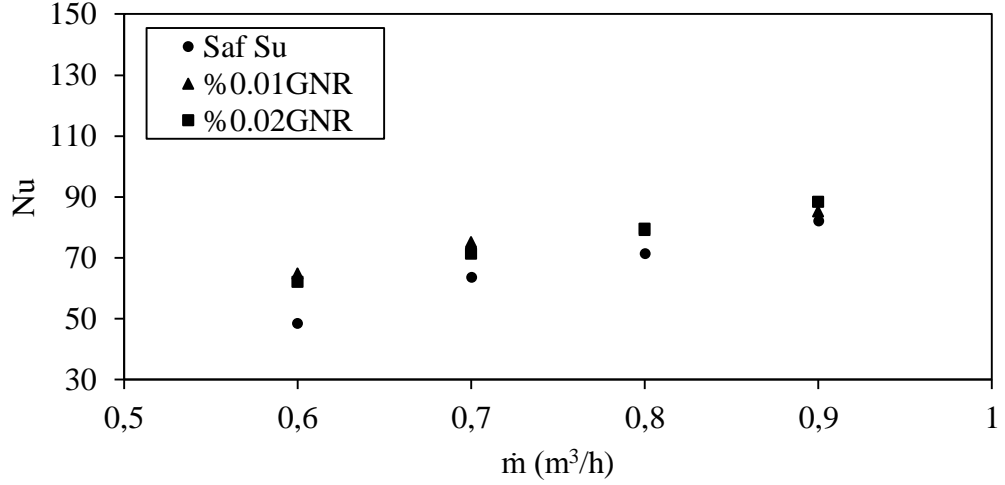
ve %0.02 konsantrasyonda %28.45 olarak elde edilmiştir. 40 °C giriş sıcaklığında %0.01 konsantrasyon için %14.82 ve %0.02 konsantrasyon için %14.71' dir. Giriş sıcaklığı 44 °C iken ise %0.01 konsantrasyonda %16.39 ve %0.02 konsantrasyonda %14.60 olarak elde edilmiştir. %0.01 konsantrasyonundaki nanoakışkanın Nusselt sayılarındaki, Nu artışın daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir. Parçacık konsantrasyonunun etkisi (%0.01 GNR-su nanoakışkanının %0.02 konsantrasyona kıyasla) en fazla 44 °C giriş sıcaklığında %1.79 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.28 Nusselt sayısının 36 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 GNR-Su) için karşılaştırılması.



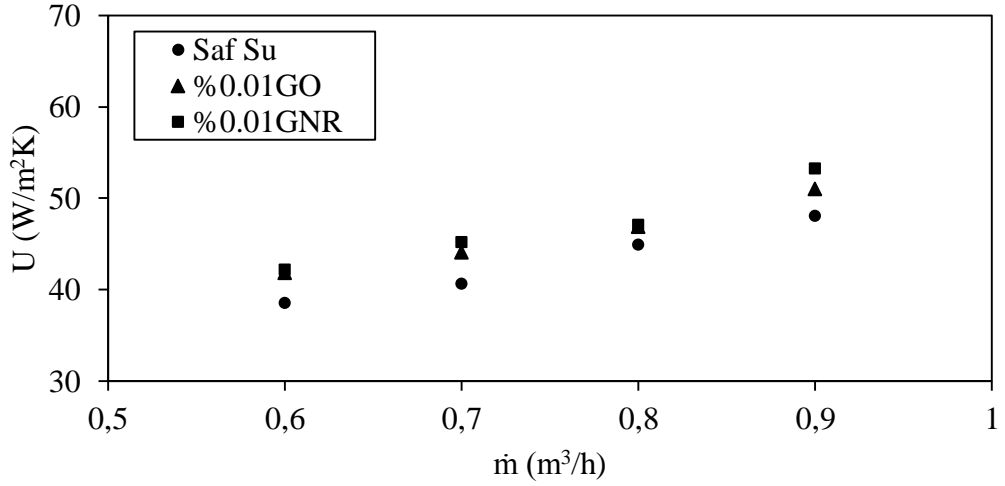
Şekil 5.29 Nusselt sayısının 40 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 GNR-Su) için karşılaştırılması.



Şekil 5.30 Nusselt sayısının 44 °C sıcaklıktaki deneysel değerlerinin saf su ve nanoakışkan (%0.01 ve %0.02 GNR-Su) için karşılaştırılması.

5.1.3 Nanoakışkanların Karşılaştırılması

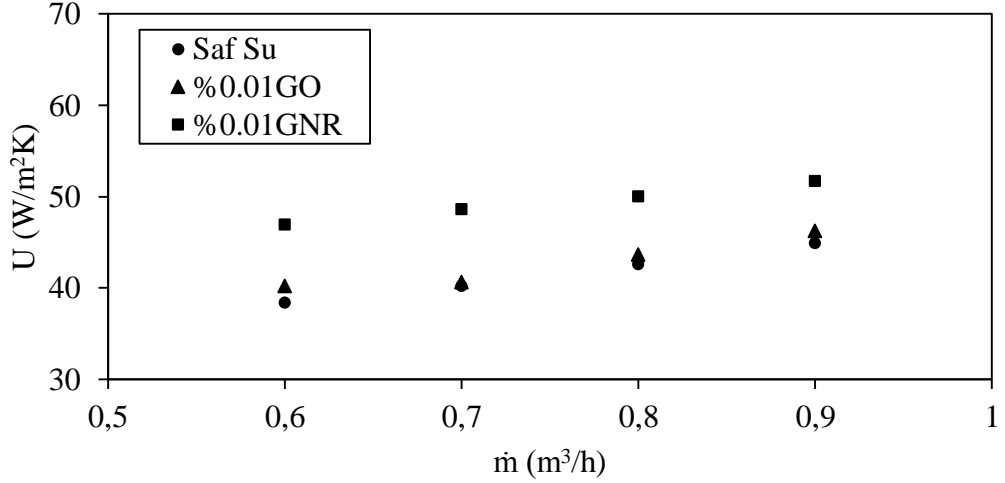
Toplam ısı transferi katsayısı, U değerlerinin farklı sıcaklık ve debilerdeki grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanları için kıyaslandığı şekiller aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.31 36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

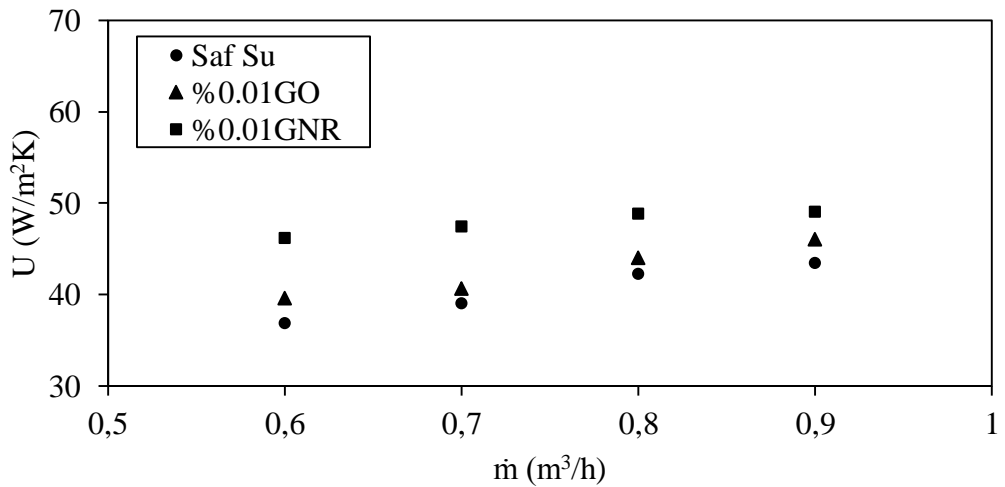
Şekil 5.31' de grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanlarının %0.01 konsantrasyon ve 36 °C sıcaklıktaki toplam ısı transferi katsayısına, U ait değerler karşılaştırılmıştır. Saf suya kıyasla her iki nanoakışkanın ısı transferi katsayısı, U değerlerinde artış görülmektedir. Nanoakışkanların birbirleri ile karşılaştırılması

durumunda ise GNR nanoakışkanının GO nanoakışkanından daha fazla artış sergilediği görülmektedir. Toplam ısı transferi katsayısındaki bu artış ortalama olarak %2.06 olarak gerçekleşmiştir.



