



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

**NANOAKIŞKAN KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE
ENTROPİ-EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nihat OCAK
(201492181190)**

**Enerji Bilimi ve Teknoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Koray KARABULUT**

**SİVAS
TEMMUZ 2019**

Nihat OCAK'ın hazırladığı ve “**NANOAKIŞKAN KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE ENTROPİ-EKSERJİ ANALİZİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Dr. Öğr. Üyesi Koray KARABULUT Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ahmet CAN İstanbul Rumeli Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ertan BUYRUK Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

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

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas 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.





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

© Nihat OCAK, 2019

Çalışma sırasında bana destek olan aileme ve tüm arkadaşlarıma...

ETİK

Sivas 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, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

12.07.2019

Nihat OCAK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana daima yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen başta çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Koray KARABULUT'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bigilerini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Mustafa Caner' e teşekkür ediyorum.

Çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Ertan BUYRUK hocama çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her döneminde başarabildiğim her işte ve tezimin tamamlanmasında manevi desteklerini hissettiğim aileme şükran duygularımı sunarım.

Nihat OCAK

ÖZET

NANOAKIŞKAN KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE ENTROPİ-EKSERJİ ANALİZİ

Nihat OCAK

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Koray KARABULUT

2019, 94 + xvii sayfa

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında, nanoakışkanların hazırlanması, uygulama alanları ve termofiziksel özellikleri hakkında bilgiler verilerek, incelenen deneysel sistemin entropi ve ekserji analizi ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Tezdeanalizi yapılan deneysel test bölümü,iç çapları 8 mm, 12 mm, 16 mm ve 20 mm, cidar kalınlığı 2 mm ve uzunluğu 1830 mm olan dört farklı çapta ve dış yüzeyinde üniform sabit ısı akısı sınır şartı olan yatay bakır borulardan oluşmaktadır.Deneylerde, %0,01 ve %0,02 hacimsel konsantrasyonlarda grafen oksit-su (GO) nanoakışkanı kullanılırken, 0,9 l/dak., 1,2 l/dak., 1,5 l/dak. ve 1,8 l/dak. (laminerden türbülansa) olmak üzere dört farklı hacimsel debi ile çalışılmıştır. Ayrıca, çalışmada $D_{ic}=20$ mm ve $D_{ic}=8$ mm iç çaplı borular için kullanılan en düşük ve en yüksek ısı akısı değerleri 1811.873 W/m^2 - 5073.244 W/m^2 olmak üzere iki farklı ısı yükü değeri (250 W ve 350 W) kullanılmıştır.

İncelenen borularda meydana gelen ısı transferi ($S_{üretim, t}$) ve sürtünme kaynaklı ($S_{üretim, f}$) entropi üretim miktarları, tüm borular için farklı debi ve GO-Su nanoakışkanları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

8 mm iç çaplı boru boyunca %0.01 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkınının 3623.746 W/m^2 (250 W) ısı akısında entropi üretim miktarı farklı debilerde hesaplanmıştır. 1,2 l/dak hacimsel debiye sahip nanoakışkan için 0,9 l/dak hacimsel debili nanoakışkana göre entropi üretiminin %27,3 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, $5073W/m^2$ (350 W)

ısı akısında %0,02'lik konsantrasyona sahip nanoakışkanın %0,01'lik konsantrasyondaki nanoakışkana göre entropi üretimi %3,4 azalmaktadır.

Bununla birlikte, 20 mm iç çaplı boru boyunca 2536 W/m^2 (350 W) ısı akısında 1,2 l/dak. hacimsel debili nanoakışkan 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkana göre %5,8 daha az entropi üretirken, 1811 W/m^2 (250 W) ısı akısında 1,2 l/dak. debili nanoakışkan 0,9 l/dak. debili nanoakışkana göre %10,5 daha az entropi üretmektedir.

Nanoakışkanların ekserji analizleri değerlendirildiğinde, 8 mm çaplı boruda 250 W ısı yükünde, 1,8 l/dak. debili %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının, 0,9 l/dak. debili ve aynı konsantrasyonlu nanoakışkana göre %61 daha fazla çıkış ekserjisi değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. 1,5 l/dak.'lık hacimsel debi ve %0,02 konsantrasyona sahip GO-Su nanoakışkanının ikinci yasa verimi %96 iken, %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının ikinci yasa veriminin ise %93,6 olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, nanoakışkan konsantrasyonundaki artışla artan ısı transferine bağlanabilir.

20 mm iç çaplı boru için yapılan ekserji değerlendirmelerinde ise 250 W ısı yükü ve 0.9 l/dak. debide %0,02 GO-Su nanoakışkanı için ikinci yasa verimi %85,6 iken 1.5 l/dak. debide %91,3 değerine ulaşmaktadır. Bununla birlikte, entropi üretimine paralel olarak boru çapı arttıkça ikinci yasa verimi azalmaktadır.

Ayrıca, taban akışkanı olan saf suya göre ikinci yasa verimlerinin yüksek olması nanoakışkanın faydalanılabilir iş potansiyelinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Nanoakışkan, Grafen oksit (GO), Entropi, Ekserji, İkinci yasa verimi

ABSTRACT

ENTROPY-EXERGY ANALYSIS IN HEAT EXCHANGERS

USED NANOFLUID

Nihat OCAK

Master of Science Thesis

Department of Energy Science and Technology Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Koray KARABULUT

2019, 94 + xvii pages

In this master's thesis, informations about the preparation, application areas and thermophysical properties of nanofluids were given and entropy and exergy analysis of the researched experimental system were investigated in detail.

The experimental test section, which is analyzed in the thesis, consists of four different inner diameters of 8 mm, 12 mm, 16 mm and 20 mm, wall thickness of 2 mm and length of 1830 mm and horizontal copper pipes with uniform constant heat flux boundary condition on the outer surface. In the experiments, while graphene oxide (GO)-water nanofluids with 0.01% and 0.02% volumetric concentrations were used, four different volumetric flow rates (laminar to turbulence) as 0.9 l/min, 1.2 l/min, 1.5 l/min. and 1.8 l/min. were studied. Besides, two different heat load values (250 W and 350 W) were employed as 1811.873 W/m²-5073.244 W/m² which were used the lowest and the highest heat flux values for tubes with inner diameters of $D_{id}=20$ mm and $D_{id}=8$ mm in the study.

The amount of entropy generation in the heat flux of 3623.746 W/m² (250 W) of GO-Water nanofluid with 0.01% concentration along the 8 mm inner diameter pipe was calculated in different flow rates. For nanofluid having a volumetric mass flow of 1.2 l /min., it was determined that entropy generation was 27.3% lower than nanofluid with 0.9 l/min. Furthermore, nanofluid entropy generation with a concentration of 0.02% in the 5073 W/m²(350 W) heat flux decreased by 3,4% when compared to the nanofluid concentration of 0,01%.

However, while the nanofluid with 1,2 l/min. generates 5,8% lower entropy than nanofluid with 0,9 l/min. at the 2536 W/m² (350 W) heat flux along the 20 mm inner diameter pipe, nanofluid with 1.2 l/min. flow rate at 1811 W/m² (250 W) heat flux produces 10.5% less entropy according to 0.9 l / min.

When evaluated the exergy analysis of nanofluids, In the 8 mm diameter pipe with 250 W heat load, it has been found that GO-Water nanofluid with a concentration of 0.01% and volumetric flow rate of 1.8 l/min. has 61% more outlet exergy value compared to 0,9 l/min. and same concentration nanofluid. The second law efficiency of GO-Water nanofluids with a volumetric flow rate of 1.5 l/min and a concentration of 0.02% was found to be 96%, while the second law efficiency of GO-Water nanofluid with 0.01% concentration was 93.6%. This result can be attributed to increased heat transfer by an increase in the concentration of nanofluid.

In exergy evaluations for pipes with an internal diameter of 20 mm, while the second law efficiency at 250 W heat load and 0.9 l/min. is 85,6% for 0,02% GO-Water nanofluid, it reaches to 91,3% value at flow rate of 1,5 l/min. However, as the pipe diameter increases in parallel to entropy generation, the second law efficiency decreases. In addition, the higher efficiency of second law compared to pure water as base fluid shows that useful work potential of nanofluids is higher

Keywords: Nanofluid, Graphene oxide (GO), Entropy, Exergy, Second law efficiency

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. NANOAKIŞKAN	2
2.1 Nanoakışkanın Termofiziksel Özellikleri	3
2.1.1 Nanoakışkanın ısı iletkenliğinin ölçülmesi.....	4
2.1.2 Isıl sınır tabaka	5
2.1.3 Viskozite	6
2.1.4 Yoğunluk.....	8
2.2 Nanoakışkanlarda Isı Transferi.....	8
2.3 Nanoakışkan İle Isı Transferi İçin Literatür Özeti.....	10
2.4 Nanoakışkanların Uygulama Alanları	21
2.5 Nanoakışkanların Kararlılığı	22
2.6.1 Tek adım yöntemi.....	25
2.6.2 İki adım yöntemi	26
2.6.3 Tek faz ve iki faz.....	26
3. ENERJİ, ENTROPİ ve EKSERJİ	30
3.1 Entropi.....	30
3.1.1 Tersinmezlik.....	33
3.2 Ekserji	34
3.2.1 Ekserji analizi.....	35
4. LAMİNER ve TÜRBÜLANSLI AKIŞ	38
4.1 Reynold Sayısı.....	38
4.2 Nusselt Sayısı	39
5. DENEYSEL SİSTEM VE DENKLEMLER	40
5.1 Deneysel Sistem	40
5.2 Denklemler	44
6. SONUÇLAR	49

6.1 Entropi Hesapları.....	49
6.2. Ekserji Hesapları.....	73
7. GENEL SONUÇLAR.....	86
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	94



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 GO-Al ₂ O ₃ nanoakışkanının (a) 100 nm mikroskobik TEM görüntüsü.....	28
(b) 20 nm mikroskobik TEM görüntüsü	28
Şekil 5.1 Isı transfer değerlerinin ölçülmesi için kurulan deneysel sistemin gösterimi .	41
Şekil 5.2 Test borusu için termokupl ve akış arasındaki ısıl direncin gösterimi.....	44
Şekil 6.1 5073 W/m ² ısı akısı altında %0,01 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanının saf suyla 0,9 l/dak.ve 1,8 l/dak.debilerde karşılaştırılması.....	50
Şekil 6.2 Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkanının 3623,746 W/m ² ısı akısında ısıl (a), sürtünme (b) ve toplam (c) entropi üretim miktarı değişimi .	52
Şekil 6.3 Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkanının 5073W/m ² ısı akısında ısıl (a), sürtünme (b) ve toplam (c) entropi üretim miktarı değişimi.....	54
Şekil 6.4 Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki grafen oksit (GO) nanoakışkanının farklı hacimsel debilerde ve farklı ısı akılarında entropi üretim miktarı karşılaştırılması verilmiştir	55
Şekil 6.5 %0,02 konsantrasyonda 0,9 l/dak.ve 1,5 l/dak.hacimsel debilerde farklı ısı akısında entropi üretim miktarı karşılaştırılması	55
Şekil 6.6 Boru boyunca 1,2 l/dak. hacimsel debideki grafen oksit (GO) nanoakışkanının %0,01 ve %0,02'lik konsantrasyonlarda farklı ısı akılarında entropi üretim miktarı değişiminin karşılaştırılması.....	56
Şekil 6.7 0,9 l/dak. hacimsel debide 5073 W/m ² ısı akısındaki %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda hazırlanmış olan GO-su nanoakışkanının Be değerleri.....	57
Şekil 6.8 0,9 l/dak. hacimsel debide 5073 W/m ² ısı akısındaki farklı konsantrasyonlarda birim uzunluk başına entropi üretim oranı	58
Şekil 6.9 2717,8 W/m ² ısı aksında %0,01 konsantrasyonda GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak., 1,2 l/dak.ve 1,5 l/dak. hacimsel debilerde boru boyunca toplam entropi üretimi	59
Şekil 6.10 2717,8 W/m ² ısı aksında %0,01 konsantrasyonda GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak, 1,2 l/dak.ve 1,5 l/dak. hacimsel debilerde boru boyunca sürtünme entropisi üretimi	59
Şekil 6.11 %0,02 konsantrasyonda GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak. ve 1,2 l/dak. hacimsel debilerde 2717 W/m ² ve 3804 W/m ² ısı akılarında boru boyunca entropi üretimi	60
Şekil 6.12 1,5 l/dak.hacimsel debili nanoakışkanın 2717 W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 GO-su nanoakışkanlarının saf su ile boru boyunca entropi üretim miktarları	61
Şekil 6.13 %0,01 konsantrasyonda 2174W/m ² ısı akısında faklı hacimsel debilerdeki nanoakışkanın 0,2m - 0,4m –1m ve 1,8m de entropi üretim miktarları.....	62
Şekil 6.14 Boru boyunca %0,01 konsantrasyonda 3043W/m ² ısı akısında farklı debideki nanoakışkanların toplam entropi üretim miktarları verilmiştir.....	63
Şekil 6.15 0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-su nanoakışkanı ile saf suyun boru boyunca entropi hesabı .	64
Şekil 6.16 3043 W/m ² ısı aksında farklı debilerin farklı konsantrasyonlarla entropi değerlerinin karşılaştırılması ve boru boyunca entropi hesabı	65
Şekil 6.17 %0,01 konsantrasyonda farklı ısı akılarında ve farklı hacimsel debilerde boru boyunca entropi üretim miktarları	66

Şekil 6.18 0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m ² ısı akısında sürtünme entropisi üretim miktarı	67
Şekil 6.19 0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m ² ısı akısındaki farklı konsantrasyonlarda birim uzunluk başına bölgesel entropi üretim oranı.....	68
Şekil 6.20 %0,02 konsantrasyonda 1811,87 W/m ² ısı akısında, farklı debilerde boru boyunca entropi üretim hesabı.....	69
Şekil 6.21 0,9 l/dak. hacimsel debide 1811 W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanının saf suyla olan entropi üretim miktarının karşılaştırması	70
Şekil 6.22 1811 W/m ² ısı akısında 0,9 l/dak. ve 1,5 l/dak. hacimsel debili, %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanların entropi üretim hesabı	71
Şekil 6.23 %0,02 konsantrasyondaki GO-su nanoakışkanının farklı debiler ve farklı ısı akılarında entropi üretim hesabı	72
Şekil 6.24 0,9 l/dak. hacimsel debide 1811 W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanının saf suyla olan entropi üretim miktarı karşılaştırması	73
Şekil 6.25 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 3623,746 W/m ² ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi	74
Şekil 6.26 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 3623,746W/m ² ısı akısında, farklı debilerdeki ikinci yasa verimi.....	75
Şekil 6.27 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 5073W/m ² ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi	76
Şekil 6.28 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 3804,93 W/m ² ısı akısında, farklı debilerdeki ikinci yasa verimi	77
Şekil 6.29 %0,01 GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 2717,8 W/m ² ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi	78
Şekil 6.30 %0,01 GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 2717,8 W/m ² ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi	79
Şekil 6.31 2174,24 W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde çıkış ekserjisi	80
Şekil 6.32 2174,24 W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimi	81
Şekil 6.33 3043,94 W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde çıkış ekserjisi	82
Şekil 6.34 3043,94 W/m ² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimi.....	83
Şekil 6.35 1811,873 W/m ² ısı akısında%0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde çıkış ekserjisi	84
Şekil 6.36 1811,873 W/m ² ısı akısında %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimi	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Konsantrasyon ve dinamik viskozite arasındaki değişim.....	7
Çizelge 2.2 Literatürde mini ve mikrokanelarla ilgili çalışmalar.....	15
Çizelge 2.3 Günümüze kadar literatürde nanoakışkan çalışma akışkanı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan düz boruda zorlanmış taşınım deneysel çalışmaların özeti.....	19
Çizelge 2.4 Literatürde nanoakışkanların hazırlanma yöntemleri.....	29



SİMGELER DİZİNİ

A	Alan, m ²
D	Çap, mm
h	Entalpi, j/kg
c_p	Özgül ısı, J/kg K
D	Boru çapı, m
f	Sürtünme faktörü
g	Yerçekimi ivmesi, m/s ²
h	Isı taşınım katsayısı, W/m ² K
h_k	Yük kaybı, m
μ	Viskozite, kg/m ² s
Nu	Nusselt sayısı
Q	Isı, Watt
k	Isıl iletkenlik, W/mK
ṁ	Kütleli debi, kg/s
q"	Isı akısı, W/m ²
P	Borunun çevre uzunluğu, m
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık, °C
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
φ	Nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu
τ	Kayma gerilmesi, Pa
S	Entropi W/K
E	Ekserji Watt
Be	Bejan sayısı

Alt indisler

o	Çıkış
m	Ortalama
bf	Taban akışkanı
nf	Nanoakışkan
ic	İç çap
e	Elektrik
t	Isıl
f	Sürtünme

1. GİRİŞ

Isı transfer sistemlerinin tasarımı için göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametre sistemin termodinamik performansdır. Bu performansın yüksek düzeye çıkarılabilmesi için tersinmezliğin azaltılması gerektiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir A. Bejan (1980). Tersinmezlikler, entropi üretim oranı ile ölçülebilir. Araştırmacılar, farklı sistemler için tersinmezlik, entropi ve ekserji analizini yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda hangi kurulumun veya sürecin verimli olduğuna karar vermek için güçlü bir araç olduğu gösterilmiştir Y. A. Çengel, Boles (2006). Bir sistemde entropi üretimi, sürtünme, karıştırma, kimyasal reaksiyon, sonlu sıcaklık farkından kaynaklı ısı transferi gibi tersinmezliklerin oluşturduğu entropinin ölçüsüdür. Bejan, temel konvektif ısı transferinin entropi oluşturma konusundaki çalışmalarında yuvarlak boru, düz bir plaka üzerinde sınır geometrileri ve çeşitli silindirlerde zorlanmış ısı transferi için entropi üretme denklemlerini türetmiştir. Sistemlerde entropi oluşumunun ısı tersinmezlikler ve sürtünme kayıplarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Entropi üretiminin kurulan sistemlerin tasarımıyla ilişkili olduğu bilinmektedir. Nanoakışkanlar da bu sisteme uyum sağlayan materyal olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Nanoakışkan içerisindeki nanoparçacıkların, ısı transferinde nanoakışkanın termodinamik özelliklerini iyileştirdiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan analizlerde akışkan olarak nanoakışkanların kullanılmasıyla minikanal ve mikrokanallarda entropi üretiminin minimize edildiği ortaya konulmuştur.

2. NANOAKIŞKAN

Yenilikçi malzeme teknolojisi, nanoakışkanlar olarak bilinen yeni ısı transferi akışkanları sınıfını üretmeyi mümkün kılmıştır. Nanoakışkanlar, nanometre boyutlu (1–100 nm) katı materyalleri (nanofiberler, nanotüpler, nanoteller, nano çubuklar, nano tabakalar veya damlacıklar) baz sıvılarda süspense ederek oluşturulmuş katı-sıvı kompozit malzemelerdir. Nanoakışkan terimini ilk defa kullanan Choi nanoparçacıkları süspense ettiği akışkanda düşük konsantrasyonlarda (%1 den daha az) nanoparçacık eklenmesiyle akışkanın ısı iletkenlik değerinde iki katı kadar bir artış gözlemlenmiştir Choi, S.U.S. (1995).

Mikro ve nanotaneceklerin ısı transfer sistemlerinde kullanıldığında, zaman içerisinde çökme, aşınma ve tıkanma gibi sorunlarla karşılaşmıştır Şahin (2004). Parçacık boyutu nano olduğunda bu durum minimize edilmektedir. Ayrıca akışkanlarda süspansiyon haline gelmiş nano boyutlu parçacıklar bu akışkanların ısı performansında bir gelişme sağlamıştır.

Nanoparçacık ilavesiyle oluşturulan nanoakışkanlar baz (taban) akışkana göre daha yüksek ısı özelliklere sahiptir. Bu sebeple ısı transferi uygulamalarında önemli noktadadır. Nanoakışkan kullanımının amacı, nanoakışkanın taban akışkan içerisinde mümkün olduğunca düşük konsantrasyonla homojen bir dağılım sağlanarak en yüksek ısı transferini gerçekleştirmektir Bhalla (2012).

Nanoparçacıklar metalik, metalik olmayan, oksit, karbür, seramik, karbonik, farklı nanoparçacıkların (hibrit nanopartiküller) ve hatta nano ölçekli sıvı damlacıkların karışımı da olabilir. Nanoakışkanlar sanayi, ticari, medikal ve ulaştırma gibi alanlarda ısı iletim performansının artırılması için tercih edilebilir Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A. (2011).

Akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutlarında parçacık ilave edilmesiyle akışkanların ısı transferindeki artışı gözlemlenebildiği çalışmalar yapılmıştır. Ancak boru ve kanal içerisindeki büyük basınç düşüşleri tortulaşma, çökme ve aşınma gibi problemlerden kaynaklı endüstriyel işlerde uygulamak araştırmacılar tarafından uygun görülmemiştir. Ayrıca mikrometre ve milimetre boyutundaki parçacıklarla hazırlanan süspansiyonların yeteri kadar kararlı olmadıkları gözlemlenmiştir. Bu nedenle de mikro kanallarda tıkanmalara neden olmuştur. Son yıllarda malzeme bilimindeki gelişmelere

paralel olarak nanometre boyutundaki parçacıkların üretilmesiyle oluşan sorunların giderilme olanağı doğmuştur. Isı iletkenlikleri yüksek olan bakır, karbon, altın, gümüş vb. elementlerin nanoparçacık boyutlarındaki katı partiküllerinin baz sıvılarının içerisine katılarak verimi yüksek yeni bir ısı transfer tipi ortaya çıkmıştır. Nanoparçacıklarla baz sıvısı arasında ara yüzey etkileşimi olduğunda akışkanın enerji aktarımı artmıştır. Enerjinin yükselmesiyle beraber yüzey alanının artışıyla daha fazla ısı transferi sağlanmıştır Şahin(2010).

Literatürde nanoakışkanların kullanıldığı çok sayıda deneysel ve teorik çalışma mevcuttur. Bundan yaklaşık yüz yıl önce Maxwell'in mikro boyuttaki katı parçacıkları akışkanlarla karıştırılarak oluşturulan mikroakışkanlar, nanoakışkan düşüncesine sebep olmuştur.

Nanoakışkanların aranan özelliklerinin başında ısıl performansı etkileyen faktörler gelmektedir. Bunlar ısıl iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı, ısı transfer katsayısıdır. Bu faktörleri ayrı ayrı inceleyecek olursak;

2.1 Nanoakışkanın Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkanın ısı transfer performansının artışında ısıl iletkenlik önemli bir faktördür. Katı metaller, akışkanlara göre daha iyi bir iletken olduğu düşüncesiyle, bir akışkana parçacığın eklenmesiyle ısı transferinde verim artışına sebep olması beklenmiştir Şahin ve diğ. (2010). Baz akışkan içerisine karıştırılmış nanoparçacıkların dönme yarıçapının küçülmesi oranında ısıl iletkenlik artmaktadır. Bunun sebebi küçük parçacıkların daha rahat ve hızlı hareket edebilmeleridir. Böylelikle ısı transfer performansında artışa sebep olurlar Dilek, E. F.(2008). Nanoakışkanlar, Brownian dediğimiz parçacıkların kümelenmesini sağlayan rastgele hareketlere sahiptir. Brownian hareketi ısıl iletkenliği artırabilir fakat doğrudan bir artış sağlayamaz. Partikül hareketi Brownian hareketinden dolayı fazla miktarda ısı taşımak için yavaş sayılabilir. Akışkan ve nanaopartikül birleşiminden oluşan nanoakışkanın ısıl iletkenlik üzerinde çeşitli etkileri vardır. Nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin bağlı olduğu parametreler; nanoakışkan viskozitesi, temel akışkanın ısıl iletkenlik katsayısı nanopartikülün fiziksel ve kimyasal özellikleri (yoğunluk, gizli ısı ve katsayı gibi) ve nanopartikülün hacimsel oranı gibi faktörlere göre değişmektedir.

Bunların yanı sıra nanopartikül kümesinin topaklanması ve dönme yarıçapı da ısıl iletkenlik için önemli bir faktördür. Akışkan içerisindeki nanoparçacıkların düşük

topaklanması miktarı oranında ısı iletkenliği artış gösterecektir. Bunun sebebi ise küçük kümelerin daha hızlı hareket etmesi ve nanoakışkan içerisinde nanoparçacıkların daha uzak mesafelere ulaşması nanoakışkanda çok daha gcl bir enerji taşınımına sebep olur. Nanoparçacıklar büyük yüzey alanı ve yüzey aktivitesinin etkisiyle topaklanmaya eğilimlidir. Bu yüzden stabiliteyi artırarak homojen bir yapı oluşturmak için en ideal yöntem yüzey aktif madde (srfaktif) kullanımıdır. Fakat srfaktif maddeler belirli bir sıcaklığın üzerine çıkıldığında özelliğini kaybedebilirler iftci H. (2014). Nanoakışkanlarda, ısı iletkenliği etkileyen diğer parametreler; nanopartikülün malzeme özellikleri, akışkan sıcaklık derecesi, nanopartikülü topaklanma yarıçapı, pH değer ve nanopartikülün boyutlarına ve şekillerine de bağlıdır. Hacimsel oran arttıkça ısı iletkenlik oranı da artacaktır.

2.1.1 Nanoakışkanın ısı iletkenliğinin llmesi

Nanoakışkanın termal iletkenliğinin, konsantrasyonuna ve nanoparçacıkların özelliklerine önemli bir şekilde bağlı olduğu bilinmektedir. Nanoakışkanın termal iletkenliğini teorik bir yaklaşımla kesin olarak belirlemek neredeyse imkansızdır. Nanoakışkanların termal iletkenliğini belirlemek için, deneysel yaklaşıma ihtiyaç vardır. Bu nedenle, geçici sıcak tel yöntemi, nanoakışkanların termal iletkenliğini ölçmek için en çok kullanılan yöntemdir.

Uzun, dikey bir sıcak tel ideal ortamda, sıfır ısı kapasitesi ve sonsuz ısı iletkenliğine sahip, termodinamik dengede olan bir akışkana daldırılır. Birim uzunluk başına bir ısı akısı (q) verilir ve enerji tamamen akışkana iletilir. Telin başlangıç sıcaklığı ve akışkanın sıcaklığı incelenerek çalışma tamamlanır Wakeham ve ark. (1991).

Geçici sıcak tel tekniği denklemi;

$$\Delta T(r_0, t) = q \cdot 4 \cdot \pi \cdot k \cdot l \cdot n \cdot 4 \cdot a \cdot t \cdot r_0^2 \cdot c \quad [2.1]$$

k: ısı iletkenlik

n: deneysel şekil faktörü

a: ısı yayılma

c: sabit

Yukarıdaki denklem geçici sıcak tel tekniğinin temel denklemidir ve nanoakışkanların termal iletkenliği bu şekilde edilir. Geçici ısı iletkenliği ölçüm aparatında, 0.153 m ve

0.063 m uzunluğunda iki platin tel kullanılır. Bunlar sırasıyla 30 mm çapında iki hücreye daldırılır. Hücreler, örnek nanoakışkanlar içerir. Her iki tel de aynı ısıtma akımına maruz kaldıktan sonra hücrelerin son sıcaklık durumları incelenir. İki telin sıcaklık artışlarının farkı ile direnç farkını ölçmek için bir Wheatstone köprüsü kullanılır. Wheatstone köprüsü genellikle yüksek hassasiyetli direnç ölçümlerinin gerekli olduğu durumlarda kullanılan bir direnç köprüsüdür. Köprünün fark voltajını ölçmek için bir HP34401 dijital voltmetre kullanılır. Bir deney yaklaşık 5 s sürer. Süre uzarsa sıcak tel ile numune sıvısı arasındaki sıcaklık farkı artar ve serbest konveksiyon gerçekleşir ve bu da hatalara neden olabilir.

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçmeden önce, sıcak tel aparatları, deney sisteminin yüksek hassasiyetini gösteren, bilinen ısı iletkenliğine sahip bir numune sıvısı ölçülerek kalibre edilir.

Sonuçlar nanoakışkanların termal iletkenliğini etkileyen faktörlerden bir tanesinin parçacık konsantrasyonu olduğunu göstermektedir. Nanoakışkanların etkili termal iletkenliği, nanoparçacıkların konsantrasyonuyla artar. 20 nm çaplı bir parçacık için yüzey alanının hacme oranı, 100 nm çapındaki bir parçacıktan 5 kat daha büyük olduğu için, parçacık boyutunun azaltılmasıyla nano-akışkanların etkili termal iletkenliğinde çarpıcı bir iyileşme beklenmektedir. Nanoakışkanın etkili ısı iletkenliği, konsantrasyonun artmasıyla artar, çünkü grafenoksit nanoparçacıkları, saf su ile karşılaştırıldığında daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle, bu nano tabakaların eklenmesi, akışkanın ısı iletkenliğini artıracaktır W. Park, J. Hu, L.A. Jauregui, X. Ruan, Y.P. Chen (2014).

2.1.2 Isıl sınır tabaka

Bir akışkan bir boruya yüzey sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta (T) girerse burada taşınım ile ısı transferi meydana gelmektedir ve ısı sınır tabakası gelişmeye başlar. Bununla beraber boru yüzey şartları sabit sıcaklık ($T_s = \text{sabit}$) veya sabit ısı akısı ($q_s = \text{sabit}$) olsun, ısı olarak tam gelişmiş bir duruma ulaşmış olur. Böylece akışkanın sıcaklığı boru boyunca artış gösterecektir. Pr değerine bağlı olarak hidrodinamik sınır tabakasının ısı sınır tabakaya göre büyüme hızını görebilmekteyiz.

- Pr değeri 1'den büyük ise hidrodinamik tabakanın ısı tabakadan hızlı geliştiği
- Pr değeri 1'den küçük ise de tam tersi durum olacağı görülmektedir.

Borunun girişindeki ısı sınır tabakanın kalınlığı sıfır olduğu için $x=0$ 'da taşınım katsayısı çok büyüktür. Isıl sınır tabaka gelişirken, ısı transfer katsayısı (h) hızlı bir şekilde azalır. Bu azalış sabit değerine ulaşana kadar devam eder.

Daha önce belirtildiği gibi bir baz akışkan içerisindeki süspansiyon nano ölçekli parçacıkları, termal iletkenliği artırır, fakat aynı zamanda viskoziteyi de artırır. Isı iletkenliğindeki bir artış daha iyi bir ısı transfer hızına yol açarken, viskozitedeki bir artış basınç düşüşünde bir artışa yol açar. Sonuç olarak, parçacıkların eklenmesi, bir sıvının termofiziksel özelliklerini ve ayrıca bir sistemin tersinmezliğini değiştirir.

2.1.3 Viskozite

Viskozite bir akışkan için en önemli faktörlerden biridir. Her akışkan bir viskozite değerine sahiptir. Akışkanların her birinin farklı viskozite değerlerine sahip olma sebebi kendilerine özgü akış dirençlerine sahip olmalarıdır (Albay, 2005). Araştırmacılar tarafından nanoakışkanların viskozitesini tahmin etmek için formüller geliştirilmiştir.

