



**SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA
DAİRESEL KESİTLİ KANAL İÇERİSİNDE AKAN
FERRO NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI
TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Edip TAŞKESEN

**2021
DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Engin GEDİK**

**SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA DAİRESEL KESİTLİ KANAL
İÇERİSİNDE AKAN FERRO NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Edip TAŞKESEN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Engin GEDİK**

KARABÜK

Mart 2021

Edip TAŞKESEN tarafından hazırlanan “SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA DAİRESEL KESİTLİ KANAL İÇERİSİNDE AKAN FERRO NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Engin GEDİK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 24/03/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Hüseyin KURT (NEÜ)

Üye : Prof. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KAYA (BÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Edip TAŞKESEN

ÖZET

Doktora Tezi

SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA DAİRESEL KESİTLİ KANAL İÇERİSİNDE AKAN FERRO NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Edip TAŞKESEN

Karabük Üniversitesi

Lisanüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Engin GEDİK

Mart 2021, 110 sayfa

Bu çalışmada ısı transferi uygulamalarında karşılaşılan aktif ve pasif tekniklerin bir arada kullanılmasıyla kanal içi taşınım ile ısı transferinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında laminar ve türbülanslı akış şartlarında sabit manyetik alanın ($B=0,3$ T) uygulandığı ve uygulanmadığı durumlar için dairesel kesitli kanal içerisinde akmakta olan %1,0, %2,0 ve %5,0 olmak üzere üç farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlara sahip ferronanoakışkan (Fe_3O_4/su) akışının akış ve ısı transferi karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada manyetik alan oluşturabilmek için bir elektromanyetik cihaz tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğunu gösterebilmek ve deneysel çalışmalarda

gözlemlenemeyen sıcaklık, hız ve basınç dağılımlarını gözlemleyebilmek amacıyla sayısal çalışmalar ANSYS Fluent yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre hem laminer hem de türbülanslı akış şartlarında saf su yerine nanoakışkan kullanımı taşınım ile gerçekleşen ısı transferini arttırmıştır. Deneysel sonuçlara göre, laminer akış şartlarında manyetik alanın uygulanmadığı durumda, en yüksek taşınım ile ısı transfer artış miktarı saf su kullanılan duruma göre %5,28'e varan artış sunan %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanında elde edilirken, türbülanslı akış şartlarında %20,45'e varan artış ile %1,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanında elde edilmiştir. En yüksek Darcy sürtünme faktörü değerleri ise laminer ve türbülanslı akış şartlarında sırasıyla %52,08 ve %49,85 oranları ile %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanında meydana gelmiştir. Bunun yanında, akışa manyetik alan uygulanması kanal içi ısı taşınımını arttırırken, kanal içi basınç düşümü değerlerini daha yüksek miktarlarda arttırdığı görülmüştür. Sabit manyetik alan uygulandığı durumda saf su kullanılan duruma göre laminer akış şartı için en yüksek taşınım ile ısı transferi artışı %8,32 ile %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanında elde edilirken, türbülanslı akış şartlarında bu oran %7,22 olmuştur. Ayrıca çalışmada, ısı transferi artış miktarları ve kanal içi basınç düşümü değerleri birlikte değerlendirildiğinde nanoakışkanların Performans Değerlendirme Katsayıları (PDK) belirlenmiştir. Buna göre manyetik alanın uygulanmadığı durumda laminer ve türbülanslı akış şartları için %1,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı en ideal çalışma akışkanı olmuştur. Manyetik alan uygulandığı durumda ise laminer ve türbülanslı akış şartları için %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkan daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, aynı şartlar için gerçekleştirilen sayısal çalışma sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış olup birbirleri arasındaki farkların ortalama olarak %8,0-15,0 aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Ferronanoakışkan, laminer akış, türbülanslı akış, manyetik alan, HAD ve zorlanmış taşınım.

Bilim Kodu : 91412

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF FERRO NANOFUID FLOWING IN A CIRCULAR SECTIONAL CHANNEL UNDER THE EFFECT OF CONSTANT MAGNETIC FIELD

Edip TAŞKESEN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Engin GEDİK

March 2021, 110 pages

In this study, it is aimed to improve the heat transfer by convection through the use of active and passive techniques, which are encountered in heat transfer applications. For this purpose, flow and heat transfer characteristics of ferronanofluid ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{water}$) with different nanoparticle volumetric concentration ratios (1.0%, 2.0%, and 5.0%) flowing in a circular cross-sectioned channel were studied experimentally and numerically, for the cases which a constant magnetic field ($B=0.3$ T) is applied and not applied under laminar and turbulent flow conditions within the scope of the study. In the experimental study, an electromagnetic device was designed and manufactured in order to generate a magnetic field. Numerical studies were carried out in ANSYS Fluent software in order to show the accuracy of the results obtained from the

experimental study and to observe the temperature, velocity and pressure distributions that could not be observed in experimental studies.

According to the results obtained from experimental and numerical studies, using nanofluid instead of pure water increased the convective heat transfer under both laminar and turbulent flow conditions. According to the experimental results under laminar flow conditions, the highest convective heat transfer increase in the absence of a magnetic field is obtained by 2.0% Fe₃O₄/water nanofluid with an increase of up to 5.28% compared to the case where the pure water is used, while an increase of up to 20.45% is reached by 1.0% Fe₃O₄/water nanofluid according to the experimental results under turbulent flow conditions. The highest Darcy friction factor values were acquired by 2.0% Fe₃O₄/water nanofluid with the increases of 52.08% and 49.85% under laminar and turbulent flow conditions, respectively. In addition, the application of magnetic field to the flow increased the heat transfer within the channel, while increasing the pressure drop values in the channel at higher amounts. In the case of constant magnetic field application, the highest convective heat transfer increase is obtained by 2.0% Fe₃O₄/water nanofluid with an increase of 8.32% compared to the case of pure water under laminar flow conditions, whereas it is 7.22% under turbulent flow conditions. In addition, the performance evaluation coefficients (PDK) of nanofluids were determined by evaluating the heat transfer increase amounts and the pressure drop values in the channel together in the study. Accordingly, 1.0% Fe₃O₄/water nanofluid was the most ideal working fluid for laminar and turbulent flow conditions in the absence of a magnetic field. In the case of applied magnetic field, it was determined that 2.0% Fe₃O₄/water nanofluid performed better for both laminar and turbulent flow conditions, respectively. Furthermore, the results of the numerical study performed for the same conditions were compared with the experimental results and it was determined that the differences between each other varied between 8.0-15.0% on average.

Key Word : Ferronanofluid, laminar flow, turbulent flow, magnetic field, CFD, and forced convection.

Science Code : 91412

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Engin GEDİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmam boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK, Prof. Dr. Kamil ARSLAN ve Doç.Dr. Bahadır ACAR'a, deney düzeneğinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Dr. Mutlu TEKİR'e, Dr. Öğr. Üyesi Bahri AKSU'ya, Öğr. Gör. Mehmet GÜRDAL'a ve sayısal analizlerin gerçekleştirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen Abdulla ALAKOUR'a teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarım esnasında maddi destek sağlayan Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: KBÜBAP-18-DR-185) ve 217M978 numaralı proje ile TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca üzerimde sonsuz emekleri bulunan doktora tezimi hazırladığım süreçte manevi desteklerini esirgemeyen bütün aile fertlerime tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3	18
MATERYAL VE METOD	18
3.1. DENEYSEL YÖNTEM	19
3.1.1. Deney Düzenineğinin Oluşturulması ve Deneylerin Yapılması.....	20
3.1.2. Deneysel Verilerin Hesaplanması	28
3.1.3. Belirsizlik Analizi.....	33
3.2. SAYISAL YÖNTEM	34
3.2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).....	35
3.2.2. Geometri ve Ağ Yapısının Oluşturulması	36
3.2.3. Sayısal Çözümlerlerin Gerçekleştirilmesi.....	38
BÖLÜM 4	44
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	44

	<u>Sayfa</u>
4.1. DENEYSEL SONUÇLAR.....	44
4.1.1. Laminer Akış Sonuçları.....	44
4.1.1.1. Saf Su ile Doğrulama	44
4.1.1.2. Nanoakışkan Akışı	45
4.1.1.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı.....	47
4.1.2. Türbülanslı Akış Sonuçları.....	51
4.1.2.1. Saf Su ile Doğrulama	51
4.1.2.2. Nanoakışkan Akışı	52
4.1.2.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı.....	53
4.2. SAYISAL SONUÇLAR.....	57
4.2.1. Laminer Akış Sonuçları.....	57
4.2.1.1. Saf Su ile Doğrulama	57
4.2.1.2. Nanoakışkan Akışı	58
4.2.1.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı.....	59
4.2.2. Türbülanslı Akış Sonuçları.....	60
4.2.2.1. Saf Su ile Doğrulama	60
4.2.2.2. Nanoakışkan Akışı	61
4.2.2.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı.....	62
4.3. BASINÇ, SICAKLIK VE HIZ DEĞİŞİMİ.....	64
4.3.1. Laminer Akış Sonuçları.....	64
4.3.1.1. Basınç Değişimi	64
4.3.1.2. Sıcaklık Değişimi.....	66
4.3.1.3. Hız Değişimi	68
4.3.1.4. Eksenel Hız Profili.....	71
4.3.2. Türbülanslı Akış Sonuçları.....	72
4.3.2.1. Basınç Değişimi	72
4.3.2.2. Sıcaklık Değişimi.....	74
4.3.2.3. Hız Değişimi	76
4.3.2.4. Eksenel Hız Profili.....	78
4.4. DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	80
4.4.1. Laminer Akış Şartları	80
4.4.2. Türbülanslı Akış Şartları	84

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	87
SONUÇ VE ÖNERİ.....	87
KAYNAKLAR	90
EK AÇIKLAMALAR A. KULLANILAN NANOAKIŞKANIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	100
EK AÇIKLAMALAR B. BELİRSİZLİK ANALİZİ	103
EK AÇIKLAMALAR C. NUSSELT SAYISI İÇİN BULUNAN KORELASYONLAR	106
EK AÇIKLAMALAR D. DARCY SÜRTÜNME FAKTÖRÜ İÇİN BULUNAN KORELASYONLAR	108
ÖZGEÇMİŞ	110

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışma faaliyetleri akış diyagramı.....	18
Şekil 3.2. Deneysel düzeneğin şematik resmi.....	19
Şekil 3.3. Deneysel düzeneğin görüntüsü.....	20
Şekil 3.4. Pompa ve debimetrelere ait görüntüler.....	21
Şekil 3.5. Isı akısı uygulanması için kullanılan ekipmanlar.....	21
Şekil 3.6. Isıl çiftler.....	22
Şekil 3.7. Basınç transmitteri.....	23
Şekil 3.8. Soğutma sistemi.....	23
Şekil 3.9. Üretilen bobinlerin a) önden ve b) üstten görünüşü.....	24
Şekil 3.10. Gaussmetre.....	24
Şekil 3.11. Fe ₃ O ₄ nanopartikül SEM görüntüsü.....	25
Şekil 3.12. Fe ₃ O ₄ nanopartiküllerinin XRD analizi.....	25
Şekil 3.13. Çalışmada kullanılan Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının görüntüsü.....	25
Şekil 3.14. Sistemin kararlı hale gelmesi için gerçekleştirilen deneyin sonucuna göre ortalama <i>Nu</i> değerinin zamanla değişimi, <i>Re</i> =1122 (sol), <i>Re</i> =2124 (sağ)..	26
Şekil 3.15. Manyetik alan uygulanan bölgenin konumu ve ölçümü.....	27
Şekil 3.16. Manyetik alan etkisinin ortalama <i>Nu</i> değerine etkisinin gösterimi.....	27
Şekil 3.17. HAD işlem aşamaları.....	36
Şekil 3.18. HAD Analizi işlem basamakları.....	36
Şekil 3.19. Problem geometrisi şematik gösterimi.....	37
Şekil 3.20. Laminer akış şartlarında çözüm ağı doğrulama çalışması.....	38
Şekil 3.21. Türbülanslı akış şartlarında çözüm ağı doğrulama çalışması.....	38
Şekil 3.22. Örnek sayısal çözüm ağ yapısı.....	38
Şekil 3.23. Sayısal çözümlenmeye ait matematiksel model ve yapılan kabuller.....	40
Şekil 4.1. Deneysel sonuçların literatürle karşılaştırılması a) ortalama <i>Nu</i> değeri b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.....	45
Şekil 4.2. a) Ortalama <i>Nu</i> değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün <i>Re</i> değeri ile değişimi.....	47
Şekil 4.3. a) Ortalama <i>Nu</i> değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün <i>Re</i> değeri ile değişimi, (<i>B</i> =0,3 T durumu).....	48

Şekil 4.4.	Ortalama Nu değerinin (solda) ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün (sağda) Re değeri ile değişimi, ($B=0$ ve $B=0,3$ T durumları).....	49
Şekil 4.5.	Ortalama Nu değerinin hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranına göre değişimi, ($B=0$ ve $B=0,3$ T durumları).....	50
Şekil 4.6.	Performans Değerlendirme Katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.....	51
Şekil 4.7.	Deneysel sonuçların literatür ile karşılaştırılması a) ortalama Nu değeri ve b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.....	52
Şekil 4.8.	a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	53
Şekil 4.9.	a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi, ($B=0,3$ T durumu).....	54
Şekil 4.10.	Nu değerinin (solda) ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün (sağda) Re değeri ile değişimi, ($B=0$ ve $B=0,3$ T durumları).....	55
Şekil 4.11.	Fe_3O_4/su nanoakışkanının ısı performansının hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna göre değişimi.	56
Şekil 4.12.	Performans Değerlendirme Katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.....	56
Şekil 4.13.	Sayısal sonuçların literatür ile karşılaştırılması a) ortalama Nu değeri b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.....	58
Şekil 4.14.	a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	59
Şekil 4.15.	a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi, ($B=0,3$ T DC durumu).	59
Şekil 4.16.	Performans değerlendirme katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.....	60
Şekil 4.17.	Sayısal sonuçların literatür ile karşılaştırılması a) ortalama Nu değeri b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.....	61
Şekil 4.18.	a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	62
Şekil 4.19.	a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi, ($B=0,3$ T DC durumu).	63
Şekil 4.20.	Performans değerlendirme katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.....	63
Şekil 4.21.	Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.....	64
Şekil 4.22.	Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).	65
Şekil 4.23.	Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).....	66

Şekil 4.24. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.	67
Şekil 4.25. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).	67
Şekil 4.26. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).....	68
Şekil 4.27. Akış hızının dairesel kesitli kanal boyunca değişimi.	69
Şekil 4.28. Akış hızının dairesel kesitli kanal boyunca değişimi ($B=0,3$ T DC).....	70
Şekil 4.29. Akış hızının dairesel kesitli kanal boyunca değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).	70
Şekil 4.30. Manyetik alan yokluğunda dairesel kesitli kanalın 1,25m yüzeyindeki eksenel hızın profili.	71
Şekil 4.31. Dairesel kesitli kanalın 1,25 m yüzeyindeki uygulanan manyetik alan etkisi ile eksenel hız profili.	71
Şekil 4.32. %1 %2 ve %5 Fe_3O_4 eksenel hız profili ($B=0$ ve $B=0,3$ T).	72
Şekil 4.33. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.....	73
Şekil 4.34. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC)	73
Şekil 4.35. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).....	74
Şekil 4.36. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.	75
Şekil 4.37. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).	75
Şekil 4.38. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).....	76
Şekil 4.39. Akış hızının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.	77
Şekil 4.40. Akış hızının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).	77
Şekil 4.41. Akış hızının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T)	78
Şekil 4.42. Manyetik alan yokluğunda dairesel kesitli kanalın 1,25 m yüzeyindeki eksenel hız profili.	79
Şekil 4.43. Dairesel kesitli kanalın 1,25 m yüzeyindeki uygulanan manyetik alan etkisi ile eksenel hız profili.	79
Şekil 4.44. %1,0, %2,0 ve %5,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı için eksenel hız profili ($B=0$ ve $B=0,3$ T).....	80
Şekil 4.45. a) Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için deneysel ve sayısal b) Sonuçların karşılaştırılması.	81
Şekil 4.46. Çalışma akışkanı olarak %1,0 Fe_3O_4 /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.	82

Sayfa

Şekil 4.47. Çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe ₃ O ₄ /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması	83
Şekil 4.48. Çalışma akışkanı olarak %5,0 Fe ₃ O ₄ /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.	83
Şekil 4.49. Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.	85
Şekil 4.50. Çalışma akışkanı olarak %1,0 Fe ₃ O ₄ /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	85
Şekil 4.51. Çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe ₃ O ₄ /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	85
Şekil 4.52. Çalışma akışkanı olarak %5,0 Fe ₃ O ₄ /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Nanoakışkan kullanılarak taşınım ısı transferi ile ilgili yapılan çalışmalar.....	8
Çizelge 3.1. Deneysel çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler.....	20
Çizelge 3.2. Saf su ve Fe ₃ O ₄ nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.....	26
Çizelge 3.3. Ölçüm cihazlarının belirsizlikleri.....	34
Çizelge 3.4. Sayısal çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- Al_2O_3 : Alüminyum oksit
 A_s : Yüzey alanı (m^2)
 B : Manyetik alan büyüklüğü (T, G)
 Cp_{na} : Nanoakışkan özgül ısısı (J/kgK)
 Cp_{ba} : Baz akışkan özgül ısısı (J/kgK)
 Cu : Bakır
 CuO : Bakıroksit
 D : Çap (m)
 E : Toplam enerji (J)
 f : Darcy sürtünme faktörü
 Fe_3O_4 : Demir (III) oksit
 h : Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
 G : Gauss
 GO : Grafenoksit
 Ha : Hartmann sayısı
 J : Elektrik akım yoğunluğu (A/mm^2)
 k_{na} : Nanoakışkan ısı iletim katsayısı (W/mK)
 k_{ba} : Baz akışkan ısı iletim katsayısı (W/mK)
 L : Uzunluk (m)
 lt : Litre
 m : Kütle (kg)
 \dot{m} : Kütleli debi (kg/s)
 Nu : Nusselt sayısı
 Pr : Prandtl sayısı
 R : Yarıçap (m)
 Re : Reynolds sayısı
 Q : Isı (W)

- q'' : Isı akısı (W/m^2)
 S_{Φ} : Her bir kontrol hacmi için Φ 'nin kaynağı
 T : Tesla
 T_b : Ortalama akışkan sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_i : Akışkanın kanala giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_o : Akışkanın kanaldan çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_w : Kanal duvar sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 V : Hız (m/s)
 w : Kütleli nanopartikül oranı (%)
 ZnO : Çinkooksit

Yunan Harfleri

- δ : Sınır tabaka kalınlığı (mm)
 ΔP : Basınç kaybı (Pa)
 μ : Dinamik viskozite (kg/ms)
 ρ : Yoğunluk (kg/m^3)
 ρ_{na} : Nanoakışkan yoğunluğu (kg/m^3)
 σ : Elektriksel iletkenlik (1/ohm)
 φ : Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı (%)
 Ω : direnç (Ohm)

KISALTMALAR

CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
CNT	: Carbon Nano Tube (Karbon Nano Tüp)
DC	: Sabit manyetik alan
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
MHD	: Manyetohidrodinamik
MNF	: Magnetic Nanofluid (Manyetik Nanoakışkan)
MWCNT	: Multi Walled Carbon Nanotube (Çok Katmanlı Karbon Nanotüp)
Ort	: Ortalama
PDK	: Performans Değerlendirme Katsayısı
SHY	: Sonlu Hacimler Yöntemi
SWCNT	: Single Walled Carbon Nanotube (Tek Katmanlı Karbon Nanotüp)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişliğinin bir göstergesi olarak da ifade edilebilen enerji, günümüz toplumlarının vazgeçilmez bir unsurudur. Gelişen teknolojiye paralel olarak enerji ihtiyacındaki artış, mevcut enerji kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Isı transferinin iyileştirilmesi enerjiyi etkin kullanma yollarından biridir. Isı transferini iyileştirme yolları aktif ve pasif teknikler olmak üzere iki temel grupta incelenebilmektedir.

Pasif tekniklerde harici bir güç kaynağına ihtiyaç olamadan, kanal geometrisi modifiye edilerek ısı transferi arttırılmaktadır. Akış karışımı ve türbülans oluşumu eklentiler, engeller, bozuk yüzeyler gibi uygulamalarla sağlanabilmektedir [1,2]. Bu şekildeki uygulamalar ile ortalama ısı transferinin iyileştirilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Ancak; mikro kanallar, kanatçıklar, türbülatorler gibi pasif ile teknikler aracılığıyla ısı transferini artırma işlemleri belli bir sınıra ulaşmış durumdadır. Bu nedenle, yeni yöntemler araştırılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de su, etanol, etilen glikol ve yağ gibi geleneksel ısı transferi akışkanına metalik ya da metalik olmayan nano boyutta katı parçacıkların ilave edilmesidir [3,4]. Bu yöntemle, çalışma akışkanının ısı performansının arttırılması amaçlanmaktadır. Bu durum baz akışkanlara yüksek ısı iletim katsayısına sahip katı nanopartiküllerin eklenmesi ile oluşturulan süspansiyonlar yani nanoakışkanlar ile gerçekleştirilebilmektedir. Nanoakışkanlar; elektronik cihazların soğutulmasında, güneş enerjisi sistemlerinde, nükleer reaktörlerin soğutulması, ısı değiştiricileri gibi mühendislik uygulamalarında ve sağlıkta kanser tedavisinde kullanılmaktadır [5].

Isı transferini arttırmak için kullanılan diğer bir yöntem olan aktif teknik uygulamaları dışarıdan harici bir güce ihtiyaç duyarlar. Aktif tekniklere elektrostatik alanlar ve mekanik karıştırıcı gibi yöntemler örnek verilebilir [6–8]. Birçok mühendislik

problemlerinde, özellikle termodinamiğin farklı alanlarında, maksimum verimlilik temel unsur olduğu için manyetik alan uygulaması akış ve ısı transferi için iyi bir kontrol parametresi olan aktif teknik uygulamalarındandır.

Sistemlerin ısı performans veriminin artırılması için pasif ve aktif tekniklerin birlikte kullanıldığı çalışmalara son zamanlarda ilgi artmaktadır. Bileşik yöntemler olarak da ifade edilebilen bu çalışmalar, pasif veya aktif tekniklerin kombinasyonuyla oluşan ısı transferini artırmaya yönelik uygulamalardır. Nanoakışkanların ve manyetik alanın birlikte kullanılması buna örnek olarak verilebilir. Manyetik alandan etkilenen manyetiklenebilen metalik nanopartiküllerin oluşturduğu nanoakışkanlar, ferronanoakışkan veya manyetik nanoakışkan olarak ifade edilmektedir. Fe_3O_4 /su ferronanoakışkanı bunlardan birisidir. Isı transferi ve akış karakteristiklerine etkisi nedeniyle son yıllarda bilim adamlarının ve araştırmacıların ilgi odağı haline gelen manyetik nanoakışkanların endüstriyel uygulamalarına yönelik araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmalardan biri kanal içerisinde akan taşınımın gerçekleşen ısı transferini iyileştirmek için, çalışma akışkanı olarak Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanımı ve kanalın yüzeyine manyetik alan uygulamasıdır ki bunun endüstrinin birçok alanında kullanım potansiyeline sahip olacağı öngörülmektedir. Yüzeye manyetik alan uygulanarak ve çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı ile verimli olacak radyatörler sayesinde boyutu daha küçük olan radyatörlerin üretimi gerçekleştirilebilecektir. Diğer yandan, bu tür uygulamaların ısı değiştiricilerinde kullanılmasıyla artan ısı performans ile ısı değiştiricisi yüzey alanları azalarak daha kompakt hale getirilebilecektir. Bu durum, ürün maliyetini yüksek oranda düşürebilecektir. Nükleer reaktörlerde manyetik alan ve nanoakışkan kullanımı ile birlikte yakıt hücresinin yedek soğutma sistemi olarak da kullanılabileceği öngörülmektedir [9].

Kanal içi akış uygulamalarında manyetik alan akışa sabit manyetik alan biçiminde uygulanabilmektedir. Sabit manyetik alan etkisiyle kanal çeperlerine yaklaşan metalik nanopartiküllerin taşınımın gerçekleşen ısı transferini artırmada büyük bir katkı sağladığı yapılan çalışmalarda görülmüştür. Mıknatıs kutuplarının değişmesiyle metalik nanopartiküller periyodik olarak hareket ederek ısı sınır tabakasının

bozulmasına ve kanal içerisinde taşınımın gerçekleşen ısı transferi hızının artmasına neden olmaktadır [10,11].

Manyetik alanın, akış ve ısı transferi kontrolü sağlayabilmesi, endüstrinin birçok dalında uygulama alanı bulabilme potansiyelinin yüksek olması nedenleri ile motivasyon elde edilerek nanoakışkanların ve manyetik alan etkilerini izleyen bölümde verilen literatürün detaylı bir şekilde araştırılması sonucunda, sabit manyetik alan altındaki nanoakışkan akışının taşınımın oluştuğu ısı transferine olan etkisinin literatürde henüz detaylı olarak incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada sabit manyetik alan uygulanmasının kanal içerisindeki ferronanoakışkan akışının akış ve ısı transferi karakteristiklerine olan etkisinin incelenebilmesi için farklı şartlar altında deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Isıtma ve soğutma süreçlerinde ısı transferi dünyada önemli bir rol oynamaktadır. Isı transferini iyileştirmek ve ısı transfer verimini artırabilmek için araştırmacılar yeni metodlar üzerinde yoğun bir biçimde çalışmaktadırlar. Isı transfer yüzey alanını arttırmak, sıcaklık gradyanını veya çalışma akışkanının ısı iletkenliğini arttırmak ısı transferi iyileştirme yöntemlerine örnek olarak gösterilebilir. Isı transferi iyileştirmenin diğer yöntemi ise; baz sıvılara nanometre veya mikrometre boyutlarında bir miktar katı parçacık eklenmesi düşünülmüştür. Baz akışkanlara nanometre boyutundaki katı parçacıkların karıştırılmasının mikroparçacıklara kıyasla ısı transferi performansı anlamında daha etkili olduğu görülmüştür [12].

Son yıllarda nanoakışkanların ısı transferi ve enerji verimliliğinin artırılmasının istenildiği birçok mühendislik uygulamalarında doğrudan kullanılabilmelerine yönelik gerek teorik gerekse deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmalar oldukça artış göstermiştir. Yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Choi vd.'nin 1995 yılında ilk olarak düşük derişimlerde nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneysel çalışmanın neticesinde ısı iletim katsayısında bir artışın olduğunu gözlemlemişlerdir [12].