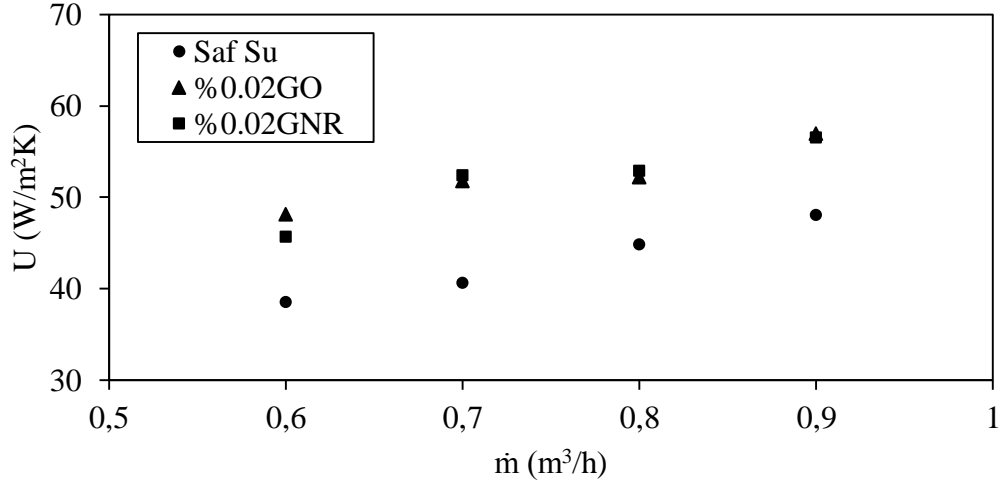
Şekil 5.32 40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

Toplam ısı transferi katsayısının, U saf su, GO ve GNR nanoakışkanları ile 40 °C sıcaklık için karşılaştırıldığı değerler Şekil 5.32’ de gösterilmiştir. Grafen nano ribon nanoakışkana ait toplam ısı transferi katsayısı, U değerindeki artış miktarı belirgin olarak görülmektedir. GNR nanoakışkanının GO nanoakışkanına kıyasla toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış ortalama %15.73’ tür.



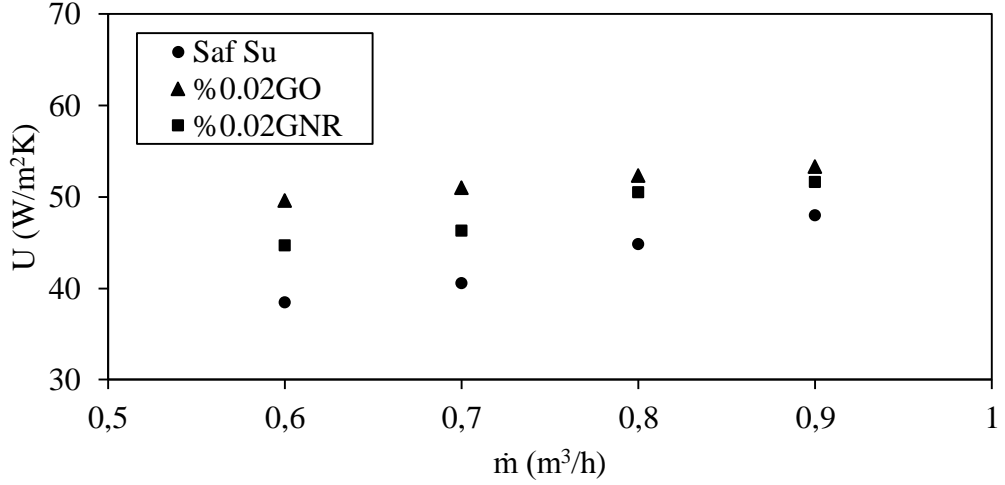
Şekil 5.33 44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

Saf su, GO ve GNR nanoakışkanların toplam ısı transferi katsayılarının, U 44 °C sıcaklıkta karşılaştırılması ait değerler Şekil 5.33' te gösterilmiştir. Verilen diğer sıcaklıklarda olduğu gibi 44 °C sıcaklıkta da saf suya kıyasla her iki nanoakışkanın toplam ısı transferi katsayısı değerlerindeki artış görülmektedir. Yine benzer olarak GNR nanoakışkanın toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış GO nanoakışkanından daha fazla olup, ortalama %12.68 olarak gerçekleşmiştir.

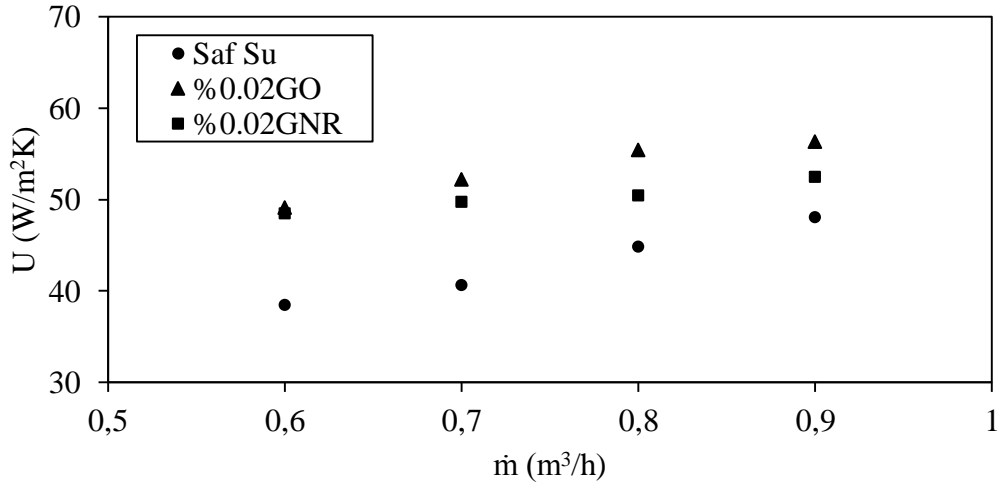


Şekil 5.34 36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

Şekil 5.34' te %0.02 konsantrasyonda ve 36 °C sıcaklıktaki saf su, GO ve GNR nanoakışkanına ait toplam ısı transferi katsayısı, U değerleri karşılaştırılmıştır. 0.6 m³/h debide GO nanoakışkanının toplam ısı transferinde, U GNR nanoakışkanına göre %5.05 artış olurken, akışkan debisi arttıkça bu oran hem azalmış hem de tersine dönerek 0.7 ve 0.8 m³/h debilerinde GNR nanoakışkanı tarafında gerçekleşmiştir. 0.9 m³/h debi de ise tekrar GO nanoakışkanı tarafında artış gerçekleşmiştir. Tüm debiler için bu değişim oranı ortalama %2.09 olarak gerçekleşmiştir. 40 °C için ortalama artış oranı %6.45 ve 44 °C için ise %5.47' dir. Genel duruma bakıldığında %0.02 GO ve GNR nanoakışkanı için saf suyla kıyaslandığında toplam ısı transferi katsayısındaki, U değişim birbirine çok yakındır. Elde edilen sonuçlarda görülen bu farklılıkların ölçülen sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın olmasında kaynaklandığı düşünülebilir. Özellikle düşük giriş sıcaklıklarında sıcaklık farklarının da çok az olması deneysel hataların yüzdesel oranını artırmaktadır. Sıcaklık değerlerindeki virgülden sonraki ikinci basamak değerlerinin bile önemli olduğunu belirtmelidir.



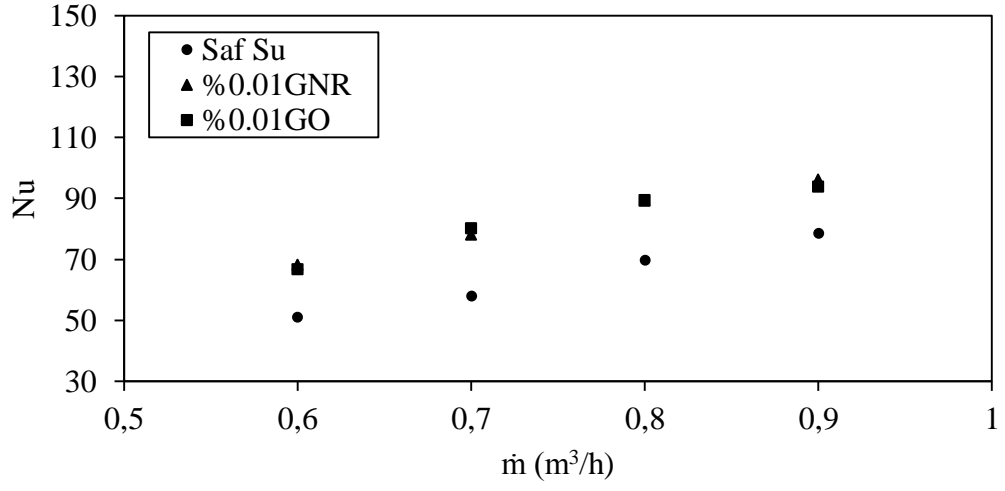
Şekil 5.35 40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.



