



**NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE TERMAL
KARAKTERİSTİKLERİNİ DEĞERLENDİRMEK
İÇİN MİNİ KANALLI ISI DEĞİŞTİRİCİNİN
SAYISAL MODELLENMESİ VE
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Berrak GÜLMÜŞ GÖKDAĞ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. Faraz AFŞAR**

**2022
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE TERMAL KARAKTERİSTİKLERİNİ
DEĞERLENDİRMEK İÇİN MİNİ KANALLI ISI DEĞİŞTİRİCİNİN SAYISAL
MODELLENMESİ VE DENEYSEL İNCELENMESİ**

Berrak GÜLMÜŞ GÖKDAĞ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Faraz AFŞAR

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Erzurum

2022

Her hakkı saklıdır.

ETİK KURALLARINA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

15 / 12 / 2022

Berrak GÜLMÜŞ GÖKDAĞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE TERMAL KARAKTERİSTİKLERİNİ DEĞERLENDİRMEK İÇİN MİNİ KANALLI ISI DEĞİŞTİRİCİNİN SAYISAL MODELLENMESİ VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Berrak GÜLMÜŞ GÖKDAĞ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Faraz AFŞAR

Isı transfer özellikleri, araştırmacılar tarafından kapsamlı bir şekilde araştırılmakta ve en uygun ısı transferi için farklı yöntemlerin araştırılması önemli bir konudur. Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş nanoakışkan ile çalıştırılan alüminyum soğutma bloklarının termal performansını değerlendirmek için deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmıştır. Çevrimde ısı transfer akışkanı olarak yeni nesil kararlı nanoakışkan Fe_3O_4 /Su kullanılmıştır. Deneylerde, her bir parametrenin termal verim üzerindeki etkisini bulmak için kütleli debi, nanoakışkanın hacim oranı ve giriş sıcaklık değeri gibi çalışma koşulları değiştirilmiştir. Bu çalışmada problem sayısal simülasyon kullanılarak çözülmüş ve gerekli diyagramlar sıcaklık ve hız konturları şeklinde sunulmuştur. Modeli simüle etmek için ANSYS/Fluent yazılımı kullanılmıştır.

2022, 91 sayfa

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülmüş nanoakışkan, Soğutma bloğu, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Isıl verim

ABSTRACT

MS. Thesis

NUMERICAL MODELING AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MINICHANNEL HEAT EXCHANGER TO EVALUATE FLOW AND THERMAL CHARACTERISTICS OF NANOFLUID

Berrak GÜLMÜŞ GÖKDAĞ

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Faraz AFŞAR

Heat transfer characteristics is a major subject that has been extensively studied by researchers and different methods for optimal heat transfer have been investigated. In this study, experimental and numerical methods have been utilized to evaluate thermal performance of aluminum cooling blocks operated by recycled nanofluid. New generation stable nanofluid $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Water}$ was used as heat transfer fluid in the cycle. In the experiments, the operating conditions such as flow rate, volume fraction of the nanofluid and fluid inlet temperatures were changed to find the effect of each parameter on the thermal efficiency. In this research, the problem has been solved using numerical simulation and required diagrams have been presented in the form of temperature and velocity contours. ANSYS/Fluent software has been used to simulate the model.

2022, 91 page

Keywords: Recycled nanofluid, Cooling block, Computational fluid dynamics, Thermal efficiency

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında teşvik destek ve yardımlarını gördüğüm, bilgi ve tecrübelerini bana aktaran değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Faraz Afşar'a teşekkür ederim. Çalışmalarına zemin hazırlamamı sağlayan bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Ateş'e, çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Burak Muratçobanoğlu'na ve Arş. Gör. Emre Mandev'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında bana en büyük gücü veren, manevi destek bulmamı sağlayan sevgili kızım Masal Sena'ya, her yönüyle her anımda destek bulduğum sevgili eşim Osman'a, sevgi ve desteklerini esirgemeyen hiçbir anımda pes etmeme izin vermeyen annem, babam ve kardeşlerime, çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen sevgili kardeşim İnşaat Mühendisi M. Burçak Gülmüş'e teşekkür ederim.

Fikir ve görüşlerini esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim, ayrıca duaları ile yanımda olan kıymetli büyüklerime şükranlarımı sunarım.

Berrak GÜLMÜŞ GÖKDAĞ

Aralık 2022

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Isı Transferi.....	3
1.1.1. Isı transfer mekanizmaları.....	4
1.1.2. İletim ile ısı transferi.....	4
1.1.3. Taşınım ile ısı transferi.....	4
1.1.4. Işınım ile ısı transferi.....	5
1.2. Nanoakışkan.....	5
1.2.1. Nanoakışkan kavramı.....	5
1.2.2. Nanoakışkanların özel nitelikleri.....	6
1.2.3. Nanoakışkan hazırlama yöntemi.....	6
1.3. Nanoakışkanın Termofiziksel Özellikleri.....	10
1.3.1. Isıl iletkenlik.....	10
1.3.2. Isıl iletkenliği etkileyen faktörler.....	12
1.4. Viskozite.....	17
1.5. Yoğunluk.....	19
1.6. Özgül Isı.....	19
1.7. Termoelektrik Soğutmanın Teorisi.....	19
1.7.1. Termoelektrik soğutucuların avantajları.....	21
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	22
2.1. Nanoakışkanlı Isı Değiştirici Sistemleri Üzerine Yapılan Bazı Çalışmalar.....	22
3. MATERYAL ve METOD	32
3.1. Deneysel Yöntem.....	32
3.2. Deney Sisteminin Tanıtımı ve Çalışma Prensibi.....	32

3.3. Deneysel Materyal	34
3.3.1. Hassas terazi.....	34
3.3.2. Ultrasonik homojenizatör	34
3.3.3. Pompa.....	35
3.3.4. Serpantin ve ultrasonik su banyosu.....	35
3.3.5. Güç kaynağı	36
3.3.6. Veri okuma kartı	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	39
4.1. Su İçin Yapılan Deneysel Sonuçlar.....	39
4.2. Nanoakışkana Ait (0,2 Fe ₃ O ₄) Grafikler	43
4.3. Nanoakışkana Ait (%0,4 Fe ₃ O ₄) Grafikler.....	49
4.4. Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması	53
4.5. Nanoakışkan Karalılığının Yapısı	54
4.6. Matematik Formülasyon (Temel Denklemler).....	56
4.6.1. Kütle korunumu kanunu (Süreklilik)	56
4.6.2. Momentumun korunumu kanunu (Newton'un ikinci yasası)	57
4.6.3. Enerjinin korunumu (Termodinamiğin birinci yasası).....	59
4.7. Sayısal ve Teorik Hesaplamalar	59
4.8. Had (Cfd) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.....	62
4.8.1. Sonlu farklar yöntemi.....	63
4.8.2. Sonlu hacimler yöntemi	63
4.8.3. Sonlu elemanlar yöntemi	63
4.9. Isı değiştirici Solidworks Görüntüleri	64
4.10. Mesh Bağımsızlık Çalışması.....	65
4.11. Optimum Çözüm Ağının Bulunması	65
4.12. Ansys Mesh' e Ait Görüntüleri	66
4.13. Termal Contour Görüntüleri	68
4.14. İki Boyutlu Hız Görüntüleri	71
4.15. İki Boyutlu Basınç Görüntüleri	75
4.16. Deneysel ve Sayısal Değerlerin Karşılaştırılması	75
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	85

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Isı transfer yüzey alanı (m ²)
D	Çap (m)
g	Yerçekimi ivmesi(m/s ²)
H	Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
I	Akım (A)
k	Isı iletkenlik katsayısı (W/ m.K)
m	Kütleli debi (kg/s)
Q	Isı miktarı (W)
Q _c	Termoelektrik modülün soğuk yüzeyinden çektiği ısı
QH	Yüzeyden atılan ısı
T	Sıcaklık (°C)
T ₀	Isının aktarıldığı ortam sıcaklığı
TH	Sistemin yüzey sıcaklığı
U	Ortalama hız (m/s)
W _e	Termoelektrik modülün çektiği elektrik güç
v	Kinematik viskozite (m ² /s)

Kısaltmalar

Ag	Gümüş
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
AlOOH	Alüminyum hidroksit oksit
ANSYS	Swanson analysis sistem
Bi ₂ Te ₃	Bizmut (III) tellür
Cm	Nanoakışkan kütleli oranı
COP	Performans katsayısı

Cu	Bakır
Cu ₂ O	Bakır (II)oksit
CuSO ₄	Bakır (II) sülfat
EG	Etilen glikol
Fe ₃ O ₄	Demir oksit
FVM	Sonlu hacim yöntemi
Gr	Grashof sayısı
HAD(CFD)	Hesaplmalı akışkanlar dinamiği
H ₂ O	Su
MgO	Magnezyum oksit
MV	Motor yağı
Nu	Nusselt sayısı
PC	Bilgisayar
Ph	Potansiyel hidrojen
Re	Reynolds sayısı
SAE	Yağ
SiO ₂	Silisyum(II) oksit
SPM	Tek fazlı
TEC	Termoelektrik soğutucu
TEG	Termoelektrik jeneratör
TiO ₂	Titanyum (II)oksit
TPM	Çift fazlı
T	Termokupl
ZnO	Çinko oksit

Alt İndisler

b	Temel akışkan
ç	Çıkış
Eff	Efektif
f	Zorlanmış
g	Giriş
H	Hidrolik
L	Lokal
nf	Nanoakışkan
ort	Ortalama
s	Yüzey

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Tek adımlı sentezleme yöntemi.	8
Şekil 1.2. Nanoakışkanların iki aşamalı sentez yöntemi.....	10
Şekil 1.3. Parçacık boyutunun ısı iletkenliğe etkisi.	12
Şekil 1.4. Ara yüzeyin ısı iletkenliğe etkisi.	13
Şekil 1.5. CuO –Ph değerleri kıyası için Isı transfer katsayısının Re sayısına göre değişimi.	14
Şekil 1.6. Sıcaklığın ısı iletimi üzerindeki etkisi	14
Şekil 1.7. Hacimsel oranın ısı iletkenliğe etkisi.....	15
Şekil 1.8. Temel akışkanın ısı iletkenliğe etkisi.	16
Şekil 1.9. Nanoparçacık şekillerinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisi.....	16
Şekil 1.10. a) 5 °C ve (b) 50 °C’ de Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanlarının kayma hızı ile viskozite değişimi.	18
Şekil 1.11. Bir termoelektrik soğutucu modeli.	20
Şekil 3.1. Deney düzenek şeması.....	32
Şekil 3.2. Deney düzeneği	33
Şekil 3.3. Ultrasonik homojenizatör.....	34
Şekil 3.4. Su pompası	35
Şekil 3.5. Su banyosu.....	36
Şekil 3.6. Güç kaynağı	36
Şekil 3.7. Güç kaynağı	37
Şekil 3.8. Veri okuma kartı.....	38
Şekil 4.1. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde baz akışkana ait Nu-Re ve Q(W) diyagramı.....	42
Şekil 4.2. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde baz akışkana ait h-Re diyagramı	43
Şekil 4.3. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,2 Fe ₃ O ₄ ait Nu-Re ve Q(W) diyagramı.....	48
Şekil 4.4. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,2 Fe ₃ O ₄ ait h-Re diyagramı	48
Şekil 4.5. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,4 Fe ₃ O ₄ ait Nu-Re ve Q(W) diyagramı.....	52

Şekil 4.6. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,4 Fe ₃ O ₄ ait h-Re diyagramı	52
Şekil 4.7. H ₂ O ve %0.2 ve %0.4 Fe ₃ O ₄ ile hazırlanan nanoakışkanlarda zamanla oluşan çökelmeler	55
Şekil 4.8. HAD akış şeması (Şakirali 2022).	62
Şekil 4.9. Isı değiştirici için solidworks çizim görüntüleri	64
Şekil 4.10. a) Isı değiştirici için ansys kesit görüntüsü.....	66
Şekil 4.11. b) ve c) Isı değiştirici için ansys üst düzlem görüntüsü.....	66
Şekil 4.12. %0,4 nanoakışkan için simüle edilmiş bloğun 3 boyutlu görüntüsü	68
Şekil 4.13. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015(kg/s) debilerde blok geçiş duvarlarındaki akışkanın sıcaklık değişimi.....	69
Şekil 4.14. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok kesitinde akışkanın sıcaklık değişimi.....	70
Şekil 4.15. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s) , d) 0,0015(kg/s) debilerde blok geçiş duvarlarındaki akışkanın hız değişimi	71
Şekil 4.16. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok kesitinde akışkanın hız değişimi	72
Şekil 4.17. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok kesitindeki akışkanın akış çizgileri	73
Şekil 4.18. a) 0,0006 (kg/s) ve b) 0,0012 (kg/s), akış hızlarında sıvının hız vektörü	74
Şekil 4.19. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s) , c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok geçiş duvarındaki akışkanın basınç değişimi	75
Şekil 4.20. 5 °C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde baz akışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.21. 10°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde baz akışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.22. 15 °C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde baz akışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	77
Şekil 4.23. 5°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,2 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	78
Şekil 4.24. 10°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,2 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	79

Şekil 4.25. 15°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,2 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	79
Şekil 4.26. 5°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,4 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	80
Şekil 4.27. 10°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,4 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	81
Şekil 4.28. 15°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,4 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Tek adımlı hazırlık süreci ile ilgili bazı araştırmalar.....	7
Çizelge 1.2. İki aşamalı yöntem ile ilgili bazı araştırmalar	9
Çizelge 1.3. Sıkça kullanılan bazı malzemenin ısıl iletkenlik özellikleri.....	11
Çizelge 1.4. Isıl iletkenlik için bazı modeller.	17
Çizelge 1.5. Viskozite için bazı modeller.	18
Çizelge 2.1. Isı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar.....	28
Çizelge 2.2. Isı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar.....	29
Çizelge 2.3. Isı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar.....	30
Çizelge 4.1. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde blok giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi	39
Çizelge 4.2. T=5°C, T=10°C , T=15 °C (Su banyosu sıcaklığı) farklı debilerde blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.....	40
Çizelge 4.3. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde serpantin yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi	41
Çizelge 4.4. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde, (%0,2, Fe ₃ O ₄) oranda nanoakışkana ait blok giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi	44
Çizelge 4.5. T=5 °C, T=10 °C ,T=15 °C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde, (%0,2, Fe ₃ O ₄) oranda nanoakışkana ait, blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi	45
Çizelge 4.6. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde (%0,2, Fe ₃ O ₄) oranda nanoakışkana ait serpantin yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi	47
Çizelge 4.7. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde, (%0,4, Fe ₃ O ₄) oranda nanoakışkana ait blok giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi	49

Çizelge 4.8. T=5 °C, T=10 °C, T=15 °C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde, (%0,4, Fe ₃ O ₄) oranda nanoakışkana ait, blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi	50
Çizelge 4.9. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde (%0,4, Fe ₃ O ₄) oranda nanoakışkana ait serpantin yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi	51
Çizelge 4.10. T=5 °C, T=10 °C ,T=15 °C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde, (Su,%0,2 Fe ₃ O ₄ ,%0,4 Fe ₃ O ₄ ,) blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişiminin karşılaştırılması.....	53
Çizelge 4.11. Deneysel plan değerlendirmesi.....	64
Çizelge 4.12. Mesh bağımsızlık çalışması.....	65
Çizelge 4.13. Isı değiştiricide baz akışkanın (H ₂ O) kararlı (t=300 s) durumda giriş ve çıkış sıcaklıkları	67
Çizelge 4.14. Isı değiştiricide %0,2 nanopartikül içeren nanoakışkanın kararlı (t=300 s) durumda giriş ve çıkış sıcaklıkları	67
Çizelge 4.15. Isı değiştiricide %0,4 nanopartikül içeren nanoakışkanın kararlı (t=300 s) durumda giriş ve çıkış sıcaklıkları	67
Çizelge 4.16. Deneysel baz akışkan ve sayısal verilerin karşılaştırılması.....	76
Çizelge 4.17. Deneysel %0,2 nanoakışkan ve sayısal verilerin karşılaştırılması	78
Çizelge 4.18. Deneysel %0,4 nanoakışkan ve sayısal verilerin karşılaştırılması	80

1. GİRİŞ

Son yüzyıllarda insanlar tarafından, yaşam alanlarını, yaşam kalitesini ve sanayilerini geliştirmek için temel olarak enerji üretimlerini artırmaya çalışılmıştır. Son enerji krizinden bu yana, araştırmacılar ve sanayiciler tarafından enerji daha iyi bir şekilde yönetilmiş ve enerji sistemlerinin verimliliği konusunda daha dikkatli olmaya çalışılmıştır. Bu bağlam, termoelektrik jeneratörlerine (TEG) artan ilgiyi açıklamaktadır. Termodinamik dersinde incelenen soğutma sistemlerinin tümü hareketli parçalardan oluşan karmaşık yapılar olmasına rağmen bu hareketli parçalara gerek duymadan elektrik enerjisi doğrudan soğutmak için kullanılmış ve enerji doğrudan elektrik üretmeyi mümkün kılmıştır.

Akışkanların ısı transferinde en etkili faktörlerden biri akışkanın ısı iletkenliğidir. Endüstrilerde kullanılan ısı transferi açısından düşük kapasiteli sıvıların yaygınlaşması sebebiyle, endüstrilerin hem daha yüksek ısı transfer katsayılarına sahip sıvılar kullanmak hem de akışkanların ilerlemesi için, yüksek ısı transferine sahip akışkanlara ihtiyaç vardır. Yapılan deneysel ve sayısal sonuçlara göre nanoakışkanların ısı iletkenlik özelliklerinin temel akışkanlardan daha iyi olduğunu göstermektedir. Örneğin baz akışkana yaklaşık %1-5 nanopartikül eklendiğinde termal iletkenlik %20' ye kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın miktarı akışkanın şekil, boyut malzeme ve nanopartiküllerin yoğunlaşması gibi faktörlere bağlıdır (Masuda et al. 1993).

İlk kez nanoakışkan özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Hacimsel oranları %1 ve %4 olan Su- Al_2O_3 nanoakışkan üzerine bir çalışma yapılmıştır. Nanoakışkan için sıcaklık artışında gözle görülür bir etki olduğu görülmüştür. Termal iletkenliğin arttığı dinamik viskozitenin düştüğü gözlemlenmiştir (Das et al. 2003).

Titanyum nanoakışkan üzerine deneysel bir inceleme yapılmış ve ısı boruda %10 titanyum nanoakışkanına nanopartiküllerin ilave edilmesi ile termal verimlilik %10 kadar artırılmıştır (Naphon et al. 2008).

Boru içerisindeki türbülanslı akışın ısı transferindeki değişimler üzerine sayısal analiz yapılmış ayrıca nanoparçacık boyutunun etkisi de incelenmiştir. Sayısal sonuçlara

1. GİRİŞ

göre belirli bir Reynolds sayısında %6 CuO nanoparçacık ilave edilmesiyle, Nusselt sayısı %36'ya yükselmiştir (Naamburu et al. 2009).

Laminar rejim altında çift borulu bir ısı eşanjöründe nanopartikül kullanımının ısı transfer performansı üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Analiz sonucuna göre yüzey özelliklerinden nanopartikül hacimsel oranı ve geometrisi, ısı transferinin iyileştirilmesindeki ana faktör olduğu belirtilmiştir (Chun et al. 2008).

Karşı akışlı çift borulu bir ısı eşanjöründe gerçekleşen konveksiyon ısı transfer katsayısını deneysel olarak araştırılmıştır. Farklı hacimsel oranlara sahip Su/CuO nanoakışkanın analiz sonuçlarına göre Reynolds sayısı ve Hacimsel oranlarını artırarak ve nanopartiküllerin %2'ye çıkarılmasıyla konveksiyonla ısı transferi %57 artmıştır (Zarringhalam et al. 2016).

Sabit sıcaklık altında düz bir tüp içerisinde nanoakışkan akışı ve ısı akışı üzerine sayısal bir inceleme yapılmıştır. Sayısal sonuçlara göre çalışma sıvısının farklı Reynolds sayılarında incelenmiş ve temel akışkana nanopartikül eklemenin ısı transferi ve basıncı iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Zhao et al. 2016).

Laminar akışta sabit sıcaklık ve ısı akışı altında sarmal tüplerin içerisinde akan CuO ve Ag/Su nanoakışkanları üzerine sayısal bir inceleme yapılmıştır. Sayısal analiz sonuçlarına göre dört denklemle incelenen termal iletkenlik ve homojen modelden elde edilen sonuçların birbirine daha yakınsadığı görülmüştür (Bagherzadeh et al. 2017).

Sabit ısı akışı altında yatay sarmal boruların içerisinde yağ/CuO nanoakışkanın ısı transfer ve basınç düşüşü üzerine inceleme yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre sınır tabaka oluşumundaki gecikmenin konveksiyonu artırdığını göstermiştir (Hashemi et al. 2012).

Türbülanslı akışta dairesel boru içerisindeki Su/CuO, Al_2O_3 , TiO_2 Newton olmayan bir nanoakışkanın konveksiyonla ısı transferi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Pe sayısını artırılarak, taşınım ile ısı transferini ve Nusselt sayısını artırdığını gözlemlenmiştir (Hojjat et al. 2011).

1. GİRİŞ

Bir ısı ejanjörüne nanopartikül eklemenin ısı transfer performansının sayısal incelemesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre temel akışkana nanopartikül eklemenin, ısı transferi geliştirme oranı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Garoosi et al. 2016).

Türbülanslı rejim altında kabuk borulu bir ısı eşanjörün içerisinde $\gamma/\text{Al}_2\text{O}_3$ nanoakışkanın ısı transferi ve basınç düşüşü sayısal olarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre basınç düşüşü ve ısı transferi önemli ölçüde artarken nanopartikül eklemenin basınç düşüşünün yoğunlaşmasına etki etmediği saptanmıştır (Shahmohammadi and Beiki 2016).

Bir tüp içerisinde Su/TiO_2 nanoakışkanını sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen sonuçlar nanoparçacık eklemenin ısı transfer oranını %21'e kadar artırdığı gözlemlenmiştir (Ebrahimnia-Bajestana et al. 2016).

Diğer uzmanlar nanoakışkan çalışması olarak deneysel ve sayısal olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Kanal veya mikrokanal gibi basit geometriklerin içinde (Akbari et al. 2016), dikey halka (Malvandi et al. 2015).

Bu çalışmada nanoakışkanın akış ve termal karakteristiklerini değerlendirmek için mini kanallı ısı değiştiricinin sayısal modellenmesi ve deneysel incelenmesi yapılmış, sonuçlar incelenmiştir.

1.1. Isı Transferi

Isı iki ortam arasında transfer edilirken anlam kazanan enerji türü olarak tanımlanabilir. İki ortam arasında ortaya çıkan potansiyel sıcaklık farkı ısı enerji transferini oluşturur. Şayet sistemde akışkanın hareketi fazla ise enerji aktarımı da fazladır diyebiliriz (Çengel 2012).

1.1.1. Isı transfer mekanizmaları

Isı transferi mekanizmaları üç kısımda incelenir.

1. İletim ile ısı transferi
2. Taşınım ile ısı transferi
3. Işınım ile ısı transferi

1.1.2. İletim ile ısı transferi

Bir maddenin (katı, sıvı, gaz) daha yüksek enerjiye sahip parçacıktan daha düşük olana doğru atomik ve moleküler düzeydeki hareketler sonucu aktarılan enerji türüdür. Bu aktarılan enerji türü katılarda titreşim ile sıvı ve gazlarda ise rastgele meydana gelmektedir.

1.1.3. Taşınım ile ısı transferi

Aralarında sıcaklık farkı bulunan bir katı yüzey ile ona bitişik hareket halindeki bir akışkan arasında gerçekleşen ısı transfer türüdür. Taşınımı iletimden ayırt eden en önemli özellik ortamlardan birinin hareketli olmasıdır. Aksi takdirde taşınımından bahsedemeyiz. Taşınım ile olan ısı geçişi için de kütle ve yığınsal olmak üzere iki mekanizmadan bahsedebiliriz.

Taşınım ile olan ısı transferi akış türüne göre üçe ayrılır (Çengel 2012).

1. Zorlanmış Taşınım
2. Doğal Taşınım
3. Karma Taşınım

1) Zorlanmış Taşınım

Akışkana dıştan gelen (pompa, fan, rüzgâr vb.) zorlanmış kuvvetler vasıtası ile akışkanın akmaya zorlanması olayına zorlanmış konveksiyon denir (Çengel 2012).

2) Doğal Taşınım

Akışkan hareketinde sıcaklık farkından ötürü ortaya çıkan yoğunluk farkıyla meydana gelen durumdur. Akışkana dışardan herhangi bir zorlama olmaz. Yoğunluk farkının ortaya koyduğu kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle ısınan akışkan yukarıya doğru hareket ederken, daha soğuk akışkan ise aşağı doğru hareket etmektedir (Çengel 2012).

1.1.4. Işınım ile ısı transferi

Işınım ile ısı transferi sonlu sıcaklığa sahip bir şeklin boşlukta elektromanyetik dalgalar şeklinde yaydığı enerji türüdür. Işınım için iletim ve taşınım gibi bir ortam gerekliliği şartı yoktur. Boşlukta daha etkin şekilde gerçekleşir.

1.2. Nanoakışkan

1.2.1. Nanoakışkan kavramı

Nanoakışkanlar metal ve metal oksit gibi kritik boyutu ~ 100 nm' den küçük olan parçacıkların seyreltik süspansiyonudur. Şimdiye kadar yapılan araştırmalar gösteriyor ki, geleneksel temel akışkanlar nanoakışkanlara göre ısı transfer performansı kıyaslanamayacak ölçüde düşüktür. Nanoakışkanların mükemmel ısı transferi geliştirme sebebi, parçacık şekli, parçacık boyutu dağılımı, hacimsel oran, sıcaklık, Ph , temel akışkanların ve nanoparçacıkların ısıl yeteneğine bağlı olduğu belirtilmiştir (Goharshadi et al. 2013).

1.2.2. Nanoakışkanların özel nitelikleri

Nanoakışkanları diğer akışkanlardan ayıran bazı özel nitelikler vardır (Goharshadi et al. 2013). Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- Isıl iletkenlikte teorik tahminlerden çok daha yüksek artış
- Ultra hızlı ısı transfer yeteneği
- Diğer akışkanlardan daha iyi stabilite
- Mikro kanallarda aşınma ve tıkanmanın azaltılması
- Pompalama kayıplarını arttırmaması
- Sürtünme katsayısında azalma
- Daha iyi yağlama

1.2.3. Nanoakışkan hazırlama yöntemi

Nanoakışkanların hazırlanması, nanoakışkanların deneysel çalışmalarının ilk adımıdır. Nanoakışkan hazırlamak için iki ana yöntem ile hazırlanır. Bunlar tek aşamalı hazırlama süreci ve iki aşamalı hazırlama sürecidir (Aslan 2021).

Tek aşamalı hazırlık süreci

Tek adımlı hazırlama işlemi, tek adımda nanoakışkanların sentezini gösterir. Nanoakışkan hazırlama için birkaç tek adımlı yöntem geliştirilmiştir (Mukherjee et al. 2013).

Çizelge 1.1. Tek adımlı hazırlık süreci ile ilgili bazı araştırmalar

Yazar	Yöntem	Sonuç
(Akoh et al. 1978).	Veros (Akan yağ üzerine vakum buharlaştırma)	Nanopartikülleri sıvılardan ayırmak zor olduğu anlaşılmıştır.
(Eastmen et al. 1997).	Veros (Cu buharının akan düşük buhar basınçlı etilen glikol ile temas yolu ile)	Doğrudan Nanopartiküller halinde yoğunlaşabildiği görülmüştür.
(Zhu et al. 2004).	Cu'nun hazırlanması için tek adımlı kimyasal süreç sundu (Mikrodalga ışınlaması altında etilen glikol içinde NaH_2PO_2 , H_2O ile CuSO_4 , H_2O nun indirgenmesiyle nanoakışkanlar oluşumu)	Bu yöntemin ayrıca mineral yağ bazlı gümüş nanoakışkanlar üretiminin iyi bir yolu olduğu kanıtlanmıştır.
(Lo et al. 2005).	CuO , Cu_2O ve Cu bazlı nanoakışkanlar hazırlamak için vakum bazlı batık ark nanoparçacıkların farklı di elektrik sıvılarıyla sentezini geliştirmiştir	6.000-120.000 °C arasında elektrik arkı üretmek için uygun bir güç kaynağı gerekli olduğu ileri sürülmüştür. Arkın oluşturduğu bir bölgede arkı erittiğini ve buharlaştığı görülmüştür. Buharlaşan metal yoğunlaşır ve daha sonra nanoakışkanlar üretmek için de iyonize su ile dağıtılması gerektiği öne sürülmüştür.

1. GİRİŞ

Tek aşamalı sentez yönteminin avantajı nanoparçacık aglomerasyonu en aza indirilir. Ancak asıl sorun, yalnızca düşük buhar basınçlı sıvılarla uyumlu olmasıdır. Nanoakışkanların tek adımlı hazırlama süreci (kimyasal süreç) aşağıda verilmiştir (Mukherjee et al. 2013).



Şekil 1.1. Tek adımlı sentezleme yöntemi (Mukherjee et al. 2013)

Sentezlenen parçacıkların oksidasyona engel olması yöntemin avantajlı olduğunu gösterir. Yöntemde kurutma, depolama, taşıma gibi aşamalar olmadığı için diğer yöntemlere göre daha kararlı bir yapıdadır ve maliyetini oldukça düşürmüştür. Bu metot ile sadece düşük buhar basıncına sahip nanoakışkanlar hazırlandığı için üretilebilen nanoakışkan miktarı oldukça sınırlıdır (Mukherjee et al. 2013).

İki aşamalı hazırlık süreci

İki aşamalı hazırlama işlemi, temel akışkanların karıştırılmasıyla nanoakışkanların sentezinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu aşamada fiziksel ve kimyasal yollardan elde edilen nano tozlarla öğütme, sol jel ve buhar fazı gibi yöntemler mevcuttur. Ultrasonik vibratör cihaz genellikle nano tozlarını ana akışkanlarla karıştırmak için kullanılır. Parçacık aglomerasyonu azaltmak için sık sık ultrasonikasyon veya karıştırma gereklidir (Mukherjee et al. 2013).

1. GİRİŞ

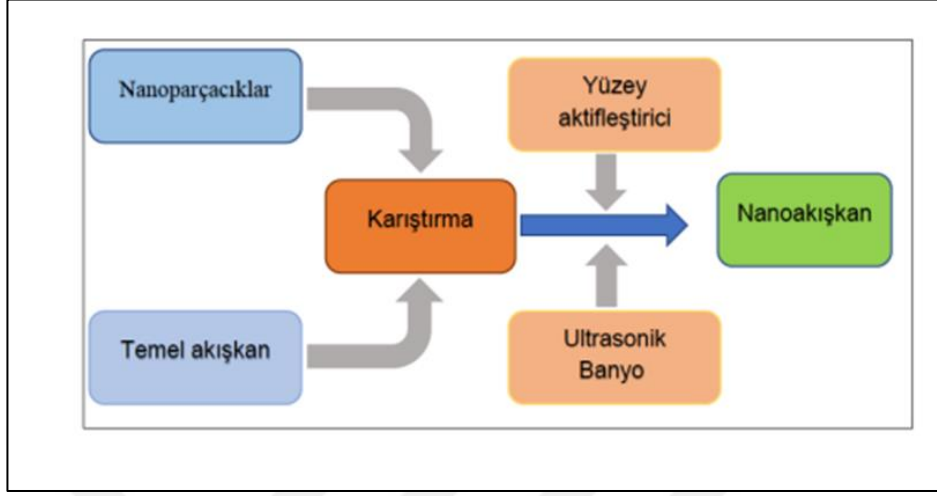
Çizelge 1.2. İki aşamalı yöntem ile ilgili bazı araştırmalar

Yazar	Yöntem	Sonuç
(Eastman et al. 1997)	İki aşamalı Yöntem	Nanoakışkan sentezinde kullanılmıştır.
(Lee et al. 1999)	İki aşamalı Yöntem	Nanoakışkan sentezinde kullanılmıştır.
(Wang et al. 1999)	İki aşamalı Yöntem	Nanoakışkan sentezinde kullanılmıştır.
(Murshedet et al. 2005)	İki aşamalı Yöntem	TiO ₂ -su nanosüspansiyonunu hazırlanmıştır.
(Xuan and Li 2000)	İki aşamalı Yöntem	Hem su hem de transformatör yağından oluşan nanoakışkanları hazırlamak için ticari olarak mevcut Cu nanoparçacıklarını kullanılmıştır.
(Kwak et al. 2005)	İki aşamalı Yöntem	Hem su hem de transformatör yağından oluşan nanoakışkanları hazırlamak için ticari olarak mevcut Cu nanoparçacıkları kullanılmıştır.

İki aşamalı yöntem metalik nanopartikül içerenlere değil daha çok oksit nanopartikül içeren nanoakışkanlar hazırlamak için uygun bir yöntemdir (Eastmen et al. 2001).

1. GİRİŞ

Nanoakışkanların iki adımlı hazırlama süreci (kimyasal süreç) aşağıda Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Nanoakışkanların iki aşamalı sentez yöntemi (Aslan 2021)

Nanopartiküller arasındaki duvar kuvveti nedeniyle tozlar kolayca toplandığından, stabilize etmek oldukça zordur. Bu dezavantajlara rağmen, nanoakışkan miktarının çok fazla olduğu durumlarda ekonomik maliyet olarak daha avantajlı olduğundan, bu süreç günümüzde hala en popüler yöntemdir (Aslan 2021).

1.3. Nanoakışkanın Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkanları geleneksel diğer temel akışkanlarla kıyasladığımızda nanoakışkanları diğer akışkanlardan ayıran bazı parametreler mevcuttur. Bunlar; ısı iletim katsayısı, ısı iletkenlik, viskozite ve yoğunluktur. Nanoakışkanlar diğer akışkanlara göre üstünlük sağlamaktadır.

1.3.1. Isıl iletkenlik

Isı transferi gelişimi açısından nanoakışkanları diğer akışkanlardan üstün kılan en önemli parametre ısı iletkenliktir. Bu hayati derecede önem arz etmektedir (Aslan 2021).