Hatwar vd.'nin yaptıkları deneysel çalışmada yatay dairesel kesitli bir kanal içerisinde sabit ısı akısı altında farklı hacimsel konsantrasyon (%0,1-%0,7) ve geçiş rejimi ($2800 \leq Re \leq 5000$ akış şartlarında) Al_2O_3/su ve CuO/su nanoakışkanlarının ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. CuO/su nanoakışkanının ısı transfer katsayısı, aynı konsantrasyon ve Reynolds sayısı için Al_2O_3 'e göre %40 oranında ısı transfer artışı olduğunu tespit etmişlerdir [13].

Hwang vd.'nin yaptıkları deneysel çalışmada dairesel kesitli bir kanal içerisinde sabit ısı akısı altında %0,01-%0,3 hacimsel konsantrasyonda laminer akış şartlarında Al_2O_3 /su nanoakışkanın taşınımıyla ısı transferi karakteristiklerini incelemişlerdir. Hacimsel konsantrasyon arttıkça taşınımıyla ısı transferinin arttığını, %0,3 Al_2O_3 /su nanoakışkanın suya göre %8 daha yüksek taşınımıyla ısı transferi oranı sunduğunu bulmuşlardır [14].

Teng vd.'nin yaptıkları deneysel çalışmada, iç çapı ve uzunluğu sırasıyla 8 mm ve 600 mm olan düz bir bakır ısı borusunda üç farklı konsantrasyonda (ağırlıkça %0,5, %1,0 ve %3,0) Al_2O_3 /su nanoakışkan kullanılarak ısı borusunun ısıl performansı deneysel olarak incelemişlerdir. Ağırlıkça %1,0 konsantrasyondaki nanoakışkanın kullanımıyla ısı borusunun ısıl performansında %16,8 oranında artışın olduğunu gözlemlemişlerdir [15].

Chandrasekar vd.'nin çalışmalarında, yatay düzlemde konumlandırılmış bakır dairesel kesitli kanal içerisinde %0,1 hacimsel konsantrasyonlarda 43 nm boyutunda Al_2O_3 nanoparçacıklarından oluşan su bazlı nanoakışkan kullanılarak ısı transferi karakteristiklerini incelenmiştir. $Re=2275$ akış koşulunda %0,1 hacimsel konsantrasyonda ve tam gelişmiş bölgede Nusselt sayısında %12,24 civarında bir artış olduğu görülmüştür [16].

Perarasu vd. üç farklı hacimsel konsantrasyonda (%0,1, %0,2 ve %0,3) TiO_2 /su nanoakışkanını kullanarak sargılı karıştırılmalı tanktaki ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Artan hacimsel konsantrasyon ile ısı transferinin arttığını ve maksimum artışın %17,59 olduğunu tespit etmişlerdir [17].

Selvakumar vd.'nin yaptıkları çalışmada, ince kanallı bakır su bloğunda, %0,1 ve %0,2 hacimsel konsantrasyona sahip CuO /su nanoakışkanı kullanılarak ısıl iletkenlik deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada ısıl iletkenlik değerinde %29,63 oranında bir artış olduğu görülmüştür [18].

Heris, otomotiv soğutma sistemlerinde %0,5 oranında ve 40 nm boyutunda CuO nanoparçacıklarından oluşan etilen glikol-su bazlı (%60:%40) nanokışkanı

kullanılarak kaynayan ısı transferinin değişimini deneysel olarak incelemiştir. Temel akışkana kıyasla ısı transferinde %55 oranında bir artış olduğunu belirtmiştir [19].

Vermahmoudi vd.'i yaptıkları çalışmada, %0,15, %0,4 ve %0,65 hacimsel konsantrasyonlarda Fe₂O₃/su nanoakışkanını kullanarak laminer akış şartlarında kompakt hava soğutmalı bir ısı eşanjöründeki ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. %0,65 konsantrasyonda ısı transfer katsayısında %13 oranında bir artışın olduğu gözlemlenmiştir [20].

Abbassi vd., farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0,25, %0,5, %1,0 ve %1,5) ve 10 nm boyutunda TiO₂/su nanoakışkanının ısı transferini deneysel olarak farklı Reynolds sayılarında incelemiştir. Nanoakışkanın ısı transfer katsayısının temel akışkan olan suya göre daha yüksek olduğu bulunmuştur [21].

Ali vd., farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0,01, %0,08, %0,2 ve %0,3) ZnO/su nanoakışkanını kullanarak bir araba radyatörünün ısı transfer performansını deneysel olarak incelemiştir. Temel akışkan olan su ile karşılaştırıldığında %0,2 hacimsel konsantrasyondaki nanoakışkan ile ısı transferinde %46 oranında bir artış gözlemlenmiştir [22].

Mansouri vd., yaptıkları deneysel çalışmada, üç farklı kütle konsantrasyonunda (%1,0, %2,12 ve %3,1) sabit ısı akısı altında ve laminer akış şartlarında Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı transferini yatay bir Helisel-Bobin Tüpü (HCT) içinde deneysel olarak incelemiştir. Al₂O₃-su nanoakışkanın ağırlıkça %1,0 konsantrasyonunda, 2283, 3774 ve 4975 W/m² ısı akıları altında tam gelişmiş bölgedeki ısı transfer katsayıları, sırasıyla %6,4, %19 ve %23,7 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir [23].

Sekhar vd., dairesel kesitli kanalda farklı hacimsel konsantrasyonlarda Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı transfer değişimini deneysel olarak incelemiştir. Temel akışkan olan suya kıyasla ısı transfer oranında %8-%12 arasında bir artışın olduğunu belirtmişlerdir [24].

Heris vd.'i laminer akış durumunda sabit ısı akısı altında kare kesitli kanal kullanılarak Al₂O₃/su nanoakışkanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferine ilişkin deneysel bir çalışma yapmışlardır. %2,5 hacimsel konsantrasyonda Al₂O₃/su nanoakışkanın ısı transfer katsayısında suya göre %27,6 oranında bir artışın olduğunu gözlemlemişlerdir [25].

Hussein vd.'nin yaptıkları çalışmada farklı Reynolds sayılarında ($250 \leq Re \leq 1750$) TiO₂/su ve SiO₂/su nanoakışkanları kullanılarak araba radyatöründeki ısı transfer değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmaya göre nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu artıkça ısı transferinde bir artışın olduğu görülmüştür [26].

Momin yaptığı deneysel çalışmada %0-%4 hacimsel konsantrasyonda Al₂O₃/su nanoakışkanı kullanarak eğimli bir bakır dairesel kesitli kanal yüzeyinde laminer akış şartlarında ısı transfer katsayısını deneysel olarak incelemiştir. Nanoakışkan konsantrasyonunun %0'dan %4'e artırılmasıyla ısı transfer katsayısının azaldığını ve zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferi deney sonuçları, $Re=1730$ 'da su ile karşılaştırıldığında maksimum %13,56 oranında bir artış olduğu görülmüştür [27].

Baskar vd.'nin 2500 mm uzunluğunda, 10,7 mm iç çap ve 12,7 mm dış çapa sahip bakır dairesel kesitli kanalda MWCNT/su-Etilen Glikol (EG) nanoakışkanını kullanarak ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Isı transfer katsayısındaki artış, sırasıyla MWCNT'nin %0,15 ve %0,3 hacimsel konsantrasyonlarında sırasıyla yaklaşık %30 ve %34,74 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, aynı nanoakışkanlar için, akış koşulları değiştikçe (laminerden türbülanslı akışa doğru) ısı transfer katsayısının önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir [28].

Xuan vd.'nin çalışmalarında, tek faz akışkan modeli kullanılarak Cu/transformer yağ ve Cu/su nanoakışkanın ısı transfer özellikleri sayısal olarak incelenmiştir. Isı transfer katsayısının, yalnızca ısı iletkenlik artışından dolayı değil, partikül boyutundaki azalma ile önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir [29].

Nanoakışkan kullanılarak taşınım ile ısı transferine ilişkin yapılan bazı diğer çalışmalar Çizelge 2.1’de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1. Nanoakışkan kullanılarak taşınım ısı transferi ile ilgili yapılan çalışmalar.

Yazar	Temel Akışkan	Partikül	Partikül Boyutu	Hacimsel Oran (%)	Kanal Boyutları	Akış Koşulu	Sonuçlar ve Açıklamalar
Wen vd., [30].	Su	γ -Al ₂ O ₃	26-56 nm	0,6,1,1,6	4,5 mm iç çap ve 970 mm uzunluk bakır dairesel kesitli kanal	500≤Re≤2100 (Laminer Akış)	φ=1,6’da taşınım ısı transferi katsayısı suya göre %41 artmıştır.
Heris vd.,[31].	Su	Al ₂ O ₃ CuO	20 nm 50–60 nm	0,2–3,0 0,2–3,0	İç çap 6 mm bakır dairesel kesitli kanal	650≤Re≤2050 (Laminer akış)	Hacimsel konsantrasyon arttıkça Nu ve ısı transfer katsayısı artmıştır.
Heris vd.,[32].	Su	γ -Al ₂ O ₃	20 nm	0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5	İç çap 6 mm Uzunluk: 1 m Bakır dairesel kesitli kanal	700≤Re≤2050 (laminer akış)	Pe sayısı ve hacimsel konsantrasyonun artışıyla ısı transfer katsayısı %22 oranında artmıştır.
Lai vd., [33].	Su	Al ₂ O ₃	20 nm	0–1	İç çap 1 mm paslanmaz çelik dairesel kesitli kanal	Re ≤ 270	Re=270 ve %1 hacimsel konsantrasyonda Nu artışı %8 bulunmuştur.
Jung vd.,[34].	Su	Al ₂ O ₃	10 nm	0,5–1,8	Dikdörtgen mikrokanal (50µmx 50µm)	5≤Re≤300	φ=1.8’de taşınım ısı transferi katsayısı suya göre %32 artmıştır.
Li vd.,[29].	Su	Cu	26 nm	0,5, 1, 1,5, 2	Hidrolik çap = 1.29 mm	200≤Re≤2000 (Laminer akış)	φ=%2,0’de saf suya göre Nu %39 artmıştır.
Zhou [35].	Aseton	Cu	80-100 nm	0,0–4,0 g/l	İç çap 16 mm ve uzunluk 200 mm bakır dairesel kesitli kanal	-	Cu nanopartiküllerin eklenmesiyle taşınımla ısı transfer katsayısında artış görülmüştür.
Li vd.,[36].	Su	Cu	26 nm	0,5 ,1, 1,5, 2,0	İç çapı 10 mm ve uzunluğu 800 mm pirinç dairesel kesitli kanal	1000≤Re≤4000 (laminer akış ve geçiş bölgesi)	Hacimsel konsantrasyon %0,5 ten %2 arttığında Nu oranında 1,06 dan 1,39 değiştiği görülmüştür.
Faulkner vd.,[37].	Su	CNT	<100 nm	1,2, 2, 4, 4	Hidrolik çap=355 µm	2≤Re≤17 (laminer akış)	Yüksek konsantrasyonlarda ısı transferinin fazla olduğu tespit edilmiştir.
Yang vd.,[38].	Yağ	Grafit	20–40 nm	0,7–1,0	İç çapı 4,57 mm Pürüzsüz kanal	5≤Re≤110 (laminer akış)	Deneysel sonuçlar, nanopartiküllerin laminer akışta akışkan sisteminin ısı transfer katsayısını artırdığı görülmüştür.
Ding vd.,[39].	Su	MWCNT	100 nm	Ağırlıkça 0,1–1,0	İç çapı 4,5 mm Uzunluk: 970 mm Bakır dairesel kesitli kanal	800≤Re≤1200 (laminer akış)	Re = 800’de ağırlıkça %0,5 için %350 artış bulunmuştur.
Pak vd., [40].	Su	Al ₂ O ₃ TiO ₂	13-27 nm	1-3	Uzunluk:4800 mm, İç çapı: 10,66 mm dairesel kesitli kanal	10000≤Re≤100000	Hacim % 3,0 Al ₂ O ₃ /su için zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferinde %12,0 artış bulunmuştur.
Sundar vd., [41].	Su	Fe ₃ O ₄	36 nm	0,02-0,6	Uzunluk: 1700 mm,İç çap:14 dairesel kesitli kanal	3000≤Re≤22000	Nu %30,96 artış olmuştur.
Fotukian vd., [42].	Su	CuO	30-50 nm	0,015-0,3	Uzunluk:1100 İç çap:5 dairesel kesitli kanal	6000≤Re≤31000	%0,03 hacim için zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferinde %25 artış görülmüştür.
Pourfayaz vd., [43].	Su	SiO ₂	10-20 nm	0,05, 0,07, 0,2	Uzunluk:1000 mm İç çap:8 Kare ve dairesel kesitli kanal	400≤Re≤1100	Isı transfer katsayısı %29,13’ten 35,45’e yükseldiği gözlemlenmiştir.

Behzadmehr vd.'nin yaptıkları çalışmada, sabit ısı akısı altında dairesel bir kanalda Cu/su nanoakışkanın türbülanslı zorlanmış taşınım ile ısı transferi çift faz mixture modeli kullanarak sayısal olarak incelenmiştir. Hacimsel konsantrasyon ve Reynolds sayısının artışı ile ısı transfer katsayısında artış elde etmişlerdir [44].

Maiga vd.'nin yaptıkları çalışmada, dairesel kesitli bir kanalda tek faz akış modeli kullanılarak nanoakışkanın (Al_2O_3 /su ve Al_2O_3 /etilen glikol) zorlanmış taşınım akış şartlarında ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Isı transfer katsayısında %60 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir [45].

Palm vd.'nin çalışmalarında, tipik radyal akışlı soğutma sistemleri içinde %4,0 hacimsel konsantrasyonda Al_2O_3 /su nanoakışkanı kullanarak soğutucuların ısı transferini artırma yetenekleri sayısal olarak incelenmiştir. Temel akışkan ile karşılaştırıldığında ortalama duvar ısı transfer katsayısında %25 oranında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir [46].

Anoop vd. alümina-su nanoakışkanları ile dairesel kesitli kanal akışının sabit ısı akısına sahip gelişen bölgesinde zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer karakteristikleri üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Temel amaç, laminar gelişen bölgede partikül boyutunun zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferi üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Ortalama parçacık boyutu 45 nm ve 150 nm olan iki parçacık boyutu çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Her iki nanoakışkanın da baz akışkandan daha yüksek ısı transfer özellikleri gösterdiği ve 45 nm partiküllü nanoakışkanın 150 nm partiküllere göre daha yüksek ısı transfer oranı sunduğu görülmüştür. Ayrıca gelişen bölgede ısı transfer katsayılarının tam gelişmiş bölgeye göre daha yüksek artış gösterdiği görülmüştür. Deneysel sonuçlara dayanarak, gelişmekte olan bölgedeki ısı transferi için mevcut nanoakışkanlar aralığı için bir korelasyon önermişlerdir [47].

Li vd.'nin yaptıkları çalışmalarında, dairesel kesitli bir kanaldaki nanoakışkanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferini ve akış özelliklerini araştırmak için deneysel bir sistem oluşturmuşlardır. Laminer ve türbülanslı akış için hem zorlanmış taşınım ile ısı transfer katsayısı hem de Cu/su nanoakışkanın sürtünme faktörü

değerlerini belirlemişlerdir. Süspansiyon halindeki nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonu ve Reynolds sayısı gibi faktörlerin ısı transferi ve akış özellikleri üzerindeki etkilerini ayrıntılı olarak tartışmışlardır. Baz akışkan ile karşılaştırıldığında, %2,0 Cu/su nanoakışkan ile ısı transfer katsayısında yaklaşık olarak %60 oranında artış elde etmişlerdir. Nanoakışkanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer katsayısını etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak, kanallardaki tek fazlı akışlar altında nanoakışkan için yeni bir ısı transfer korelasyonu önermişlerdir. [48].

Minea, yaptığı sayısal çalışmada dairesel kesitli bir kanalda zorlanmış taşınım akış şartlarında ısı transferi üzerindeki nanopartikül hacimsel konsantrasyonunun etkisini araştırmıştır. Hem laminer hem de türbülanslı akış için Al_2O_3/su nanoakışkanın çözümünde tek fazlı modeli kullanmıştır. Çalışmanın neticesinde, ısı transferi artışının nanopartikül hacimsel konsantrasyonu ile arttığı sonucuna varılmıştır [49].

Ahmed vd.'i, $100 \leq Re \leq 800$ ve $0 \leq \phi \leq 5$ için iki boyutlu dalgalı bir kanalda Cu/su nanoakışkanın akış ve ısı transfer özelliklerini sayısal olarak araştırmışlardır. Dalgalı kanal genliği arttıkça zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer katsayısının ve Darcy sürtünme faktörünün arttığı bulunmuştur [50].

Ting vd.'nin yaptıkları çalışmalarında, sabit duvar sıcaklığı sınır koşulu altında farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarına (%0,1 ve %2,0) sahip Al_2O_3/su nanoakışkanın zorlanmış taşınım ile ısı transferi ve akış özelliklerini araştırmışlardır. Laminer akış şartlarında ($360 \leq Re \leq 2100$) %2,0 Al_2O_3/su nanoakışkanın ısı transfer katsayısının saf suya kıyasla %32 oranında arttığını belirtmişlerdir [51].

Heris vd.'nin yaptıkları sayısal çalışmalarında, laminer akış ve sabit ısı akısı koşulları altında kare kesitli bir kanalda üç farklı nanoakışkanın (Al_2O_3/su , CuO/su ve Cu/su) ısı transferi analizini gerçekleştirmişlerdir. Hacimsel konsantrasyon olarak %4,0 Cu/su, CuO/su ve Al_2O_3/su nanoakışkanları için Nusselt sayısında sırasıyla %77, %68 ve %59 oranlarında artış olduğunu belirtmişlerdir [52].

Yin vd.'nin yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmalarında, Cu/su nanoakışkanın laminer akış koşulları altında dairesel kesitli bir kanaldaki basınç düşüşünü ve ısı transferini analiz etmişlerdir. %2,5 hacimsel konsantrasyon altındaki nanoakışkanın ısı transferini artırdığını göstermişlerdir [53].

Purohit vd.'nin yaptıkları sayısal çalışmalarında, dairesel kesitli kanalda çeşitli nanoakışkanların (Al_2O_3/su , ZrO_2/su ve TiO_2/su) laminer akış şartlarında ısı transfer değişimine olan etkisini araştırmışlardır. İncelenen tüm nanoakışkanlar için ısı transfer katsayısının %8-%30 oranında arttığı görülmüştür [54].

Chen vd.'nin yaptıkları deneysel çalışmalarında, ağırlıkça %0,5, %1,0 ve %2,5 titanat nanotüpler içeren nanoakışkanın termal iletkenliğini, reolojik davranışını ve zorlanmış taşınım akış şartlarında ısı transferini incelemişlerdir. Ağırlık olarak %2,5 olan titanat nanotüp nanoakışkanın küçük bir termal iletkenlik artışı gösterdiğini, yani $25^\circ C$ 'de $\sim\%3,0$ ve $40^\circ C$ 'de $\sim\%5,0$ olduğunu bulmuşlardır [55].

Davarnejad vd.'i sabit ısı akısı altında dairesel kesitli kanalda %0,5,%1,0,% 1,5,%2,0 ve %2,5 hacimsel konsantrasyonlarda Al_2O_3/su nanoakışkanın ısı transfer özelliklerini, laminer akışta Fluent yazılımı kullanarak değerlendirmişlerdir. Reynolds sayısı ve nanopartikül konsantrasyonunun artmasıyla ısı transfer katsayısının arttığı sonucuna varmışlardır. Maksimum zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer katsayısı sudaki en yüksek nanopartikül hacimsel konsantrasyonunda (%2,5) gözlemlenmiştir [56].

Fadhil vd.'i laminer akış koşullarında ($100 \leq Re \leq 1000$) %3,0 hacimsel konsantrasyonda SiO_2/su nanoakışkanın ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısının arttığını gözlemlenmiştir [57].

Gedik vd.'i farklı hızlarda (0,166 m/s, 0,199 m/s ve 0,2294 m/s), sabit ısı akısı altında ve dairesel kesitli kanalda farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0,05, %0,1, %0,3 ve %0,5) Al_2O_3/su ve TiO_2/su nanoakışkanların taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Temel akışkan olan suya göre TiO_2/su nanoakışkanı için

%26,6 ve Al_2O_3 /su nanoakışkanı için %28,3 oranında bir artışın olduğunu belirtmişlerdir [58].

Manyetik nanoakışkanlar, uygulanan manyetik alanın varlığında kontrol edilebilme özelliğine sahip olduğu için birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir. Ferronanoakışkan olarak da adlandırılan manyetik sıvı, bir baz akışkan ile demir, nikel, kobalt ve bunların oksitleri gibi manyetik nanopartiküllerden oluşan manyetik bir koloidal süspansiyondur. [59,60].

Lajvardi vd.'nin sabit bir manyetik alan altında ısıtılmış bakır dairesel kesitli kanaldan geçen %5,0 hacimsel konsantrasyonlu Fe_3O_4 /su ferronanoakışkanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Suda dağılmış faz olarak Fe_3O_4 manyetik nanopartiküllerin kullanılmasının, manyetik alan yokluğunda laminer akış rejiminde zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer katsayısını artırmadığını göstermişlerdir. Uygulanan bir manyetik alanın etkisi altında ısı transfer katsayısının artmasının, önemli olduğu sonucuna varmışlardır [61].

Sundar vd. manyetik alan yokluğunda dairesel kesitli kanaldaki türbülanslı akış için %0-%0,6 hacimsel konsantrasyon aralığında ferronanoakışkanın (Fe_3O_4 /su) zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Isı transfer katsayısında, benzer çalışma koşullarında temel akışkan olan suya kıyasla %0,6 hacimsel konsantrasyonunda %30,96 oranında bir artış olduğunu bulmuşlardır [41].

Ghofrani vd., sabit ve değişken manyetik alanların varlığında bakır dairesel kesitli kanaldan geçen %0,6, %1,0 ve %2,0 üç farklı hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 /su manyetik nanoakışkan akışının zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferi üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Ferronanoakışkan uygulamasının, manyetik alanın yokluğunda laminer akış rejiminde bakır silindirik kanal boyunca zorlanmış taşınım şartları altında ortalama ısı transferinde artışa yol açtığını görmüşlerdir. Ayrıca, Reynolds sayısına ve girişten aksel mesafeye bağlı olarak

sabit bir manyetik alan uygulamanın, zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferini olumsuz etkilediğini veya düşük bir artışa sahip olduğunu bulmuşlardır [62].

Azizian vd., laminer akış koşullarında %0,86 hacimsel konsantrasyonlu Fe_3O_4 /su ferronanoakışkanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferi üzerine harici bir manyetik alanın etkisini araştırmışlardır. Lokal ısı transfer katsayısında bir artışın manyetik alan kuvveti ve gradyanı artırarak elde edilebileceğini göstermişlerdir [63].

Goharkhah vd., sabit ve değişken manyetik alanların ısıtılmış dairesel kesitli kanalda su bazlı Fe_3O_4 ferronanoakışkanın laminer zorlanmış taşınım akış şartlarında ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer katsayılarını hem termal olarak gelişen hem de tam gelişmiş bölgelerde %1,0, %1,5 ve %2,0'lik üç farklı hacimsel konsantrasyonlarda ve $400 \leq Re \leq 1200$ aralığında belirlemişlerdir. Fe_3O_4 /su ferronanoakışkan uygulamasının, manyetik alanın yokluğunda laminer akış rejiminde deiyonize (DI) suya kıyasla zorlanmış taşınım şartları altında ortalama ısı transferini %13,5'e kadar iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır [64].

Shahsavari vd., sabit ve değişken manyetik alanların, ısıtılmış dairesel kesitli kanal içinden akan tetrametilamonyum hidroksit (TMAH) kaplı Fe_3O_4 nanopartiküller ve arap zıncığı (GA) kaplı karbon nanotüpler (CNT'ler) içeren hibrit bir nanoakışkanın laminer zorlanmış taşınım akış şartlarında ($548 \leq Re \leq 2190$) ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Fe_3O_4 /su ferronanoakışkanın hacimsel konsantrasyonları (%0,5–%0,9) ve karbon nanotüp (%0,25–%1,35) nanopartiküller, manyetik alan kuvveti (300–700 Gauss) etkisi altında gerçekleştirmişlerdir. Manyetik alanın olmadığı durumda, Fe_3O_4 /CNT hibrit nanoakışkan kullanılarak zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferinin önemli ölçüde iyileştirildiğini ortaya koymuşlardır. Hacimsel konsantrasyon olarak %0,5 Fe_3O_4 ve %1,35 CNT içeren hibrit nano akışkan için lokal Nusselt sayısında maksimum %62,7 oranında artış elde etmişlerdir [65].

Hatami vd., sabit ısı akısı koşullarında yatay dairesel kesitli kanalda laminer akış şartlarında 100 nm'den küçük nanopartikül içeren Fe_3O_4 /su nanoakışkanının farklı

hacimsel konsantrasyonlarda (%0, %0,1, %0,5 ve %1,0) ve dış manyetik alanın ($Ha= 33,4 \times 10^{-4}$ ile $136,6 \times 10^{-4}$) zorlanmış taşınım ısı transferi üzerine manyetik alanın etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Manyetik nanopartiküllerin eklenmesiyle zorlanmış taşınım ısı transferinde %60 oranında artış gerçekleştirdiğini tespit etmişlerdir [66].

Wang vd., çeşitli harici manyetik alanların ferronanoakışkanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transfer özellikleri üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel sonuçların doğruluğunu ispat etmek için teorik tahminler ile deneysel verilerin karşılaştırılması yapılmış ve %10 hata payı ile iyi bir uyumun olduğunu bulmuşlardır. Reynolds sayısının (Re) 391'den 805'e yükselmesiyle deneysel verilerden hataların azaldığı görülmüş ve $Re=391$ ve $Re=805$ 'te sırasıyla %26,5 ve %54,5 oranlarında ısı transferi artışı elde edildiği belirtilmiştir [67].