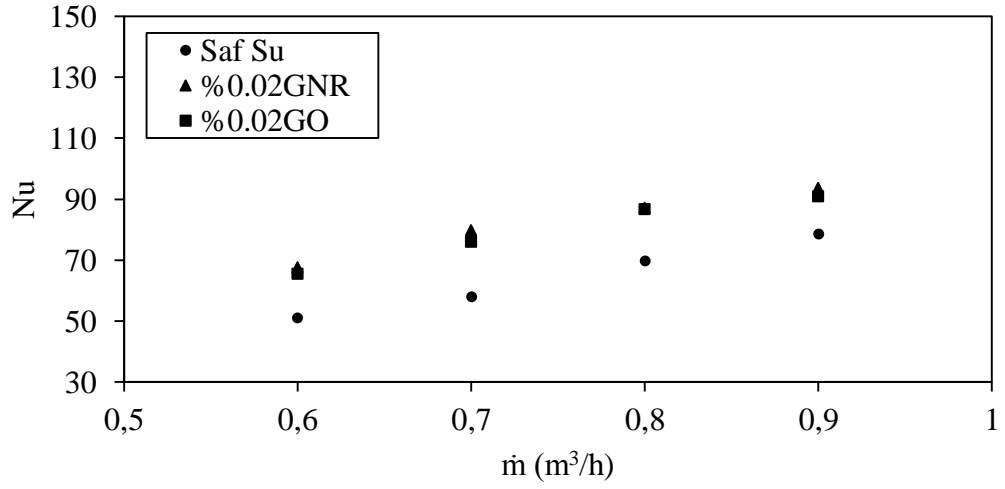
Şekil 5.36 44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

Deneysel verilerde kullanılan nanoakışkanların farklı sıcaklık ve debilerdeki Nusselt sayısı, Nu değerlerinin saf suyla karşılaştırılmasına ait şekiller aşağıda verilmiştir. 36 °C, 40 °C ve 44 °C giriş sıcaklıklarının tümünde saf suyla kıyaslandığında Nusselt sayılarındaki, Nu artış belirgin olarak görülmektedir. Aynı zamanda GNR-su nanoakışkana ait Nusselt sayılarındaki, Nu artışın GO-su nanoakışkanına kıyasla daha fazla olduğu da görülebilmektedir. Bu fark saf suyla kıyaslandığında en fazla %5.79

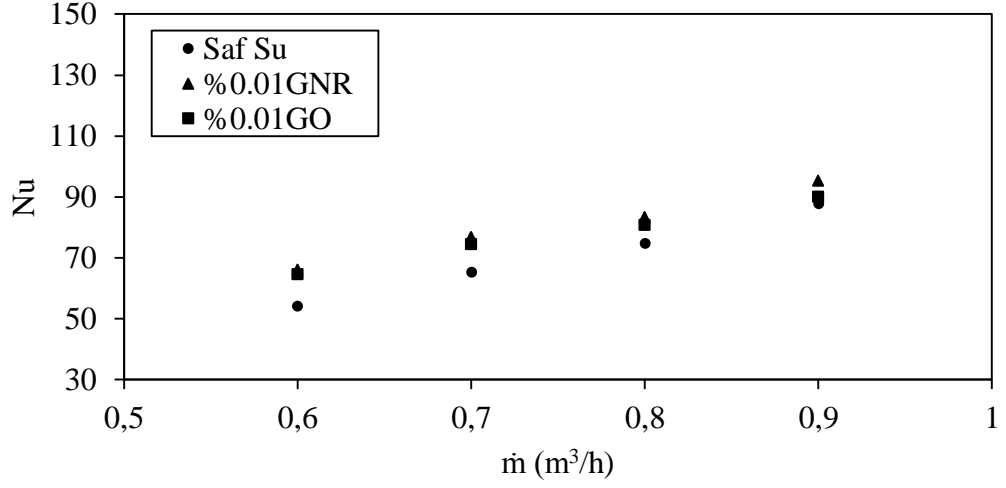
değeri ile 40 °C giriş sıcaklığında ve %0.02 konsantrasyonda gerçekleşmiştir. Ayrıca düşük parçacık konsantrasyonunun daha iyi sonuçlar sergilediği de belirtilmelidir.



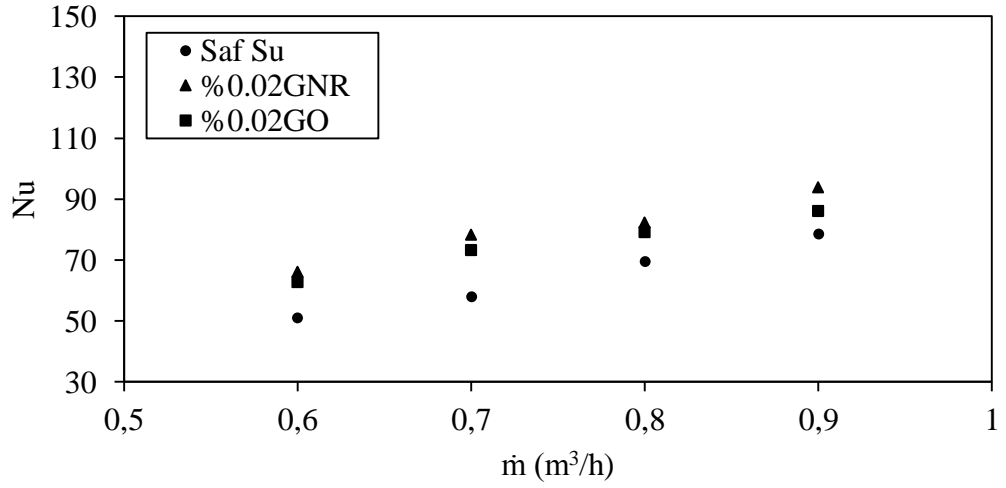
Şekil 5.37 36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.



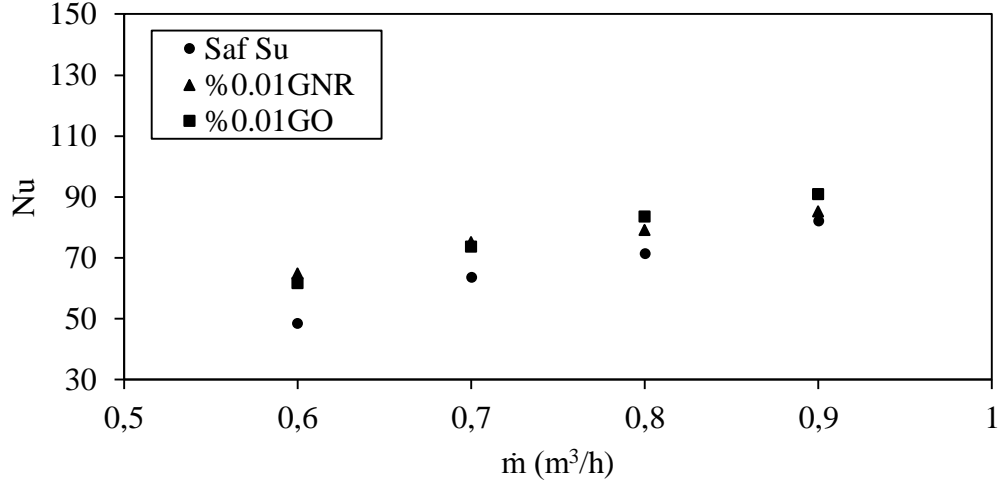
Şekil 5.38 36 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.