Aşağıdaki çizelgede bazı malzemelere ait ısı iletkenlik özelliklerini Çizelge 1.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Sıkça kullanılan bazı malzemenin ısı iletkenlik özellikleri (Aslan 2021)

Katı/Sıvı	Malzeme	Isıl iletkenlik (W/mK)
Metalik Katılar	Gümüş	429
	Bakar	401
	Alüminyum	237
Metalik Olmayan Katılar	Elmas	3300
	Karbon nanotüpler	3000
	Silisyum	148
	Alüminyumoksit (Al ₂ O ₃)	40
Metalik Sıvılar Metalik Olmayan Sıvılar	Sodyum (644 K'de)	72,3
	Su	0,613
	Etilen glikol (EG)	0,253
	Motor yağı (MY)	0,145

Katı metaller diğer geleneksel akışkanlara kıyasla nanopartikül akışkan olarak diğer akışkanla bağdaşarak ısı transferini gelişimine katkı sağlamaktadır (Şahin vd 2010). Isı transferini geliştirmesinin başlıca nedenleri şu şekilde sıralanabilir (Goharahadi et al. 2013).

- Parçacık ve sıvı arasındaki etkileşim ve çarpışma yoğunlaştırılmıştır.
- Askıya alınmış nanopartiküller sıvının hem yüzey alanını hem de ısı kapasitesini artırır.
- Akışkan türbülansı yoğunlaştırılmış bir şekildedir.
- Nanoparçacıkların dağılımı sıvının sıcaklık gradyanını düzleştirir.

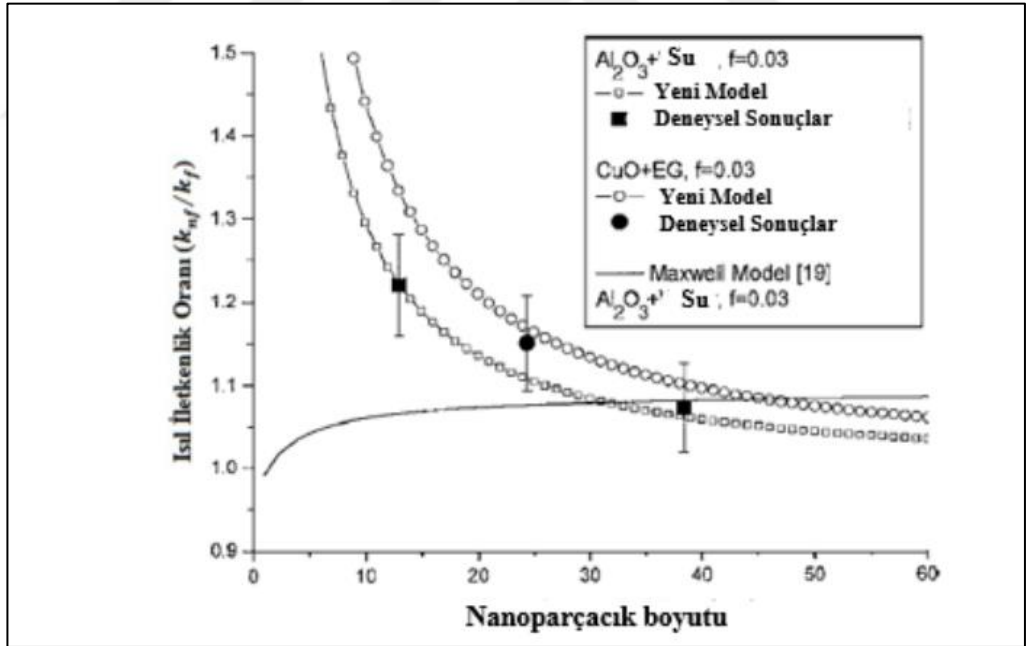
Nanoakışkanların diğer akışkanlara oranla ısı iletkenliğinin artmasını sağlayan bazı düzenekler vardır. Bunlar, katı sıvı ara yüzeyindeki katman, nanopartiküllerin hareketi, akışkan yüzeyinin yük özelliği olarak belirtilmiştir (Goharahadi et al. 2013).

1.3.2. Isıl iletkenliği etkileyen faktörler

Nanoakışkanın parçacık boyutu, ara yüzeyi, Ph değeri, sıcaklık, temel akışkan, hacimsel oran ve nanoparçacık şekli gibi parametrelerin ısı iletkenlik üzerinde önemli etkileri vardır (Dirlik 2018).

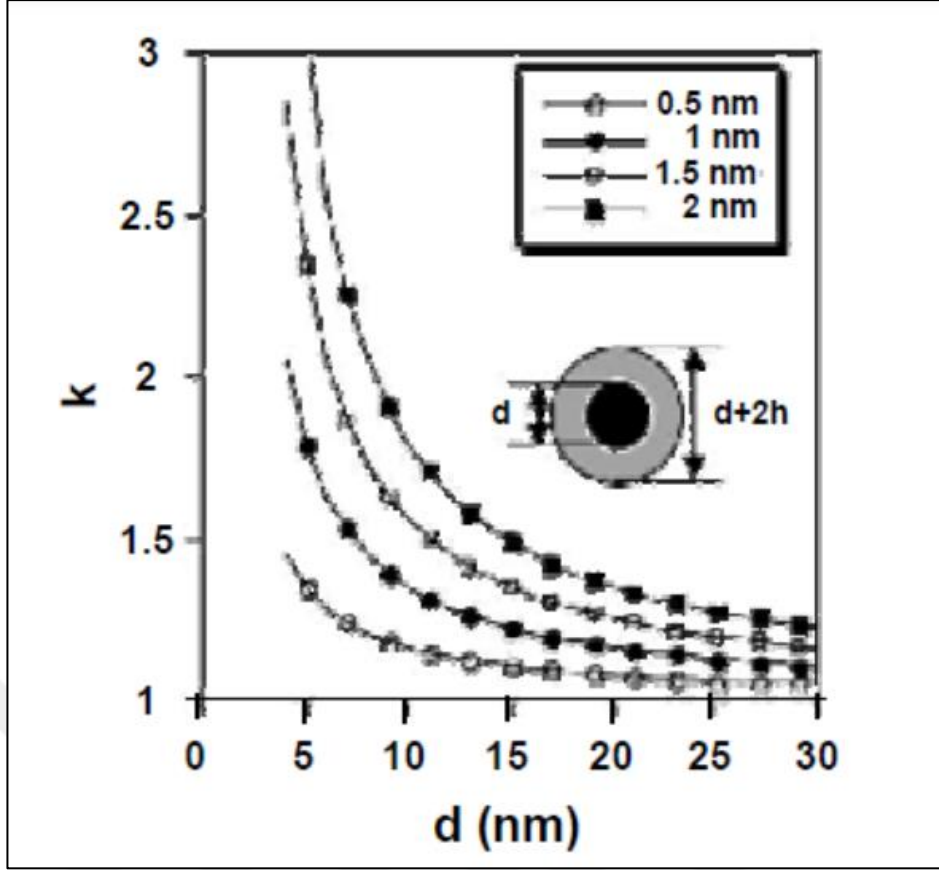
Parçacık boyutu ve ara yüzeyi

Yapılan çalışmada nanoparçacık boyutunun ısı iletkenlikle olan ilişkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucuna göre de nanoparçacık boyutunun ısı iletkenlik ile arasında ters orantılı olduğu saptanmıştır. Nanoparçacık ve su molekülleri arasında nano taşınım gerçekleştiğinden ötürü parçacık boyutu azaldıkça nanoparçacıkların hareketi artmaktadır (Dirlik 2018). Yani diyebiliriz ki parçacık boyutu arttıkça ısı iletkenlik azalır (Jang et al. 2007).



Şekil 1.3. Parçacık boyutunun ısı iletkenliğe etkisi (Jang et al. 2007)

Yapılan çalışma sonucuna göre ara yüzey miktarı arttıkça ısı iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda nanoparçacık boyutu ile ara yüzey arasında ters ilişki kurulmuştur. Nanoparçacık boyutu azaldıkça, her ara yüzey çapında ısı iletkenlikte artış görülmüştür (Yu et al. 2007).

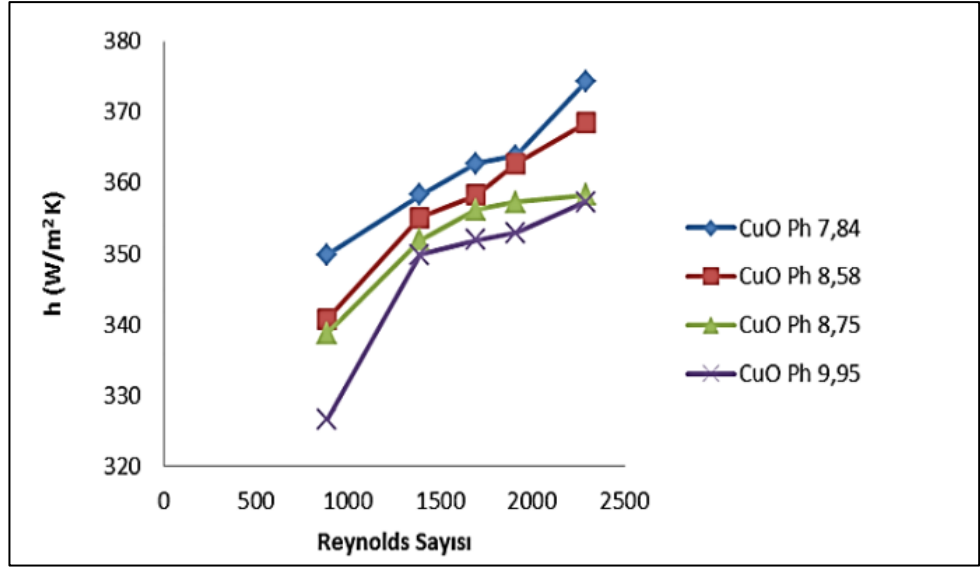


Şekil 1.4. Ara yüzeyin ısı iletkenliğe etkisi (Yu et al. 2007)

Ph değerinin ısı iletimine olan etkisi

Yapılan çalışmada ve diğer literatür çalışmalara bakılarak akışkanın Ph değeri ile ısı iletim arasında ters orantı bulunmaktadır. Ph değeri arttıkça ısı iletim katsayısı azalmaktadır (Lee et al. 2005).

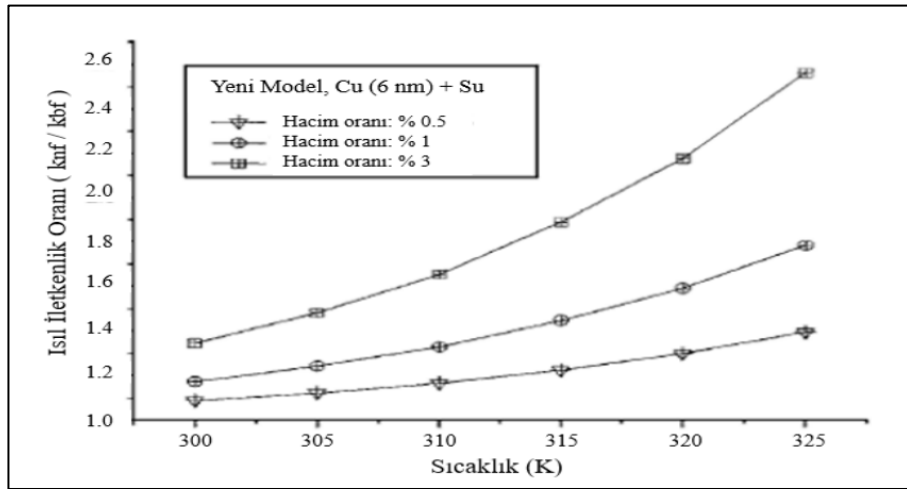
Yapılan farklı bir deneysel çalışmada bir nanoakışkanın farklı Ph değerlerindeki ısı transfer katsayıları belirlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ph değeri arttıkça ısı transfer katsayı değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Farklı nanoakışkanların saf suya oranla ısı transfer katsayısında % 13.1 daha fazla bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Daş ve Demirpolat 2019).



Şekil 1.5. CuO –Ph değerleri kıyası için Isı transfer katsayısının Re sayısına göre değişimi (Daş ve Demirpolat 2019).

Sıcaklığın ısı iletimi üzerindeki etkisi

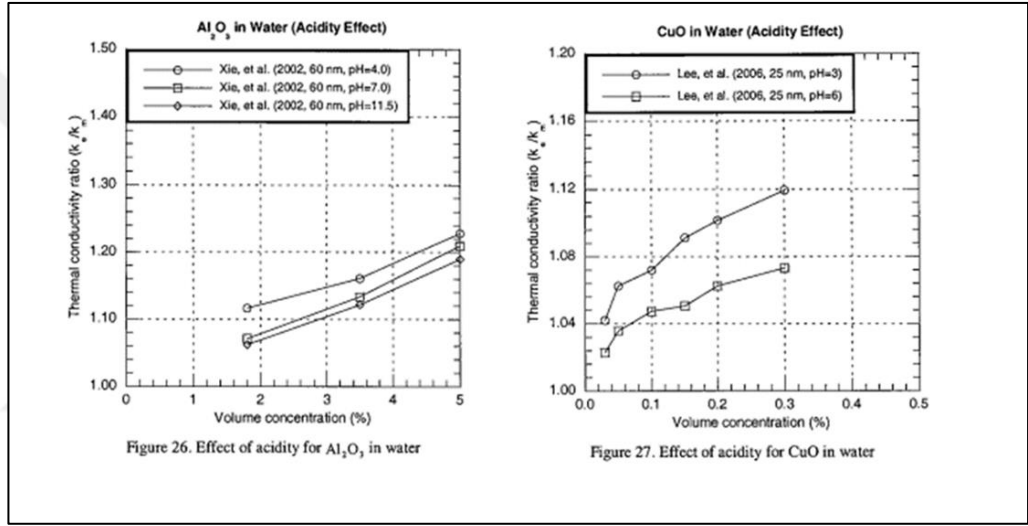
Yapılan çalışmada grafik sonuçlarına göre temel akışkanı su olan alüminyum oksit in sıcaklıkla ısı iletkenlik arasında sıcaklık arttıkça ısıl iletkenliğin de arttığı gözlemlenmiştir. Çünkü Cu-su nanoakışkanı için ısıl iletkenlik değerlendirildiğinde sıcaklık artarken dinamik viskozitenin azaldığı görülmüştür. Ayrıca ısıl iletkenliğin sıcaklıkla birlikte artmasında dinamik viskozite azalırken Brownian hareketlerinin artmasının da etken olduğu belirtilmiştir (Jang and Choi 2007).



Şekil 1.6. Sıcaklığın ısı iletimi üzerindeki etkisi (Jang and Choi 2007)

Hacimsel oranın ısı iletkenliğe olan etkisi

Yapılan çalışmaya göre hacimsel oran arttıkça ısı iletkenliğinde arttığı gözlemlenmiştir. Farklı iki nanoakışkanda da benzer sonuç gözlemlenmiştir. Literatürde bu konuyla ilgili çok net bilgiler olmasa da yapılan farklı bir çalışmada aşağıdaki iki grafik sonucuna göre hacimsel oran arttıkça ısı iletkenliğinin de arttığı gözlemlenmiştir. İki grafik sonuç olarak benzerlik gösterse de var olan nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin artış oranı sayısal sonuçlarda farklılıklar ortaya çıkarmıştır (Dirlik 2018).

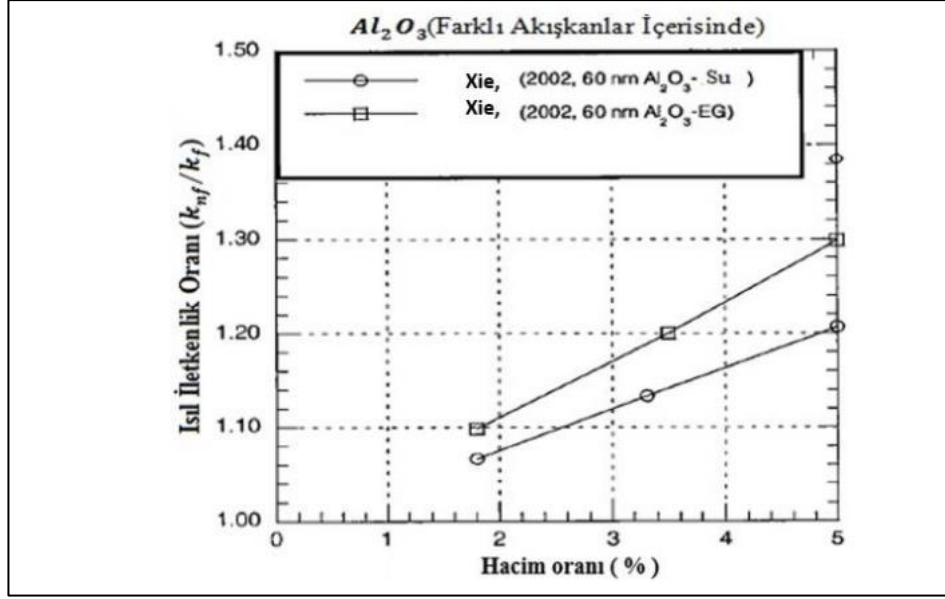


Şekil 1.7. Hacimsel oranın ısı iletkenliğe etkisi (Yu et al. 2007)

Temel akışkanın ısı iletkenliğe olan etkisi

Yapılan çalışmaya göre temel akışkanın ısı iletkenlik üzerinde etkisi ısı iletkenlik miktarındaki artış fazla ise ısı iletkenliğinin minimum seviyede olduğu saptanmıştır (Yu et al. 2007).

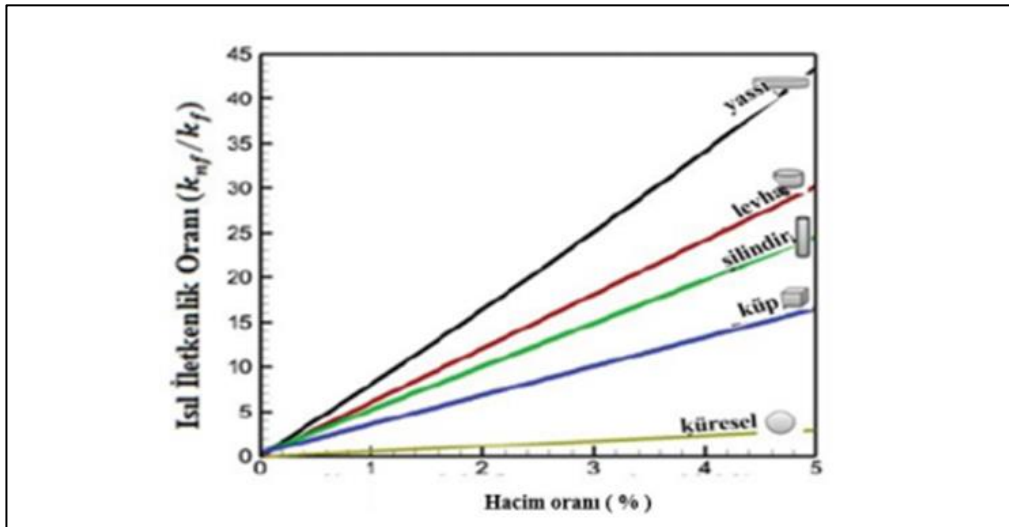
Bunun nedeni daha düşük ısı iletim katsayısına sahip temel akışkana nanopartikül eklendiğinde ısı iletiminde daha fazla artış olurken, daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan temel akışkana nanopartikül eklendiğinde ise ısı iletiminde daha az bir artış olduğu görülmektedir (Dirlik 2018).



Şekil 1.8. Temel akışkanın ısı iletkenliğe etkisi (Dirlik 2018)

Nanoparçacık şeklinin ısı iletkenliğe olan etkisi

Yapılan çalışmada nanoparçacık şekillerinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisi gözlemlenmiş küresel şekiller diğer şekillere kıyasla ısı iletkenlik iyileştirmelerinin daha zor olduğu saptanmıştır. Şeklin boyu uzadıkça birbirleriyle etkileşiminin daha güçlü olduğu sonucuna varılmıştır (Âmin et al. 2015).



Şekil 1.9. Nanoparçacık şekillerinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisi (Âmin et al. 2015)

Çizelge 1.4. Isıl iletkenlik için bazı modeller (Aslan 2021)

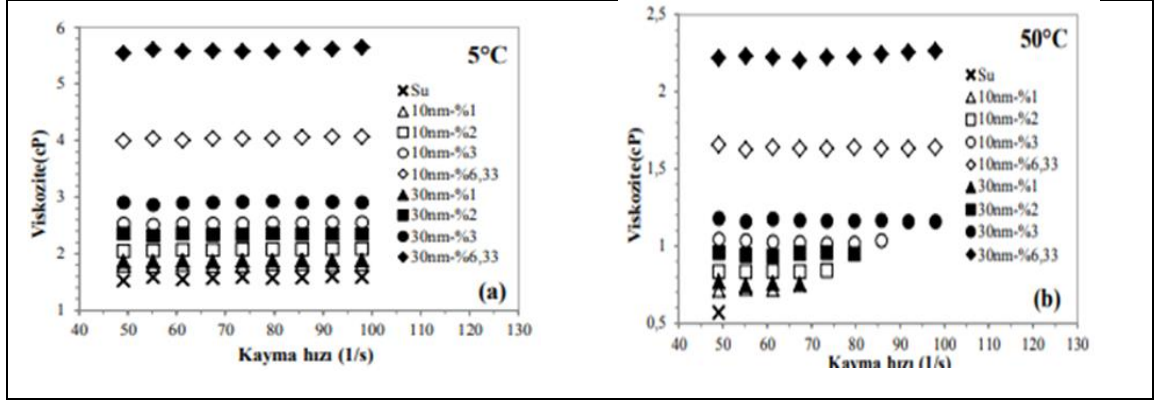
Modeller	İfadeler	Açıklamalar
Maxwell	$\frac{k_e}{k_1} = \frac{k_p + 2k_1 - 2(k_p - k_1)\phi}{k_p + 2k_1 - (k_p - k_1)\phi}$	Küresel partiküller için geçerlidir.
Hamilton-Crosser	$\frac{k_e}{k_1} = \frac{k_p + (n-1)k_1 - (n-1)(k_1 - k_p)\phi}{k_p + (n-1)k_1 + (k_1 - k_p)\phi}$	Küresel ve küresel olmayan partiküller dikkate alınmıştır. Küresel partiküller için n=3, silindirik partiküller için n=6
Wasp	$\frac{k_e}{k_1} = \frac{k_p + 2k_1 - 2(k_1 - k_p)\phi}{k_p + 2k_1 + (k_1 - k_p)\phi}$	Katı-sıvı karışımların ısı iletkenliğini hesaplamak için önerilmiştir.
Yu-Choi	$\frac{k_e}{k_1} = \frac{k_p + 2k_1 + (k_p - k_1)(1 + \beta)^3\phi}{k_p + 2k_1 - (k_p - k_1)(1 + \beta)^3\phi}$	İki fazlı karışımların etkili ısı iletkenliğini hesaplamak için alternatif bir teoridir.

1.4. Viskozite

Akışkanların en önemli özelliklerinden biri olan viskozite akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Farklı hızlarda hareket eden iki akışkan arasında belirli şartlarda uygulanan kuvvete karşı direnç gösteren katmanlar arasında oluşan yüzey gerilmeleri viskozite oluşumuna sebep olur (Dirlik 2018). Viskozite değerinin değişkenlik göstermesinde nanoakışkanın sıcaklığı, şekli, cinsi ve derişimi gibi birçok parametre etki etmektedir. İncelenen çalışmada en önemli etkenin ise derişim olduğu sonucuna varılmıştır. Derişim miktarı arttıkça viskozitenin de arttığı görülmüştür (Sundar et al 2013).

Yapılan bir diğer çalışmada farklı sıcaklıklarda 10 nm ve 30 nm tanecik boyutuna sahip nanoakışkanların viskozite değerleri karşılaştırılmış. Yapılan deneysel sonuçlara göre düşük katkı oranında (%1) suya oranla birbirine çok daha yakın sonuçlar verirken, yüksek katkı oranında (%6,33) bu farkın büyüdüğü görülmüştür. Viskozitenin artış oranının tanecik boyutundaki artışla beraber arttığı gözlemlenmiştir (Sundar et al. 2013).

1. GİRİŞ



Şekil 1.10. a) 5 °C ve (b) 50 °C’ de Al₂O₃-su nanoakışkanlarının kayma hızı ile viskozite değişimi (Turgut vd 2016).

Viskozite için farklı formlar mevcuttur en genel haliyle aşağıdaki denklem;

Batchelor viskozite bağıntısı (Turgut vd 2016).

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi + 6.2\phi^2) \mu_b \quad (1.1)$$

Yukarıdaki bağıntıda μ_b temel akışkanın viskozite değerini gösterirken, μ_{nf} ise nanoakışkanın viskozite değerini göstermektedir (Aslan 2021).

Çizelge 1.5. Viskozite için bazı modeller (Aslan 2021)

Yazar	Model	Tanım
(Mooney 1951)	$\mu_{eff} = \frac{\mu_{nf}}{\mu_b} = \exp\left(\frac{2.5\phi}{1 - \phi / \phi_m}\right)$	Sonsuz seyreltilmiş küresel partiküllü süspansiyonlar için
(Brinkman 1952)	$\mu_{eff} = \frac{\mu_{nf}}{\mu_b} = \frac{1}{(1 - \phi)^{2.5}}$	%4'e kadar hacimsel orandaki süspansiyonlarda kullanılabilir
(Krieger and Dougherty 1959)	$\mu_{eff} = \frac{\mu_{nf}}{\mu_b} = \left(\frac{\phi}{\phi_m}\right)^{-[\eta]\phi_m}$	Yarı deneysel
(Frankel and Acrivos 1967)	$\mu_{eff} = \frac{\mu_{nf}}{\mu_b} = \frac{9}{8} \left[\frac{(\phi / \phi_m)^{1/3}}{1 - (\phi / \phi_m)^{1/3}} \right]$	Yarı deneysel
(Nielsen 1970)	$\mu_{eff} = \frac{\mu_{nf}}{\mu_b} = (1 + 1.5\phi) \exp\left(\frac{\phi}{1 - \phi_m}\right)$	Düşük hacimsel oranlar için kabul edilebilir
(Lundgren 1972)	$\mu_{eff} = \frac{\mu_{nf}}{\mu_b} = 1 + 2.5\phi + \frac{25}{4}\phi^2$	Yarı deneysel

1.5. Yoğunluk

Akışkana ait olan Nusselt sayısı, Reynolds sayısı, basınç kaybı gibi parametreler akışkanın yoğunluk nanopartükülleri akışkanın hareketiyle birlikte değişmektedir.

Bilindiği üzere geleneksel baz akışkanların yoğunluğu nanoakışkanların yoğunluğundan daha da seyreltiktir. Yani diyebiliriz ki akışkana nanopartikül eklendikçe akışkanın yoğunluğu artmaktadır (Aslan 2021).

$$\rho_{eff}=(1-\phi) \rho_{nf} +\phi\rho_{bf} \quad (1.2)$$

Denklemden ρ_{bf} baz akışkanın yoğunluğunu gösterirken, ρ_{nf} ise nanoakışkanın yoğunluğunu göstermektedir (Aslan 2021).

1.6. Özgül Isı

Nanoakışkanın taşınımıyla olan ısı transferini iyileştirmek için bir diğer önemli parametre ise özgül ısıdır. Şu şekilde ifade edilir (Aslan 2021).

$$a^2+b^2=c^2 \quad (1.3)$$

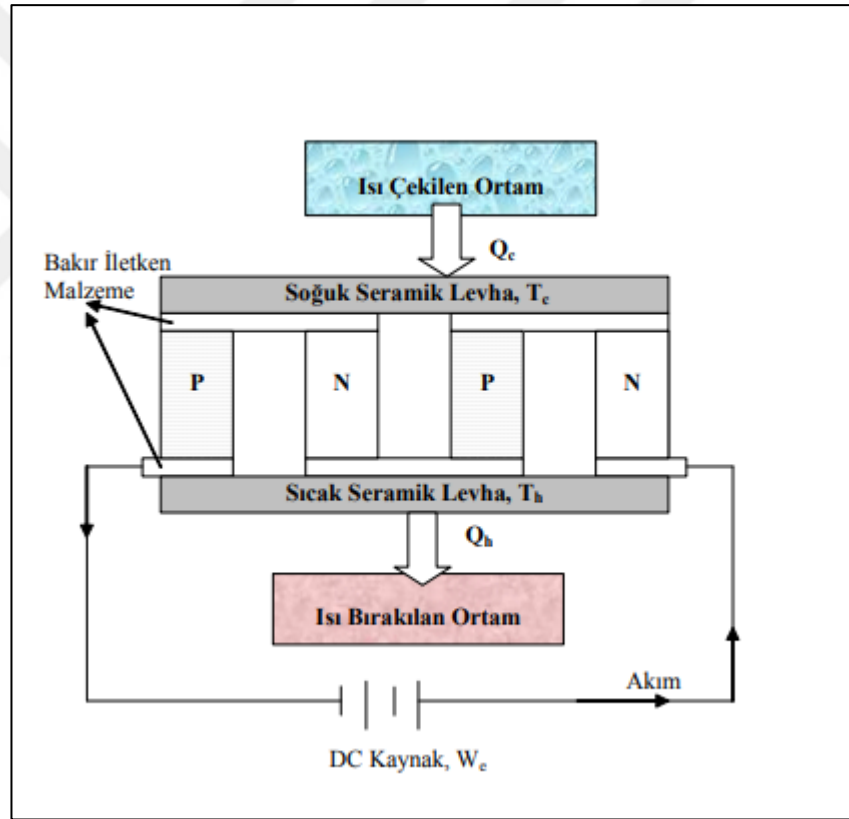
1.7. Termoelektrik Soğutmanın Teorisi

Termoelektrik ısı ve elektrik olayları ile ilgili bir terimdir. Termoelektrik, hem güç üretimi yapan hem de soğutmaya mümkün kılan Thoomson, Peltier ve Seebeck olmak üzere başlıca üç etkiden oluşmaktadır. Termoelektrik sistem (Termo elektrik enerji sistemi) hem termoelektrik modül hem de ısı geçişi sağlayan cihazlardan oluşmuş sistemlerdir (Oğuzhan 2021). Termo elektrik modüller yarı iletken malzeme özellikli modüllerdir ve soğutma ve jeneratör tipinde olmak üzere iki grupta incelenir. Termoelektrik jeneratörlerde, termoelektrik yüzeylerindeki sıcaklık farkı arttıkça oluşan gerilim miktarı da artar. Termoelektrik soğutucularda ise yüzeye elektriksiz potansiyel fark uygulandığında bir yüzeyinden ısı emilirken diğer yüzeyinden ısı atılır. Yani ısı

1. GİRİŞ

pompası sistemleri gibi çalışmaktadır (İslamoğlu ve Aybek 2017). Seebeck etkisi ısı eleman çiftlerinin (Termokupl) temelini oluşturur ve 1821 yılında keşfedilmiştir (Chung et al. 2003). Peltier etkisi ise Seebeck etkisinin tam tersi olan bir etkidir ve 1834 yılında Fransız bilim adamı Charles Athanese Peltier tarafından keşfedilmiştir (Cengel et al. 1996).

Termo elektrik modülde güç üretimi ve soğutma yapmak amacıyla bir adet p bir adet n tipi yarı iletken malzemelerden oluşan ayak çiftleri elektrik yalıtımını sağlamak amacıyla yalıtkan levhalar arasında alınmış ve ayak çiftleri elektriksel olarak seri ısı olarak ise paralel bağlanmıştır.



Şekil 1.11. Bir termoelektrik soğutucu modeli (Riffat 2003)

Bir termoelektrik soğutucunun verimliliği denklemden de anlaşılacağı üzere malzeme ile yakından ilgilidir. Termo elektrik malzemenin performansı şu denklemlerle ifade edilir. Ve birimi (1/K) dir (Riffat 2003).

$$Z = \frac{s^2 \sigma}{k} \quad (1.4)$$

Malzeme performans denklemi ortalama mutlak sıcaklık ile çarpılarak boyutsuz bir sayı elde edilmektedir (Riffat 2003).

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{k} \quad (1.5)$$

1.7.1. Termoelektrik soğutucuların avantajları

Termoelektrik soğutucunun avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz (Şahin 2012).

- Hareket eden parçalara sahip değildirler. Teorik ömürleri sonsuzdur.
- Hem ısıtma hem de soğutma yapabilen sistemlerdir.
- Arıza olasılığı düşüktür.
- Bakım masrafı yoktur.
- Çalışması sessizdir. Hareket eden parçalara sahip değildir.
- Çok hızlı ve net cevaplar verir. % 0,1 sıcaklık hassasiyetine sahiptir.
- Enerji verimliliği açısından gelişmeye açıktır.
- Her türlü ortamda çalışabilirler.
- Bölgesel soğutma yeteneği (Cihazın sadece istenilen bir bölgesinin sıcaklığının değişimine izin verir.
- Çevrecidir. (TEC'ler yalnızca elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar diğer soğutma sistemleri gibi kloroflorokarbon gazına ihtiyaç duymazlar.)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Nanoakışkanlı Isı Değiştirici Sistemleri Üzerine Yapılan Bazı Çalışmalar

Jafaryar et al. (2018) yaptığı çalışmada, bükülmüş bant türbülantörlü bir ısı eşanjörün tüpünde ısı transferi ve CuO-su nanoakışkanın akış incelemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı su bazlı nanoakışkanın basınç düşüşünü ve bükümlü bant eki kullanımına bağlı ısı transfer artışını incelemek olmuştur. CuO-H₂O'nun davranışları tek fazlı modele göre tahmin edilmiş, akışkan sürtünmesi ve ısı transferinden kaynaklanan entropi üretimi gözlemlenmiştir. Sonuçlar, daha düşük adım oranı değerleri için nanoakışkanın daha iyi karıştırıldığını göstermiştir ayrıca ikincil akış giriş hızının artmasıyla güçlendiği ve türbülantör yüksekliğinin, termal sınır tabaka kalınlığı ile ters orantılı olduğu görülmüştür.