Sun vd., Fe_3O_4 /su manyetik nanoakışkanın ısı transferi ve akış özellikleri, bir manyetik alan etkisi altında deneysel olarak manyetik akı yoğunluğu, manyetik alan gradyanı ve farklı manyetik alan yönelimlerinin lokal Nusselt sayısı ve basınç düşüşü üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Manyetik akı yoğunluğunun ve manyetik alan gradyanının artırılmasının, zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferinde önemli bir gelişme sağlayabileceğini göstermişlerdir. Isı transfer katsayısının $Re= 1080$ akış şartında ve $B=415$ G manyetik alanında, %0,5 hacimsel konsantrasyon olarak Fe_3O_4 /su manyetik nanoakışkan için lokal Nusselt sayısı %4,36 oranında artarken, $B=700$ manyetik alan büyüklüğü için %7,19 oranında artış olduğunu ifade etmişlerdir [68].

Yarahmadi vd., sabit ve değişken manyetik alanların etkisi altında yatay dairesel kesitli kanallardaki Fe_3O_4 /su nanoakışkanın laminer zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferini analiz etmişler ve sabit bir manyetik alan uygulamanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferinde artış olduğunu bulmuşlardır [69].

Zonouzi vd., dikey dairesel kesitli kanal içinde manyetik alan etkisi altında farklı Reynolds sayılarında Fe_3O_4 /su ferronanoakışkanın ısı transferini ve basınç düşüşünü deneysel olarak incelemiştir. Reynolds sayısı için üç farklı eksenel kurulum

pozisyonunda yer alan dört kutuplu mıknatısların varlığında gerçekleştirdikleri deneylerde %2,0 hacimsel konsantrasyona sahip Fe₃O₄ ile manyetik nanoakışkan için lokal ısı transfer katsayısında maksimum %48,9 oranında artış görülmüştür [70].

Sha vd.'i, 20, 30 ve 40 °C sıcaklıklarda, farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0,5, %1,0, %2,0 ve %3,0) ve türbülanslı akış şartlarında Fe₃O₄/su nanoakışkanın zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferinin manyetik alan etkisi ile değişimini deneysel olarak incelemişlerdir. Fe₃O₄/su nanoakışkan konsantrasyonunun, sıcaklığın ve manyetik alan şiddetinin artmasıyla taşınım ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür. 40 °C sıcaklıkta ve %3,0 hacimsel konsantrasyonunda manyetik alan uygulanmadan ve manyetik alan ($H=800\text{G}$) ve gradyan manyetik alan ($H_{max}=800\text{G}$, $dH/dx=0,1\text{ T/m}$) uygulayarak ısı transfer katsayısında sırayla %5,2 ve %8,1 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir [71].

Sha vd.'nin çalışmalarında, %3,0 hacimsel konsantrasyonda Fe₃O₄/su nanoakışkanın 3 mm çapında ve 600 mm uzunluğunda, eşit şekilde ısıtılmış dairesel kesitli kanal içinde sıcaklık ve manyetik alan kuvvetinin ısı transferi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Manyetik alanın yokluğunda, Fe₃O₄/su nanoakışkanını kullanarak zorlanmış taşınım şartları altında ortalama ısı transfer katsayıları, laminer akış koşullarında %1,2 ile %2,3 arasında ve türbülanslı akış şartları altında ise %4,7 ile %5,6 arasında artış olduğunu görmüşlerdir [72].

Tekir vd., sabit manyetik alan ($B=0,3\text{T}$) etkisi altında dairesel kesitli kanalda laminer akışta ($1122 < Re < 2124$), farklı hacimsel konsantrasyonlarda ($0 \leq \phi \leq 0,05$) Fe₃O₄/su nanoakışkan akışının zorlanmış taşınım ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Sabit manyetik alanın, manyetik alanın yokluğuna kıyasla zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferinde %13 oranında artış olduğunu göstermişlerdir [73,74].

Ashjaee vd., sabit ısı akısı altında, beş dairesel kanal dizisinden oluşan minyatür bir soğutucu kullanarak deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Laminer akış şartları altında ($200 \leq Re \leq 900$) farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0,5, %1,0, %2,0 ve %3,0) ferronanoakışkan kullanılarak, manyetik alanın ($B=1400\text{ G}$) taşınım ısı

transferi ve basınç düşüşü üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Ferronanoakışkan kullanımının, manyetik alanın yokluğunda saf suya kıyasla ısı transferinde maksimum %14 oranında bir artışın olduğunu gözlemlemişlerdir. Ferronanoakışkana manyetik alan ($B=1200$ G) uygulandığında ısı transfer değeri %38 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir [75].

Tetuko vd., farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%2,0, %3,0 ve %4,0) manyetik nanoakışkanın (Fe_3O_4) dairesel kesitli kanalda laminar akış şartlarında (Re sayıları 171, 228 ve 285) ısı transferi değişimini incelemişlerdir. Soğutma kapasitesinin, sabit mıknatıs tarafından kontrol edilen manyetik nanopartiküller eklenerek ve manyetik nanoakışkan sistemindeki ısı transferini artırarak geliştirilebileceğini ileri sürmüşlerdir. Sabit mıknatıstan uygulanan manyetik alan etkisiyle manyetik nanopartiküllerin toplanması, ısıtma kaynağından nanoakışkanlara zorlanmış taşınım ile ısı transferini artırarak akrilik silindirik kanalın cidar sıcaklığını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir [76].

Tolba, vd.'i, homojen olarak ısıtılmış sabit manyetik alan altında bir bakır dairesel kesitli kanalda kütleli olarak %2,5 oranında Fe_3O_4/su nanoakışkanın laminar zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. %2,5 kütleli konsantrasyonda ferronanoakışkan için $Re=2000$ akış şartı altında sabit manyetik alan uygulamasıyla, manyetik alan bulunmayan duruma göre maksimum %119,6 oranında lokal ısı transfer artışı sağladığı görülmüştür [77].

Mei vd., Fe_3O_4/su nanoakışkanının farklı nanopartikül kütleli konsantrasyonun ($\omega=1,0, 3,0$ ve $5,0$), Reynolds sayılarının ($600 \leq Re \leq 1000$) ve paralel manyetik alan ($B=0$ G, 100 G, 200 G ve 300 G) şartları altında ısı transferi performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Nusselt sayısının nanopartikül kütleli konsantrasyonu ile orantılı olduğunu, ancak artan paralel manyetik alan büyüklüğü ile ters orantıda olduğunu gözlemlemişlerdir. En iyi ısı transfer performansını %5,0 nanopartikül kütleli konsantrasyonunda tespit etmişlerdir [78].

Majeed vd.'nin yaptıkları teorik çalışmalarında, gazyağı ($C_{10}H_{22}$), R-134a ($C_2H_2F_4$) ve su (H_2O) gibi üç temel sıvıda asılı duran dipol alan etkisine sahip manyetik bir

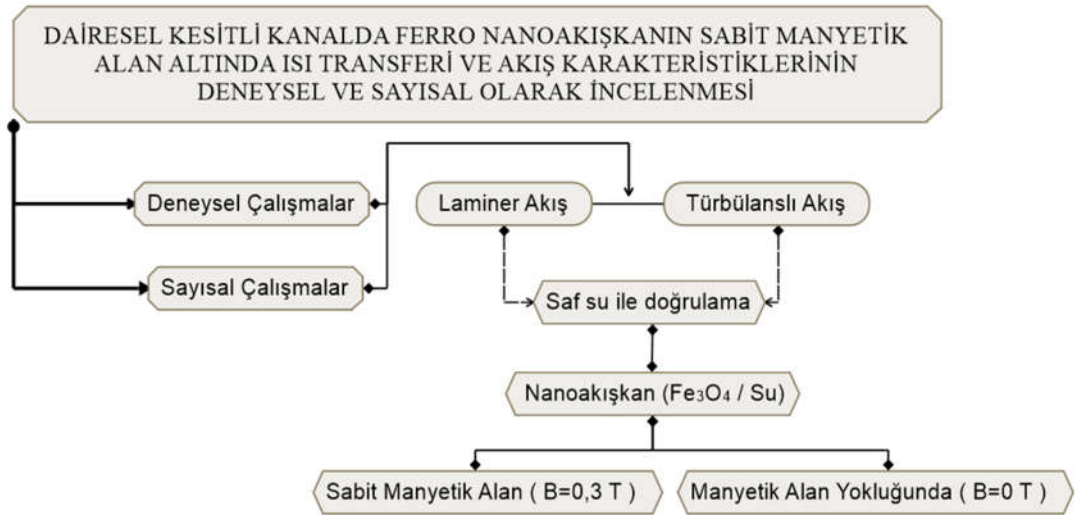
nanoakışkanın (ferronanoakışkan) ısı taşıma özelliklerini araştırmışlardır. Nanopartiküllerin büyük konsantrasyon değerleri için R-134a durumunda Nusselt sayısının daha yüksek olduğu gösterilmiştir [79].

Sabit manyetik alan uygulamasıyla kanal içerisinde akan nanoakışkan akışının taşınım ile ısı transferi alanında yapılan çalışmalar oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Çeşitli nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun sabit manyetik alan uygulaması ile ısı transferi performansı detaylı olarak çalışılmamıştır. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada, Fe_3O_4 /su manyetik nanoakışkanın %1,0, %2,0 ve %5,0 hacimsel konsantrasyonlarında sabit manyetik alan uygulamasıyla taşınım ile gerçekleşen ısı transferi üzerindeki etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiş olup, literatürde bu alana katkı sağlanmıştır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

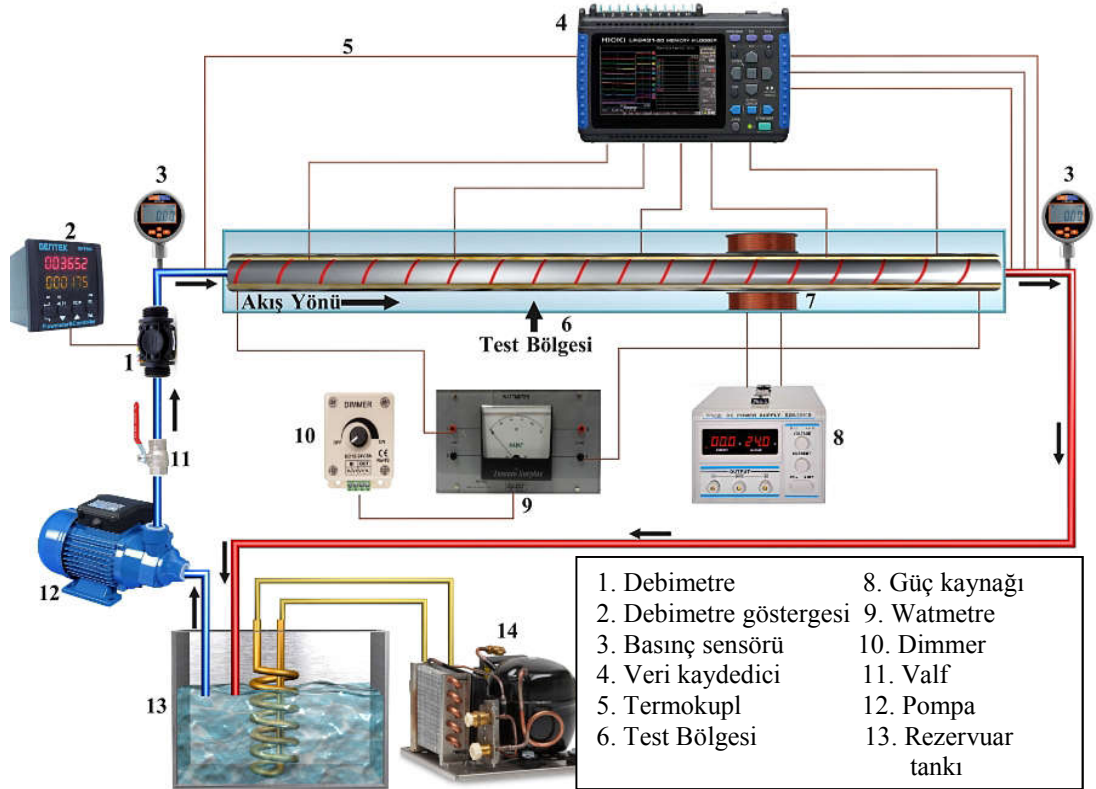
Bu çalışmada, sabit (DC) manyetik alan etkisinin dairesel kesitli bir kanal içerisinde akan farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip (%1,0, %2,0 ve %5,0) Fe_3O_4 /su nanoakışkanın akış karakteristiklerine ve ısı transferine olan etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir (Şekil 3.1). Deneysel çalışmalar, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğunu gösterebilmek ve ayrıca deneysel çalışmalarda gözlenemeyen hız, basınç ve sıcaklık dağılımlarını belirleyebilmek ve gözlemleyebilmek amacıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri ile ANSYS Fluent 19.1 kodu kullanılarak sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalara ait detay bilgiler bu bölümde ilgili başlıklarda sunulmuştur.



Şekil 3.1. Çalışma faaliyetleri akış diyagramı.

3.1. DENEYSEL YÖNTEM

Deneysel çalışmaların yapılması için Şekil 3.2’de şematik resmi verilen temel bileşenleri pompa, test bölgesi, ısıtıcı rezistans, soğutma sistemi ve ölçüm ekipmanlar kullanılarak deney düzeneğinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deneysel düzeneğin test kanalı için 16 mm iç çap ve 1500 mm uzunluğa sahip dairesel kesitli alüminyum kanal kullanılmıştır. Kanal yüzeyine $q''=6,6 \text{ kW/m}^2$ sabit ısı akışı uygulanmıştır. Deneysel çalışmada temel akışkan olarak saf su ve farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar; laminer ve türbülanslı akış şartları için, manyetik alan etkisinin olmadığı durumda ($B=0 \text{ T}$) ve sabit manyetik alan ($B=0,3 \text{ T DC}$) etkisi altında gerçekleştirilmiştir. Kanal yüzeyine uygulanan sabit manyetik alan indüksiyonlarını oluşturabilmek için özel olarak tasarlanıp imalatı gerçekleştirilen bir manyetik alan üretici cihazı geliştirilmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında; saf su ile doğrulama çalışmaları ile çalışma akışkanı nanoakışkan kullanılan durumlar hem laminer hem türbülanslı akış şartları için deneysel olarak incelenmiş olup, tüm çalışmaların özeti Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Deneysel düzeneğin şematik resmi.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler.

Yapılan Deneyler	
Laminer Akış (Tüm deneyler 0,8-1,6 lt/dk ($1000 < Re < 2300$) aralığında 9 değer için yapılmıştır)	Türbülanslı Akış (Tüm deneyler 8-24 lt/dk ($10000 < Re < 30000$) aralığında 9 değer için yapılmıştır)
Saf su ile doğrulama	
Nanoakışkan	
%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su
Nanoakışkan + sabit manyetik alan ($B=0,3$ T)	
%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su

3.1.1. Deney Düzeneğinin Oluşturulması ve Deneylerin Yapılması

Dairesel kesitli kanalda; nanoakışkanın sabit manyetik alan etkisi altındaki davranışlarının incelenebilmesi için tasarlanan deney düzeneğinin oluşturulmuş hali Şekil 3.3'te sunulmuştur.



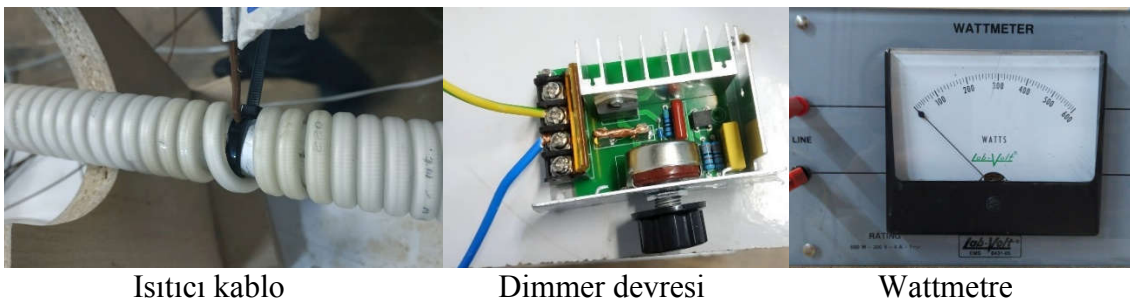
Şekil 3.3. Deney düzeneğinin görüntüsü.

Deney sisteminde akışkan hareketinin sağlanabilmesi için santrifüj tip pompa (ETNA SCT200 marka) kullanılmıştır. Pompa çalıştırılarak valfler aracılığıyla akışkanın hacimsel debisi ayarlanabilmiştir. Hacimsel debi ölçümünde, 0,6-6,0 lt/dk ve 5-50 lt/dk ölçüm aralıklarında %1 hassasiyet değerine sahip iki adet GENTEK marka GT-TD-20 model türbin tip debimetre kullanılmıştır (Şekil 3.4).



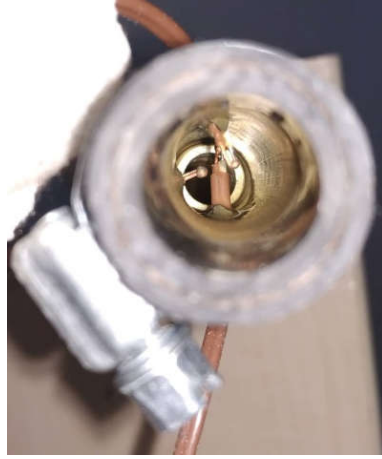
Şekil 3.4. Pompa ve debimetrelere ait görüntüler.

Valfler aracılığı ile istenen debi değerine ayarlanabilen çalışma akışkanının debi değerleri ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir. Akışkanın test kanalına girişi sağlanarak test kanalında sıcaklık ve basınç değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin test kanalı 16 mm iç çap ve 1500 mm uzunluğa sahip alüminyum dairesel kesitli kanaldan oluşmuştur. Kanal yüzeyine, dimmer (ayarlı kısıcı) ile kontrolü sağlanabilen ısıtıcı kablo sarılmış ve $q''=6,6 \text{ kW/m}^2$ sabit ısı akısı uygulanmıştır. Dimmer devresi ile kontrolü sağlanan ısıtıcının gücü Wattmetre ile ölçülmüştür (Şekil 3.5)

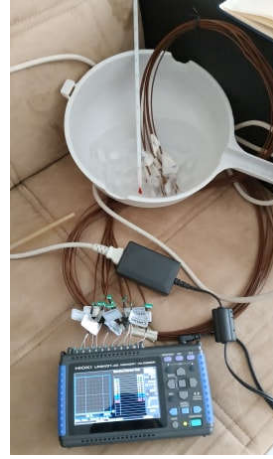


Şekil 3.5. Isı akısı uygulanması için kullanılan ekipmanlar.

Laminer ve türbülanslı akış şartlarında yapılan deneylerde akışkan, test kanalına 293 K sabit sıcaklık değerinde girmiş ve test kanalından sıcaklığı artarak çıkmıştır. Deneylerde T tip ısı çiftleri kullanılarak test kanalına akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, kanal yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı ölçülmüştür. 0,25 m aralıklarla kanal yüzeyine yerleştirilen beş adet ısı çifti ile yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Bir adet ısı çifti akışkan giriş sıcaklığı ve farklı noktalara yerleştirilen üç adet ısı çifti ile çıkış sıcaklığı ölçülmüştür. Laboratuvar ortamına konumlandırılan bir adet ısı çifti ile ortam sıcaklığının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Tüm ısı çiftleri, ölçümler öncesi kalibre edilmiş olup, HIOKI marka LR8431-20 model veri kaydedicisine bağlanarak toplanan sıcaklık ölçüm verileri bilgisayarda kaydedilmiştir (Şekil 3.6). Taş yünü ile yalıtım yapılarak kanal yüzeyinden ısı kaybı önlenmiştir.



Kanal çıkışı ısı çiftlerinin konumu



Isı çiftlerinin kalibrasyonu

Şekil 3.6. Isı çiftleri.

Ayrıca, test kanalının giriş ve çıkış uçlarına bağlanan %0,5 hassasiyete sahip GENTEK marka PT124B-210 model basınç transmitterleri ile kanal girişi ve çıkışı arasındaki basınç farkı değerleri ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir (Şekil 3.7).



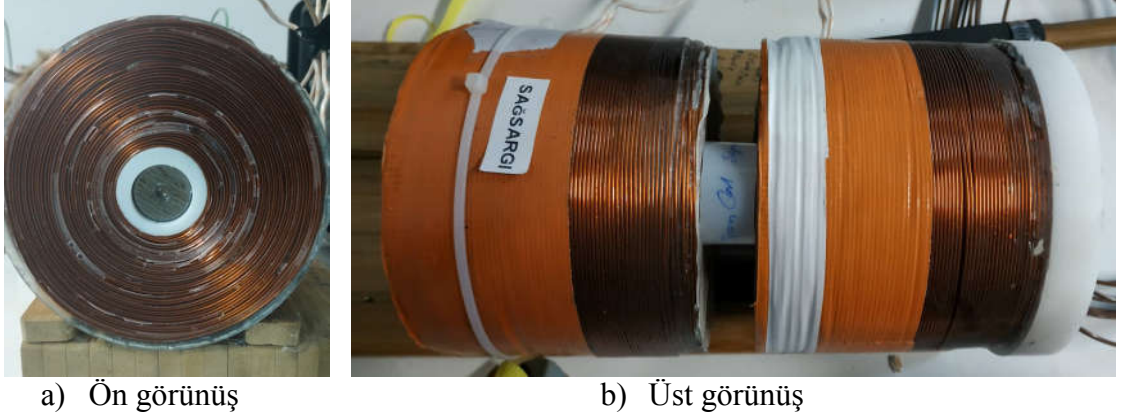
Şekil 3.7. Basınç transmitteri.

Test kanalından sıcaklığı artmış bir şekilde çıkan akışkan 5 lt kapasite ve 1.5 kW soğutma gücüne sahip soğutma sisteminden geçirilerek akışkanın soğutulması dolayısıyla da akışkanın test kanalına giriş sıcaklığının sabit tutulabilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Soğutma sistemi.

Deneylede kanal içerisinde akan akışkana sabit manyetik alan test kanalının iki yanına yerleştirilmiş bobinler test kanalının girişinden 1,2-1,3 m arasına uygulanmıştır. Sabit manyetik alan 60V ve 5A akım sağlayabilen DC güç kaynağı vasıtasıyla bobinlere doğru akım verilerek oluşturulmuştur. İstenen manyetik alan indüksiyonu değerlerini oluşturabilmek için Şekil 3.9'da görülen elektromıknatıs, orta kısımda bulunan 2 cm çapında silindirik saf demir çubuk çevresine 3000 sarım sayısından meydana gelen bobinden oluşmaktadır.



Şekil 3.9. Üretilen bobinlerin a) önden ve b) üstten görünüşü.

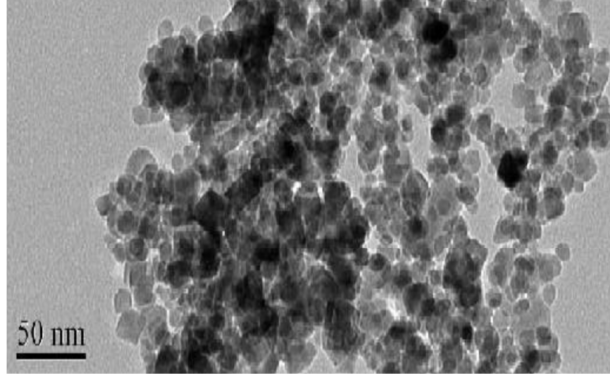
Deneylerde, oluşan manyetik alan indüksiyon değeri ölçümleri, HengTong marka HT201 model, 0-2 T ölçüm aralığı, 0,01 ölçüm hassasiyeti ve bilgisayara USB bağlantı özelliği olan Şekil 3.10’da verilen Gaussmetre ile yapılmıştır.



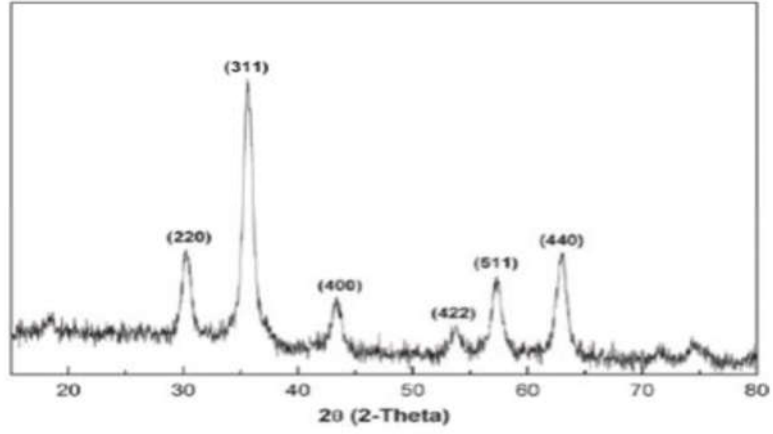
Şekil 3.10. Gaussmetre.

Deneylerde temel akışkan olarak saf su ve Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneyler için kullanılan nanoakışkanlar iki adım yöntemi ile üretilmiş olup proje kapsamında Nanografi-Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık Ltd. Şti. firmasından tedarik edilmiştir. Kullanılan ferronanoakışkana ait detaylı bilgiler EK AÇIKLAMALAR A’da verilmiştir. Nanoakışkan hazırlanmasında kullanılan Fe_3O_4 nanopartikülleri 14-29 nm boyutunda olup küresel morfolojiye sahiptir (Şekil 3.11, Şekil 3.12). Nanopartiküller kimyasal çöktürme yöntemi ile sentezlenmiş olup %99,5

safliktadir. Nanopartikullerin yuzeyi Oleik Asit ile aktiflestirilmis ve dis bolgesi ise PVP ile kaplanmistir. Bu islem ultrasonik banyo ile baz akiskan icine dagilim yapilmaktadir.



Şekil 3.11. Fe₃O₄ nanopartikül SEM görüntüsü.



Şekil 3.12. Fe₃O₄ nanopartiküllerinin XRD analizi.