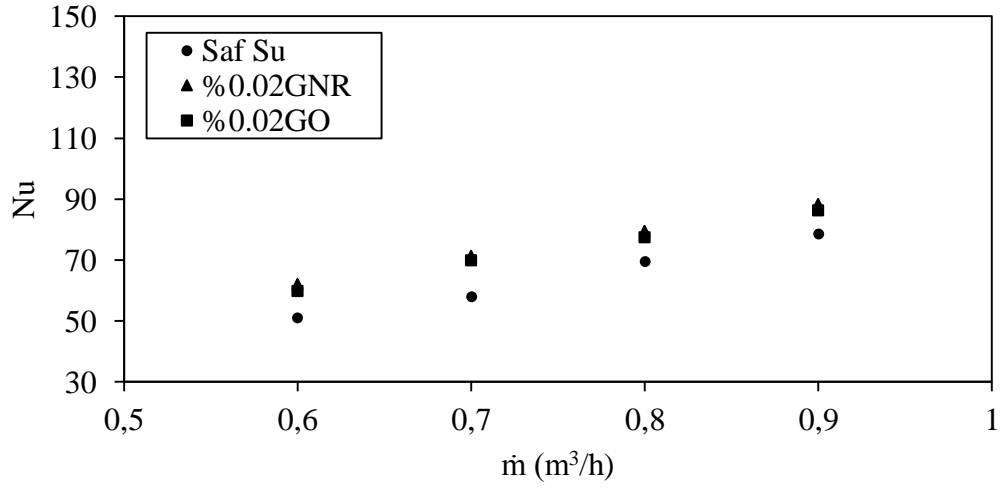
Şekil 5.39 40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.



Şekil 5.40 40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.



Şekil 5.41 44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.



Şekil 5.42 44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.02) nanoakışkanlarının Nusselt sayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerjiye olan bağımlılık her geçen gün yeni ve alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu durum birçok araştırmacı tarafından ciddi bir problem olarak görülmekte ve yıllardır bu alanda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak son zamanda alternatif ve yenilikçi enerji kaynaklarına yeni bir bakış açısı getirilerek; mevcut enerjinin daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılması yaklaşımının alternatif bir enerji kaynağı gibi düşünülmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu yaklaşım başta Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler olmak üzere birçok gelişmiş ülke için de çok önemli bir yaklaşımdır. Mevcut enerjinin küçük miktarlarında bile verimlilik sağlanması, büyük miktarlarda geri dönüşler sağlayacaktır. Her sektörde olduğu gibi otomotiv endüstrisinin de enerji ihtiyacı ve enerji verimliliği çok önemli olup araştırmacılar ve üreticiler için ilgi çekici konulardır. Ancak otomotiv sektöründe sadece enerji tasarrufu sağlamak istenilen performans ölçütlerini sağlamadıkça amacına ulaşmış sayılmaz.

Isı değiştiricileri endüstride birçok uygulamada kullanılmakta olup, ısı aktarım performanslarının artırılması en önemli mühendislik problemlerinden biridir. Isı değiştiricileri araçlardaki soğutma sistemlerinin de en temel cihazlarıdır. Otomotiv endüstrisindeki süregelen teknolojik gelişmeler beraberinde yüksek verimli motorlara olan ihtiyacı da artırmaktadır. Bu durum sadece yüksek performans sağlamakla değil aynı zamanda yakıt ekonomisi ve düşük emisyon sağlanmasıyla da mümkündür. Araçlarda ağırlığın azaltılması bahsedilen yüksek verimli motorların elde edilmesi için önemli bir ölçüttür. Özellikle araçlardaki soğutma sisteminin en temel ekipmanı olan radyatörlerin boyutlarında ve ağırlıklarında optimizasyon sağlanması uzun yıllardır tasarımcı ve araştırmacıların üzerinde çalıştıkları bir konudur. Araç radyatörlerine kanatçıklar eklenmesi veya mikrokanallar konulması gibi ısı transferi oranını artırmayı sağlayan yöntemler, yüksek maliyet ve verimlilik açısından artık sınırlarına ulaşmıştır. Ayrıca radyatörlerde kullanılan geleneksel soğutucu akışkanlar (su, etilen glikol, motor yağı vs.) düşük ısı iletkenliğe sahip olmaları; oto radyatörlerin ısı performansını artırmak için yeni ve yenilikçi bir akışkana ihtiyaç olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında; geleneksel soğutucu akışkanların aksine yüksek ısı iletkenlik değerlerine sahip nanoakışkan adı verilen yeni bir akışkan kullanılarak oto

radyatörlerdeki ısı aktarım performansının artırılması amaçlanmıştır. Otomobil soğutma sistemini temsil eden bir deney sistemi kurulmuştur. 36 °C, 40 °C ve 44 °C giriş sıcaklıklar, farklı debiler (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h ve 0.9 m³/h) ve saf su taban akışkanlı farklı konsantrasyonlarda (hacimce %0.01 ve 0.02) hazırlanan grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler neticesinde etkenlik, toplam ısı transferi katsayısı, U ve Nusselt sayıları, Nu saf su ve nanoakışkanlar için karşılaştırılmıştır. İlk olarak etkenlik değerleri analitik ve deneysel olarak kıyaslanmıştır. Oto radyatörün etkenlik değerlerinin akışkan konsantrasyonunun artması ile arttığı ve %0.02 konsantrasyondaki GO ve GNR nanoakışkanlarında analitik değerlerin üzerine çıktığı sonucu elde edilmiştir. Grafen oksit nanoakışkanı için analitik olarak en düşük 0.81 ve en yüksek 0.92 etkenlik değerleri elde edilirken; deneysel olarak en düşük 0.8 ve en yüksek 0.94 etkenlik değerleri elde edilmiştir. Bu değerler grafen nano ribon nanoakışkanı için ise analitik ve deneysel olarak sırasıyla her ikisi için de en düşük 0.82 iken en yüksek 0.91 ve 0.92 olmuştur. Ölçümler sonucunda elde edilen ısı iletim katsayılarına göre saf suyla kıyaslandığında %0.01 GO-su nanoakışkanı için %5.32, %0.02 GO-su için %6.64 ve %0.01 GNR-su nanoakışkanı için %9.66, %0.02 GNR-su için %11.67 oranında ısıl iletkenlik artışı hesaplanmıştır. Saf suyla kıyaslandığında %0.01 grafen oksit nanoakışkanı için en yüksek %6.9 ve %0.02 grafen oksit nanoakışkanı için en yüksek %32.0 toplam ısı transferi katsayısında artış olduğu elde edilmiştir. Grafen nano ribon nanoakışkanı için ise saf suya kıyasla %0.01 konsantrasyon için en yüksek %18.9 ve %0.02 konsantrasyon için en yüksek %24.8 toplam ısı transferi katsayısı, U artışı elde edilmiştir. Grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanları birbirleri ile kıyaslandığında toplam ısı transferi katsayısındaki artışın; GNR nanoakışkanı için %0.01 konsantrasyonda ve GO nanoakışkanı için ise %0.02 konsantrasyonda daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki nanoakışkan için Nusselt sayıları, Nu farklı giriş sıcaklıkları ve farklı konsantrasyonlar için hesaplanmıştır. Öncelikle saf suyla kıyaslamalar yapılmış ve en yüksek ortalama artış 36 °C sıcaklık ve %0.01 konsantrasyon için GO-su nanoakışkanında %29.53 ve GNR-su nanoakışkanı için %28.96 olarak elde edilmiştir. Her iki nanoakışkan için de %0.01 konsantrasyonun daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda, taban akışkana nanoparçacık eklenmesi sonucu elde edilen nanoakışkanın; ısıl iletkenlik, viskozite ve yoğunluğunun arttığı ve buna bağlı olarak

da ısı performansında artış olduğu vurgulanmıştır. Ancak nanoakışkanların termofiziksel özelliklerindeki artışına oranla ısı performanslarındaki artış oranlarının çok daha fazla (2-3 katı oranında) olması bu durumun sadece termofiziksel özelliklerle açıklamanın yeterli olmayacağını göstermiştir. Birçok araştırmacı bu durumun Brownian hareketinden kaynaklandığını öne sürmüştür. Nanoparçacıkların varlığı ve taban akışkan içerisindeki rastgele hareketlerinin ısı sınır tabaka kalınlığını azaltmakta ve ısı transferi artışına önemli bir katkı sağlamakta olduğunu ayrıca ultra-ince parçacıkların bu rastgele hareketi katı parçacıklar ve akışkan ortamı arasında bir kayma hızı meydana getirmekte olduğunu dile getirmişlerdir. Nitekim bu çalışmada da; ısı iletim katsayısındaki en yüksek artış %11.67 iken, toplam ısı transferi katsayısındaki, U en yüksek artış %32.0 ve Nusselt sayısındaki, Nu en yüksek artış ise %29.53 olarak gerçekleşmiştir.