Yapılan araştırmaların hemen hemen tamamına yakınında nanoakışkanın viskozitesinin baz akışkandan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Akışkan içerisinde nanoakışkan konsantrasyonunun artışıyla viskozitesinde arttığı tespit edilmiştir. Partikülün oransal hacmi arttığında parçacık sayısının artması sebebiyle akışkan viskozitesinde artar. Viskozitedeki artış, basınçtaki düşüş sebebiyle akışkanın pompalama gücünde artışa sebep olması gibi olumsuz bir etki oluşturmaktadır, (Elçioğlu, 2014). Laminer akıştaki pompalama gücü ve akışkanın ısı transferi doğrudan akışkanın viskozitesiyle ilgilidir.

Akışkanların viskoziteleri üzerinde etkisi olan parametreler; sıcaklık, parçacığın boyutu ve şekli, yüzey gerilimi, yüzey aktif madde ve parçacığın hacimsel oranıdır. Sıcaklık artışında ise temel akışkanla parçacıklar arasındaki etkileşim zayıflayacağı için akışkanın viskozitesi düşer. Ayrıca sistemde parçacık kütesini sabit tutarken, parçacık boyutlarını küçültmekle parçacık sayısını artırmış oluruz. Çok sayıdaki nanoparçacığın birbiriyle etkileşimi artacağı içinde viskozite ve akış direnci artmış olur. Yüzey aktif maddelerin konsantrasyonu arttığında akışkan viskozitesinde artmış olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Newtonien akışkan özellikleri;

- Kayma gerilmesinin kayma hızına oranı (viskozite) sabittir.
- Viskozite yalnızca sıcaklığa bağlıdır, yüzey gerilimi ve zamanın etkisi yoktur.

- Kayma hızı kayma gerilmesiyle orantılıdır.
- Nanoakışkanlar Non-Newtonien davranış gösterirler çünkü kayma hızı arttığı zaman parçacıkların etkileşimi zayıflar hatta kopar.

Farklı çalışma akışkanlarının ölçülmüş dinamik viskoziteleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Konsantrasyon ve dinamik viskozite arasındaki değişim

Akışkan	Dinamik Viskozite (mPa·s) 25 °C
DI Su	0,89
0,25 g/l	0,9264
0,5 g/l	0,9633
1 g/l	1,0459
1,5 g/l	1,1106

Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi, dinamik viskozite konsantrasyon artışı ile artar. Düşük dinamik viskozite, tüpte daha kolay sıvı hareketine neden olur ve daha uygun termal performans ortaya koyar.

İki fazlı ısı transfer mekanizmalarında termal güç artırılarak termal direnç azaltılmıştır. Daha yüksek ısı girişleri termal direnci azaltan önemli bir faktördür. Yüksek orandaki karışımlar viskozite değerini ve termal direnci artırdığı için termal performansın kötüleştiği görülmüştür. Yüksek viskozite nanoakışkanın hareketini kısıtlar ve buda yüksek termal dirence yol açmaktadır. Buna ilave olarak yüksek sıcaklık değerlerinde çalışıldığında buharlaşma hızındaki artış ve sıvı hareketleri nedeniyle yüksek ısı transferi görülmüştür.

Boru çapının nanoakışkanların ısı iletkenliği ile orantılı olarak artırıldığı takdirde, viskozite katsayısı iletkenlik katsayısından beş kat daha az olduğu sürece nanoakışkan baz akışkan ile karşılaştırıldığında daha iyi ısı performans göstermiştir.

2.1.4 Yoğunluk

Literatürde ilk olarak mikrometre boyutlu parçacıkların iki fazlı karışımları için yoğunluk ifadesi Cheremisnoff tarafından 1986'da ifade edilmiştir. Daha sonra Pak ve Cho nanoakışkanlara uygulayarak aşağıdaki eşitliği elde etmiştir.

$$\rho_{nf} = \rho_p Q + \rho_{bf}(1 - Q) \quad [2.2]$$

ρ_{nf} : Nanoakışkanın yoğunluk değeri

ρ_p : Parçacık yoğunluğu

Q: Hacimsel oran

ρ_{bf} : Temel akışkan yoğunluğudur.

Nanoakışkan ile hacimsel oran lineer eğilim göstermektedir.

2.2 Nanoakışkanlarda Isı Transferi

Sıcaklık farkının bulunduğu her yerde ısı transferi meydana gelmektedir. Hareketsiz bir katı veya bir akışkanın sahip oldukları sıcaklıklar farkı sebebiyle gerçekleşen ısı transferini iletim olarak adlandırmaktayız. Akışkan ve bir yüzey arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferini ise taşınım olarak adlandırırız. Sonlu sıcaklığa sahip tüm yüzeyler elektromanyetik dalgalar şeklinde enerji yayarlar farklı sıcaklıktaki farklı iki yüzey arasında birbirini görmeye engel bir ortam bulunmuyorsa oluşan ısı transferine ışınım denir.

Çalışan akışkan içerisine nanopartikül eklemek ısı transfer performansına büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu fiziksel durumlar aşağıdaki gibi sıralanabilir Xuan Y., Li Q. (2000);

- Akışkan içerisine süspansiyon edilen parçacıklar akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür.
- Partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır.
- Partiküller arasındaki etkileşimler ve çarpışmalar ısının ve ısı geçiş yüzeyinin yüzeyinin artmasına neden olur.
- Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar.

Isı iletimi Fourier yasasıyla ifade edilebilir. Sabit bir kesit alanına sahip bir cisim, bir boyutlu kararlı haldeki ısı iletimi aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$q_x'' = -k \left(\frac{dT}{dx} \right) , \quad q_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad [2.3]$$

Isı taşınımı yani kitle hareketi, sıcak ve soğuk akışkan makroskobik boyutlarda birleşmesi ve ortam içerisindeki ısı taşınım ve depolamanın bileşimidir. Akışkan içerisinde sıcaklık sabit değilse bir yoğunluk farkı oluşmaktadır. Bu yoğunluklar farkından oluşan kaldırma kuvvetinin oluşturacağı taşınım olayına doğal veya serbest taşınım denir. Akış bir fan, pompa gibi dış etkiler yardımıyla gerçekleşiyorsa buna zorlanmış taşınım denir. Sıcak bir cisimden soğutucu akışkana olan ısı transferi Newton'un soğutma yasası olarak bilinen aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \quad [2.4]$$

Formüldeki konveksiyon katsayısı (h) birden fazla değişkene bağlıdır. Buna ilave olarak ısı alıcılarda kanatlar arasındaki boşluk sayısı da ısı transfer katsayısını belirlemektedir. Zorlanmış konveksiyonla ısı transferinde; ısı transfer katsayısı özellikle akışı karıştıran ve vorteksler üreten yüzeyler boyunca akışkana ait olan lineer hızla doğrudan alakalıdır.

Radyasyonla ısı transferi sonlu sıcaklıktaki malzeme tarafından yayılan ve elektromanyetik dalgalarla aktarılan enerjidir. Isı iletim veya taşınım yoluyla transfer edilirken bir madde ortamına ihtiyaç duymaktadır fakat radyasyonda buna gerek yoktur. Bütün sonlu sıcaklıktaki cisimler radyasyon yaydıkları gibi çevresindeki radyasyon yayan cisimlere karşıda radyasyon alıcı konumundadır. Bu olay soğurulma olarak bilinmektedir. Bundan dolayı bir cismin radyasyonundan bahsedilirken aşağıdaki formülde verilen bir yüzeyle cisim arasındaki ısı radyasyon değişim miktarını esas almak gerekmektedir.

$$q_{rad}'' = \frac{q}{A} = \epsilon E_b (T_s) - \alpha G = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad [2.5]$$

Yapılan uygulamaların birçoğunda ısı transferi üç şekliyle mevcut olup çalışma şartlarına bağlı olarak oluşan ısı transfer çeşitlerine göre biri veya birkaçı ihmal edilebilir.

Araştırmacılar, nanoakışkanların ısı transferine etkisini incelerken, nanopartikül katılmış akışkanların yalnızca ısıl iletkenliğinin değil ayrıca ısı transfer katsayısının da normal akışkanlara göre çok daha büyük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Katı ve sıvıların karışımıyla elde edilen süspansiyonların ısı transfer özelliklerini incelemek için aşağıdaki formülden faydalanılmaktadır.

$$q_x = \frac{k_{e\delta\delta A}}{L} (T_1 - T_2) \quad [2.6]$$

Yukarıdaki eşitliği kullanabilmemiz için akışkan hareketinin önemsiz ve ışınlımla ısı transferinin ihmal edildiği bir uygulama alanının olması gerekmektedir.

$k_{e\delta\delta}$: Efektif ısı iletkenlik

Efektif ısı iletkenlik ortamdaki gözenek ve hacim fonksiyonuyla değişmektedir. Ayrıca diğer maddelerin ısı iletkenliğine de bağlıdır.

Yapılan çalışmalarda farklı araştırmacılar tarafından deneysel çalışmalarda laminer ve türbülanslı akışların tamamında nanoakışkanın ısı transfer katsayısındaki artışın ısı iletkenlikten çok daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Fourier'in iletim yasası teklif edilmeden önce Newton tarafından taşınımın temel yasası ilan edilmiştir. Newton'un soğuma yasası olarak adlandırılmıştır.

$$Q = h \cdot A (T_w - T_f) \quad [2.7]$$

Q: Duvarla hareketli sıvı arasındaki ısı transferi

A: Katı-sıvı arasındaki ortak yüzey alanı

T_w : Yüzey sıcaklık ortalaması

T_f : Sıvının giriş ve çıkış sıcaklık ortalaması

Taşınım ile ısı transferi akışkanların çeşitli hareketleri sonucu gerçekleşmektedir. Bu hareketleri rastgele moleküler hareket ve kitlesel hareket olarak sınıflandırabiliriz. Alman bilim adamı Ludwig Prandtl, bir akış esnasında duvara yakın bir bölgede viskozite ve sürtünmenin etkisiyle oluşan ince bir tabaka gözlemiştir. Bu tabakayı da sınır tabakası olarak adlandırmıştır. Isıl sınır tabaka ve hidrodinamik sınır tabaka olarak ikiye ayırmıştır. Hidrodinamik ve ısı sınır tabakanın kalınlıkları birbirlerinden farklı olmakla birlikte Prandtl sayısı ile tanımlanmaktadır ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir.

$$P_r = \frac{\mu C_p}{k} \quad [2.8]$$

2.3 Nanoakışkan İle Isı Transferi İçin Literatür Özeti

Son on yılda en popüler araştırma alanlarından bir tanesi de mikro mekanik sistemlerin termal yönetimidir. Çok sayıda baz akışkanlı ısıtma ve soğutma sistemleri vardır ve bunlar; elektronik ısı sistemleri, mikro ısı eşanjörleri, yenilenebilir enerji sistemleri, güneş enerji sistemleri ve biomühendislik uygulamaları gibi sistemlerde görülmektedir. Isı

transferinde mini/mikro kanallar içerisinde farklı tiplerde nanopartiküller kullanılmaktadır bunlar; su içerisinde TiO_2 nanoparçacıkları, R-113 içerisinde CuO nanoparçacıkları, CuO ve SiO_2 nanoparçacıkları, R-134 soğutucu akışkan içerisinde ve su içerisinde Cu nanoparçacıkları gibi. Önemli parametreler; ısı transfer etkisinin büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğü ve akışkanın geçtiği yüzey geometrisidir.

Son zamanlarda çok katlı karbon nanotüpleriyle nanoakışkanların stabilitesi (yüzey aktif madde ilave ederek) ve onların termal davranışları araştırılmıştır. Hidrolik çapı 1mm den daha büyük mini kanallardaki nanoakışkanın termal olarak gelişen akıştaki ısı transfer iletimi ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Araştırmacılar, farklı sistemlerin tersinmezlik ve ikinci yasa analizlerini yapmışlar ve tersinmezlik veya ikinci yasa analizinin hangi kurulum veya sürecin verimli olduğuna karar vermede güçlü bir araç olduğunu göstermişlerdir. Akışkanlara nanopartikül eklenmesini ısı transferi ve hidrodinamik özellikleri üzerine etkileri de araştırılmıştır. Nanoparçacıkların ilave edilmesiyle termal iletkenliğin iyileştirilmesinin yanı sıra, konvektif ısı transfer katsayılarının artmasına da neden olduğu gözlemlenmiştir.

Jung ve ark. (2009) mikrokanallardaki nanoakışkanların zorlanmış konvektif ısı transferini incelemiştir. Nanoakışkanların konvektif ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörünü ölçmek için dikdörtgen mikrokanallar kullanılmıştır. Bir tarafta tek bir mikrokanaldan oluşan entegre bir sistem kullanılırken, diğer taraftaki kanalda iki adet lokal ısıtıcı ve beş adet polisilikon sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Nanoparçacıkların hacim konsantrasyonunun mikrokanallardaki konvektif ısı transferi ve sıvı akışına etkisini araştırmak için, deneylerde 170 nm çaplı boruda çeşitli parçacık hacimli konsantrasyonlarda alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmıştır.

Moghaddami ve ark. (2011) tarafından ikinci yasaya sahip nanoakışkanların analizi yapılmıştır. Bu çalışma, hem laminer hem de türbülanslı akışlarda, üniform duvar ısı akışı termal sınır koşulu altında dairesel bir borudan su- Al_2O_3 ve etilen glikol- Al_2O_3 nanoakışkan akışlarının entropi üretimi üzerine nanoparçacıkların eklenmesinin etkilerini analitik olarak incelemiştir. Nanoakışkanların yoğunluğu ve özgül ısıları için onaylanmış formülasyon karışımların literatür çalışmalarına dayanarak nanoakışkanların viskozitesi ve iletkenliği için kullanılır. Nanoparçacıkların eklenmesi, sıvı akışının olduğu durumlarda basınç düşüşü nedeniyle entropi oluşumunun artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hem laminer hem de türbülanslı nanoakışkan akışları için optimum koşullar (entropi oluşumu anlamında) elde edilmiştir.

Rashidi, Nezamabad F. Rashidi ve N.M. Nezamabad, (2011) sürekli ısı akısı altında CNTs nanofluid konvektif ısı transfer katsayısı üzerinde deneysel bir araştırma yaptılar. Sabit ısı akısı altında yatay bir borudan akan çok katmanlı karbon nanotüplerin sulu süspansiyonunun ısı transfer davranışını gözlemladiler. Nanoakışkanların konvektif ısı transfer katsayısında artışlar olduğu bulunmuştur. CNT konsantrasyonuna ve akış durumuna bağlı olarak (Reynolds sayısı), ısı iletiminde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, konvektif ısı iletimindeki artış girişten gelen aksel mesafenin bir fonksiyonu olup, azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Çok katmanlı karbon nanotüplerine su eklenmesiyle yerel konvektif ısı transfer katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Mala ve Li, (1999) 50-254 mm aralığında iki dairesel kesitli silika ve paslanmaz çelikten yapılmış mini kanalda basınç kayıplarını incelemişlerdir. Sabit kütleli debiyle Re sayısının artması sırasında Pousielle eşitliğinden uzaklaşmış ve 130 mm den küçük borularda daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu deneyde akışkan olarak su kullanılmıştır ve akışın davranışı kanalın malzemesine bağlı olduğu görülmüştür. Türbülanslı akışa geçiş durumunda yüzey pürüzlülüğünün araştırılması gerektiğini önermiştir.

Lelea ve ark., (2004) çalışmasında Reynolds sayısını en yüksek 800 değeri ile sınırlandırmış paslanmaz çelikten oluşan kanalın çapları 0,1mm, 0,3mm, 0,5mm seçilmiştir. Akışkan olarak saf su kullanılmıştır. Laminer akışlı bu tüpte şimdiye kadar yapılmış olan diğer mikro tüp çalışmalarıyla uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

Xuan ve Li Y. Xuan, Q. Li, (2000) bakır nanopartiküllerden oluşan bir nanoakışkanın termal iletkenliği üzerine bir çalışma sunmuştur. Ölçülen veriler suya%2,5–7,5 bakır oksit nanoparçacıklarının eklenmesinin iletkenliğini yaklaşık% 24-78 arttırdığını göstermiştir.

Lee ve ark., (1999) geçici sıcak tel metodu ile oksit nanoakışkanların termal iletkenliklerini ölçmüştür. Deneysel sonuç, akışkan içindeki nanoparçacıkların süspansiyon haline getirilmesinin baz sıvının termal iletkenliğini önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir.

Xuan ve Roetzel Y. Xuan, W. Roetzel, (2000) nanoakışkanın geleneksel katı-sıvı karışımı yerine sıvı gibi davrandığı varsayımına dayanarak nanoakışkanın iletkenliğinde ve ısı transfer özelliğinde artış gözlemlenmiştir.

Das ve ark., (2003) sıcak osilasyon tekniğini kullanmıştır. Süspansiyon malzemesi olarak Al_2O_3 veya CuO 'nun baz sıvısı ve nanoparçacıklarıyla su ile nanoakışkanlar için sıcaklık ile termal iletkenliğin artışı araştırılmıştır.

D. Wen, Y. Ding, (2004) Al_2O_3 nanoparçacıklarının suya eklenmesinden dolayı ısı transferi geliştirdiğini bildirmiştir ve N_2O_3 nanoparçacıklarının %1,6 konsantrasyonda suya eklendiğinde Nusselt sayısının %38'e kadar yükseldiğini göstermiştir.

Ding ve ark., (2006) suya sadece %0,046 oranında çok duvarlı Karbon Nano Tüpü (MWCNT) eklendikten sonra ısı transfer katsayısının %50 oranda arttırdığını göstermiştir.

Zeinali Heris ve ark., (2007) su- Al_2O_3 nanoakışkan akışını araştırmış ve %2,5 hacim konsantrasyonuna sahip nanoparçacıkların ilave edilmesinin, ortalama duvar ısı transfer katsayısını %40'a kadar arttırabildiğini göstermiştir.

Maiga ve ark., (2004) nanoakışkanların laminar ve türbülanslı konvektif ısı transferi için eşit şekilde ısıtılmış bir tüp yoluyla sayısal sonuçlar vermiştir. Hem su- Al_2O_3 hem de etilen glikol- Al_2O_3 nanoakışkanlarının akışlarını incelemiştir ve nanoparçacıkların bir baz sıvısına dahil edilmesinin hem laminar hem de türbülanslı rejimlerde duvar-ısı transferi ve kayma gerilmesini arttırdığını bulmuştur.

Agorwal ve ark., (2010) 0,424-0,939 mm hidrolik çapına sahip dikdörtgen şeklinde minikanal kullanılmıştır. Akışkan olarak R134a nanoakışkan kullanılmış olup laminar akış incelenmiştir. İncelemeler sonucunda soğutucu R134a'nın yoğuşması sırasında ısı aktarımı için korelasyonlar geliştirilmiştir. Roland ve ark., (2010) demineralize su kullanılan 700-200 μm çapındaki mikrokanaalda 200-8000 Re değerleri arasında çalışmalarını yapmıştır. Mikro ölçekte laminar akış için Nusselt sayısında bir azalma meydana geldiği bildirilmiştir. Owhaib ve ark., (2004) dairesel 0,862-1,7 mm çaplarındaki minikanal da laminar akışı incelemiş ve R134a akışkanını kullanmıştır. Daha küçük çaplı kanallarda ısı transfer katsayısının daha yüksek olduğu ve sistem basıncındaki artışın ısı transfer performansını arttırdığı gözlemlenmiştir. Chui ve ark., (2011) 1,67-14,29 μm çaplarına sahip dikdörtgen mikrokanal içerisinde 50-1000 Re değerlerinde su akışkanını incelemiştir. Isı transfer katsayısındaki artışın yüksek en boy

oranına sahip mikrokanallarda daha belirgin olduğu rapor edilmiştir. Celata ve ark., (2010) 480 μm çapındaki mikrokanalda akışkan olarak FC-72 kullanmıştır. Isı transfer katsayısının ısı akısından bağımsızlığına yönelik sonuçlar elde etmiştir. Diaz ve Schmidt, (2007) 0,3-12,7 mm ölçülerine sahip dikdörtgen bir minikanalda su ve etanol akışkanını kullanmıştır. Alt ısı akısının artması ile ısı transfer katsayısında bir artış olduğu belirlenmiştir. Chen ve ark., (2009) 100-250 μm çaplarına sahip mikrokanallarda akışkan olarak su kullanmıştır. Re değerini 200-1700 arasında tutarak laminer akışı incelemiştir. Kanal boyutunun küçülmesiyle yoğunlaşmada ve ısı transferinde belirgin bir artış elde edilmiştir. Asthana ve ark., (2011) 100 μm çapında mikro kanalda su/yağ akışkanını kullanmıştır. Sıcaklık değişiminden etkilenen basınç kaybında ki artışın ısı transferini artırdığı belirlenmiştir. Kahl ve ark., (2005) 25-100 μm çaplarında mikro kanalda su akışkanını kullanmıştır ve hem laminer hem de türbülanslı akışı incelemiştir. Mikrokanaldaki sürtünme katsayılarının standart boyutlara sahip kanal verileri kullanarak çıkarılabileceğini göstermiştir. Tang ve ark. 52-300 μm ölçülerindeki mikrokanalda akışkan olarak azot ve helyum kullanılmıştır. Re değeri 3-3600 arasındadır. Mikrokanallardaki yüzey pürüzlülüklerinin sürtünme katsayısını doğrudan etkileyeceği belirtilmiştir. Mokrani ve ark., (2009) 1-100 μm çaplarında mikro kanallarda su akışkanını kullanmıştır. Re değeri 100-5000 arasında tutulmuştur. 50 ile 500 μm arasında kanal yüksekliğine sahip mikrokanallarda konveksiyonel kanunlar ve korelasyonların direkt olarak uygulanabilirliği ortaya konmuştur.

Ngo ve ark., (2007) 1,09 mm çapına sahip mini kanalda CO₂ akışkanını kullanmış ve Re değeri 250-2500 arasındadır. Mikrokanallı ısı değiştiricilerde basınç düşüşü katsayısı analizi yapılmış ve S şekilli kanatların zikzak kanallara göre 4-5 kat daha az basınç düşüşüne neden olduğu belirlenmiştir. Wu ve ark., (2011) 50-150 μm ölçülerine sahip dikdörtgen bir mikrokanalı incelemiştir. Akışkan olarak R134a, R123, R245fa, R236fa, Azot ve Su kullanılmış ve laminer akış üzerinde çalışılmıştır. Su verilerinin %94' ünün ve su harici verilerin %97'sinin tahmini için %30 'luk bir hata payına sahip bir metot ortaya koyulmuştur.

Muhammed ve ark., (2010) yüksekliği 300 μm genişliği ise 100-250 μm ölçülerinde mikrokanallar üzerinde çalışmıştır. Akışkan olarak FC-70, Helyum ve su kullanılmış, Re değeri 1000-3000 arasında tutulmuştur. Yüksek Re değerlerinde çalışan akışkan olarak su kullanımı, FC-70 ve Helyum kullanımına oranla daha iyi ısıl performans sağladığı gözlemlenmiştir. Niazmond ve ark., (2008) 25-2 μm ölçülerinde dikdörtgen bir

mikrokanal kullanmıştır. Akışkan olarak gaz kullanılıp Re değeri 10-200 arasında tutulmuştur. Hız profilinin tamamen gelişmiş olmaması ve sıcaklık sıçramaları nedeniyle, giriş bölgesinde ısı transferi ve sürtünme katsayısında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir.

Khadem ve ark., (2009) 20 μm ölçülerinde mikrokanalda gaz akışkanını kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüklerinden Nusselt sayısı büyük oranda etkilenmiştir.



Çizelge 2.2 Literatürde mini ve mikrokanallarla ilgili çalışmalar

Araştırmacı	Kanal	Hidrolik Çap	Akışkan	Çalışma Aralığı (Re)	Sonuçlar
Awargal ve ark. (2010)	Dikdörtgen	0,424-0,939mm	R134a	-	İncelemeler sonucunda soğutucu R134a'nın yoğuşması sırasında ısı aktarımı için korelasyonlar geliştirilmiştir.
Roland ve ark. (2010)		700-200 μm	Saf su	200-8000	Mikro ölçekte laminer akış için Nusselt sayısında bir azalma meydana geldiği bildirilmiştir.
Owhaib ve ark. (2004)	Dairesel	0,862-1,7mm	R134a		Daha küçük çaplı kanallarda ısı transfer katsayısının daha yüksek olduğu ve sistem basıncındaki artışın ısı transfer performansını arttırdığı gözlemlenmiştir.
Chui ve ark. (2011)	Dikdörtgen	1,67-14,29 μm	Su	50-1000	Isı transfer katsayısındaki artışın yüksek en boy oranına sahip mikrokanallarda daha belirgin olduğu rapor edilmiştir.
Celata ve ark. (2010)		480 μm	FC-72		Isı transfer katsayısının ısı akısından bağımsızlığına yönelik sonuçlar elde etmiştir.

Diaz ve Schmidt (2007)	Dikdörtgen	0,3-12,7mm	Su ve Etanol		Alt ısı akısının artması ile ısı transfer katsayısında bir artış olduğu belirlenmiştir.
Chen ve ark. (2009)		100-250 μm	Su	200-1700	Kanal boyutunun küçülmesiyle yoğuşmada ve ısı transferinde belirgin bir artış elde edilmiştir
Asthana ve ark. (2011)		100 μm	Su/Yağ		Sıcaklık değişiminden etkilenen basınç kaybında ki artışın ısı transferini artırdığı belirlenmiştir.
Kahl ve ark. (2005)		25-100 μm	Su		Mikrokanaldaki sürtünme katsayılarının standart boyutlara sahip kanal verileri kullanarak çıkarılabileceğini göstermiştir.
Tang ve ark. (2007)		52-300 μm	Azot ve Helyum	3-6300	Mikrokanallardaki yüzey pürüzlülüklerinin sürtünme katsayısını dorudan etkileyeceği belirtilmiştir.
Mokrani ve ark. (2009)		1-100 μm	Su	100-5000	50 ile 500 μm arasında kanal yüksekliğine sahip mikrokanallarda konveksiyonel kanunlar ve korelasyonların direkt olarak uygulanabilirliği ortaya konmuştur.
Ngo ve ark. (2007)		1,09mm	CO ₂	250-2500	Mikrokanallı ısı değiştiricilerde basınç düşüşü katsayısı analizi yapılmış ve S- şekilli kanatların zikzak kanallara göre 4-5 kat daha az basınç düşüşüne neden olduğu belirlenmiştir.

Wu ve ark. (2011)	Dikdörtgen	50- 150 μm	R134a, R123, R245fa, Azot ve Su		Su verilerinin %94' ünün ve su harici verilerin %97'sinin tahmini için %30 'luk bir hata payına sahip bir metot ortaya konmuştur.
Muhammed ve ark. (2010)	Dikdörtgen	100- 250 μm	FC-70, Helyum ve Su	1000-3000	Yüksek Re değerlerinde çalışan akışkan olarak su kullanımı, FC-70 ve Helyum kullanımına oranla daha iyi ısıl performans sağladığı gözlemlenmiştir
Niazmand ve ark. (2008)	Dikdörtgen	25-2 μm	Gaz	10-200	Hız profilinin tamamen gelişmiş olmaması ve sıcaklık sıçramaları nedeniyle, giriş bölgesinde ısı transferi ve sürtünme katsayısında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir.
Khadem ve ark. (2009)		20 μm	Gaz		Yüzey pürüzlülüklerinden Nusselt sayısı büyük oranda etkilenmiştir.

Pak ve Cho (1998) su baz akışkanına 13nm ve 27nm boyutlarına sahip %1-3 konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve TiO_2 partiküllerini ilave ederek nanoakışkanlar elde etmiştir. Kullanılan mini kanalın çapı 1,066cm olup boyu 480cm seçilmiştir. Re değeri 104-105 olarak çalışılmıştır. Artan hacim konsantrasyon oranı ve Re sayısı ile Nu sayısı artmıştır. Eastman ve ark., (1999) nanoakışkan, su baz akışkanına %0,9 konsantrasyonda 100nm'den daha küçük CuO partikülleri ilave edilerek hazırlanmıştır. Türbülanslı akış incelenmiş ve taşınım ısı transfer katsayısı temel akışkana kıyasla %15 artış göstermiştir. Xuan ve Li, su baz akışkanına %0,3, %0,5, %0,8, %1, %1,2, %1,5, %2 konsantrasyonlarda 100nm den daha küçük boyutlarda Cu partiküllerinin ilavesiyle nanoakışkan hazırlanmıştır. 10mm çapa ve 800cm uzunluğa sahip mini kanal kullanılmıştır. Re değeri 10000-25000 arasında tutulmuş ve türbülanslı akış incelenmiştir. Artan akış hızı ve oran ile taşınım ısı transfer katsayısında artış gözlenmiştir. Xuan ve Li, (2004) nanoakışkanı, su baz akışkanına %0,5-1-1,5-2 konsantrasyonlarda 26nm çapında Cu nanoparçacıkları ilave edilerek oluşturulmuştur. 1,29mm çapında mini kanalda Re değerleri 200-2000 arasında tutulmuş ve laminer akış incelenmiştir. %2 oranda konsantrasyona ulaşıldığında Nu sayısında %39'luk artış sağlanmıştır. Zhou, (2004) aseton baz akışkanına %0 ve %4 konsantrasyonlarla 80-100 boyutlarında Cu nanoparçacıkları ilave edilerek nanoakışkan oluşturulmuştur. 16mm hidrolik çapa ve 200mm uzunluğa sahip bakır minikanal kullanılmıştır. Taşınım ısı transfer katsayısı akışkanda Cu parçacık oranının artmasıyla artış göstermiştir. Yulong ve ark., (2007) Etilen glikol baz akışkanına TiO_2 , CNT nanoparçacıkları ilave edilerek nanoakışkan hazırlanmıştır. Artan Re sayısı ve konsantrasyon oranıyla taşınım ısı transfer katsayısında artış sağlanmıştır. Williams ve ark. (2008) nanoakışkanı hazırlarken su baz akışkanına %0,9, %3,6, %0,2, %0,9 konsantrasyonlarda 46nm boyutunda nanopartiküller ilave etmiştir. Re değeri 9000-63000 değerleri arasında tutulmuştur. Önemli oranda ısı transfer artışı gözlemlenmiştir. Akhavan Behadabi ve ark., (2012) yağ baz akışkanına CNT ilavesiyle nanoakışkan hazırlanmıştır. Konsantrasyon oranları %0,1- %0,2- %0,4 ve parçacık çapları 5-20nm, 2-6nm, 1-10 μm olarak belirlenmiştir. Çalışılan helisel boruda temel akışkana göre Re sayısı ve konsantrasyon oranının artmasıyla Nu sayısında artış gözlemlenmiştir. Sajadi ve Kazemi (2011) su baz akışkanına %0,05- %0,1- %0,15- %0,20- %0,25 konsantrasyonlarda 30nm boyutunda TiO_2 nanopartikülü ilave edilerek nanoakışkan oluşturulmuştur. Re değeri 5000-30000 arasında tutulmuştur. Konsantrasyon oranındaki artışla ısı transferinde artış ve basınçta düşüş gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.3 Günümüze kadar literatürde nanoakışkan çalışma akışkanı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan düz boruda zorlanmış taşınım deneysel çalışmaların özeti

Yazar	Temel Akışkan	Parçacık Tipi	Hacimsel oran (%)	Kanal Boyutu	Akış Rejmi, Re	Sonuç
Pak ve Cho (1998)	Su	Al_2O_3 - TiO_2	1-3	1,066 cm çap 480 cm uzunluk	Re=104-105 Türbülans	Artan hacim konsantrasyon oranı ve Re sayısı ile Nu sayısı artmıştır.
Eastman ve ark. (1999)	Su	CuO	0,9		Türbülans	Türbilanslı akış incelenmiş ve taşınım ısı transfer katsayısı temel akışkana kıyasla %15 artış göstermiştir
Xuan ve Li (2003)	Su	Cu	0,3-0,5- 0,8-1-1,2- 1,5-2	10mm çap 800cm uzunluk Pirinç boru	Re=10000- 25000	Artan akış hızı ve oran ile taşınım ısı transfer katsayısı da artmıştır.
Xuan ve Li (2004)	Su	Cu	0,5-1-1,5- 2	1,29mm hidrolik çap	Re=200-2000 Laminer	%2 oranda konsantrasyona ulaşıldığında Nu sayısında %39 artış sağlanmıştır.
Zhou (2004)	Aseton	Cu	0,0-4,0	16mm çap 200mm uzunluk		Taşınım ısı transfer katsayısı akışkanda Cu parçacık oranının artmasıyla artış göstermiştir.