Nakhchi et al. (2018) yaptığı çalışmada, çapraz kesim bükümlü bant ile donatılmış bir tüp ısı eşanjöründe Cu-su nanoakışkan akışı ve ısı transfer incelemesi yapılmıştır. Tüplerin genişlik oranı 0,7-0,9 uzunlukları 2-2,5, Reynolds sayıları 5.000-15.000, hacim oranı %0 - %1,5 arasında incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, nanoparçacık hacminin artmasıyla ısı transfer katsayısı %23,20'ye kadar arttığı gözlemlenmiş ve kanal içindeki nanoparçacıkların hacim oranını arttırdıkça termal performansın (%0-%1,5) oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Bahmani et al. (2022) yaptığı çalışmada, Al₂O₃-Su nanoakışkanın ısı transferi ve türbülantörlü akışa paralel, karşı akışlı çift borulu bir ısı eşanjörü incelenmiştir. Yapılan çalışma iç sıvı 35 °C sıcak akışkan (nanoakışkan) ve dış akışkan, soğuk akışkan (baz akışkan) olarak kabul edilir. Çalışmada baz akışkan ve nanoakışkanın duvar sıcaklığındaki hacim oranı, akış yönü ve Reynolds sayısı, ısı verimi, Nusselt sayısı ve taşınım ile ısı transfer katsayısı incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre nanoparçacıkların hacimsel oran veya Reynolds sayısının artırılmasının Nusselt sayısı ve konveksiyon ısı transfer katsayısını artırmıştır. Maksimum oranda Nusselt sayısı ve ısı verim artışı sırasıyla, %3,7 ve %30 olarak gözlenmiştir. Isı değiştiricilerin katı duvarındaki minimum sıcaklık, minimum karşı akıştaki sıcaklık, paralel akışa kıyasla

önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu nedenle daha yüksek Reynolds sayılarında ters akışlı ısı eşanjörleri önerilmiştir.

Mohammed et al. (2011) yaptığı çalışmada, karşı akışlı dikdörtgen şekilli mikro kanallı ısı eşanjöründe nanoakışkan akışını ve sayacın ısı transfer gelişimi üzerine sayısal çalışma yapılmıştır. Problem laminar akış şartlarında sonlu hacimler metoduyla çözülmüştür. Kullanılan nanoakışkanların (Ag, Al₂O₃, CuO, SiO₂ ve TiO₂) performansı su ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklık profili, ısı transfer katsayısı, basınç, profil ve simülasyonlardan duvar kayma gerilmesi elde edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre Reynolds sayısındaki artış, ısı transfer hızının arttığı, soğuk sıvının toplam yığın sıcaklığının ise azaldığı gözlemlenmiştir.

Kumar et al. (2017) yaptığı çalışmada, dönüş dirseğine sahip çift borulu bir ısı eşanjöründe nanoakışkan akışı ve Fe₃O₄/su nanoakışkanına ait ısı transferi, sürtünme faktörü ve etkinlik analizi incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan test bölümü, iç kısmın bulunduğu çift boru tipindedir. Boru çapı 0,019 m, halka boru çapı 0,05 m ve iç borunun toplam uzunluğu 5 m dir. Bu çalışmada kullanılan nanopartiküllerin hacimsel oranları %0,005, %0,01, %0,03 ve %0,06'dır ve Reynolds sayısı 5.000-15.000 arasındadır. Yapılan analiz sonuçlarına göre, %0,06 hacimsel oran için Nusselt sayısı artışı %14,7 olarak gözlemlenmiştir.

Jaafar et al. (2013) yaptığı çalışmada, Al₂O₃ nanoakışkanı kullanarak ısı eşanjörü aracılığıyla ısı transferi, (%0,3-2) farklı hacimsel oranlarda nanoakışkan özellikleri, zorlanmış konvektif ısı transferi ve akışı üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma türbülanslı akış şartlarında gerçekleştirilmiş ve 30 nm çap kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre nanoakışkanın akış hızı ve aynı giriş sıcaklığındaki transfer katsayısı, aynı kütledeki baz akışkandan biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Al₂O₃ nanoakışkanın hacimsel oranlarının artmasıyla arttığı, ancak hacimsel oranın artması nanoakışkanın viskozitesinde artışa ve sürtünme faktörünün artmasına neden olduğu görülmüştür.

Mohammed et al. (2012) yaptığı çalışmada, helisel olarak sarılmış borulu bir ısı eşanjöründe nanoakışkan akışının termal ve hidrolik özellikleri sayısal çalışması

yapılmıştır. Parçacık hacimsel oran %4 olan suda dağılmış 25 nm çapında CuO nanoparçacık, çalışma sıvısı olarak kullanılmıştır. Üç boyutlu denklemler (süreklilik, momentum ve enerji) sınır koşulları ile birlikte sonlu hacim yöntemi (FVM) kullanılarak çözülmüştür. Kütle akış hızının kontrolü için halkadaki su sabit tutulup, iç tüpteki nanoakışkanın akış hızı değiştirilmiştir. Bu çalışmada akışkanın yapısı (paralel ve karşıt) incelenmiştir. HCTHE'nin performansı, Nusselt sayısı, ısı transfer hızı, basınç düşüşü, etkinlik ve performans açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sarmal yarıçapı ve iç boru çapı gibi belirli geometrik parametrelerin laminar akış koşulları altında HCTHE'nin performansını etkilediği ve paralel akış yapısına kıyasla ters akış yapısının daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Mohammadian et al. (2014) yaptığı çalışmada, iki farklı akışkan (sıcak –soğuk) kullanarak ters akışlı mikro kanallı bir ısı eşanjöründe, laminar zorlanmış taşınımı ve entropi üretimi, çeşitli hacimsel oranları (0,01–0,04) için sıcaklık dağılımı, etkinlik katsayısı, pompalama gücü, performans indeksi saf su ve Al₂O₃-Su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Parçacık boyutu küçüldükçe ve hacim oranı arttıkça toplam entropi azaldığı görülmüştür. Maksimum performans, daha düşük parçacık boyutlarında ve daha yüksek hacimsel oranlarda meydana gelmiştir. Al₂O₃-Su nanoakışkanlarının ısı transfer kapasitesinin, daha yüksek olduğu görülmüştür.

Mennil et al. (2020) yaptığı çalışmada, nanoakışkanların kullanımı ile ilgili derleme bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada üzerinde şu konulara değinilmiştir. Bilindiği üzere son yirmi yılda, nanoakışkanlar üzerinde büyük ilgi görülmüş ve birçok araştırmacı nanoakışkanların çeşitli araçlarla kullanımının uygulanabilirliğini araştırmıştır. Nanoakışkanların avantajları, fiziksel özellikleri ve performansının gerekli olduğu öngörülmüş bu da termal bilimlerde daha fazla gelişme sağlamaktadır. Katı nanopartiküller, yağ, su veya etilen glikol (EG) gibi temel sıvılarda dağıtılmıştır. Nanoakışkanlar elde etmek için bu sıvıların hazırlanmasındaki temel amaç, ısı iletkenlik ve dolayısıyla ısı transferi olduğu vurgusu yapılmıştır. Hafif kütle, küçük boyut ve yüksek termal sistemlerin performansı, cihaz minyatürleştirmedeki ilerlemelerin temel gereksinimleri olduğu görülmüştür. Konvektif taşımayı kurmak için birçok araştırmacı tarafından büyük çaba sarf edilmiştir.

Huminic et al. (2012) çalışmasındaki derlemenin amacı, nanoakışkanlar kullanan ısı eşanjörlerinde konveksiyonla ısı transferinin iyileştirilmesi hakkında yayınlanmış önemli makaleleri iki konuda özetlemektedir. İlk bölüm, birkaç yazar tarafından bildirilen etkin ısıl iletkenlik, viskozite ve Nusselt sayısı için teorik ve deneysel sonuçları sunmaya odaklanmaktadır. İkinci bölüm, nanoakışkanların çeşitli tipteki ısı değiştiricilerde uygulanmasına odaklanmaktadır. Plakalı ısı değiştiriciler, gövde ve borulu ısı değiştiriciler, kompakt ısı değiştiriciler ve çift borulu ısı değiştiriciler üzerine araştırma yapılmıştır. Isı eşanjörlerinden ısı transferinin arttırılmasındaki rolleri incelenmiştir. Etkili termal iletkenlik, viskozite için genel korelasyonlar sunulmuştur. Kıyasladığımızda termal iletkenlik üzerine rapor edilmiş çalışmalar, nanoakışkanların konvektif ısı transferi üzerine araştırmalara göre oldukça sınırlıdır.

Ünverdi (2016) yaptığı çalışmada, balıksırtı şeklinde geometriye sahip nanoakışkan contalı bir ısı değiştirici kanalında taşınımın gerçekleşen ısı transferini ve basınç düşüşünü sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında sıcak akışkanın kütleli debisi 90 kg/h ve giriş sıcaklığı 40 °C'de sabit tutulurken ısıyı çeken soğuk akışkanın (nanoakışkan) kütleli debisi ise (90°C-300°C) belirli aralıklarda incelenmiş ve giriş sıcaklığı 17,5 °C de sabit tutulmuştur. Sayısal çözümlemede Fluent yazılımında 2B ve 3B olarak çözülmüş tek fazlı ve çift fazlı olarak incelenmiştir. Hacimsel oran (0,25, 0,50, 0,75, 1) ve Re sayısı (500-2.000) seçilmiştir. Yapılan çalışmanın analiz sonuçlarına göre akışkanın ısı geçişinde en yüksek hacimsel oran için (1) suya göre iyileşme (%) 42,4 iken, küçük hacimsel oran için (0,25) suya göre iyileşmenin ortalama 7,72 olduğu sonucuna varılmıştır.

Abdullah et al. (2019) yaptığı çalışmada, nanoparçacık şeklinin etkisi dikkate alınarak mini kanallı bir ısı eşanjöründen boehmite alumina nanoakışkan akışının entropi üretimi üzerindeki nanoparçacık şeklinin etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada farklı şekillerdeki (silindirik, tuğla, bıçak, trombosit ve küresel) boehmite alümina (AlOOH) nanoparçacıkları incelenmiştir. Reynolds sayısı ve nanoparçacık hacimsel oranı, sürtünme entropi üretim hızı, termal entropi üretim hızı, toplam entropi üretim hızı ve Bejan sayısı üzerindeki etkileri farklı nanoparçacık şekilleri için sayısal olarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre trombosit şekli ve küresel şekilli

nanoparçacıklar içeren nanoakışkanların sırasıyla en yüksek ve en düşük termal, sürtünme ve toplam entropi üretim oranlarına sahip olduğunu göstermiştir.

Weerapun et al. (2009) yaptığı çalışmada, yatay çift borulu ters akışlı bir ısı eşanjöründe akan TiO_2 -su nanoakışkanının ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü türbülanslı akış koşulları altında incelenmiş ve zorlanmış konvektif ısı transferi ve akış özellikleri üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Su ve hacimsel oranı %0,2 TiO_2 nanoparçacıklarından oluşan bir nanoakışkanın yapılan analiz sonuçlarına göre konvektif ısı transfer katsayısının nanoakışkanın miktarı, baz akışkandan yaklaşık %6-11 oranında daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca ısı transfer katsayısı, nanoakışkanın miktarı, sıcak su ve nanoakışkanın kütle akış hızındaki bir artışla ve nanoakışkan sıcaklığındaki azalma ile arttığı, ısıtma sıvısının sıcaklığının ise nanoakışkanın ısı transfer katsayısı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bahremand et al. (2016) yaptığı çalışmada, 16 helisel borulu ısı eşanjörlerinde akış nanoakışkanın ısı transferi ve performans analizi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal hesaplamalar türbülans akış şartlarında, borudaki sıcak sıvıdan kabuktaki soğuk sıvıya eşlenik ısı transferi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Akışkanların termofiziksel özellikleri sıcaklığa bağlı olarak kabul edilmiştir. Bobin tarafı Reynolds sayısı, kabuk tarafı Reynolds sayısı ve Prandtl sayısı sırasıyla (9.000–36.000, 600–2.600 ve 2,2–8,3) arasında değişmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, %0,2 ve %0,3 nanoparçacık hacim oranının (%0,2 ve %0,3) arttıkça, ortalama ısı transfer hızı sırasıyla yaklaşık %14 ve %18'dir. Ve sonuçlar gösteriyor ki tanecik hacmi, hacimsel orandaki artışla bobin tarafı, kabuk tarafı ve toplam ısı transfer katsayıları gelişmiştir.

Vahedil (2021) yaptığı çalışmada, yivli duvarlı bir ısı eşanjöründe iki fazlı nanoakışkan akışının simülasyonu üzerinde durulmuştur. Çalışmanın birinci amacı kullanılan yağ bazlı nanoakışkanları kullanarak (MgO-SAE ve ZnO-SAE) elde edilen sonuçları tek ve çok fazlı yönden karşılaştırma, ikinci amacı ise benzer performansla maliyet açısından daha uygun daha küçük bir ısı eşanjörü elde edilmesi istenmiştir. Sonuçlara göre nanoakışkan kullanımı ve türbülatorler, ısı eşanjörünün termal-hidrolik performanslarını önemli ölçüde artırabilir (%84,78 ile %105,31 arasında). Nanoakışkan kullanımı Nusselt'i önemli ölçüde artırmış sayı değerleri ve $\phi=1.5$ 'te Nusselt sayı değeri

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

için temel sıvıdan yaklaşık sırasıyla SPM ve TPM %174 ve %190'a kadar arttığı gözlemlenmiştir.

Okulu (2020) yaptığı tez çalışmasında, termo elektrik jeneratör sistemlerdeki nanoakışkanların etkisi incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada daha önceki TEJ sistemlerindeki genelde soğutucu iş akışkanı olarak kullanılan çalışmalara karşılık olarak burada hem sıcak hem de soğuk akışkan görevinde kullanılmıştır. Bu çalışmada MgO/Ag-su hibrit nanoakışkan ve CNT –su nanoakışkanı kullanılmıştır. Yapılan çalışma 4 farklı hacimsel oranda (0,005, 0,01, 0,015, 0,02) ve çeşitli Reynolds sayılarında (100, 250, 500, 750, 1.000, 1.250, 1.500) ele alınmıştır. Yapılan sayısal analiz sonuçlarına göre nanoakışkan normal suya göre termoelektrik jeneratör (TEJ), elektrik potansiyeli, sistemin çıkış gücü ve sistemin verimini artırdığı gözlemlenmiştir. Sistemde en yüksek elektrik potansiyeli ve çıkış gücü Re sayısı 1.500 değerinde ve hacimsel oran 0,02 değerinde MgO/Ag-su nanoakışkanında görülmüştür. TEJ veriminin en yüksek olduğu aynı hacimsel oran ve Reynolds sayılarında CNT-su da olduğu görülmüştür.

Erdem vd (2020) yaptığı çalışmada, termoelektrik soğutucuların (TEC) ısı eşanjörü üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı soğutma gücü ve ana performans üzerindeki etkilerini araştırmak olmuştur. Çalışmanın nanopartikülleri Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ seçilmiştir. Sonuçlar, en iyi performans geliştirilenin %26 ile 30 °C ortam sıcaklığında %1 Al₂O₃ için su soğutmaya göre yüksüz koşullar için iç ortam sıcaklık farkı elde edilir. Ayrıca soğutulan su sıcaklıkları da dikkate alındığında en iyi iyileştirme %55,1 ile %1 Al₂O₃-su nanoakışkanından elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çizelge 2.1. Isı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar

Yazar	Temel Akışkan	Nano Partikül	Hacimsel Oran	Geometri	Akış Özellik	Sonuç
Jafaryar et al. (2017)	H ₂ O	Cu-O	%0-%1,5	Bant türbülantörlü ısı eşanjörü	Re=5.000-15.000	Basınç düşüşü ve ısı transfer artışı gözlemlenmiştir. Kanal içindeki nanoparçacıkların hacim oranı arttıkça termal performansında aynı oranda arttığı gözlemlenmiştir.
Bahmani et al. (2022)	H ₂ O	Al ₂ O ₃		Karşı akışlı çift borulu bir ısı eşanjörü	İç sıvı 35 °C sıcak akışkan Dış sıvı soğuk akışkan olarak kabul edilir.	Nanoparçacıkların Hacimsel oran arttıkça veya Re sayısının artırılmasıyla Nu sayısı ve Konveksiyon Isı transfer katsayısını artırmıştır. Isıl verim artış %30 olarak gözlemlenmiştir.
Mohammed et al. (2011)	H ₂ O	Ag A ₂ O ₃ CuO SiO ₂ TiO ₂	-	Karşı akışlı dikdörtgen kanallı ısı eşanjörü	Laminar akış şartları, Sonlu Hacimler Metodu çözüm olmuştur.	Re sayısındaki artış Isı transfer hızını artırdığını, soğuk akışkanın toplam yığın sıcaklığının ise azaldığı gözlemlenmiştir.
Kumar et al. (2017)	H ₂ O	Fe ₃ O ₄	%0,0005- %0,01- %0,03- %0,06	Dönüş Dirseğine sahip çift borulu bir ısı eşanjörü	Re 5.000-15000	Yapılan analiz sonuçlarına göre %0,06 hacimsel oran için, Nu sayısı artışı%14,7 olarak gözlemlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çizelge 2.2. Isı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar

Yazar	Temel Akışkan	Nano partikül	Hacimsel Oran	Geometri	Akış Özellik	Sonuç
Jaafar et al.(2013)	H ₂ O	AL ₂ O ₃	%0,3-2	Isı eşanjörü	Akışkanın zorlanmış konvektif ısı transferi üzerinde çalışılmıştır.	Nanoakışkan akış hızı ve aynı giriş sıcaklığındaki transfer kat sayısı temel sıvıinkinden biraz daha yüksek olduğu görülmüştür.
Mohammed et al. (2012)	H ₂ O	CuO	%4	Helisel olarak sarılmış bir ısı eşanjörü	Akışkanın termal ve hidrolik özelliklerine bakılmıştır. Akış özelliği hem paralel hem de zıt akışta incelenmiştir.	Ters akış Konfigürasyonun paralel akışa göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
Mohammadian et al. (2014)	H ₂ O	AL ₂ O ₃	%0,01-0,04	Ters akışlı mikro kanallı bir ısı eşanjörü	Akış sayısal olarak incelenmiştir.	Nanopartikül hacimsel oranının, daha yüksek etkinlik ve pompalamaya yol açtığı görülmüştür. Maksimum performans daha düşük partikül boyutlarında ve daha yüksek hacimsel fraksiyonlarda gözlemlenmiştir.
Menni et al. (2020)	Yağ Su Etilen Glikol (EG)	Nanopartiküller (genel)	-	-	Isıl iletkenlik Isı Transferi Yüksek termal Performans	Nanoakışkanların avantajları, fiziksel performanslarının belirlenmesi termal bilimlerde daha fazla gelişme sağlamıştır.

Çizelge 2.2. (devam)

Ünverdi (2016)	H ₂ O	-	%0,25-0,50-0,75-1)	Balıksırtı şeklinde contalı bir ısı eşanjörü	Sayısal çözümlemede Fluent yazılım 2b ve 3b olarak çözümleme yapılmıştır.	Akışkanın ısı geçişinde en yüksek hacimsel oran için (1), suya göre iyileşme %42,4 iken küçük hacimsel oranda (0,25) bu iyileşmenin ortalama %7,72 olduğu görülmüştür.
Humnic et al. (2012)	Genel	Genel	-	Çeşitli tipteki ısı değiştirici	Isı transferin iyileştirilmesi	Çalışma genel derleme çalışmasıdır. Nanoakışkanların ısı transferi iyileştirilmesi yolundaki adımlar incelenmiştir ikinci aşamada ise çeşitli tipteki ısı değiştiricilerin performansı incelenmiştir. Etkili termal iletkenlik ve viskozite için önemli sonuçlar gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.3. Isı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar

Yazar	Temel Akışkan	Nano partikül	Hacimsel Oran	Geometri	Akış Özellik	Sonuç
Abdullah et al. (2019)	H ₂ O	ALOOH	-	Mini kanallı Isı eşanjörü	Reynolds sayısı ve nanoparçacık hacimsel oranının, sürtünme entropi üretim hızı, termal entropi üretim hızı, toplam entropi üretim hızı	Yapılan analiz sonuçlarına göre trombosit şekli ve küresel şekilli nanoparçacıklar içeren nanoakışkanların sırasıyla en yüksek ve en düşük termal, sürtünme ve toplam entropi üretim oranlarına sahip olduğunu göstermiştir

Çizelge 2.3. (devam)

Weera pun et al. (2009)	H ₂ O	TiO ₂		Yatay çift borulu ters akışlı bir ısı eşanjörü	Isı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü türbülans akış koşulları altında incelenmiştir ve zorlanmış konvektif ısı transferi akış özellikleri üzerine deneysel çalışma yapılmıştır.	Yapılan analiz sonuçlarına göre konvektif ısı transfer katsayısının nanoakışkanın miktarı, temel sıvınınkinden yaklaşık % 6-11 oranında daha yüksek olduğu görülmüştür
Bahre mand et al.(201 6)	H ₂ O	-	%0,2- %0,3	16 helisel borulu ısı eşanjörü	Bobin tarafı Reynolds sayısı, kabuk tarafı Reynolds sayısı ve Prandtl sayısı sırasıyla (9.000–36.000, 600–2.600 ve 2,2–8,3) arasında değişmiştir	Yapılan analiz sonuçlarına göre, %0,2 ve %0,3 nanoparçacık hacim oranlarının (%0,2 ve %0,3)arttıka, ortalama ısı transfer hızı sırasıyla %14 ve %18 gözlemlenmiştir.
Muha mmed et al.(202 1)	H ₂ O	MgO- SAE ve ZnO- SAE		Yivli duvarlı bir ısı eşanjörü	Hem tek fazlı hem de çok fazlı yönden karşılaştırılmıştır.	Nanoakışkan kullanımı Nusselt'i önemli ölçüde artırır sayı değerleri ve ϕ =%1.5'te Nusselt sayı değeri için temel sıvıdan yaklaşık Sırasıyla SPM ve TPM %174 ve %190'a kadar arttığı gözlemlenmiştir.

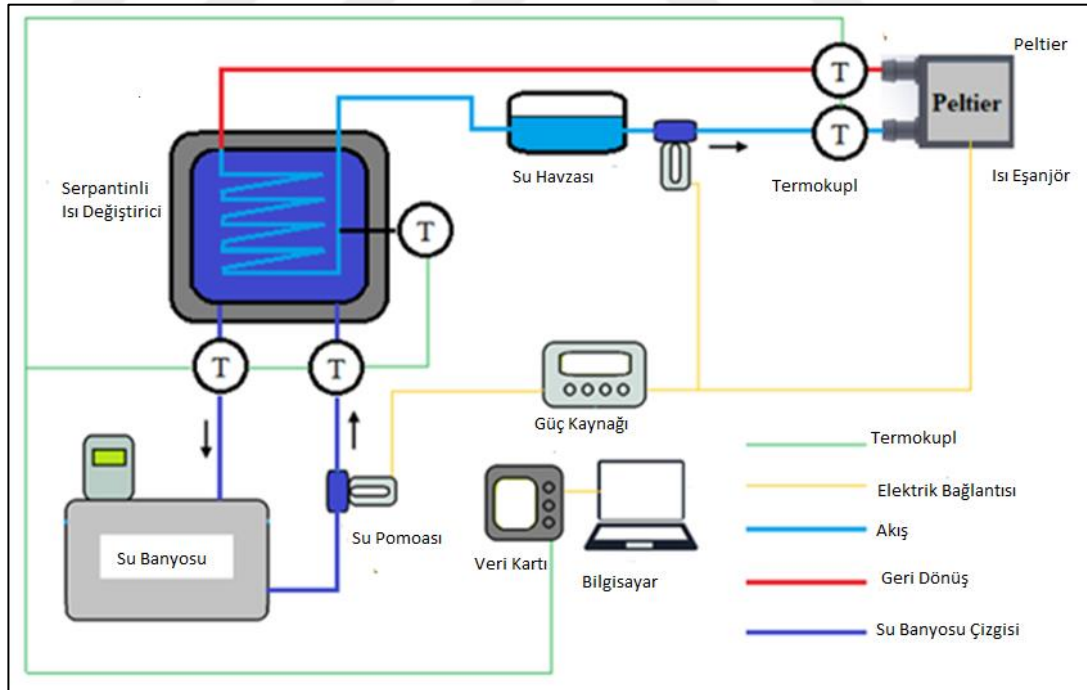
3. MATERYAL ve METOD

3.1. Deneysel Yöntem

Isı transfer özellikleri, araştırmacılar tarafından kapsamlı bir şekilde ele alınan geri dönüştürülmüş nanoakışkan ile çalıştırılan alüminyum soğutma bloklarının termal performansını değerlendirmek için deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmıştır. Çevrimde ısı transfer akışkanı olarak yeni nesil kararlı nanoakışkan Fe_3O_4/su kullanılmıştır. Deneysel, her bir parametrenin termal verim üzerindeki etkisini bulmak için nanoakışkanın hacimsel oranı ve kütleli debi gibi çalışma koşulları değiştirilmiştir.

Bu bölümde nanoakışkan hazırlaması, karakterizasyonu ve deneysel sisteme ait materyaller ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.2. Deney Sisteminin Tanıtımı ve Çalışma Prensibi



Şekil 3.1. Deney düzenek şeması

Kurulan sistem iki adet ısı eşanjörü (serpantinli ve blok tip), iki adet güç kaynağı, ayarlanabilir termal su banyosu, ısı üretim cihazı olarak peltier modülü, iki adet su

3. MATERYAL ve METOD

pompası, datalogger kartı ve bilgisayardan oluşmaktadır. Isı transferi analizleri amacıyla blok eşanjör giriş ve çıkışında ve yüzeyinde, serpantinli eşanjörün giriş ve çıkışında ve yüzeyinde toplam 6 adet K tipi termokupl kullanılmış ve yerleştirilmiştir.

Bu sistemde iki su döngüsü vardır. İlk çevrimde su banyosunda soğutulan su, bir su pompası kullanılarak serpantinli su tankına aktarılır. Serpantinli eşanjör içindeki akışkan sıcaklığı birinci çevrim tarafından düzenlenir. İkinci çevrimde blok tip eşanjörde ısıtılan akışkan, serpantin eşanjöre ve ardından ikinci su pompası kullanılarak akışkan tankına aktarılır ve akışkan sirkülasyonu nispeten kararlı bir akış haline gelmeye devam eder.

Peltier yüzeyi ve blok eşanjör, peltier modülünden blok eşanjöre etkin bir şekilde ısı transferini artırmak için yüksek termal iletkenlikli gres HY510 kullanılarak bağlandı. Blok tip eşanjörün boyutları Şekil 2'deki gibi $40 \times 40 \times 12$ mm'dir. Blok eşanjöre takılan kullanılmış peltier modülünün boyutları $40 \times 40 \times 4$ mm'dir. Sistemde peltier modülü elektrikli ısıtıcı görevi görmektedir.



Şekil 3.2. Deney düzeneği

3.3. Deneysel Materyal

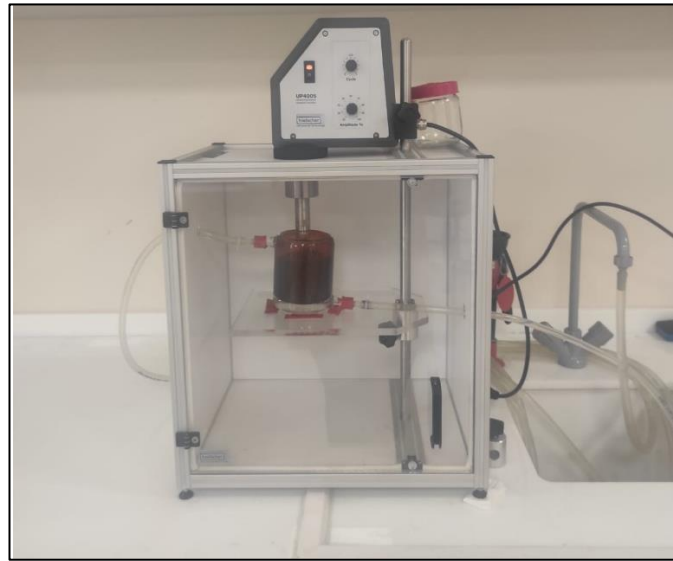
3.3.1. Hassas terazi

Nanoakışkan hazırlaması için hassas uygun bir terazi kullanılmıştır. Bu hassas terazide işlem yapabilmek için öncelikle karışımın hacimsel oranına karar verip ona uygun şekilde nanopartikül miktar oranını ayarlamak gerekir. Bu işlem için dış etkenlere karşı koruyuculuğu yüksek hassas terazi kullanılmıştır.

3.3.2. Ultrasonik homojenizatör

Nanoakışkanların kararlı yapıda olmasını sağlayan bu karıştırma işleminin hedef noktası karışımın çökme eğiliminde olmamasıdır. Bu işlem için Hielchser marka UP400s model homojenizatör kullanılmıştır. Nanoakışkan içerisindeki topaklanmayı en aza indirmek için Ultrasonik Homojenisasyon Yöntemi kullanılmıştır.

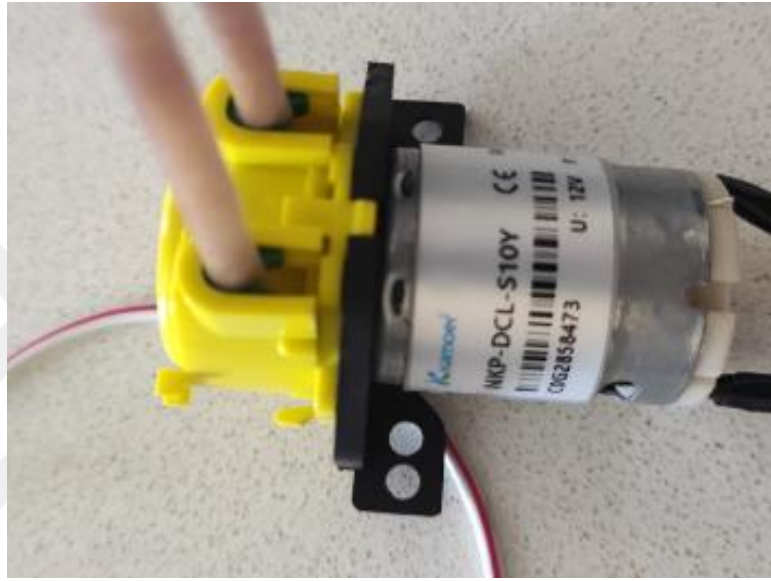
- Sistem 400 W, 24 kHz de çalışmaktadır.
- İşlem kapasitesi 4-4.000 ml aralığındadır.
- Sistemle bütünleşmiş bir soğutma hattı bulunmaktadır. (Sıcaklık artışının önüne geçmek için)



Şekil 3.3. Ultrasonik homojenizatör

3.3.3. Pompa

Sıvıyı düşük basınçtan yüksek basınca doğru hareket ettiren bir mekanizmadır. Hareket halinde basınç içerisinde bir fark oluşur. Bu çalışmada sisteme sürekli akış sağlayan iki adet akışkan pompası kullanılmıştır. Bu sistemde iki adet su döngüsü olduğu için iki adet su pompası kullanılmıştır. Şekil 3.4’de Kamoer markalı su pompası kullanılmıştır (Cengel 2012).



Şekil 3.4. Su pompası

3.3.4. Serpantin ve ultrasonik su banyosu

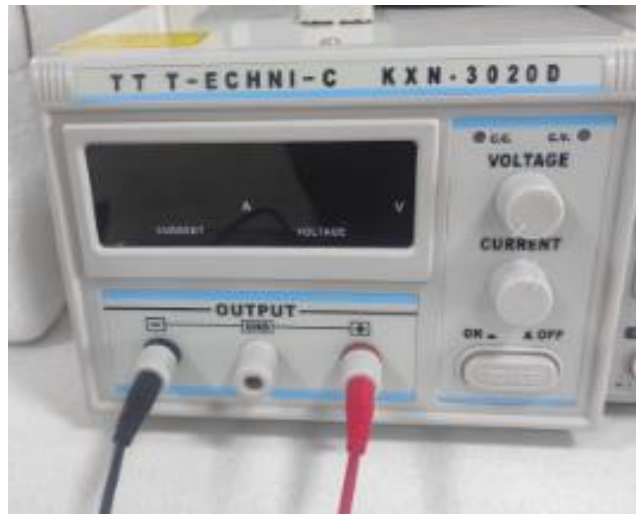
Deneysel sisteme ait deneysel parametreler ve ortam şartları değişkenlik göstermesine rağmen akışkana ait bazı parametrelerin sabit kalması istenmiştir. Deneysel sisteminin önce temel bir cihaz olarak kullanılan su banyosundan alınan akışkana daha sonra bir hazne içerisine yerleştirilen serpantinden geçirilmiştir. Şekil 3.5’de Polyscience markalı su banyosu gösterilmiş olup deney sistem için kullanılan su banyosu zaman ayarlı sirkülatörlü olup ayrıca ısıtma soğutma süreçlerini bir arada barındırmaktadır.



Şekil 3.5. Su banyosu

3.3.5. Güç kaynağı

Deney sisteminde iki adet güç kaynağı kullanılmıştır. Akım sabitken voltaj değerlerini ve kütleli debi değerlerinin değişmesini sağladık. Güç kaynaklarına ait tekniksel özellikler aşağıda verilmiştir. Şekil 3.6’da birinci güç kaynağının görseli Şekil 3.7’de ikinci güç kaynağına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.6. Güç kaynağı

3. MATERYAL ve METOD

- Model: KXN-3020
- Boyutlar 375-263-164
- Ağırlık 6,84 kg
- Gerilim çıkışı 0-30 V
- AC akım grilim ölçümleri
- Dâhili radyatör ve elektronik sıcaklık kontrolü
- Akım sınırlayıcı koruma kontrolü
- Yüksek stabilite
- Kademe dışına çıkınca uyarı verebilme
- Ekran çıkış voltajı ve çıkış akımı
- Gerilim göstergesi
- Ortalama ölçüm değerinin ölçülmesi
- Çalışma koşulu sıcaklığı (10-40 °C)
- Ters polarite koruması



Şekil 3.7. Güç kaynağı

Teknik Özellikler

- Gerilim kontrol ayarı
- Akım kontrol ayarı
- Bağımsız 3 çıkış (GPS-3303), 4 çıkış (GPS-4303)
- Düşük dalgalanma
- Ters gerilim koruması

3. MATERYAL ve METOD

- Isınmaya karşı aktif kontrollü soğutma
- Aşırı yük ve ters gerilim koruması

3.3.6. Veri okuma kartı

Veri okuma kartı sayesinde farklı noktadaki ısılı çiftler vasıtası ile sıcaklık ölçümleri alınmış ve bilgisayar yazılımı ile anlık değerler okunmuştur. Deney sistemindeki termoelemanlar ORDEL UDL 200-05 marka veri okuma kartına bağlanmıştır.