Bazı araştırmacılar ise kesme hızı gradyanı, viskozite gradyanı ve Brownian hareketi ile parçacık göçü olmasının büyük parçacıklar için parçacık konsantrasyonunda düzensizliğe neden olduğunu araştırmışlardır. Tüpün duvar tarafındaki nanoparçacık konsantrasyonunun tüpün duvar tarafındaki mikroparçacık konsantrasyonundan daha büyük olduğunu göstermişlerdir. Bunun anlamı; tüpün duvar tarafına nanoparçacık eklemenin akışkanın ısı iletkenliği artışına etkisi, mikroparçacık eklemekten daha fazla olduğudur. ısı iletkenlikteki bu artış tüpün duvar tarafının ısı sınır tabakası etrafında ısı transferi katsayısı artışına sebep olmaktadır. Başka bir deyişle, mikroparçacıklar tüpün merkezine doğru yönelirken, ısı sınır tabakadaki mikroparçacık süspansiyonuna ait ısı iletkenlik artışı daha düşük olup bu yüzden ısı transferi katsayısının fazla değişmemekte olduğunu söylemişlerdir. Tüm bunlardan da anlaşılacağı üzere; nanoakışkanların davranışları konusunda birkaç öngörü dışında kesinleşmiş veriler henüz bulunmamaktadır.

Literatürdeki sayısal çalışmalar ise nanoparçacıkların eklendiği akışkan içerisinde çok iyi yayıldığı (tek faz akış) varsayımı yapılarak kütle, momentum ve enerji korunum eşitliklerinin sayısal olarak çözümlenmesi prensibine dayanmaktadır. Momentum ve enerji korunum denklemleri içerisinde yer alan akışkan fiziksel özellikleri (viskozite, yoğunluk, ısı iletkenlik, özgül ısı ve ısı genleşme katsayısı) nanoakışkanın fiziksel özellikleri ile değiştirilerek sayısal çözüm yapılmaktadır. Radyatör tüplerinin ve kanatçıklarının en boy oranlarının çok büyük farklılığa sahip olması, başta iki-üç

boyutlu çizim aşamasında sonrasında ağ yapısının oluşturulmasında önemli problemler oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında oto radyatörün modelleme zorluğu ve nanoakışkan davranışlarına ait mevcut çalışmaların kesin yargılar içerememesi ve buna bağlı olarak literatürde sayısal paket programlarında nanoakışkanlarla ilgili model eksikliği nedeniyle sayısal çalışma yapılamamıştır.

Literatürde farklı tiplerdeki nanoakışkanların tüp kısmındaki ısı transferi katsayılarının hesaplanabilmesi için genellikle tüp duvar sıcaklığına ihtiyaç olduğu bildirilmiştir. Duvar sıcaklığı ölçümleri; çalışma zorlukları içermekte olup ve hassas olmayan ısı transferi katsayısı sonuçlarına sebep olacak bazı doğal hatalara sahiptir. Tüp duvarı kalınlığı çok küçük olduğunda ısı eleman çiftlerini yerleştirmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, duvar sıcaklık ölçümü çok zordur ve araştırmacılar genellikle bazı kalibrasyon yöntemleriyle elde ettikleri duvar sıcaklıklarını tekrar gözden geçirirler. Bu tez çalışmasında da; başta ısı eleman çiftlerinin ve veri toplama sisteminin ölçüm hassasiyeti olmak üzere, radyatör duvarı ve diğer sıcaklık ölçümleri sonucunda elde edilen sonuçların da hatasız olmasının mümkün olamayacağı belirtilmelidir.

Ayrıca gerçekleştirilen deneylerde sistemin uzun süreler sonucunda dengeye gelmesi (en az üç saat) ve toplam deney süresinin dokuz saati bulması; sisteme ait tüm donanımların hassasiyetini etkilemektedir. Özellikle bu çalışmada kullanılan radyatörün literatürdeki çalışmalar içerisindeki en büyük boyuta, kapasiteye ve akışkan hacmine sahip olduğu ayrıca yine benzer çalışmalara kıyasla yüksek debilerde deneylerin gerçekleştirildiği de belirtilmelidir.

Sonuç olarak; toplam ısı transferi katsayısında, U ve Nusselt sayılarında, Nu elde edilen artışlar oto radyatörlerin ısı aktarım performansını artırmakta olup aynı miktarda ısının daha küçük boyutlardaki oto radyatörler ile sistemden atılabileceği anlamına gelmektedir. Bu durum araç soğutma sistemlerinde kullanılan oto radyatörlerin boyutlarının küçültülebileceği ve ağırlıklarının azaltılabileceği anlamına gelmektedir. Böylece yeni nesil araçlar daha iyi aerodinamik yapılara ve daha az yakıt tüketen çevreci araçlara dönüşebilecektir.

Nanoakışkanların ısı aktarım performansı konusundaki üstünlükleri her ne kadar belirgin olsa da; uzun süreli kullanımlarında karşılaşılabilecek sorunlar henüz anlaşılıp

kesin olarak analiz edilebilmiş değildir. Gelecek çalışmalarda; deneysel hatalardan ortaya çıkan yanlışlıkların edinilen tecrübeler ışığında giderilmesi, nanoakışkanların kararlılık, polimerleşme, çökme ve topaklanma gibi olumsuz yönlerinin doğru tespitlerle en kısa zamanda giderilmesi gerekmektedir. Ayrıca literatürdeki birbirinden bağımsız çalışmalar yerine oto radyatörler için hangi tip hammaddeden elde edilen nanoparçacıkların uygun olduğu belirlenip, çalışmalarda o nanoakışkan tipine odaklanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- 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.
- Beck, M.P., Yuan, Y., Warriar, P., Teja, A.S.** (2009). The Effect of Particle Size on the Thermal Conductivity of Alumina Nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research* 11, 1129-1136.
- Bejan, A.** (2004). Convection heat transfer. *New York: John Wiley & Sons Inc.*
- Bergles, A., E.** (1999). The Imperative to Enhance Heat Transfer, Proceeding of the NATO Advanced Study on Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers. Cesme-İzmir. Turkey. May 25- June 5. 1998. *Klavver Academic Publishers*, Printed in Netherlands. pp.13-29.
- Boungiorno, J., Hu, L.W., Kim, S.J., Hannink, R., Truong, B. and Forrest, E.** (2008). Nanofluids for enhanced economics and safety of nuclear reactors: an evaluation of the potential features issues, and research gaps. *Nuclear Technology*, 162 (1), 80-91.
- Canbolat, A.S., Türkan, B., Yamankaradeniz, R., Can, M., Etemoğlu, A.B.** (2014). Otomobil radyatörlerinde boru sayısının ısı performansına ve etkinliğe etkisinin incelenmesi. OTEKON'14, 7. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 26 – 27 Mayıs 2014.
- Ceylan, A., Jastrzemski, K., Shah, S.I.** (2006). Enhanced solubility Ag-Cu nanoparticles and their thermal transport properties. *Metall. Mater. Trans. A*, 37A 2033-2038.
- Chen, L. and Xie, H.** (2010). Surfactant-free nanofluids containing double- and single-walled carbon nanotubes functionalized by a wet-mechanochemical reaction. *Thermochimica Acta*, 497 (1-2), 67-71.
- Choi, S.U.S.** (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *Developments Applications of Non-Newtonian Flows*, **Signer, D.A., Wang, H.P.** (Ed.), *ASME, FED-231/MD- 66*, 99-105, New York.
- Choi, S.U.S.** (1998). Nanofluid technology: current status and future research. *Technical Conference on Strategic Technologies*, Vienna, Korea.
- Choi, S.U.S.** (2006). Nanofluids for improved efficiency in cooling systems, in: *Heavy Vehicle Systems Review. Argonne National Laboratory*, 362 Auditorium.
- Choi, S.U.S., Eastman, J.A.** (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *International Mechanical Engineering Congress and Exhibition*, San Francisco, CA.12-17, November.
- Choi, S.U.S., Zhang, Z.G., Yu, W., Lockwood, F.E., Grulke, E.A.** (2001). Anomalous thermal conductivity enhancement in nano-tube suspensions. *Applied Physics Letters*, 79, 2252-2254.
- Chon, C.H., Kihm, K.D., Lee, S.P., and Choi, S.U.S.** (2005). Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement. *Applied Physics Letters*, 87, 153107.
- Chon, C.H., Paik, S.W., Tipton, J.B., and Kihm, K.D.** (2006). Evaporation and dryout of nanofluid droplets on a microheater array. *Journal of Heat Transfer*, 128 (8), 735.
- Chopkar, M., Kumar, S., Bhandari, D.R., Das, P.K. and Manna, I.** (2007). Development and characterization of Al₂Cu and Ag₂Al nanoparticle dispersed water and ethylene glycol based nanofluid. *Mater Sci Eng B*, 139, 141-148.