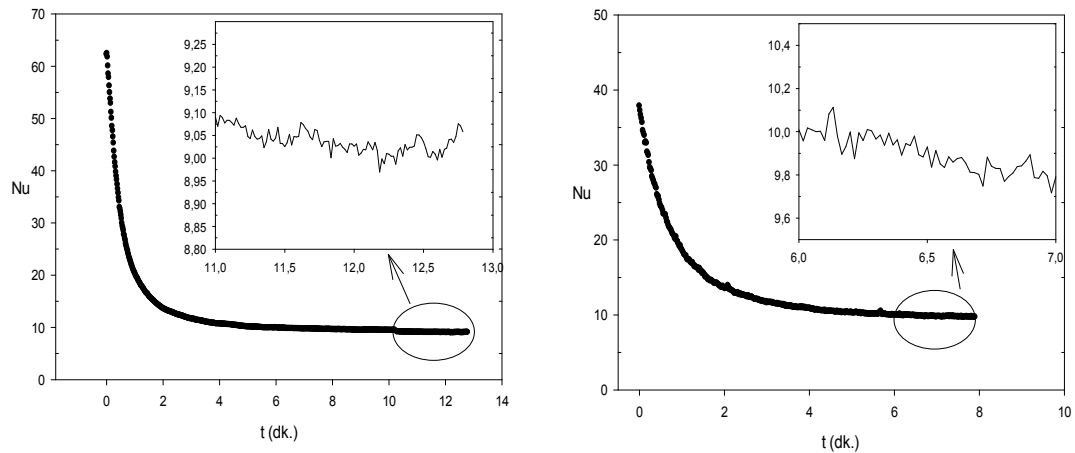
Şekil 3.13. Çalışmada kullanılan Fe₃O₄/su nanoakışkanının görüntüsü.

Deneyleerde kullanılan Fe_3O_4 /su nanoakışkanı ile baz akışkan saf suya ait termofiziksel özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Saf su ve Fe_3O_4 nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.

Malzeme	Su	%1,0 Fe_3O_4 /su	%2,0 Fe_3O_4 /su	%5,0 Fe_3O_4 /su
Özellikler				
Yoğunluk (kg/m^3)	998	1041	1083	1209
Özgül Isı ($J/kg.K$)	4182	4152	4122	4022
Termal İletkenlik ($W/m.K$)	0,598	0,6096	0,6186	0,665
Viskozite ($kg/m.s$) $\times 10^{-03}$	1	1,12	1,26	1,32

Deneyleer için hazır hale getirilen deney düzeneğinde başlangıç olarak deney süresinin belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, çalışma akışkanı olarak saf su ile testler gerçekleştirilmiştir. Böylelikle akışım kararlı rejime ulaşma süresi belirlenmiştir. Şekil 3.14’te görülebileceği gibi laminer akış için $Re=1122$ (0,85 lt/dk)’de yapılan deney 10. dakikadan itibaren ve $Re=2124$ (1,63 lt/dk)’de yapılan deney ise 6. dakikadan itibaren ortalama Nu değerinin değişmediği ve kararlı hale ulaştığı belirtilmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda deneysel sonuçların alınmaya başlama süresi ortalama 10 dk. olarak belirlenmiştir.



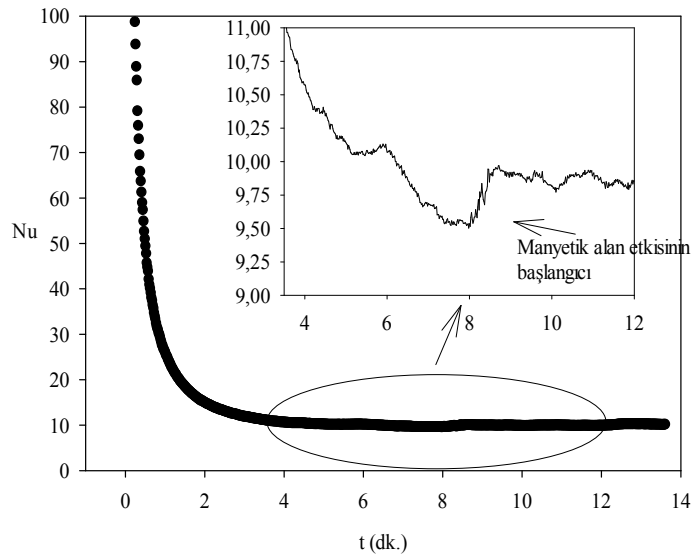
Şekil 3.14. Sistemin kararlı hale gelmesi için gerçekleştirilen deneyin sonucuna göre ortalama Nu değerinin zamanla değişimi, $Re=1122$ (sol), $Re=2124$ (sağ).

Manyetik alan etkisinin olduğu deneyleerde, test bölgesinin girişinden 1,2-1,3 m aralığına sabit manyetik alan uygulanmıştır. Gaussmetre probu ile ölçüm alınarak manyetik alan 0,3 T değerinde sabitlenmiştir (Şekil 3.15). Deney sistemi ısı olarak

kararlı hale gelmesinin ardından manyetik alan uygulanmasının sonrasında deney sisteminin kararlı hale gelmesi beklenmiş ve belirli bir süre sıcaklıklar kayda alınmıştır. Bu kapsamda, deneysel çalışma sonuçlarından bir örnek olarak, sabit manyetik alanın Fe_3O_4/su nanoakışkanına olan etkisini göstermek için $Re=1122$ 'de ortalama Nu değerinin zamanla değişimi ile sonuçlar elde edilerek ve Şekil 3.16 ile gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sabit manyetik alanın etkisiyle ortalama Nu değerinde artış gerçekleşmiştir.



Şekil 3.15. Manyetik alan uygulanan bölgenin konumu ve ölçümü.



Şekil 3.16. Manyetik alan etkisinin ortalama Nu değerine etkisinin gösterimi.

Deney tamamlandıktan sonra sıcaklık ölçüm verilerinin kaydı durdurularak deneysel sistemin ve elektromıknatısta bulunan bakır bobinlerin soğuması beklenmiştir.

Sistemin ve elektromıknatis bobinlerinin soğuması sonrasında farklı debilerde deneyler tekrarlanmıştır. Her bir akışkan (saf su ve nanoakışkan) için farklı debi değerlerinde yapılan deneyler üçer defa tekrarlanarak deneylerde karşılaşılabilecek öngörülemeyen hatalar konusunda tecrübe edildikten sonra asıl deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir debi değerinde yapılan 9 deneyden sonra deney düzeneği temizlenerek bir sonraki deney için hazır hale getirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmanın neticesinde kararlı hale ulaşmış her bir deney için;

- Test bölgesine uygulanan ısıtıcı gücünün ölçümü,
- Test bölgesindeki akışkan hacimsel debisinin ölçümü,
- Test bölgesinin giriş ve çıkışına yerleştirilen ısı çiftleri ile akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü,
- Test bölgesine yerleştirilmiş ısı çiftleri ile ortalama yüzey sıcaklığının ölçülmesi,
- Yalıtım üzerine konumlandırılmış ısı çiftleri ile iletimle kaybolan ısı transferi hızının tespiti için sıcaklıkların ölçümü,
- Deney düzeneğinin bulunduğu ortamın sıcaklığının ölçümü,
- Manyetik alanın Gaussmetre ile ölçümü,
- Uygulanan sabit manyetik alan tespiti,
- Test bölgesinin giriş ve çıkış kesitlerindeki basınç verilerinin ölçümü

basamakları tekrarlanmış ve deneylerden elde edilen veriler kullanılarak ısı ve akış karakteristiklerinin bulunmasına yönelik aşağıda verilen hesaplamalar yapılmıştır.

3.1.2. Deneysel Verilerin Hesaplanması

Taşınım ile oluşan ısı transfer katsayısı ve Nu değerleri nanoakışkanların ısı etkisini belirlemek için en önemli etkenlerdir. Akış kararlı hale ulaştıktan sonra datalogger saniyede 10 kayıt oluşturarak, toplam bir dakikalık sıcaklık verisi dikkate alınarak her sıcaklık değeri için 600 veri ortalaması alınarak Eş. (3.1)'deki denklem ile hesaplanmıştır.

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{t=0}^n T_{i,t}}{n} \quad (3.1)$$

Kanalın dış yüzeyindeki sıcaklıklar ölçüldükten sonra Eş. (3.2) ile kanalın iç yüzeydeki sıcaklıklar hesaplanmıştır [80].

$$T_{iç,kanal} = T_{dış,kanal} - \frac{q'' \times r_{dış,kanal}}{k} \times \left[\ln(r_{dış,kanal}) - \ln(r_{iç,kanal}) \right] \quad (3.2)$$

Akışkan giriş sıcaklığı veri kaydının ortalaması alınarak Eş. (3.3) ile bulunmuştur. Test bölgesinin çıkışında bulunan üç ısılıçiftin ortalama değerinin üçe bölünmesiyle Eş. (3.4) ile akışkan çıkış sıcaklığı ortalaması elde edilirken, akışkanın yığın sıcaklığı Eş. (3.5) ile elde edilmiştir. Eş. (3.1) ile yüzeydeki beş ısılıçift ortalama değerleri hesaplandıktan sonra Eş. (3.2) ile iç cidar sıcaklığı hesaplanmıştır. Bulunan iç cidar sıcaklıkları kullanılarak Eş. (3.6) ile ortalama yüzey sıcaklığı hesaplanmıştır.

$$\bar{T}_{giriş,ort} = \bar{T}_{giriş1} \quad (3.3)$$

$$\bar{T}_{çıkış,ort} = \frac{\bar{T}_{çıkış1} + \bar{T}_{çıkış2} + \bar{T}_{çıkış3}}{3} \quad (3.4)$$

$$\bar{T}_{yığın} = \frac{\bar{T}_{giriş,ort} + \bar{T}_{çıkış,ort}}{2} = \frac{\bar{T}_{giriş1} + \frac{\bar{T}_{çıkış1} + \bar{T}_{çıkış2} + \bar{T}_{çıkış3}}{3}}{2} \quad (3.5)$$

$$\bar{T}_{kanal,ort} = \frac{\bar{T}_{kanal1} + \bar{T}_{kanal2} + \bar{T}_{kanal3} + \bar{T}_{kanal4} + \bar{T}_{kanal5}}{5} \quad (3.6)$$

$T_{giriş1}$ test bölgesindeki giriş akışkan sıcaklığını; $T_{çıkış1}$, $T_{çıkış2}$, $T_{çıkış3}$ akışkan çıkış sıcaklıklarını; T_{kanal1} , T_{kanal2} , T_{kanal3} , T_{kanal4} , T_{kanal5} test bölgesi iç cidar sıcaklıklarını ifade etmektedir. $T_{yığın}$ kanala giren ve kanaldan çıkan akışkanın ortalama yığın sıcaklığını, $T_{kanal,ort}$ kanalın ortalama yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Eş. (3.7) ile

taşıyım ile gerekleŒen ısı transferi katsayısı (h) ve EŒ. (3.8) aracılığıyla ortalama Nu değeri hesaplanmıŒtır;

$$h = \frac{q''}{(\bar{T}_{kanal} - \bar{T}_{yigun})_{ort}} \quad (3.7)$$

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (3.8)$$

EŒ. (3.8)'de h (W/m².K) taşıyım ile gerekleŒen ısı transferi katsayısını, D (m) dairesel kanalın apı, k (W/m.K) ısı iletim katsayısını, q'' (W/ m²) ısı akısını ifade belirtmektedir.

Literatürde, test bölgesine sabit ısı akısı uygulanarak laminer akıŒ Œartlarında dairesel kesitli kanal ierisindeki ortalama Nu değerini hesaplamak iin aŒaęıdaki korelasyonlar kullanılmıŒtır.

Shah-London Korelasyonu [81]:

$$Nu = 1,953 \times \left(Re \times Pr \times \frac{D}{L} \right)^{1/3} ; \left(Re \times Pr \times \frac{D}{L} \right)^3 \geq 33,3 \quad (3.9)$$

Gnielinski Korelasyonu [82]:

$$Nu = \left[4,354^3 + 0,6^3 + \left(1,953 \sqrt[3]{RePrD/L} - 0,6 \right)^3 + \left(0,924 \sqrt[3]{Pr} \sqrt{ReD/L} \right)^3 \right]^{1/3} \quad (3.10)$$

Churchill-Ozoe Korelasyonu [83]:

$$Nu = 4,364 \left[1 + \left(\frac{\pi RePr}{4 L / D} / 29,6 \right)^2 \right]^{1/6} \times \left[1 + \left(\frac{\frac{\pi RePr}{4 L / D} / 19,04}{\left[1 + (Pr/0,0207)^{2/3} \right]^{1/2} \left[1 + \left(\frac{\pi RePr}{4 L / D} / 29,6 \right)^2 \right]^{1/3}} \right)^{3/2} \right]^{1/3} \quad (3.11)$$

Sieder-Tate Korelasyonu [84]:

$$Nu = 1,86 Re^{1/3} Pr^{1/3} \left(\frac{D}{L} \right)^{1/3} \quad (3.12)$$

Deneyleerde lt/dk olarak belirlenen hacimsel debi değeri \dot{V} Eş. (3.13) ile akışkanın ortalama hızı V (m/s) hesaplanmıştır. Re değeri Eş. (3.14) kullanılarak ortalama hız, akışkanın yoğunluğu ve dinamik viskozite ile elde edilmiştir.

$$V = \frac{\dot{V} \times \pi D^2}{240000} \quad (3.13)$$

Eş. (3.14) ve Eş. (3.15)'teki eşitlikler ile Re ve Pr sayılarını ifade etmektedir [85]:

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.14)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (3.15)$$

Eşitlikte ρ (kg/m³) yoğunluğu, V (m/s) ortalama hızı, μ (kg/m·s) dinamik viskoziteyi, C_p (kJ/kg·K) ise özgül ısıyı belirtmektedir.

Test bölgesinin giriş ve çıkış kısmına konumlandırılan basınç ölçerlerinin ölçüm verilerinin ortalaması alınarak kanal içi basınç düşüşü hesaplanmıştır. Eş. (3.16) aracılığıyla ortalama Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

$$f = \frac{P_{giriş} - P_{çıkış}}{\left(\frac{L}{D}\right) \times \left(\frac{\rho V^2}{2}\right)} \quad (3.16)$$

Eşitlikte, $P_{giriş}$ (Pa) ve $P_{çıkış}$ (Pa) kanal giriş ve çıkıştaki basınçları, L (m) kanalın uzunluğunu, V (m/s) akışkanın ortalama hızını ifade etmektedir.

Dairesel kesitli kanallarda laminar akış durumunda ortalama Darcy sürtünme faktörü Eş. (3.17) ile hesaplanmaktadır.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.17)$$

Çalışmada kullanılan nanoakışkanın verimliliğini ifade eden Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK) Eş. (3.18) ile hesaplanmaktadır.

$$PDK = \frac{\left(\frac{Nu_{na}}{Nu_{ba}}\right)}{\left(\frac{f_{na}}{f_{ba}}\right)^{1/3}} \quad (3.18)$$

Burada, Nu_{na} nanoakışkanın Nu değerini, Nu_{ba} baz akışkanın Nu değerini, f_{na} nanoakışkanın ortalama Darcy sürtünme faktörünü ve f_{ba} baz akışkanın ortalama Darcy sürtünme faktörünü ifade etmektedir.

Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK), ısı transfer performans artışını belirten bir değerlendirme katsayısıdır. Sistemde nanoakışkan kullanılarak elde edilen verimlilik PDK sayısı ile belirlenebilmektedir [86].

3.1.3. Belirsizlik Analizi

Sonuçların doğruluk sınırlarını ifade etmek için belirsizlik analizi yapılmaktadır. Aşağıdaki eşitlikler ile deneyde kullanılan ölçüm cihazlarının belirsizlik analizi hesaplanmıştır.

$$X_m = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (3.19)$$

$$S^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_m^2) \quad (3.20)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (3.21)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (3.22)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \times S_i^2} \quad (3.23)$$

Burada, X_m gözlenen değerlerin aritmetik ortalamasını, X_i yapılan gözlemleri, N gözlem sayısını, a hassasiyeti, S standart sapmayı, S^2 varyansı, U belirsizliği ifade etmektedir [87]. Deneyde kullanılan parametreler için belirsizlikler Çizelge 3.3'te verilmiştir. İstatistiki metod kullanılarak belirsizlik analiz sonuçları hesaplanmış olup detaylı olarak EK AÇIKLAMALAR B'de verilmiştir. Re değeri, ortalama Nu değeri ve ortalama Darcy sürtünme faktörü için belirsizlikler sırasıyla maksimum %1,2, %6,56 ve %1,11 olarak bulunmuştur. %6,67 maksimum hata oranı elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Ölçüm cihazlarının belirsizlikleri.

Cihaz	Ölçüm Parametresi	Belirsizlik
Ordell T Tip Isıl çift	Yığın Sıcaklık	2,20
	Duvar Sıcaklığı	3,36
GT-MD-B08	Debimetre	1,00
Gentek GNT 604	Debimetre Göstergesi	0,20
Isıtıcı Kablo 50 W/m	Isıtıcı Gücü	1,00
Gentek PT124B-210	Basınç farkı	0,50

3.2. SAYISAL YÖNTEM

Sayısal yöntemler, mühendislik problemlerinde, fiziksel sistemlerin matematik modellerini ifade eden denklemlerin analitik olarak çözülemediği ya da analitik çözümün zor olduğu durumlarda bilgisayar yardımıyla çözmek için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin en büyük avantajı analitik çözümü olmayan problemlerin bile çözümlenebilmesi ve bilgisayar simülasyonlarının yapılabilmesidir. Analitik yöntemler genel olarak matematiksel ifadeler şeklinde çözümlenirler ve genel çözüm ifadeleri belirli değerler için sayısal sonuç verirler. Sayısal çözümlerde sonuçlar daima sayısaldir ve istenilen hassasiyette yaklaşık çözüm üretirler. Hassasiyet artırıldıkça işlem adımları artmakta, çözümü ele alınan fiziksel modele ait problem tipine göre güçlü ve daha hızlı bilgisayarlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Günümüzde sürekli gelişme gösteren bilgisayar teknolojisi ile sayısal analiz yöntemleri de gelişmiş, daha karmaşık problemlerin bile modellenip çözülmesinde etkili bir çözüm yöntemi haline gelmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında deneysel çalışmadan elde edilen verileri doğrulamak ve deneysel çalışma sonuçlarında gözlenemeyen hız, basınç ve sıcaklık dağılımlarına ait sonuçları gözlemleyebilmek amacıyla Çizelge 3.4'te verilen şartlar için sayısal çalışmalar Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizi ile gerçekleştirilmiştir. Sayısal hesaplamalar için Çizelge 3.2'de belirtilen termofiziksel özellikler kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Sayısal çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler.

Yapılan Sayısal Analizler	
<p>Laminer Akış (Tüm analizler 0,8-1,6 lt/dk (1000<Re<2300) aralığında 9 değer için yapılmıştır)</p>	<p>Türbülanslı Akış (Tüm analizler 8-24 lt/dk (10000<Re<30000) aralığında 9 değer için yapılmıştır)</p>
Saf su ile doğrulama	
Nanoakışkan	
%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su
Nanoakışkan + sabit manyetik alan ($B=0,3$ T)	
%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%1,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%2,0 Fe ₃ O ₄ /Su
%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su	%5,0 Fe ₃ O ₄ /Su

3.2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) akış ve ısı transferine ait genel yönetici denklemler olan kütle, momentum ve enerji denklemlerinin bilgisayar aracılığı ile çözülmesi prensibine dayanan sayısal bir yöntemdir. Hızlı ve pratik çalışma olanağı sunan HAD akışa ait kısmi diferansiyel denklemleri bilgisayarlar aracılığı ile bir takım cebirsel eşitliklere dönüştürür. Çözömlenen problem ile ilgili olarak basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ile bunlara ait bir çok alt veriye ulaşma imkanı sağlar. Bilgisayarlar aracılığı ile kullanılan HAD yazılımlarından elde edilen sonuçlar akışkan dinamiği ve ısı transferi ile ilgili problemin gerçek davranışları hakkında bilgiler sunar. Bununla birlikte incelenen fiziksel modele ait problemin kolaylıkla analiz edilmesinin yanında deneysel çalışmalara nispeten zamandan ve ekonomik açıdan fayda sağlaması HAD'ı ön plana çıkaran bir etken olmuştur. Genel olarak yapılan HAD analizlerinde takip edilen işlem basamakları aşağıdaki gibidir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. HAD işlem aşamaları.

Burada, ön işlemci kısmında incelenen probleme ait geometri ve ağ (çözüm ağı) yapısının oluşturulması ile sınır şartlarının tanımlanması yapılırken sonlu fark, sonlu hacimler, sonlu elemanlar yöntemi gibi çözüm tekniklerinin belirlenmesi ikinci aşama olan çözümleyici kısmında ve çözüm sonuçlarının alınması ile değerlendirilmesi son işlemci kısmında yapılmaktadır.

3.2.2. Geometri ve Ağ Yapısının Oluşturulması

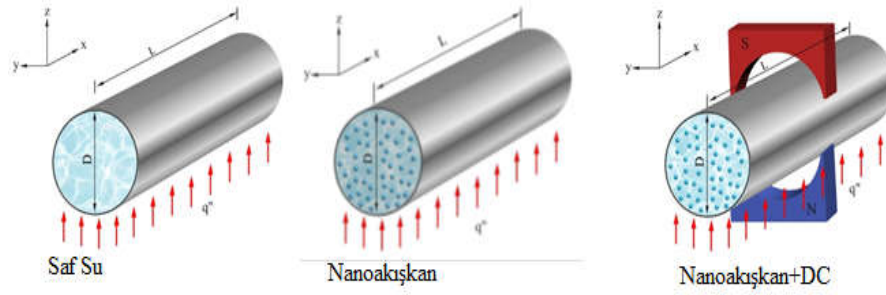
HAD analizleri için ön işlemci basamağında öncelikle probleme ait fiziksel model ve geometri oluşturulur. Sonrasında oluşturulan geometri, akışa ait temel diferansiyel denklemleri simüle eden küçük düzgün elemanlardan ve noktalardan oluşmuş ağ yapısına ayrılır. Bu işlemler HAD analizi sürecinin ilk iki basamağını (Geometri ve Mesh) oluşturur (Şekil 3.18).

A	
1	Fluid Flow (Fluent)
2	DM Geometry ✓
3	Mesh ✓
4	Setup ✓
5	Solution ?
6	Results ?

Şekil 3.18. HAD Analizi işlem basamakları.

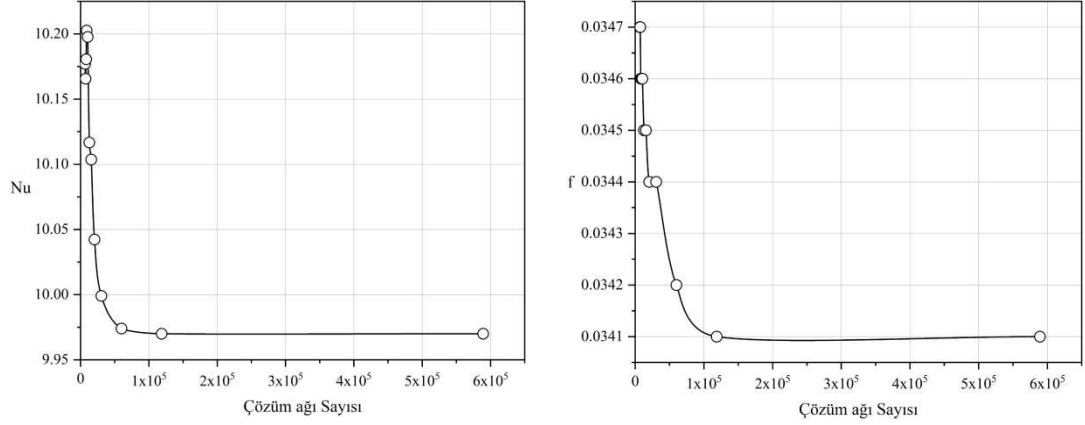
Çalışma kapsamında yapılan sayısal analizler için oluşturulan geometrik modele ait şematik resim Şekil 3.19’da verilmiştir.

Şekil 3.19’da verilen silindirik kanal geometrisi $L=1,5$ m uzunluğunda ve 0,016 m çapında olup oluşturulan model geometride akışa manyetik alan uygulaması deneysel çalışmada olduğu gibi kanalın 1,2-1,3 m arasında gerçekleştirilmiştir. Model geometrinin oluşturulmasından sonra sayısal çözüm ağı yapısının (mesh yapısı) belirlenmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.

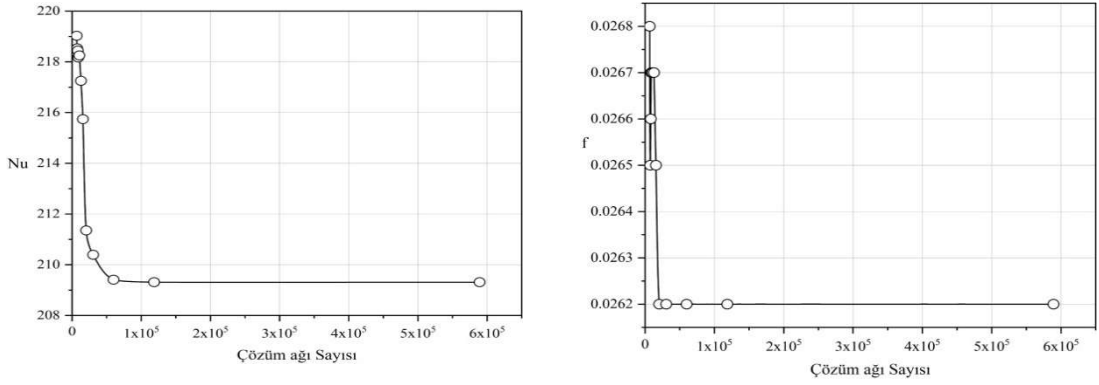


Şekil 3.19. Problem geometrisi şematik gösterimi.

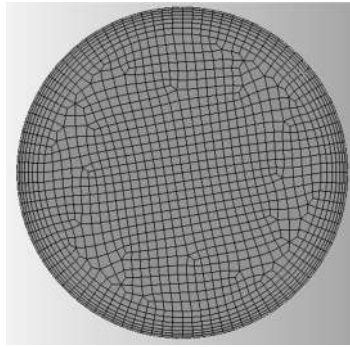
Çözümleme sonucu elde edilen verilerin doğruluğuna çözüm ağının hücre sayısı ve kalitesi etki etmektedir. Düşük kaliteli veya daha az hücre sayılı çözüm ağları, sonuçların doğruluktan uzaklaşmasına neden olurken; yüksek çözüm ağı sayısı ise hesaplama zamanını artırmaktadır. Bundan dolayı, genellikle sayısal çalışmalarda hücre sayısı ile sayısal sonuçların değişmediği veya değişiminin az olduğu ağ yapısı belirlenir. Çalışma kapsamında da uygun sayısal çözüm ağ yapısının belirlenebilmesi amacıyla hem laminer hem de türbülanslı akış şartları için farklı hücre sayılarına sahip ağ yapıları ile sayısal analizler yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde çözüm ağı sayısı artarken belli bir ölçüden itibaren ortalama Nu ve ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerindeki değişimin azaldığı Şekil 3.20 ve 3.21’de verilen örnek çalışmadan görülmektedir. Bu değişimin 60000 hücre sayısı ile 100000 hücre sayısı arasında %0,22 olduğu hesaplanmıştır. 100000 hücre sayısından sonra değişim oranı daha da düşecektir, fakat artan çözüm ağı sayısı hesaplama zamanını da önemli bir değerde artırabilecektir. Bu nedenle, sayısal çalışmada yapılan tüm analizlerde hücre sayısının 60000 olduğu Şekil 3.22’de verilen sayısal çözüm ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 3.20. Laminer akış şartlarında çözüm ağı doğrulama çalışması.