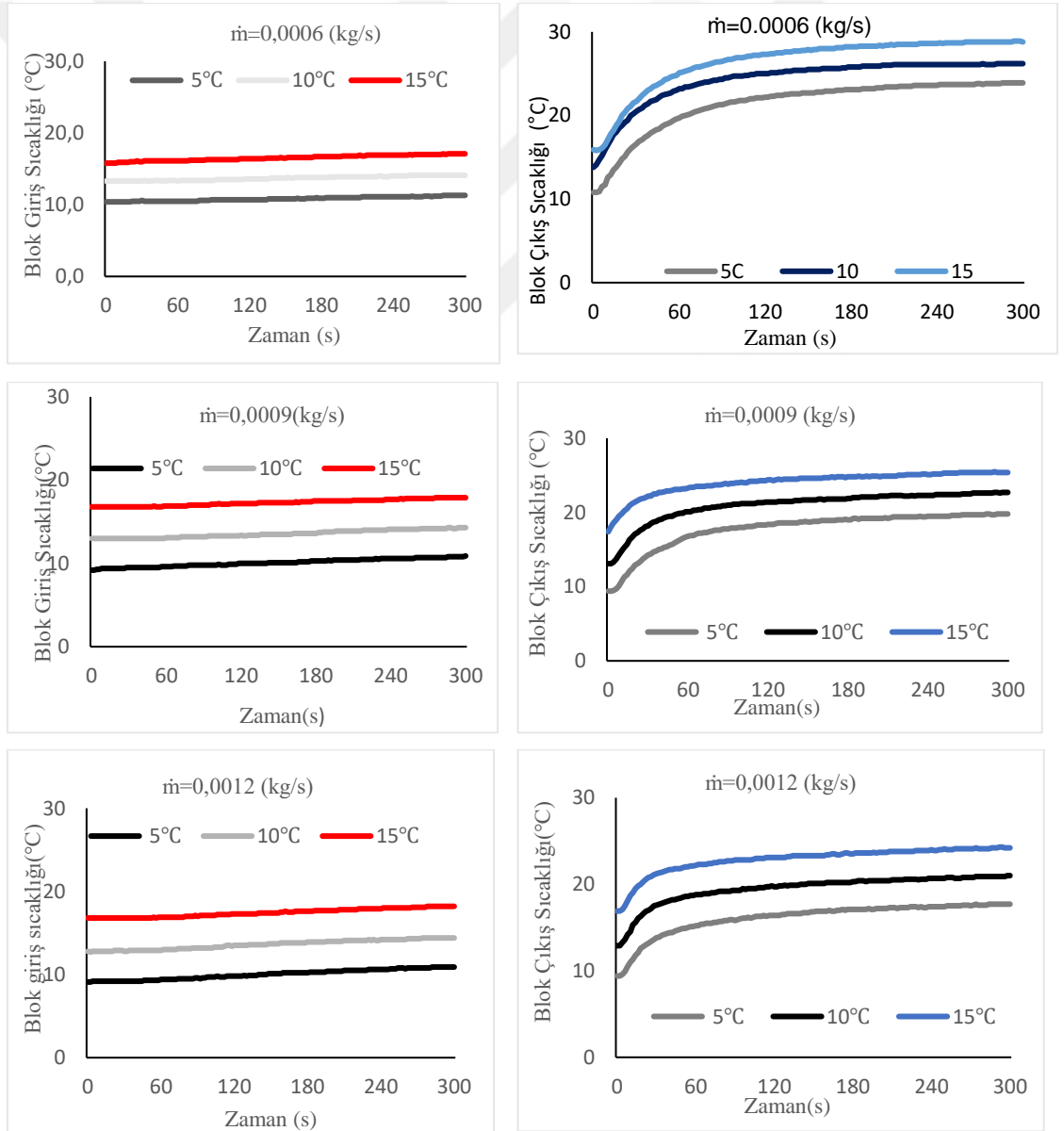
Şekil 3.8. Veri okuma kartı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

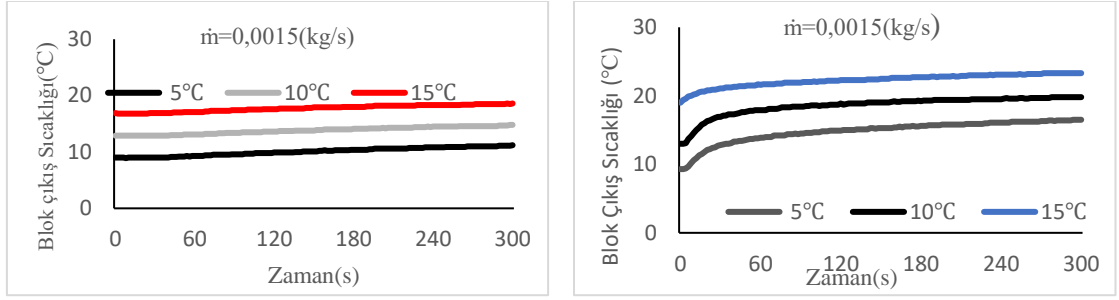
4.1. Su İçin Yapılan Deneysel Sonuçlar

Su (H_2O) ile yapılan deneysel analizler üç farklı su banyosu sıcaklığında ($5^{\circ}C, 10^{\circ}C, 15^{\circ}C$), dört farklı kütleli debide ($0,0006 \text{ kg/s}$, $0,0009 \text{ kg/s}$, $0,0012 \text{ kg/s}$, $0,0015 \text{ kg/s}$), ısı eşanjörün giriş ve çıkış sıcaklıkları incelenmiş ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 4.1. $0,0006 \text{ (kg/s)}$, $0,0009 \text{ (kg/s)}$, $0,0012 \text{ (kg/s)}$, $0,0015 \text{ (kg/s)}$ debilerde blok giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi.

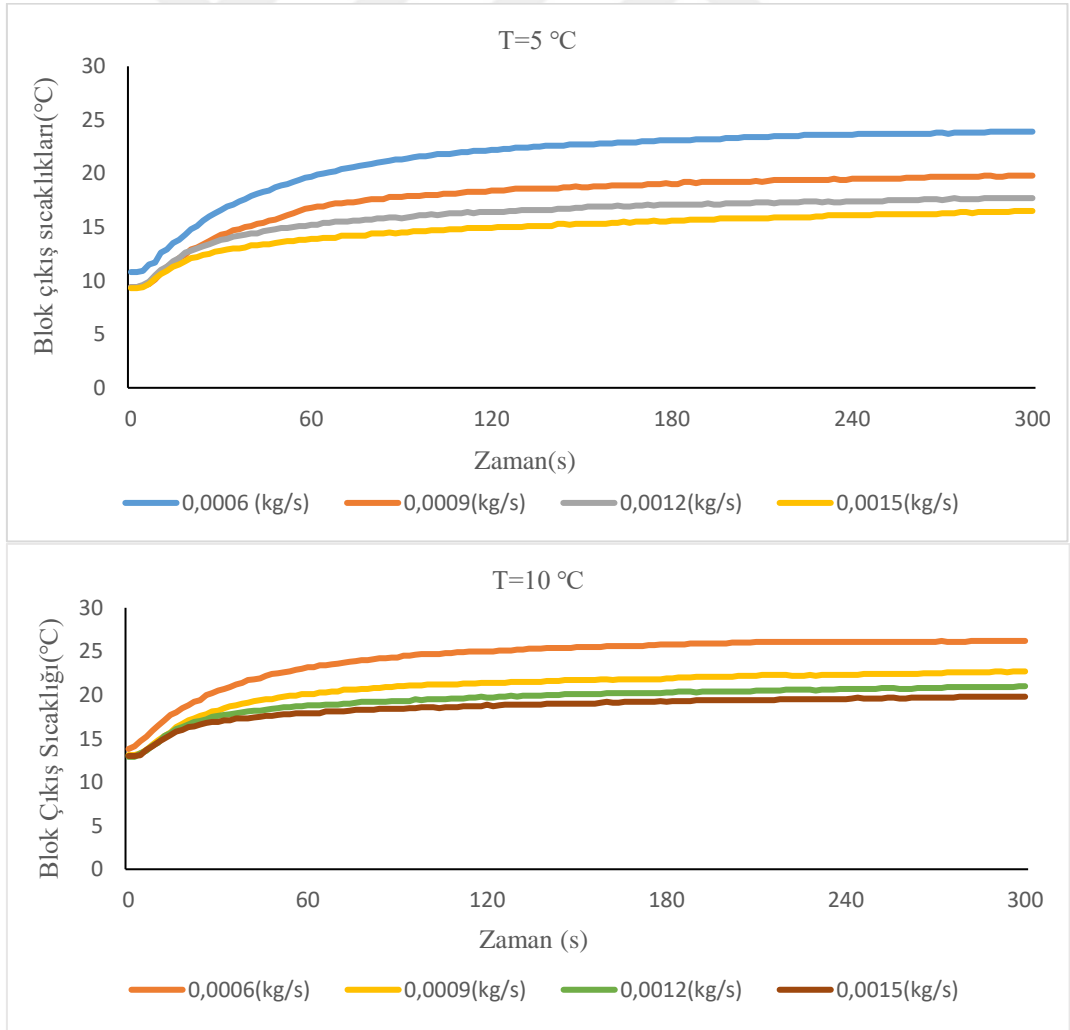


Çizelge 4.1. (devam)

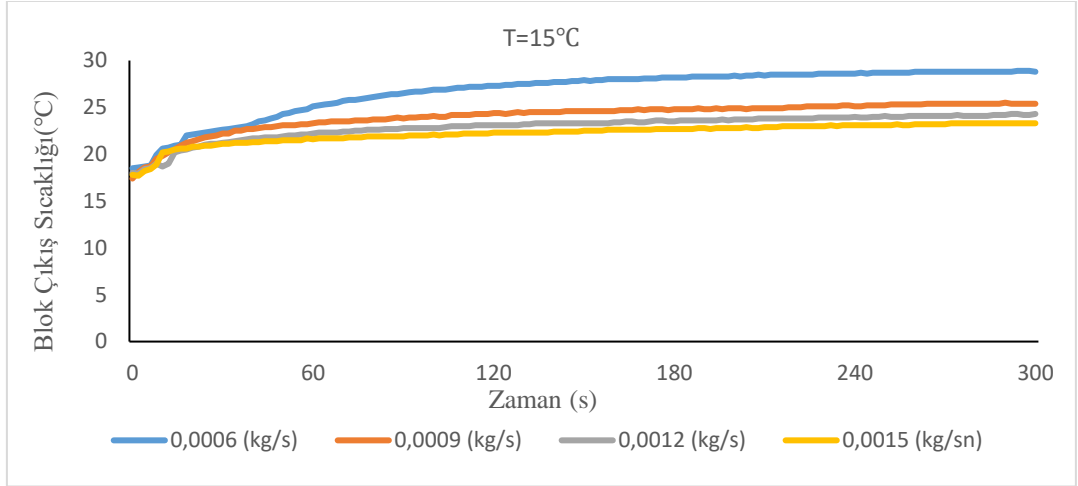


Çizelge 4.1’de grafiklerde kütleli debi sabit tutularak üç farklı su banyosu sıcaklığında, (5°C,10°C,15°C), ısı değiştirici giriş ve çıkış sıcaklıkları zamana bağlı olarak incelenmiştir. Düşük debilerde suyun çıkış sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kütleli debi arttıkça kararlı olma süresi kısalmaktadır.

Çizelge 4.2. $T=5^{\circ}\text{C}$, $T=10^{\circ}\text{C}$, $T=15^{\circ}\text{C}$ (Su banyosu sıcaklığı) farklı debilerde blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

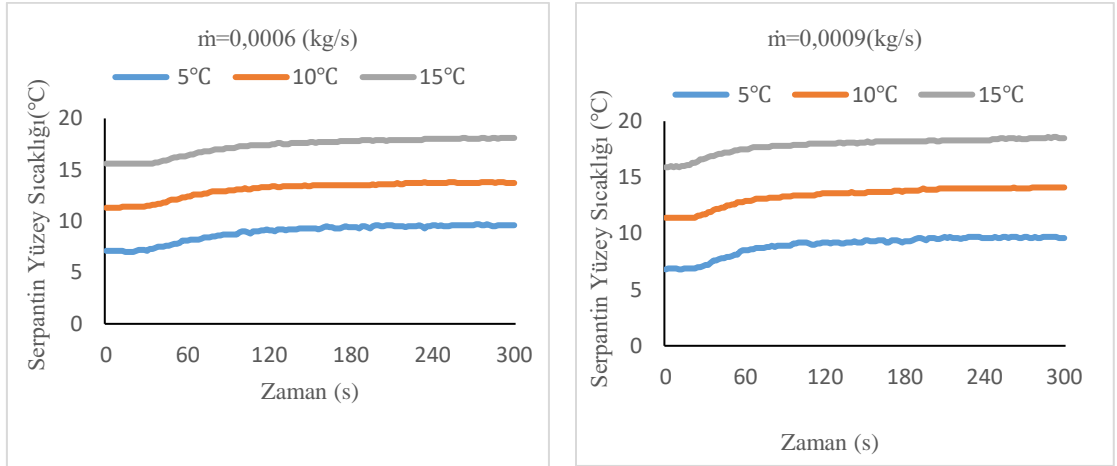


Çizelge 4.2. (devam)

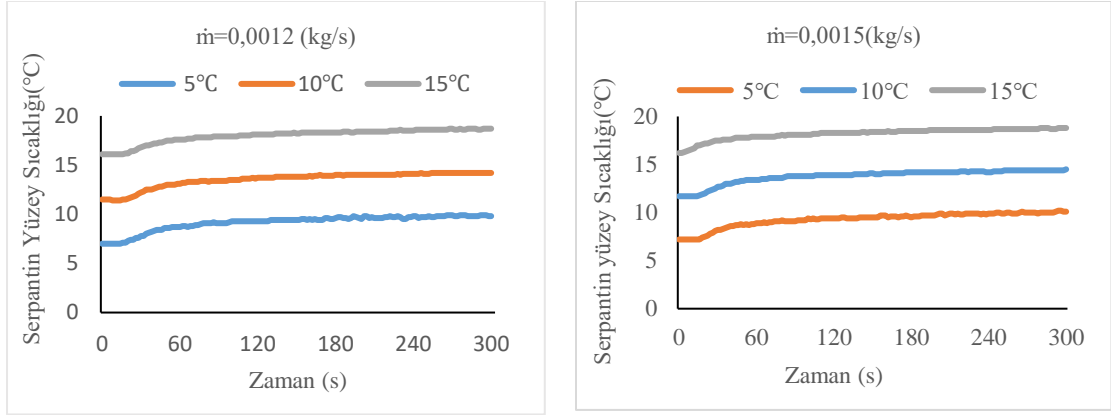


Çizelge 4.2’de grafiklerde su banyosu sıcaklıkları sabit tutularak dört farklı kütleli debide (0,0006 kg/s, 0,0009 kg/s, 0,0012 kg/s, 0,0015 kg/s), alüminyum soğutma bloğunun, (ısı değiştirici) çıkış sıcaklıkları deneysel olarak gözlemlenmiştir. Sabit su banyosu sıcaklık altında kütleli debi ile ısı eşanjör çıkış sıcaklığı arasında ters bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Kütleli debi arttıkça ısı değiştirici çıkış sıcaklığı azalmıştır.

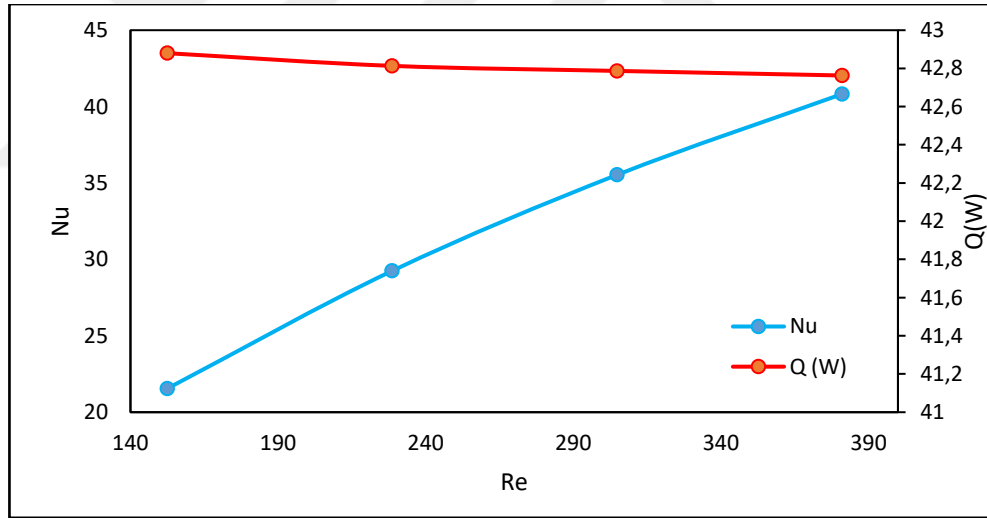
Çizelge 4.3. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde serpantin yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi.



Çizelge 4.3. (devam)

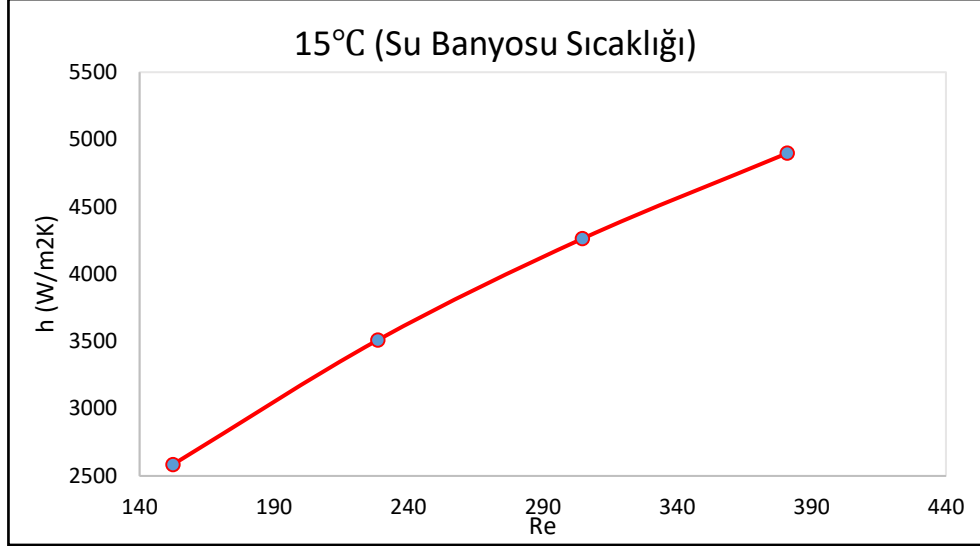


Çizelge 4.3’de grafiklerde deney sisteminde yer alan serpantinın sabit debi farklı su banyosu sıcaklıklarında (5°C,10°C,15°C), zamana bağlı olarak yüzey sıcaklığı gözlemlenmiştir. Su banyosu sıcaklığı arttıkça, serpantin yüzey sıcaklığında ona paralel olarak artış görülmüştür.



Şekil 4.1. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde baz akışkana ait Nu-Re ve Q(W) diyagramı.

Şekil 4.1’de 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı baz akışkana ait Nu-Re ve Q(W) değerleri incelenmiştir. Q(W) değeri yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Re değerleri arttıkça Nu değerlerinin de orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde baz akışkana ait h-Re diyagramı

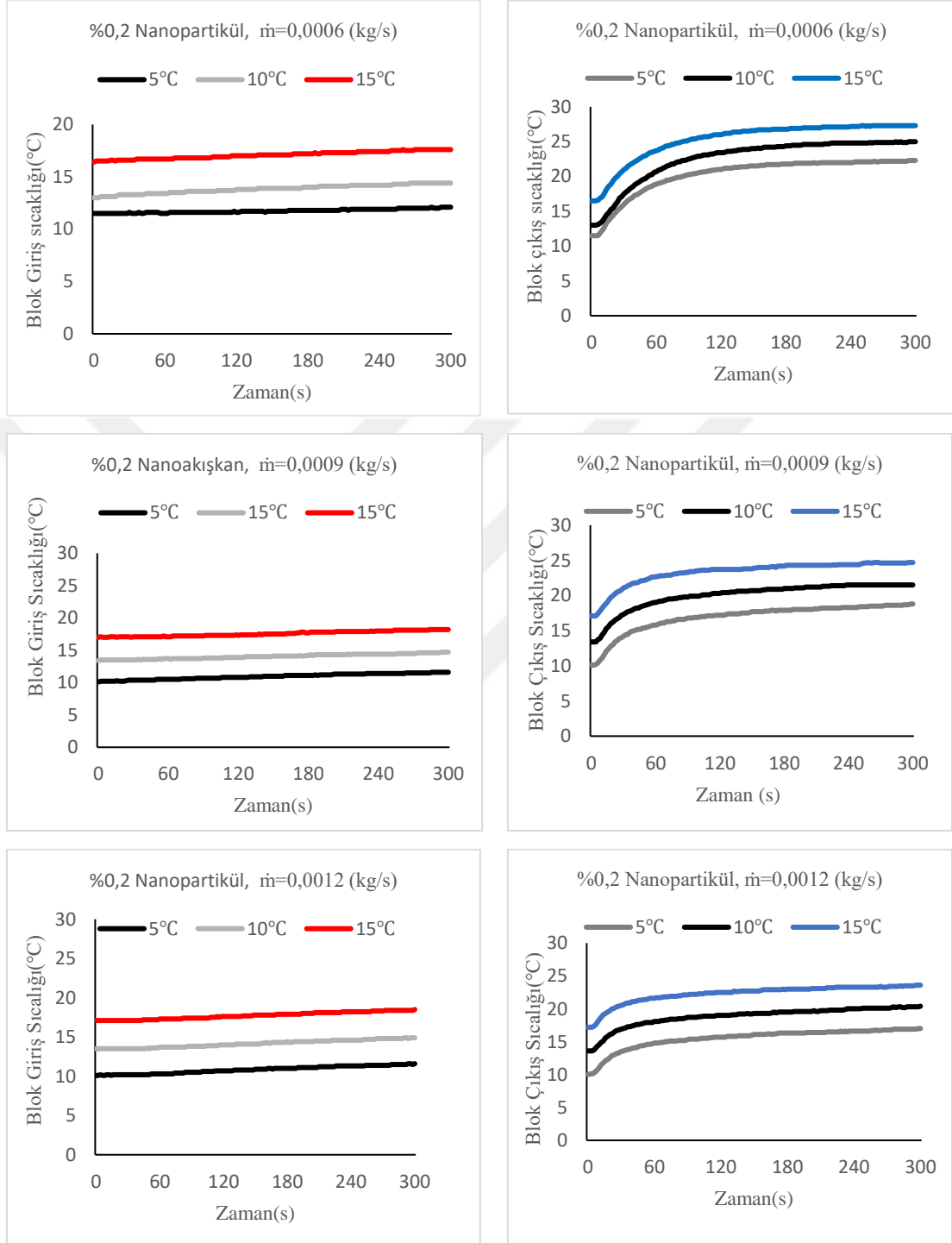
Şekil 4.2'de 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı) baz akışkana ait h-Re değerleri incelenmiştir. Kütleli debi arttıkça Re değerlerine bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

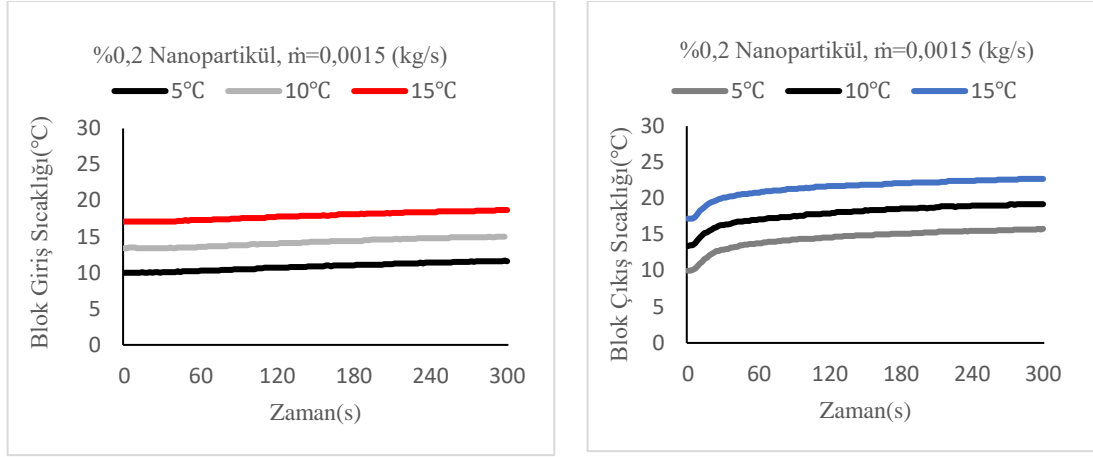
4.2. Nanoakışkana Ait (0,2 Fe₃O₄) Grafikler

Geri dönüştürülmüş nanoakışkan (%0,2, Fe₃O₄) ile yapılan deneysel analizler üç farklı banyo sıcaklığında (5°C,10°C,15°C), dört farklı kütleli debide (0,0006 kg/s, 0,0009 kg/s, 0,0012 kg/s, 0,0015 kg/s), alüminyum soğutma blokları (ısı eşanjörün), giriş ve çıkış sıcaklıkları incelenmiş ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

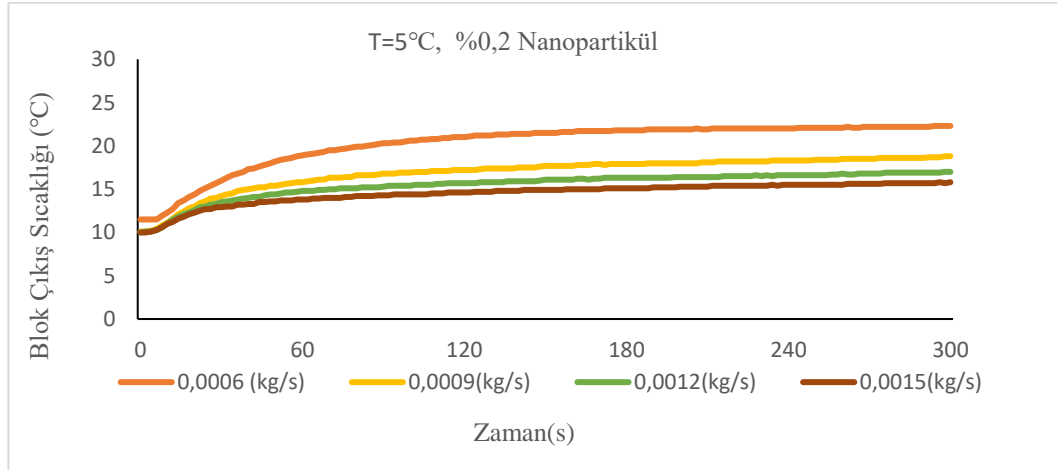
Çizelge 4.4. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde, (%0,2, Fe₃O₄) oranda nanoakışkana ait blok giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi.



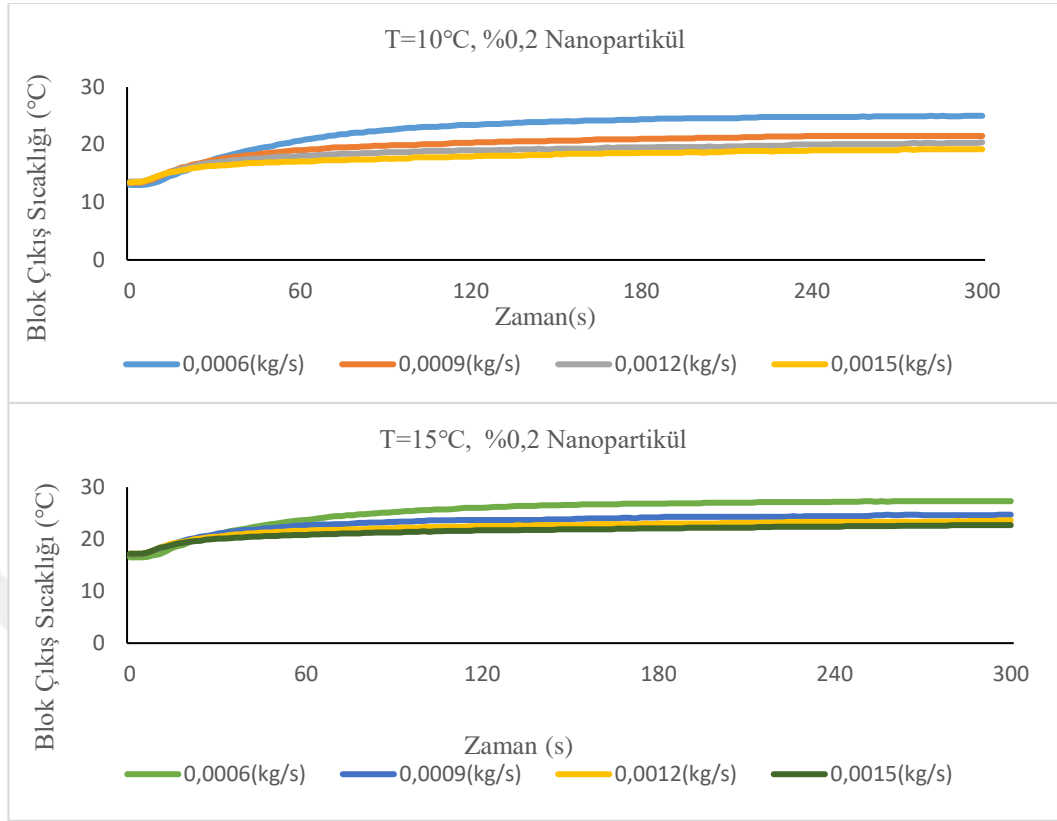
Çizelge 4.4. (devam)

Çizelge 4.4’de grafiklerde geri dönüştürülmüş %0,2 nanoakışkana ait deneyler yapılmıştır. Kütleli debi sabit tutularak üç farklı su banyosu sıcaklığında (5°C,10°C,15°C), ısı eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları zamana bağlı olarak incelenmiştir. Düşük debilerde suyun çıkış sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kütleli debi arttıkça kararlı olma süresi kısalmaktadır.

Çizelge 4.5. $T=5$ °C, $T=10$ °C, $T=15$ °C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde, (%0,2, Fe_3O_4) oranda nanoakışkana ait, blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.



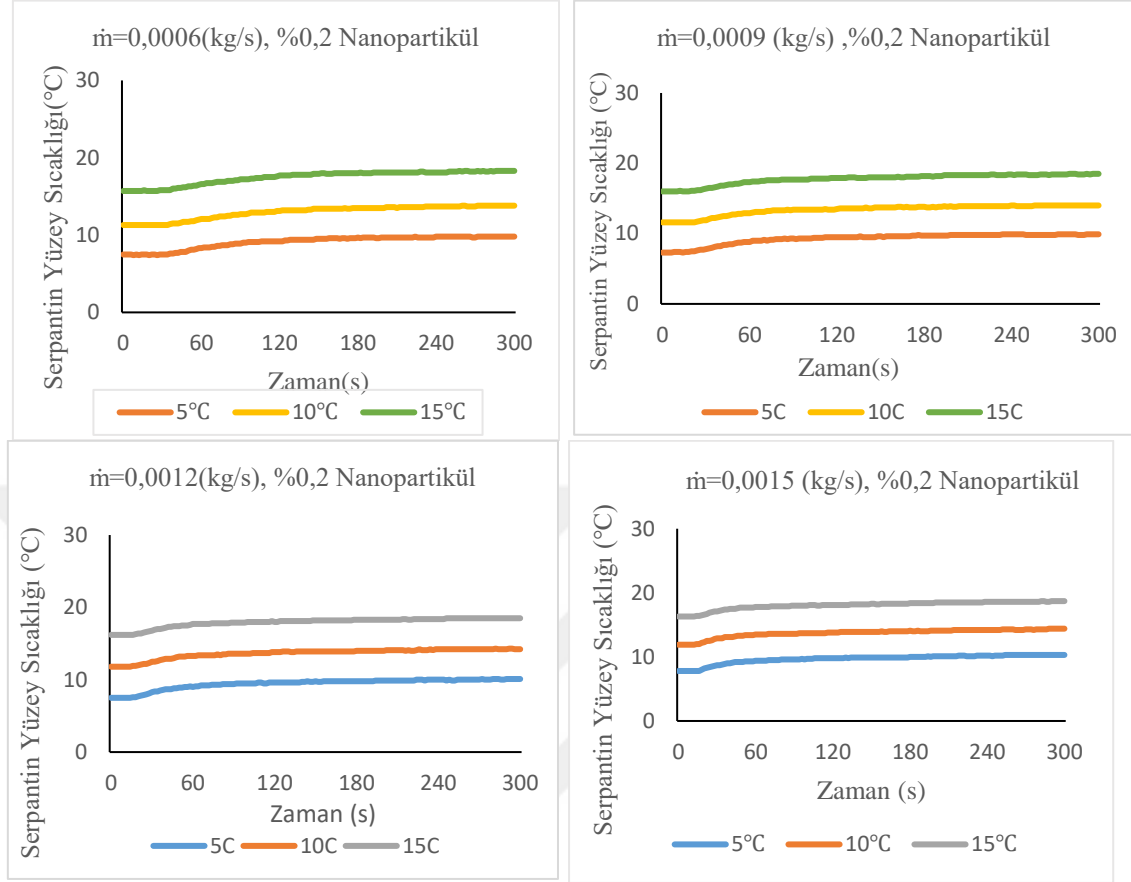
Çizelge 4.5. (devam)



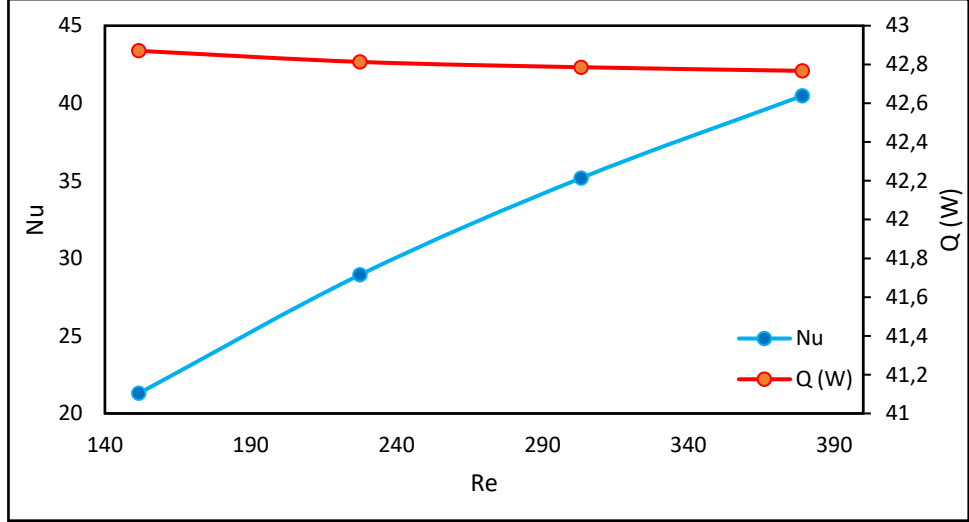
Çizelge 4.5’de grafiklerde su banyosu sıcaklıkları sabit tutularak dört farklı kütleli debide (0,0006 kg/s, 0,0009 kg/s, 0,0012 kg/s, 0,0015 kg/s), geri dönüştürülmüş %0,2 nanoakışkan (Fe_3O_4) kullanılarak, alüminyum soğutma bloğunun, (ısı eşanjör) çıkış sıcaklıkları deneysel olarak gözlemlenmiştir. Sabit su banyosu sıcaklığı altındaki kütleli debi ile ısı eşanjör çıkış sıcaklığı arasında ters bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Kütleli debi arttıkça ısı eşanjör sıcaklık azalmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.6. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde (%0,2, Fe₃O₄) oranda nanoakışkana ait serpantin yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi.