- Chun, B-H, Kang, H. U., and Kim, S. H.** (2008). Effect of Alumina Nanoparticles in the Fluid on Heat Transfer in Double- Pipe Heat Exchanger System, *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 966–971.
- Czarnetzki, W., Roetzel, W.** (1995). Temperature oscillation techniques for simultaneous measurement of thermal diffusivity and conductivity. *Int J Thermophys*;16 (2): 413–22.
- Çakmak, N.** (2014). Brownian olmayan küresel parçacıkların genel göç model eşitliklerinin türetilmesi ve nanoakışkanların karmaşık geometrilerdeki ısı geçişlerinin sayısal olarak incelenmesi. *Doktora Tezi, Cum. Üni. Fen Bil. Enst., Sivas.*
- Çencel, Y.A.** (2011). Isı ve Kütke Transferi: Pratik bir yaklaşım. *Güven Bilimsel, Güven Kitabevi, İzmir.*
- Darzi, A.A.R., Farhadi, M., Sedighi, K.** (2013). Heat transfer and flow characteristics of Al₂O₃–water nanofluid in a double tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 47,105–112.
- Das, S.K., Choi, S.U.S., Patel, H.E.** (2006). Heat transfer in nanofluids-a review. *Heat Transfer Engineering*, 27 (10), 3-19.
- Das, S.K., Choi, S.U.S., Yu, W., Pradeep, T.** (2008). Nanofluids: Science and Technology. *John Wiley&Sons, Inc.*
- Das, S.K., Putra, N., Roetzel, W.** (2003). Pool boiling characteristics of nanofluids. *Int J Heat Mass Transfer*; 46(5): 851–62.
- Das, S.K., Putta, N., Thiesen, P., Roetzel, W.** (2003). Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids. *J Heat Transfer*; 125: 567–74.
- Demirbas, M.F.** (2006). Thermal energy storage and phase change materials: an overview. *Energy Sources Part B*, 1 (1), 85-95.
- Devrim, Y.** (2012). Teknoloji Devrim Yaratacak Mucize Malzeme-Grafen. *Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.*
- Ding, Y., Alias, H., Wen, D., Williams, R.A.** (2006). Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids). *Int J Heat Mass Transfer*; 49(1–2): 240–250.
- Dittus, F.W., Boelter, L.M.K.** (1930). Heat Transfer in Automobile Radiators of Tubular Type. *University of California Press, Berkeley, CA*, pp. 13e18.
- Duangthongsuk, W., Wongwises, S.** (2009) Heat Transfer Enhancement and Pressure Drop Characteristics of TiO₂–Water Nanofluid in a Double-Tube Counter Flow Heat Exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 52, pp. 2059–2067.
- Eastman, J.A., Choi, S.U.S, Li, S., Thompson, L.J., Lee, S.** (1997). Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. In: Materials Research Society Symposium-proceedings, vol. 457, *Materials Research Society*. p. 3–11.
- Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Soyez, G., Thompson, L.J., and Dimelfi, R. J.** (1999). Novel thermal properties of nanostructured materials. *Materials Science Forum*, 629-634, Switzerland.
- Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Thompson, L.J., Lee, S.** (1996). Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. *Fall Meeting of the Materials Research Society (MRS)*, Boston, USA.
- Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Yu, W., Thompson, L.J.** (2001). Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol based nanofluids containing copper nanoparticles. *Applied Physics Letters*, 78 (6), 718-720.

- Eastman, J.A., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S., and Keblinski, P.** (2004). Thermal transport in nanofluids. *Annual Reviews in Material Research*, 34, 219-246.
- Fard, M.G., 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. *Thermal Science, Vol. 15*, No. 1, pp. 183-194.
- Filonenko, G.K.** (1954). Hydraulic resistance in pipelines. *Teploenergetika (Thermal Engineering) 1* (4), 40–44.
- Fovet, Y., Gal, J.Y. and Toumelin-Chemla, F.** (2001). Influence of pH and fluoride concentration on titanium passivating layer: stability of titanium dioxide. *Talanta*, 53 (5), 1053-1063.
- Ghozatloo, A., Rashidi, A., Niassar, M.S.** (2014). Convective heat transfer enhancement of graphene nanofluids in shell and tube heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 53, 136–141.
- Gnielinski, V.** (1976). Equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. *Int. Chem. Eng.* 16, 359–368.
- Gnielinski, V.** (2002). Wärmeübertragung in Rohren. *VDI-Wärmeatlas, sixth ed.* VDI Verlag, Düsseldorf.
- Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee S., Hadadian, M.** (2013). Nanofluids for heat transfer enhancement-a review. *Phys. Chem. Res.*, 1 (1), 1-33.
- Granqvist, C. G., Buhrman, R. A.** (1976). Ultrafine Metal Particles. *J. Appl. Phys.*, 47:2200.
- Gupte, S.K., Advani, S.G., Huq, P.** (1995). Role of micro-convection due to non-affine motion of particles in a mono-disperse suspension. *Int. J. Heat Mass Tran.*, 38, 16, 2945-2958.
- Gürmen, S. ve Ebin, B.** (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası-Metalurji Dergisi*, 150, 31-38.
- Halelfadl, S., Estellé, P., Maré, T.** (2014). Heat transfer properties of aqueous carbon nanotubes nanofluids in coaxial heat exchanger under laminar regime. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 55, 174–180.
- Heris, S.Z., Esfahany, M. N., Etemad S.Gh.** (2007). Experimental Investigation Of Convective Heat Transfer Of Al₂O₃/Water Nanofluid In Circular Tube. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28 (2) 203–210.
- Heris, S.Z., Etemad, S.Gh., Esfahany, M.N.** (2006). Experimental Investigation Of Oxidation Nanofluids Laminar Flow Convective Heat Transfer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33 (4) 529–535.
- Ho, C.J., Wei, L.C., Li, Z.W.** (2009). An Experimental Investigation Of Forced Convective Cooling Performance Of A Microchannel Heat Sink With Al₂O₃/Water Nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 30 96–103.
- Hong, T., Yang, H., and Choi, C. J.** (2005). Study of the Enhanced Thermal Conductivity of Fe Nanofluids, *Journal of Applied Physics*, 97, 064311-4.
- Hung, Y.H., Teng, T.P., Teng, T.C., Chena, J.H.** (2012). Assessment of heat dissipation performance for nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 32, 132-140.
- Hussein, A.M., Bakar, R.A., Kadrigama, K.** (2014a). Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 50–61.
- Hussein, A.M., Bakar, R.A., Kadrigama, K., Sharma K.V.** (2014b). Heat transfer enhancement using nanofluids in an automotive cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 53 (2014) 195–202.

- Hussein, A.M., Bakar, R.A., Kadrigama, K., Sharma, K.V.** (2014c). Heat transfer augmentation of a car radiator using nanofluids. *Heat Mass Transfer*, DOI 10.1007/s00231-014-1369-2.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P.** (2000). Isı Ve Kütle Geçişinin Temelleri. *Dördüncü basımdan çeviri, Literatür Yayıncılık*, İstanbul.
- Jaluria Y., Manca O., Poulikakos D., Vafai K., Wang L.,** (2012) “Heat Transfer in Nanofluids 2012”, *Advances in Mechanical Engineering*, Hindawi Publishing Corporation.
- Jang, S. P., and Choi, S. U. S.** (2006). Cooling Performance of a Microchannel Heat Sink with Nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 2457–2463.
- 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.
- Julia, J.E., Hernández, L., Martínez-Cuenca, R., Hibiki, T., Mondragón, R., Segarra, C., Jarque, J.C.** (2012). Measurement and modelling of forced convective heat transfer coefficient and pressure drop of Al₂O₃- and SiO₂-water nanofluids. *6th European Thermal Sciences Conference (Eurotherm 2012), Journal of Physics: Conference Series*, 395, 012-038.
- Jung, J.Y., Oh, H.S., Kwak, H.Y.** (2009). Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 466–472.
- Kaçar, E. N., Erbay, L. B.** (2013). Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış. *Mühendis ve Makina*, cilt 54, sayı 644, s.14-43.
- Kakaç, S., Liu, H.** (2012). Selection, Rating and Thermal Design of Heat Exchangers. *Third Edition CRC Press Taylor & Francis Group*, Florida, ABD.
- Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A.** (2009). Review Of Convective Heat Transfer Enhancement With Nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 3187–3196.
- Keblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S. and Eastman, J.A.** (2002). Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids). *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 45 (4), 855-863.
- Khairul, M.A., Alima, M.A., Mahbulul, I.M., Saidur, R., Hepbasli, A., Hossaina, A.** (2014). Heat transfer performance and exergy analyses of a corrugated plate heat exchanger using metal oxide nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50, 8–14.
- Khanafer, K., Vafai, K.** (2011). A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids. *Int. J. Heat Mass Trans.*, 54, 4410-4428.
- Krishnamurthy, S., Lhattacharya, P., Phelan, P.E. and Prasher, R.S.** (2006). Enhanced mass transport in nanofluids. *Nano Letters*, 6 (3), 419-423.
- Kulkarni, D.P., Das, D.K., Vajjha, R.S.** (2009). Application of nanofluids in heating buildings and reducing pollution. *Applied Energy*, 86 (12), 2566-2573.
- Kulkarni, D.P., Namburu, P.K., Bargar, H.E., Das, D.K.** (2008b). Convective Heat Transfer and Fluid Dynamic Characteristics of SiO₂-Ethylene Glycol/Water Nanofluid. *Heat Transfer Engineering*, 29(12):1027–1035.
- Kulkarni, D.P., Vajjha, R.S., Das, D.K., Oliva, D.** (2008a). Application Of Aluminum Oxide Nanofluids In Diesel Electric Generator As Jacket Water Coolant. *Applied Thermal Engineering*, 28 (14-15) 1774-1781.