Yulong ve ark. (2007)	Etilen glikol	TiO_2 CNT				Artan Re sayısı ve konsantrasyon oranıyla taşınım ısı transfer katsayısında artış sağlanmıştır.
Williams ve ark. (2008)	Su	ZrO_2	0,9-3,6 0,2-0,9	1,27 mm 1,65 mm	Re=9000-63000	Önemli oranda ısı transfer artışı gözlemlenmiştir.
Akhavan-Behabadi ve ark. (2012)	Yağ	CNT	0,1-0,2-0,4	Helisel boru		Çalışılan helisel boruda temel akışkana göre Re sayısı ve konsantrasyon oranının artmasıyla Nu sayısında artış gözlemlenmiştir.
Sajadi ve Kazemi (2011)	Su	TiO_2	0,05- 0,1- 0,15- 0,20- 0,25	Bakır boru	Re=5000-30000	Konsantrasyon oranındaki artışla ısı transferinde artış ve basınçta düşüş gözlemlenmiştir.

2.4 Nanoakışkanların Uygulama Alanları

Nanoakışkanlar ticarete, sanayide, konutlarda, iklimlendirmede ve ulaştırmada verimin ve ısı performansının artırılması amacıyla kullanılabilir.

Elektronikte: Hızla gelişmekte olan teknolojiyle son model cihazlar, cihazın performansını düşüren, kullanılabilirlik süresini kısaltan ve güvenilirliği sarsan büyük miktarda ısılar üretebilmektedir. Elektronik cihazlarda ısı transferi sağlamak için iki farklı yaklaşım vardır. Bunlardan biri uygun geometride soğutma cihazı bulmaktır diğeri ise ısı iletim kapasitesini artırmaktır.

Ulaşım Araçlarında: Yağlayıcı maddeler ve araç yağları, motor soğutma sistemleri ve sentetik sıcaklık akışkanlarının ısı transfer yetenekleri oldukça düşüktür. Bu akışkanların ısı transfer yeteneklerini artırmak için nanopartiküller ilave edilebilir böylelikle verimli bir ısı iletkenlik sağlanmış olacaktır. Özellikle yüksek beygirli araçların ısı atımına daha fazla ihtiyaç duyacağı için yüksek beygirli araçlarda nanopartikül kullanımı tercih edilebilir. Ayrıca daha kompakt soğutma sistemi tasarlamak için yani daha küçük ve hafif radyatör tasarımı için de kullanılabilir. Etilen glikol tabanlı nanoakışkanlar 50-50'lik bir hacim oranında karıştırıldığında düşük basınç işletme etkisi nedeniyle yaygın olarak araçlarda tercih edilen bir nanoakışkandır.

Havalandırma ve İklimlendirme Sistemlerinde: Isı değiştiriciler, ısı pompaları, ısı taşıyıcıları, gibi sistemlerde nanoakışkan kullanılarak ısı transfer yeteneği artırılabilir. Endüstriyel soğutma sistemlerinde, nanoakışkan kullanımı enerji tasarrufu sağlayacağı gibi emisyonlarda da azalma sağlayacaktır. Bina ısıtma sistemlerinde ise kütle ve hacimsel debiyi azaltarak sistemdeki akışkan pompalama gücünde tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılan küçük ısıtma sistemlerinde az güç harcaması sebebiyle çevreyi daha az kirletmektedir ve kullanılan az akışkan sebebiyle daha az atık üretmektedir.

Malzemelerde: Azalan ağırlık ve artan dayanma özelliği en yararlanılabilir özelliğidir. Nano teknoloji kullanılarak; tarımsal ürünlerin, bitkisel yağların bio-yakıtlara dönüştürülebilmesi için nanokatalizörlerin geliştirilmesi ve tasarımı alanında araştırmalar sürdürülmektedir.

Tıbbi uygulamaların da birçok bölümünde ve yapılan araştırmalarda nanopartiküllerden faydalanılmaktadır. DNA modifikasyonu, mikroorganizma taşınımı gibi.

Uzay istasyonu ve uçakların sahip olduğu kısıtlı enerji ve ağırlık kapasitesi sebebiyle yüksek verimli soğutma sistemlerine, yüksek ısı akıllı elektronik sistemlerde de yeni nesil soğutma elemanlarının gelişimine önemli katkı sağlanmaktadır. Bu nedenle nanopartiküller uzay ve savunma sanayi alanında çok önemli bir uygulama alanına sahiptirler.

2.5 Nanoakışkanların Kararlılığı

Nanoakışkan kullanımı avantajlı görünse de dikkate alınması gereken bazı önemli sınırlamalar vardır. Nanoakışkan kullanımındaki sınırlamalardan biri, uzun vadeli bir istikrarın sağlanmasının zor olmasıdır.

Son zamanlarda yapılan bir çalışmada nanoakışkanların stabilitesi gözden geçirilmiştir. Nanoakışkanların stabilitesini ve stabiliteyi değiştiren parametreleri anlamak için kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Nanoakışkan stabilitesi sıvının ve parçacığın kimyasal yapısından etkilenmektedir. Parçacık morfolojisinde önemli bir etkisi vardır. Nanoakışkanların stabilitesini araştırırken baz sıvısı ve nanoparçacık arasındaki etkileşim dikkate alınmalıdır. Bu nedenle baz sıvısının seçimi ve nanopartikülün malzemesi çok önemlidir. Ayrıca nanoakışkanın üretim yöntemi nanoakışkanların stabilitesini değiştirebilir. Tek adımlı yöntemin iki adımlı yöntemle göre bir avantaja sahip olduğu bilinmektedir. Stabiliteyi etkileyen faktörler Li ve arkadaşları tarafından; nanopartikül konsantrasyonu, parçacık çapı, nanoakışkanların yoğunluğu ve dinamik viskozite gibi özellikler olarak ortaya koyulmuştur. Ek olarak, sanikasyon zamanı, çözücünün pH'ı, zeta potansiyeli akışkan sıcaklığı ve güneş ışığına maruz kalması nanoakışkanların stabilitesini etkileyen faktörlerdir. Tüm bu parametreler kapsamlı bir biçimde araştırılmalıdır. Bununla birlikte, en sık incelenen parametrelerin nanopartikül konsantrasyonu ve yüzeyaktif madde miktarı olduğu gözlemlenmiştir.

Nanoakışkanların, agregasyon ve sedimentasyonun stabilitesi için kritik olan iki olgu vardır. Nanoparçacıkların sentezi ve nanoakışkanların hazırlanma metodu nanoakışkanların stabilitesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Nanoakışkanların stabilitesi sağlanamazsa, aglomerasyonlar nanoakışkanın üretiminden hemen sonra başlar. Bu aglomerasyonlar büyük ölçekli parçacıkların oluşumuna neden olur ve nanoakışkan içindeki tek biçimli olmayan parçacık boyutu dağılımları ve büyük parçacıklar sistemde bazı işletimsel sorunlara neden olabilir.

Literatürde kullanılan yaygın yöntemlerden biri, yüzey aktif bir maddenin nanoakışkana eklenmesidir. Bu yaklaşım diğer yöntemlere göre uzun vadeli kararlılık için basit ve etkilidir. Nanoakışkanlarda yüzey aktif maddenin kullanımındaki amaç temel olarak parçacıkların kümelenmesini en aza indirmek ve parçacık etkileşimlerini engellemektir.

Stabiliteyi artırmak ve stabilitenin termal iletkenliğinin nasıl etkilendiğini anlamak için literatürde kullanılan çeşitli stabilite geliştirme yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden bazıları, üretim aşamasında kararlı nanoakışkanlar üretmek için kullanılırken bazıları üretim aşamasından sonra nanoparçacıkları parçalamak için kullanılır. Nanoakışkan süspansiyonlarını hazırlarken kullanılan yaygın yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Süspansiyonların pH değerlerini değiştirmek
- Yüzey aktif maddelerini ve dağıtıcılarını kullanmak
- Ultrasonik titreşim kullanmak

Bunları yanısıra bir ultrasonik prob, yüksek kesme homojenizasyonu ve manyetik karıştırıcı kullanılarak bir yüzey aktif madde eklemek yaygın olarak kullanılan stabilite geliştirme yöntemleridir. Bu tekniklerden biri veya bunların bir kombinasyonu kararlı nanoakışkanlar elde etmek için kullanılabilir.

Nanoakışkan yüzey aktif maddenin eklenmesi yüzey özelliklerini değiştirerek sıvının stabilitesini artırmak için basit bir yöntemdir. Bütün bu teknikler, sabit süspansiyonların elde edilmesi için süspansiyon halindeki parçacıkların yüzey özelliklerini değiştirmeyi ve parçacıkların kümelenmesini engellemeyi amaçlamaktadır. Bir sıvı ve bir katı temas ettiğinde, katı sınırlar ve sıvı arasında etkileşim oluşur. Temas esnasında sıvı moleküller katı sınırlar tarafından itilebilir. Bu durumda sıvı katı sınırları ıslatmaz. Eğer katı sınırları sıvı molekülleri çekiyorsa sınırlar ıslatılabilir denilebilir. Nanoakışkanlarda nanopartiküller ve baz sıvısı arasında etkileşim vardır. Nanoakışkanlarda bir sürfaktan eklenmesiyle, iki malzemenin temasında ve ıslanabilirlik hızında bir artış gözlemlenir. Literatürde kullanılan sürfaktanlar sakız, sodyum oktanat, tuz, oleik asit, sodyum dodesil benzen ve polivinil ve prolidondur. Nanoakışkana sürfaktan ilavesindeki kritik noktalar yüzey aktif maddenin seçimi ve bu maddenin miktarıdır. Van der waal kuvvetinin kompanse edilmesi için nanoparçacıkların yüzeyler üzerinde yeterli kaplamayı sağlayacak miktarda yüzey aktif maddenin kullanılması önemlidir.

Lee ve arkadaşları, (2007) istikrarı bir zaman dilimi içerisinde görselleştirerek araştırmıştır. Bu çalışmalarında %1 ve %2 lik konsantrasyonlarda su bazlı Al_2O_3

nanoakışkanını kullanmışlardır. Nanoakışkanların fotoğrafları karışım yapıldıktan hemen sonra ve karışımdan 30 gün sonra alınır. Bu sürede nanoakışkanlar cam bardaklarda bekletilir. %1 lik ve %2 lik numunelerden elde edilen fotoğraflardan hem nanoakışkanların hem de cam beherinin üst ve alt kısmı arasında renk ve karışım farkı olduğu görülebilir. Bu nedenle de nanoakışkan stabilitesinin zamanla değiştiği sonucuna varılabilir. Bu değişikliklerde nanoakışkan kullanılan sistemlerde termal performans düşüşü gibi bazı sorunlara neden olabilir.

Setia vd. pH değerini değiştirerek nanoparçacıkların yüzey yüklerinin ve nanopartikül ile baz sıvısı arasındaki etkileşimin değiştiğini belirtmiştir. Aynı pH değerleri farklı nanoakışkanlar üzerinde her zaman aynı değerleri vermez. Her nano akışkan farklı optimum pH değere sahiptir.E.B. Haghighi, N. Nikkam, M. Saleemi, M. Behi, S. a Mirmohammadi, H. Poth, (2013) sonikasyonunise diğer yöntemlerden farklı olduğunu belirtmiştir. Nanopartikül aglomerasyonunu bozmak için nanoakışkanlara dış kuvvet uygulanması sebebiyle. Sonikasyonun çalışma prensibi, sıkıştırma dalgalarının yüksek frekansta salınan elektrik sinyalleri tarafından oluşturulmasıdır. Sonunda aglomerasyonlar nanoakışkanların stabilitesini artırabilecek küçük parçalara ayrılır. Optimum pH değerine benzer şekilde, stabiliteyi arttırmak için optimum bir sonikasyon süresi gereklidir.

Ultrasonik prob, homojenizatör, kesme mikseri ve manyetik karıştırıcı sonikasyon ile benzer prensiplere sahiptir. Bu yöntemlerde nanoakışkan stabilitesini arttırmak için araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır.

Hwang ve ark., (2008) fiziksel stabilite geliştirme yöntemlerini karşılaştırmak için deneyler yaptı. Karıştırıcının aglomerasyonu parçalamak için etkili bir yol olmadığı görülmüştür. R. Mondragon, J.E. Julia, A. Barba, J.C. Jarque, (2012) Başka bir çalışmalarında ise yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle ultrasonik probun en etkili dispersiyon yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.

2.6 Nanoakışkanın Hazırlanışı

Nanoakışkan ısı transfer sürecini geliştirmekte önemli bir potansiyele sahiptir. Bunun bir nedeni nanoparçacıklarının nanoakışkanın termal iletkenliğini belirgin bir şekilde arttırmasıdır. Nanoparçacıkların hacim oranı, şekli, boyutları ve özellikleri nanoakışkanların termal iletkenliğini etkiler.

Akışkanın ısı performansını artırmak için akışkana katılan nanopartiküllerle oluşturulan nanoakışkanın hazırlanması özen gösterilmesi gereken önemli bir işlemdir. Nanoakışkan kavramı basit bir katı-sıvı karışımı anlamına gelmemektedir. Hazırlanan nanoakışkanın tam kararlı ve uzun ömürlü bir süspansiyon olması, parçacığın topaklanmaması ve akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekmektedir. Literatürde bununla ilgili Xuan ve Li, (2000) kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Nanoakışkanları hazırlama yönteminin uygulama şekline göre belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Nanoakışkanların hazırlanması, nanoakışkanların deneysel çalışmalarının önemli bir adımındır. Nanoakışkanların hazırlanmasında yöntemler geliştirilmiştir. Nanoakışkanların üretiminde iki çeşit yöntem kullanılmıştır. Biri tek adımlı yöntem, diğeri ise iki adımlı yöntemdir.

2.6.1 Tek adım yöntemi

Bu yöntemde, kararlı nano-akışkanlar, baz sıvısındaki nanoparçacıkların doğrudan buharlaşması ve yoğunlaşmasıyla elde edilir. Tek adımlı yöntem (veya nabız telli buharlaştırma (PWE) metodu), nanoakışkan üretmenin en önemli yöntemidir. Cihaz, bir kapasitör bankasından, bir yüksek-voltajlı DC güç kaynağından, bir yoğunlaşma odasından ve bir yüksek-voltaj aralık anahtarından oluşmaktadır. Süreç, yüksek voltajlı darbeyi (300 V) ince bir tel üzerinden ve mikro saniye içinde denge dışı ısınma nedeniyle yönlendirmekten oluşur; tel plazmaya buharlaşır. Plazma daha sonra, inkübat gaz Ar veya N₂ ile temas halinde, plazmanın nano boyut tozuna yoğunlaştırılmasıyla yapılır. Verilen hacim konsantrasyonuna sahip nanoakışkan daha sonra PWE cihazında bulunan bir patlayan şişeye dökülür ve daha sonra bir hibrit nanoakışkan elde etmek için yukarıdaki nano boyutta toz ile karıştırılır. Bu süreç, düşük maliyetli nanoakışkanın hazırlanmasında en ümit verici yöntemdir.

Nanoakışkan hazırlığı için birkaç tek adımlı yöntem bulunmuştur. M.A. Akhavan-Behabadi, Mohamad Shahidi, M.R. Aligoodarz, (2015) deiyonize su ile çok duvarlı karbon nanotüplerle (MWCNTs) nanoakışkan üretmek için kimyasal buhar biriktirme (CVD) işlemi kullanmıştır.

M. Khoshvaght-Aliabadi ve ark. (2015), dökme metali nanopartiküllere dönüştüren sıvı ortamda elektriksel patlama telini (EEW) kullanarak CuO nanoakışkanlarını hazırlamıştır.

H. Bahremand H. Bahremand, A. Abbassi, M. Saffar-Avval (2015), nanoakışkanları, sıvı ortamdaki EEW tekniği ile Plasma Nano Kolloid üreticisi (PNC) kullanarak özel akışkan olarak baz sıvısı hazırlamıştır.

R.K. Sahu (2015), gelişmiş bir M-EDM deney düzeneği kullanarak bakır nanoakışkanı sentezlemiştir. M-EDM materyalinde her iki elektrottan erime ve buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılır.

2.6.2 İki adım yöntemi

İki aşamalı yöntemde, nanotoz ilk olarak şu şekilde üretilir; öğütme, söz konusu jel veya buhar fazı yöntemi gibi kimyasal, fiziksel veya mekanik işlemler. İkinci olarak, hazırlanan nanotoz daha sonra yüksek kesme karıştırma ekipmanı veya ultrasonik vibratör kullanılarak ultra sonikasyon kullanılarak ana sıvıya dağıtılır. Bu süreç hibrit nanoakışkanın seri üretimi için çok ucuzdur.

Bu yöntemde, ilk önce nanopartiküller elde edilir ve daha sonra sürfaktanlı veya sürfaktan içermeyen baz sıvısına dağıtılır. S. Venkatachalapathy herhangi bir yüzey aktif madde içermeyen deiyonize su ile karıştırılmış CuO nanoparçacıkların homojen ve kararlı süspansiyonlarını elde etmek için iki aşamalı bir yöntem kullanmış ve süspansiyon 60 dakika süreyle ultrasonik homojenleştiriciye yerleştirilmiştir.

Mohsen Nazari ve M.H.U. Bhuiyan , herhangi bir yüzey aktif madde içermeyen Al₂O₃/su nanoakışkanını hazırlamak için iki aşamalı bir yöntem kullanmıştır. Paisarn Naphon, yüzey aktif madde içermeyen titanyum dioksit TiO₂ nanoakışkanların hazırlanması için ultrasonik yöntem kullanmıştır. Jian Liu, R. Sajedi, Saleh Salavati Meibodi ve E. Sadeghinezhad, grafen/ iyonik sıvı, SiO₂/su, SiO₂/su + EG ve grafit nanoakışkanı hazırlanması için aynı yöntemi kullanmışlardır.

2.6.3 Tek faz ve iki faz

Deneysel çalışmalara ek olarak nanoakışkanların zorla taşınımının sayısal analizi birçok araştırmacı için ilgi çekici olmuştur. Literatürdeki nümerik analiz, tek fazlı (homojen) ve iki fazlı (karışım) modeller olan nanoakışkanların ısı transferi korelasyonlarını değerlendirmek için iki farklı yaklaşımdan oluşmaktadır.

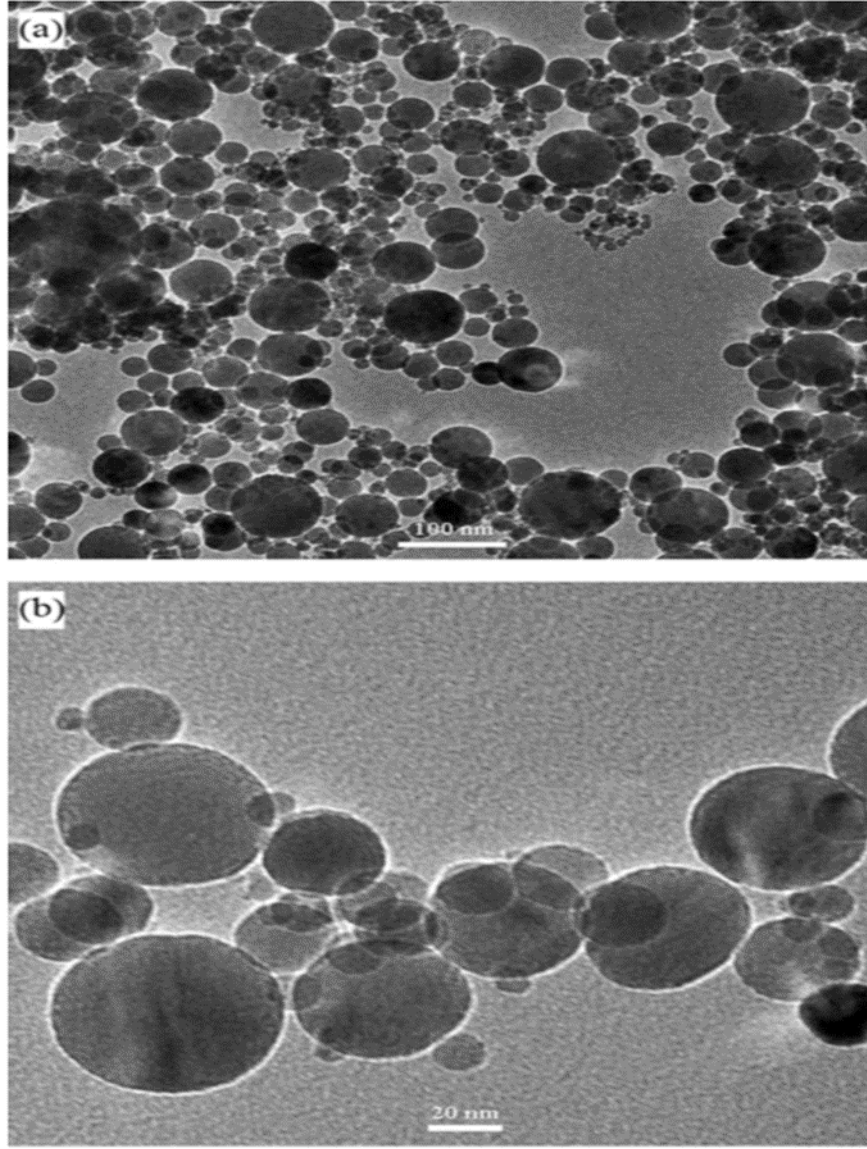
Tek fazlı modelde nano boyutlu katı parçacıkların ve baz akışkanın termal ve hidrodinamik olarak dengede aynı zamanda fazlar arasındaki kayma hızının sıfır olduğu

düşünülmektedir. Bu fazlar, ortak etkin termofiziksel özelliklere sahip tek bir homojen sıvı olarak işlem görür Kaka, S. ve Pramuanjaroenkij, A. (2016).

Tek fazlı model sayesinde nanoakışkanların kullanıldığı ısı transfer mekanizmalarında akışkanın ısı transfer gelişimini önceden tahmin etmek mümkün olabilir. Alternatif olarak, nano-akışkanların ısı transfer özelliklerini değerlendirmek için iki fazlı modeller kullanılabilir. Ancak bunlar daha karmaşıktır ve daha yüksek hesaplama maliyetine ihtiyaç duyar. Hem deneysel sonuçlar hem de mevcut model ve iki fazlı modellerle karşılaştırmak için iki fazlı modellerde, deneysel çalışmalar dahil olmak üzere daha fazla teorik çalışma yapmak gerekir.

Nanoakışkanın katı-sıvı karışımından ziyade tek bir sıvı olduğu varsayılır ve ayrıca parçacıklarla sıvı arasında hareket kaymasının olmadığı da varsayılır. Tek fazlı modelde nanoparçacık kaotik hareketlerinin etkisi göz önüne almak için bazı araştırmacılar tarafından termal dağılım yaklaşımı önerilmiştir. Araştırmacılar ayrıca parçacık konsantrasyonunun artmasının ısı transfer hızını arttırdığı sonucuna varmışlardır. Parçacık ve akışkan arasındaki etkileşimlerin göz önüne alındığı karışım modeli literatürdeki birkaç sayısal analizde de önerilmiştir.

İki fazlı modelde süreklilik denklemi, momentum denklemi ve enerji denklemi, Eulerian modelinde katı ve sıvı fazlar tek bir basıncı paylaşırsa bile her faz için ayrı ayrı çözülür. Hız ve sıcaklık farkları hesaba katılır ve sonlu hacim metodu kullanılarak denklemleri çözülür Vanaki, S.M., P. Ganesan and H. Mohammed, (2016). Bu da fazla maliyet demektir ve sık tercih edilen bir model değildir.



Şekil 2.1 GO-Al₂O₃ nanoakışkanının (a) 100 nm mikroskobik TEM görüntüsü
(b) 20 nm mikroskobik TEM görüntüsü

Ehsan Ebrahimnia-Bajestan, (2016) az miktarda TiO₂ nanoparçacıklarını setil trimetil amonyum bromür (CTAB) ve deiyonize su çözeltisine ekleyerek nanoakışkanı hazırladı. Karışım daha sonra yaklaşık 3-5 saat süreyle ultrasonik bir banyoda sürekli olarak soniklendi. Süspansiyonlar, görsel olarak gözlemlenebilir çökelme olmaksızın yaklaşık 3 aylık süre boyunca kararlı bulundu. Z. Said ve ark., (2015) TiO₂/ damıtılmış su (DW) nanoakışkanlarını yüksek basınçla homojenleştirici kullanarak hazırladı. M.M. Sarafraz, F. Hormozi, S.M. Peyghambarzadeh, (2015) TiO nano parçacıkların dispersiyonunu bazik bir sıvı olarak DI suya karıştırarak ve karıştırarak nanoakışkanları hazırladı. L. Colla, L. Fedele, M.H. Buschmann, (2015) iki aşamalı yöntem kullanarak TiO₂ nanoakışkanları hazırladı. Durga Prasad P.V. Durga Prasad, A.V.S.S.K.S. Gupta ve

K. Deepak, (2015) nanoakışkanları Al_2O_3 nanoparçacıklarını damıtılmış suda dağıtarak ve karışımı SDBS ile karıştırarak hazırladı.

Tek adımlı yöntem, küçük ölçekli üretim için uygundur, iki aşamalı yöntem ise seri üretim için uygundur.

Çizelge 2.4 Literatürde nanoakışkanların hazırlanma yöntemleri

Yazar	Nanoakışkan	Baz Akışkan	Hazırlanma Metodu
Baby	Silver/graphene	Etilen glikol/saf su	İki adım
Chopkar	Al_2Cu/Ag_2Al	Etilen glikol ve saf su	İki adım
Chen	$Fe_2O_3/MWCNTs$	Sodyum dodecyl-benzene-sülfat	İki adım
Baby	CuO/HEG	Etilen glikol/saf su	İki adım
Suresh	Al_2O_3/Cu	Sodyum-lauryl-sülfat	İki adım
Munkbayer	Ag/MWCNT	Su	Tek adım
Zhu	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Su	Tek adım
Wangener	Ag/Fe	–	Tek adım
Wei	SiC/TiO ₂	Yağ	İki adım
Shao	Hybrid TiO ₂	Su	İki adım
Hung	HCFN's	Sodyum dodecyl sülfat	Tek adım
Manikandan	Parafinwaksveku nanoparçacıkları	Propilen glikol-su	İki adım
Mehrali	rGO- Fe_3O_4	Su	İki adım
Ahammed	Grafen- Al_2O_3	Su	İki adım
Soltani	MgO-MWCNT	Etilen glikol	İki adım
Alfrand	Fe_3O_4 -Ag	Etilen glikol	İki adım
Bahrami	Fe-CuO	Su ve etilen glikol	İki adım
Ilyas	Alüminyum-yağ	Oleik asid	İki adım

3. ENERJİ, ENTROPİ ve EKSERJİ

İnsanlar hayatlarını kolaylaştırmak ve devam ettirmek için enerjiyi hayatlarının her alanında kullanmaktadırlar. Her bilim alanı enerji tanımını kendine göre yapsa da enerji; herhangi bir hareketi yapan ya da yapmaya hazır olan yeteneğe verilen genel bir isimdir. Kısaca enerji, iş yapma yeteneği olarak da tanımlanabilir.

Enerjiyi üç gruba ayırabiliriz:

- Diğer enerji türlerine sınırsız veya kısmen dönüştürülebilen enerji (potansiyel enerji, kinetik enerji)
- Diğer enerji türlerine sınırlı veya kısmen dönüştürülebilen enerji (iç enerji, ısı enerjisi)
- Diğer enerji türüne dönüştürülemeyen enerji (çevrenin iç enerjisi)

Enerjiyi temel alan termodinamiğin kanunları bulunmaktadır. Termodinamiğin kanunları günlük gözlemlerimiz ve deneyimlerimizin temeline bağlıdır. Termodinamiğin birinci kanunu olarak adlandırılan enerjinin korunumu prensibi, bir enerji ne vardan yok edilebilir ne de yoktan var edilebilir başka bir deyişle enerjinin korunduğunu ifade etmektedir Çengel ve Bolles, (1996). Bu kanun, fen bilimlerinin temelini oluşturmakta ve hayatsal faaliyetleri anlamamızda bize yardımcı olmaktadır Odell, (2005).

Bir süreç kendiliğinden bir yöne doğru ilerleyebilir. Termodinamiğin birinci yasası yön hakkında hiçbir bilgi vermez. Sadece bir enerji formu başka bir forma dönüştürüldüğünde söz konusu enerji miktarının fizibilitesinden bağımsız olarak enerjinin toplam miktarının korunacağını belirtir. Termodinamiğin ikinci kanunu ise farklı enerji formlarının farklarını ortaya çıkartmakta ve bazı süreçlerin neden kendiliğinden olabileceğini bize açıklamaktadır. Termodinamiğin ikinci yasası, genellikle bir işlemde sonraki toplam entropinin, öncekine eşit veya daha büyük olduğunu belirten bir eşitsizlik olarak ifade edilmektedir. Termodinamiğin ikinci yasası deneysel olarak doğrulanmıştır.

3.1 Entropi

Termodinamiğin ikinci kanunu, işin dönüşümü esnasında kaybolan enerjinin dönüşüm miktarı entropiyle ifade edilmektedir. Hem fiziksel hem kimyasal olan tüm süreçler, sistemin entropisini maksimum düzeye çıkartmak için çaba göstermekte yani kullanılabilir enerjiyi azaltma eğilimindedir. Termodinamiğin ikinci yasasına ilişkin, enerji anlayışını formüle etmek için bir rehber olarak değerli kılan şey, entropi ve

enerjinin kullanılabilirliği arasında ilişkinin ifadesidir Bejan, A.A, (1979). Termodinamiğin ikinci yasası gereği bir süreçte ortaya çıkan entropi üretimi, kaybolan iş ve kullanılmayan enerjiyle ilişkilendirilmektedir Bejan, A.A, (1996). Bu yüzden sistemler için entropi üretimini minimum düzeyde tutmak gerekir. Entropi diğer bir deyişle tersinmezlikler, ısı transferi ve viskoz sürtünme sebebiyle üretilen ısının yol açtığı etkenlerdir.

Entropi, sistemlerin termodinamik yönlerini ve doğada gözlemediğimiz düzen ve yaşamın temelini anlamak için modern bir ifadedir. Sistem izole edildiğinde, sistemin entropisi geri dönüşü olmayan süreçler sebebiyle sürekli olarak artma eğilimindedir. Sistem termodinamik bir denge durumuna ulaştığında, entropi değeri maksimum değerine ulaşmış olacaktır. Sistem, çevresiyle entropiyi değiştirmeye başladığında izole edildiği ilk andaki denge durumundan uzaklaşır ve entropi üretimiyle birlikte geri dönüşü olmayan süreçler başlamış olur. Entropi değişimi, ısı ve maddedeki herhangi bir değişimle ilişkilidir. Sıcaklığın dengede olduğu bir sistemle, dengede olan başka bir sistemin temas etmesi halinde enerjideki artış veya azalışın yaşanıp yaşanmayacağını yansıtan bir özelliktir Dinçer ve Rosen, (2007).