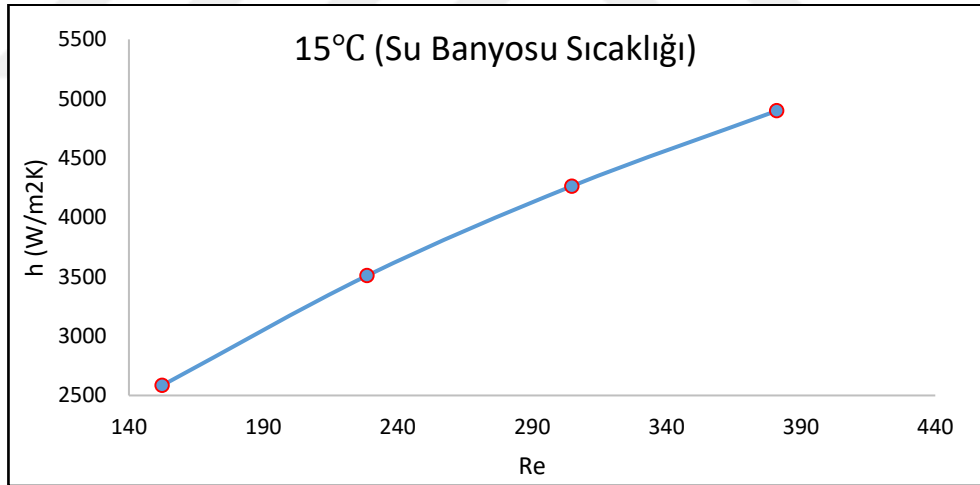


Çizelge 4.6’da grafiklerde deney sisteminde yer alan serpantin, sabit debi farklı su banyosu sıcaklıklarında (5°C,10°C,15°C), %0,2 nanopartikül ilaveli nanoakışkanın zamana bağlı olarak yüzey sıcaklığı gözlemlenmiştir. Su banyosu sıcaklığı arttıkça serpantin yüzey sıcaklığında ona paralel olarak artış görülmüştür.



Şekil 4.3. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,2 Fe₃O₄ ait Nu-Re ve Q(W) diyagramı.

Şekil 4.3’de 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde %0,2 Fe₃O₄ ait Nu-Re ve Q(W) değerleri incelenmiştir. Q(W) değeri yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Re değerleri arttıkça Nu değerlerinin de orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.



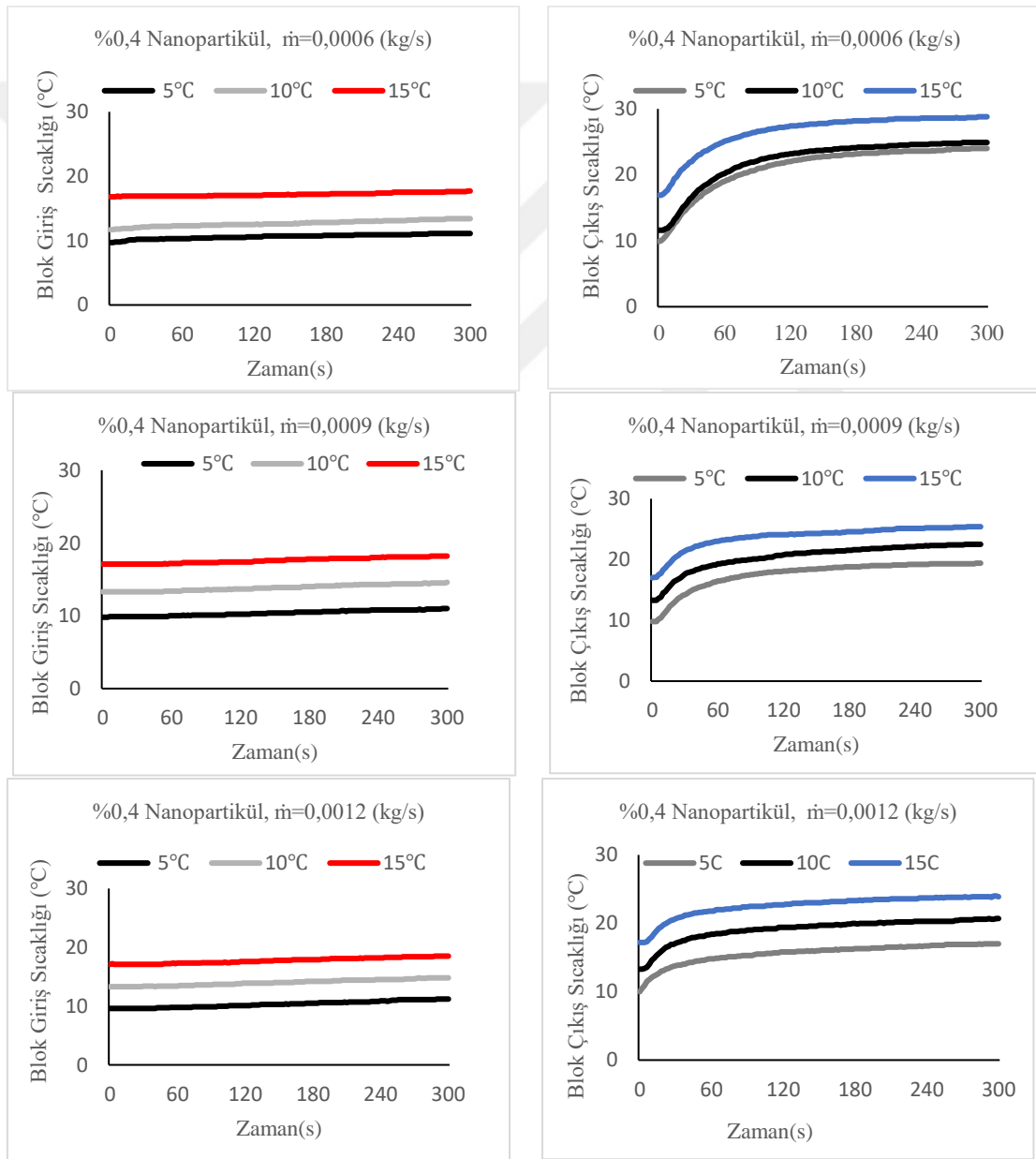
Şekil 4.4. 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,2 Fe₃O₄ ait h-Re diyagramı

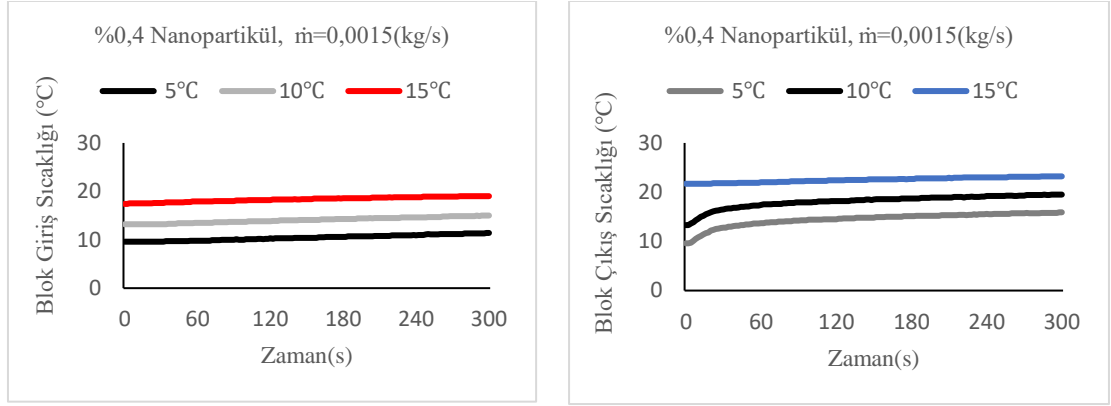
Şekil 4.4’de 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde %0,2 Fe₃O₄ ait h-Re değerleri incelenmiştir. Kütleli debi arttıkça hem h değerleri hem de Re değerlerinin orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

4.3. Nanoakışkana Ait (%0,4 Fe₃O₄) Grafikler

Geri dönüştürülmüş nanoakışkan (%0,4, Fe₃O₄) ile yapılan deneysel analizler üç farklı banyo sıcaklığında (5°C,10°C,15°C), dört farklı kütleli debide (0,0006 kg/s, 0,0009 kg/s, 0,0012 kg/s, 0,0015 kg/s), alüminyum soğutma bloklarının (ısı eşanjörü), giriş ve çıkış sıcaklıkları incelenmiş ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır.

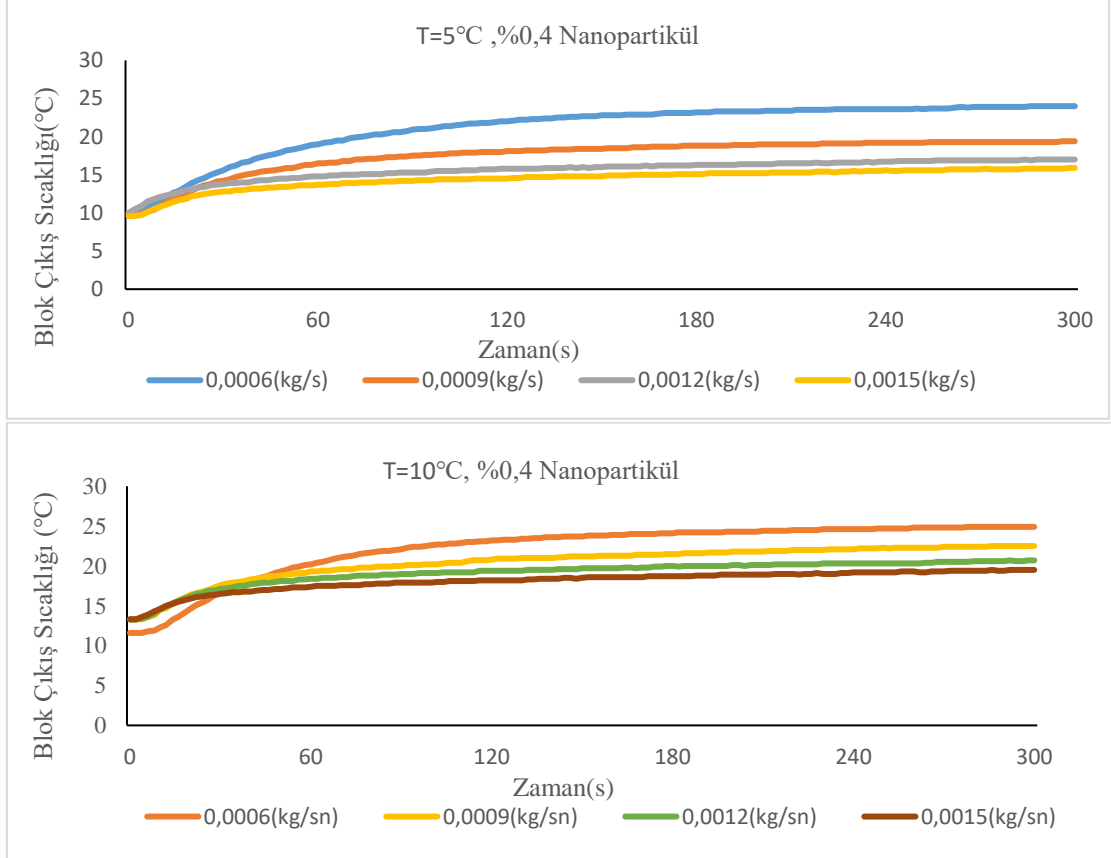
Çizelge 4.7. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde, (%0,4, Fe₃O₄) oranda nanoakışkana ait blok giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi.



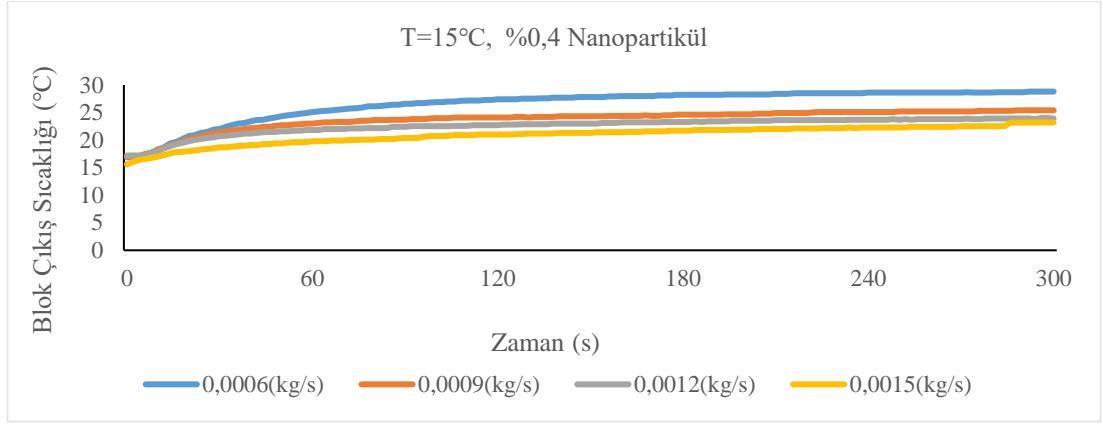
Çizelge 4.7. (devam)

Çizelge 4.7’de grafiklerde geri dönüştürülmüş %0,4 nanoakışkana ait deneyler yapılmıştır. Kütleli debi sabit tutularak üç farklı su banyosu sıcaklığında (5°C,10°C,15°C), ısı eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları zamana bağlı olarak incelenmiştir. Düşük debilerde suyun çıkış sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.8. T=5 °C, T=10 °C, T=15 °C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde, (%0,4, Fe₃O₄) oranda nanoakışkana ait, blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

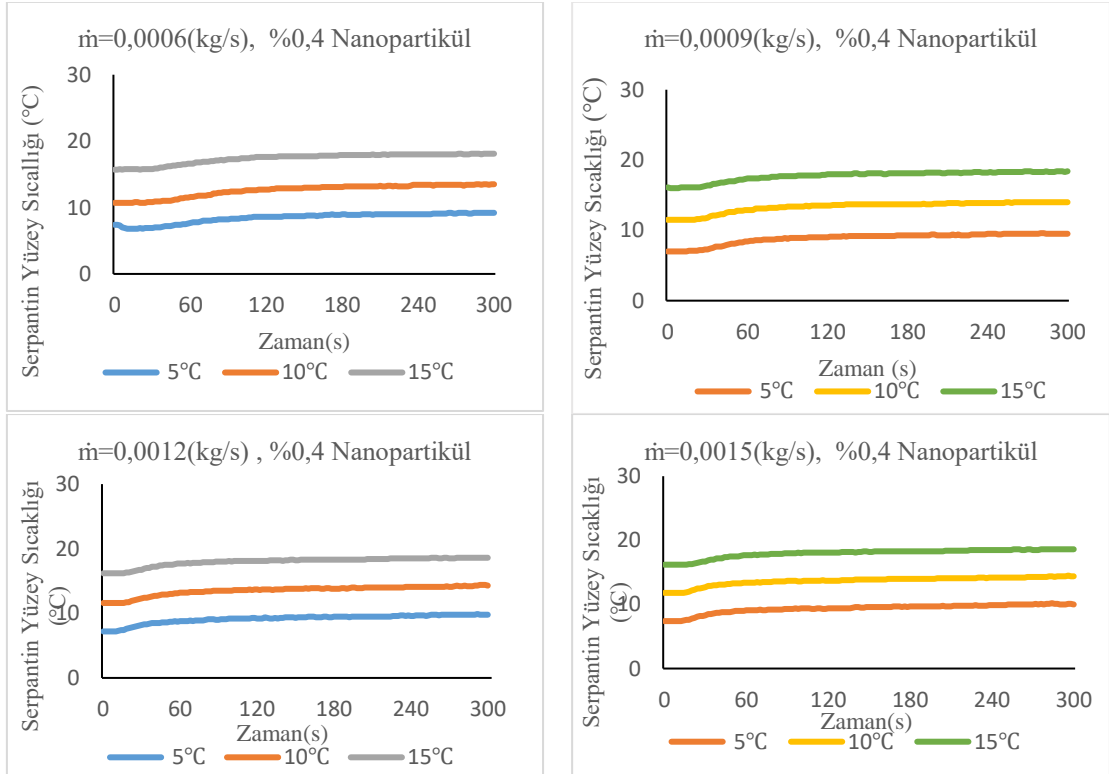


Çizelge 4.8. (devam)



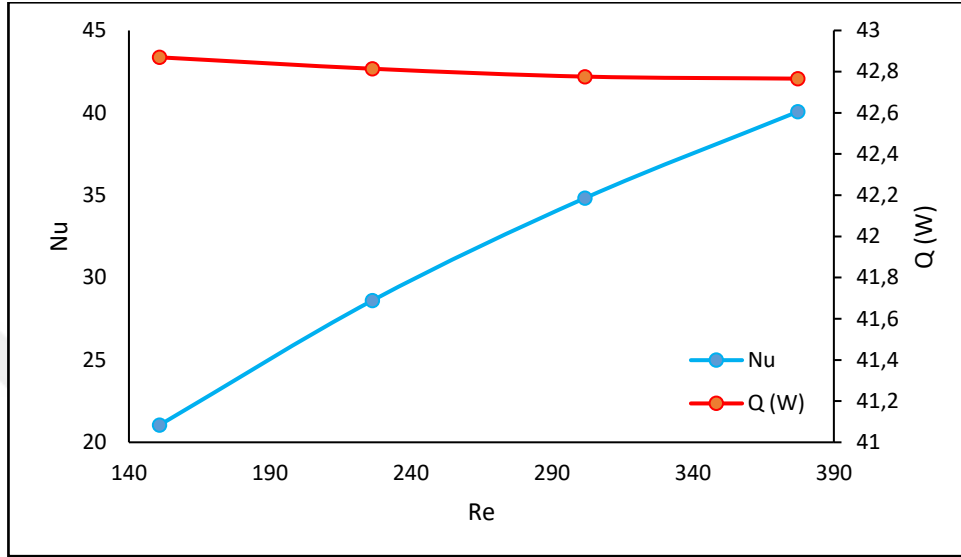
Çizelge 4.8’de grafiklerde su banyosu sıcaklıkları sabit tutularak dört farklı kütleli debide (0,0006 kg/s, 0,0009 kg/s, 0,0012 kg/s, 0,0015 kg/s), geri dönüştürülmüş %0,4 nanoakışkan (Fe_3O_4) kullanılarak, alüminyum soğutma bloğunun, (ısı eşanjör) çıkış sıcaklıkları deneysel olarak gözlemlenmiştir. Sabit su banyosu sıcaklığı altındaki kütleli debi ile ısı eşanjör çıkış sıcaklığı arasında ters bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Kütleli debi arttıkça ısı eşanjör sıcaklık azalmıştır.

Çizelge 4.9. 0,0006 (kg/s), 0,0009 (kg/s), 0,0012 (kg/s), 0,0015 (kg/s) debilerde (%0,4, Fe_3O_4) oranda nanoakışkana ait serpantin yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi.



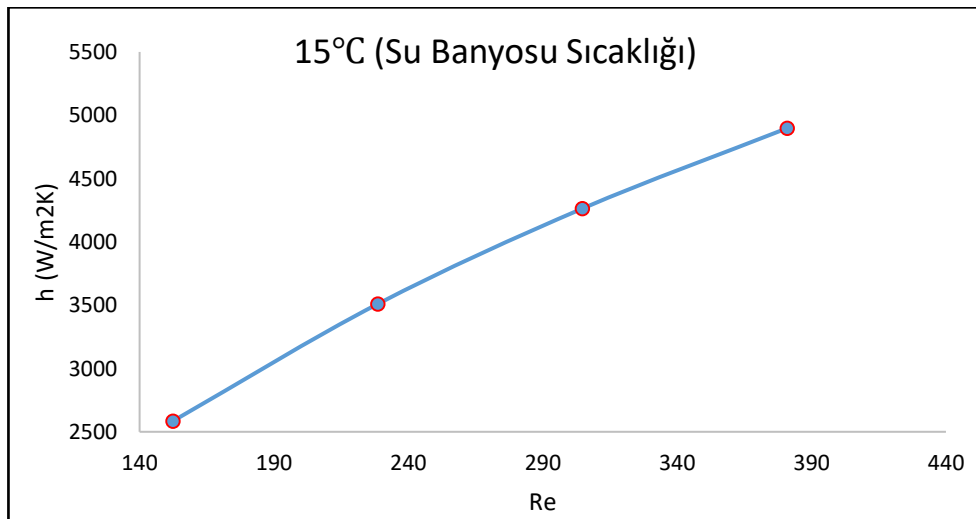
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.9'da grafiklerde deney sisteminde yer alan serpantinin geri dönüştürülmüş nanoakışkan %0,4 (Fe_3O_4) kullanılarak, sabit debi farklı su banyosu sıcaklıklarında ($5^{\circ}C, 10^{\circ}C, 15^{\circ}C$), zamana bağlı olarak serpantin yüzey sıcaklığı gözlemlenmiştir. Su banyosu sıcaklığı arttıkça serpantin yüzey sıcaklığında ona paralel olarak artış görülmüştür.



Şekil 4.5. $15^{\circ}C$ (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,4 Fe_3O_4 ait Nu-Re ve Q(W) diyagramı.

Şekil 4.5'de $15^{\circ}C$ (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde %0,4 Fe_3O_4 ait Nu-Re ve Q(W) değerleri incelenmiştir. Q(W) değeri yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Re değerleri arttıkça, Nu değerlerinin de orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.



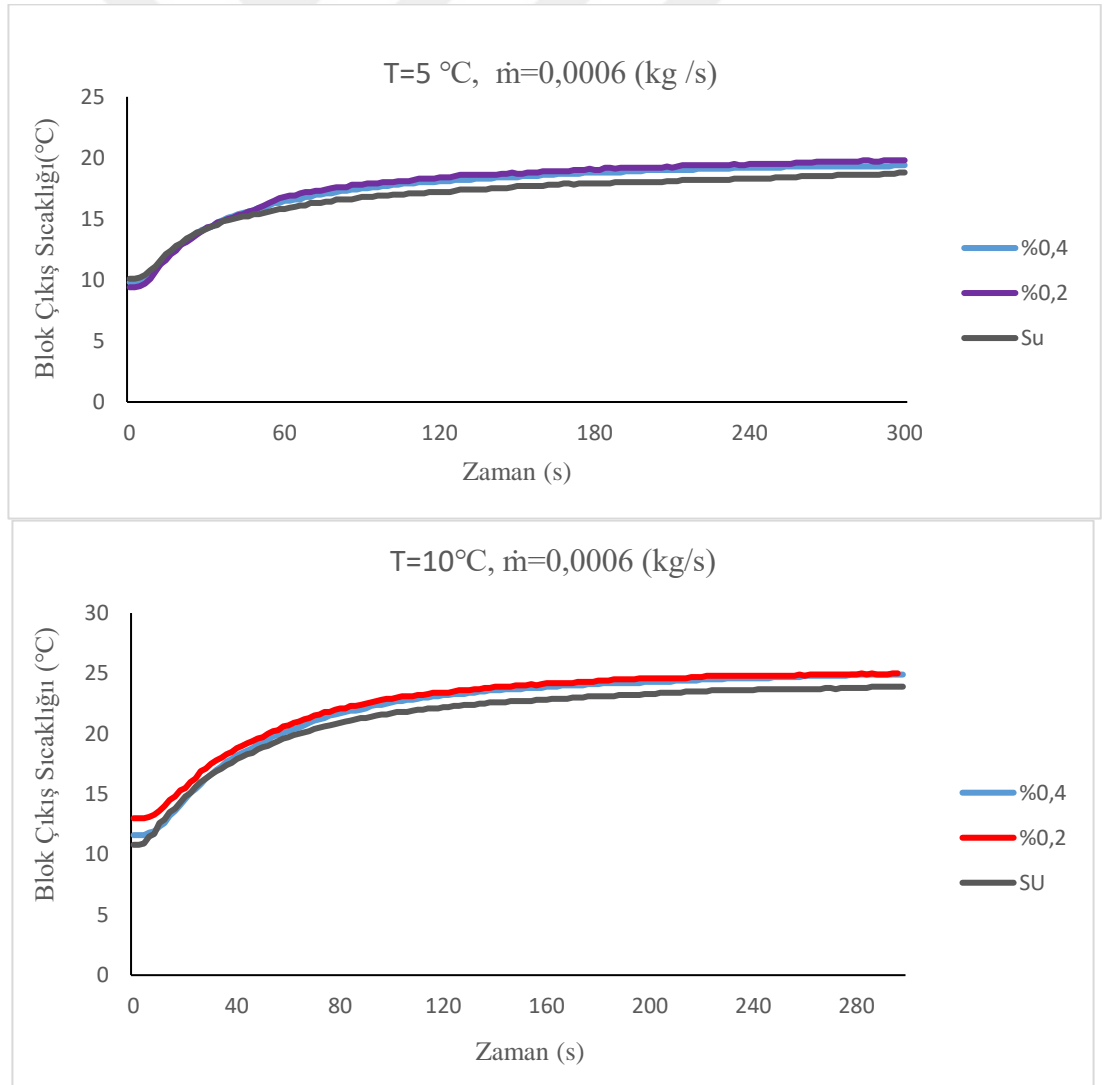
Şekil 4.6. $15^{\circ}C$ (Su Banyosu Sıcaklığı), farklı debilerde %0,4 Fe_3O_4 ait h-Re diyagramı

Şekil 4.6'da 15°C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde %0,4 Fe₃O₄ ait h-Re değerleri incelenmiştir. Kütsel debi arttıkça hem h değerleri hem de Re değerlerinin orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

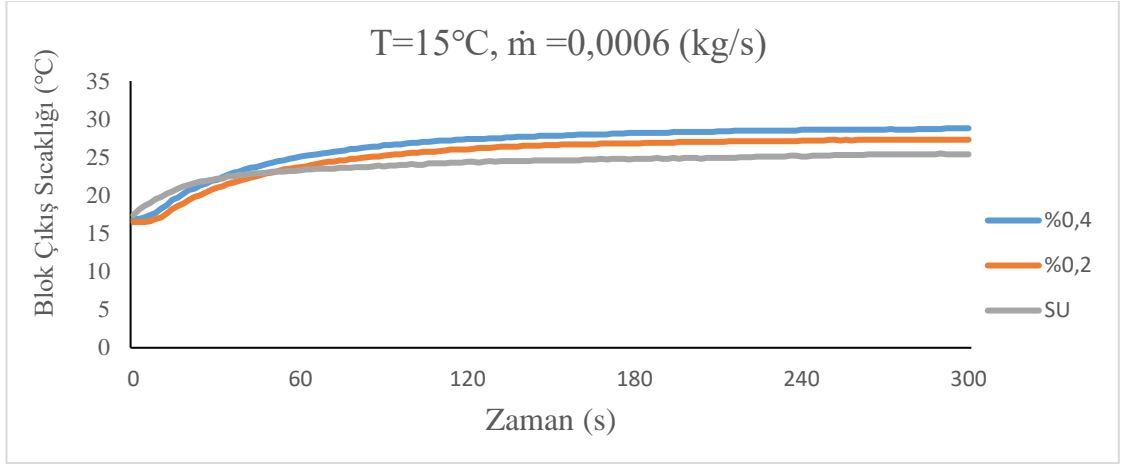
4.4. Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Ayrı ayrı incelenen akışkanların sonuçları incelenmiş, farklı sıcaklıklarda bir debiye ait (0,0006 kg/s) üç akışkanın karşılaştırılması örnek olarak sunulmuştur. Bu karşılaştırma ile nanoakışkanın suya oranla ısı geçişinde ne ölçüde etki edeceği değerlendirilmek istenmiştir.

Çizelge 4.10. T=5 °C, T=10 °C ,T=15 °C (Su Banyosu Sıcaklığı) farklı debilerde, (Su,%0,2 Fe₃O₄ ,%0,4 Fe₃O₄,) blok çıkış sıcaklığının zamana göre değişiminin karşılaştırılması.



Çizelge 4.10. (devam)



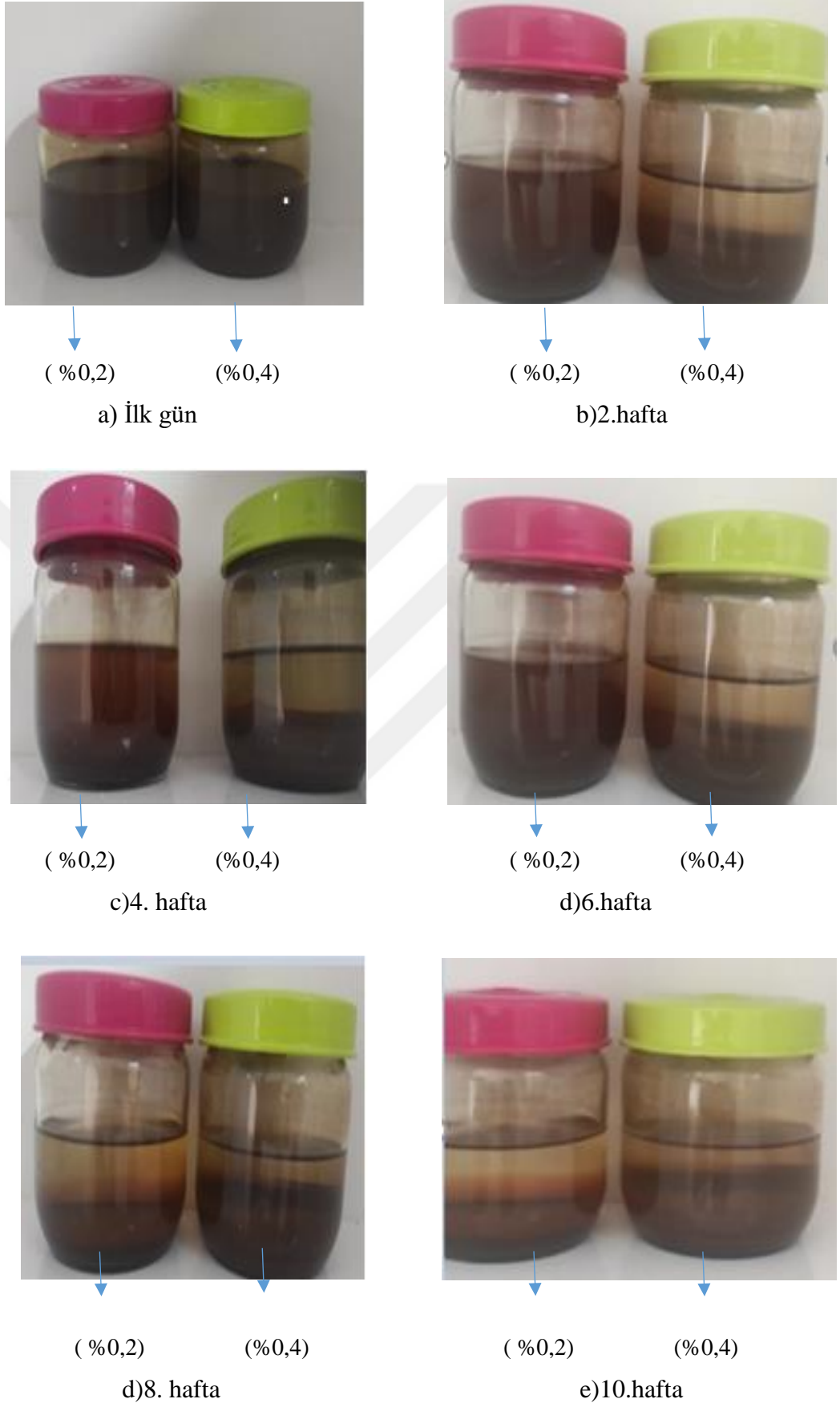
Çizelge 4.10’da yapılan karşılaştırma değerlerine göre nanoakışkanın ısı geçişinin suya oranla daha fazla olduğu gözlemlenmiş, değerlerin birbirlerine yakınsadığı görülmüştür.