Şekil 3.21. Türbülanslı akış şartlarında çözüm ağı doğrulama çalışması.



Şekil 3.22. Örnek sayısal çözüm ağı yapısı.

3.2.3. Sayısal Çözümlerinin Gerçekleştirilmesi

Sonlu Hacimler Yönteminde (SHY) çözümü gerçekleştirilecek olan geometri, parçalara bölünür ve her bir parça için ilgili denklemlerin iteratif olarak çözüm işlemi yapılır ve çözümleri yapılan bu parçalar birleştirilerek problemin genel çözümü bulunmuş olur. Bu çalışmada, sayısal yöntem olarak kontrol hacmi yaklaşımı ile

Sonlu Hacimler Yöntemine (SHY) dayalı çözümlene yapabilen ANSYS Fluent 19.1 kodu kullanılmıştır.

Manyetik alan etkisiyle akışta ve ısı transferinde değişiklikler oluşmaktadır. MHD akışını belirleyen denklemler Navier-Stokes ve Maxwell denklemlerinden oluşmaktadır. Sıkıştırılamaz akışlar için süreklilik denklemi aşağıda sunulmuştur [88].

$$\vec{N} \times \vec{V} = 0 \quad (3.24)$$

Momentum denklemi manyeto-taşıyım altında aşağıdaki denkleme dönüştürülmektedir.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\Delta p + \eta \vec{N}^2 \vec{V} + \vec{N} \bar{\tau} - S_p + \alpha \rho g (T - T_0) \vec{k} + (\vec{M} \times \vec{N}) \vec{B} \quad (3.25)$$

Enerji denklemi ise manyetik alan etkisinde Eş. (3.26)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = k \nabla^2 T + \eta \phi - \mu_0 T \frac{\partial \vec{M}}{\partial T} \left((\vec{V} \cdot \nabla) \vec{H} \right) \quad (3.26)$$

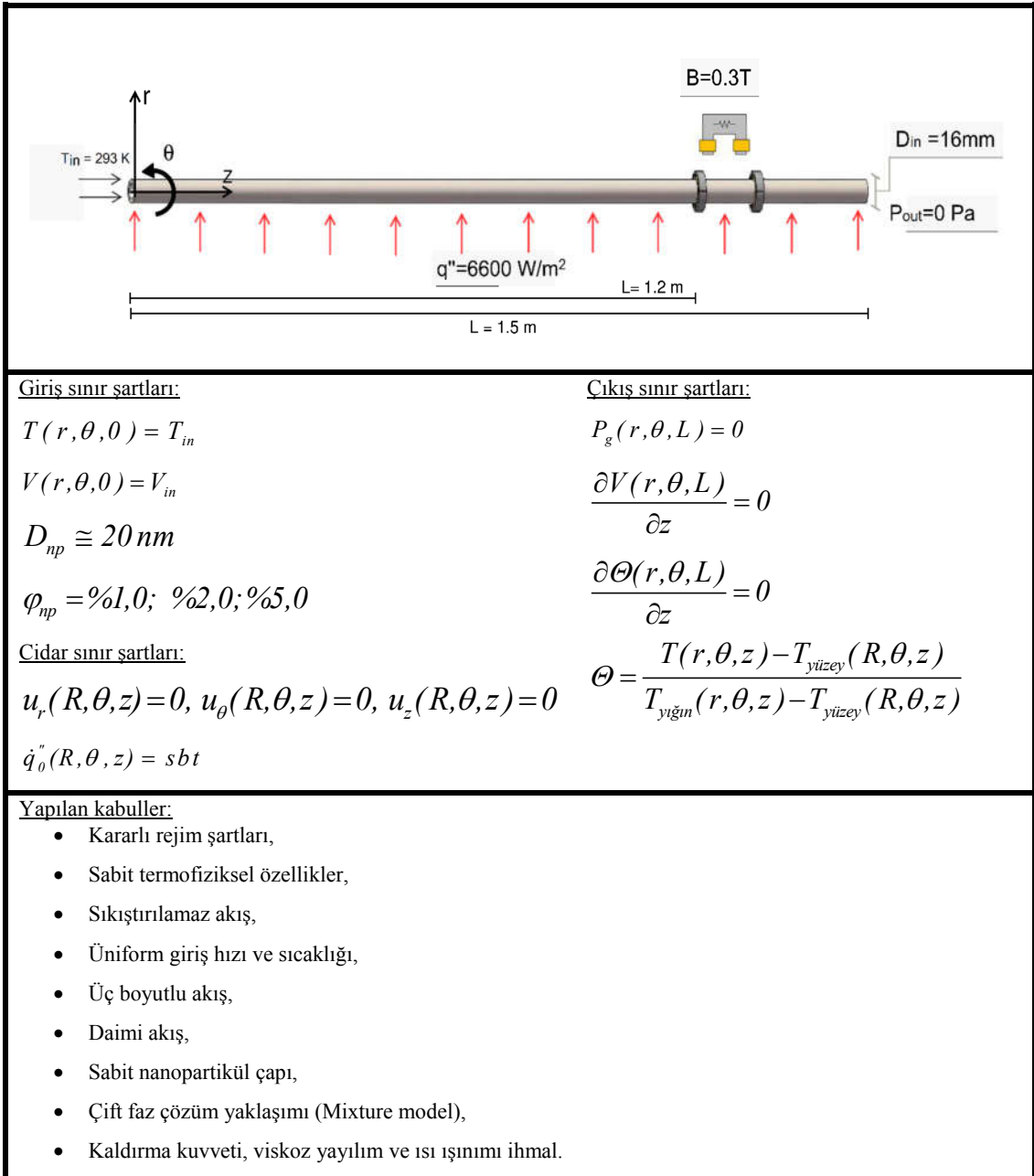
Eşitlikte, \vec{V} (m/s) akış hızını, p (Pa) statik basıncı, $\bar{\tau}$ (Pa) stres tensörünü, S_p akışkan ile nanopartikül arasındaki momentum transferini temsil eden kaynak terimini, T (°C) akışkan sıcaklığını, t (s) zamanı, η (m²/s) viskoziteyi, ϕ (kg/m²/s²) viskoz yayılımı ifadel etmektedir. Çift faz için S_p kaynak terimi, akışkanın kontrol hacminden geçerken nanopartiküllerin momentum değişiminin hesaplanmasıyla elde edilebilir [89–92].

$$S_p = \sum F \times m_p \times \Delta t \quad (3.27)$$

Burada, F (N) nanoparçacığa etki eden toplam kuvveti, m_p (kg) nanoparçacığın kütlesini ifade etmektedir. Toplam kuvvet F ise sürüklenme, yerçekimi, Brownian,

termoforez, Saffman kaldırma kuvvetleri ile basınç gradyanı, sanal kütle kuvvetlerinden meydana gelmektedir.

Uygun başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesi ile korunum denklemleri çözülebilmektedir. Deneysel çalışmadaki koşullar dikkate alınarak sayısal analizler gerçekleştirilmiş olup probleme ait matematiksel model ve yapılan kabuller Şekil 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.23. Sayısal çözümlenmeye ait matematiksel model ve yapılan kabuller.

Sayısal analizlerde kütle, momentum ve enerji denklemlerindeki taşınım terimleri ikinci dereceden upwind şeması kullanılarak ayrıklaştırılmıştır. Basıncın ayrıklaştırılmasında standart şema, basınç-hız bağlantısı için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Denklemlerin ayrıklaştırılmasında Hücre Merkezli En Küçük Kareler metodu uygulanmıştır. Yakınsama için denklem çözümlerinde elde edilen kalıntıların 10^{-6} 'ya erişene kadar yinelemelere devam etmesi sağlanmıştır.

Literatürde nanoakışkan akışına ait akış ve ısı transferi karakteristikleri tek faz ve çift faz çözüm yöntemleri ile sayısal olarak çözümlenebilmektedir [93,94]. Çalışma kapsamında tek faz ve VOF, Eularian- Eularian ve Mixture modelleri ile üç farklı çift faz çözüm yöntemleri kullanılarak yapılan sayısal analizler neticesi Mixture modelinin manyetik alan altında en iyi akış ve ısı transferi karakteristiklerini verdiği tespit edilmiş ve tek faz ile çift faz karşılaştırılmasına yönelik yapılan bu çalışma sonuçları ile çalışma çıktılarının gerçekleşmesine yönelik adımlar atılmıştır. Bu nedenle, çalışma kapsamında öngörülen tüm sayısal çözümler Mixture çift faz modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanoparçacığın çapı, deneylerde kullanılan nanoakışkanlardaki nanopartiküllerin ortalama çapı dikkate alınarak 20 nm olarak alınmıştır.

Mixture çift faz metodunda, iki ayrı fazın hacimsel konsantrasyonları ölçüsünde karışımın termofiziksel özellikleri bulunmaktadır. Bu amaçla, nanoakışkanın ve baz akışkanın termofiziksel özellikleri kullanılmıştır [95]. Eş. (3.28)–Eş. (3.31) denklemlerinde verildiği gibi baz akışkan ve nanopartikül fazlarının termofiziksel özellikleri hacimsel ortalama yöntemi kullanılarak hacimsel nanopartikül konsantrasyonları oranında karışımın termofiziksel özellikleri olarak hesaplanmaktadır.

$$\rho_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k \rho_k \quad (3.28)$$

$$(\rho C_p)_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k (\rho C_p)_k \quad (3.29)$$

$$k_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k k_k \quad (3.30)$$

$$\mu_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k \mu_k \quad (3.31)$$

Sayısal analizlerde akışa manyetik alan uygulanabilmesi için Kelvin kütle kuvvetleri ve Joule ısıtma denklemlerinin çözümü için manyetik indüksiyon metodu kullanılmıştır. Bu amaçla, deney sistemindeki gibi çözüm alanına manyetik alan indüksiyonu uygulanmıştır. Çözüm alanına uygulanacak ortalama sabit manyetik alan ($B=0,3$ T) akışa dik yönde uygulanmıştır.

Manyetik alan hesaplaması Maxwell denklemi ve Ohm yasasından türetilmektedir. Elektrik akımının elektriksel iletken malzeme içinde gerçekleşmesi ve neticesinde manyetik alanın oluşturulması birbirini etkileyen iki temel unsurdur.

Sayısal analizler neticesinde kanal giriş ve çıkış kesitlerindeki kütleli ortalama sıcaklık değerleri Eş. (3.32) aracılığıyla elde edilmiştir. Alan ortalama kanal yüzey sıcaklığı değerleri ise Eş. (3.33) aracılığıyla hesaplanmıştır. Eş. (3.34) ile alan ortalama giriş basıncı elde edilmiştir. Hesaplanan bu veriler kullanılarak Eş. (3.8) aracılığıyla boyutsuz ortalama Nu değerleri, Eş. (3.16) ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri hesaplanmıştır.

$$\bar{T}_{yığın} = \frac{\frac{\int_{giriş} T(r,\theta) \times \rho u(r,\theta) dA}{\int_{giriş} \rho u(r,\theta) dA} + \frac{\int_{çıkış} T(r,\theta) \times \rho u(r,\theta) dA}{\int_{çıkış} \rho u(r,\theta) dA}}{2} \quad (3.32)$$

$$\bar{T}_{kanal,ort} = \frac{\int_{kanal} T(r,\theta) dA}{\int_{kanal} dA} \quad (3.33)$$

$$P_{giriş} = \frac{\int P(r, \theta) dA}{\int_{giriş} dA} \quad (3.34)$$

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, dairesel kesitli bir kanal içerisinde akan farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarındaki nanoakışkanın manyetik alanın uygulanmadığı ($B=0$ T) ve sabit manyetik alan (DC, $B=0,3$ T) etkisi altındaki akış ve ısı transferi karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak hem laminar hem de türbülanslı akış şartlarında incelenmiştir. Laminar ve türbülanslı akış şartları için hem deneysel hem de sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlar akış ve ısı transferi karakteristikleri bakımından değerlendirilmiş ve bu bölümde detaylı olarak sırası ile verilmiştir.

4.1. DENEYSEL SONUÇLAR

Çalışmanın ilk aşamasında çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan laminar ve türbülanslı akış şartları için gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçları verilmiştir.

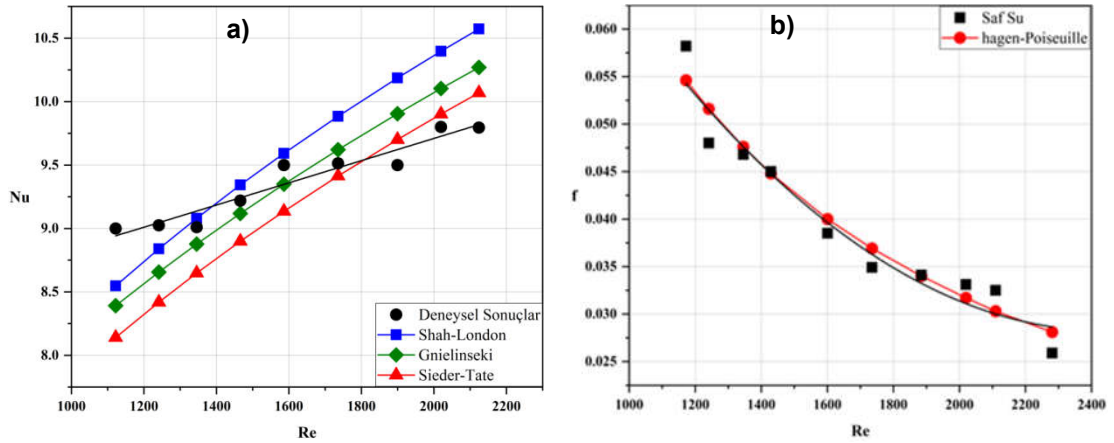
4.1.1. Laminar Akış Sonuçları

Laminar akış şartları için temel akışkan olan saf su ile doğrulama ve nanoakışkan akışı ile sabit manyetik alan etkisi altında deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1.1.1. Saf Su ile Doğrulama

Çalışma kapsamında esas deneylere geçmeden önce temel akışkanı olarak saf su kullanılan durum için laminar akış şartlarında deneyler yapılmıştır. Saf su ile yapılan

deneylerden elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak taşınımın gerçekleşen ısı transfer hızı ve basınç düşümü değerleri farklı Re değerleri için elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatürde kabul görmüş korelasyonlar ile karşılaştırılarak doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.1a'da laminar akış şartları için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi görülmektedir. Şekilden açık bir biçimde görülebileceği gibi elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir. Deneysel sonuçların Gnielinski [82] tarafından önerilen korelasyonla $\pm\%7,66$ hata oranı içinde, Shah-London [81] korelasyonuyla $\pm\%7,31$ ve Sieder-Tate [84] korelasyonuyla ise $\pm\%10,99$ aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.1b'de ise çalışma akışkanı saf su kullanılarak elde edilen ortalama Darcy sürtünme faktörünün, literatürde yaygın olarak kullanılan Hagen-Poiseuille [96] korelasyonuyla karşılaştırılması görülebilmektedir. Elde edilen sonuçların korelasyon ile $\pm\%10$ hata oranı içinde kalarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan deney sisteminin yeterli doğrulukta ve hassasiyette çalıştığı tespit edilmiştir.

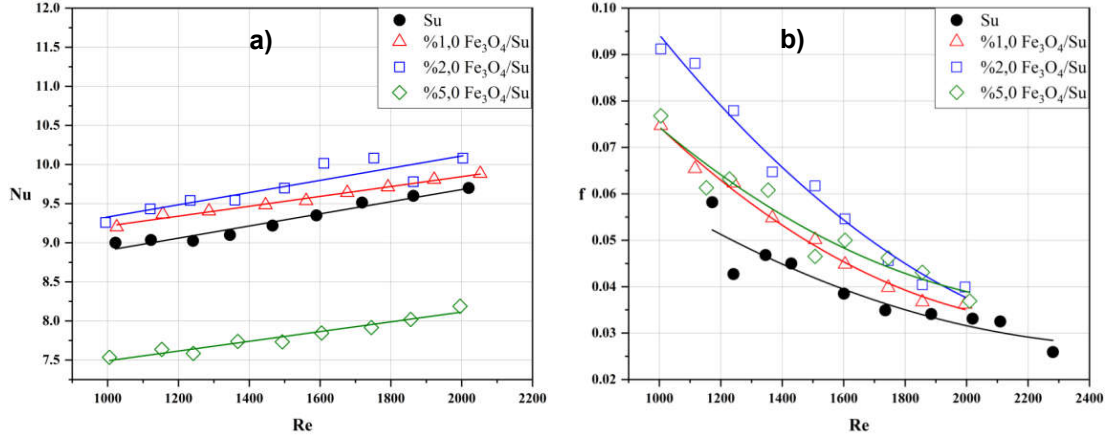


Şekil 4.1. Deneysel sonuçların literatürle karşılaştırılması a) ortalama Nu değeri b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.

4.1.1.2. Nanoakışkan Akışı

Bu bölümde, nanoakışkanların akış ve ısı transferi karakteristiklerinin tespit edilmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Kanal yüzeyine sabit ısı akısı uygulanırken hidrodinamik ve ısıl olarak gelişmekte olan akış şartlarının incelendiği bu çalışma, laminar akış koşulları ($1000 < Re < 2300$) altında yapılmıştır.

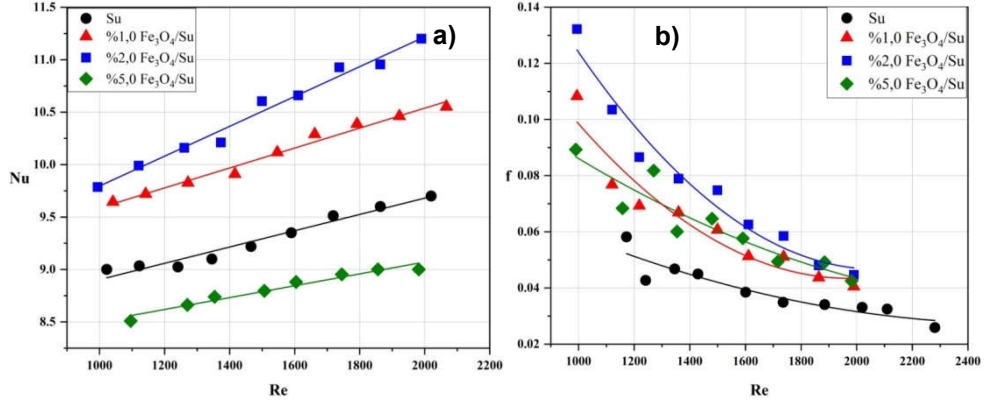
Farklı hacimsel konsantrasyonlardaki Fe_3O_4 nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanlarla gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2a’da artan Re değerine göre Nu değerinin arttığı görülmektedir. En yüksek artış miktarı saf su kullanılan duruma göre %5,28’e varan artış sunan %2,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 /su nanoakışkanı olarak elde edilmiştir. Ayrıca, nanoakışkanın hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça Nu değerinin de doğru orantılı olarak arttığı görülebilmektedir. Ancak, %5,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonundaki Fe_3O_4 /su nanoakışkan kullanılan durumdaki Nu değerleri, çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan duruma göre çok daha düşük sonuç vermiştir. Şekil 4.2b ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinin Re değerleri ile değişimi verilmiştir. Artan Re değerleri ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri düşmektedir. Saf suya nanopartikül ilave edilmesi kanal içindeki basınç düşümünü arttırdığı saptanmıştır. En yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri saf su kullanılan duruma göre ortalama %52,08 artış ile %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilmiştir. Bununla birlikte, %5,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılan durumda ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılan durumdan daha düşük elde edilmiştir. Literatür incelendiğinde temel akışkana (saf su) nanoparçacık eklenmesi ile artan nanoparçacık konsantrasyonuna bağlı olarak taşınımın ısı transferinin genelde arttığı görülmüştür. Yapılan deneylerde ısı taşınımının azalması nanoakışkanın yoğun konsantrasyonda olmasından kaynaklı çökelmelerin etkisiyle meydana geldiği düşünülmektedir. Literatürde bu duruma benzer çalışmalar bulunmaktadır. Kouloulis vd.’nin yaptığı çalışmada %0,6 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunda Al_2O_3 /su nanoakışkanın geçen süreye göre çökeltme miktarı paylaştıkları görsellerde gözle görülebilmektedir [97].



Şekil 4.2. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.

4.1.1.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı

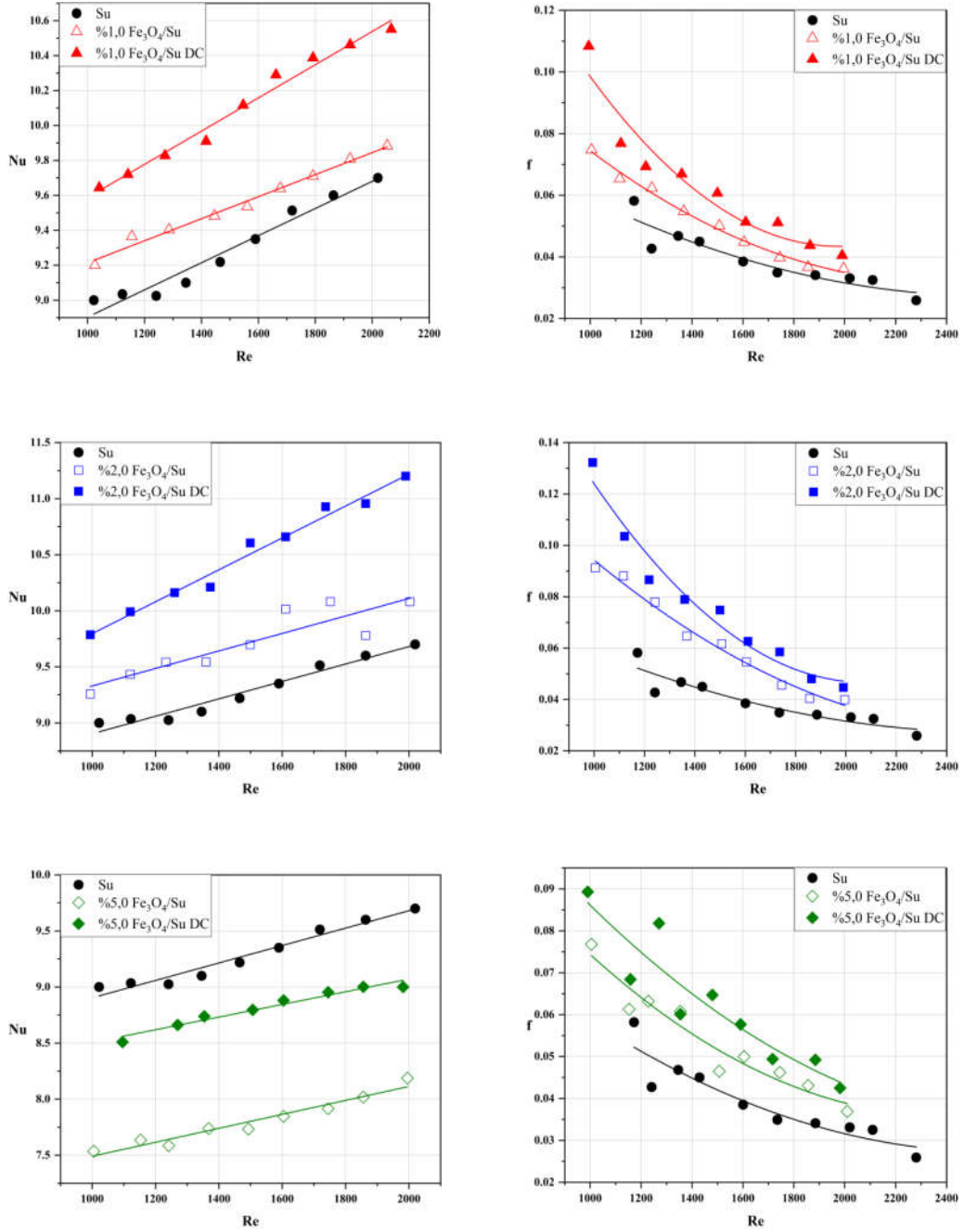
Çalışmanın bu kısmında sabit manyetik alan ($B=0,3$ T) etkisi altında çalışma akışkanı olarak Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılan durum için elde edilen sonuçlar Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi sabit manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkan akışının akış ve ısı transferi performansı manyetik alan etkisi olmayan durumla benzer eğilim göstermektedir. Çalışma akışkanı olarak kullanılan %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı saf su kullanılan duruma göre %8,32'ye varan ısı transferi artış oranı elde edilmiştir. Bununla birlikte, %5,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilen Nu değerleri, çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan duruma göre daha düşük olarak elde edilmiştir. Fuentes-Garcia vd.'nin çalışmasında ise manyetik alan sebebiyle oluşan çökelmelerin mikroskop altındaki görselleri paylaşılmıştır [98]. Düşük nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarında çökme çok daha uzun sürede oluşmaktayken, hacimsel konsantrasyon arttıkça zeta potansiyel azalması sebebiyle süre de kısalmaktadır [99,100]. Fe₃O₄ nanoparçacıklarının zeta potansiyeli diğer metalik malzemelerden üretilen nanoparçacıklara göre daha düşük olması nedeniyle çökme oranı daha yüksektir [98]. Bu nanoparçacıklara manyetik alan uygulanmasıyla manyetik topaklanma sebebinden çökme daha da hızlanmaktadır. Bu çalışmada karşılaştığımız Nusselt sayısındaki düşüş literatürde bu konuda yapılan çalışmalar ile uyum sağlamaktadır [98].