- Lai, W.Y., Duculescu, B., Phelan, P.E., Prasher, R.S.** (2006). Convective Heat Transfer With Nanofluids In A Single 1.02-mm Tube. *Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE)*.
- Leong K.Y., Saidur R., Kazi S.N., Mamun A.H.**, (2010) “Performance Investigation Of An Automotive Car Radiator Operated With Nanofluid-Based Coolants (nanofluid as a coolant in a radiator)”, *Applied Thermal Engineering*, 30 2685–2692.
- Li, J.M., Li, Z.L., Wang, B.X.** (2002). Experimental viscosity measurements for copper oxide nanoparticle suspension. *Tsinghua Sci Technol*; 7(2), 198–201.
- Maiga, S.E.B., Palm, S.J., Nguyen, C.T., Roy, G., Galanis, N.** (2005). Heat Transfer Enhancement By Using Nanofluids in Forced Convection Flows. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26, 530–546.
- Masuda, H. Ebata, A. Teramae, K. Hishinuma, N.** (1993). Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles). *Netsu Bussei (Japan)*, 4 (4), 227–233.
- Maxwell, J. C.** (1873). *Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press, Oxford.
- Maxwell, J.C.** (1904). *A treatise on electricity and magnetism*. Oxford University Press, 480p, Cambridge.
- MEGEP** (Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi). (2007). Motorlu Araçlar Teknolojisi-Otomotiv Motor Mekaniği-3. *T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara*.
- MEGEP** (Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi). (2013). *Kimya Teknolojisi-Isı Değiştiriciler*. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Mohammed, H.A., Bhaskaran, G., Shuaib, N.H., Saidur, R.** (2011). Heat transfer and fluid flow characteristics in microchannels heat exchanger using nanofluids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1502–1512.
- Mukherjee, S., Paria, S.** (2013). Preparation and stability of nanofluids-a review. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9 (2), 63-69.
- Murshed, S.M.S., Leong, K.C., Yang, C.** (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO₂–water based nanofluid. *Int J Therm Sci*; 44: 367–73.
- Nagasaka, Y., Nagashima, A.** (1981). Absolute measurement of the thermal conductivity of electrically conducting liquids by the transient hot-wires method. *J Phys E: Sci Instrum*;14: 1435–40.
- Naraki, M., Peyghambarzadeh, S.M., Hashemabadi, Vermahmoudi, Y.** (2013). Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator. *International Journal of Thermal Science*, 66, 82–90.
- Nassan, T.H., Heris, S.Z., Noie, S.H.** (2010). A comparison of experimental heat transfer characteristics for Al₂O₃/water and CuO/water nanofluids in square cross-section duct. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 924–928.
- Nieh, H.M., Teng, T.P., Yu, C.C.** (2014). Enhanced heat dissipation of a radiator using oxide nano-coolant. *International Journal of Thermal Science*, 77, 252–261.
- Nguyen, C. T., Roy, G., Gauthier, C., and Galanis, N.** (2007). Heat Transfer Enhancement Using Al₂O₃–Water Nanofluid for and Electronic Liquid Cooling System, *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 1501–1506.

- Olle, B., Bucak, S., Holmes, T.C. Bromberg, L., Hatton, T.A., Wang, D.I.C.** (2006). Enhancement of oxygen mass transfer using functionalized magnetic nanoparticles. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45, 4355-4363.
- Ozerinç, S., Kakaç, S., Yazıcıoğlu, A.G.** (2010). Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review. *Microfluidics and Nanofluidics*, 8 (2), 145-170.
- Pak, B.C., Cho, I.Y.** (1998). Hydrodynamic And Heat Transfer Study Of Dispersed Fluids With Submicron Metallic Oxide Particles. *Experimental Heat Transfer*, 11 151–170.
- Palm, S. J., Roy, G., and Nguyen, C. T.** (2006). Heat Transfer Enhancement with the Use of Nanofluids in Radial Flow Cooling Systems Considering Temperature-Dependent Properties, *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 2209–2218.
- 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., Kanaris, A.G., Antoniadis, K.D., Mouza, A.A., Paras, S.V.** (2009). Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, 691–699.
- Peng X., Yu X.**, (2007) “Influence factors on suspension stability of nanofluids”, *J Zhejiang Univ, Eng Sci*; 41: 577–80.
- Peyghambarzadeh, S.M., Hashemabadi, S.H., Hoseini, S.M., Seifi, J.M.** (2011b). Experimental Study Of Heat Transfer Enhancement Using Water/Ethylene Glycol Basednanofluids As A New Coolant For Car Radiators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38 (2011) 1283–1290.
- 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 (2013) 8-16.
- Putnam, S. A., Cahill, D. G., Braun, P. V., Ge, Z., Shimmin, R. G.** (2006). Thermal Conductivity of Nanoparticle Suspensions,” *Journal of Applied Physics*, 99, 084308-6.
- Rashmia, 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*, <http://dx.doi.org/10.1080/17458080.2013.848296>.
- Rea, U., McKrell, T., Hu, L., Buongiorno, J.** (2009). Laminar convective heat transfer and viscous pressure loss of alumina–water and zirconia–water nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 2042–2048.
- Roco, M. C.**, (1998) “Nanoparticle and nanotechnology research in the U. S. A.”, *J. Aerosol Sci.*, 29: 749–751.
- Routbort, J. et al.**, (2009). Argonne National Lab, *Michellin North America, St. GobainCorp.*, (<http://www1.eere.energy.gov/industry/nanomanufacturing/pdfs/nanofluidsindustrialcooling.pdf>) Erişim Tarihi: 03.10.2013.
- Roy, G., Nguyen, C. T., and Lajoie, P.R.** (2004). Numerical Investigation of Laminar Flow and Heat Transfer in a Radial Flow Cooling System with the Use of Nanofluids, *Superlattices and Microstructures*, vol. 35, pp. 497–511.
- Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A.** (2011). A Review On Applications And Challenges Of Nanofluids. *Renewable Sustainable Energy*, Rev. 15, 1646-1668.