4.5. Nanoakışkan Kararlılığının Yapısı

Nanoakışkan kararlılığı, süspansiyon olan karışım sonucunda oluşan yeni akışkanın ısı iletkenliği, viskozitesi, partiküllerin hacimsel oranları gibi parametrelerin fiziksel özelliklerini zamanla değişmemesi olarak tanımlanabilir. Akışkan içerisine aktarılan nanopartiküllerin zamanla birbirleriyle etkileşimi sonucunda topaklaşma ve yapışma eğilimi gösterirler. Zaman geçtikçe topaklaşmanın artması ile yerçekimi kuvveti artmaya başlar ve zamanla çöküntüler meydana gelmektedir.

Çalışmamıza ait H₂O ve Fe₃O₄ (%0,2, %0,4) nanoakışkan karışımına ait akışkanın zamana bağlı olarak incelenmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.7’de karşılaştırılması yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.7. H₂O ve %0.2 ve %0.4 Fe₃O₄ ile hazırlanan nanoakışkanlarda zamanla oluşan çökelmeler.

Yapılan gözlem sonucunda nanopartikül oranı fazla olan nanoakışkanın daha fazla çöktüğü gözlemlenmiştir.

4.6. Matematik Formülasyon (Temel Denklemler)

Temel akış denklemleri, üç temel kanuna dayandırılmaktadır (Dirlik 2018).

1. Kütle korunumu kanunu (Süreklilik)
2. Momentum korunumu kanunu (Newton'un ikinci yasası)
3. Enerjinin korunumu kanunu (Termodinamiğin birinci yasası)

4.6.1. Kütle korunumu kanunu (Süreklilik)

Kütle korunumu kanununu aşağıdaki denklemde de ifade edildiği gibi kütle değişim hızının kontrol hacminin sınırlarından giren ve çıkan net kütle akısına eşit olarak tanımlanır (Başyazıcı 2005).

$$\frac{d}{dt} \iiint_V \rho dV - \iint_S \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dS \quad (4.1)$$

Bu denklemde V akış hız alanını, n dik birim vektörünü, ρ da yoğunluğu ifade etmektedir. Denklem entegre edilirse şu şekilde ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (4.2)$$

Bu denklemi kartezyen koordinat sisteminde yoğunluk ve hız terimleri eklenirse şu şekilde ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w) \quad (4.3)$$

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} + w \frac{\partial p}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.4)$$

Denklem aşağıdaki gibi ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{D\rho}{Dt} \right) + Div \vec{V} = 0 \quad (4.5)$$

Yoğunluk değişimi çok minimal düzeyde olduğu durumlarda akışkan sıkıştırılmaz akış olarak kabul edilebilir ve sıkıştırılmaz akış kartezyen sistemlerde şu şekilde ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho u_y}{\partial y} + \frac{\partial \rho u_z}{\partial z} = 0 \quad (4.6)$$

Gerekli sadeleştirme yapılırsa denklem şu forma indirgenir (Başyazıcı 2005).

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.7)$$

Bu denklemde u, v, w sırasıyla x, y, z yönündeki hızlara karşılık gelmektedir (Başyazıcı 2005).

4.6.2. Momentumun korunumu kanunu (Newton'un ikinci yasası)

Momentum korunum yasasına göre cismi etkileyen dış kuvvetler toplamının lineer momentum zamana bağlı olarak değişimine eşit olduğunu söyleyebiliriz.

Momentum korunum yasası en genel ifadeyle şu şekilde ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{V} dV = \sum \vec{F} \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} + (\vec{V} \vec{\nabla})(\rho \vec{V}) = -\vec{V} P + \mu(\vec{\nabla}^2 \vec{V}) + \vec{g}(\rho - \rho_0) \quad (4.9)$$

Bu denklemde ($\vec{V}\vec{V}$) gradyan ve hız vektörlerini, ρ ise yoğunluğu belirtmektedir.

Momentum denklemlerinin kartezyen koordinat sisteminde şu şekilde ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = \rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.10)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = \rho f_y - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.11)$$

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = \rho f_z - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.12)$$

Yukarıdaki denklemde viskoz gerilmeler hız gradyan cinsinden şu şekilde ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\tau_{xx} = -\frac{2}{3}\mu Div + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (4.13)$$

$$\tau_{yy} = -\frac{2}{3}\mu Div + 2\mu \frac{\partial v}{\partial x} \quad (4.14)$$

$$\tau_{zz} = -\frac{2}{3}\mu Div + 2\mu \frac{\partial w}{\partial x} \quad (4.15)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (4.16)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (4.17)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (4.18)$$

Viskoz gerilmeler momentum denklemi içerisine yerleştirilince Navier Stokes denklemlerini elde ederiz. Bu denklemler de şu şekilde ifade edilir (Başyazıcı 2005).

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial(\mu.Div)}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \quad (4.19)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho f_y - \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial(\mu.Div)}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \quad (4.20)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \rho f_z - \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{2}{3} \frac{\partial(\mu.Div)}{\partial z} + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \quad (4.21)$$

4.6.3. Enerjinin korunumu (Termodinamiğin birinci yasası)

Termodinamiğin birinci kanunu olarak ifade edilen bu kanun bilindiği üzere enerji yoktan var, vardan yok edilemez. Enerji korunumu kanunu bir sistemin toplam enerjisindeki artma veya azalma, sisteme giren ve çıkan toplam enerjiler arasındaki farka eşittir. Enerji korunum denklemi şu şekilde ifade edilebilir (Başyazıcı 2005).

$$\frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} + (\vec{V} \vec{\nabla})(\rho T) = \frac{k}{c_p} (\vec{V}^2 T) \quad (4.22)$$

Sürekli şartlar dikkate alınarak denklem şu şekilde ifade edilir.

$$\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = a \left(u \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + w \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4.23)$$

4.7. Sayısal ve Teorik Hesaplamalar

Teorik hesaplamalar ve sayısal analiz için kullanılan denklemler bu bölümde verilmiş ve tartışılmıştır. Peltier modülünden alüminyum bloğa olan ısı akısı, Denklem 4.24'de gösterildiği gibi ısı transfer alanı dikkate alınarak hesaplanabilir. Ayrıca blok giriş ve çıkışında akışkanın sıcaklığına sahip olan enerji dengesi, denklem 4.25'de ifade edildiği gibi ısı transfer hızını verir,

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A_{blok}} \quad (4.24)$$

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_f C_{\rho,f} (T_c - T_g) \quad (4.25)$$

Kullanılan sıvının kütleli debisi, aşağıdaki denklem kullanılarak basitçe hesaplanabilir,

$$\dot{m} = \rho_f V_f A_g \quad (4.26)$$

Peltier modülünden sağlanan ısının, ısı transfer akışkanının aldığı ısıya eşit olması gerektiğine dikkat edilmelidir, yani ($\dot{Q}_{Peltier} = \dot{Q}_f$). Konvektif ısı transferine sahip bloktaki ısı transfer katsayısı değeri şu şekilde ifade edilebilir.

$$h = \frac{\dot{Q}}{A[T_w - (\frac{T_g + T_c}{2})]} \quad (4.27)$$

T_g , ve T_c bloğunun giriş ve çıkışındaki ısı transfer sıvısının sıcaklıklarıdır, T_w , blok duvarının ortalama sıcaklığıdır ve A , blok yüzeyinin kare alanıdır. İleri termodinamik termal analiz için boyutsuz değerler ve bunların varyasyonları araştırılmış ve analiz edilmiştir. Bu bağlamda Nusselt ve Reynolds sayıları denklem 4.28 ve 4.29 olarak ifade edilebilir,

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (4.28)$$

$$Nu = \frac{h d}{k} \quad (4.29)$$

Nanoakışkanların termodinamik özellikleri, mevcut deneysel makalelerde sunulan denklemler kullanılarak elde edilebilir. Termal iletkenlik, viskozite ve yoğunluğu içeren bu ana özellikler aşağıdaki ilişkiler kullanılarak elde edilir,

Hamilton ve Crosser modelinin ısı iletkenliği 4.30'da aşağıdaki gibi ifade edilir (Xuan et al. 2000).

$$k_{nf} = \frac{k_p + (n-1)k_{bf} - \varphi(n-1)(k_{bf} - k_p)}{k_p + (n-1)k_{bf} + \varphi(k_{bf} - k_p)} k_{bf} \quad (4.30)$$

Nanoakışkan viskozitesi şu şekilde ifade edilir,

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2.5 \varphi) \quad (4.31)$$

Nanoakışkan yoğunluğu ve özgül ısı da şu şekilde verilir,

$$\rho_{nf} = \varphi\rho_p + (1 - \varphi)\rho_{bf} \quad (4.32)$$

$$Cp_{nf} = (1 - \varphi)\left(\frac{\rho_{bf}}{\rho_{nf}}\right)Cp_{bf} + \varphi\left(\frac{\rho_p}{\rho_{nf}}\right)Cp_p \quad (4.33)$$

Süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerini içeren problemin çözümü için temel denklemler, Denklem 4.34’de aşağıdaki gibi verilmiştir,

Süreklilik denklemi,

$$\nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v}) = 0 \quad (4.34)$$

Momentum denklemi,

$$\nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v} \cdot \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu [(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I]) \quad (4.35)$$

Enerji Korunumu Denklemi,

$$\nabla \cdot (\vec{V}(\rho E + p)) = \nabla \cdot k_{eff} \nabla T - h \vec{j} + (\mu [(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I] \cdot \vec{v}) \quad (4.36)$$

Mevcut problemin sayısal çözümünde, Ansys-Fluent yazılımı kullanılarak HAD çözümlerinde $k-\varepsilon$ modeli kullanılmıştır (Tuncer et al.2022). Gerekli denklemler 4.37-4.40’da aşağıdaki gibi ifade edilir (Khanlari et al. 2022).

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu_{nf} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} - \rho_{nf} \varepsilon + G_k = \frac{\partial}{\partial x_i} [(u_i \rho_{nf} k)] \quad (4.37)$$

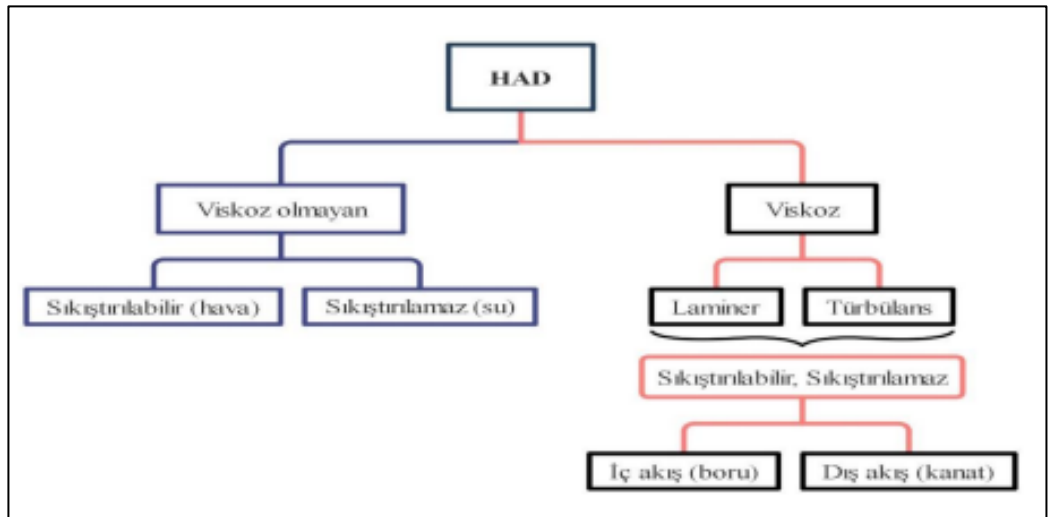
$$G_k = - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \rho_{nf} \overline{u'_j u'_i} \quad (4.38)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \rho_{nf} \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu_{nf} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} G_k C_{1\varepsilon} - \rho_{nf} \frac{\varepsilon^2}{k} C_{2\varepsilon} \quad (4.39)$$

$$\mu_t = \rho_{nf} C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.40)$$

4.8. Had (Cfd) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Bu yöntem modern mühendislik uygulamalarında karşılaşılan karmaşık problemlerde boru veya kanal içi akışkanların incelenmesinde kullanılan genellikle HAD (CFD) kısaltması ile anılan bir yöntemdir. Bilgisayarda fiziksel problemleri çözebilmek için çeşitli HAD sayısal algoritmalar vasıtası ile akışkan hareketini incelenerek bu karmaşık problemler çözülebilmektedir. Aşağıdaki şekil HAD akış şeması gösterilmiştir. Bu yöntem kütle, enerji, momentum yasalarına dayandırılmıştır (Kurt vd 2012).



Şekil 4.8. HAD akış şeması (Şakirali 2022)

Sayısal yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz.

- Sonlu Farklar Yöntemi (Finite Difference Method)
- Sonlu Hacimler Yöntemi (Finite Volume Method)
- Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)

4.8.1. Sonlu farklar yöntemi

Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için geliştirilen en eski yöntemlerden olan sonlu farklar yöntemi, akış bölgesini oluşturan her tipteki ağ sistemine uygun bir yöntemdir. Problem çözümünde, çözüm ağına her bir düğüm noktasına Taylor seri açılımı kullanılmakta temel denklemlerin kısmi türevleri için sonlu farklar yaklaşımı uygulanmaktadır. Bu yöntem yüksek mertebe yaklaşımına müsaade etse de dikkat edilmediği sürece korunum özelliği sağlamamaktadır. Bu da yöntemin en büyük dezavantajıdır (Hasan et al. 2020).

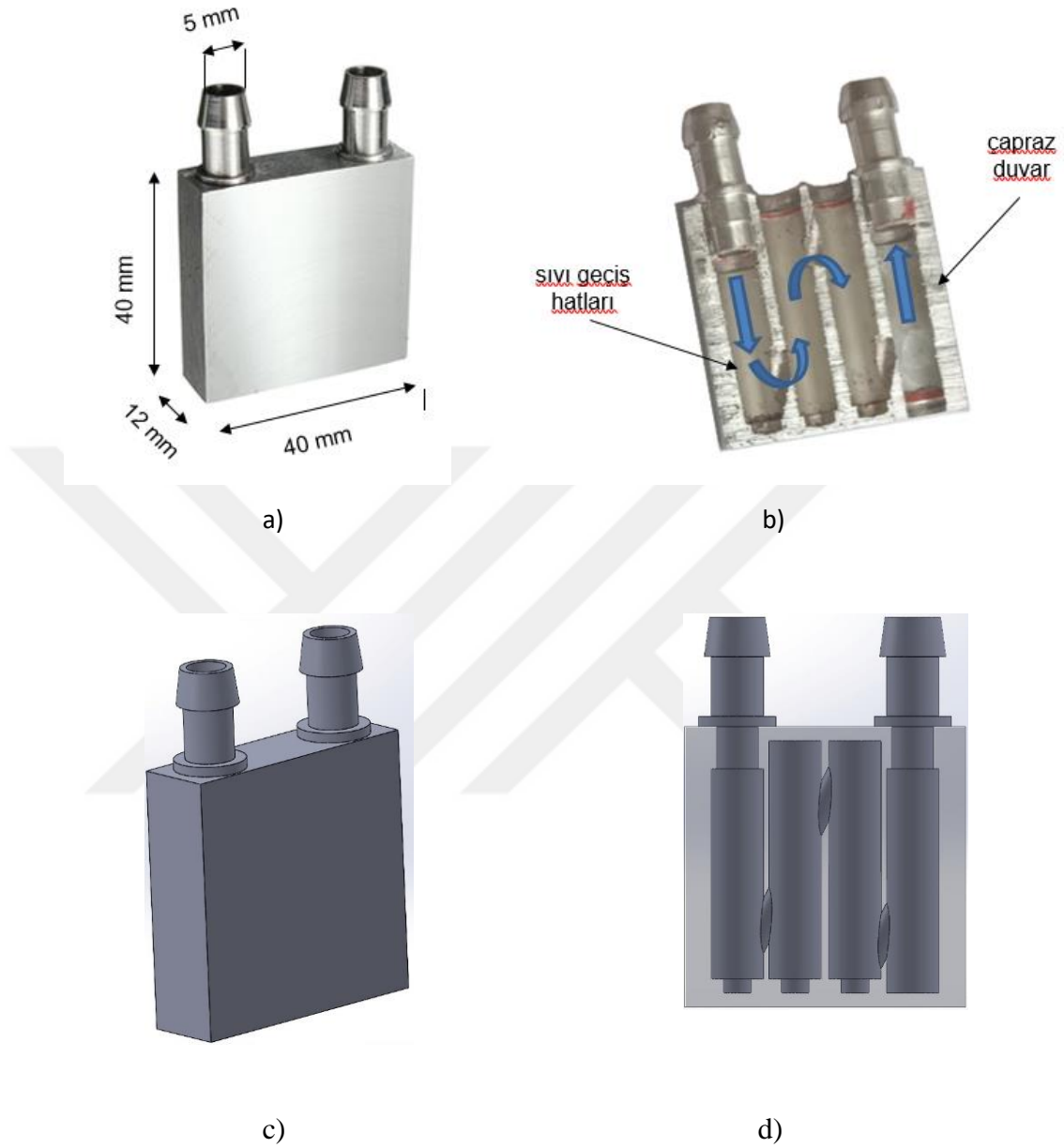
4.8.2 Sonlu hacimler yöntemi

Sonlu Hacimler Yöntemi tıpkı sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemi gibi hesaplama bölgesi kontrol hacimlerine bölünür ve hesaplama bölgesindeki her bir kontrol hacmi için komşu düğümlerin değerlerini de kapsayan cebirsel denklem elde edilir. Bu yöntem hem düzenli hem düzensiz çözüm ağlarına uygulanabilir bir yöntemdir, fakat üç boyutta ikinci mertebeden daha yüksek fark yaklaşımının geliştirilmesi sonlu farklar yöntemine göre daha zordur. Bu da yöntemin dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır (İnada 2017).

4.8.3. Sonlu elemanlar yöntemi

Birçok yönden sonlu hacimler yöntemine benzeyen sonlu elemanlar yöntemi gerilme ve şekil değiştirme miktarlarını belirlemek için çözüm ağı geliştirilmiştir. Bu yöntemde aynı sonlu hacimler yöntemi gibi düzensiz hesaplama bölgeleri için uygun bir yöntemdir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre ayırt edici özelliği hesaplama bölgesinde temel denklemlerin entegre işleminden önce şekil fonksiyonları ile çarpılması şeklinde bir yaklaşım uygulanmaktadır (Hasan et al. 2020).

4.9. Isı değiştirici Solidworks Görüntüler



Şekil 4.9. Isı değiştirici için solidworks çizim görüntüler

Çizelge 4.11. Deneysel plan değerlendirmesi

Akışkan Türü	Kütleli Debi (kg/s)				Su Banyosu Sıcaklığı (°C)		
	0,0006	0,0009	0,0012	0,0015	5	10	15
Su	0,0006	0,0009	0,0012	0,0015	5	10	15
Nanoakışkan (0.2%)	0,0006	0,0009	0,0012	0,0015	5	10	15
Nanoakışkan (0.4%)	0,0006	0,0009	0,0012	0,0015	5	10	15

4.10. Mesh Bağımsızlık Çalışması

Çizelge 4.12'deki son element size değeri gerekli hassasiyeti (hata oranını) sağladığı için meshleme analizi bu element size değerine göre yapılmıştır.

Çizelge 4.12. Mesh bağımsızlık çalışması

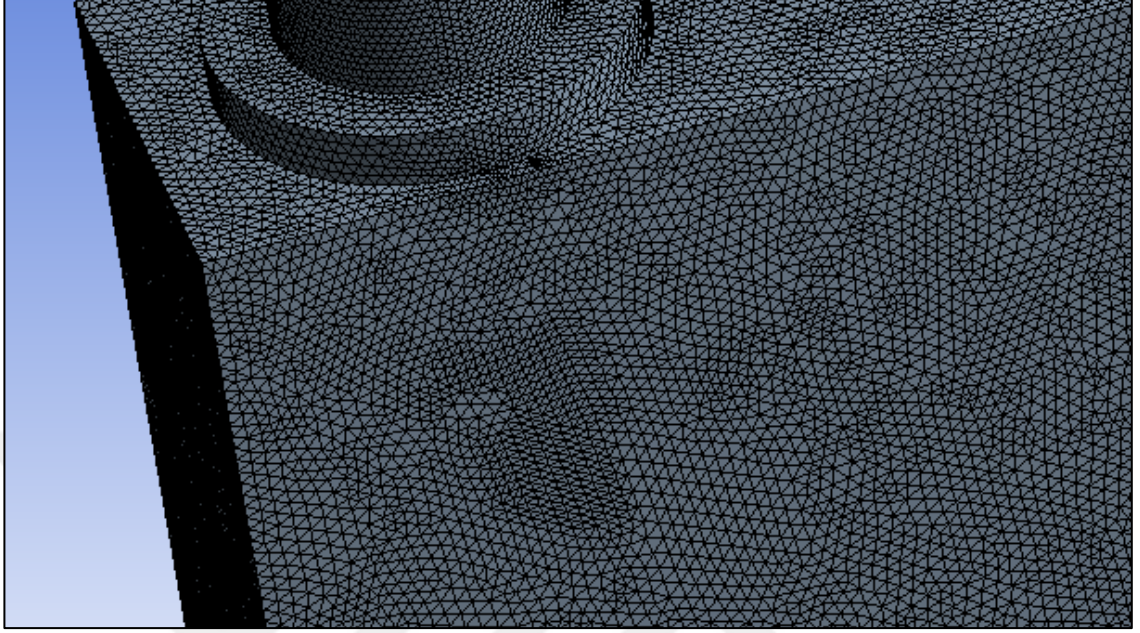
	Node Sayısı	Element Sayısı	Su Çıkış Sıcaklığı	Hata Oranı
1	7.063	25.845	304,1287	
2	15.286	66.879	302,6546	4,87E-03
3	215.866	140.313	303,0253	1,22E-03
4	660.224	440.281	303,9246	2,96E-03
5	1.538.891	1.056.096	304,1825	8,48E-04
6	1.656.057	1.138.551	304,2277	1,49E-04

4.11. Optimum Çözüm Ağının Bulunması

Mesh analizi yapılırken göz önünde bulundurulacak en önemli faktör çözüm ağının hücre sayısı ve kalitesidir. Bu iki faktör doğrudan sonuçlara etki etmektedir. Yüksek çözüm ağı ile yapılan sayısal çözümlemede daha kararlı daha doğru sonuçlar alınırken, düşük hücre sayılı çözüm ağlarında ise düşük kaliteli daha kötü sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu nedenden ötürü istenen doğrulara ulaşmak için çözüm ağı çalışması yapmak ve doğruluğa en yakın çözüm ağının bulunup sayısal çözümleme yapılması gerekir. Çalışmamızda uygun çözüm ağının belirlenebilmesi için birçok çözüm ağı denenmiş içlerinden seçilen bazı çözümler karşılaştırılması yapılmış yukarıdaki çizelge 4.12'de mesh bağımsızlık çalışması verilmiştir. Gerekli hassasiyetin sağlanmış olduğu son element sayısı ile sayısal çözümlere devam edilmiştir.

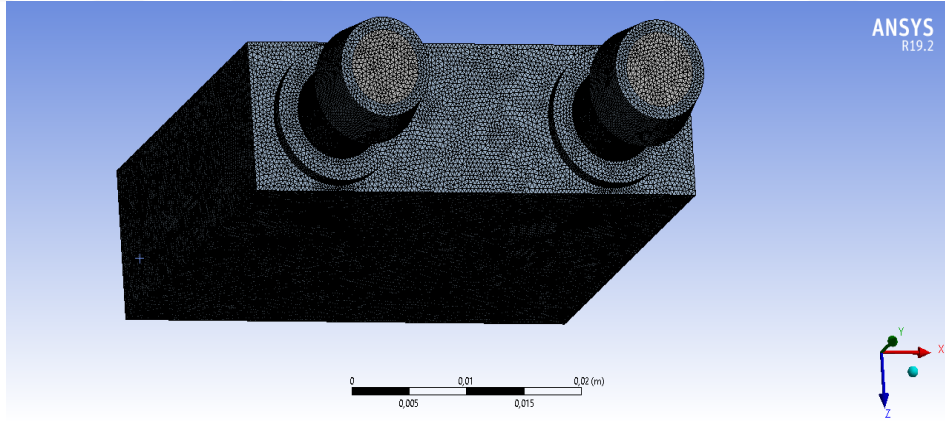
4.12. Ansys Mesh' e Ait Görüntüler

a)

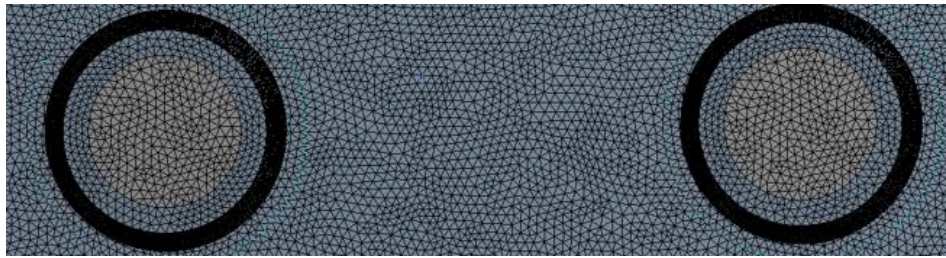


Şekil 4.10. a) Isı değiştirici için ansys kesit görüntüsü

b)



c)



Şekil 4.11. b) ve c) Isı değiştirici için ansys üst düzlem görüntüsü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada problem sayısal simülasyon kullanılarak çözülmüş ve gerekli diyagramlar sıcaklık, basınç ve hız konturları şeklinde sunulmuştur. Modeli simüle etmek için ANSYS/Fluent (19.2) yazılımı kullanılmıştır.

Çözümler için deneysel sonuçlara ait alüminyum soğutma bloğu (ısı değiştirici)' na karşılık gelen giriş sıcaklık değerleri kullanılıp sayısal analiz sonucunda CFD çıkış sıcaklık değerleri ile deneysel çıkış sıcaklık değerleri arasında dengeyi yakalayıp yakalamama konusunda karşılaştırma yapılmıştır. Sayısal analiz için giriş sıcaklık değerleri deneysel verilerden elde edilmiştir ve aşağıdaki çizelge 4.13, 4.14, 4.15'de gösterilmiştir. Çizelgelerde gösterilen sıcaklık değerleri akışkanın en kararlı ($t=300$ s) sıcaklık değerlerinden seçilmiştir.

Çizelge 4.13. Isı değiştiricide baz akışkanın (H_2O) kararlı ($t=300$ s) durumda giriş ve çıkış sıcaklıkları.

H_2O	5 °C (Su banyosu sıcaklığı)	
	T giriş	T çıkış
0,0006 (kg/s)	11,3	23,9
0,0009 (kg/s)	10,9	19,8
0,0012 (kg/s)	10,9	17,7
0,0015 (kg/s)	11,2	16,5

Çizelge 4.14. Isı değiştiricide %0,2 nanopartikül içeren nanoakışkanın kararlı ($t=300$ s) durumda giriş ve çıkış sıcaklıkları.

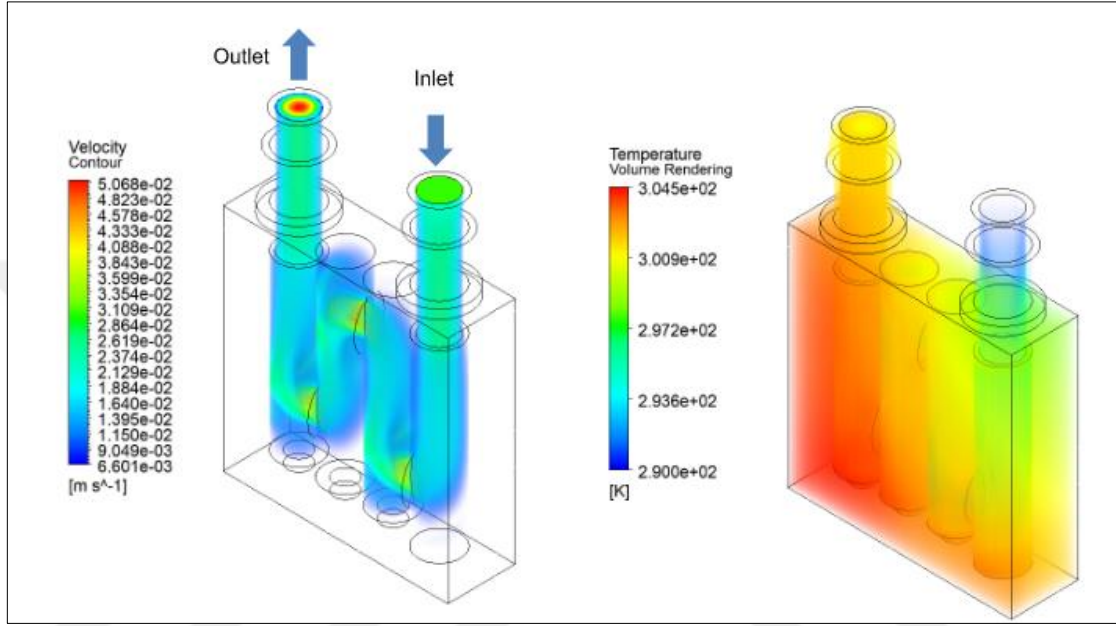
%0,2 Nanopartikül	5 °C (Su banyosu sıcaklığı)	
	T giriş	T çıkış
0,0006 (kg/sn)	12,1	22,3
0,0009 (kg/sn)	11,6	18,8
0,0012 (kg/sn)	11,6	17
0,0015 (kg/sn)	11,6	15,8

Çizelge 4.15. Isı değiştiricide %0,4 nanopartikül içeren nanoakışkanın kararlı ($t=300$ s) durumda giriş ve çıkış sıcaklıkları.

%0,4 Nanopartikül	5 °C(Su banyosu sıcaklığı)	
	T giriş	T çıkış
0,0006 (kg/sn)	11,1	23,4
0,0009 (kg/sn)	11	19,4
0,0012 (kg/sn)	11,2	17
0,0015 (kg/sn)	11,4	15,9

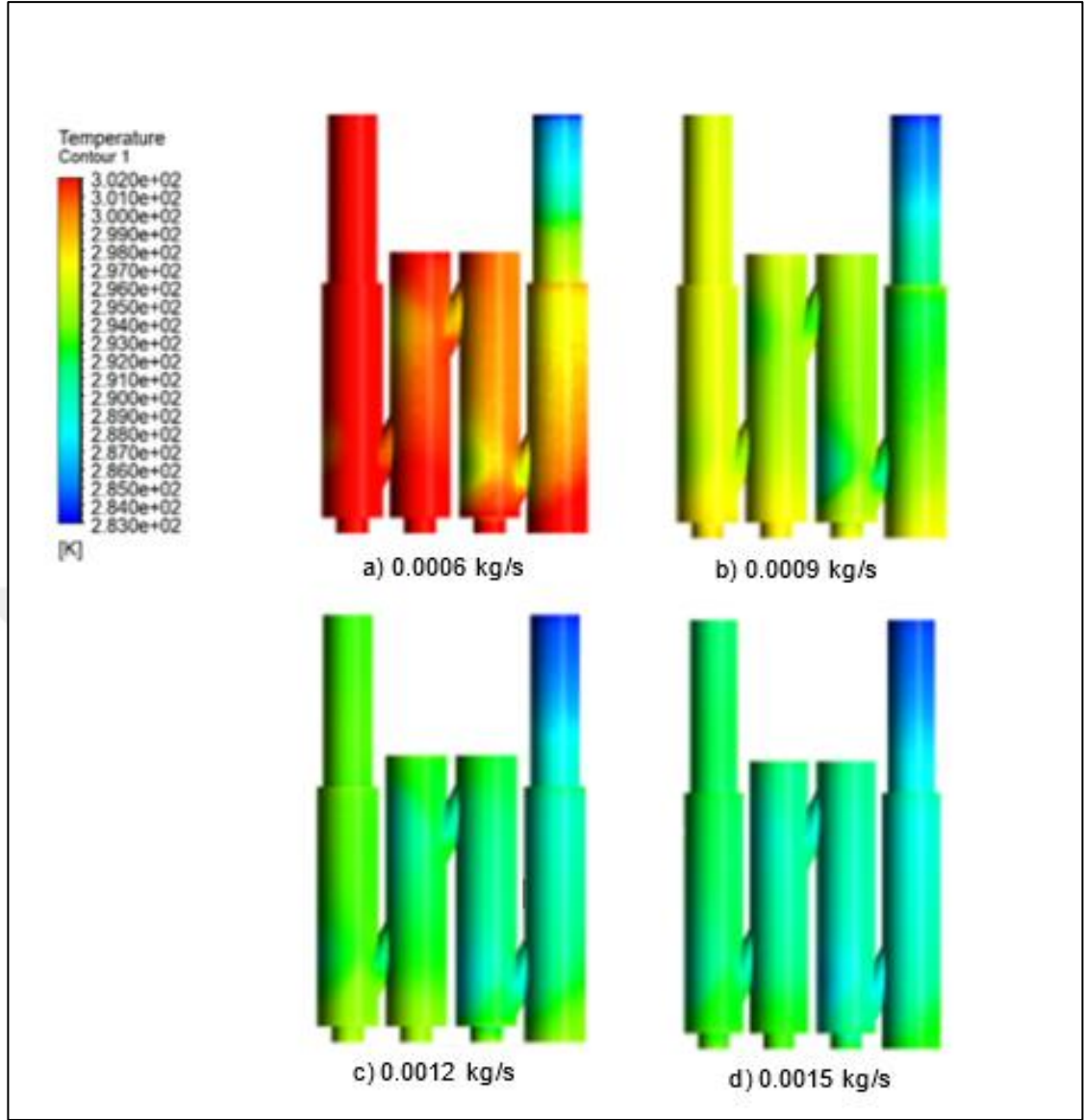
4.13. Termal Contour Görüntüleri

Su, % 0,2 Fe₃O₄ nanoakışkan ve % 0,4 Fe₃O₄ nanoakışkan ısı eşanjör (blok) T_{çıkış} sıcaklıkları arasında çok fark olmadığı için sayısal analizler, % 0,4 Fe₃O₄ nanoakışkan üzerinden incelenmiştir.