Bir sisteme ısı transferi yapılıyorsa düzensiz enerjisi artacaktır, bir sistemden ısı transferi oluyorsa düzensiz enerjisi azalma gösterecektir. Entropi, sisteme aktarılan ve sistemden dışa aktarılan enerjinin miktarı ve bunun gerçekleştiği sıcaklıkla karakterizedir. Tersinir ısı transferinin mutlak sıcaklığa olan oranının integrali olarak tanımlanmış olan sistemin düzensizlik durumunun bir ölçüsüdür. Bir sistemden diğerine geri tersinir olarak yapılan ısı transferi, iki sisteminde aynı sıcaklığa sahip olması ve birinin düzensizliğindeki artışın diğer sistemdeki düzensizliğin azalması ile eş olması gerekmektedir. Alt sistemler arasında oluşan sürtünme, sistem düzensizliğine etki eder ve ısı transferinde artışa neden olarak entropiyi artırır.

Mahmud ve Faser, (2002) kanal içindeki akışkanda entropi üretimini incelemiş ve enerji denkleminde viskoz ısınma faktörünü ihmal etmiş fakat entropi denkleminde dikkate almışlardır. Başka bir çalışmada da gözenekli ortamlar da gerçekleşen akışta oluşan tersinmezlikleri analitik olarak ifade etmişlerdir Mahmud, S., Fraser, (1989).

Yararlı enerji, düşük entropiye sahip olmalıdır. Termodinamiğin ikinci yasası, transfer veya dönüşümlerin kendiliğinden gerçekleşmesine izin verecektir. Clausius eşitsizliği

entropiyi de içeren termodinamiğin ikinci yasasının matematiksel bir ifadesini sunmaktadır. Termodinamiğin ilk araştırmacılarından birisi de Alman fizikçi Clausius'dur (Dinçer ve Rosen).

$$\int_1^2 \left(\frac{dQ}{T} \right) \leq (S_2 - S_1) \quad [3.1]$$

Termodinamiğin ikinci yasası bu eşitsizlikle ifade edilebilir. Yukarıdaki formülle integrasyonun tüm sistem için yapıldığı gösteriliyor. dQ/T değeri sıfıra eşit veya sıfırdan küçükse tersinir olmayan sistemdir. Sıfıra eşitse de sistem tersinirdir.

Entropi üretim miktarı Bejan (1996) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$S_{\text{üretim}} = S_2 - S_1 - \int_1^2 \left(\frac{dQ}{T} \right) \geq 0 \quad [3.2]$$

$$S_{\text{üretim}} + \Delta S_{\text{giren}} - \Delta S_{\text{çıkan}} = \Delta S_{\text{sistem}} \quad [3.3]$$

Tersinir süreçler veya tersinir olmayan süreçlerle alakalı olarak $S_{\text{üretim}}$ miktarı aşağıdaki değerlerle ilgilidir.

- Tersinir bir süreç için $S_{\text{üretim}} = 0$
- Tersinir olmayan bir süreç için $S_{\text{üretim}} > 0$

Entropi özelliği bir sistemin moleküler düzensizliğinin bir ölçüsüdür. Termodinamiğin ikinci kanunu ise entropinin oluşabileceğini ancak yok edilemeyeceğini belirtmektedir. Bu nedenle belirli bir süreç içerisinde entropi değişimi o sistemdeki entropi artışını ifade etmektedir (Çengel ve Boles 2006).

Bu ilişki entropi dengesi olarak adlandırılır ve herhangi bir şekilde uygulanabilir. Bir sistemin bir süreç içerisinde entropi dengesi şu şekilde ifade edilebilir: Bir sistemin entropi değişimi sistem sınırları boyunca net entropi aktarımına ve sistem içinde üretilen entropiye eşittir.

Entropi bir sisteme ya da bir sistemden iki farklı mekanizma ile aktarılabilir. Bunlar ısı ve kütle transferi şeklindedir. Isı, bir tür dağınık enerjidir. Bir sisteme ısı transferi o sistemin moleküler bozukluğunu veya rastgelelik düzeyini artırır dolayısıyla entropisini de artırır. Bir yerdeki ısı aktarımının (Q) o konumdaki mutlak sıcaklığa (T) oranı entropi transferi olarak adlandırılır (Çengel ve Boles 2006).

$$\text{Isı ile entropi transferi; } S_{\text{ısı}} = \frac{Q}{T} \quad (T : \text{Sabit}) \quad [3.4]$$

Q/T miktarı ısı transferiyle birlikte entropi transferini temsil eder. Termodinamik sıcaklık yani (T) her zaman pozitif miktar olduğu için entropi transferinin yönü, ısı transferinin yönüyle aynıdır.

Hiçbir entropi iş tarafından aktarılmaz. Enerji, hem ısı hem iş tarafından aktarılırken entropi, sadece ısıyla aktarılır (Çengel ve Boles 2006).

İşe göre entropi transferi; $S_{i\dot{s}} = 0$ [3.5]

Kütle, enerjinin yanı sıra entropi de içermektedir. Sistemin entropisi ve enerji içeriği sistemin kütlesiyle orantılıdır. (Bir sistemin kütlesi iki katına çıkarıldığında sistemin enerji içeriği ve entropisi de iki katına çıkacaktır.) Sistemin kütle akış oranıyla orantılı olarak o sistemin hem entropi hem de enerji, madde akımları tarafından bir sisteme veya sistemden taşınır kapalı sistemler herhangi bir kütle akışını ve dolayısıyla kütle ile herhangi bir entropi transferini içermez (Çengel ve Boles 2006).

Kütle transferiyle entropi transferi; $S_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}} = m s$ [3.6]

Bu nedenle bir sistemin entropisi, m miktarındaki kütle ile aynı zamanda aynı durumda aynı miktarda ve aynı yönde artar veya azalır.

Çalışmaların büyük kısmı nanoakışkan akışındaki sayısal ya da teorik entropi hesaplamalarıyla alakalıdır. Nanopartikül çeşitleri ve geometrileri dairesel, dikdörtgen yadakare mini kanallar ve mikro kanalar, güneş enerji kollektörleri, dönen silindirler. Özellikle bu küçük kanallar ve tüplerde çok sayıda deneysel çalışma vardır Mehirdad vd., (2018).

3.1.1 Tersinmezlik

Entropi üretimi bir sistemin tersinmezliğini göstermektedir. Bu nedenle daha iyi çalışma koşulları elde etmek için entropi üretimini en aza indirmek önemlidir. Sonuç olarak, çeşitli araştırmacılar tarafından optimum çalışma koşullarını bulmak için nanoakışkan akış analizinde entropi üretim analizi göz önünde bulundurulmuştur.

Termal sistemin verimini geliştirmek için entropi üretimini minimize etmek aslında düşük entropili bir sistem olarak cazip hale getirmektedir. Bunun sebebi akışkan sürtünmesi ya da ısı transferindeki tersinmezliktir. Nanoakışkanlarda ısı transferini arttırmak için entropi ve ekserji analizi hayati önem taşımaktadır. Literatürde de deneysel sonuçlar entropi analizinin temelinde geniş ölçüde kapsamaktadır.

Toplam entropi hesaplamalarında iki tür tersinmezliğin etkili olduğu bilinmektedir. Isı transfer tersinmezliği (HTI) ve akışkan sürtünmesi tersinmezliği (FFI). Bu nedenle, termal sistem performansının gelişimi, tasarım ve yöntemi kapsamlı bir şekilde ikinci yasa analizi kapsamında araştırılması gereklidir. Termal sistemin verimini artırmak için ikinci yasa analizi kapsamında entropi hesabı minimize edilecek şekilde sistem tasarlanır.

Bir termal sistem verimi için Bejan sayısı ve entropi üretiminin deneysel sonuçları minimum entropi için önemli bir parametredir. Bejan sayısı ikinci yasa analizindeki tersinmezliklerin katkısını ortaya koyar. Sürtünme katsayısının 0'a yaklaştığını varsayarken, ısı transfer tersinmezliğinin baskın olduğunu Bejan değeri tersinmezlik analizinde göstermektedir.

Tersinmezlik, verimliliğin ve ekserji kaybının sebebidir. Bir sistemdeki ekserji kaybını tespit etmek için her süreçte tersinmezliğin derecesini ve dolayısıyla gelişme potansiyelini bilmek için bir analiz gereklidir. Bir sistemin tersinmezliği, sistemdeki tüm akışların mevcut tüm enerji tahribatının toplamıdır.

3.2 Ekserji

Toplumların hayatta kalmasını destekleyen ve garanti eden nihai elemanın enerjinin mevcudiyeti olduğu belirtilir Odum, (1996).

Belirli bir halde ve miktardaki enerjinin yararlı iş potansiyeli gibi bir özelliğin tanımlanması çok yararlı olacaktır. Bu özellik kullanılabilirlik veya kullanılabilir enerji diye de bilinen ekserjidir Çengel veBoles , (2006). Kütle ve enerji korunmuş özellikler olsa da ekserji, enerji ile aynı birimde olmasına rağmen korunmayan bir özelliktir. Maddenin veya enerjinin tüm dönüşümlerinde her zaman ekserji kaybı vardır Szargut ve ark., (1988).

Ekserji, mevcut teknik beceri ve deneyime bakılmaksızın kaynakların büyüklüklerini karşılaştırmak için kullanışlı bir yöntem olarak kabul edilebilir (Wall, 1977).Bu nedenle, sistemlerin veya işlemlerin ekserji temelli analizi en fazla kaynak tüketen noktasını ele alır ve bunun ne kadar kullanışlı olduğunu ortaya çıkarır. Ekserji, mevcut enerji ve kullanılabilirlik kavramları benzerdir. Ekserji yıkımı, ekserji tüketimi, geri dönüşüm ve kayıp iş kavramları da aynı şekilde benzerdir. Ayres (1994) ve Szargut ve ark. (1988), mevcut enerjinin ya da ekserjinin dünyadaki tüm faaliyetlerin tek kaynağı olduğu sonucuna vardılar.

Kaynak tüketimi açısından daha verimli sistemler tasarlamak, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli bir unsurdur Hermann, (2006). Bir topluma ekserji temelli analizlerin uygulanması ve kaynakların ekserji açısından incelenmesi, kaynak tüketiminde büyük ilerlemelerin gerekli olduğu alanların belirlenmesi için sürdürülebilirlik bakış açısıyla daha kapsamlı ve derin bir öngörü kazanılmasını sağlar. Verimi yüksek teknolojiler uygulayarak önceliklerin belirlenmesini kolaylaştırır (Dinçer ve diğ., 2004, s. 526).

3.2.1 Ekserji analizi

Ekserji analizi; enerji kayıplarının büyüklüğünü, şeklini ve yerini doğru bir şekilde tespit etmesi sebebiyle sahip olunan enerjiyi ve kaynakları verimli kullanmak adına faydalı bir analiz yöntemidir. Enerji ve diğer sistemlerin analizi, tasarımı ve geliştirilmesi için termodinamiğin ikinci kanunu ile birlikte kütle korunmasını ve enerji ilkelerinin korunmasını kullanan bir tekniktir Granowski, Dinçer, Rosen, (2000).

Ekserji analizi, ekserji tahribatı ve ekserji kayıplarının meydana geldiği süreçleri ve bölgeleri belirler. Bu nedenle ekserji analiz yöntemleri yenilikçi teknolojilerin rasyonel bir şekilde değiştirilmesine yardımcı olabilir. Bir ekserji analizi gerçekleştirilmenin amacı, termodinamik mükemmellik derecesini doğanın limiti dahilinde ölçmektir. Bu bağlamda, bugüne kadar literatürde yer alan farklı alanlarda ekserji analizleri üzerine çok miktarda araştırma yapılmıştır. Ekserji analizi çoğunlukla kimyasal işlemlere ve ısı eşanjörlerine uygulanmıştır. Sciubba ve Wall'da (2007) sunulan verilere dayanarak, Rant (1947) kimyasal işlem için ilk ekserji analizini soda üretimi ile gerçekleştirmiştir. Türkiye'nin ekserji analizi üzerindeki çalışmalar ise, Türk tekstil endüstrisini enerji ve ekserji yöntemlerini inceleyerek başlamıştır Unlu ve ark. (1987).

Bir maddenin ekserjisi, maddeyi ölü durumdan başlangıç durumuna getirmek için gereken asgari çalışma miktarını temsil eder. Szargut ve diğerleri, (1988). Kaynakların ekserjisi, potansiyel yararlılığın ölçüsü yani faydalı işler gerçekleştirme becerisidir Ayres ve Ayres, (1999). Bu tanım, bir kaynağın ekserji içeriğinin kaynak kalitesinin bir göstergesi olarak görülmesinin ifadesidir Szargut ve diğ. (1988) ve Bejan ve ark. (1996).

Enerji kullanım optimizasyonu, enerjinin sadece niceliğine değil aynı zamandan sahip olduğu kaliteye de bağlıdır. Termodinamiğin ikinci yasası enerjinin bozulma yasasıdır. Sistemde enerji miktarının çalışma potansiyelinin azalmasıyla enerji bozulmaktadır. Enerjinin gerçek süreçlere dönüştürülmesiyle yararlı iş potansiyeli sürekli azalmaktadır.

Karmaşık sistemlerde, sistemin ekserji kaybı o sistemdeki her bir elementin ekserji kaybı olarak ifade edilebilir. Termodinamiğin ikinci kanunu ise bu karmaşık termodinamik sistemlerde optimizasyon sağlamak açısından çok güçlü bir araçtır Günerhan ve Hepbaşlı (2007).

Ekserji analiziyle ideal çalışma akışkanının özelliklerine yaklaşabilen ve ısı kaynağıyla en iyi uyumu elde etmek için çalışma koşullarını en uygun hale getirebilirler. Aksaklıkların tespit edilmesi, enerji dönüşüm verimliliğinde önemli bir iyileşmeye yol açabilir. Bu durumda ekserji yıkımının azalması demektir.

Enerji ve ekserji terimleri Dinçer ve Çengel tarafından karşılaştırılmıştır:

Enerji;

- Sıfırdan farklı değerler sahiptir.
- Tüm prosesler için termodinamiğin birinci yasasıyla analiz edilir.
- Tüm prosesler için termodinamiğin ikinci kuralı ile sınırlıdır.
- Hareket üretme yeteneğidir.
- Tüm proseslerde her zaman korunur, yoktan var vardan yok edilemez.
- Sadece miktarın bir ölçüsüdür.

Ekserji;

- Maddenin parametrelerine enerji akımına ve çevresel parametrelere bağlıdır.
- Çevre şartlarında sifira eşittir.
- Sadece tersinir proseslerde termodinamiğin birinci yasasıyla analiz edilir.
- Tersinir prosesler için sınırlı değildir.
- İş üretme yeteneğidir.
- Sadece tersinir proseslerde her zaman korunur ancak tersinir proseslerde yıkıma ve kayıplara uğrar.
- Hem miktarın hem kalitenin bir ölçüsüdür.

Termal verimin artması basıncın düşmesi anlamına gelir ve sistem enerji tüketimini azaltarak ekserji yıkımını azaltır. Ekserji kaybı, toplam entropi üretimi ile doğrudan ilişkilidir. İkinci yasa analizi minimum ve maksimum entropi üretimini incelemek açısından oldukça kullanışlı ve makuldür. Minimum entropi analizi, termal sistemin performansı gelişimi ve dizaynında önemli hale gelmiştir. Minimum entropi üretimi bir sistemin enerji verimliliğini artırmak için önemli bir parametredir.

Toplam entropi üretimi sıcaklık gradyanının artırılması ile azalır. Dolayısıyla ekserji kaybı Reynold sayısının azalma işlevidir. Re 'un artması demek ekserji kaybının azalması anlamına gelir. Daha yüksek ekserji kaybının ikinci yasa performansının düşmesine neden olduğu açıktır (M. Sheikoleslami vd. 2018).



4. LAMİNER ve TÜRBÜLANSLI AKIŞ

Düşük hızdaki akışlar akım çizgisi halindedir. Hız artarken kritik değere ulaştıktan sonra karmaşık bir hal almaktadır. Kritik değere ulaşana kadar olan akış rejmine Laminer akış denir. Laminer akış düzenli bir akış olarak tanımlanır. Kritik değerın üzerine çıkıldığında akış şekli ise türbülanslı akış olarak adlandırılır. Türbülanslı akış düzensiz akış olarak tanımlanabilir. Kritik değerden sonra Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş bir anda olmaz Çengel.Y. A. JM. Cimbala, (2010).

Türbilanslı akıştaki karmaşık yapı akışkan içerisindeki parçacıkların momentumunu artırmakla beraber yüzey sürtünme kuvvetini de artırmış olur. Bu pompalama gücünde artışa sebep olur. Akış tam olarak türbülanslı hale geldiğinde sürtünme faktörü en yüksek değere ulaşmış olur Çengel.Y. A. JM. Cimbala, (2010). Türbülanslı akışlarda mikrokanaalların taşınımı ısı transfer katsayısının diğer kanallara göre daha büyük olacağını söylemişlerdir Tuckerman ve Pease, (1982).

Laminer akıştan türbülanslı akışa geçişi etkileyen faktörler; akışkanın hızı, yüzey pürüzlülüğü, yüzey sıcaklığı gibi etkenlerdir. Osborne Reynold 1880’li yıllarda akış rejimleriyle ilgili yapmış olduğu ayrıntılı çalışmalarda; akışkanların atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağlı olduğunu bulmuştur. Bulunan bu oran Reynolds sayısı olarak adlandırılmıştır.

4.1 Reynold Sayısı

Reynold sayısındaki büyüme nanoakışkanlar için, ısıl tersinmezliği azalttığı ancak sürtünme entropi oluşumunu arttırdığı görülmektedir. Bunun nedeni daha büyük reynold sayısının ısı transfer katsayısında bir büyümeye yol açmasıdır. Bununla birlikte yüksek reynold sayısında akışkanlar daha yüksek hız profilli sürtünmeden dolayı entropi oluşumunu azaltmaktadır. Sürtünme entropi oluşumu ise hacim konsantrasyon oranı ile artar. Bu durum nanoparçacık hacim konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanların viskozitesinin artmasından kaynaklanmaktadır. Reynold sayısı arttıkça girdap yoğunluğundaki artışa bağlı olarak termal sınır tabaka kalınlığı azalır. Bu nedenle artan giriş hızı, daha güçlü konvektif akışa yol açar.

$$Re = \frac{V_{ort} \times D}{\nu} = \frac{\rho \times V_{ort} \times D}{\mu} \quad [4.1]$$

Akışın türbülanslı akışa geçtiği Reynolds değeri Kritik Reynolds değeridir. Re_{kr} olarak gösterilir. Dairesel borularda iç akış için kabul edilen Kritik Reynolds sayısı genelde

2300' dür. Akışlarda akış rejmini belirlemek için kesin Re değerini belirlemek isteriz. Bu kolay bir durum değildir. Çalışmaların çoğunda dairesel borudaki iç akışta laminer akış için $Re \leq 2300$ ve türbülanslı akış için $Re \geq 4000$ kabulleri yapılır ve $2300 \leq Re \leq 4000$ değerleride geçiş akışıdır Çengel Y., A.J.M. Cimbala, 2010.Yapmış olduğumuz çalışmada ise kanalın büyük kısmında türbülanslı akış gözlemlenmiştir.

Borulardaki akışkanın hızı borunun yüzey kısmından merkezine doğru artış göstermektedir. Akışkan hızını baz alırken ise ortalama hız Vort ile çalışmaktadır. Vort akışkanın içinde bulunduğu borunun kesit alanı değişmediği sürece sabittir.

Dairesel borularda, Laminer akış için yüzey akısı sabit kabul edildiğinde Nusselt sayısı sabittir. Reynolds ve Prandtl sayılarından bağımsızdır Çengel Yunus A., (2011).

4.2 Nusselt Sayısı

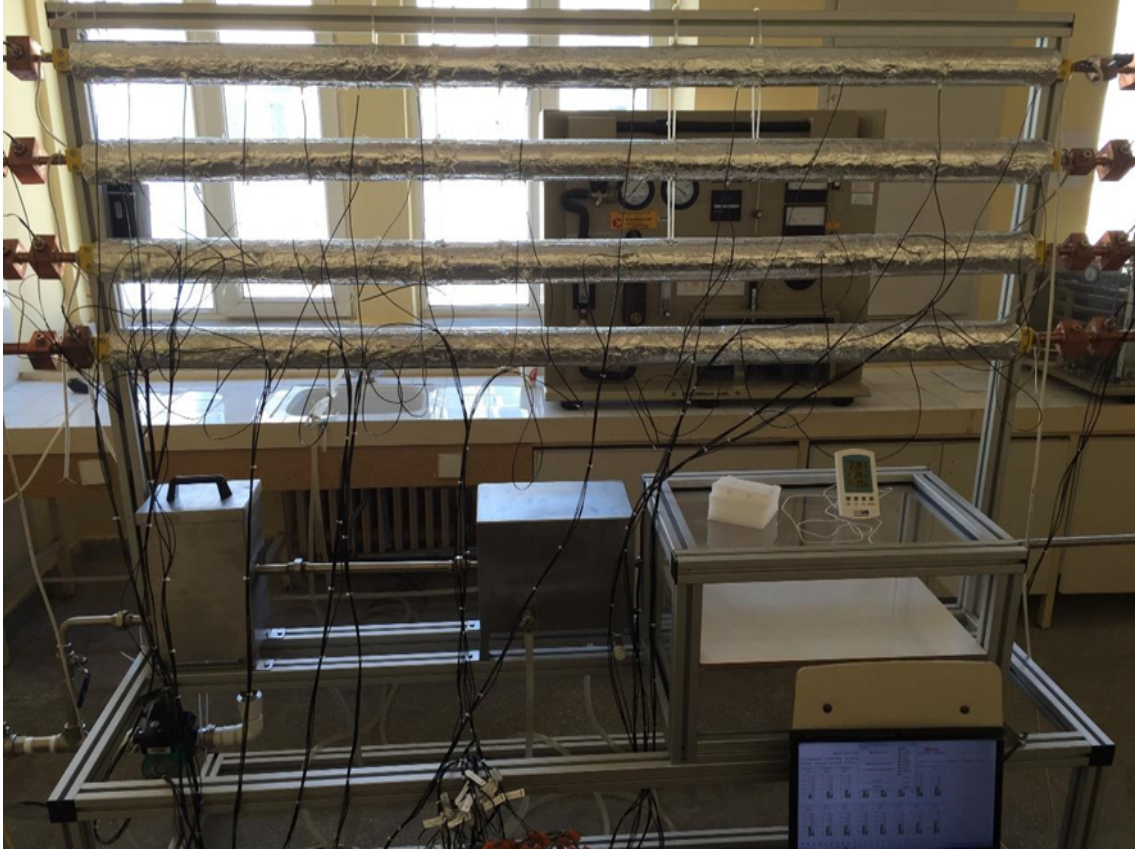
Araştırmalarda Nusselt sayısı için iki sınır koşuluyla aynı oranda etkilendiğinden bahsedilmiştir. Bu iki sınır koşulu sabit yüzey sıcaklığı ve sabit yüzey akısıdır. Reynold sayısının artmasıyla akış karmaşık hal almaya başlamaktadır ve bu durum ısı transferini iyileştirmektedir. Yapılan çalışmalarda Reynold sayısının artışıyla Nusselt sayısının aynı oranda artışı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde Prandtl sayısının artması da ısı transferini iyileştirmekte ve akışkanın daha fazla karışmasını sağlamakta olup sisteme olumlu yönde etki etmektedir. Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere, yüzey sınır şartlarının Nusselt sayısını fazla etkilemediğini söyleyebiliriz. Aynı zamanda Nusselt sayısı nanoakışkanlarda artan konsantrasyonla artış göstermektedir. Nusselt sayısı Pak ve Cho tarafından deneysel olarak hesaplanmıştır. Özellikle nanoakışkanlar için;

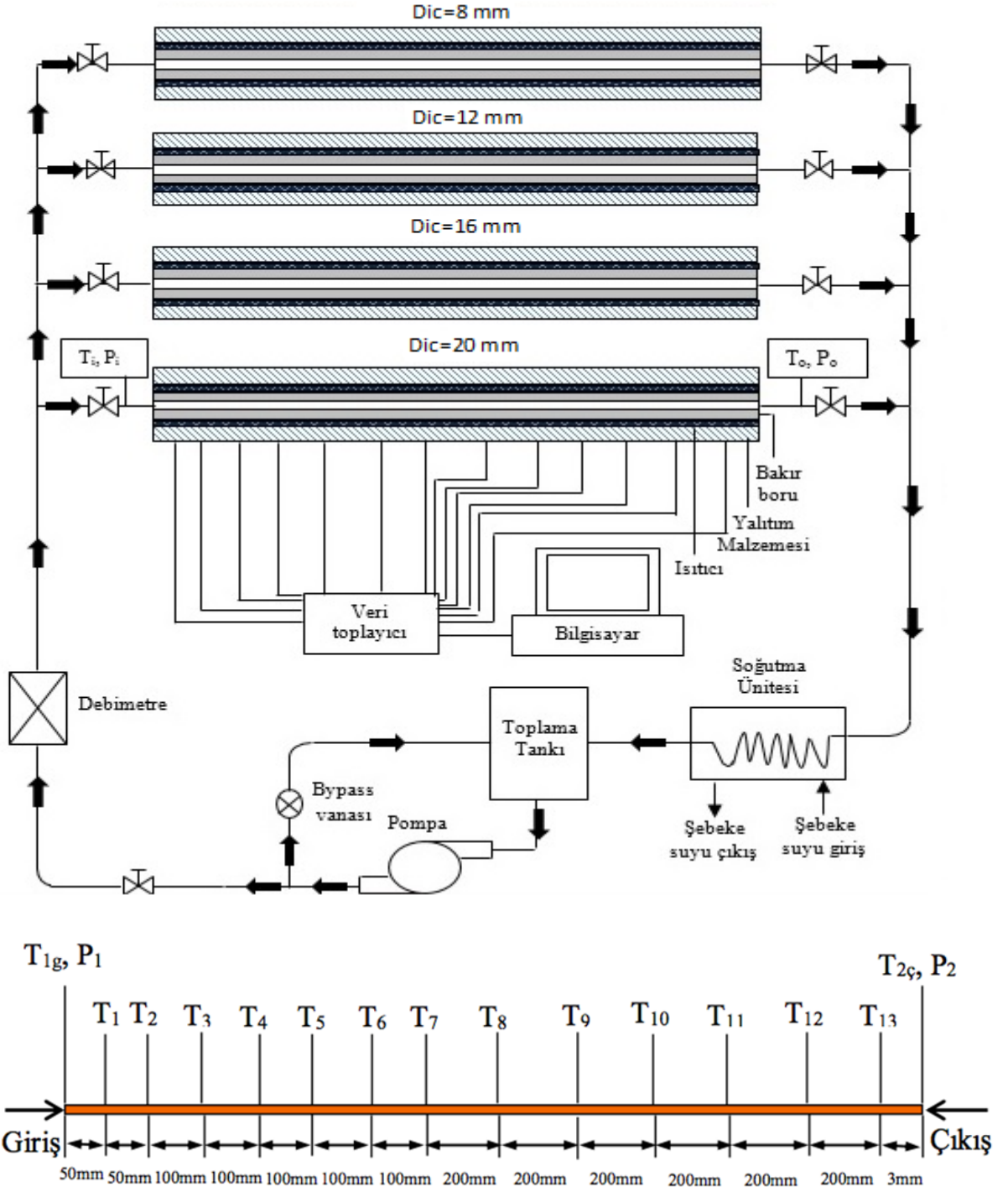
$$Nu=0,021.Re^{0,8} . Pr^{0,5} \quad [4.2]$$

5. DENEYSSEL SİSTEM VE DENKLEMLER

5.1 Deneysel Sistem

Nanoparçacıkların aynı uzunlukta ve farklı çaplarda bakır boruların içinde, boruların cidarına veya merkezine doğru yapabileceği hareketleri göz önüne alarak düz borularda ki ısı taşınım katsayısını, basınç düşüşü değişimini belirlemek ve çalışılan bu borular içerisinde en uygun olanını tespit etmek için kurulmuştur. Deneysel düzenek temel olarak; test bölümü, veri kaydetme bölümü, toplama tankı, pompa ve soğutma bölümünden oluşmaktadır.





Şekil 5.1 Isı transfer değerlerinin ölçülmesi için kurulan deneysel sistemin gösterimi
 Toplama tankından alınan test akışkanı, pompa kullanılarak ana hatta pompalandıktan sonra bir debimetreden geçerek dört farklı borudan oluşan test bölümüne ulaşmaktadır. Vana ile kontrolü yapılabilen bu borulardan geçen belirli sıcaklıktaki akışkanlar sabit giriş sıcaklığı elde etmek amacıyla bir şebeke suyuyla soğutulan spiral şeklinde bakır borudan oluşan soğutucudan geçerek istenilen sıcaklığa geldikten sonra tekrar toplama tankına geri dönmektedir.