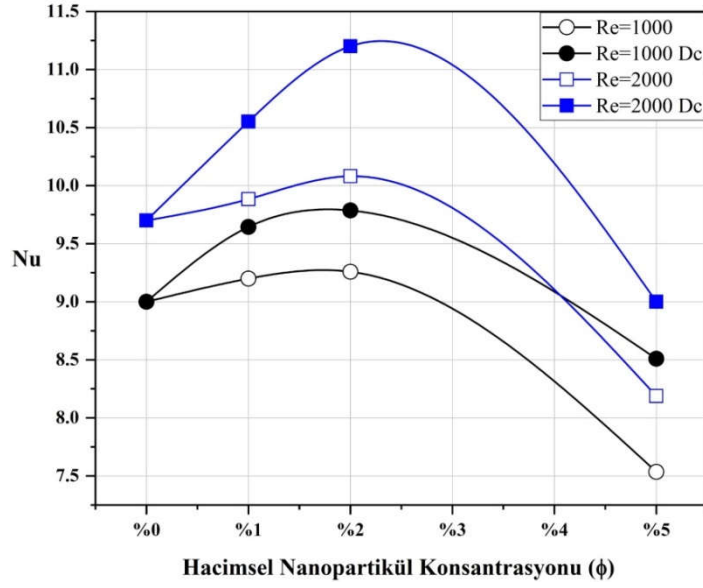
Şekil 4.3. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi, ($B=0,3$ T durumu).

Şekil 4.4'te ise farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonundaki Fe_3O_4 /su nanoakışkanlarının manyetik alanın uygulanmadığı ($B=0$ T) ve sabit manyetik alanın uygulandığı ($B=0,3$ T) durumlardaki sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekildeki Nu değerlerine ait grafikler incelendiğinde; %1,0; %2,0 ve %5,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanına sabit manyetik alan uygulandığı durumda manyetik alanın uygulanmadığı duruma göre sırasıyla %5,65; %8,05 ve %12,79 oranlarında artış elde edilmiştir. Ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinde ise bu oranlar sırası ile %22,52; %21,14 ve %16,35 olarak elde edilmiştir. Ortalama Darcy sürtünme faktörü için bulunan sonuçlar kullanılarak elde edilen korelasyonlar detaylı olarak EK AÇIKLAMALAR D'de paylaşılmıştır.

Şekil 4.5'te, ortalama Nu değerinin, farklı Re değerleri için hacimsel konsantrasyon oranlarındaki değişimi verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi her bir hacimsel konsantrasyon oranında sabit manyetik alan uygulanması ortalama Nu değerlerini arttırmıştır. Ayrıca ortalama Nu değerlerinde %2,0 oranına kadar artış görülmüş, bu değerden sonra düşüş gözlemlenmiştir. Ortalama Nu değeri için bulunan sonuçlar kullanılarak elde edilen korelasyonlar detaylı olarak EK AÇIKLAMALAR C'de paylaşılmıştır.



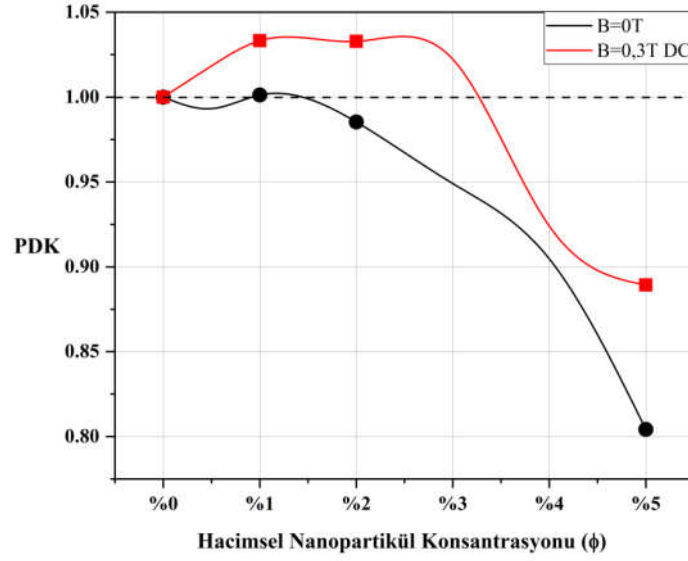
Şekil 4.4 Ortalama Nu değerinin (solda) ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün (sağda) Re değeri ile değişimi, ($B=0$ ve $B=0,3$ T durumları).



Şekil 4.5. Ortalama Nu değerinin hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranına göre değişimi, ($B=0$ ve $B=0,3$ T durumları).

Genel olarak yapılan değerlendirmede nanoakışkan kullanımıyla saf suya oranla ısı transferi performansında artış gerçekleşmektedir. Bu durumdaki sebep baz akışkana ilave edilen nanopartiküllerin ısı iletim katsayısının yüksek olması dolayısıyla akışkanın ısı iletim katsayısını artırması olarak açıklanabilir. Ayrıca, Brownian ve Neel mekanizmaları da bu ısı transferi artışı konusunda etkilidir [101,102]. Bu mekanizmalarda nanopartiküllerin akışkan içinde rastgele hareket etmeleri sebebiyle baz akışkanın termofiziksel özelliklerinin iyileşmesini sağlamaktadır. Sabit manyetik alan uygulanması sonucunda manyetiklenen metalik nanopartiküller duvara yaklaşarak yerel ısı iletim katsayısını çok yükseltmesi sonucunda ısı transferi artışı meydana gelmektedir. Aynı zamanda duvarda oluşan zincir benzeri yapılar da bu ısı transferinin artmasını sağlamaktadır [64,102].

Şekil 4.6'da PDK'nın hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranı ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde laminer akış şartlarında akışa sabit manyetik alan uygulamasının özellikle düşük hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranlarında verimli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6. Performans Değerlendirme Katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.

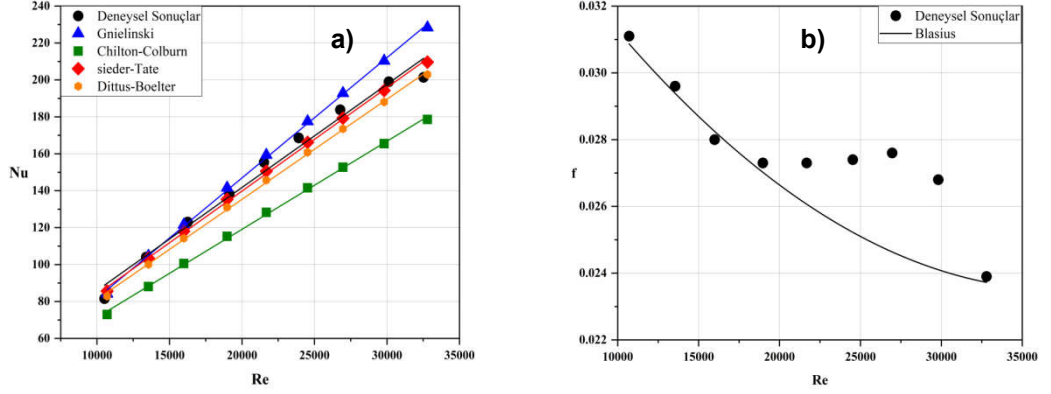
4.1.2. Türbülanslı Akış Sonuçları

Türbülanslı akış şartları için saf su ile doğrulama ve nanoakışkan ile sabit manyetik alan etkisinin olup olmadığı şartlar altında deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1.2.1. Saf Su ile Doğrulama

Saf suyun temel akışkan olarak kullanıldığı türbülanslı akış şartlarında deneyler yapılmıştır. Saf su ile yapılan deneylerden elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızı ve basınç düşümü değerleri farklı Re değerleri için elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatürde kabul görmüş korelasyonlar ile karşılaştırılarak doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.7a'da türbülanslı akış şartları için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi görülmektedir. Şekilden açık bir biçimde görülebileceği gibi elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir. Deneysel sonuçların Gnielinski [82] tarafından önerilen korelasyonla $\pm\%6,77$ hata oranı içinde, Chilton-Colburn [103] korelasyonu ile $\pm\%18,29$; Sieder-Tate [84] korelasyonu ile ise $\pm\%4,99$ ve Dittus-Boelter [104] korelasyonu ile $\pm\%6,97$ aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.7b'de ise çalışma akışkanı saf su

kullanılarak elde edilen ortalama Darcy sürtünme faktörünün, literatürde yaygın olarak kullanılan Blasius [85] korelasyonu ile karşılaştırılması görülmektedir. Elde edilen sonuçların korelasyon ile $\pm\%10$ hata oranı içinde kalarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan deney sisteminin yeterli doğrulukta ve hassasiyette çalıştığı tespit edilmiştir.



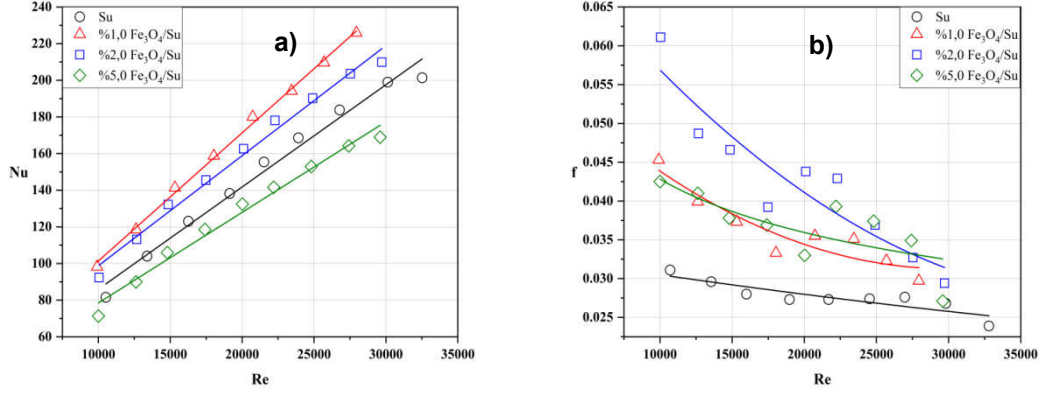
Şekil 4.7. Deneysel sonuçların literatür ile karşılaştırılması a) ortalama Nu değeri ve b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.

4.1.2.2. Nanoakışkan Akışı

Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan laminer akış şartları altında deneysel çalışmalar sonrası, türbülanslı akış şartları altında ($10000 < Re < 35000$) alıma akışkanı olarak Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanıldığı durum için deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ekil 4.8'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde en yüksek taınımla ısı transferi değeri, saf su kullanılan duruma göre $\%20,45'$ e varan artış ile $\%1,0 Fe_3O_4/su$ nanoakıkanında elde edilmiştir. Laminer akış şartlarında en yüksek taınımla gerçekleşen ısı transferi değeri, $\%2,0 Fe_3O_4/su$ nanoakışkanı ile elde edilirken türbülanslı akış şartlarında $\%1,0 Fe_3O_4/su$ nanoakışkanı ile ulaşılmaktadır.

Şekil 4.8b ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinin Re değerleri ile değişimi verilmiştir. Artan Re değerleri ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri düşmektedir. Dolayısıyla saf suya nanopartikül ilave edilmesiyle kanal içindeki basınç dmnn arttığı tespit edilmiştir. En yüksek ortalama Darcy sürtünme

faktörü değerleri saf su kullanılan duruma göre ortalama %49,85 artış ile %2,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilmiştir.

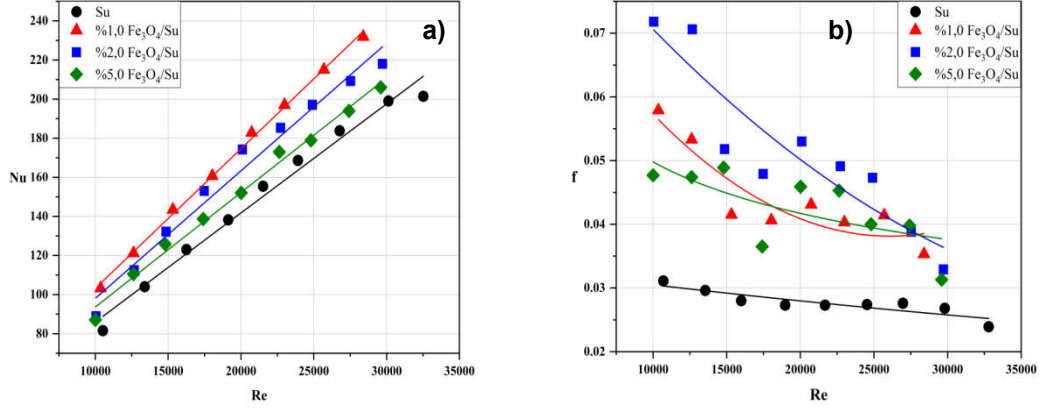


Şekil 4.8. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.

4.1.2.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı

Çalışmanın bu kısmında sabit manyetik alan ($B=0,3$ T) etkisi altında çalışma akışkanı olarak $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılan durum için elde edilen sonuçlar Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi sabit manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkan akışının akış ve ısı transferi performansı manyetik alan etkisi olmayan durumla benzer eğilim göstermektedir. Çalışma akışkanı olarak kullanılan %2,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı saf su kullanılan duruma göre %7,22'ye varan ısı transferi artış oranı elde edilmiştir. Bununla birlikte, %5,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilen Nu değerleri, çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan duruma göre diğer nanoakışkanlara kıyasla diğer en düşük artışı verdiği görülmüştür.

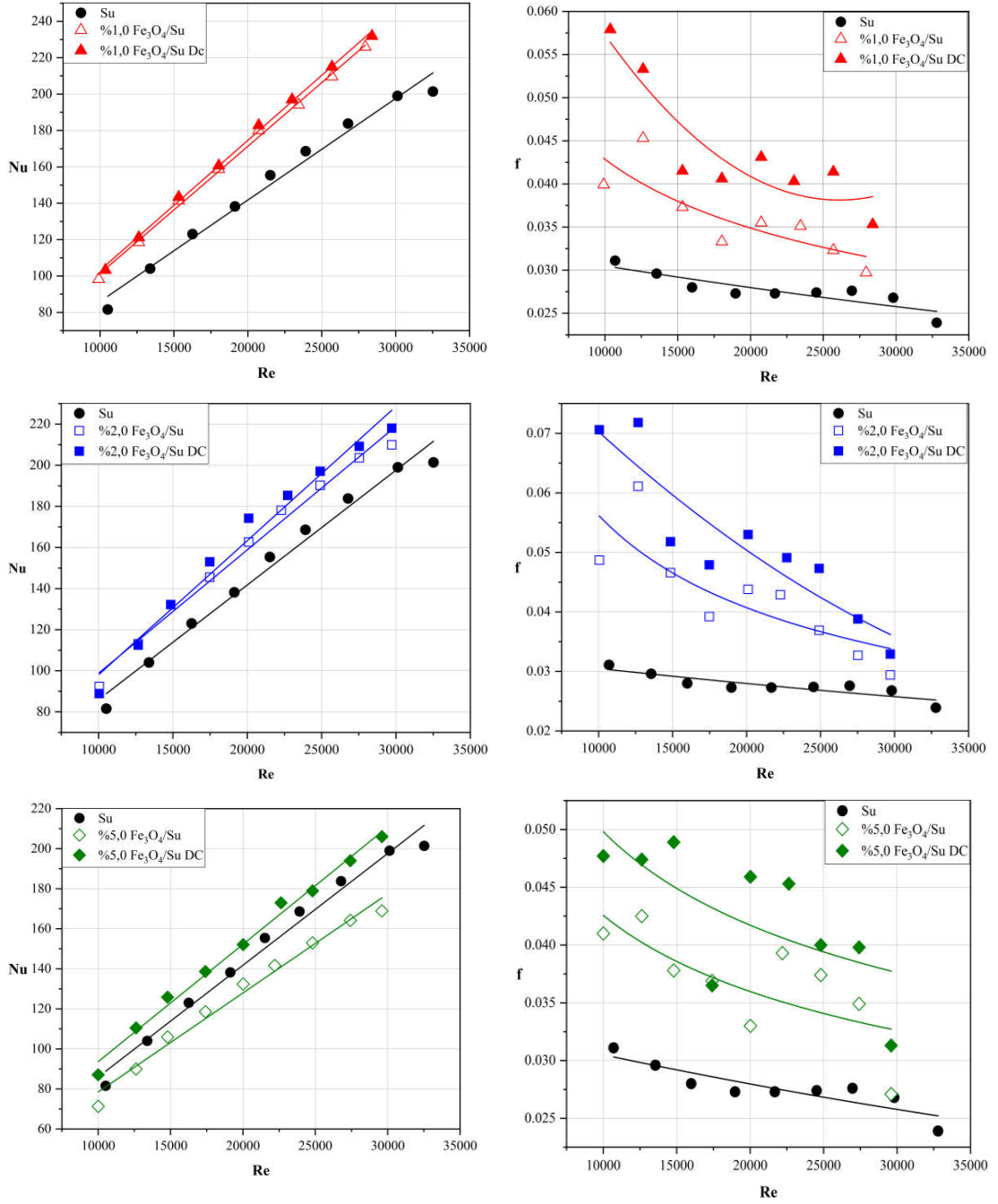
Sabit manyetik alan ($B=0,3$ T) etkisi altında çalışma akışkanı olarak $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılan durum için elde edilen sonuçlar Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde sabit manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkan akışının ısı transferi karakteristikleri manyetik alan etkisi olmayan duruma göre iyileştiği saptanmıştır. Çalışma akışkanı olarak kullanılan %1,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı, manyetik alan uygulanmadığı duruma göre duruma göre %5,06'ya, saf su kullanılan duruma göre ise %26,54'e varan ısı transferi artış oranı elde edilmiştir.



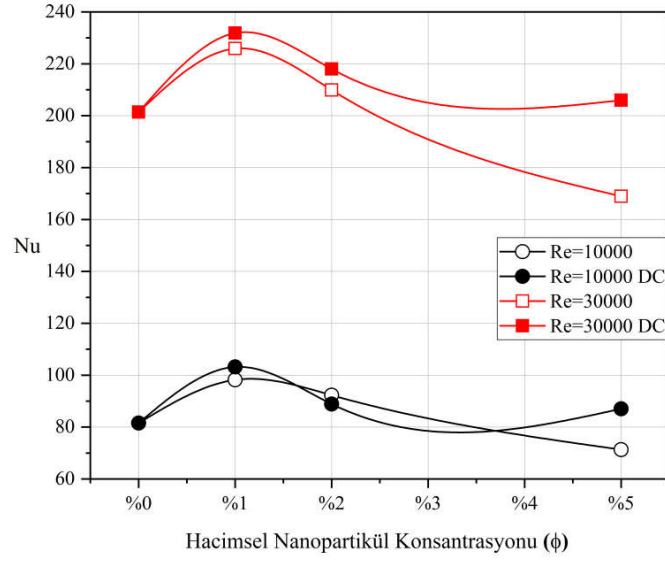
Şekil 4. 9. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi, ($B=0,3$ T durumu).

Şekil 4.10'da ise farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonundaki Fe_3O_4 /su nanoakışkanlarının manyetik alanın uygulanmadığı ($B=0$ T) ve sabit manyetik alanın uygulandığı ($B=0,3$ T) durumlardaki sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekildeki Nu değerlerine ait grafikler incelendiğinde; %1,0; %2,0 ve %5,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanına sabit manyetik alan uygulandığı durumda manyetik alanın uygulanmadığı duruma göre sırasıyla ortalama %2,27; %2,47 ve %19,41 oranlarında artış elde edilmiştir. Ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinde ise bu oranlar sırası ile ortalama %31,15; %31,51 ve %31,89 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.11'de, ortalama Nu değerinin, farklı Re değerleri için hacimsel konsantrasyon oranlarındaki değişimi verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi her bir hacimsel konsantrasyon oranında sabit manyetik alan uygulanması genellikle ortalama Nu değerlerini arttırmıştır. Ayrıca, her iki durumda da ortalama Nu değerlerinde %1,0 oranına kadar artış görülmüş, bu değerden sonra düşüş gözlemlenmiştir.

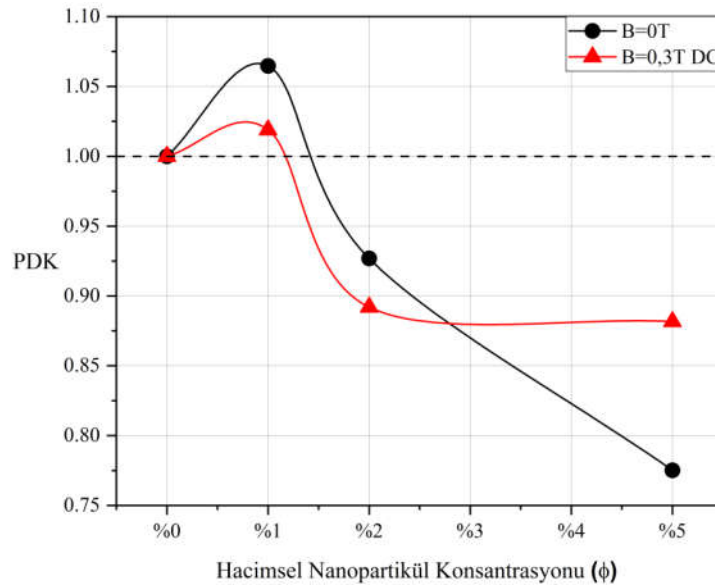


Şekil 4.10. Nu değerinin (solda) ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün (sağda) Re değeri ile değişimi, ($B=0$ ve $B=0,3$ T durumları).



Şekil 4.11. Fe_3O_4 /su nanoakışkanının ısı performansının hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna göre değişimi.

Şekil 4.12’de PDK’nın hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranı ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde türbülans akış şartlarında manyetik alan uygulanmayan durumda özellikle düşük hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranlarında elde edilen sonuçların daha verimli olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, aynı şartlarda sabit manyetik alan uygulamasının verimli olmadığı saptanmıştır.



Şekil 4.12. Performans değerlendirme katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.

4.2. SAYISAL SONUÇLAR

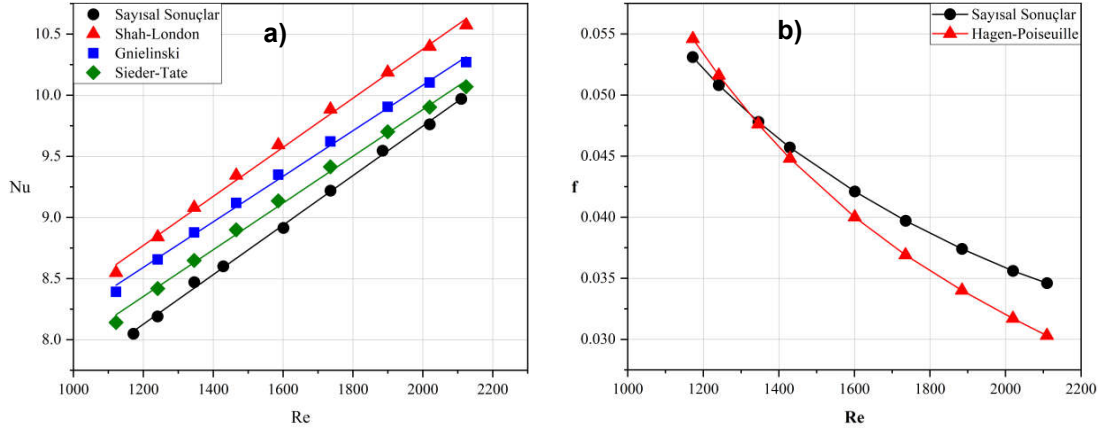
Bu bölümde, Çizelge 3.2’de termofiziksel özellikleri verilen temel akışkan olan saf su ve farklı hacimsel konsantrasyonlarda Fe_3O_4 /su manyetik ferro nanoakışkan kullanılarak laminer ve türbülanslı akış şartları için gerçekleştirilen sayısal analiz sonuçları verilmiştir.

4.2.1. Laminer Akış Sonuçları

Laminer akış şartları için saf su ile doğrulama ve nanoakışkan akışı ile sabit manyetik alan etkisi altında sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.1.1. Saf Su ile Doğrulama

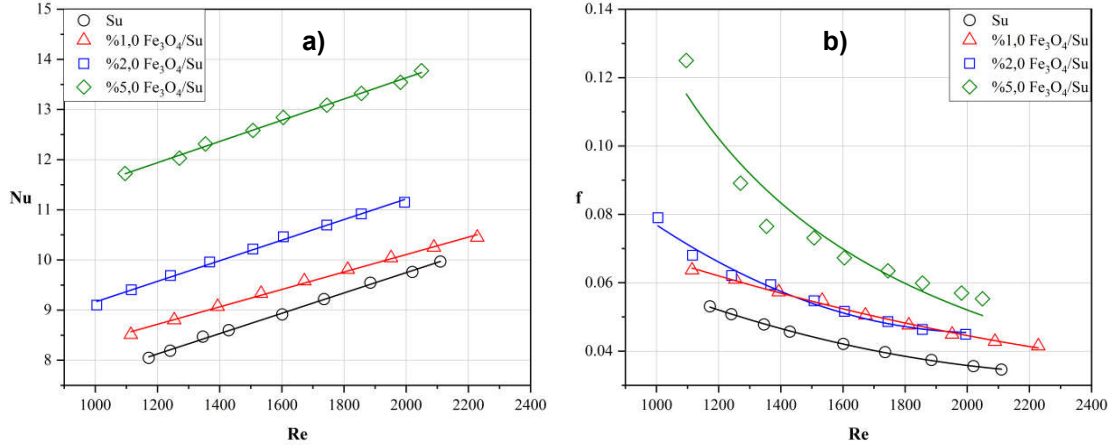
Bu bölümde oluşturulan sayısal ağ yapısının doğruluğunun kontrolü için öncelikle temel akışkanı olarak saf su kullanılan durum için laminer akış şartlarında sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Saf su ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızı ve basınç düşümü değerleri farklı Re değerleri için elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatürde kabul görmüş korelasyonlar ile karşılaştırılarak doğrulama çalışmaları yapılmış ve buna karşılık gelen grafikler, Şekil 4.13’de verilmiştir. Şekil 4.13a’da laminer akış şartları için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi görülmektedir. Analiz sonuçlarının Gnielinski [82] tarafından önerilen korelasyonla $\pm\%6,03$, Shah-London [81] korelasyonuyla $\pm\%7,93$ ve Sieder-Tate [84] korelasyonuyla ise $\pm\%3,47$ hata oranı içinde olduğu gözlemlenmiştir. Şekilden açık bir biçimde görülebileceği gibi elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir. Şekil 4.13b’de ise çalışma akışkanı saf su kullanılarak elde edilen ortalama Darcy sürtünme faktörünün, literatürde yaygın olarak kullanılan Hagen–Poiseuille [96] korelasyonuyla karşılaştırılması görülebilmektedir. Elde edilen sonuçların korelasyon ile $\pm\%12$ hata oranı içinde kalarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan sayısal çözümün yeterli doğrulukta ve hassasiyette çalıştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Sayısal sonuçların literatür ile karşılaştırılması a) ortalama Nu değeri b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.