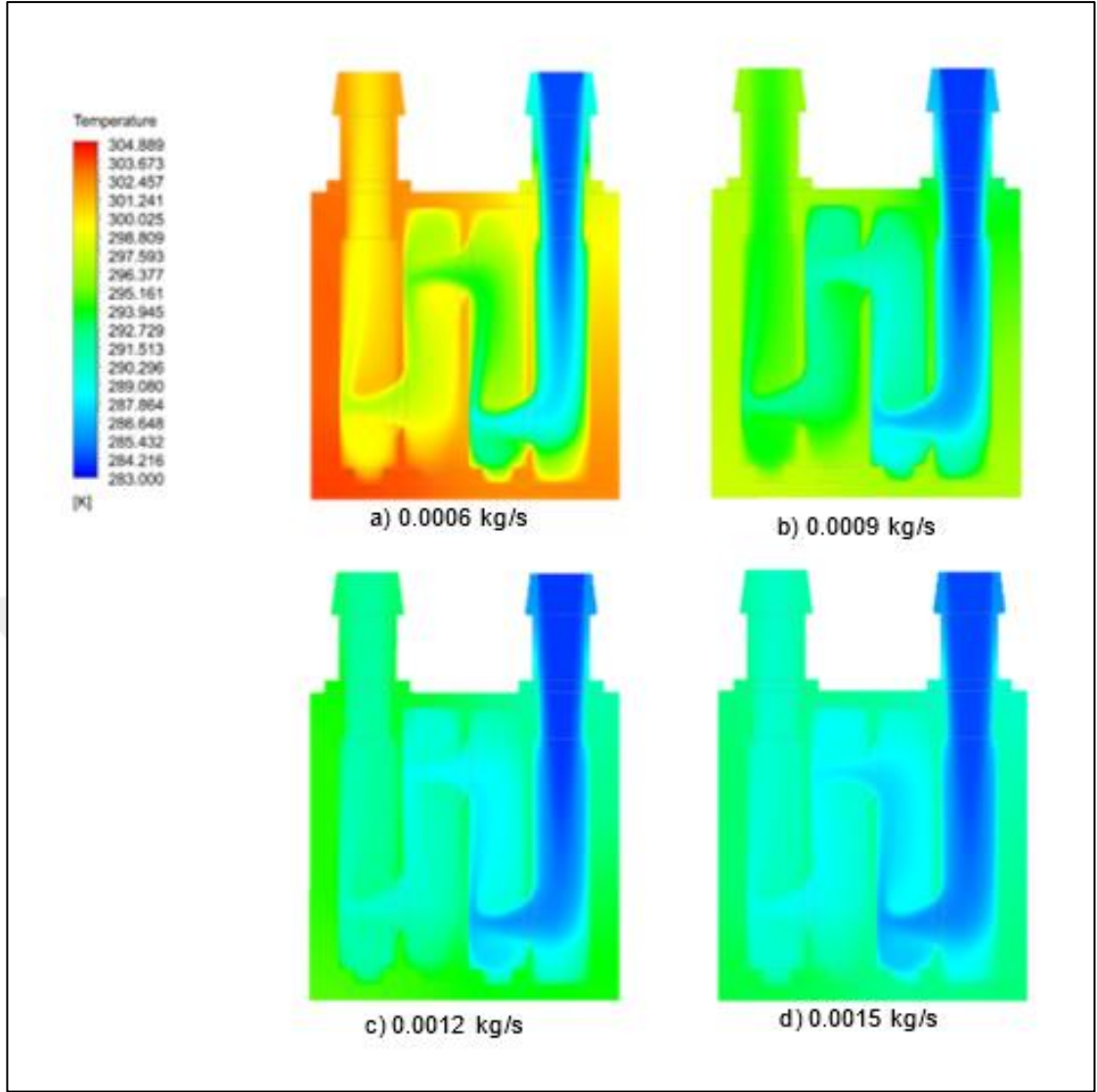


Şekil 4.12. %0,4 nanoakışkan için simüle edilmiş bloğun 3 boyutlu görüntüsü

Şekil 4.12’de sunulan sıcaklık ve hız konturları 3 boyutlu olarak sunulmuştur. Bu görüntüler akışkan hızının ve sıcaklığın davranışını analiz etmek için ön görselleştirme dağılımı olmasının yanı sıra sonraki 2 boyutlu analizlerin açıklanmasında da yararlı olmuştur.



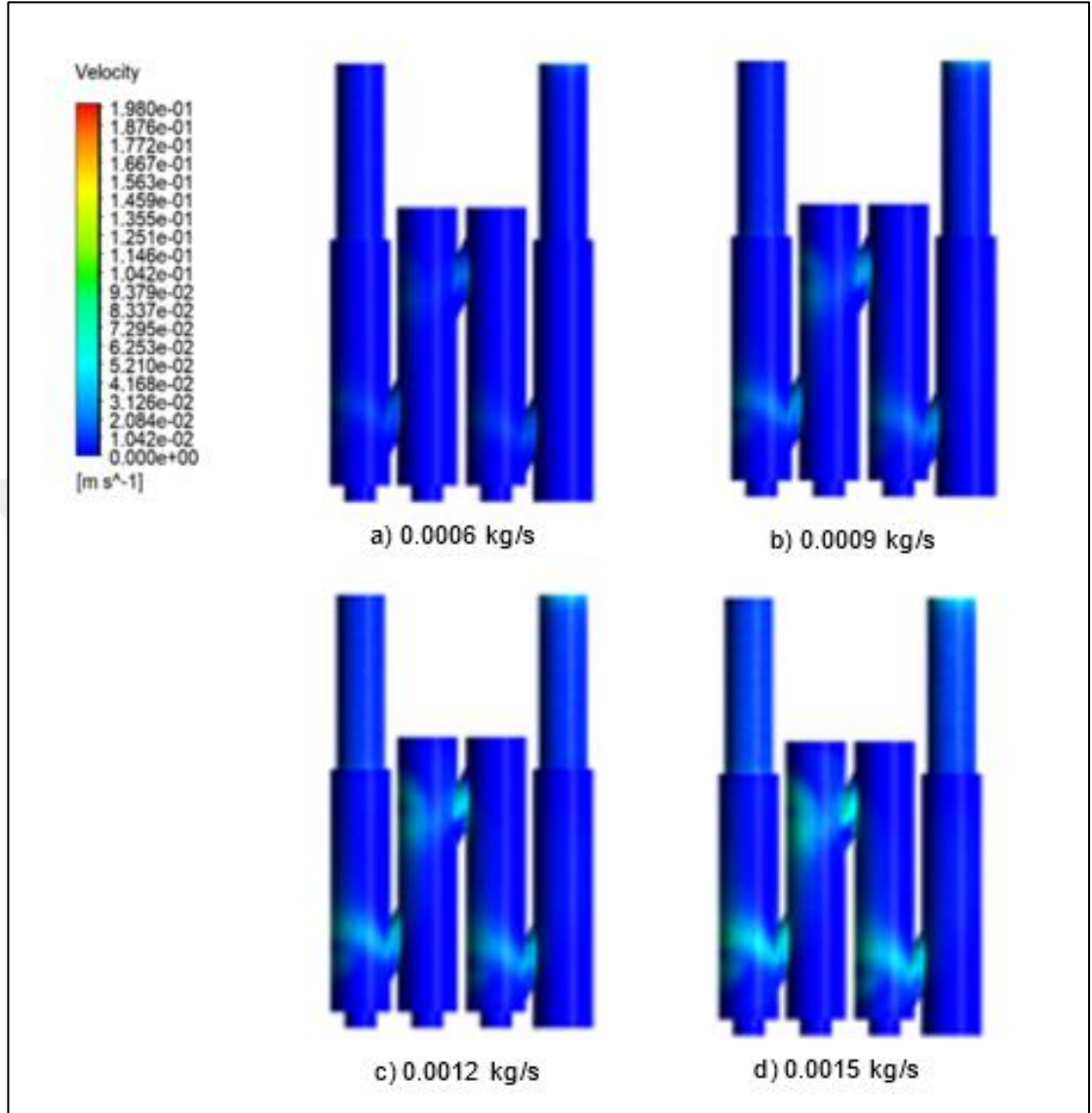
Şekil 4.13. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015(kg/s) debilerde blok geçiş duvarlarındaki akışkanın sıcaklık değişimi.



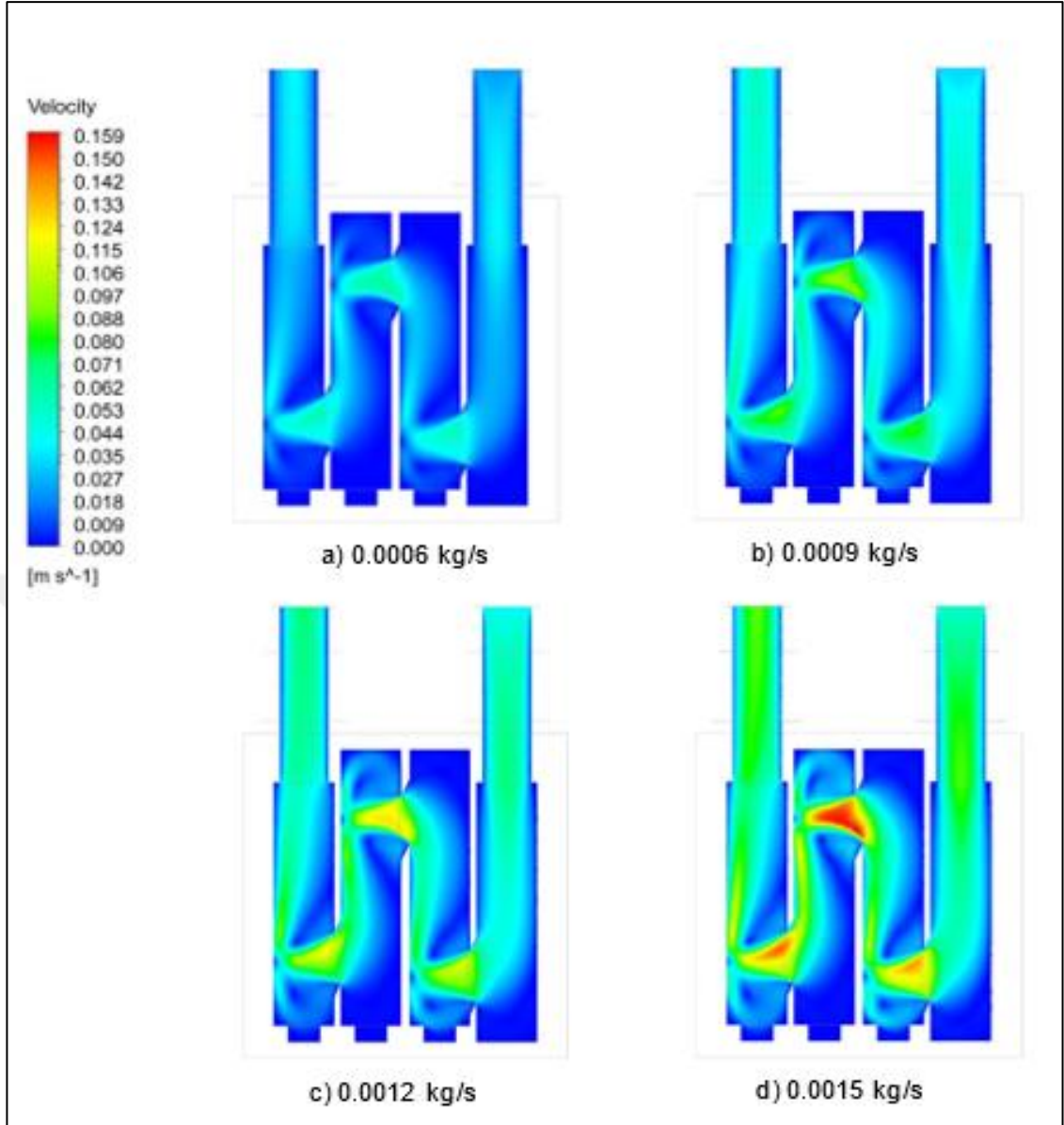
Şekil 4.14. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok kesitinde akışkanın sıcaklık değişimi.

Şekil 4.13. Şekil 4.14’de sayısal çözümlerimizin statik termal contour görüntüleri mevcuttur. Contour görüntüler, akışkanın hızına göre değişim göstermektedir. Contour sıcaklık dağılımlarında 0,0006 debi ile sisteme giren akışkan, 0,0015 debi ile sisteme giren akışkana göre daha yavaş olduğundan ve ısıyı çekmek için daha fazla zaman bulduğu için renk dağılımında gözle görülebilir farklar ortaya çıkmıştır.

4.14. İki Boyutlu Hız Görüntüleri

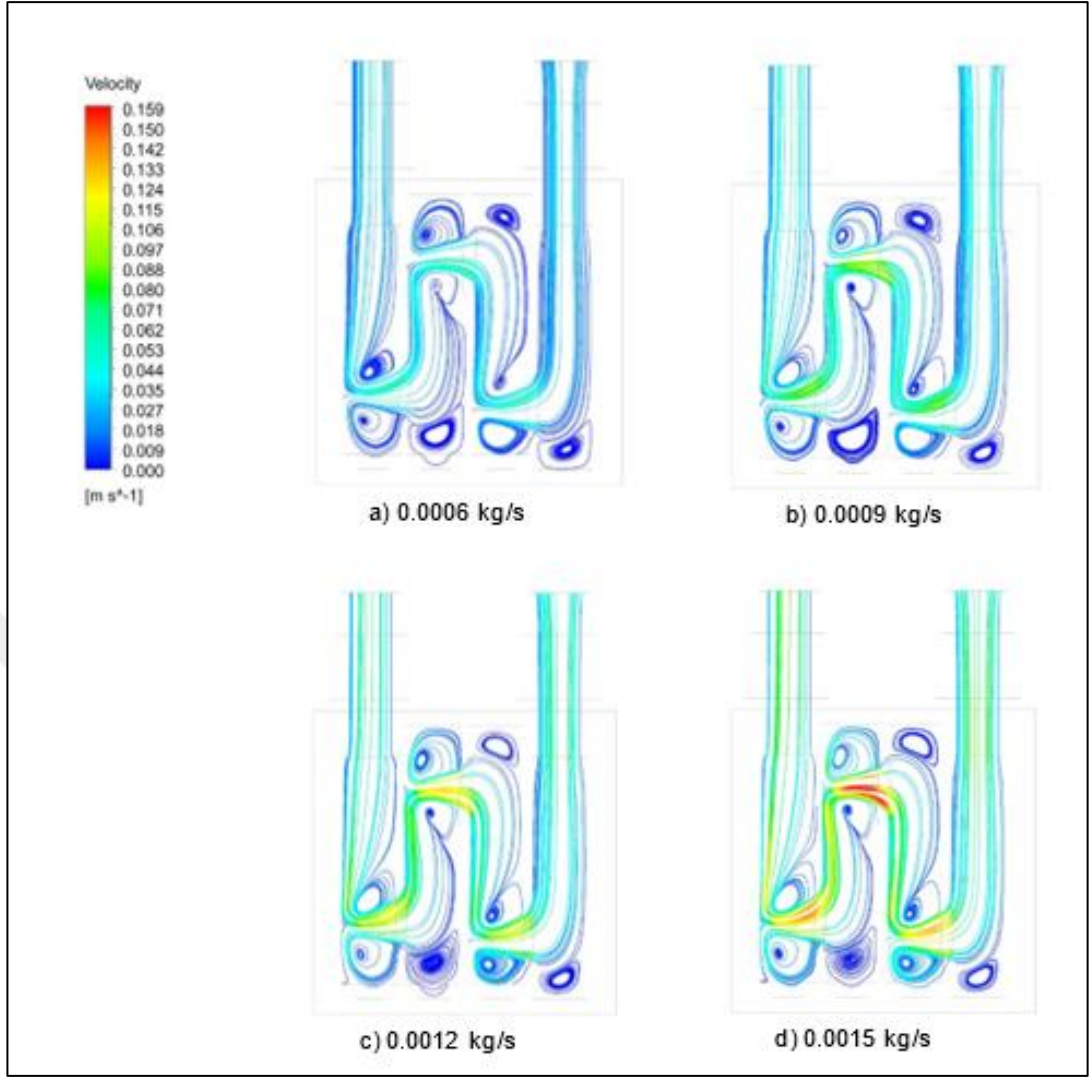


Şekil 4.15. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015(kg/s) debilerde blok geçiş duvarlarındaki akışkanın hız değişimi.



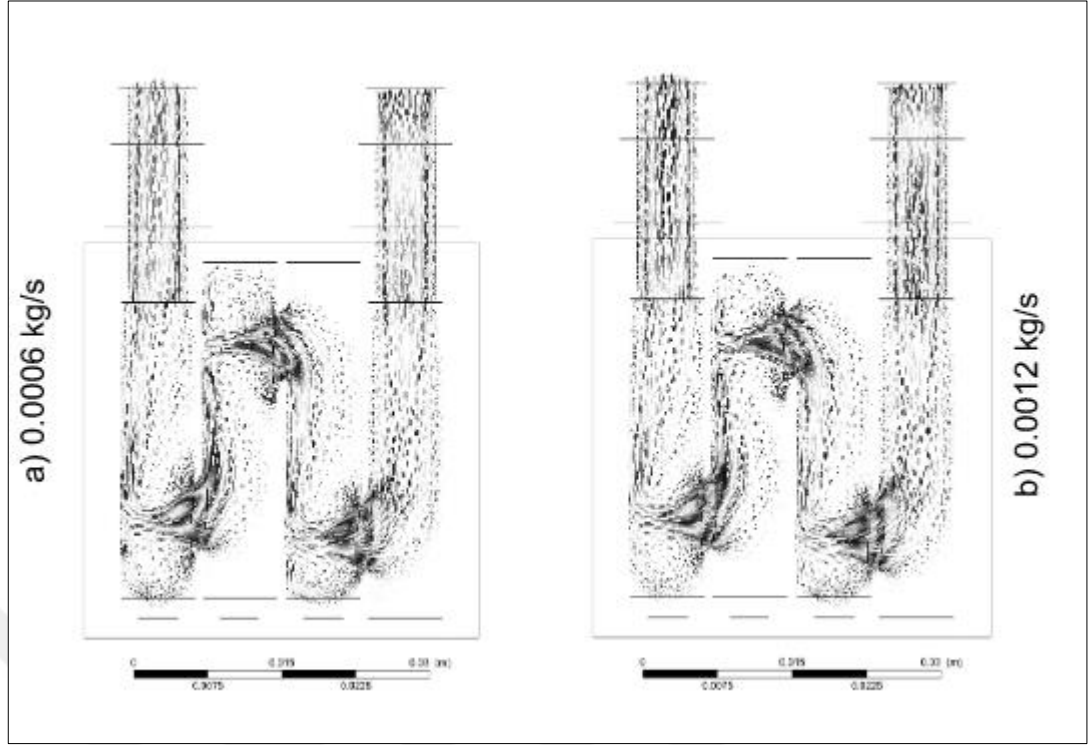
Şekil 4.16. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok kesitinde akışkanın hız değişimi.

Şekil 4.15, Şekil 4.16’da sayısal analize ait hız contour görüntüleri mevcuttur. Renk dağılımları akışkanın hızına göre değişim göstermektedir. Contour hız dağılımlarına göre cidardaki akışkanın durgun görüntüde olmasının sebebi, akışkanın cidara yaklaştıkça hızının 0’a yaklaşmasıdır. Akışkan kesiti alınmış görüntüler incelendiğinde alanın daraldığı kısımlarda akışkanın renk değişimine uğradığı görülmüştür.



Şekil 4.17. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok kesitindeki akışkanın akış çizgileri.

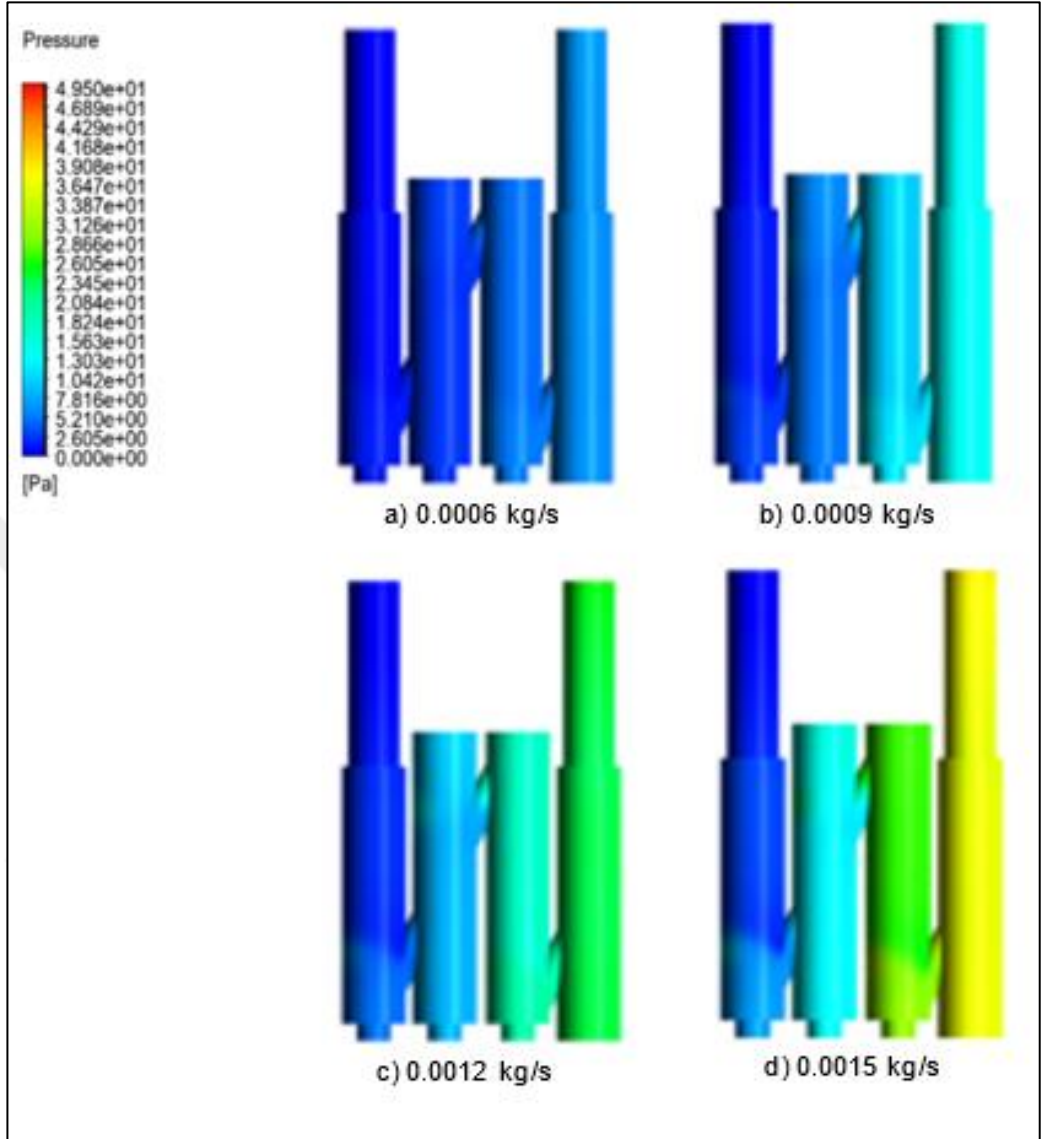
Şekil 4.17'de sayısal analize ait hız contour akış çizgileri mevcuttur. Vorteksler (girdaplar) ve akış yapısı, akışkanın giriş hızına göre değişim göstermektedir. Sıvı dönüş noktalarında dirsek geometriye sahip bölgelerde akışkanın basınç farkı daha fazla olduğu için vortekslerin daha fazla ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.18. a) 0,0006 (kg/s) ve b) 0,0012 (kg/s), akış hızlarında sıvının hız vektörü

Şekil 4.18’de anlık hız yönüne teğet olan çizgilerin hızın büyüklüğü ve yönü olan bir vektör olduğu gerçeğine göre akış çizgileri hız konturlarına karşı sunulmuştur.

4.15. İki Boyutlu Basınç Görüntüleri



Şekil 4.19. a) 0,0006 (kg/s), b) 0,0009 (kg/s), c) 0,0012 (kg/s), d) 0,0015 (kg/s) debilerde blok geçiş duvarındaki akışkanın basınç değişimi.

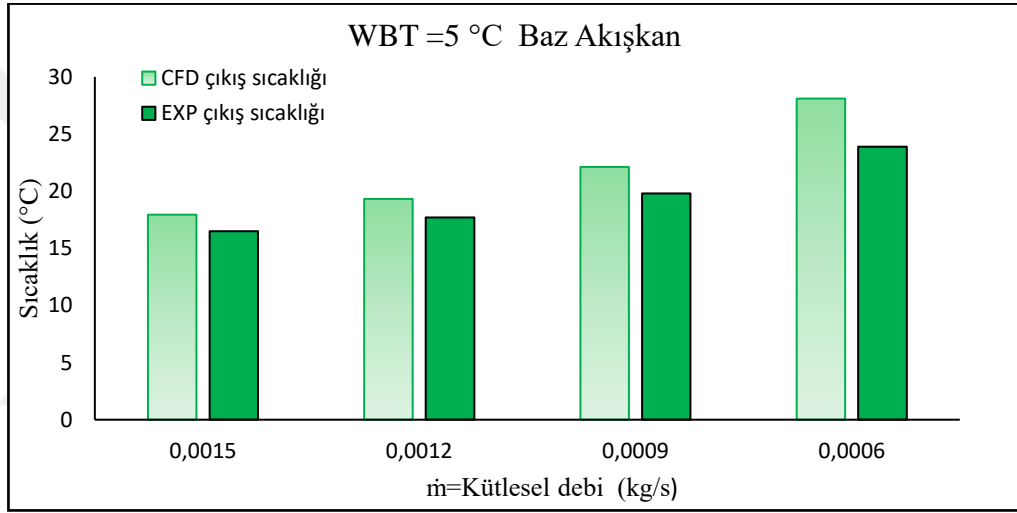
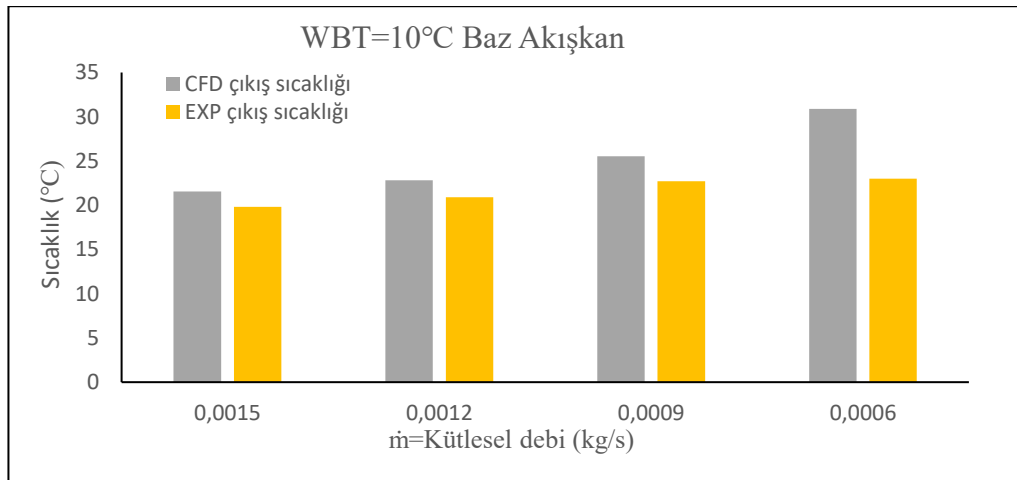
Şekil 4.19’da sayısal analize ait basınç contour görüntüleri dört farklı debi için sunulmuştur. Akışkan girişinde debiye bağlı olarak basınç konturları değişim göstermiştir.

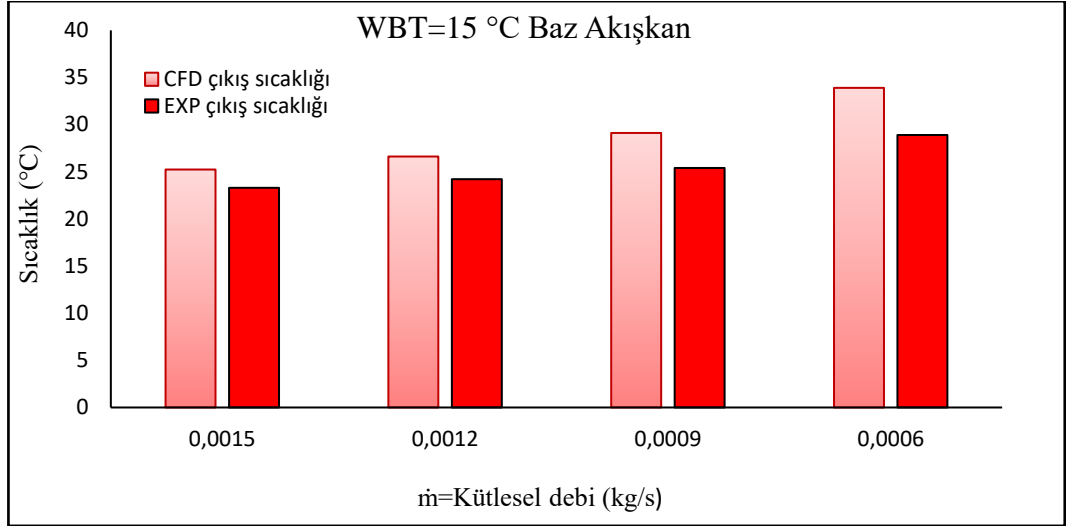
4.16. Deneysel ve Sayısal Değerlerin Karşılaştırılması

Çizelge 4.16’da sayısal ve baz akışkanın deneysel sonuçların karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4.16. Deneysel baz akışkan ve sayısal verilerin karşılaştırılması

banyo sıcaklığı	debi	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	deneysel çıkış sıcaklığı	sayısal fark	deneysel fark
5	0,0015	11,2	17,94	16,5	6,74	5,3
	0,0012	10,9	19,32	17,7	8,42	6,8
	0,0009	10,9	22,12	19,8	11,22	8,9
	0,0006	11,3	28,1	23,9	16,8	12,6
10	0,0015	14,8	21,54	19,8	6,74	5
	0,0012	14,4	22,82	20,9	8,42	6,5
	0,0009	14,3	25,52	22,7	11,22	8,4
	0,0006	14,1	30,9	23	16,8	8,9
15	0,0015	18,5	25,24	23,3	6,74	4,8
	0,0012	18,2	26,62	24,2	8,42	6
	0,0009	17,9	29,12	25,4	11,22	7,5
	0,0006	17,1	33,9	28,9	16,8	11,8

**Şekil 4.20.** 5 °C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde baz akışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.**Şekil 4.21.** 10°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde baz akışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.



Şekil 4.22. 15 °C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde baz akışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.

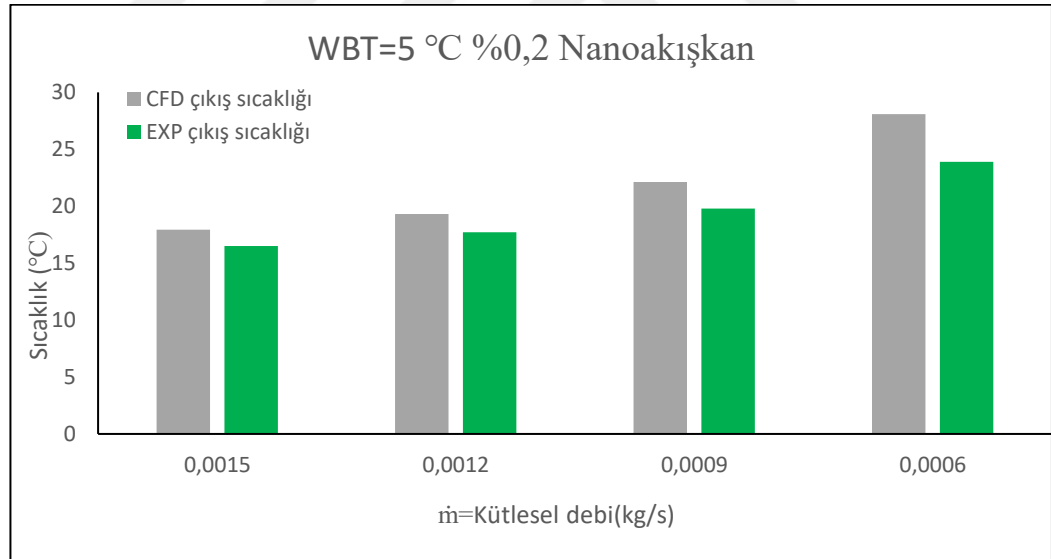
Şekil 4.20, 4.21 ve 4.22’de baz akışkan deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması verilmiştir. Her iki analizde de asıl amaç sisteme verilen giriş sıcaklıklarına karşılık gelen çıkış sıcaklıklarının ne kadar yakınsadığını gözlemlemektir. Üç farklı su banyosu sıcaklıklarında farklı debilerde deneysel ve sayısal sonuçlar kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda deneysel ve sayısal sonuçların birbirine yakınsadığı görülmüştür ve her iki karşılaştırma için de kütleli debi arttıkça orantılı bir şekilde ısı transferi de artmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.17’de sayısal ve %0,2 nanoakışkanın deneysel sonuçların karşılaştırılması verilmiştir.