Test bölümünde bakır malzemelerden yapılmış düz boruların deney düzeneğinde boru çapları en üstten alta doğru sırasıyla 8 mm, 12mm, 16 mm, 20 mm olarak sıralanmıştır. Bakır boruların et kalınlıkları 2mm olup, 1800 mm uzunluğundadır. Bu bakır çubuklara 50mm, 100mm, 200mm, 300mm, 400mm, 600mm, 800mm, 1000mm, 1200mm, 1400mm, 1600mm ve 1800 mm noktalarında kalibre edilmiş toplamda 13 tane J tipi (Elimko-tc15-1J1Pt 20x20) yüzey termokupulu yerleştirilmiştir. Giriş ve çıkış kısımlarında akışkan sıcaklıklarını ölçmek için yine kalibre edilmiş J tipi (Elimko- BT05-1J04-7-R1/4''-S) daldırma tipi termokupul kullanılmıştır. Basınç farkını ölçmek için ise test bölümünün giriş ve çıkışına 400mbar'a kadar ölçüm yapabilen basınç sensörleri (Keller PR 23R/80710.34) kullanılmıştır. Test bölümündeki borular sabit ısı akısı sınır şartlarını sağlamak amacıyla her bir boruya eşit miktarda ve uniform ısı verilecek şekilde (max. 500W) ısı yükü 50W/m olan nikel krom telden imal edilmiş rezistans ısıtıcı ile sarılmıştır. Direnç telinin üzeri çevreye olan ısı kaybını azaltmak için ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan kalın bir cam yünü ile yalıtılmıştır. Şebekeden alınan gerilim (voltaj) değeri rezistans kontrolü ile ayarlanabilir güç ünitesi (RTM Rezistans kontrol-220-240 vAC-50 Hz) ile değiştirilerek elde edilen watt değeri priz wattmetre (ELV Elekt.-EM 600-230 V~/50 Hz716 A) ile ölçülmektedir. Sisteme sağlanan debi değeri, bypass vanası ile ayarlanarak dijital debimetreden (Kobold IP 65) görülmektedir. Sistemdeki debi değeri, yüzey ve akışkan giriş-çıkış sıcaklıkları, basınç değerleri veri toplama sistemi (Elimko E-680) ile her 5 sn' de bir okunup bilgisayara (Exper Karizma A5B-C23 15.) gönderilerek veriler kayıt altına alınmaktadır. Test akışkanının sistemdeki dolaşımı sirkülasyon pompası (KL-GRS-P15/6) ile sağlanmaktadır. Toplama tankı, 10 l hacminde olup paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Soğutma bölümü ise 15 l kapasiteye sahip olup içerisinde 5.5 m boyunda 6 mm iç çapa sahip soğutma yüzey alanını artırmak amacıyla spiral şekline getirilmiş bakır boru bulunmaktadır. Test akışkanı bu spiral şeklindeki bakır borudan geçerken, şebeke hattından gelen ve test akışkanını soğutmakta kullanılan su soğutma bölümündeki giriş ve çıkış kısımlarından geçerek sistemi terk etmektedir. Deney düzeneğinin bu kısmından sonra sisteme giriş yapan test akışkanının istenilen sabit sıcaklıkta sisteme girmesi sağlanmaktadır. Aksi halde sürekli ısı yükü altında olan deney borusu nedeniyle test akışkanı her seferinde ısınarak sisteme giriş yapacak ve sabit bir giriş sıcaklığı elde edilememektedir. Böyle bir durum da deneyler arasında karşılaştırma yapılmasını imkansız hale getirmektedir. Böyle bir durumdan kaçınmak için sisteme bu şekilde bir soğutma bölümü eklenmiştir. Sistemde önce suyla deneyler yapılmış sonrasında nanoakışkan kullanılarak borularda sürtünme faktörü ve

zorlanmış ısı taşınım faktörü belirlenmiştir. Toplama tankı çalışma akışkanıyla doldurulmaktadır. Vana kontrolüyle sirkülasyon pompası istenilen debiye ayarlanıp çalıştırılmaktadır. İstenilen ısı miktarını sisteme dahil etmek için wattmetre ile voltaj ayarı yapılarak sisteme giren ısı miktarı okunmaktadır. Deneylede çalışılan debi aralığı 0,9 l/dk., 1,2 l/dk., 1,8 l/dk. olacak şekilde akış ayarlaması yapılmakta ve sürtünme faktörleri ve yük kayıpları (basınç düşüşleri) %0,01 ve%0,02 hacimsel konsantrasyonlarda ve 250 W, 350 W ve 500 W olmak üzere üç farklı sabit ısı yükü altında ölçülmektedir. Deneylelerin hepsinde, kararlı koşullara ulaşılması için 25-35 dakika kadar bir zaman aralığı beklemesi gerekmektedir.

Nanoakışkan ısı transfer özelliklerini incelerken literatürde iki farklı yöntem tanımlanmıştır. Bunlardan biri tek fazlı yani süreklilik yöntemi diğer iki fazlı yöntemlerdir. Yapılan araştırmalarda nanoparçacıkların düşük konsantrasyonlarda karıştırılmasından dolayı geleneksel bir katı-sıvı karışımı gibi değil birinci yöntem olan tek fazlı karışım gibi davrandığı üzerinde durulmaktadır. Tek fazlı yöntemin kullanılması daha basittir ve hesaplama açısından daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle tek fazlı akışkanlar için literatürde kullanılan bütün termodinamik denklemleri nanoakışkanlar içinde kullanabilir.

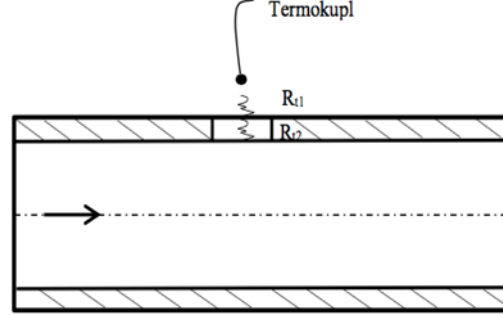
Çalışmamızda tek fazlı yaklaşım uygulanmıştır. Tek fazlı yaklaşımın uygulanması için nanoparçacık boyutları 100 nm den küçük olması gerekmektedir (Utomo vd. 2012). Yapacağımız hesaplarda özgül ısı, viskozite, ısıl iletkenlik değerleri üç ana değişken olarak ele alınmaktadır (Xuana ve Roetzel 2000).

Sistemin sağlıklı çalıştığını görebilmek için sistem çalışmaya başlamadan önce kalibrasyon testi uygulanmalıdır. Kalibrasyon testinde yaygın olarak saf su kullanılmaktadır. Deneyle düzeneğine üç tip kalibrasyon testi uygulanmıştır.

1. Sisteme ısı veren devre kapatılarak sistemin kararlılığına bakılmış ve her bir termokupul arasında ki sapmanın yaklaşık %3 olduğu bulunmuştur.
2. Sisteme enerji dengesi açısından kararlılığına bakılmak istenmiş ve yüzeyinin adyabatik olduğu varsayılmıştır. Yüzeye üç farklı ısı yüküyle (250W, 350W ve 500W) test edilmiştir. Sisteme sağlanan enerjide yaklaşık %8'lik sapma belirlenmiştir.
3. Sabit ısı akısı altında $Re \leq 3000$ için (Shah, R.K. 1975) daimi akış için Shah denklemini ve $Re > 3000$ için Ghilinski (Ghilinski vd. 1976) denklemini göz

önüne alarak kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyon borunun dış duvarı ve termokupl arasındaki iletim direncinin etkisini yok etmek amacıyla yapılmıştır.

4.



Şekil 5.2 Test borusu için termokupl ve akış arasındaki ısı direncinin gösterimi

5.2 Denklemler

Nanoakışkan iletiminin sayısal araştırmaları için ulaşılabilir geniş bir literatür olduğu söylenebilir. Tek fazlı ya da çok fazlı modellerin kullanımında sürdürülebilirliğe bağlı olarak farklı ve doğru metodlar önerilmiştir.

Termofiziksel özelliklerin belirtilmesi temel açıdan önemlidir çünkü yapılan termodinamik analizlerin çoğu bu özelliklere bağlıdır.

Nanoakışkanın yoğunluğu, karışımın genel formülüne bakılarak hesaplanır.

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p \quad [5.1]$$

Özgül ısı, nanopartiküller ve baz akışkan arasında termal denge olduğu varsayılarak hesap yapılır.

$$c_{pnf} = \frac{(1-\varphi)\rho_{bf} c_{pbf} + \varphi\rho_p c_{pp}}{\rho_{nf}} \quad [5.2]$$

Denklem (1) ve (2) bilim adamları tarafından yapılan araştırmalarla deneysel olarak araştırılmış ve geçerli kabul edilmiştir.

Nanoparçacıkların termal iletkenliği küresel ölçüde, şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = 1 + 4,4 \cdot Re_d^{0,4} \cdot Pr^{0,66} \cdot \left(\frac{T}{T_{fr}}\right)^{10} \cdot \left(\frac{k_p}{k_{bf}}\right) \cdot \varphi^{0,66} \quad [5.3]$$

Re_d →nanoparçacık Reynold sayısı

Pr → taban akışkanın Prandtl sayısı

Nanoparçacık Reynold sayısı şu şekilde ifade edilir:

$$Re_d = \frac{\rho_{bf} v_b d_p}{\mu_{bf}} \quad [5.4]$$

v_b →Brownian hızı

$$v_b = \frac{2.C_B.T}{\pi.\mu_{bf}.d_p^2} \quad [5.5]$$

Dinamik viskozite şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{1-24,3745.d_p^{-0,264}.\varphi^{1,028}} \quad [5.6]$$

Ayrıca nanoakışkanın dinamik viskozitesi, parçacık çapının ve konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

Entropi Hesabı:

Entropi hesaplamaları iki faktörün katkısıyla hesaplandığı kabul edilir. Bir kanal boyunca akan nanoakışkan aşağıdaki denklemlerle tanımlanır ve tartışılır.

$$S_{\dot{u}retim,T} = S_{\dot{u}retim,t} + S_{\dot{u}retim,f} \quad [5.7]$$

Bu iki katkı termal ve sürtünme entropisi olarak kabul edilir. Toplam entropi hesaplanırken her faktörün etkisi değerlendirilir. Bejan sayısı (Be) boyutsuz bir parametredir. Bejan sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Be = \frac{S_{\dot{u}retim,t}}{S_{\dot{u}retim,T}} \quad [5.8]$$

Be sayısı '0' ile '1' değerleri arasındadır. Isı transferinin ve akışkan sürtünmesinin tersinmezliklerinin baskın olması durumu Be=0 ve Be=1 olmak üzere iki limit duruma göre belirlenmektedir.

$$S'_{\text{üretim},T}(X) = \frac{q' \cdot \Delta T(X)}{T^2} + \frac{m}{\rho \cdot T} \left(-\frac{dp}{dx} \right) \quad [5.9]$$

Yukarıdaki denklem birim uzunluktaki lokal entropi üretimini temsil etmektedir. Denklemin ilk bölümü termal entropi üretimini gösterirken ikinci bölüm sürtünme entropi üretimini göstermektedir.

Köşeli kanallar için;

$$S_{\text{üretim},T} = \frac{q^2 \cdot P \cdot D \cdot L}{Nu \cdot k \cdot T_{ave}} + \frac{2 \cdot m^3 \cdot f \cdot L}{\rho \cdot T_{ave} \cdot D \cdot Ac^2} \quad [5.10]$$

Akışkanın geçeceği kanal dairesel şekilde ise;

$$S_{\text{üretim},T} = \frac{q^2 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L}{Nu \cdot k \cdot T_{ave}} + \frac{32 \cdot m^3 \cdot f \cdot L}{\rho^2 \cdot T_{ave} \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad [5.11]$$

Termal ve sürtünme entropi üretimi şu şekilde ifade edilebilir:

$$S_{\text{üretim},t} = \frac{q^2 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L}{Nu \cdot k_{nf} \cdot T_{ave}} \quad [5.12]$$

$$S_{\text{üretim},f} = \frac{32 \cdot m^3 \cdot f \cdot L}{\rho^2 \cdot T_{ave} \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad [5.13]$$

T_{ort} → Ortalama sıcaklık ve şu şekilde ifade edilir:

$$T_{ort} = \frac{T_{gir} - T_{çık}}{\ln\left(\frac{T_{gir}}{T_{çık}}\right)} \quad [5.14]$$

$T_{çık}$ kanallar için termodinamiğin birinci yasası olarak tanımlanabilir.

$$T_{çık} = T_{gir} + \frac{q \cdot A_s}{m \cdot C_p} \quad [5.15]$$

Nusselt sayısı

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k_{nf}} \quad [5.16]$$

sürtünme katsayısı f olarak tanımlanır.

Sürtünme katsayısı için;

$$f = \frac{1}{(1,82 \log Re - 1,64)^2} \quad [5.17]$$

$$Re = \frac{\rho_{nf} \cdot v \cdot D}{\mu_{nf}} \quad [5.18]$$

olarak değerlendirilmiştir.

Akışın termodinamik performansını ikinci yasa verimi açısından tanımlamak için, nanoakışkandaki toplam entropi üretiminin baz akışkanının entropi üretimine oranı ($S_{\text{üretim,oran}}$) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$S_{\text{üretim oranı}} = \frac{S_{T,nf}}{S_{T,bf}} \quad [5.19]$$

Grafenoksitin çalıştığı sıcaklıktaki entalpi değerini hesaplamak için grafenin c_p değeri olan 0,72 ile çarpılarak hesaplanır.

Ekserji Hesabı:

$$\Delta H_{GO} = 0,72 * T \quad [5.20]$$

Bulunan entalpi değerleri ekserji formülünde yerine yazılarak giriş ekserjisi ve çıkış ekserjisi hesaplanmaktadır.

$$E_{giriş} = ((h_{giriş} - h_{ortam}) - \left(\frac{h_{giriş} - h_{ortam}}{T_{giriş} - T_{ortam}} \right) \cdot \ln \left(\frac{T_{giriş}}{T_{ortam}} \right) \cdot T_{ortam}) \dot{m} \quad [5.21]$$

$$E_{çıkış} = ((h_{çıkış} - h_{ortam}) - \left(\frac{h_{çıkış} - h_{ortam}}{T_{çıkış} - T_{ortam}} \right) \cdot \ln \left(\frac{T_{çıkış}}{T_{ortam}} \right) \cdot T_{ortam}) \dot{m} \quad [5.22]$$

Sisteme dahil edilen elektriğin ekserji değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad [5.23]$$

$$E_e = \left(1 - \frac{T_{ortam}}{T}\right) \cdot Q \quad [5.24]$$

Sistemin ikinci yasa verimi:

$$\eta = \frac{E_{çıkış}}{E_{giriş} + E_e} \quad [5.25]$$



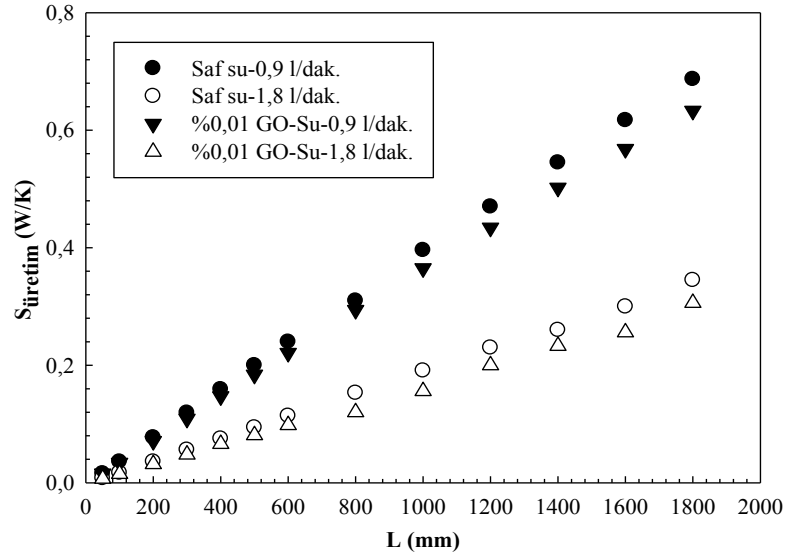
6. SONUÇLAR

6.1 Entropi Hesapları

%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı İçin Farklı Debilerde ve Farklı Isı Akılarında 1. Boruda (D_{ic}=8 mm) Elde Edilen Sonuçlar

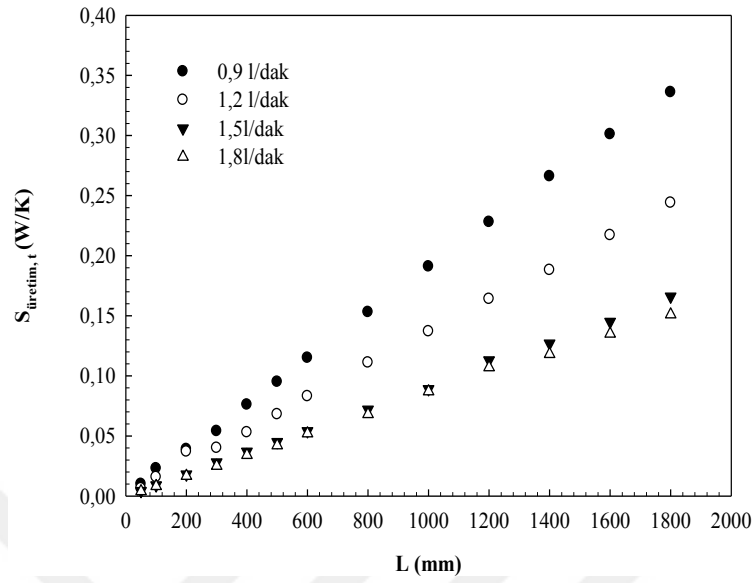
Bir sistemdeki, ısı transferi ve sürtünme kayıpları entropi üretimi kaynaklarıdır. Isı transferinden kaynaklanan entropi miktarı ısı entropi ($S_{\text{üretim, t}}$) olarak, sürtünme kayıplarından kaynaklı entropi miktarı sürtünme entropisi ($S_{\text{üretim, f}}$) olarak ifade edilmektedir. Sistemin toplam entropisi ($S_{\text{üretim, T}}$) ise ısı entropi ve sürtünme entropisinin toplamı şeklinde gösterilmektedir. Çalıştığımız sistemdeki boruların düz boru olması ve kullanılan nanoakışkanın konsantrasyonunun oldukça az olması nedeniyle (%0,01 ve %0,02) ısı entropi üretim miktarı yanında sürtünme entropisinin değeri oldukça düşük kalmaktadır.

GO-su nanoakışkanı yüksek termofiziksel özelliklerinden dolayı saf suya göre daha iyi bir ısı performansına sahiptir. 5073W/m^2 (350W) ısı akısında %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanı ve saf suyun entropi üretim miktarları 0,9 l/dak. ve 1,8 l/dak. hacimsel debilerde Şekil 6.1'de incelenmiştir. Yapılan hesaplara göre 5073W/m^2 ısı akısında %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanı, saf suya göre 0,9 l/dak. hacimsel debi referans kabul edildiğinde %8,5 daha az entropi üretmektedir. 1,8 l/dak. hacimsel debi için nanoakışkan ile su karşılaştırıldığında nanoakışkanın entropisi %12,7 azalmaktadır.

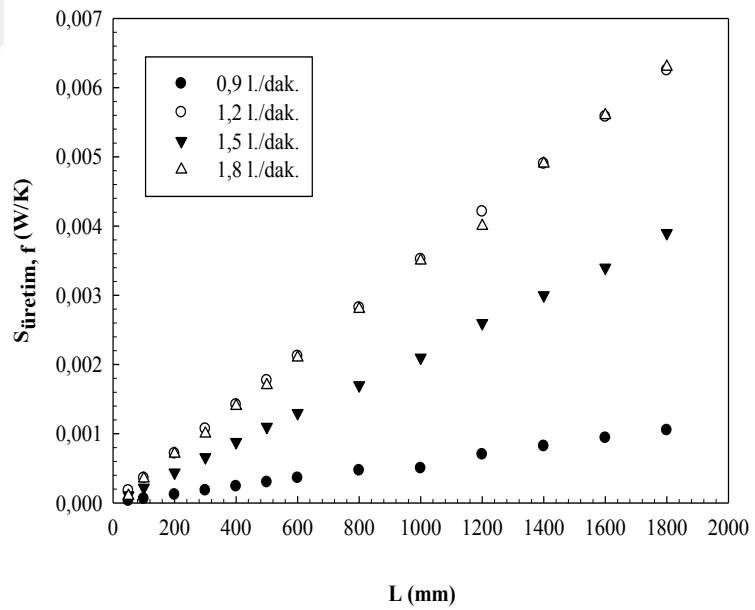


Şekil 6.1 5073 W/m² ısı akısı altında %0,01 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanının saf suyla 0,9 l/dak. ve 1,8 l/dak. debilerde karşılaştırılması

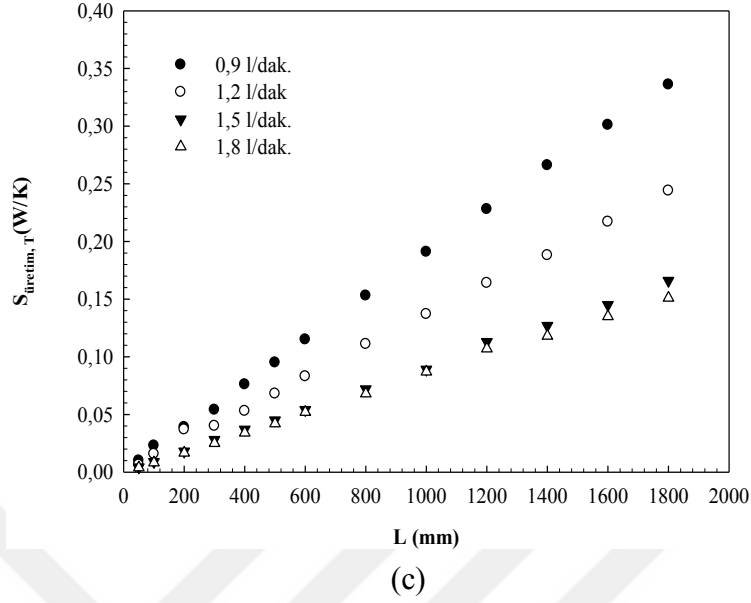
%0,01 konsantrasyonda GO-Saf su nanoakışkanının 3623,746W/m² (250 W) ısı akısı altında 8 mm iç çaplı boru boyunca entropi değişimi farklı debilerde (0,9l/dak, 1,2l/dak, 1,5l/dak, 1,8l/dak) Şekil 6.2’de gösterilmektedir. İfade edilen değerler 8 mm iç çaptaki boruda ısı entropi üretimine ait olup nanoakışkanın farklı debilerdeki entropi üretim değerleri hesaplanmış ve taban akışkanı olan saf su ile karşılaştırılmıştır. Akışkan hızının (Re sayısı) artması, ısı taşınım katsayısını yani ısı transferini artırdığı için entropi üretim miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak, grafikte de görülebildiği gibi ısı entropi üretimihacimsel debinin artmasıyla azalmaktadır. 8mm çapındaki boruda en fazla ısı entropi üretimi 0,9 l/dak.’lık hacimsel debili akışta görülürken, en az ısı entropi üretimi 1,8 l/dak.’lık hacimsel debili akışta meydana gelmektedir (Şekil 6.2.(a)). Sürtünme entropisinin ise ısı entropi miktarına göre çok düşük olduğu belirlenmiştir. Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkanının 3623,746 W/m² ısı akısında entropi üretim miktarı farklı debilerde hesaplanmıştır. 1,2 l/dak. hacimsel debiye sahip nanoakışkan için 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkana göre entropi üretiminin %27,3 daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.2). Düşük debide entropi üretim miktarı fazla olduğu için debinin artmasıyla entropi üretim miktarındaki azalma daha net gözlemlenmektedir. 1,8 l/dak. hacimsel debiye sahip nanoakışkan 1,5 l/dak. hacimsel debiye sahip nanoakışkana göre %9 daha az entropi üretimine sebep olmaktadır.



(a)

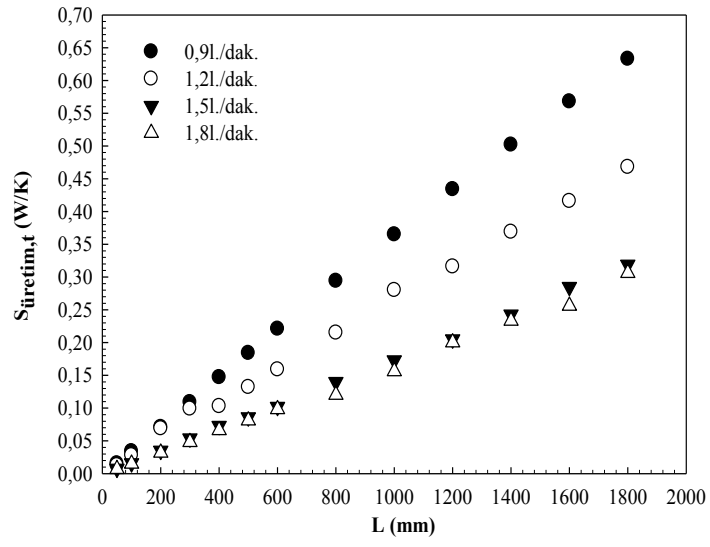


(b)

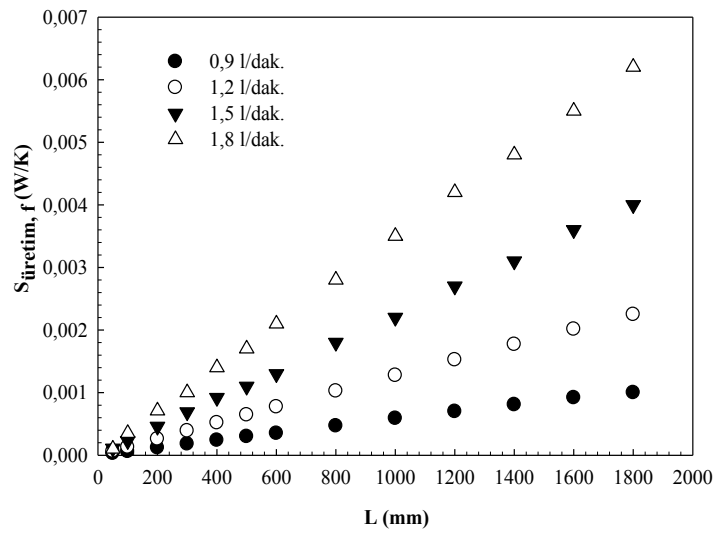


Şekil 6.2 Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkınının 3623,746 W/m² ısı akısında ısıl (a), sürtünme (b) ve toplam (c) entropi üretim miktarı değişimi

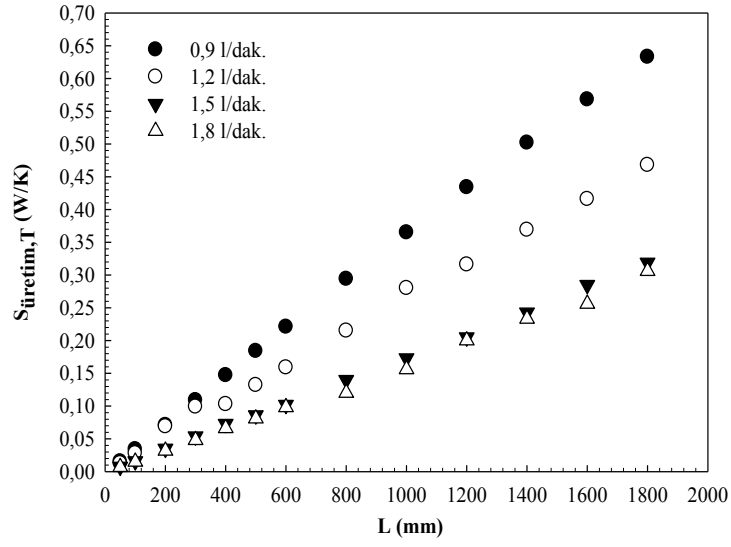
Hacimsel debinin artışı (Re sayısı), ısıl entropi üretimini azaltmaktadır. En yüksek entropi üretimi 0,9 l/dak. hacimsel debili akışta iken en düşük entropi üretimi 1,8 l/dak.'lık akışta olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya koyulmuş ve grafik üzerinde gösterilmiştir. Isı akısının artışı ise termal entropiyi artırmıştır. Isı akısının artışı ile akışkan giriş sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının artması termal entropiyi artırmıştır. Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkınının 5073 W/m²ısı akısında entropi üretim miktarı grafikte (Şekil 6.3) ifade edilmiş ve farklı hacimsel debiler için karşılaştırılmıştır.1,2 l/dak. hacimsel debili nanoakışkan 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkana göre %26 daha az entropi üretmektedir. Isı akısının artışı yanında çalışmada kullanılan en düşük debi miktarı olan 0,9 l/dak.'lık debide nanoakışkan için en fazla entropi üretimi elde edilmektedir. 1,8 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanda 1,5 l/dak.'lık nanoakışkana göre entropi üretimi %4 azalmaktadır.



(a)



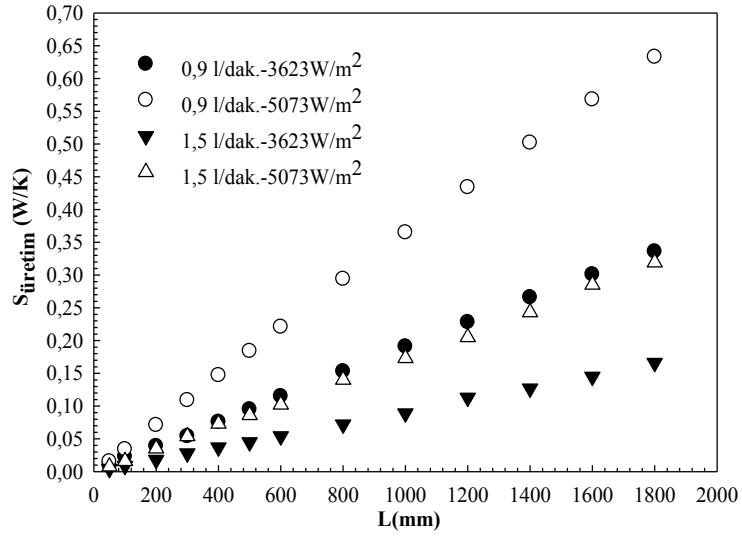
(b)



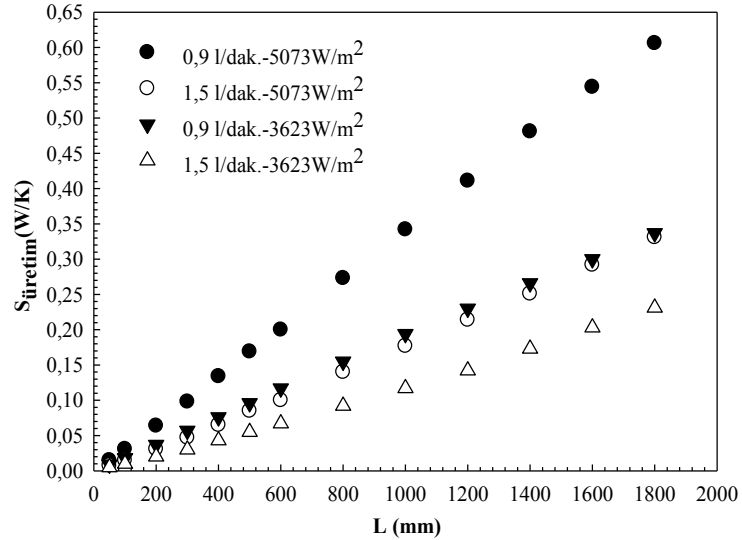
(c)

Şekil 6.3 Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkınının 5073W/m^2 ısı akısında ısı (a), sürtünme (b) ve toplam (c) entropi üretim miktarı değişimi

%0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanları için farklı debiler ve ısı akılarında hesaplamalar yapılarak sonuçların birbirleriyle kıyaslanması gösterilmektedir. 0,9 l/dak. ve 1,5 l/dak.'lık hacimsel debilerde 3623W/m^2 ve 5073W/m^2 ısı akılarında karşılaştırılma yapıldığında hesaplamalar sonucunda en fazla entropi üretiminin uygulanan en yüksek ısı akısı ve en düşük hacimsel debili akışkan için olduğu görülmektedir. En düşük entropi üretiminin ise 3623W/m^2 'lik ısı akısı ve 1,5 l/dak.'lık debide olduğu Şekil 6.4' ten görülebilmektedir.