4.2.1.2. Nanoakışkan Akışı

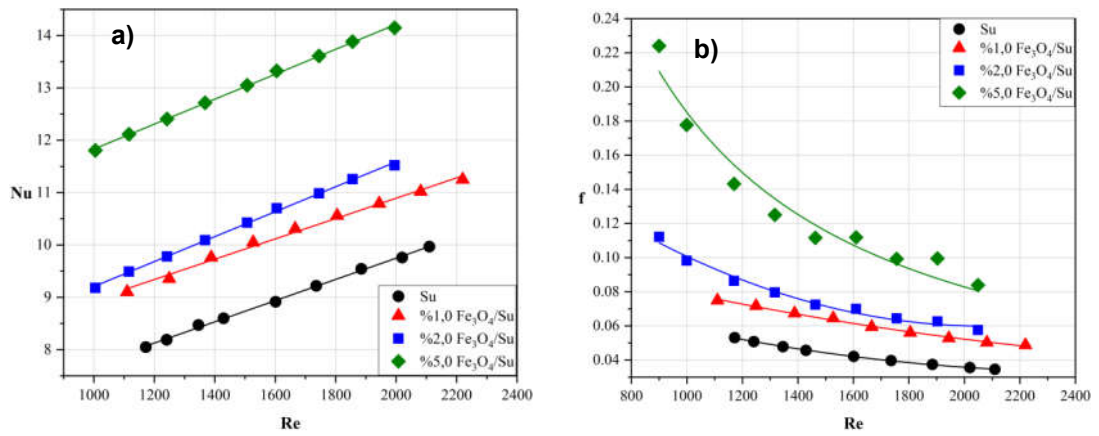
Bu bölümde, nanoakışkanların akış ve ısı transferi karakteristiklerinin tespit edilmesine yönelik sayısal analizler laminar akış koşulları ($1000 < Re < 2300$) altında gerçekleştirilmiştir. Farklı hacimsel konsantrasyonlardaki Fe_3O_4 nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanlarla gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.14a'da artan Re değerine göre Nu değerinin arttığı görülmektedir. En yüksek artış miktarı saf su kullanılan duruma göre %46,82'ye varan artış sunan %5,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 /su nanoakışkanı olarak elde edilmiştir. Ayrıca, nanoakışkanın hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça Nu değerinin de doğru orantılı olarak arttığı görülebilmektedir. Şekil 4.14b ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinin Re değerleri ile değişimi verilmiştir. Artan Re değerleri ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri düşmektedir. Saf suya nanopartikül ilave edilmesi kanal içindeki basınç düşümünü arttırdığı saptanmıştır. En yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri saf su kullanılan duruma göre ortalama %70 artış ile %5,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilmiştir.



Şekil 4.14. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.

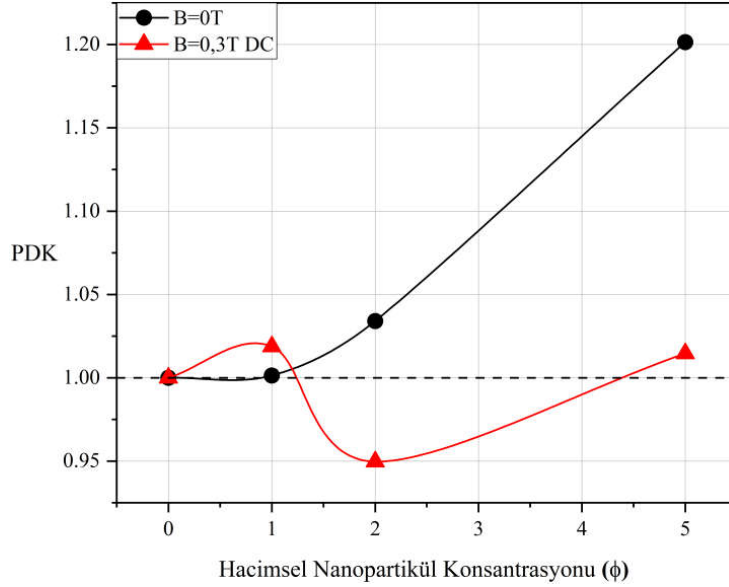
4.2.1.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı

Çalışmanın bu kısmında sabit manyetik alan ($B=0,3$ T) etkisi altında çalışma akışkanı olarak Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanılan durum için elde edilen sayısal analiz sonuçları Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sabit manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkan akışının akış ve ısı transferi karakteristikleri manyetik alan etkisi olmayan durumla benzer eğilim göstermektedir. Bu kapsamda çalışma akışkanı olarak kullanılan %5,0 Fe_3O_4/su nanoakışkanı ile saf su kullanılan duruma göre %47,93'e varan, manyetik alan uygulanmayan duruma göre ise %2,52'ye varan ısı transferi artış oranı elde edilmiştir. Aynı zamanda sabit manyetik alan uygulanması ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 4.15b).



Şekil 4.15. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi, ($B=0,3$ T DC durumu).

Şekil 4.16'de PDK'nın hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranı ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde laminer akış şartlarında akışa sabit manyetik alan uygulamasının özellikle %1,0 ve %5,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranlarında verimli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.16. Performans değerlendirme katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.

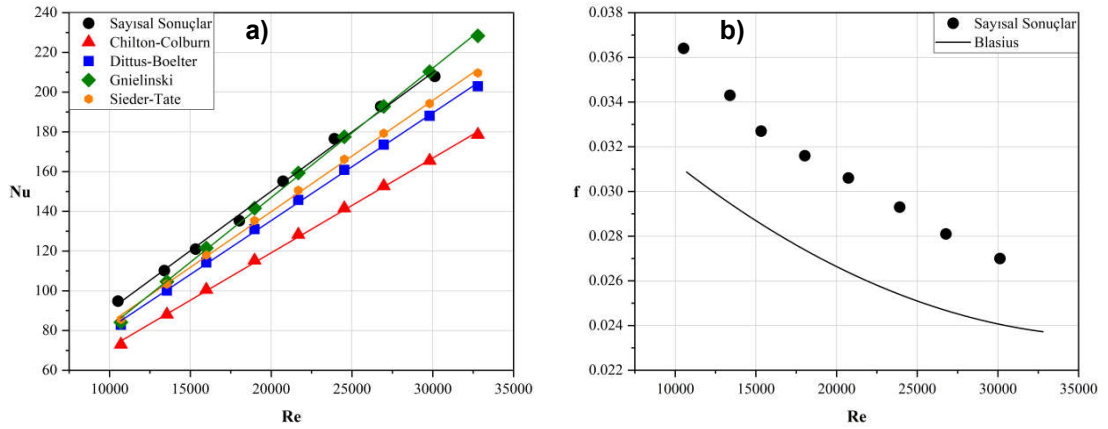
4.2.2. Türbülanslı Akış Sonuçları

Türbülanslı akış şartları için saf su ile doğrulama ve nanoakışkan akışı ile sabit manyetik alan etkisi altında sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.2.1. Saf Su ile Doğrulama

Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için türbülanslı akış şartlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Saf su ile yapılan deneylerden elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızı ve basınç düşümü değerleri farklı Re değerleri için elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatürde kabul görmüş korelasyonlar ile karşılaştırılarak doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.17a'da türbülanslı akış şartları için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi

görülmektedir. Elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu şekilden açık bir biçimde görülebilmektedir. Sayısal sonuçların Gnielinski [82] tarafından önerilen korelasyonla $\pm\%7,12$ hata oranı içinde, Chilton-Colburn [105] korelasyonu ile $\pm\%15,52$; Sieder-Tate [84] korelasyonu ile ise $\pm\%10,73$ ve Dittus-Boelter [104] korelasyonu ile $\pm\%6,88$ aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma akışkanı saf su kullanılarak elde edilen ortalama Darcy sürtünme faktörünün, literatürde yaygın olarak kullanılan Blasius [96] korelasyonu ile karşılaştırılması Şekil 4.14b’de görülebilmektedir. Elde edilen sonuçların korelasyon ile $\pm\%10$ hata oranı içinde kalarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

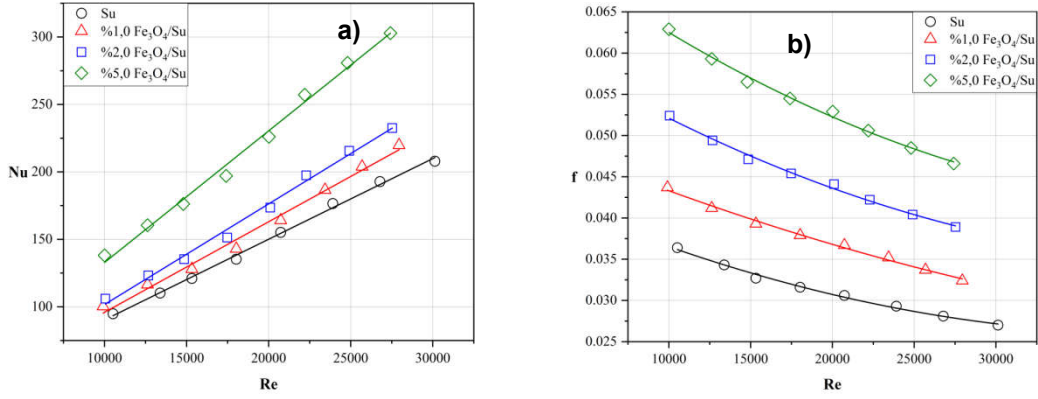


Şekil 4.17. Sayısal sonuçların literatür ile karşılaştırılması a) ortalama Nu değeri b) ortalama Darcy sürtünme faktörü.

4.2.2.2. Nanoakışkan Akışı

Bu bölümde, nanoakışkanların akış ve ısı transferi karakteristiklerinin tespit edilmesine yönelik sayısal analizler türbülanslı akış koşulları ($10000 < Re < 30000$) altında gerçekleştirilmiştir. Farklı hacimsel konsantrasyonlardaki Fe_3O_4 nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanlarla gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekil 4.18a’da artan Re değerine göre Nu değerinin arttığı görülmektedir. En yüksek artış miktarı saf su kullanılan duruma göre ortalama $\%45,67$ ’ye varan artış sunan $\%5,0$ hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 /su nanoakışkanı olarak elde edilmiştir. Ayrıca, nanoakışkanın hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça Nu değerinin de doğru orantılı olarak arttığı görülebilmektedir. Şekil 4.18b ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinin Re

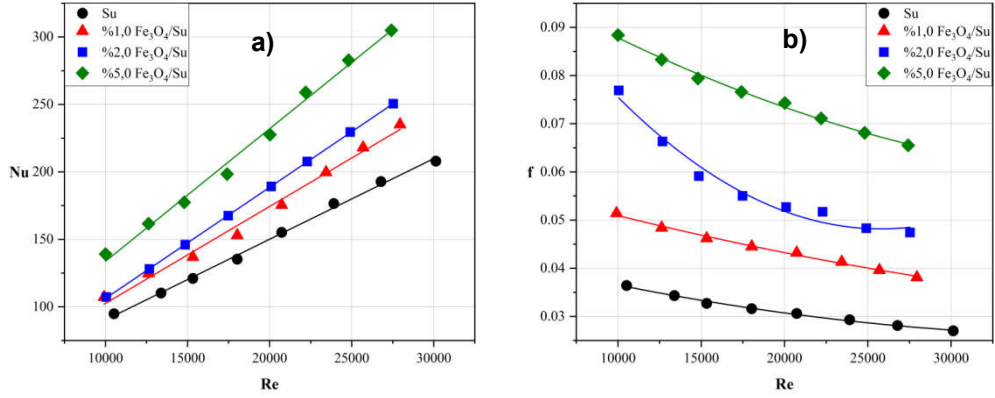
değerleri ile değişimi verilmiştir. Artan Re değerleri ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri düşmektedir. Saf suya nanopartikül ilave edilmesi kanal içindeki basınç düşümünü arttırdığı saptanmıştır. En yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri saf su kullanılan duruma göre ortalama %72,8 artış ile %5,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilmiştir.



Şekil 4.18. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.

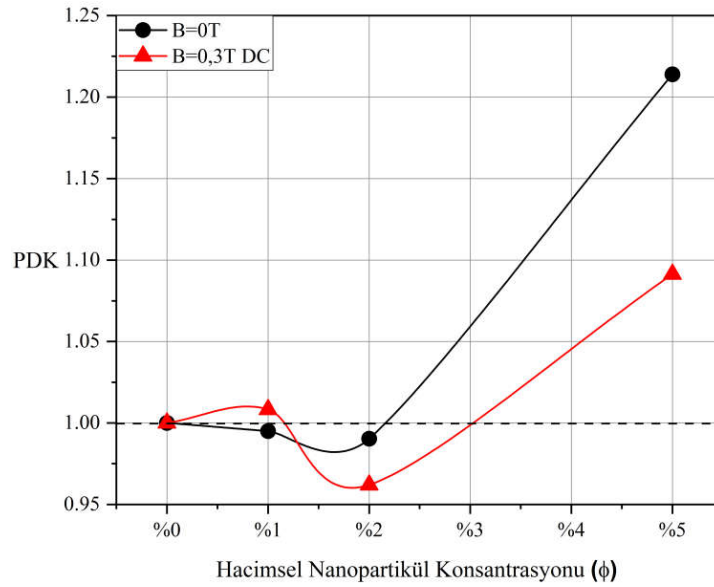
4.2.2.3. Sabit Manyetik Alan Altında Nanoakışkan Akışı

Çalışmanın bu kısmında sabit manyetik alan ($B=0,3$ T) etkisi altında çalışma akışkanı olarak Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılan durum için elde edilen sayısal analiz sonuçları Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sabit manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkan akışının akış ve ısı transferi karakteristikleri manyetik alan etkisi olmayan durumla benzer eğilim göstermektedir. Bu kapsamda çalışma akışkanı olarak kullanılan %5,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı ile saf su kullanılan duruma göre %46,68, manyetik alan uygulanmayan duruma göre ise %0,7 ısı transferi artış oranı elde edilmiştir (Şekil 4.19a). Aynı zamanda sabit manyetik alan uygulanması ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 4.19b).



Şekil 4.19. a) Ortalama Nu değerinin; b) ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi, ($B=0,3$ T DC durumu).

Şekil 4.20’de PDK’nın hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranı ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde laminar akış şartlarında akışa sabit manyetik alan uygulamasının özellikle yüksek hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranlarında verimli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20. Performans değerlendirme katsayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.

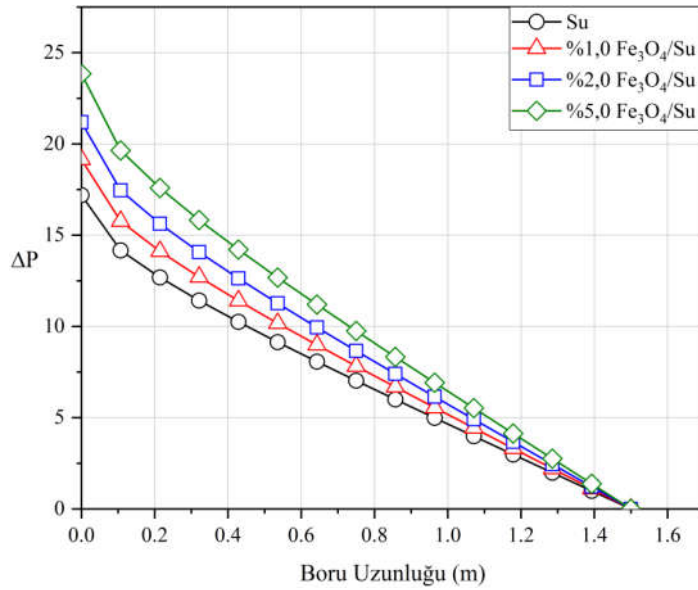
4.3. BASINÇ, SICAKLIK VE HIZ DEĞİŞİMİ

Bu bölümde ısı transferini etkileyen temel parametreler olan Cidar “Çeper” sıcaklığı, Statik basıncı ve dairesel kanal uzunluğundaki hız değişimi incelenerek grafikler halinde aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Laminer Akış Sonuçları

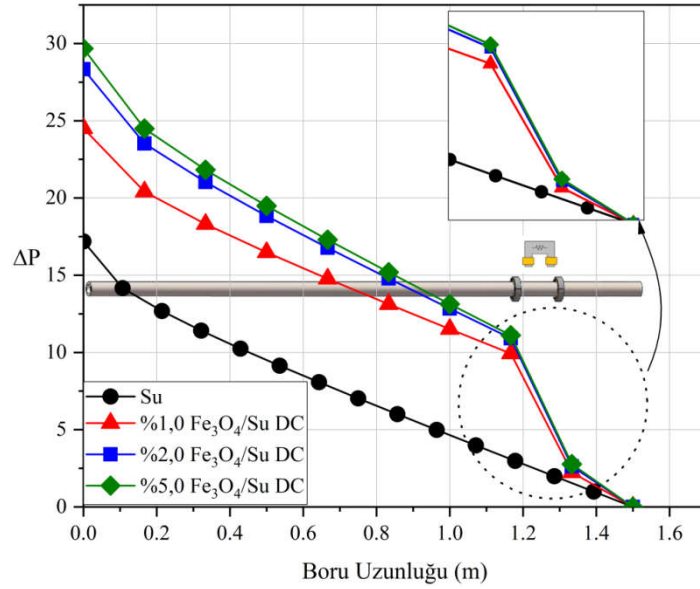
4.3.1.1. Basınç Değişimi

Şekil 4.21’de görüleceği üzere, aynı sıcaklık değerinde saf suyun dinamik viskozite değeri, Fe_3O_4 /su ferronanoakışkanının dinamik viskozite değerine göre daha düşük olduğu için akış hattı boyunca basınç düşüşünün daha düşük olduğu görülmektedir. Nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça dinamik viskozite değeri arttığı için dairesel kesitli kanal çeperine daha çok tutunma söz konusudur bu yüzden basınç değerine saf suya kıyasla artışlar meydana gelmektedir. Ayrıca, dairesel kesitli kanal boyu uzunluğunun artışı ile basınç düşüşü kademeli olarak azalmaktadır. Buna ek olarak, dairesel kanal boyunca yaşanan basınç düşüşleri, mekanik enerji kaybına neden olduğu için pompalama gücünü arttırmaktadır.

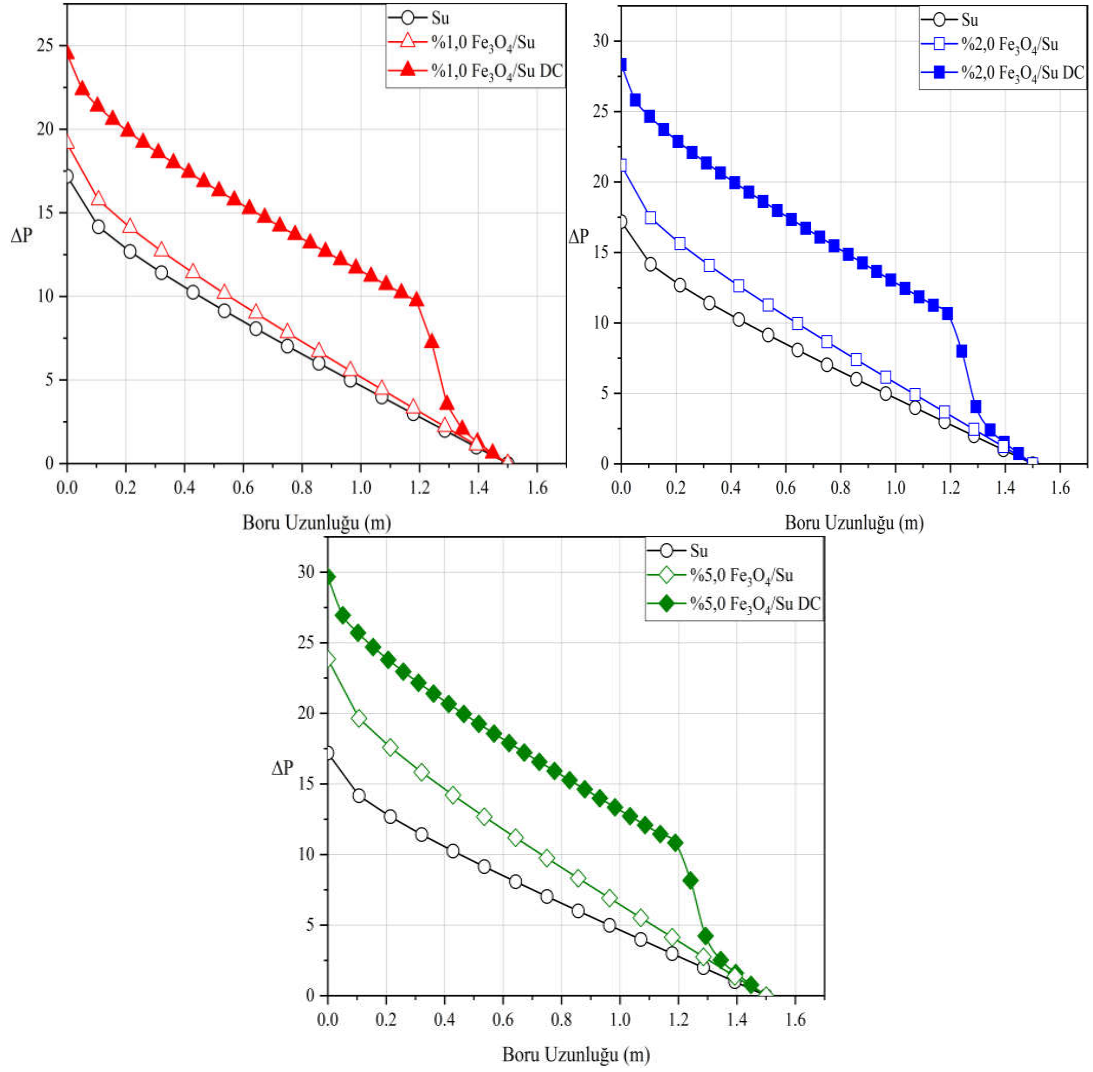


Şekil 4.21. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.

Dairesel kanal içi akışa Şekil 4.22 'de görüldüğü gibi belirli bir konumda 0,3 T değerinde sabit manyetik alan uygulanmıştır. Dairesel kesitli kanal girişinde 1,2 m konumuna kadar manyetik alan uygulanmadığında basınç düşüşü Şekil 4.23'te görüldüğü gibi en fazla %5,0 Fe₃O₄/su için gözlemlenmiştir. Nanoakışkan içerisindeki manyetik geçirgenliği yüksek nanopartiküllerin zincir hareketleri ile birbirine bağlanarak manyetik alandan etkilendiği belirlenmiştir. Manyetik alan şiddeti ile ani basınç düşüşleri gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın dairesel kesitli kanal içindeki manyetohidrodinamik davranışı incelendiğinde manyetik alan etkisinin nanoakışkan konsantrasyonundan daha fazla baskın olduğu tespit edilmiştir. Manyetik geçirgenliği olmayan saf su akışımının basınç düşümünde ise bir dalgalanma belirlenmemiştir.



Şekil 4.22. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).

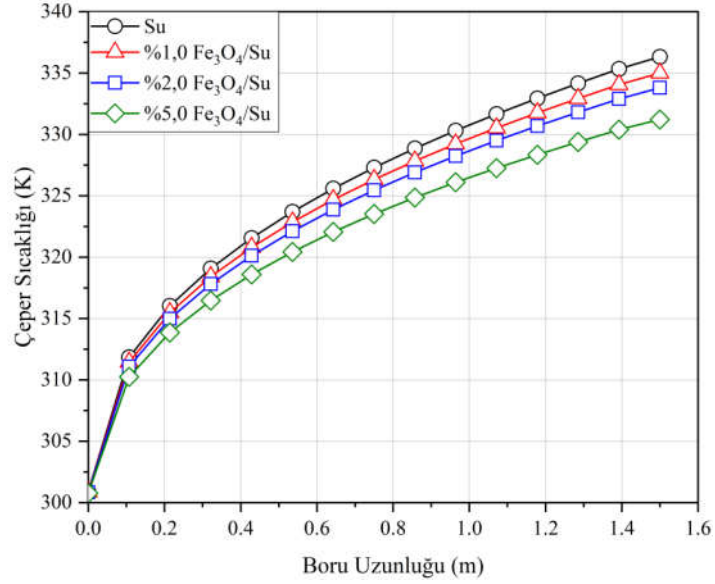


Şekil 4.23. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).