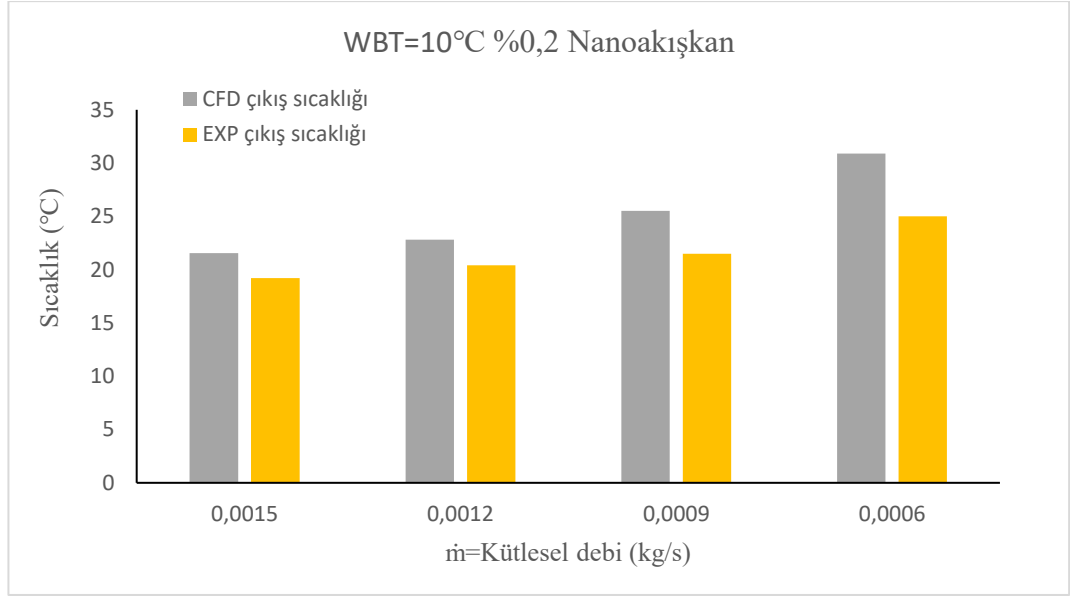
Çizelge 4.17. Deneysel %0,2 nanoakışkan ve sayısal verilerin karşılaştırılması

banyo sıcaklığı	debi	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	deneysel çıkış sıcaklığı	sayısal fark	deneysel fark
5	0,0015	11,6	17,94	15,8	6,34	4,2
	0,0012	11,6	19,32	17	7,72	5,4
	0,0009	11,6	22,12	18,8	10,52	7,2
	0,0006	12,1	20,4	22,3	8,3	10,2
10	0,0015	15	21,54	19,2	6,54	4,2
	0,0012	14,9	22,82	20,4	7,92	5,5
	0,0009	14,7	25,52	21,5	10,82	6,8
	0,0006	14,4	30,9	25	16,5	10,6
15	0,0015	18,7	25,24	22,7	6,54	4
	0,0012	18,5	26,62	23,6	8,12	5,1
	0,0009	18,2	29,12	24,7	10,92	6,5
	0,0006	17,6	33,9	27,3	16,3	9,7

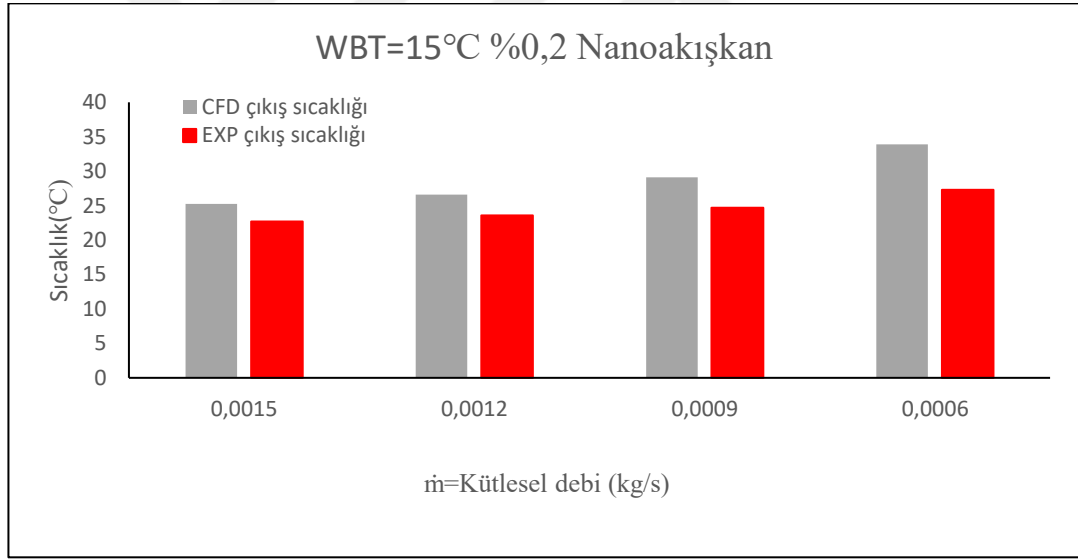


Şekil 4.23. 5°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,2 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.24. 10°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,2 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.



Şekil 4.25. 15°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,2 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.

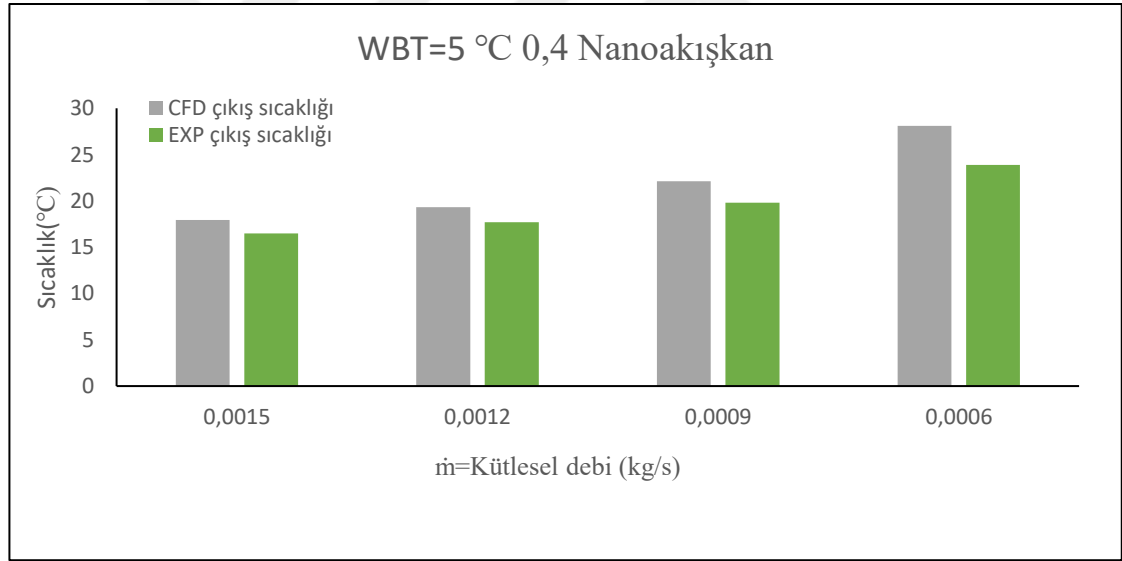
Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25'de %0,2 nanoakışkan deneysel sonuçların ve sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması verilmiştir. Her iki analizde de asıl amaç sisteme verilen giriş sıcaklıklarına karşılık gelen çıkış sıcaklıklarının ne kadar yakınsadığını gözlemlemektir. Üç farklı su banyosu sıcaklıklarında farklı debilerde deneysel ve sayısal sonuçlar kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda deneysel ve sayısal sonuçların birbirine

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

yakınsadığı görülmüştür ve her iki karşılaştırma için de kütlelel debi arttıkça orantılı bir şekilde ısı transferi de artmıştır.

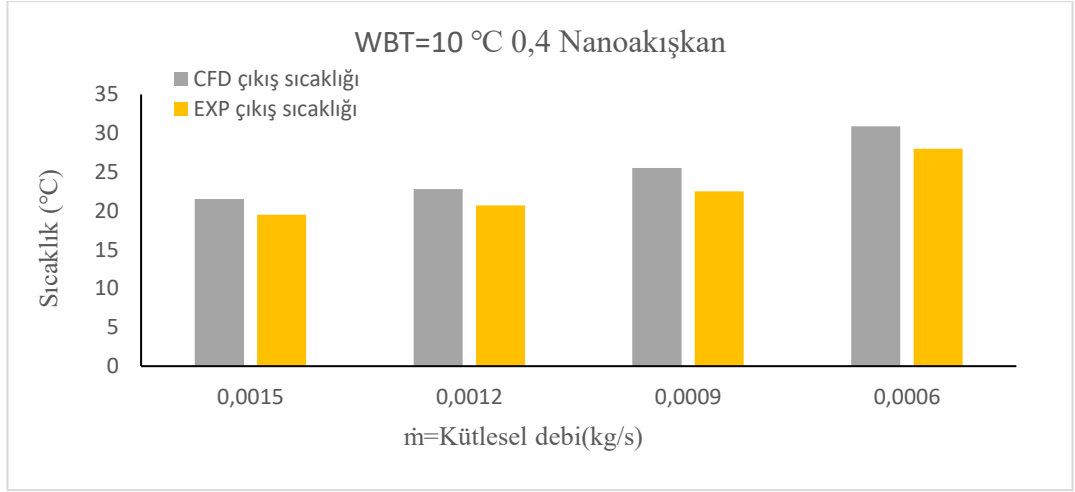
Çizelge 4.18. Deneysel %0,4 nanoakışkan ve sayısal verilerin karşılaştırılması

banyo sıcaklığı	debi	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	deneysel çıkış sıcaklığı	sayısal fark	deneysel fark
5	0,0015	11,4	15,9	15,8	4,5	4,4
	0,0012	11,2	17	17	5,8	5,8
	0,0009	11	19,4	18,8	8,4	7,8
	0,0006	11,1	23,4	22,3	12,3	11,2
10	0,0015	15	21,54	19,5	6,54	4,5
	0,0012	14,8	22,82	20,7	8,02	5,9
	0,0009	14,6	25,52	22,5	10,92	7,9
	0,0006	12,3	30,9	28	18,6	15,7
15	0,0015	19	25,24	23,2	6,24	4,2
	0,0012	18,5	26,62	23,9	8,12	5,4
	0,0009	18,2	29,12	25,4	10,92	7,2
	0,0006	17,7	33,9	28,8	16,2	11,1

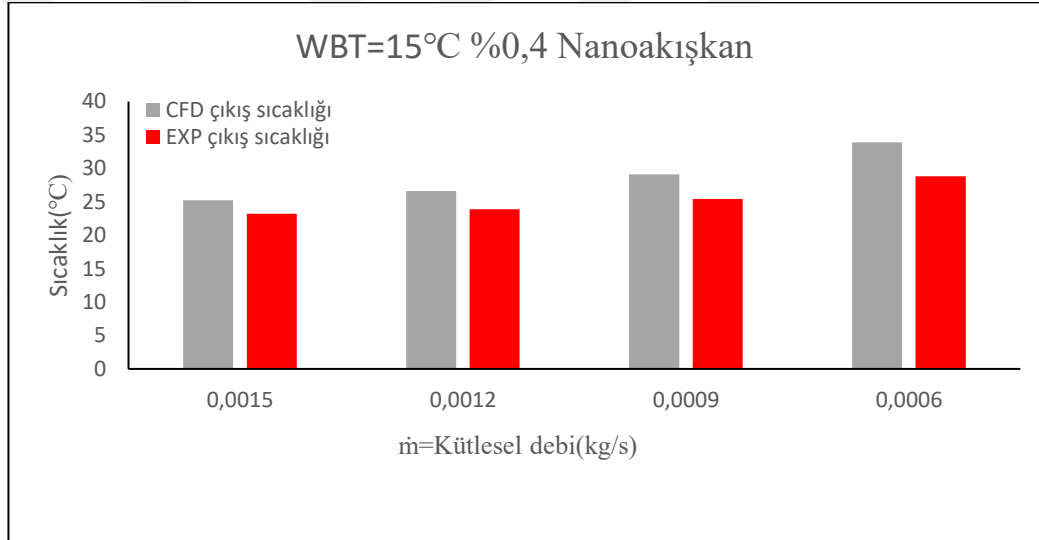


Şekil 4.26. 5°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,4 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.27. 10°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,4 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.



Şekil 4.28. 15°C sıcaklıkta akışkan için farklı debilerde %0,4 nanopartikül içerikli nanoakışkanın deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.

Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28'de %0,4 nanoakışkan deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması verilmiştir. Her iki analizde de asıl amaç sisteme verilen giriş sıcaklıklarına karşılık gelen çıkış sıcaklıklarının ne kadar yakınsadığını gözlemlemektir. Üç farklı su banyosu sıcaklıklarında farklı debilerde deneysel ve sayısal sonuçlar kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda deneysel ve sayısal sonuçların birbirine yakınsadığı görülmüştür ve her iki karşılaştırma için de kütleli debi arttıkça orantılı bir şekilde ısı transferi de artmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada mini kanallı bir blok(ısı eşanjör) için geri dönüştürülmüş nanoakışkan ile çalıştırılan alüminyum soğutma bloklarının termal performansı incelenmiştir. Çalışmada iş akışkanı olarak saf su (H_2O) ile hacimsel partikül oranı %0,2 ve %0,4 olan saf su bazlı Fe_3O_4 nanoakışkanı kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Geri dönüştürülmüş nanopartiküller kullanarak su bazlı nanoakışkan (Fe_3O_4 -su) üretilmiştir. Elde edilen nanoakışkanı kullanarak termal sonuçlarda ısı transferi yönünden bir miktar iyileşme sağlanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre nanoakışkanın ısı geçişinin suya oranla bir miktar fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bazı deneysel blok çıkış sıcaklık değerlerin birbirlerine yakınsadığı görülmüştür.

Temel akışkan olan saf suya (H_2O) geri dönüştürülmüş Fe_3O_4 nanopartiküllerin ilave edilerek nanoakışkan ile çalışan alüminyum soğutma bloklarının termal performansını değerlendirmek için deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmıştır.

Deneysel analizler üç farklı su banyosu sıcaklığında ($5^{\circ}C, 10^{\circ}C, 15^{\circ}C$) ve dört farklı kütleli debide (0,0006 kg/s, 0,0009 kg/s, 0,0012 kg/s, 0,0015 kg/s) incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, hem kütleli debi sabit tutularak hem de su banyosu sıcaklıkları sabit tutularak karşılaştırılma yapılmıştır. Isı eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları zamana bağlı olarak incelenmiştir. Kütleli debi arttıkça suyun çıkış sıcaklığının azaldığı gözlemlenmiştir. En yüksek su çıkış sıcaklığının H_2O için 0,0006 (kg/s) debide, $15^{\circ}C$ su banyosunda olduğu gözlemlenmiştir. Nanopartikül içerikli nanoakışkan için ise en yüksek su çıkış sıcaklığı %0,4 hacimsel oranda 0,0006 (kg/s) debide, $15^{\circ}C$ su banyosu sıcaklığında olduğu görülmüştür. Kütleli debi arttıkça kararlı olma süresinin kısaldığı görülmüştür.

Alüminyum soğutma bloğunun bir yüzeyine etkin bir şekilde ısı transferi sağlamak için Peltier modülü bağlanmıştır. Bağlantı için yüksek ısı iletkenliğe sahip gres HY510 kullanılmıştır

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sayısal analizde modeli simüle etmek için ANSYS /FLUENT yazılımı kullanılmıştır. Sonuçlar simülasyon kullanılarak 3B olarak çözülmüş, Contour görüntüleri ise hem 2B hem de 3B olarak ele alınmıştır. Gerekli diyagramlar sıcaklık ve hız konturları şeklinde sunulmuştur. Contour görüntüleri, farklı debilerde aynı skala üzerinden değerlendirilmiştir. Akışkan giriş sıcaklıkları değiştiğinden ötürü suyun çıkış sıcaklıklarında da değişkenlik göstermiş termal contour görüntülerinde fark yakalanmıştır.

Sayısal analizde sıcaklık dağılımı contour görüntüleri kütleli debiye göre değişim göstermektedir. Contour sıcaklık dağılımlarında 0,0006 (kg/s) debi ile sisteme giren akışkan, 0,0015 (kg/s) debi ile sisteme giren akışkana göre daha yavaş olduğu için ısıyı çekmek için daha fazla zaman bulmuştur ve renk dağılımında gözle görülebilir farklar ortaya çıkmıştır.

Contour hız dağılımlarına göre cidardaki akışkanın durgun görüntüde olmasının sebebi akışkanın cidara yaklaştıkça hızı 0'a yaklaşmasıdır. Bu durumu kaymama sınır şartı ile de açıklanabilir. Hareketsiz bir yüzey üzerinde hareket eden akışkan kaynama şartı sonucu tamamen durur ve o yüzeyde kayma olmaz. Ayrıca akışkan kesiti alınmış görüntüleri incelendiğinde alanın daraldığı kısımlarda akışkanın hızının arttığı açık bir şekilde ortaya konulmuştur.

Akışkanların deneysel çıkış sıcaklıkları ile sayısal analiz çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması verilmiştir. Her iki analizde de asıl amaç sisteme verilen giriş sıcaklıklarına karşılık gelen çıkış sıcaklıklarının ne kadar yakınsadığını gözlemlemektir. Üç farklı su banyosu sıcaklıklarında farklı debilerde deneysel ve sayısal sonuçlar kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda deneysel ve sayısal sonuçların birbirine yakınsadığı görülmüştür ve her iki karşılaştırma için de kütleli debi arttıkça orantılı bir şekilde ısı transferi de artmıştır.

Çalışmalar bittikten sonra nanoakışkanın nanopartiküllerin su ile birbirinden ayrışıp ayrışmadığı zamana bağlı olarak incelenmiştir. Yapılan gözlemlerde zaman geçtikçe nanoakışkan içerisindeki yerçekimi kuvveti arttığından ötürü zamanla nanopartiküller dibeye çökerek saf su ayrılmıştır. Bu işlem için haftalarca gözlem yapılmış 10. haftada partiküllerin tamamen dibeye çöktüğü gözlemlenmiştir. Bu da kullandığımız

nanopartiküllerin geri dönüştürölüp tekrar kullanılmasına zemin hazırlamıştır.

Literatürde çalışma ile ilgili hem deneysel hem de sayısal karşılaştırmalı iki çalışmayı bir arada bulunduran çalışmalar çok az olduğundan, bu iki karşılaştırmayı bir arada bulunduran çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünölmüş sonraki çalışmalarda test bölgesinin farklı boyutları bir arada bulunduran ısı eşanjörlere farklı parametreler eklenerek çalışmaların ilerletilebileceği öngörölmüştür.



KAYNAKLAR

- Akbari, O. A., Toghraie, D. ve Karimipour, A. 2016. Numerical simulation of heat transfer and turbulent flow of water nanofluid copper oxide in rectangular microchannel with semi attached rib. *Journal Sage*, 8(4), 1–25.
- Akbari, O. A., Safaei, M. R., Goodarzi, M., Akbar, N. S., Zarringhalam, M., Shabani, G. A. S. ve Dahari, M. 2016. A modified two-phase mixture model of nanofluid flow and heat transfer in 3-D curved microtube. *Advanced Powder Technology*, 27(5), 2175–2185.
- Akoh, H., Tsukasaki, Y., Yatsuya, S. ve Tasaki, A. 1978. Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate. *Journal of Crystal Growth*, 45, 495–500.
- Al-Rashed, A., Ranjbarzadeh, R., Aghakhani, S., Aghakhani, S., Soltanimehr, M., Afrand, M. ve Nguyen, T. K. 2019. Entropy generation of boehmite alumina nanofluid flow through a minichannel heat exchanger considering nanoparticle shape effect. *Statistical Mechanics and its Applications*, 521, 724-736.
- Albadr, J., Tayal, S. ve Alasadi, M. 2013. Heat transfer through heat exchanger using Al_2O_3 nanofluid at different concentrations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 1, 38-44.
- Amin, T. E., Roghayeh, G. ve Fatemeh, R. 2015. Evaluation of nanoparticle shape effect on a nanofluid based flat-plate solar collector efficiency. *Energy Exploration Exploitation*, 5, 659–676.
- Anonim, 2003. Web sitesi: <http://www.mesh.com.tr/tek-fazli-akim-analizleri.mhtml>, Erişim Tarihi: 15.08.2022.
- Aslan, O. 2021. Farklı en/boy oranlarına sahip dörtgen kanallarda nanoakışkan akışının ve ısı transferinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 74, Karabük.
- Bagherzadeh, F., Saffar-Avval, M., Seyfi, M. ve Abbassi, A. 2017. Numerical investigation of nanofluid heat transfer in helically coiled tubes using the four-equation model. *Advanced Powder Technology*, 28, 256–265.
- Bahmani, M. H., Sheikhzadeh, G., Zarringhalam, M., Akbari, O. A., Alrashed, A., Shabani, G. A. S. ve Goodarzi, M. 2022. Investigation of turbulent heat transfer and nanofluid flow in a double 5 pipe heat exchanger. *Advanced Powder Technology*, 29(2), 273-282.
- Bahreghmand, S. ve Abbassi, A. 2016. Heat transfer and performance analysis of nanofluid flow in helically coiled tube heat exchangers. *Chemical Engineering Research and Design*, 109, 628-637.

- Başyazıcı, İ. U. 2007. İki fazlı akışlara sayısal yöntemlerin uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 102, İstanbul.
- Bulut, H. 2005. Termoelektrik soğutma sistemleri. Soğutma Dünyası, 31(1), 9-16.
- Chun, B. H., Kang, H. U. ve Kim, S. H. 2008. Effect of alumina nanoparticles in the fluid on heat transfer in double-pipe heat exchanger system. Korean Journal of Chemical Engineering, 25(5), 966-971.
- Chung, M., Miskovsky, N. M., Cutler, P. H., Kumar, N. ve Patel, V. 2003. Theoretical analysis of a field emission enhanced semiconductor thermoelectric cooler. Solid-State Electronics, 47(10), 745-1751.
- Crane, D. T. ve Jackson, G. S. 2004. Optimization of cross flow heat exchangers for thermoelectric waste heat recovery. Energy Conversion and Management, 45(9-10), 1565-1582.
- Crowe, C., Sommerfeld, M. ve Tsuji, Y. 1998. Multiphase flows with droplets and particles. CRC Press, 471, United States of America.
- Cuce, E., Guclu, T. ve Cuce, P. M. 2020. Pinar Mert Cuce Improving thermal performance of thermoelectric coolers (TECs) through a nanofluid driven water to air heat exchanger design an experimental research. Energy Conversion and Management, 214, 112-893.
- Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Literatür yayınevi, 870, İstanbul.
- Çengel, Y. A. 2012. Isı ve Kütle Transferi, Güven Bilimsel yayınevi, 879, İzmir.
- Çelik, H. 2019. İçerisine kanatçık yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli mikrokanallarda nanoakışkan akışının sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 66, Sakarya.
- Çiloğlu, D., Bölükbaşı, A ve Çifçi, H. 2015. Küresel yüzeylerde nanoakışkanlarda kaynama ısı transferinin deneysel olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(3), 405-415.
- Das, S. K., Putra, N., Thiesen, P. ve Roetzel, W. 2003. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, Journal Heat Transfer, 125(4), 567-574.
- Daş, M., Demirpolat, A. B. 2019. Bir nanoakışkanın farklı ph değerlerindeki ısı transfer katsayılarının belirlenmesi ve karar ağacı algoritması ile modellenmesi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2), 1056-1067.
- Dirlik, A. 2018. Nanoakışkanlarda doğal taşınım ile ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 57, İstanbul.

- Doğan, A. ve Öney, B. 2014. Alüminyum köpük ısı alıcılardan taşınım ile ısı transferinin deneysel olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(1), 71-78.
- Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Thompson, L. J. ve Lee, S. 1997. Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. Materials Research Society Symposium-Proceedings, 457, 3-11.
- Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W. ve Thompson, L. J. 2001. Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. Applied Physics Letters, 78(6), 18–720.
- Ebrahimnia-Bajestana, E., Moghadam, M. C., Niazmand, H., Daungthongsuk, W. ve Wongwises, S. 2016. Experimental and numerical investigation of nanofluids heat transfer characteristics for application in solar heat exchangers. International Journal of Heat and Mass Transfer, 92, 1041–1052.
- Erdem, M., Fırat, M. ve Varol, Y. 2021. Al₂O₃-Su nanoakışkanının manyetik alan altında akış karakteristiklerinin sayısal analizi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(2), 401-412.
- Filiz, D. 2017. Numerical prediction of forced convection and pressure drop characteristics for turbulent flow of al₂O₃/water nanofluid in a circular pipe. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering, 103, İstanbul.
- Garoosi, F., Hoseininejad, F. ve Rashidi, M. M. 2016. Numerical study of heat transfer performance of nanofluids in a heat exchanger. Applied Thermal Engineering, 105, 436–455.
- Goharshadi, E. K., Ahmadzadeh, H., Samiee, S. ve Hadadian, M. 2013. Nanofluids for heat transfer enhancement-a review. Physical Chemistry Research, 1(1), 1-33.
- Goodarzi, M., Safaei, M. R., Vafai, K., Ahmadi, G., Dahari, M., N. Jomhari, Kazi, S. N. ve Jomhari, N. 2014 . Investigation of nanofluid mixed convection in a shallow cavity using a two- phase mixture model. International Journal of Thermal Sciences, 75, 204–220.
- Güneş, H., Çadırcı, S., Kibar, A. ve Kemerli, M. 2020. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Temelleri ve Uygulamaları, Palme Yayınevi, 477, Ankara.
- Gürdal, M., Pazarlıoğlu, H. K., Arslan, K. ve Gedik, E. 2021. Çukur Kanatçıklı Dairesel Kesitli Bir Kanal İçerisindeki Laminar Akışın Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. ULIBTK'21 Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 08-10 Eylül, Kastamonu Üniversitesi, 8, Gaziantep.
- Hashemi, S. M. ve Akhavan-Behabadi, M. A. 2012. An empirical study on heat transfer and pressure drop characteristics of CuO–base oil nanofluid flow in a horizontal helically coiled tube under constant heat flux. International Journal of Heat and Mass Transfer, 3(9), 144–151.

- Hojjat, M., Etemad, S. G., Bagheri, R. ve Thibault. J. 2011. Convective heat transfer of non-Newtonian nanofluids through a uniformly heated circular tube. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(4), 525–531.
- Huminić, G. ve Huminić. A. 2012. Application of nanofluids in heat exchangers a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5625-5638.
- İnada, A. A. 2017. Nanopartikül şekil etkisinin ve iletken köşe bölmesinin nanoakışkanla dolu bir kavitede doğal taşınım etkisinin sayısal analizi. Yüksek lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 102, Manisa.
- İslamoğlu, Y. ve Aybek, Ş. A. 2017. Performance Prediction of Thermoelectric Generator Using Finite Element Method, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 18-20 April, Trakya University, 10, Edirne.
- Jafaryar, M., Sheikholeslami, M. ve Zhixiong, L. 2018. CuO-water nanofluid flow and heat transfer in a heat exchanger tube with twisted tape turbulator. *Powder Technology*, 336, 131-143.
- Jang, S. P. ve Choi, S. U. S. 2007. Effects of various parameters on nanofluid thermal conductivity. *Journal of Heat Transfer*, 129(5), 617-623.
- Khanlari, A., Tuncer, A. D., Sözen, A., Aytaç, İ., Çiftçi, E. ve Variyenli, H. İ. 2022. Energy and exergy analysis of a vertical solar air heater with nano-enhanced absorber coating and perforated baffles. *Renewable Energy*, 187, 586-602.
- Kumar, N. T. R., Bhramara, P., Addis, B. M., Sundar, L. S., K. Singh, M., C. M. ve Sousa, A. 2017. Heat transfer, friction factor and effectiveness analysis of Fe₃O₄/water nanofluid flow in a double pipe heat exchanger with return bend. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 81, 155-163.
- Kurt, H., Recebli, Z., Gedik, E., Yaltrık, H. ve Ergün, A. 2012. MR (Manyeto-Reolojik) akışkanın akış hareketlerine manyetik ve elektrik alan etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi. Tubitak Mag Proje, Proje No:110M030, 110, Karabük.
- Kwak, K. Y. ve Kim, C. Y. 2005. Viscosity and thermal conductivity of copper oxide nanofluid dispersed in ethylene glycol. *Korea-Australia Rheology Journal*, 17(2), 35-40.
- Lee, S., Choi, S. U. S., Li, S. ve Eastman, J. A. 1999. Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. *Journal of Heat Transfer*, 121(2), 280–289.
- Lee, P. S., Garimella, S. V. ve Liu D. 2005. Investigation of heat transfer in rectangular microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 1688– 1704.
- Lo, C. H., Tsung, T. T., Chen, L. C., Su, C. H. ve Lin, H. M. 2005. Fabrication of copper oxide nanofluid using submerged arc nanoparticle synthesis system. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(2), 313–320.

- Malvandi, A., Safaei, M. R., Kaffash, M. H. ve Ganji, D. D. 2015. Mhd mixed convection in a vertical annulus filled with Al₂O₃-water nanofluid considering nanoparticle migration. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 382, 296–306.
- Masuda, H., Ebata, A. ve Teramae, K. 1993. Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of γ -Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles). *Netsu Bussei*, 4, 227–233.
- Menni, Y., Chamkha, A. J. ve Ameer, H. 2020. Advances of nanofluids in heat exchangers-a review. *Heat Transfer*, 49(8), 4321-4349.
- Mohammed, H. A. ve Narrein K. 2012. Thermal and hydraulic characteristics of nanofluid flow in a helically coiled tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(9), 1375-233
- Mohammed, H. A., Bhaskaran, G., Shuaib, N. H., ve Saidur, R. 2011. Numerical study of heat transfer enhancement of counter nanofluids flow in rectangular microchannel heat exchanger. *Superlattices and Microstructures*, 50(3), 215-233.
- Mohammadian, S. K., Seyf, H. R. ve Zhang, Y. 2014. Performance augmentation and optimization of aluminum oxide-water nanofluid flow in a two-fluid microchannel heat exchanger. *Journal of Heat Transfer*, 136(2), 9.
- Mukherjee, S. ve Paria, S. 2013. Preparation and stability of nanofluids-a review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9(2), 63-69.
- Murshed, S. M. S., Leong, K. C. ve Yang, C. 2005. Enhanced thermal conductivity of TiO₂ water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 44, 367–373.
- Nakhchi, M. E. ve Esfahani, J. A. 2018. Cu-water nanofluid flow and heat transfer in a heat exchanger tube equipped with cross-cut twisted tape. *Powder Technology*, 339, 985-994.
- Namburu, P. K., Das, D. K., Tanguturi, K. M. ve Vajjha, R. S. 2009. Numerical study of turbulent flow and heat transfer characteristics of nanofluids considering variable properties. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(2), 290–302.
- Naphon, P., Assadamongkol, P. ve Borirak, T. 2008. Experimental investigation of titanium nanofluids on the heat pipe thermal efficiency. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(10), 316–1319.
- Okulu, D. 2020. Nanoakışkan kullanımının termoelektrik güç üretimine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 118, Manisa.
- Rajpoot, R. S., Dhinakaran, S. ve Alam, M. M. 2021. Numerical analysis of mixed convective heat transfer from a square cylinder utilizing nanofluids with multi-phase modelling approach. *Energies*, 14(17), 5485.
- Riffat, S. B. ve Ma, X. 2003. Thermoelectrics: a review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(8), 913-935.

- Sakin, A. 2017. Siklon ayırıcılarda iki fazlı türbülanslı akışın modellenmesi ve performans analizi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 196, Bursa.
- Shahmohammadi, P. ve Beiki, H. 2016. A numerical investigation of γ - Al_2O_3 -water nanofluids heat transfer and pressure drop in a shell and tube heat exchanger, *Transport Phenomena in Nano and Micro Scales*, 4(1), 29–35.
- Sundar, L. S, Singh, M. K. ve Sousa, A. C. M. 2013. Investigation of thermal conductivity and viscosity of Fe_3O_4 nanofluid for heat transfer applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 44, 7-14.
- Şahin, T. 2012. Termoelektrik soğutucuların modellenmesi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 85, İstanbul.
- Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karanlı, S., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş. ve Kaya, M. 2010. Nanoakışkanların ısı transferi ve akış karakteristiklerinin incelenmesi. Tübitak, Proje No: 105M292, 223, Erzurum.
- Şakirali, E. 2022. İyonik sıvı bazlı nanoakışkanların (iyonanoakışkan) manyetik alan altındaki akış ve ısı transferi davranışlarının sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 98, Karabük.
- Taşkesen, E. 2021. Sabit manyetik alan etkisi altında dairesel kesitli kanal içerisinde akan ferro nanoakışkanın akış ve ısı transferi karakteristiklerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 110, Karabük.
- Tuncer, A. D., Khanlari, A. ve Sözen, A. 2022. Seasonal energy-exergy analysis of a new foldable photovoltaic-thermal air collector: an experimental and numerical study. *Heat Transfer Research*, 53(14), 25-53.
- Turgut, A., Sağlanmak, Ş. ve Doğanay, S. 2016. Nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozitesinin deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 95-103.
- Ünverdi, M. 2016. Nanoakışkanlı levhalı ısı değiştirici kanallarında ısı geçişinin deneysel ve sayısal incelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 155, Sakarya.
- Vahedi, M., M. Barzi, Y. ve Firouzi, M. 2021. Two phase simulation of nanofluid flow in a heat exchanger with grooved wall. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 146, 1297–1321.
- Wang, X., Xu, X. ve Choi, S. U. S. 1999. Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13(4), 474–480.
- Xuan, Y. ve Roetzel, W. 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(19), 3701-3707.

- Xuan, Y. ve Li, Q. 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58– 64.
- Yu, W., France, D. M., Choi, S.U.S. ve Routbort, J. L. 2007. Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and other Applications, Energy System Division, Argonne National Laboratory, 1-78, Argonne.
- Zarringhalam, M., Karimipour, A. ve Toghraie, D. 2016. Experimental study of the effect of solid volume fraction and Reynolds number on heat transfer coefficient and pressure drop of CuO–Water nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 76, 342–351.
- Zhao, N., Yang, J., Li, H., Zhang, Z. ve Li, S. 2016. Numerical investigations of laminar heat transfer and flow performance of Al₂O₃–water nanofluids in a flat tube. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 92, 268–282.
- Zhu, H., Lin, Y. ve Yin., Y. 2004. A novel one-step chemical method preparation of copper nanofluids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277(1), 100-130.