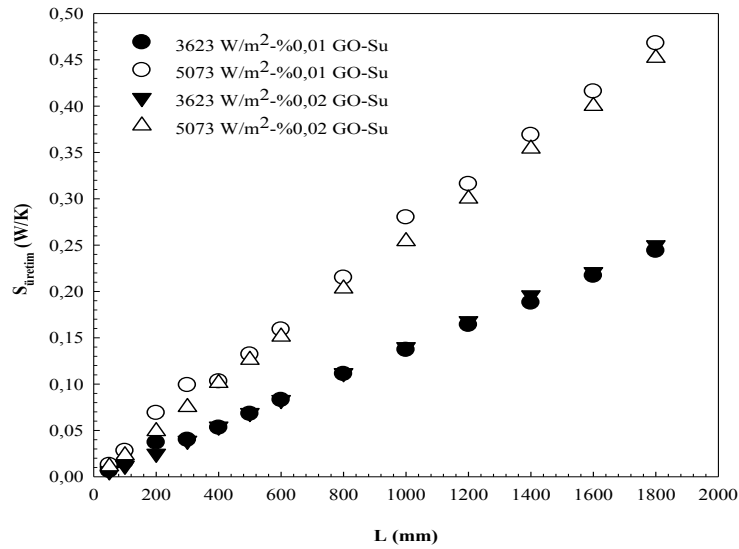
Şekil 6.4 Boru boyunca %0,01 konsantrasyondaki grafen oksit (GO) nanoakışkının farklı hacimsel debilerde ve farklı ısı akılarında entropi üretim miktarı karşılaştırılması verilmiştir



Şekil 6.5 %0,02 konsantrasyonda 0,9 l/dak. ve 1,5 l/dak. hacimsel debilerde farklı ısı akısında entropi üretim miktarı karşılaştırılması

Boru boyunca 1,2 l/dak. hacimsel debide GO-Su nanoakışkının %0,01 ve %0,02'lik konsantrasyonlarda 3623W/m^2 ve 5073W/m^2 ısı akılarında entropi üretim miktarı değişiminin grafikte gösterilmiştir (Şekil 6.6). Yapılan hesaplamalara göre en fazla entropi üretiminin %0,01 GO-Su hacimsel konsantrasyonu ve 5073W/m^2 'lik ısı akısında olduğu, en düşük entropi üretiminin ise %0,02 lik GO-Su nanoakışkanı ve 3623W/m^2 ısı

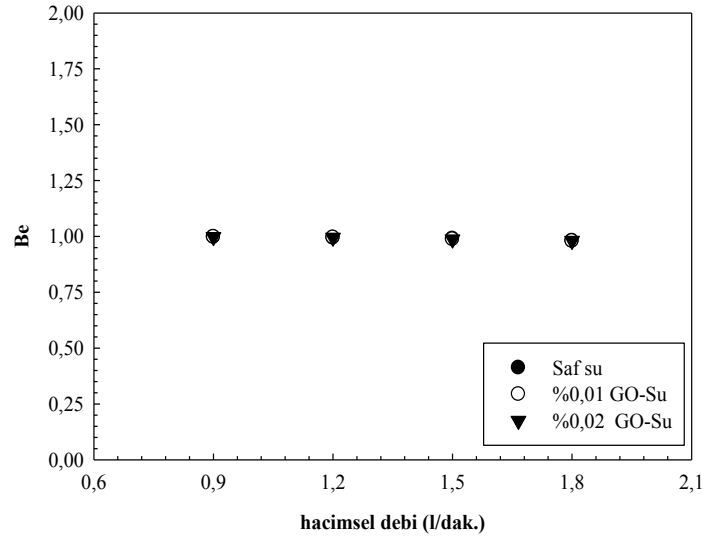
akısında olduğu ortaya konulmuştur. Nanoakışkanların konsantrasyonlarını karşılaştırdığımızda, 3623 W/m^2 ısı akısında %0,02'lik konsantrasyona sahip nanoakışkanın %0,01'lik konsantrasyondaki nanoakışkandan %2,4 daha az entropi üretimine sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek ısı akısında entropi üretimi arttığı için entropi üretim miktarı farkı daha net görülebilmektedir. 5073 W/m^2 ısı akısında %0,02'lik konsantrasyona sahip nanoakışkanın %0,01'lik konsantrasyondaki nanoakışkana göre entropi üretimi %3,4 azalmaktadır. Nanoakışkandaki konsantrasyon oranının çok düşük olması sebebiyle iki konsantrasyon arasındaki entropi üretim miktarının farkı oldukça düşüktür.



Şekil 6.6 Boru boyunca 1,2 l/dak. hacimsel debideki grafen oksit (GO) nanoakışkınının %0,01 ve %0,02'lik konsantrasyonlarda farklı ısı akılarında entropi üretim miktarı değişiminin karşılaştırılması

Şekil 6.7' de Be sayısının borudaki debi değişimine bağlı olarak su (%0), %0,01 GO-su ve %0,02 GO-su nanoakışkanlarına ait 3623 W/m^2 (250 W) ısı akısındaki değişimi verilmektedir. Toplam entropi üretim miktarı, termal entropi üretim miktarına çok yakındır. Bu durum, sürtünme entropisi üretim miktarının termal entropi üretim miktarına oranla çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bejan sayısı (Be) ısı entropi üretim miktarının toplam entropi üretim miktarına oranı olarak ifade edilmektedir ve Be sayısı 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Akışkan debilerindeki artış, sürtünme faktörünü artırmaktadır dolayısıyla üretilen sürtünme entropisi miktarı da artmaktadır. Akışkanın hacimsel debisinin artmasıyla yani sürtünme entropisinin artması Be sayısının azalmasına

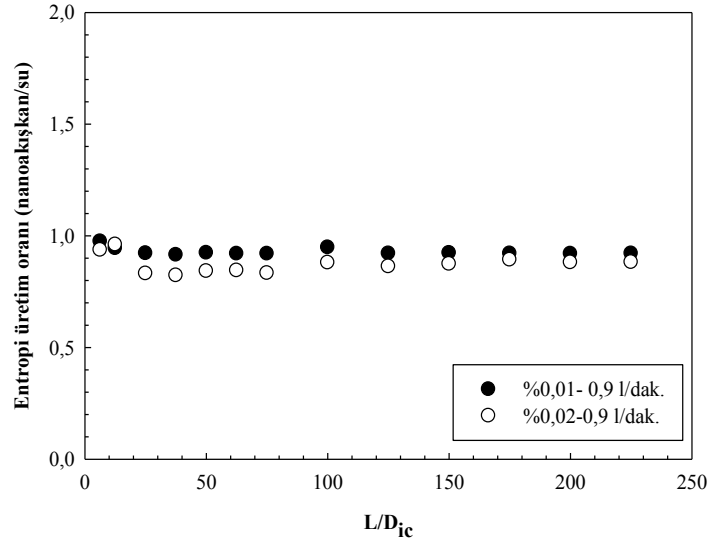
neden olmaktadır. Buna bağılı olarak, Şekil 6.7’ de görüldüğü gibi Be sayısı 0,97-0,998 arasında değişmektedir.



Şekil 6.7 0,9 l/dak. hacimsel debide 5073 W/m² ısı akısındaki %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda hazırlanmış olan GO-su nanoakışkanının Be değerleri

Şekil 6.8’de sayısının farklı debi değerlerinde Re sayısına bağılı olarak değişimi 8 mm çapında ve 1800 mm uzunluğundaki borunun 0,9 l/dak. hacimsel debide 5073 W/m² ısı akısındaki %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda hazırlanmış olan GO-su nanoakışkanının birim uzunluk başına entropi üretim oranı (S_{nf}/S_{bf}) Şekil 6.8’de verilmiştir. Nanoakışkan kullanılması, taban akışkanına göre entropi üretim oranını azaltmaktadır. Ayrıca, konsantrasyonu düşük olan nanoakışkanın (%0,01 GO-su) entropi üretim oranının yüksek olana göre (%0,02 GO-su) daha fazla olduğu görülmektedir. Yapılan hesaplarda termofiziksel özelliklerden kaynaklanan akışkanın ısıl performansındaki artış ve azalışlar noktasal entropi üretim oranını etkilemektedir.

Grafikte borunun giriş kısmını temsil eden bölgede dalgalanmalar olduğu görülmektedir. Bu duruma, akışkanın boruya giriş kısmında kullanılan daldırma tip termokupulun ve boruya giriş kısmındaki dirsek bağlantı elemanının sebep olduğu düşünölmektedir.



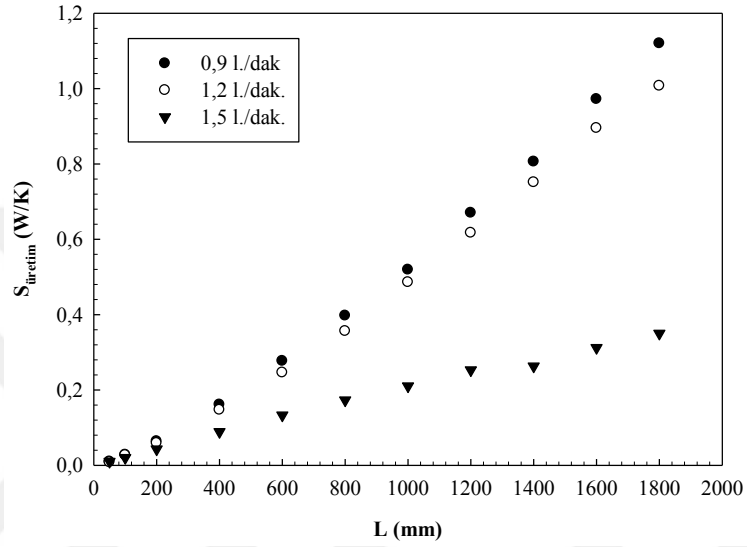
Şekil 6.8 0,9 l/dak. hacimsel debide 5073 W/m^2 ısı akısındaki farklı konsantrasyonlarda birim uzunluk başına entropi üretim oranı

%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı İçin Farklı Debilerde ve Farklı Isı Akılarında 2. Boruda ($D_{ic}=12 \text{ mm}$) Elde Edilen Sonuçlar

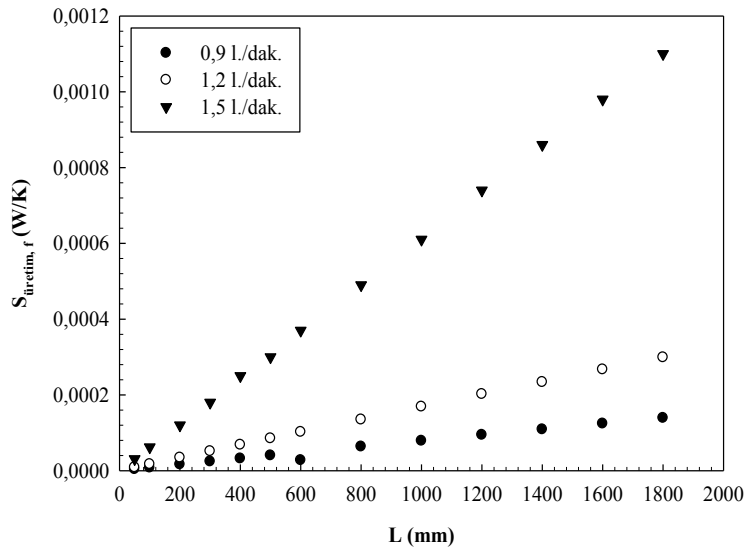
Bu boru için 0,9 l/dak. ve 1,2 l/dak.'lık debilerde Re sayısı, 3000' den küçük iken 1,5 l/dak. ve 1,8 l/dak. debilerde Reynold sayısı Re, 3000' den büyük olmaktadır. Re sayısı, entropi üretim miktarı için oldukça önemlidir. Akışkan debisinin artması yani Re sayısının artması ısı transferini artırmaktadır. Bu durum ısıl entropiyi azaltırken, sürtünme entropisini artırmaktadır. Literatürde Re sayısı değerinin çok yüksek tutulduğu ve buna bağlı olarak sürtünme entropi üretim miktarının, termal entropi üretim miktarından fazla olduğu çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmamızda ise konsantrasyon değerlerimizin çok düşük olması ve hacimsel debilerin çok yüksek olmaması sebebiyle böyle bir durum söz konusu değildir.

$2717,8 \text{ W/m}^2$ ısı aksında %0,01 konsantrasyonda GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak, 1,2 l/dak. ve 1,5 l/dak. hacimsel debilerde boru boyunca entropi üretimi Şekil 6.9' da gösterilmiştir. En düşük entropi üretimi 1,5 l/dak. debili nanoakışkanda olduğu ve en yüksek entropi üretiminin ise 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanda olduğu belirlenmiştir. 1,2 l/dak. hacimsel debiye sahip nanoakışkan, 0,9 l/dak. debili

nanoakışkana göre %10 daha az entropi üretimine sebep olmaktadır. Bahsedilen akışta, ayrıca sürtünme entropi üretim miktarında da hacimsel debinin artışına bağlı olarak artış elde edilmektedir. 0,9 l/dak debili nanoakışkan, 1,2l/dak debili nanoakışkana göre %46 daha az sürtünme entropisi üretmiştir. Hacimsel debinin artışı, sürtünme entropisini arttırmakla birlikte termal entropi üretim değerine göre oldukça düşük olduğu Şekil 6.10' dan görülebilmektedir.

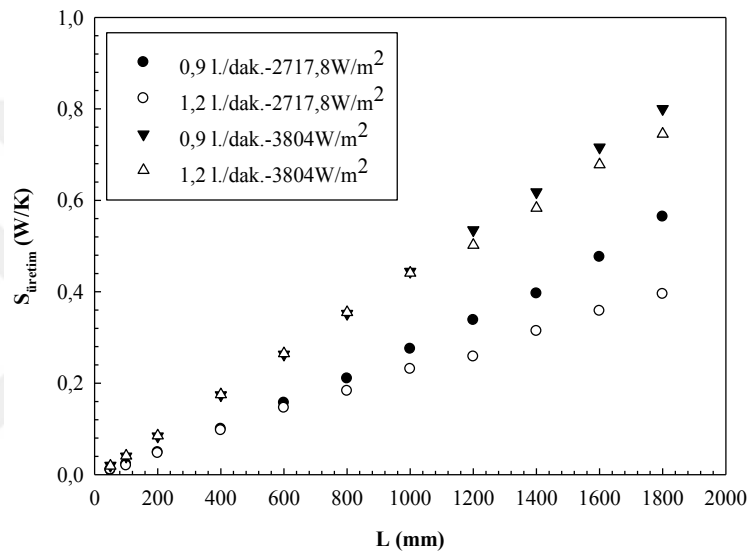


Şekil 6.9 2717,8 W/m² ısı akısında %0,01 konsantrasyonda GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak., 1,2 l/dak. ve 1,5 l/dak. hacimsel debilerde boru boyunca toplam entropi üretimi



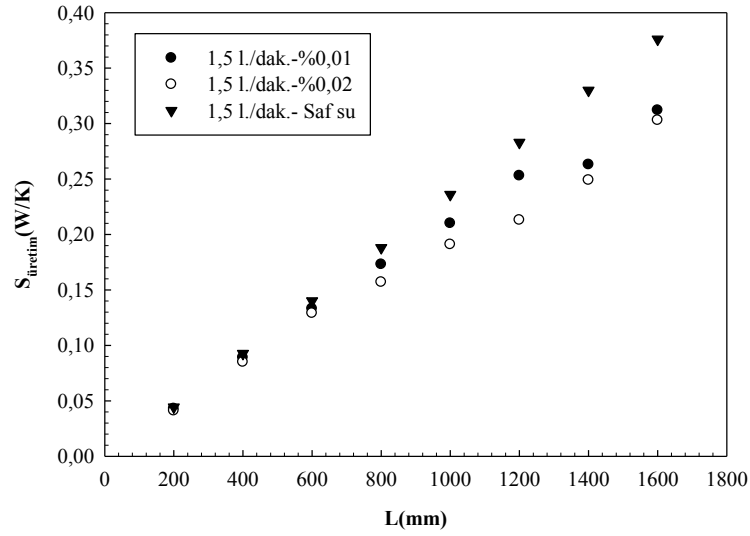
Şekil 6.10 2717,8 W/m² ısı akısında %0,01 konsantrasyonda GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak., 1,2 l/dak. ve 1,5 l/dak. hacimsel debilerde boru boyunca sürtünme entropisi üretimi

%0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanının 0,9 l/dak. ve 1,2 l/dak. hacimsel debilerde 2717W/m^2 ve 3804W/m^2 ısı akılarında boru boyunca entropi üretimi Şekil 6.11’de incelenmektedir. 2717W/m^2 ısı akısında 1,2 l/dak. hacimsel debili nanoakışkan, 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkana göre %29,9 daha az entropi üretmektedir. 3804W/m^2 lik ısı aksında ise 1,2 l/dak. hacimsel debili nanoakışkan için 0,9 l/dak hacimsel debili nanoakışkana göre entropi üretim miktarı %6,8 azalmaktadır. Bu grafikte, esas olarak yüksek ısı akısında ve düşük hacimsel debide entropi üretim miktarının artışı ortaya konulmuştur.



Şekil 6.11 %0,02 konsantrasyonda GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak. ve 1,2 l/dak. hacimsel debilerde 2717 W/m^2 ve 3804 W/m^2 ısı akılarında boru boyunca entropi üretimi

1,5 l/dak hacimsel debili nanoakışkanın 2717 W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 GO-su nanoakışkanlarının saf su ile boru boyunca entropi üretim miktarları karşılaştırılmaktadır. %0,02 konsantrasyonlu GO-su nanoakışkanı, saf suya göre %19,4 daha az entropi üretmektedir. En fazla entropi üretiminin, nanoparçacık katılmamış olan saf suda olduğu Şekil 6.12’de görülmektedir. Nanoparçacıklar, baz akışkan olan suya ilave edildiğinde akışkanın ısı iletim katsayısını ve buna bağlı olarak ısı taşınım katsayısını artırmaktadır. Bu durum, nanoakışkanın ısı entropi üretim miktarını azaltmaktadır.

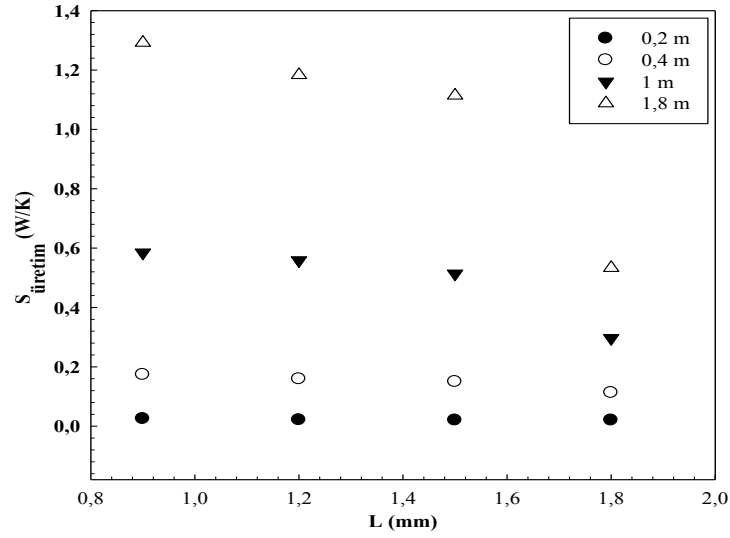


Şekil 6.12 1,5 l/dak.hacimsel debili nanoakışkanın 2717 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 GO-su nanoakışkanlarının saf su ile boru boyunca entropi üretim miktarları

%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı İçin Farklı debilerde ve Farklı Isı Akılarında 3. Boruda (Dic=16 mm) Elde Edilen Sonuçlar

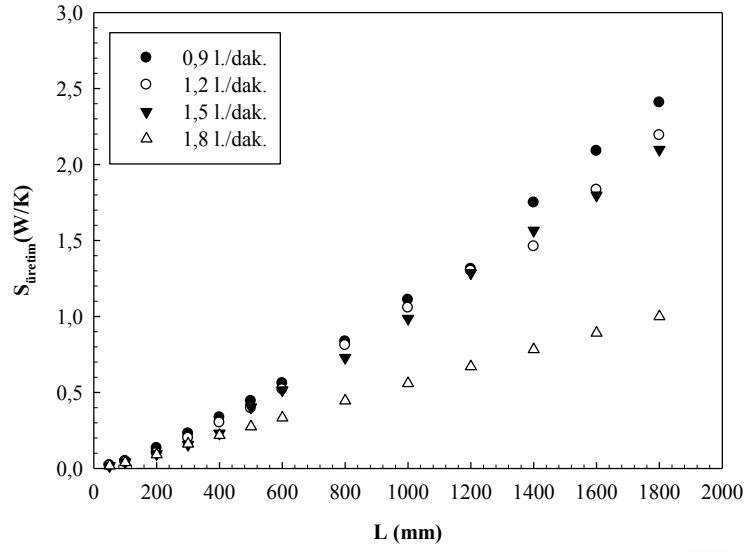
Re sayısı değeri bu boru çapı için sadece 1,8 l/dak. hacimsel debili akışta 3000' in üzerindedir. Re değerinin artışı, entropi üretim miktarını azaltmaktadır. Bu yüzden entropi üretimi düşüşü en net biçimde 1,8 l/dak. hacimsel debili akışta görülmektedir (Şekil 6.13).

%0,01 konsantrasyonda 2174W/m² ısı akısında farklı hacimsel debilerdeki nanoakışkanın boru başlangıcından 0,2m - 0,4m- 1m ve 1,8m uzaklıklarda entropi üretim miktarları Şekil 6.13'te gösterilmektedir. En fazla entropi üretimi, 0,9 l/dak. debili akışta olurken, en az entropi üretimi ise 1,8 l/dak. debili akışkanda olmaktadır. 1,2 l/dak. debili akış, 0,9 l/dak. debili akıştan %8,5 daha az entropi üretmektedir. 1,8 l/dak. debili akışta ise 1,5 l/dak. debili akışa göre entropi üretim miktarı %51,9 daha az olmaktadır. Bu oranın yüksek olmasının sebebi, akışkan hızının yani Re sayısı değerinin artmış olmasıdır.



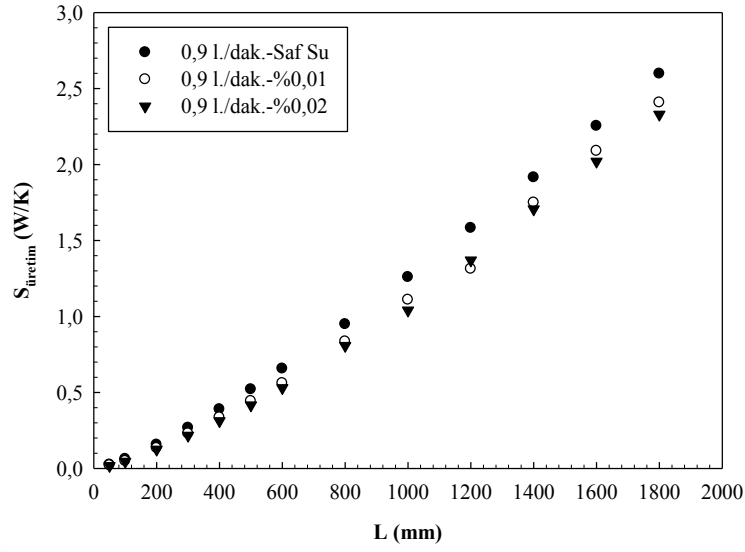
Şekil 6.13 %0,01 konsantrasyonda 2174W/m^2 ısı akısında farklı hacimsel debilerdeki nanoakışkanın 0,2m - 0,4m –1m ve 1,8m de entropi üretim miktarları

Boru boyunca %0,01 konsantrasyonda GO-su ve 3043W/m^2 ısı akısında farklı debilerdeki nanoakışkanların toplam entropi üretim miktarlarının değişimleri Şekil 6.14' te verilmektedir. En düşük debideki akışta, en yüksek entropi üretimi olduğu aşağıdaki grafikte de kolaylıkla görülebilmektedir. Akışkan debisindeki artış, akışkan hızını ve buna bağlı olarak ısı transferini artırdığı için entropi üretim miktarını da düşürmektedir. Buna bağlı olarak, 1,2l/dak. debideki akışkan, 0,9 l/dak. debiye sahip akışkana göre %8,7 daha az entropi üretmektedir.



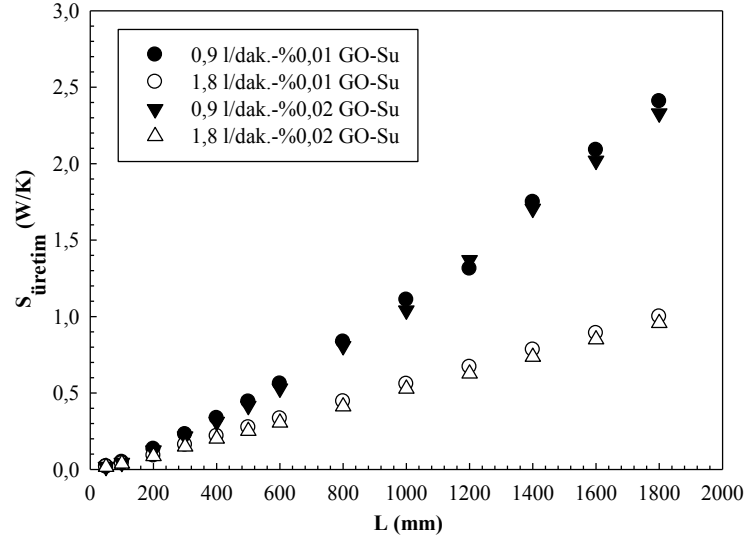
Şekil 6.14 Boru boyunca %0,01 konsantrasyonda 3043W/m^2 ısı akısında farklı debideki nanoakışkanların toplam entropi üretim miktarları verilmiştir

0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-su nanoakışkanı ile saf suyun boru boyunca entropi hesabı yapılmış ve konsantrasyonlara bağlı olarak karşılaştırılması Şekil 6.15'te verilmiştir. Baz akışkan olan saf suya göre nanoakışkanların entropi üretim miktarlarının azalmasının etkileri ortaya konulmuştur. Nanoakışkan konsantrasyon miktarı arttırıldığında artan bu konsantrasyonla orantılı olarak entropi üretim miktarı azalmaktadır. En yüksek entropi üretim miktarı, saf suda görülürken en düşük entropi üretim miktarı %0,02 konsantrasyonlu GO-su nanoakışkanında görülmektedir. %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkan saf suya göre %7,2 daha az entropi üretmektedir. %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkan ise %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkana göre %3,2 daha az entropi üretmektedir.



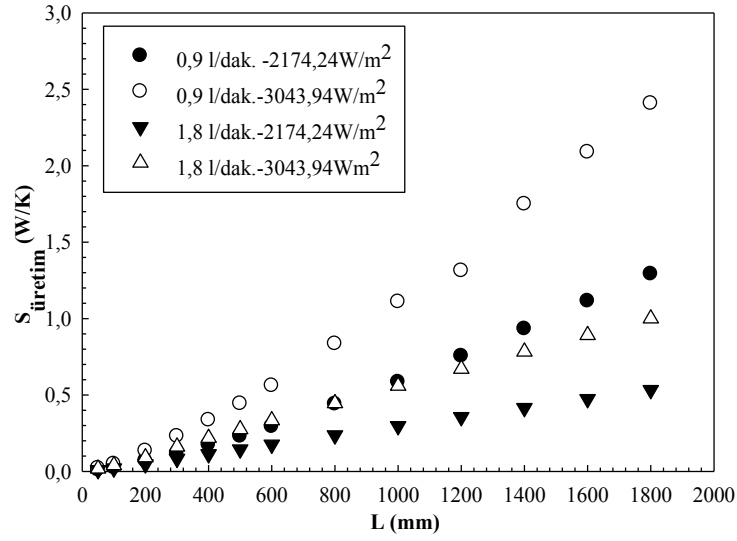
Şekil 6.15 0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-su nanoakışkanı ile saf suyun boru boyunca entropi hesabı

3043W/m^2 ısı akısında 0,9 l/dak. ve 1,8 l/dak. farklı konsantrasyonlarla %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanlarının boru boyunca entropi hesabı yapılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 6.16). Düşük konsantrasyon ve düşük hacimsel debide entropi üretim miktarı fazla olmaktadır. En yüksek entropi üretim miktarı 0,9 l/dak hacimsel debili %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkanda iken, en düşük entropi üretimi ise 1,8 l/dak. hacimsel debili %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkanda olmaktadır. 0,9 l/dak hacimsel debide %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkan, %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkana göre %3,6 daha az entropi üretmektedir. 1,8 l/dak. hacimsel debide ise %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkan %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkana göre %4,4 daha az entropi üretmektedir.



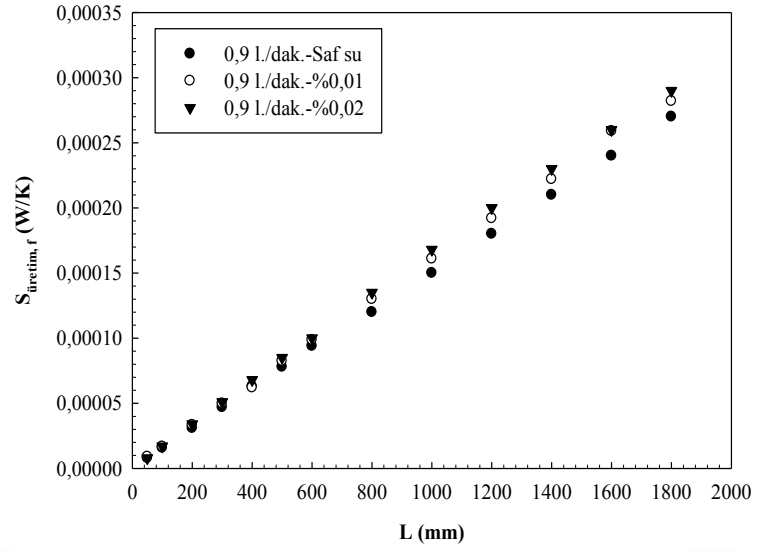
Şekil 6.16 3043 W/m² ısı akısında farklı debilerin farklı konsantrasyonlarla entropi değerlerinin karşılaştırılması ve boru boyunca entropi hesabı

%0,01 konsantrasyonda 2174W/m² ve 3043W/m²ısı akılarında 0,9 l/dak. ve 1,8 l/dak. hacimsel debilerde boru boyunca entropi üretim miktarı hesaplanmış ve Şekil 6.17’de gösterilmiştir. Isı akısı, entropi üretim miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Isı akısının artması, akışkan giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığı arasındaki farkı artıracaktır. Bu durum, ısı entropi üretiminin artmasına sebep olmaktadır. Yüksek ısı akısında ve düşük hacimsel debide entropi üretim miktarı en fazla olmakta iken düşük ısı akısında ve yüksek hacimsel debide entropi üretim miktarı en az olmaktadır.



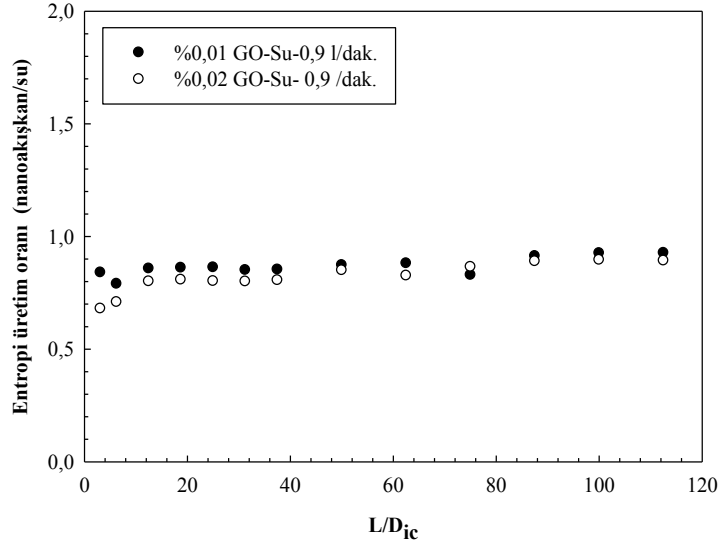
Şekil 6.17 %0,01 konsantrasyonda farklı ısı akılarında ve farklı hacimsel debilerde boru boyunca entropi üretim miktarları

0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanı ile saf suyun 16 mm çapındaki borudaki sürtünme entropisi hesaplanmış ve grafikte gösterilmiştir. Sürtünme entropisinin üretim miktarı toplam entropi üretim miktarıyla karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğu saptanmıştır. Toplam entropi hesaplanırken sürtünme entropisi ihmal edilebilir düzeydedir. Baz akışkan içerisine katılan nanoparçacıklar, akışkan viskozitesini artırmakta ve bu durum sürtünme entropi miktarının artmasına sebep olmaktadır. Akışkana ilave edilen parçacıklarla orantılı olarak sürtünme entropisi miktarının arttığı da belirlenmiştir (Şekil 6.18). Hesaplamalarda çok düşük konsantrasyonlarla çalışıldığı için sürtünme entropisi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkan, saf suya göre %4,2 daha az sürtünme entropisi üretmektedir. %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkan ise %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkana göre %2,7 daha az entropi üretmektedir.