- Schroeder S.P., Morris, G.K.** (2010). Nanofluids in a Forced-Convection Liquid Cooling System: Benefits and Design Challenges. *General Electric Healthcare Systems, Magnetic Resonance Center*.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5501326>.
- Sharma, K.V., Syam, Sundar, L., Sarma, P.K.** (2009). Estimation Of Heat Transfer Coefficient And Friction Factor In The Transition Flow With Low Volume Concentration Of Al₂O₃ Nanofluid Flowing In A Circular Tube And With Twisted Tape Insert. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36 503–507.
- Singh, D., Toutbort, J., Chen, G.** et al., (2006). Heavy vehicle systems optimization merit review and peer evaluation. *Annual Report, Argonne National Laboratory*.
- Sommers, A.D., Yerkes, K.L.** (2010). Experimental investigation into the convective heat transfer and system-level effects of Al₂O₃-propanol nanofluid. *Journal of Nanopart Res.*, 12:1003–1014.
- Strandberg, R., Das, D.K.** (2010). Finned Tube Performance Evaluation With Nanofluids And Conventional Heat Transfer Fluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 49 580–588.
- Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M.** (2006). Nanoakışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi. *Mühendis ve Makine*, Cilt:47, Sayı:559, s.29-34.
- Şengün, H.İ.** (2014). Motorlar Yapı ve Hesabı. *Umutepe Yayınları*, Yayın No:123, Mühendislik Dizisi:15, s.345-355.
- Teng, T.P., Hung, Y.H., Teng, T.C., Mo, H.E., Hsu, H.G.** (2010). The effect of alumina/water nanofluid particle size on thermal conductivity. *Appl Therm Eng*, 30 (14-15), 2213–2218.
- 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., Smith, D.S., Yu, W., France, D.M., Singh, D., Routbort, J.L.** (2010). Particle size and interfacial effects on thermo-physical and heat transfer characteristics of water-based α -SiC nanofluids. *Nanotechnology*, 21, 215703, (10pp).
- 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.
- Touloukian, Y. S., Powell R. W., Ho C. Y., Klemens P. G.** (1970). *Thermophysical Properties of Matter*. Vol. 2, Plenum Press, New York.
- Tsaia, C.Y., Chiena, H.T., Ding, P.P., Chanc, B., Luhd, T.Y., Chena, P. H.** (2004). Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance. *Materials Letters*, 58, 1461.
- Ülger, P., Akdemir, B., Kayışoğlu, B., Sağlam, C., Aktaş, T., Bayhan, Y., Korkmaz, D.D.** (2011). *Termik Motorlar. Hiperlink Yayınları*, Yayın No:21, s.347-357.
- Vajjha, R.S., Das, D.K., Kulkarni, D.P.** (2010a). Development of new correlations for convective heat transfer and friction factor in turbulent regime for nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 4607–4618.
- Vajjha, R.S., Das, D.K., Namburu, P.K.** (2010b). Numerical study of fluid dynamic and heat transfer performance of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31, 613–621.

- Vassallo, P., Kumar, R. and D'Amico, S.** (2004). Pool boiling heat transfer experiments in silica-water nano-fluids. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 47 (2), 407-411.
- Vermahmoudia, Y., Peyghambarzadeha, S.M., Hashemabadib, S.H., Naraki, M.** (2012). 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.
- Wang, B., Li, C., Peng, X.** (2003). Research on stability of nano-particle suspension. *J Univ Shanghai Sci Technol*; 25: 209–12.
- Wang, X., Xu, X., Choi, S.U.S.** (1999). Thermal Conductivity of Nanoparticle - Fluid Mixture, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13, 474-480.
- Wang, X.Q., Mujumdar, A.S.** (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *Int J Therm Sci*; 46: 1–19.
- Wei, X., Zhu, H., Kong, T., Wanga, L.** (2009). Synthesis and thermal conductivity of Cu₂O nanofluids. *Int J Heat Mass Transfer*; 52: 4371–4.
- Wen, D., Lin, G., Vafaei, S., Zhang, K.** (2009). Review of nanofluids for heat transfer applications. *Particuology*; 7: 141–50.
- Witharana, S., Chen, H., Ding, Y.** (2010). Nanofluids for Heat Transfer. *Handbook of Nanophysics: Nanoparticles and Quantum Dots*, 12p. Leeds.
- Wong, K.V. and Leon, O.** (2010). Applications of nanofluids: current and future. *Advances in Mechanical Engineering*, 1-11, Article ID 519659.
- Wu, S., Zhu, D., Zhang, X. and Huang, J.** (2010). Preparation and melting/freezing characteristics of Cu/paraffin nanofluid as phase-change material (PCM). *Energy and Fuels*, 24(3), 1894-1898.
- Xie, H., Lee, H., Youn, W., Choi, M.** (2003). Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities. *J. Appl. Phys.*, 94 (8), 4967-4971.
- Xie, H., Li, Y., Yu, W.** (2010). Intriguingly High Convective Heat Transfer Enhancement Of Nanofluid Coolants In Laminar Flows. *Physics Letters A* 374 2566–2568.
- Xuan, Y., Li, Q.** (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *Int. J. of Heat and Fluid Flow*, 21 (1), 58-64.
- Xuan, Y., Roetzel, W.** (2000). Conceptions For Heat Transfer Correlation Of Nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 3701–3708.
- Yardıı, M.H.** (2008). Motor Teknolojisi. *Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Yayın No:1298, Teknik Bilimler*: 101, s.226-235.
- You, S.M. Kim, J.H., Kim, K.H.** (2003). Effect of nanoparticles on critical heat flux of water in pool boiling heat transfer. *Applied Physics Letters*, 83 (16), 3374-3376.
- Yu, Q., Kim, Y.J., Ma, H.** (2008). Nanofluids with plasma treated diamond nanoparticles. *Applied Physics Letters*, 92 (10), Article ID 103111.
- Yu, W., France, D.M., Choi, S.U.S., Routbort, J.L.** (2007). Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications. *Tech. Rep.*, 78, ANL/ESD/07-9, Argonne National Laboratory.
- 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.

- Zhang, J., Diao, Y.H., Zhao, Y.H., Tang, X., Yu, W.J., Wang, S. (2013).** Experimental study on the heat recovery characteristics of a new-type flat micro-heat pipe array heat exchanger using nanofluid. *Energy Conversion and Management*, 75, 609–616.
- Zhang, L.L., Jiang, Y., Ding, Y.L., Povey, M. and York, D.W. (2007).** Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 479-489.
- Zhang, X., Gu, H., Fujii, M. (2006).** Experimental study on the effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluid. *Int J Thermophys*; 27: 558–69.
- Zhu, H. T., Zhang, C. Y., Tang, Y. M., Wang, J. X. (2007).** Novel Synthesis and Thermal Conductivity of CuO Nanofluid, *The Journal of Physical Chemistry C*, 111, 1646-1650.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Ferhat KILINÇ
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas
E-posta Adresi	fkilinc@cumhuriyet.edu.tr



Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Özel Sultan Murat Lisesi, 2000
Lisans	Çukurova Üniversitesi, 2005
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2008-2011
Doktora	Cumhuriyet Üniversitesi, 2011-2015

İş Tecrübesi

Sistem Mühendislik	Proje Mühendisi, 2005-2007
Teknotip Doğalgaz	Yetkili Mühendis, 2006-2007
Cumhuriyet Üniversitesi	Araştırma Görevlisi, 2008-

Bilimsel Yayınlar

Kılınç, F., Buyruk, E., Fertelli, A., Karabulut, K., (2013). "Farklı Yalıtım Uygulamalarının Isı Kaybına Olan Etkilerinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Teskon-Sodex Fuarı (TESKON 2013), İzmir, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:136, Sayfa:53-64.

Karabulut, K., Buyruk, E., Kılınç, F., Karabulut, Ö.O., (2013). "Farklı Geometrilere Oluşan Kanatçıklı Plakalı Isı Değiştiricileri İçin Isı Transferinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Teskon-Sodex Fuarı (TESKON 2013), İzmir, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:137, Sayfa:35-48.

Buyruk, E., Karabulut, K., Kılınç, F., (2013). "Three Dimensional Numerical Investigation of Heat Transfer Enhancement in Plate Fin Heat Exchangers With Different Fin Type", 22st International Symposium on Heating, Refrigerating and Air Conditioning Conference, Zagreb.

Fertelli, A., Günhan, G., Buyruk, E., Kılınç, F., (2013). "Freezing Around Different Geometries Placed in a Rectangular Cavity", 22st International Symposium on Heating, Refrigerating and Air Conditioning Conference, Zagreb.

Can, A., Buyruk, E., Retzep, A., Kılınç, F., (2013). "Investigation of a Method For Volume Temperature Automation With Groundwater In Natural Cooling", 22st International Symposium on Heating, Refrigerating and Air Conditioning Conference, Zagreb.

Buyruk, E., Kılınç, F., Fertelli, A., Aksoy, M. (2011). "Application of Different Insulation Materials for Cold Climate Regions", 21st International Symposium on Heating, Refrigerating and Air Conditioning Conference, Zagreb.

Buyruk, E., Fertelli, A., Can, A., Karabulut, K., Kılınç, F., Erdabak, M. (2011). "Thermographic Survey Of Different Buildings In Sivas – Turkey", 21st International Symposium on Heating, Refrigerating and Air Conditioning Conference, Zagreb.

Topal, M., Arslan, E.I., Kılınç, F., (2009). "Dünya ve Biokütle Enerjisi", 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24-27 Haziran, s. 1223-1227, Sivas.

Projeler

Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Uygulamalı Olarak Belirlenmesi, M-393 Grup Araştırma Projesi, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2009-2012, Araştırmacı.

Oto Radyatörlerde Nanoakışkan Kullanılarak Isı Aktarım Performansının Arttırılması. M-526 Doktora Tez Projesi. Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2013-2015, Araştırmacı.

Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler

TMMOB

Makine Mühendisleri Odası Üyesi