Şekil 6.18 0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m^2 ısı akısında sürtünme entropisi üretim miktarı

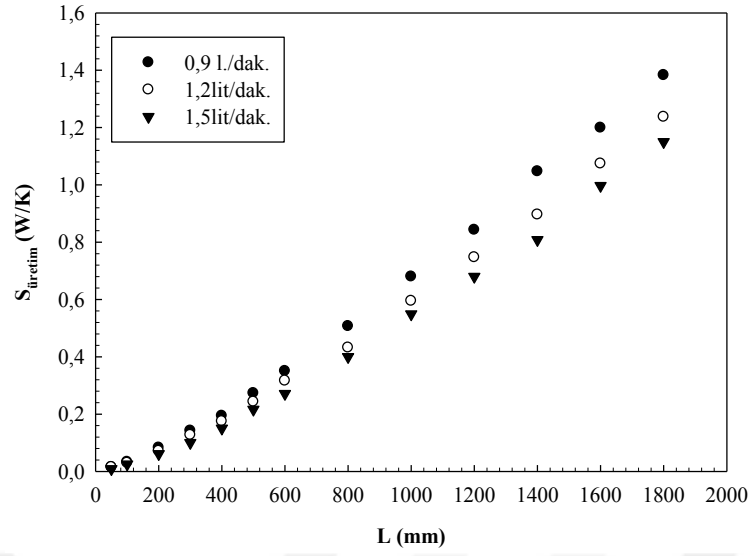
16 mm çapında ve 1800mm uzunluğundaki borunun 0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m^2 ısı akısındaki %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda hazırlanmış GO-su nanoakışkanının birim uzunluk başına bölgesel entropi üretim oranı Şekil 6.19'da verilmiştir. Boru boyunca yapılan entropi hesabında yüksek konsantrasyondaki (%0,02) nanoakışkanın daha düşük entropi üretim oranına sahip olduğu görülmektedir. Entropi üretim oranındaki farklılıklar akışkanın termodinamik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.19 0,9 l/dak. hacimsel debide 3043W/m^2 ısı akısındaki farklı konsantrasyonlarda birim uzunluk başına bölgesel entropi üretim oranı

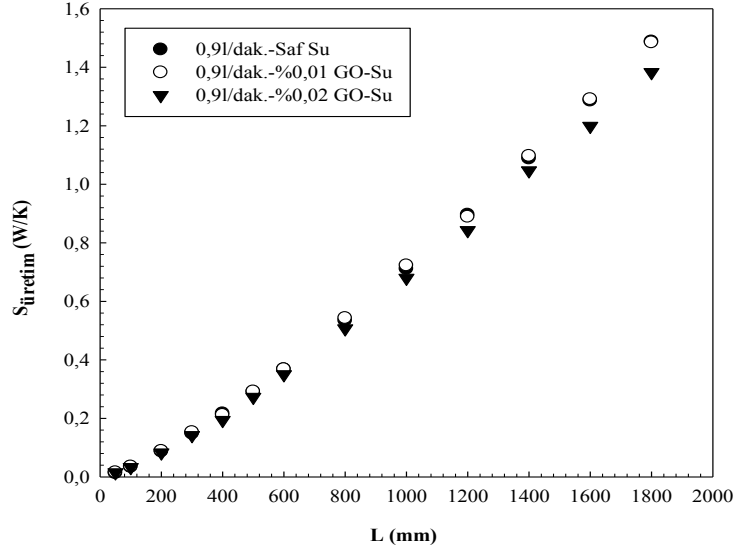
%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı İçin Farklı Debilerde ve Farklı Isı Akılarında 4. Boruda ($D_{ic}=20$ mm) Elde Edilen Sonuçlar

Saf suya %0,02 konsantrasyonda GO nanoparçacıkları ilave edilerek oluşturulan nanoakışkanın 1811W/m^2 ısı akısı altında 0,9 l/dak., 1,2 l/dak. ve 1,8 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanların boru boyunca entropi hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek entropi üretimi 0,9 l/dak. debili nanoakışkanda ve en düşük entropi üretimi 1,5 l/dak. debili nanoakışkan için olduğu görülmüştür. 1,2 l/dak. debili nanoakışkan 0,9 l/dak. debili nanoakışkandan %10,5 daha az entropi üretmektedir. 1,5 l/dak. debili nanoakışkan ise 1,2 l/dak. debili nanoakışkandan %7 daha az entropi ürettiği yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya konulmuştur.



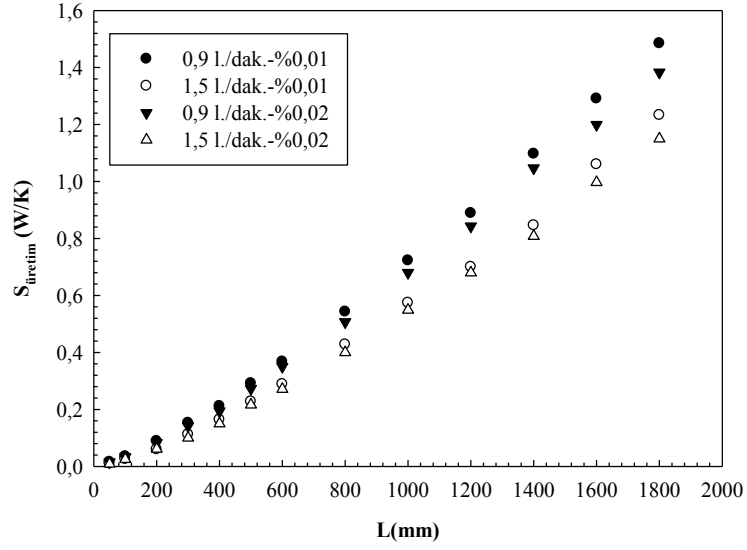
Şekil 6.20 %0,02 konsantrasyonda 1811,87 W/m² ısı akısında, farklı debilerde boru boyunca entropi üretim hesabı

0,9 l/dak. hacimsel debide 1811W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanının ve saf suyun entropi üretim miktarı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Baz akışkan olan saf suya nanoparçacık eklenmesi akışkandaki Nusselt sayısını artırmaktadır. Nusselt sayısının artışı, ısı entropi üretim miktarını azaltmaktadır. %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkanın Nusselt sayısının saf suya göre daha düşük ve %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkanın %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkana göre daha düşük olduğu görülmektedir. En fazla entropi üretimi saf suda iken en düşük entropi üretimi %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkanda olduğu görülmektedir (Şekil 6.21). Boru boyunca yapılan entropi hesabında %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkan saf suya göre %0,2 daha az entropi üretirken %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkan saf suya göre %7 daha az entropi üretmektedir.



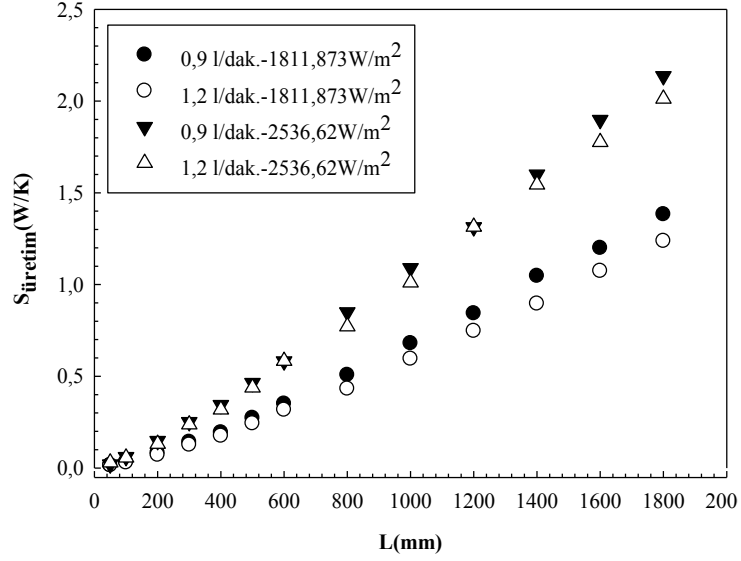
Şekil 6.21 0,9 l/dak. hacimsel debide 1811 W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanının saf suyla olan entropi üretim miktarının karşılaştırması

1811 W/m^2 ısı akısında, %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda, 0,9 l/dak. ve 1,5 l/dak. hacimsel debili, nanoakışkanların entropi üretim hesabı yapılmış ve Şekil 6.22'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre akışkan debisindeki artış, entropi üretim miktarında azalma sağlarken nanoakışkan konsantrasyonundaki artış da entropi üretim miktarında azalma sağlamaktadır. En fazla entropi üretimi 0,9 l/dak. debi ve %0,01 konsantrasyona sahip nanoakışkandadır. En düşük entropi üretimi ise 1,5 l/dak. hacimsel debili ve %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkanda olduğu ortaya konulmuştur. 0,9 l/dak. hacimsel debide %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkan %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkana göre %6,8 daha az entropi üretmektedir. 1,5 l/dak. debili akışta %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkan ise %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkandan %6,7 daha az entropi üretimine sebep olmaktadır. %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanlarda 1,5 l/dak debili nanoakışkan, 0,9 l/dak debili nanoakışkana göre %16,8 daha az entropi üretmektedir.



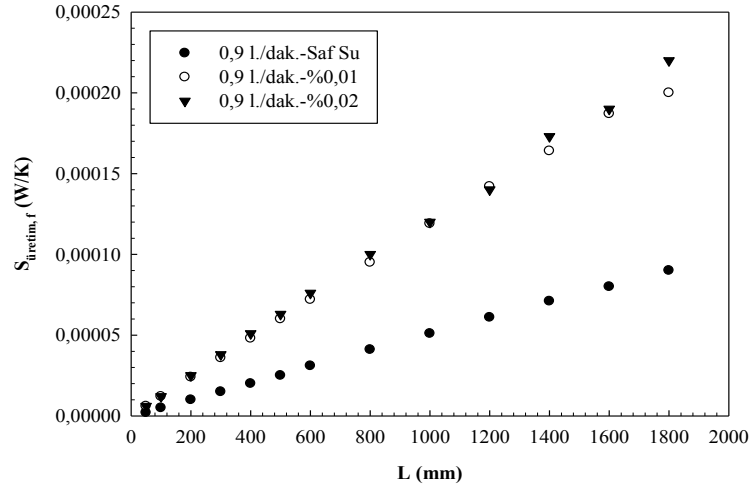
Şekil 6.22 1811 W/m² ısı akısında 0,9 l/dak. ve 1,5 l/dak. hacimsel debili, %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanların entropi üretim hesabı

%0,02 konsantrasyondaki GO-su nanoakışkanının 0,9 l/dak. ve 1,2 l/dak. debilerde, 1811W/m² ve 2536 W/m² ısı aksında entropi üretim hesabı yapılmış ve Şekil 6.23'te gösterilmiştir. 1,2 l/dak. hacimsel debide 1811W/m² ısı akısında ki nanoakışkan 2536W/m² ısı akısındaki nanoakışkana göre %38,5 daha az entropi üretmiştir. 2536W/m² ısı akısında 1,2 l/dak. hacimsel debili nanoakışkan 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkana göre %5,8 daha az entropi üretirken, 1811 W/m² ısı akısında 1,2 l/dak. debili nanoakışkan 0,9 l/dak. debili nanoakışkana göre %10,5 daha az entropi üretmektedir. Bu durum düşük ısı akısında farklı debiler arasındaki entropi üretim farkının daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.23 %0,02 konsantrasyondaki GO-su nanoakışkanının farklı debiler ve farklı ısı akılarında entropi üretim hesabı

0,9 l/dak. hacimsel debide 1811 W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanının saf suyla olan entropi üretim miktarı hesaplanmış ve karşılaştırılması Şekil 6.24'te gösterilmiştir. Saf su içerisine grafen nanoparçacıklarının eklenmesiyle oluşturulan GO-su nanoakışkanının konsantrasyon miktarı arttırıldığında akışkanın sürtünme entropisi de artmaktadır. En düşük sürtünme entropisi saf suda oluşurken en fazla sürtünme entropisi %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanda olmaktadır. %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkan, %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkana göre %9 daha az sürtünme entropisi üretmektedir.



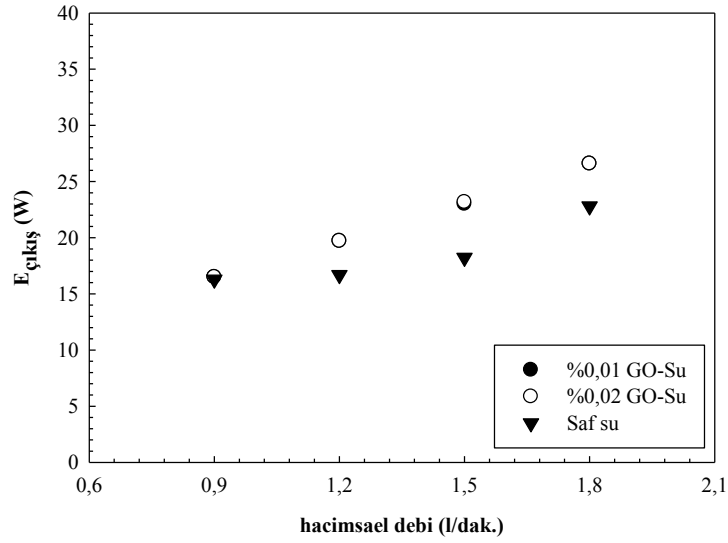
Şekil 6.24 0,9 l/dak. hacimsel debide 1811 W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarda GO-su nanoakışkanının saf suyla olan entropi üretim miktarı karşılaştırması

6.2. Ekserji Hesapları

Grafiklerde farklı konsantrasyonlarla (%0,01, %0,02) hazırlanmış GO-Su nanoakışkanın ve saf suyun farklı hacimsel debilerde (0,9 l/dak., 1,2 l/dak., 1,5 l/dak., 1,8 l/dak.) ve farklı ısı yüklerinde (250W, 350W) çıkış ekserjileri ve ikinci yasa verimleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

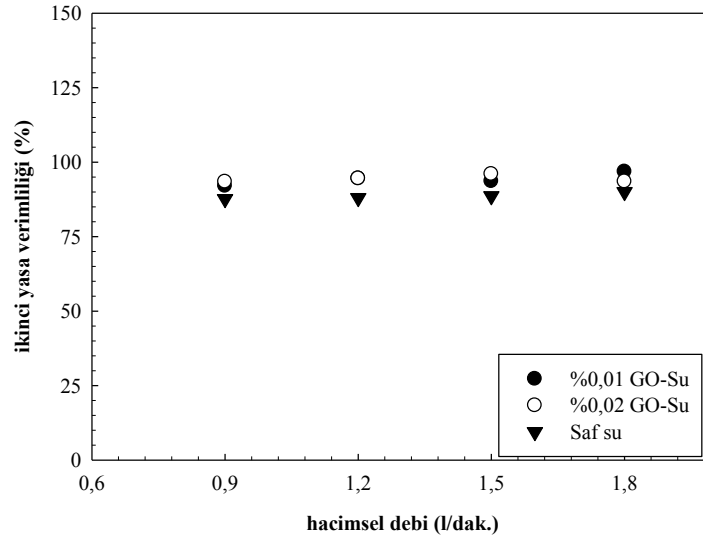
%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı ve Saf Su için 1. Boruda ($D_{ic}=8 \text{ mm}$) Elde Edilen Ekserji Sonuçları

Yapılan hesaplamalar sonucunda 8mm çapındaki 1. boruda %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun $3623,746 \text{ W/m}^2$ (250 W) ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjileri Şekil 6.25'te verilmiştir. Çıkış ekserji miktarının akışkanın sahip olduğu hacimsel debiye bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Hacimsel debideki artışa bağlı olarak çıkış ekserjisi de doğrusal olmayan oranla artmaktadır. En düşük çıkış ekserji değeri, 0,9 l/dak. hacimsel debili akışlarda görülürken en fazla çıkış ekserjisi ise 1,8 l/dak. hacimsel debide olduğu belirlenmiştir. 1,8 l/dak. debili %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının 0,9 l/dak. debili ve aynı konsantrasyonlu nanoakışkana göre %61 daha fazla çıkış ekserjisi değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



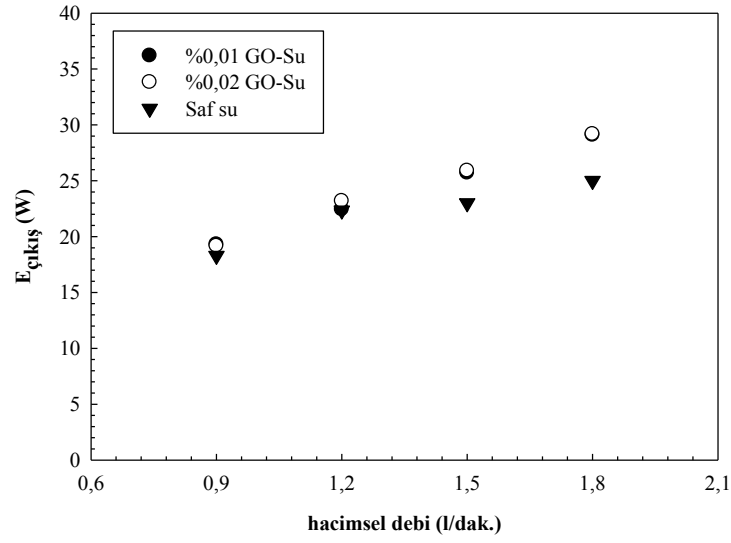
Şekil 6.25 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 3623,746 W/m² ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi

Çevre şartları göz önünde bulundurularak %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 3623,746 W/m² ısı akısında, farklı debilerdeki ikinci yasa verimleri hesaplanmış ve Şekil 6.26'da gösterilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda akışkanda nanoparçacık miktarının artması ikinci yasa verimini artırmıştır. 1,5 l/dak.'lık hacimsel debi ve %0,02 konsantrasyona sahip GO-Su nanoakışkanının ikinci yasa verimi %96 iken, %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının ikinci yasa veriminin ise %93,6 olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, nanoakışkan konsantrasyonuyla artan ısı transferine bağlanabilir.



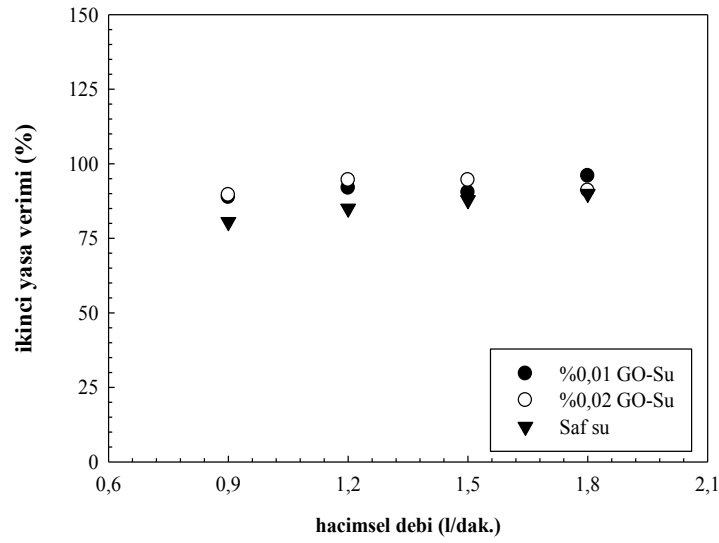
Şekil 6.26 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun $3623,746\text{W/m}^2$ ısı akısında, farklı debilerdeki ikinci yasa verimi

Değerlendirmeler sonucunda akışkandaki nanoparçacık konsantrasyon miktarının artmasıyla birlikte çıkış ekserjisinin de arttığı görülmektedir. %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 5073W/m^2 ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi değeri Şekil 6.27’de ifade edildiği gibi en düşük saf suda görülürken, en yüksek %0,02 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkanında olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, 1,2 l/dak. hacimsel debili akışta %0,02 GO-Su nanoakışkanı, %0,01 GO-Su nanoakışkanına göre %3,3 daha fazla çıkış ekserjisine sahiptir.



Şekil 6.27 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 5073 W/m^2 ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi

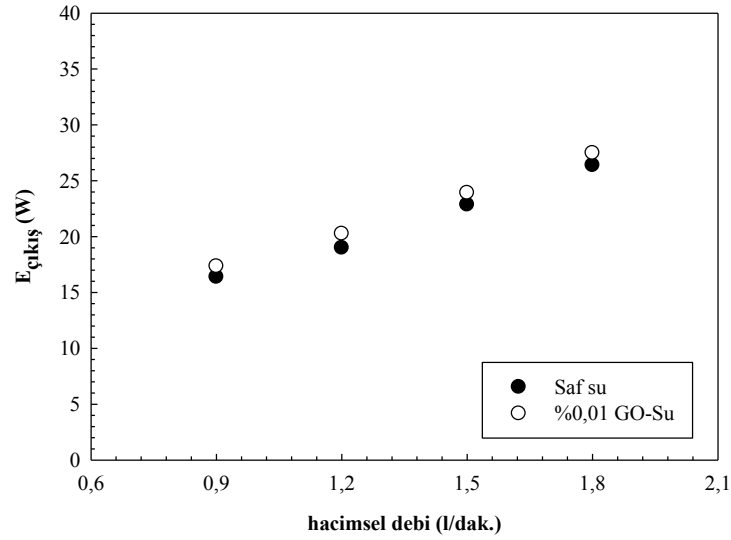
%0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 5073 W/m^2 ısı akısında, farklı debilerdeki ikinci yasa verimleri Şekil 6.28’de ifade edilmektedir. Debilerin artışı ve nanoparçacıkların borulardaki hareketlerine bağlı olarak ikinci yasa veriminde meydana gelen dalgalanmalar grafikte görülebilmektedir. %0,02 konsantrasyonlardaki 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın ikinci yasa verimi %89,52 iken 1,2 l/dak. debili nanoakışkanın ikinci yasa verimi %94,5 olduğu belirtilmiştir.



Şekil 6.28 %0,01 ve %0,02 konsantrasyonda GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun $3804,93 \text{ W/m}^2$ ısı akısında, farklı debilerdeki ikinci yasa verimi

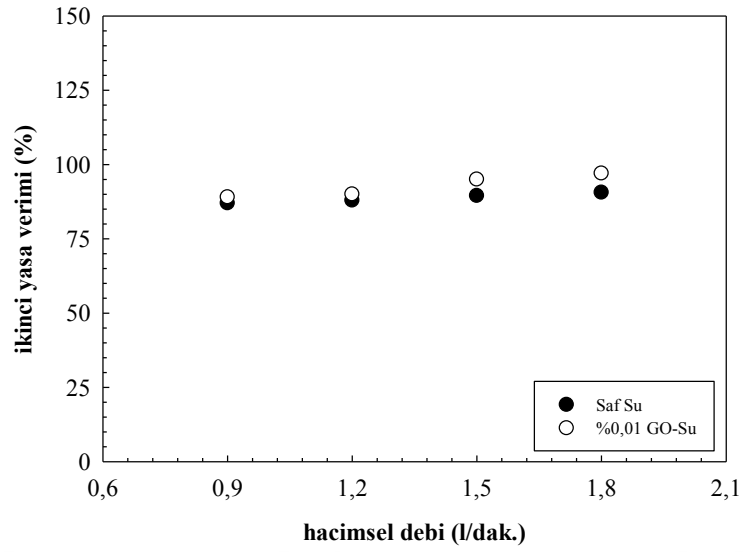
%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı ve Saf Su için 2. Boruda ($D_{ic}=12 \text{ mm}$) Elde Edilen Ekserji Sonuçları

%0,01 GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun $2717,8 \text{ W/m}^2$ ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi Şekil 6.29'da ifade edilmiştir. Hacimsel debideki artış, çıkış ekserjisi değerini artırmaktadır. %0,01 GO-Su konsantrasyonlu ve 1,8 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın, 1,5 l/dak. hacimsel debili nanoakışkana göre %14,8 daha fazla çıkış ekserjisine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, nanoakışkan çıkış ekserjisinin, baz akışkan olan saf sudan daha fazla olduğu değerlendirmeler sonucunda ortaya konulmuştur.



Şekil 6.29 %0,01 GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 2717,8 W/ m² ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi

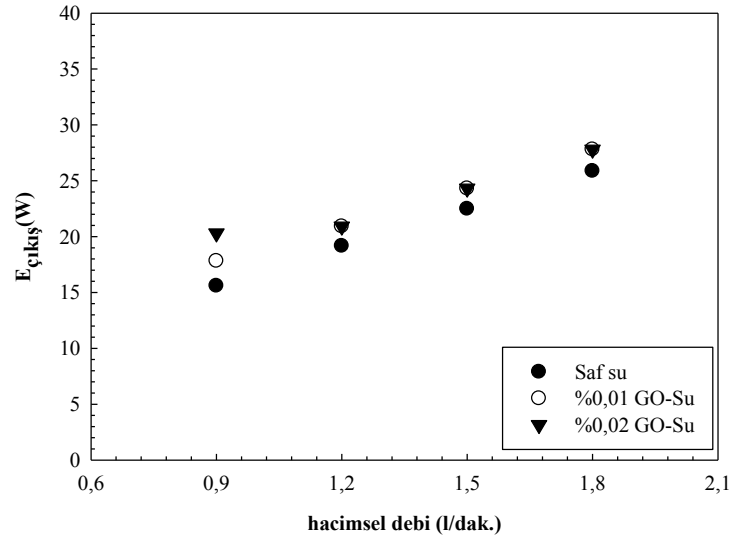
%0,01 GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun 2717,8 W/m² ısı akısında, farklı debilerdeki ikinci yasa verimi Şekil 6.30'da gösterilmiştir. İkinci yasa verimi akışkan debisinin artışıyla ve akışkandaki GO nanoparçacık konsantrasyonunun artışıyla artmaktadır. 1,5 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın ikinci yasa verimi %95 iken, 1,2 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın ikinci yasa verimi %90,3 olduğu belirlenmiştir. 1,5 l/dak. debiliakışta suyun ikinci yasa verimi %82,7 iken, nanoakışkanın aynı debideki ikinci yasa verimi %95 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.30 %0,01 GO-Su nanoakışkanı ile saf suyun $2717,8 \text{ W/m}^2$ ısı akısında, farklı debilerdeki çıkış ekserjisi

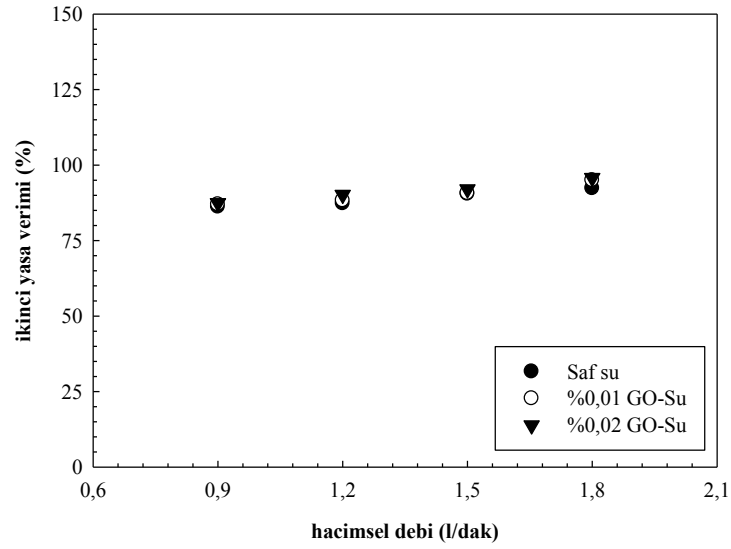
%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı ve Saf Su için 3. Boruda ($D_{ic}=16 \text{ mm}$) Elde Edilen Ekserji Sonuçları

2174 W/m^2 ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun çıkış ekserji miktarı Şekil 6.31’de gösterilmiştir. Akışkanın hacimsel debisinin ve nanoakışkan konsantrasyon miktarının artışıyla çıkış ekserjisi değerinin de artış gösterdiği grafikte görülmektedir. 0,9 l/dak. hacimsel debili akışta %0,02 l/dak. konsantrasyondaki nanoakışkanın çıkış ekserjisi miktarı %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkanın çıkış ekserjisi miktarından %6,14 daha büyük olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya konulmuştur.



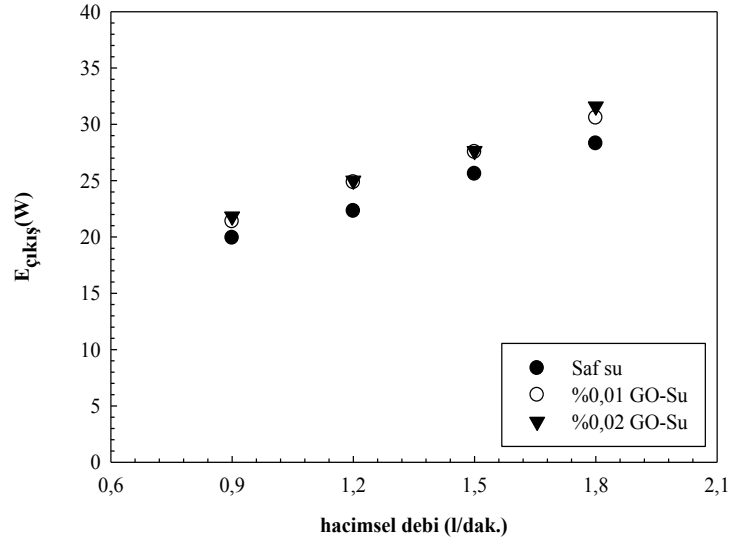
Şekil 6.31 2174,24 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde çıkış ekserjisi

2174,24 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun ikinci yasa verimi hesaplanmış ve Şekil 6.32'deki grafikte ifade edilmiştir. Aynı akışta debiler arasındaki ve konsantrasyon miktarları arasındaki farklılıklardan dolayı çıkış ekserji miktarları arasında fark görünüyorsa da ikinci yasa veriminde aynı sonuçları vermeyebilir. Grafikte de görüldüğü gibi farklı debi ve konsantrasyondaki akışların ikinci yasa verimleri oldukça yakın değerler göstermektedir. 1,2 l/dak. hacimsel debili akışta %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanın ikinci yasa verimi %90,2 iken, %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkanın ikinci yasa verimi %88,3 olarak hesaplanmıştır.



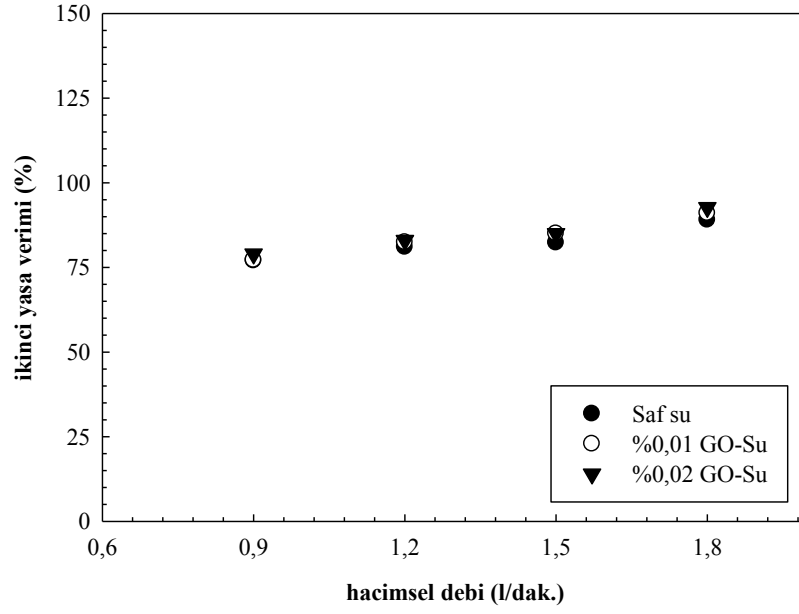
Şekil 6.32 2174,24 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimi

3043,94 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun çıkış ekserjisi hesabı yapılmış ve Şekil 6.33'te gösterilmiştir. En düşük çıkış ekserji miktarının saf suda olduğu görülürken, en fazla çıkış ekserjisi de %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkanda olduğu saptanmıştır. Ayrıca, debinin artışı da çıkış ekserji miktarını artırmaktadır. Yapılan hesaplara göre, çıkış ekserjisi 1,8 l/dak. debili akışta %0,02 GO-Su konsantrasyonlu nanoakışkan için %0,01 GO-Su nanoakışkanından %3,3 daha fazla olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, ısı akısındaki artış çıkış ekserji değerlerini artırırken ikinci yasa verimlerini düşürmektedir.



Şekil 6.33 3043,94 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde çıkış ekserjisi

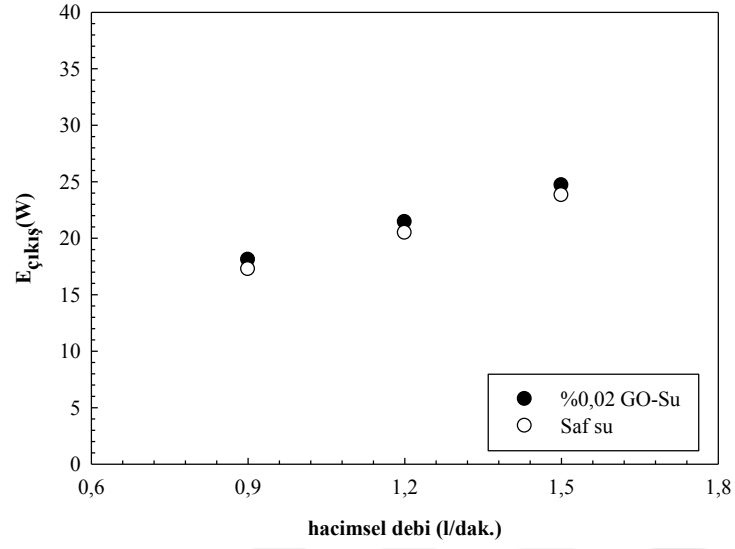
3043,94 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimi Şekil 6.34'te sunulmaktadır. Sistemde ikinci yasa verimleri, akışkanın konsantrasyonuna ve akış debilerine bağlı olarak %78 ve %92,7 arasındaki değerlerde değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte, 1,8 l/dak. debili akışta %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkan %92,7 ikinci yasa verimine sahipken %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkan %91 ikinci yasa verimine sahip olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda tespit edilmiştir.



Şekil 6.34 3043,94 W/m² ısı akısında %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimi

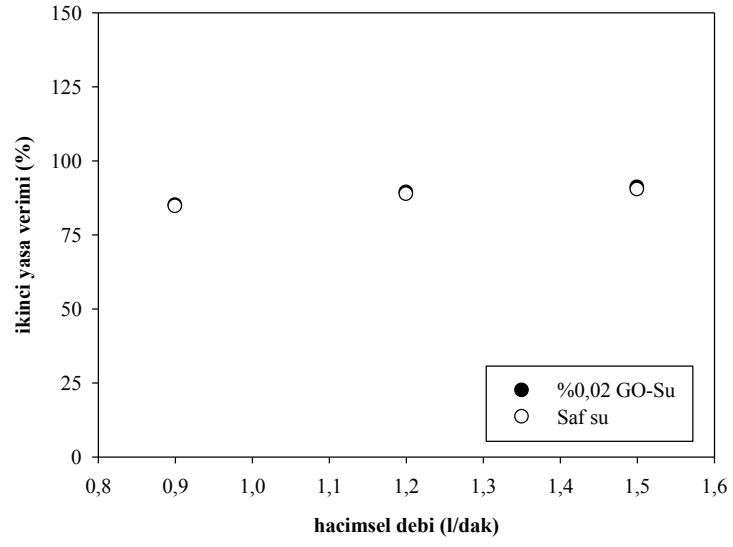
%0,01 ve %0,02 Hacimsel Konsantrasyonlu Grafen Oksit (GO) Nanoakışkanı ve Saf Su için 4. Boruda (D_{ic}=20 mm) Elde Edilen Ekserji Sonuçları

1811,873 W/m² ısı akısında %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanının ve saf suyun farklı debilerde çıkış ekserjisi değerleri Şekil 6.35’de verilmektedir. Bütün debilerde saf suyun çıkış ekserjisi miktarı, nanoakışkanınkinden düşük olduğu görülmektedir. Hem nanoakışkanın hem de saf suyun en büyük çıkış ekserji değeri 1,5 l/dak. hacimsel debide olduğu ve en düşük çıkış ekserji miktarının 0,9 l/dak. hacimsel debili akışta olduğu görülmektedir. %0,02 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkanının 1,5 l/dak. hacimsel debideki çıkış ekserjisi, 0,9 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın çıkış ekserjisinden %36,4 daha büyük olduğu yapılan hesaplarla belirlenmiştir.



Şekil 6.35 1811,873 W/m² ısı akısında%0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde çıkış ekserjisi

1811,873 W/m² ısı akısında %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su nanoakışkanlarının ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimleri Şekil 6.36'da gösterilmektedir. Nanoakışkanın ikinci yasa verimi suya göre daha fazladır. Bununla birlikte, ikinci yasa verimi %0,02 konsantrasyondaki GO-Su nanoakışkanı için %85,6 ve %91,3 değerleri arasında değişirken saf su için en düşük %85 ve en fazla da %91 değerleri arasında olmaktadır.



Şekil 6.36 1811,873 W/m² ısı akısında %0,02 konsantrasyonlardaki GO-Su ve saf suyun farklı debilerde ikinci yasa verimi

7. GENEL SONUÇLAR

Yaşadığımız çağda, dünya nüfusundaki hızlı artış, enerjiye olan talebi de yoğun bir şekilde artırmaktadır. Bu duruma, gelişen teknolojiyle birlikte hayat standartlarının artması ve buna bağlı olarak enerjiye duyulan gereksinimin artması da sebep olmaktadır. Bu amaçla daha az enerji kullanarak daha çok iş yapan yani verimi yüksek makinelerin geliştirilmesi zorunlu görülmektedir.

Sanayide birçok işlemde kullanılan ısı, sisteme iletilmekte ya da sistemden uzaklaştırılmaktadır. Bu amaçla kullanılan ısı değiştiricilerde ısı bir akışkandan diğerine aktarılmaktadır. Ancak, bu işlem süreci sırasında kullanılan geleneksel ısı transferi akışkanlarının (su, etilen glikol, yağ, soğutucu akışkanlar gibi) düşük ısıl iletkenlik özellikleri ısı değiştiricisinin veriminin artırılmasında başlıca engelleyici özellik olarak görülmektedir. Son yıllarda üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaya başlanan nanoakışkanlarla ısı taşıyıcı akışkanların ısı transferi özelliklerinin iyileştirildiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur.

Nanoakışkanlar, tek fazlı akışkanlarla karşılaştırıldığında kullanılan nanoparçacıkların yüzey alanlarının büyük olması parçacıklar ve akışkan arasında ısı transfer yüzey alanını artırmakta ve ayrıca nanoparçacıkların ısıl iletkenlik değerlerinin yüksek olması sonucu ısıtma ve soğutma işlemlerinde geleneksel ısı taşıyıcı akışkanlara göre ısı transfer hızının artmasını sağlamaktadırlar. Bunun yanı sıra, akışkandaki nanoparçacık konsantrasyonu değiştirilerek akışkanın ısıl özellikleri mümkün olduğunca kontrol altında tutulabilmektedir. Ayrıca, nanoakışkanlar eşit miktarda ısı transferi sağlamada saf akışkanla karşılaştırıldığında daha az pompalama gücü ve basınç düşüşü artışına sahiptirler. Bu nedenlerle, nanoakışkanların uygun bir şekilde kullanımı ısı transfer oranını artırırken, ısı değiştiricilerin boyutunun küçülmesini de sağlayacaktır.

Gerçek bir hal değişimi sırasında enerjinin niceliği her zaman korunur fakat niteliği azalmak zorundadır. Nitelikteki bu azalma, entropi artışıyla birlikte olur. Bununla birlikte, ısıl enerji düzensiz bir enerji biçimidir ve bir miktar düzensizlik ısıl enerjiyle birlikte taşınmaktadır. Isıl sistemlerde ısı transferi sırasındaki meydana gelecek olan bu düzensizliklerin azaltılması ısıl sistemin veriminde yani niteliğinde (kullanılabilirliğinde) artışa sebep olacaktır.

Kullanılabilirlik (ekserji), belirli bir halde ve miktardaki enerjinin yararlı iş yapma potansiyelini göstermektedir. Ekserjideki artış, sistemde var olan düzensizliklerin

(tersinmezliklerin) yani entropi üretiminin azaltılmasıyla mümkün olacaktır. Bununla birlikte, birinci yasa veriminin mühendislik sistemlerinin değerlendirilmesindeki eksikliği gerçek ısı verimin aynı koşullarda olabilecek en yüksek (tersinir) ısı verime oranı olan ikinci yasa veriminin analizi ile mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada, 8 mm, 12 mm, 16 mm ve 20 mm iç çaplara, 2 mm cidar kalınlığına, 1830 mm uzunluğa ve dış yüzeyinde sabit üniform ısı akısına sahip dört farklı çaptaki yatay bakır borularda grafen oksit (GO)-su nanoakışkanının entropi üretimi artışı ve ekserji analizleri daha önce yapılmış deneysel çalışmanın sonuçları kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, %0,01 ve %0,02 olmak üzere iki farklı GO-su nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneylerde, 0,9 l/dak., 1,2 l/dak., 1,5 l/dak. ve 1,8 l/dak. olmak üzere dört farklı hacimsel debi ve her boru çapı için 250 W ve 350 W olmak üzere iki farklı ısı yükü (ve buna bağlı olarak farklı ısı akıları) ile çalışılmıştır. Yapılan çalışmada, hacimsel debinin, nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun, ısı akısının ve boru çapının nanoakışkanın entropi üretimi, ekserji (kullanılabilirliği) ve ikinci yasa verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

8 mm iç çaplı olan 1. Boruda GO-su nanoakışkanı ile yapılan deneylere bağlı olarak ısı transferinden kaynaklanan ısı entropi ($S_{\text{üretim,t}}$) ve sürtünme kayıplarından kaynaklanan sürtünme entropisi ($S_{\text{üretim, f}}$) araştırılmıştır. Yüksek ısı transferi özelliklerine sahip olan GO-su nanoakışkanı için 5073 W/m^2 ısı akısında, %0,01 konsantrasyonda ve 0,9 l/dak. hacimsel debide saf suyla kıyaslandığında %8,5 daha az entropi ($S_{\text{üretim,t}} + S_{\text{üretim, f}}$) üretmektedir. Ayrıca, hacimsel debinin artışına bağlı olarak 1,8 l/dak.'lık debide nanoakışkan ile su karşılaştırıldığında nanoakışkanın toplam entropisi %12,7 azalmaktadır. Bununla birlikte, çalıştığımız sistemdeki boruların düz boru olması ve kullanılan nanoakışkanın konsantrasyonunun oldukça az olması nedeniyle (%0,01 ve %0,02) ısı entropi üretim miktarı yanında sürtünme entropisinin değerinin oldukça düşük kaldığı belirlenmiştir. Isıl entropi üretim miktarının, toplam entropi üretim miktarına oranı olarak ifade edilen Bejan sayısı (Be) 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Akışkan debilerindeki artış, sürtünme faktörünü artırmaktadır dolayısıyla üretilen sürtünme entropisi miktarı da artmaktadır. Akışkanın hacimsel debisinin artmasıyla yani sürtünme entropisinin artması Be sayısının azalmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak, 8 mm iç çaplı boruda Be sayısının 0,97-0,998 arasında değiştiği saptanmıştır.

12 mm iç çaplı 2. Boruda Grafen oksit-su nanoakışkanı ile yapılan entropi ve ekserji analizlerine bakıldığında, en düşük entropi üretimi 1,5 l/dak. debili nanoakışkanda

olurken, en yüksek entropi üretiminin ise 0,9 l/dak hacimsel debili nanoakışkanda olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, 1,2 l/dak hacimsel debiye sahip nanoakışkan, 0,9 l/dak debili nanoakışkana göre %10 daha az entropi üretimine sebep olmaktadır. Ayrıca sürtünme entropi üretim miktarında da hacimsel debinin artışına bağlı olarak artış elde edilmektedir. 0,9l/dak debili nanoakışkan, 1,2l/dak debili nanoakışkana göre %46 daha az sürtünme entropisi üretmiştir. Hacimsel debinin artışı, sürtünme entropisini artırmakla birlikte termal entropi üretim değerine göre oldukça düşük değerlerdedir.

250 W ısı yükünde 16 mm iç çapa sahip 3. bakır boruda yapılan analizlere bakıldığında akışkan debisindeki artış, akışkan hızını ve buna bağlı olarak ısı transferini artırdığı için entropi üretim miktarını azaltmaktadır. Buna bağlı olarak, 1,2l/dak.debili akışkan, 0,9l/dak.debili akışkana göre %8,7 daha az entropi üretmektedir. Ayrıca, %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkan saf suya göre %7,2 daha az entropi üretimine sebep olurken, %0,02 konsantrasyondaki GO-su nanoakışkanı %0,01 konsantrasyonlu nanoakışkana göre %3,2 daha az entropi üretmektedir.

20 mm iç çaplı boruda yapılan incelemeler sonucunda en yüksek entropi üretiminin 0,9 l/dak. debili nanoakışkanda ve en düşük entropi üretimi 1,5 l/dak. debili nanoakışkan için olduğu görülmüştür. 1,2 l/dak. debili nanoakışkan 0,9 l/dak. debili nanoakışkandan %10,5 daha az entropi üretirken, 1,5 l/dak. debili nanoakışkan ise 1,2 l/dak. debili nanoakışkandan %7 daha az entropi ürettiği yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya konulmuştur. Ayrıca, 1,5 l/dak debili akışta %0,02 konsantrasyondaki nanoakışkan %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkandan %6,7 daha az entropi üretimine sebep olmaktadır. %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanda ise 1,5l/dak debili nanoakışkan, 0,9 l/dak debili nanoakışkana göre %16,8 daha az entropi üretmektedir.

Yapılan incelemeler sonucunda, 0,9l/dak.debi, 250 W ısı yükü ve %0,01 GO-su nanoakışkanı için toplam entropi üretim miktarlarına bakıldığında en fazla entropi üretim miktarının 20 mm iç çaplı 4. Boruda olduğu görülürken; en düşük entropi üretim miktarının 1. Boruda olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca, farklı konsantrasyonlarla (%0,01, %0,02) hazırlanmış GO-Su nanoakışkanın ve saf suyun farklı hacimsel debilerde (0,9 l/dak., 1,2 l/dak., 1,5 l/dak., 1,8 l/dak.) ve farklı ısı yüklerinde (250W, 350W) çıkış ekserjileri ve ikinci yasa verimleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

8mm çapındaki boruda,hacimsel debideki artışa bağlı olarak çıkış ekserjisi de doğrusal olmayan oranla artmaktadır. En düşük çıkış ekserji değeri, 0,9 l/dak hacimsel debili akışlarda görülürken en fazla çıkış ekserjisi ise 1,8 l/dak hacimsel debide olduğu belirlenmiştir. 250 W ısı yükünde, 1,8 l/dak. debili %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının, 0,9 l/dak. debili ve aynı konsantrasyonlu nanoakışkana göre %61 daha fazla çıkış ekserjisi değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, değerlendirmeler sonucunda akışkanda nanoparçacık miktarının artmasının ikinci yasa verimini artırdığı belirlenmiştir. 1,5 l/dak.'lık hacimsel debi ve %0,02 konsantrasyona sahip GO-Su nanoakışkanının ikinci yasa verimi %96 iken, %0,01 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının ikinci yasa veriminin ise %93.6 olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, nanoakışkan konsantrasyonundaki artışla artan ısı transferine bağlanabilir.

12 mm iç çaplı boru için yapılan incelemelerde, hacimsel debideki artışın çıkış ekserjisi değerini artırdığı ve %0,01 GO-Su konsantrasyonlu ve 1,8 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın 1,5 l/dak. hacimsel debili nanoakışkana göre %14,8 daha fazla çıkış ekserjisine sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, 1,5 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın ikinci yasa verimi %95 iken, 1,2 l/dak. hacimsel debili nanoakışkanın ikinci yasa veriminin %90,3 olduğu bulunmuştur.

16 mm iç çaplı boru için yapılan ekserji analizlerinde 1,2 l/dak. hacimsel debili akışta %0,02 konsantrasyonlu nanoakışkanın ikinci yasa verimi %90,2 iken, %0,01 konsantrasyondaki nanoakışkanın ikinci yasa veriminin %88,3 olduğu bulunmuştur.

20 mm iç çaplı boru için yapılan ekserji değerlendirmelerinde ise 250 W ısı yükü ve 0.9 l/dak. debide %0,02 GO-Su nanoakışkanı için ikinci yasa verimi %85,6 iken 1.5 l/dak. debide %91,3 değerine ulaşmaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre bu çalışmada kullanılan %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlarındaki GO-Su nanoakışkanlarının entropi üretimlerinin düşük ve buna bağlı olarak ikinci yasa verimlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, taban akışkanı olan saf suya göre ikinci yasa verimlerinin yüksek olması nanoakışkanın faydalanılabilir iş potansiyelinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- A.A. Karamallah, W.S. Mohammad, W.H. Khalil** (2011). Numerical study of entropy generation in a vertical square channel packed with saturated porous media, *Journal of Engineering Technology* 29 (9) 1721–1736.
- Albay, N. Z.** (2005). Polietilen glikol-tuz-su sistemlerinde viskozite tayini. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Ayres, R. U. and Ayres L. W.** (1999). *Accounting for resources 2: The life cycle of materials*. Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Ayres, R. U.** (1994). *Information, Entropy and Progress: A New Evolutionary Paradigm*. AIP Press, Woodbury, NY, USA.
- Bejan, A. A.** (1979). Study of Entropy Generation in Fundamental Convective Heat Transfer. 724.
- Bejan, A.** (1980), Second law analysis in heat transfer, *Energy* 5 721–732.
- Bejan, A.** (1996). *The Method of Entropy Generation Minimization*. John Wiley & Sons, Inc., 400.
- Bhalla, V.** (2012). Characterization and study of the viscous behavior of CuO-H₂O, EG (ethylene glycol) based nanofluids. Mechanical Engineering Department Thapar University Patiala, 147004.
- B. Rimbault, C.T. Nguyen, N. Galanis** (2014). Experimental investigation of CuO-water nanofluid flow and heat transfer inside a microchannel heat sink, *Int. J. Heat Mass Transf.* 84275–292.
- Celata, G.P., Morini, G.L., Marconi, V., McPhail, S.J., Zummo, G.** (2006). Using viscous heating to determine the friction factor in microchannels – An experimental validation. *Experimental Thermal and Fluid Science* 30, 725–731.
- Choi, S.U.S.** (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *The Proceedings of the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* 66, 99–105.
- Çengel Yunus A.**, Isı Ve Kütle Transferi Pratik bir Yaklaşım 3. Basım, 467- 468.
- Çengel.Y. A. JM. Cimbala** (2008). *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*. Birinci baskıdan çeviri.
- Çiftci H.** (2014). Küresel Yüzeylerde Nanoakışkanlarda Kaynama Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Dilek, E. F.** (2008). Nanoakışkanların Hazırlanması ve Isıl İletkenliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Dincer, I., Hussain, M. M. and Al-Zaharnah, I.** (2004). Energy and exergy utilization in transportation sector of Saudi Arabia, *Applied Thermal Engineering*, 24, 525–538.
- D. Wen, Y. Ding** (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under LAMİNERflow conditions *Int J Heat Mass Transfer*, 47 pp. 5181-5188.
- E.B. Haghghi, N. Nikkam, M. Saleemi, M. Behi, S. a Mirmohammadi, H. Poth, et al.,** (2013). Shelf stability of nanofluids and its effect on thermal conductivity and viscosity, *Meas. Sci. Technol.* 24 105301.
- Elçioğlu, E. B., Yazıcıoğlu, A. G. ve Kakaç, S.** (2014). Nanoakışkan viskozitesinin karşılaştırılması verilmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34 (1), 137-151.
- F. Rashidi, N.M. Nezamabad** (2011). Experimental investigation of convective heat transfer coefficient of CNTs nanofluid under constant heat flux, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol III WCE 2011, July 6–8.

- H. Bahremand, A. Abbassi, M. Saffar-Avval** (2015). Experimental and numerical investigation of turbulent nanofluid flow in helically coiled tubes under constant wall heat flux using Eulerian–Lagrangian approach, *Powder Technology* 269 93–100.
- Hermann, W. A.** (2006). Quantifying global exergy resources, *Energy*, 31, 1685–1702.
- Hui Xia, Y. Quian, Y. Fu, X. Wang** (2013). Graphene anchored with ZnFe₂O₄ nanoparticles as a high-capacity anode material for lithium-ion batteries, *Solid State Science* 17 pp. 67-71.
- J. Qu, H. Wu** (2011). Thermal performance comparison of oscillating heat pipes with SiO₂/water and Al₂O₃/water nanofluids *Int. J. Therm. Sci.*, 50 (10) (2011), pp. 1954-1962.
- J. Qu, H.-y. Wu, P. Cheng** (2010). Thermal performance of an oscillating heat pipe with Al₂O₃–water nanofluids *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 37 pp. 111-115.
- J. Lee, I. Mudawar** (2007). Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in micro-channels, *Int. J. Heat Mass Transf.* 50 452–463.
- J.Y. Jung, H.S. Oh, H.Y. Kwak** (2009). Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52 (1) 466-472.
- Kaka C., S. and A. Pramuanjaroenkij** (2016). Analysis of convective heat transfer enhancement by nanofluids: single-phase and two-phase treatments, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, Vol. 89, No. 3, pp. 758-793,
- L. Colla, L. Fedele, M.H. Buschman** (2015). LAMINERmixed convection of TiO₂ewater nanofluid in horizontal uniformly heated pipe flow, *International Journal of Thermal Sciences* 97 26-40.
- Lelea, D., Nishio, S., & Takano, K.** (2004). The experimental research on microtube heat transfer and fluid flow of distilled water. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(12-13), 2817-2830.
- M.A. Akhavan-Behabadi, Mohamad Shahidi, M.R. Aligoodarz** (2015). An experimental study on heat transfer and pressure drop of MWCNT-Water nanofluid inside horizontal coiled wire inserted tube, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 63 62–72.
- M.M. Sarafraz, F. Hormozi, S.M. Peyghambarzadeh** (2015). Role of nanofluid fouling on thermal performance of a thermosyphon: Are nanofluids reliable working fluid? *Applied ThermalEngineering* 82 212-224.
- M. Moghaddami, A. Mohammadzade, S.A.V. Esfehani** (2011). Second law analysis of nanofluid flow, *Energy Conversion and Management* 52 (2) (2011) 1397-1405.
- Mahmud, S., Fraser, R.A.** (2002). Thermodynamic analysis of flow and heat transfer inside channel with two parallel plates. *Exergy, An International Journal*. 140-146.
- Mahmud, S., Fraser, R.A.** (1989), The second law analysis in fundamental convective heat transfer problems. *International Journal of Thermal Sciences*. 2003, 177-186. 41.
- Mala, Gh. M., Li, D.** (1999). Flow Characteristics of Water in Microtubes, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 20: 142–148.
- Mehrdad Karimzadehkhoei, Mostafa Shojaeian, Abdolali Khalili Sadaghiani, Kürsat Sendur, M. Pinar Mengüç and Ali Kosar** (2018). *Entropy Generation*

Analysis of LAMINERFlows of Water-Based Nanofluids in Horizontal Minitubes under Constant Heat Flux Conditions.

- M. Khoshvaght-Aliabadi, M. Tavasoli, F. Hormozi (2015).** Comparative analysis on thermal hydraulic performance of curved tubes: Different geometrical parameters and working fluids, *Energy* 91:588-600.
- M. Tshehla, O. Makinde (2011).** Analysis of entropy generation in a variable viscosity fluid flow between two concentric pipes with a convective cooling at the surface, *International Journal of the Physical Sciences* 6 (25) 6053–6060.
- Milad Rakhsha, Farzan Akbaridoust, Abbas Abbassi, Saffar-Avval Majid (2015)** Experimental and numerical investigations of turbulent forced convection flow of nano-fluid in helical coiled tubes at constant surface temperature, *Powder Technology* 283.
- Odum, H.T. (1996).** *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making.* John Wiley & Sons, New York, USA. 178–189.
- Paoletti, S., Rispoli, F., Sciubba, E.** Calculation of exergetic losses in compact heat exchanger passages. *ASME AES.* 21-29.
- P. Nitiapiruk, O. Mahian, A.S. Dalkilic, S. Wongwises (2013).** Performance characteristics of a microchannel heat sink using TiO₂/water nanofluid and different thermophysical models, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 47 98–104.
- P.V. Durga Prasad, A.V.S.S.K.S. Gupta and K. Deepak (2015).** Investigation of Trapezoidal-Cut Twisted Tape Insert in a Double Pipe U-Tube Heat Exchanger using Al₂O₃/Water Nanofluid, *Procedia Materials Science* 10 50 – 63.
- R.K. Sahu, Somashekhar S. Hiremath, P.V. Manivannan (2015).** Ultrasonic technique for concentration characterization of copper nanofluids synthesized using μ -EDM: A novel experimental approach, *Powder Technology* 284 429–436.
- R. Mondragon, J.E. Julia, A. Barba, J.C. Jarque (2012).** Characterization of silica-water nanofluids dispersed with an ultrasound probe: A study of their physical properties and stability, *Powder Technol.* 224 138–146.
- Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A. (2011).** A review on applications and challenges of nanofluids, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 1646–1668.
- S. Zeinali Heris, M. Nasr Esfahany, S.G. Etemad (2007).** Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube *Int J Heat Fluid Flow*, 28 pp. 203-210.
- S.E.B. Maiga, C.T. Nguyen, N. Galanis, G. Roy (2004).** Heat transfer behaviors of nanofluids in a uniformly heated tube *J Superlattices Microstruct*, 35 pp. 543-557.
- S.K. Das, N. Putra, P. Thiesen, W. (2003).** Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids *J. Heat Transfer*, 125 pp. 567-574.
- S. Lee, S.U.S. Choi, S. Li, G. (1999).** Eastman Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles *J Heat Transfer*, 121, pp. 280-289.
- Steinke, M. E., Kandlikar, S. G. (2006).** Single-Phase Liquid Friction Factors in Microchannels, *Int. J. Thermal Sciences*, 45: 1073–1083.
- Szargut, J., Morris, D. R. and Steward, F. R. (1988).** *Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes.* Hemisphere Pubs., New York, USA.
- Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö.ve Yılmaz, M. (2004).** Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 47 (559).
- Şahin, B. (2010).** Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi, TÜBİTAK Proje No: 105M292, Erzurum.

- Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karşlı, S., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş., Kaya, M.** (2010). “Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Tübitak, Proje No: 105M292,
- Tuckerman, D. B. & Pease, R. F. W.** (1982). Optimized convective cooling using micro-machined structures. In *Journal of the Electrochemical Society* 129, No. 3, pp. 98-98.
- Tuckerman, D. B., Pease, R. F. W.** (1982). Ultrahigh thermal conductance microstructures for cooling integrated circuits. *IEEE CH781-4*, 145- 149.
- Utlı, Z. and Hepbaslı, A.** (2007b). A review on analyzing and evaluating the energy utilization efficiency of countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1–29.
- Unlu, G., Arikol, M. and Kaptanoğlu, D.** (1987). Survey of industrial energy requirements: Findings for the Turkish textile industry, *Energy*, 11, 721–725.
- Vanaki, S. M., P. Ganesan and H. Mohammed** (2016). “Numerical study of convective heat transfer of nanofluids: a review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, pp. 1212–1239.
- V. Bianco, S. Nardini, O. Manca** (2011). Enhancement of heat transfer and entropy generation analysis of nanofluids turbulent convection flow in square section tubes, *Nanoscale Research Letters* 6 (1) 1–12.
- Wall, G.** (1977). Exergy – a useful concept within resource accounting.
- W. Park, J. Hu, L.A. Jauregui, X. Ruan, Y.P. Chen** (2004). Electrical and thermal conductivities of reduced graphene oxide/polystyrene composites *Appl. Phys. Lett.*, 114 (11) (2014), p. 113101.
- Y.A. Cengel, M.A. Boles** (2006), *Thermodynamics – An Engineering Approach*, McGraw-Hill Companies.
- Y. Xuan, Q. Li** (2000). Transfer enhancement of nanofluids *Int J Heat Fluid Flow*, 21 pp. 58-64.
- Y. Xuan, W.** (2000). Roetzel Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids *Int J Heat Mass Transfer*, 43 pp. 3701-3707.
- Y. Ding, H. Alias, D. Wen, R.A.** (2006). Williams Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids) *Int J Heat Mass Transfer*, 49 pp. 240-250.
- Y. Hwang, J.K. Lee, J.K. Lee, Y.M. Jeong, S. ir Cheong, Y.C. Ahn, et al.** (2008). Production and dispersion stability of nanoparticles in nanofluids, *Powder Technol.* 186145–153.
- Z. Said, M.A. Sabiha, R. Saidur, A. Hepbaslı, N.A. Rahim, S. Mekhile, T.A. Ward** (2015). Performance enhancement of a Flat Plate Solar collector using Titanium dioxide nanofluid and Polyethylene Glycol dispersant, *Journal of Cleaner Production* 92 343-353.
- Xuan Y., Li Q.** (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1) 58–64.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı Nihat OCAK
Doğum Yeri ve Tarihi Sivas, 21.08.1989
Medeni Hali Bekar
Yabancı Dil İngilizce
İletişim Adresi Gültepe Mah. 40/53 Sok. Bilici Yaşam Merkezi B Blok No :5
E-posta Adresi ocak_nihat@hotmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise Sultan Murat Lisesi, 2006
Lisans Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 2014
Yüksek Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2019