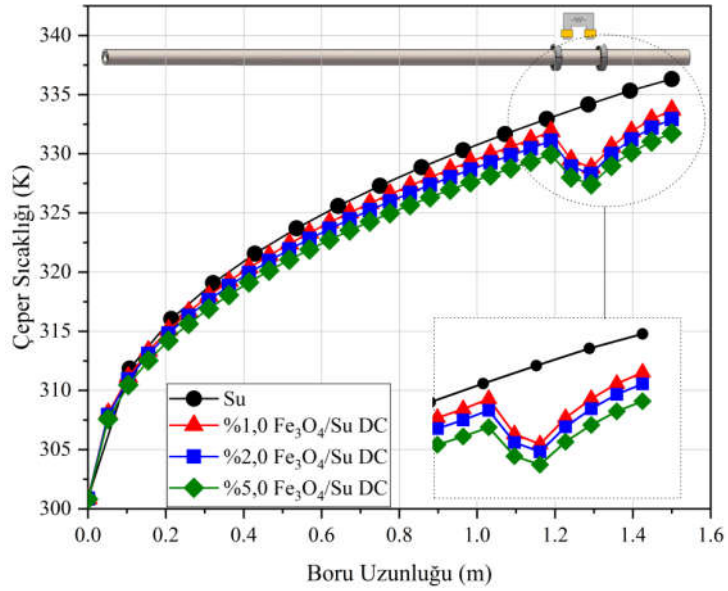
4.3.1.2. Sıcaklık Değişimi

Uniform ısı akısı altında dairesel kesitli kanal boyunca cidar sıcaklığı artış göstermiştir. Test bölgesine 300 K sıcaklığında giren saf suyun ısı iletim katsayısı $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ 'ya göre daha düşük olduğu için dairesel kesitli kanal cidarı daha fazla ısınmaktadır (Şekil 4.24). Baz akışkana manyetik nanoparçacık eklenmesiyle artan ısı transferi performansı neticesinde duvar sıcaklığı düşmektedir. Dairesel kesitli kanalın sabit manyetik alana maruz kalan bölümünde, nanopartiküllerin manyetik kuvvet sebebiyle cidarla teması artarak taşınımıyla ısı transferinde artış gözlemlenmektedir. Taşınımın artışıyla dairesel kesitli kanal cidar sıcaklığı aniden azalma eğilimine geçmektedir. Manyetik etkisi ortadan kaldırıldığında cidarla

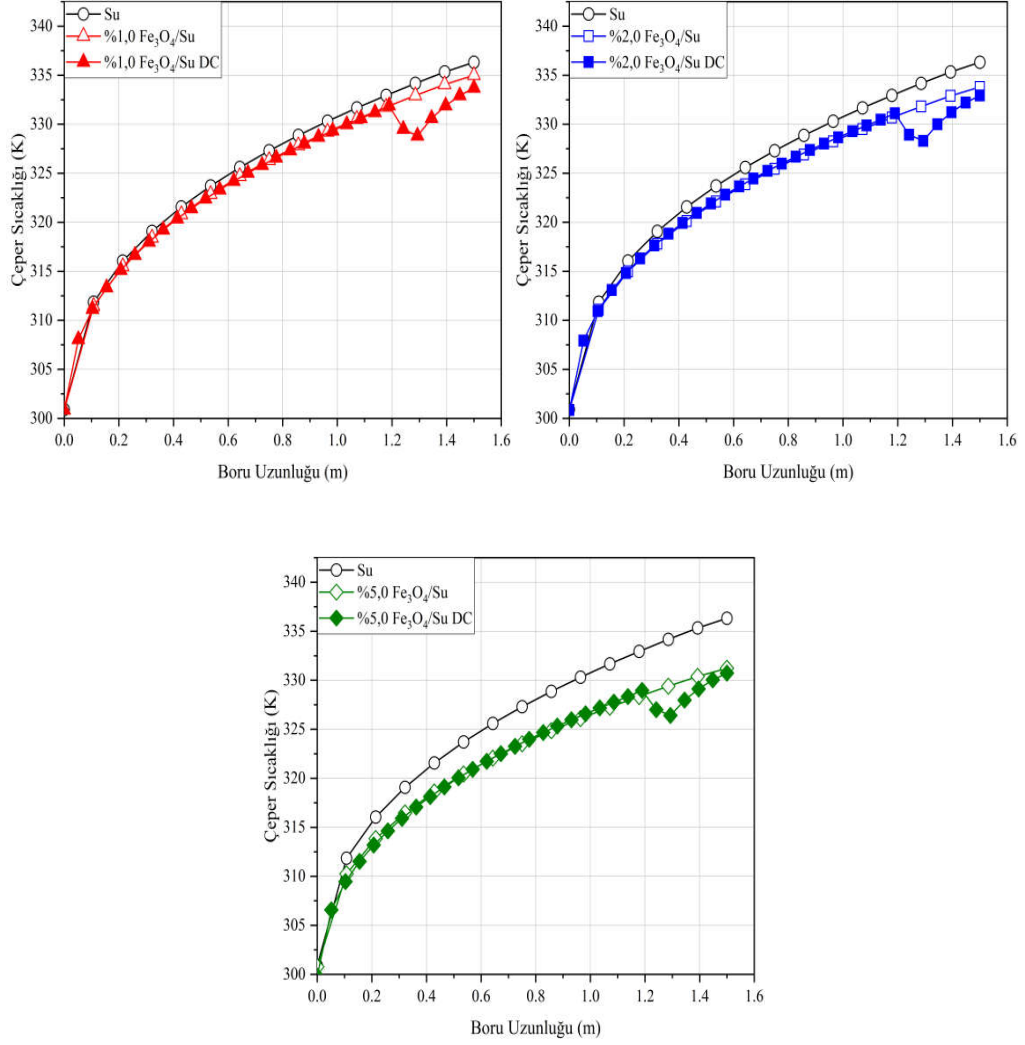
nanoakışkan arasında taşınım azalmakta ve cidar sıcaklığı dairesel kesitli kanal boyunca artmaya devam etmektedir (Şekil 4.25-26).



Şekil 4.24. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.



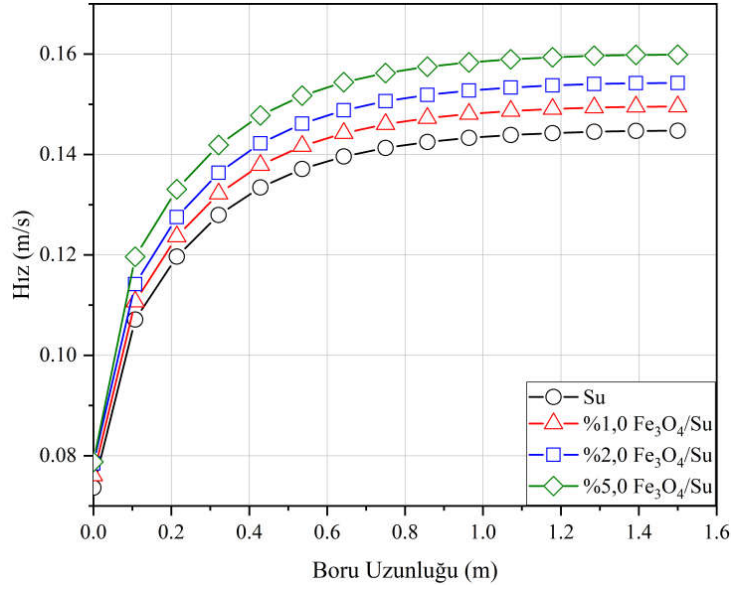
Şekil 4.25. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).



Şekil 4.26. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3 T$).

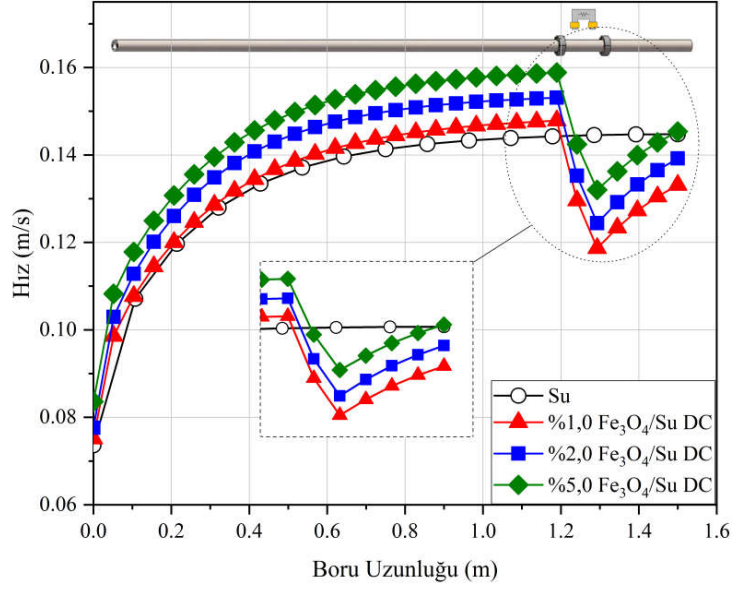
4.3.1.3. Hız Değişimi

Şekil 4.27 incelendiğinde akışkan aksenal hızı pürüzsüz dairesel kesitli kanal boyunca $x/D=20$ konumuna kadar artış göstermektedir. Akışın hidrodinamik kararlılığa ulaştığı gelişme uzunluğundan sonra aksenal akışkan hızı neredeyse sabit kalmaktadır. Şekil 4.27'ten görülebileceği üzere akış hidrodinamik olarak gelişmiş olduktan sonra dairesel kesitli kanal boyunca hızı neredeyse sabit kalmıştır. Akışı engelleyici bir eleman olmaması nedeniyle $x=1,2m$ den sonra hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı ortaya çıkmaktadır. En büyük nanoakışkan konsantrasyonunda hız değeri $0,145 m/s$ değerlerinde elde edilirken saf su hidrodinamik kararlılığa yaklaşık olarak $0,121 m/s$ de ulaşmaktadır..

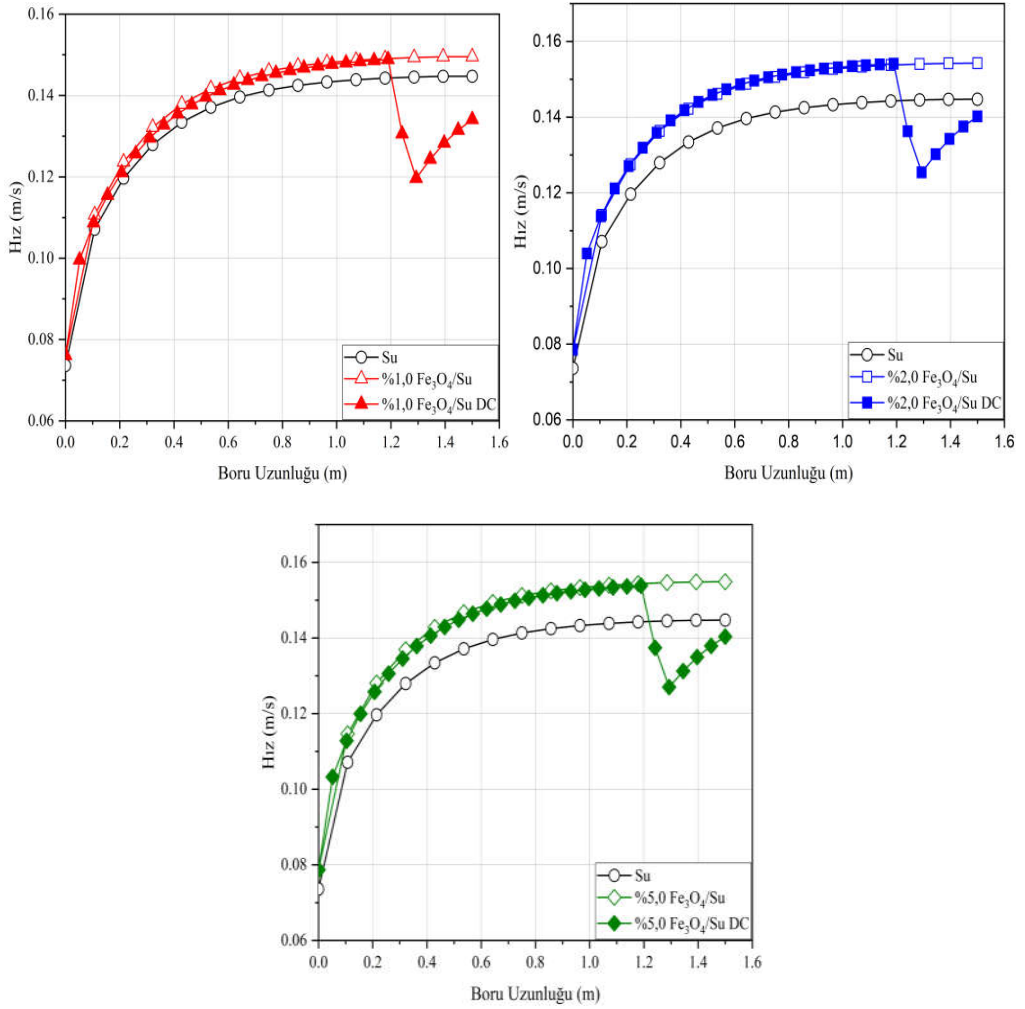


Şekil 4.27. Akış hızının dairesel kesitli kanal boyunca değişimi.

Şekil 4.28'den görülebileceği gibi, manyetik alan uygulanmasıyla saf su kullanımında bir etkileşim görülmemektedir bunun yanı sıra, ferronanoakışkan kullanımında manyetik indüksiyon olan bölgede farklılıklar görülmektedir. Hızdaki bu ani düşüşün sebebi literatürde Kelvin kütle kuvveti olarak bilinen, yüklü bir parçacığın, manyetik alan varlığı olan bir ortamdan geçerken manyetize olması sonucunda üzerinde kuvvet oluşması sebebi ile olmaktadır. Kelvin kütle kuvveti manyetik alanın artışı ile artarken, manyetik alandan etkilenen ferro-manyetik yapıda malzemeler üzerinde farklı etkileşimler göstermektedir. Buna örnek olarak, %5 konsantrasyon sahip Fe₃O₄/su nanoakışkanı viskozite değerinde artış sebebi ile Kelvin kütle etkisine karşı daha fazla dayanıklı hale gelmektedir buna karşın %1 nanoakışkan konsantrasyonuna sahip akışta viskozite değeri nispeten daha düşük olduğu için Kelvin kütle kuvvetine daha fazla maruz kalmaktadır (Şekil 4.29) .



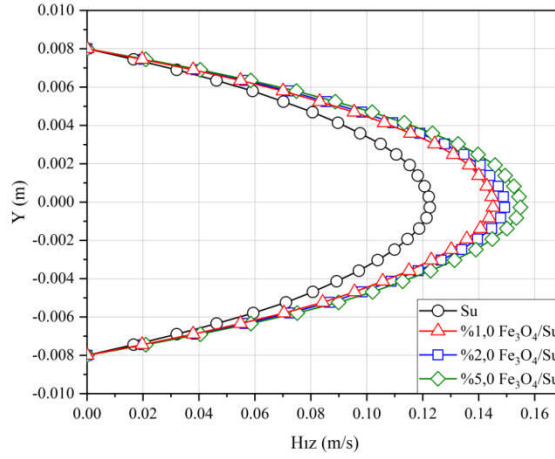
Şekil 4.28. Akış hızının dairesel kesitli kanal boyunca değişimi ($B=0,3$ T DC).



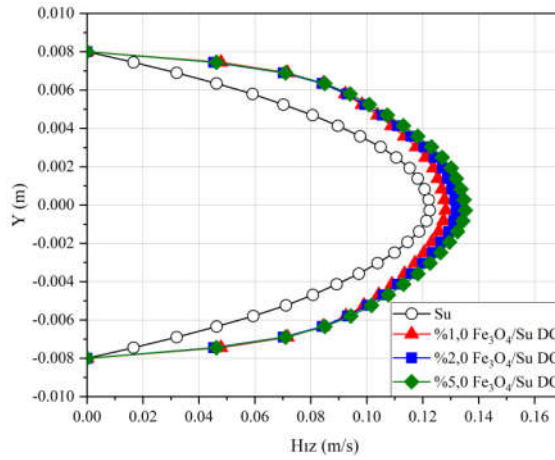
Şekil 4.29. Akış hızının dairesel kesitli kanal boyunca değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).

4.3.1.4. Eksenel Hız Profili

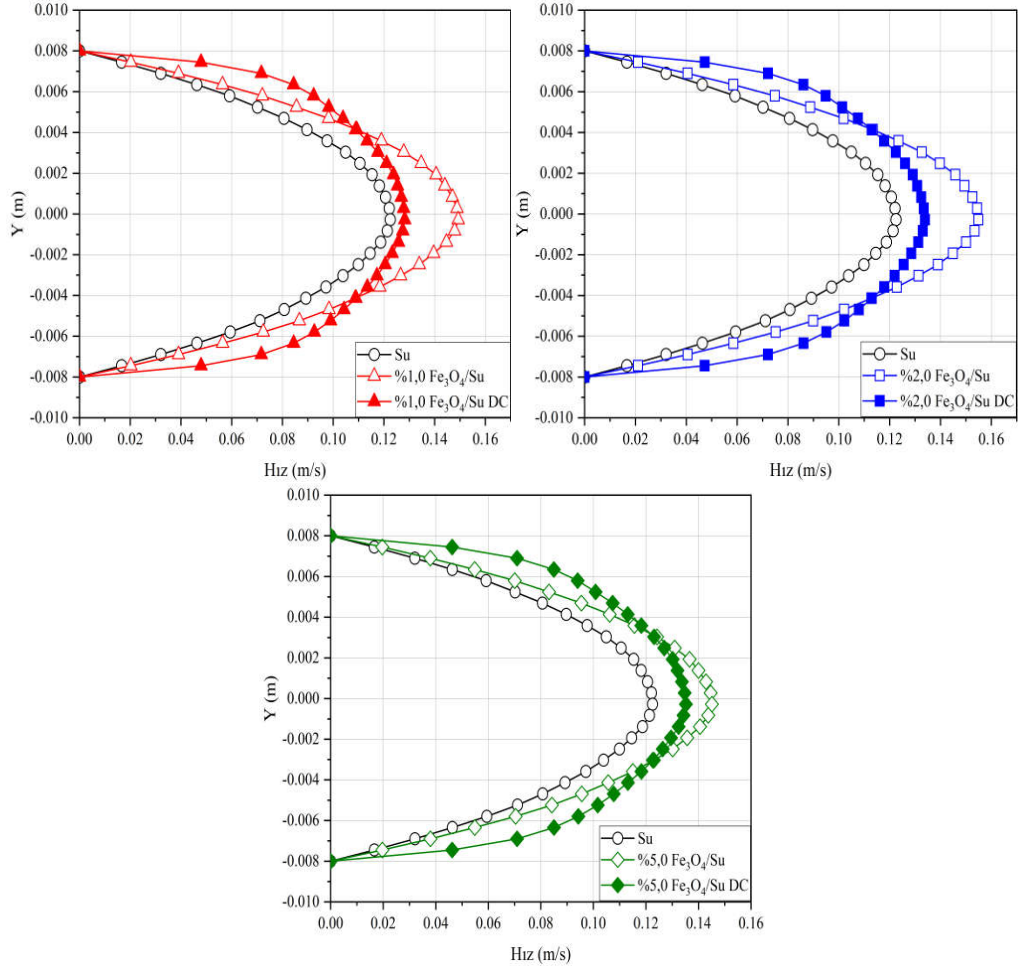
Şekil 4.30'da, nano partiküllerinden farklı hacimsel konsantrasyonlarda hız profillerinin eksenel yönde nasıl değiştiğini göstermektedir. Artan nano partikül konsantrasyonu hız sınır tabakasını azaltıcı yönde etki göstermiştir. Şekil 4.32 artan nanopartikül hacimsel konsantrasyonunun hız sınır tabakası kalınlığında bir azalmaya yol açtığını göstermektedir. Genel olarak, dairesel kanala manyetik alan uygulandığında, Kelvin kütle kuvvetinin geciktirici etkisinden dolayı hız alanı bastırılır. Böylece, bir manyetik alanın varlığı, momentum sınır tabakası kalınlığını artırır.



Şekil 4.30. Manyetik alan yokluğunda dairesel kesitli kanalın 1,25m yüzeyindeki eksenel hızın profili.



Şekil 4.31. Dairesel kesitli kanalın 1,25 m yüzeyindeki uygulanan manyetik alan etkisi ile eksenel hız profili.

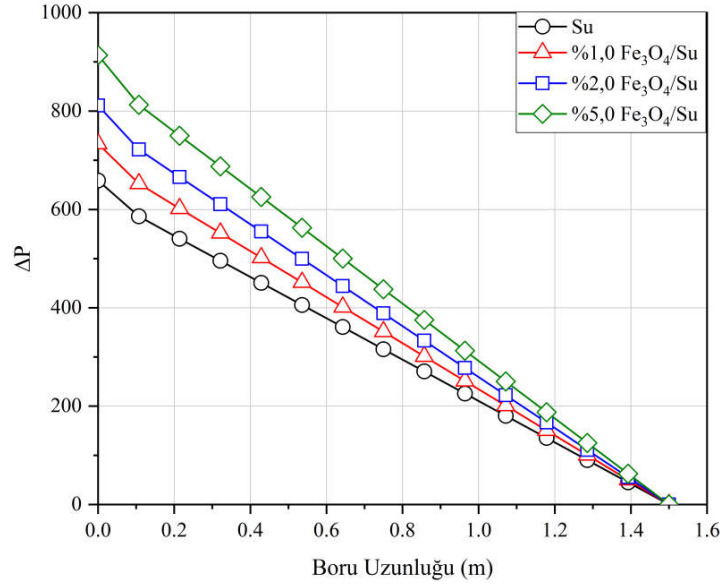


Şekil 4.32. %1 %2 ve %5 Fe₃O₄ aksenal hız profili ($B=0$ ve $B=0,3$ T).

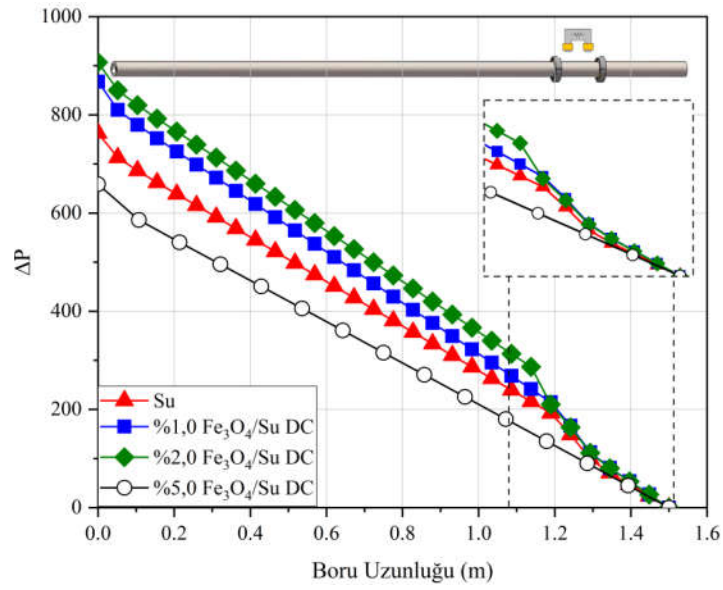
4.3.2. Türbülansli Akış Sonuçları

4.3.2.1. Basınç Değişimi

Şekil 4.33'ten anlaşılacağı üzere, manyetik indüksiyon uygulanmayan durumda bile nanoakışkan kullanılan analizlerin basınç farkı baz akışkan kullanılan duruma göre daha yüksektir. Ayrıca, Şekil 4.34'ten görüleceği gibi, dairesel kesitli kanal boyunca manyetik alan uygulanan kısımdaki ani basınç düşüşü göze çarpmaktadır. Bunun sebebi manyetik alan varlığında nanoakışkan partiküllerinin birbirine daha fazla kenetlenmesi durumundan akışa daha fazla engel koyarak basınç düşüşünü arttırmasıdır.



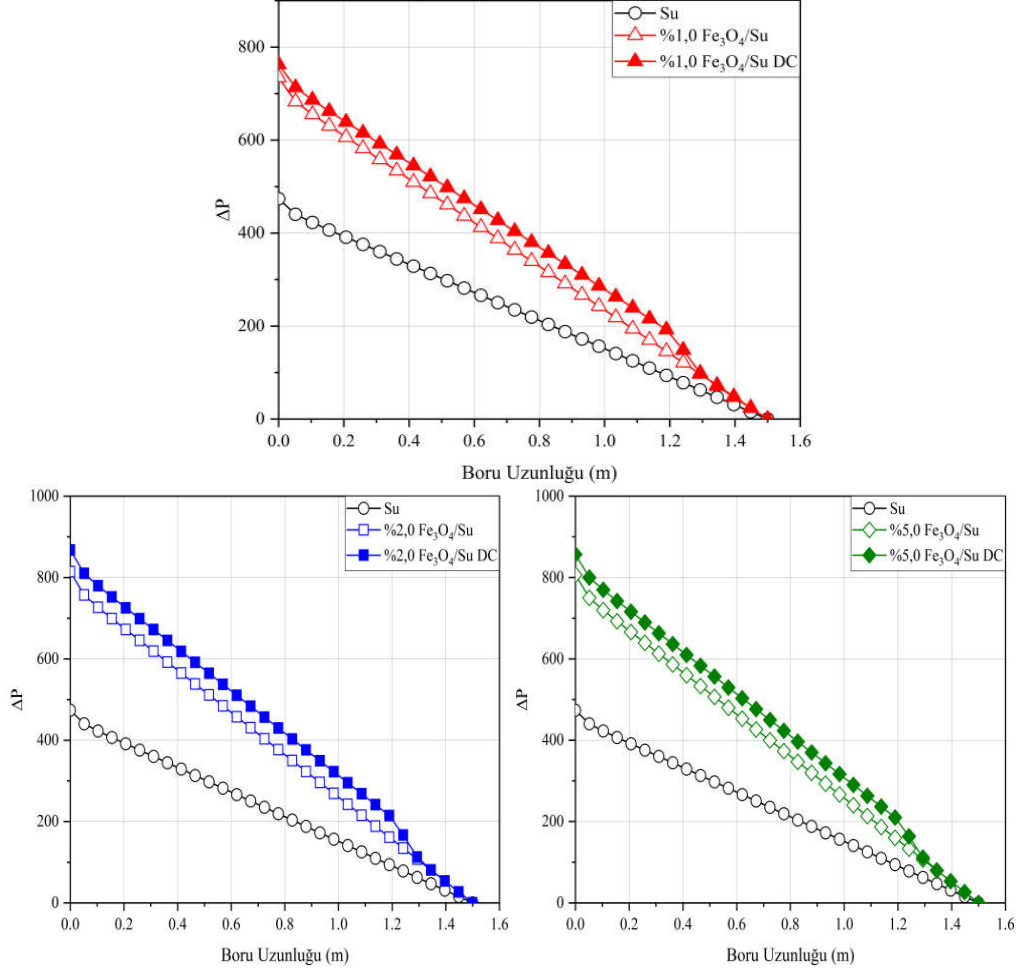
Şekil 4.33. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.



Şekil 4.34. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).

Şekil 4.35'te görüldüğü gibi nanoakışkan için basınç düşüşü her zaman saf suya göre daha büyüktür. Sabit manyetik alan uygulandığında daha da arttığı görülmüştür. Dairesel kesitli kanal girişinde 1,2 m konumuna kadar manyetik alan uygulanmadığında basınç düşüşü Şekil 4.33'te görüldüğü gibi en fazla %5,0 Fe_3O_4/su için gözlemlenmiştir. Nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin manyetik alan sebebiyle zincir benzeri yapı kurlmaları nedeniyle akışı engelleyip basıncı

artırmaktadır. Manyetik geçirgenliği olmayan saf su akışının basınç düşümünde ise bir dalgalanma belirlenememiştir.

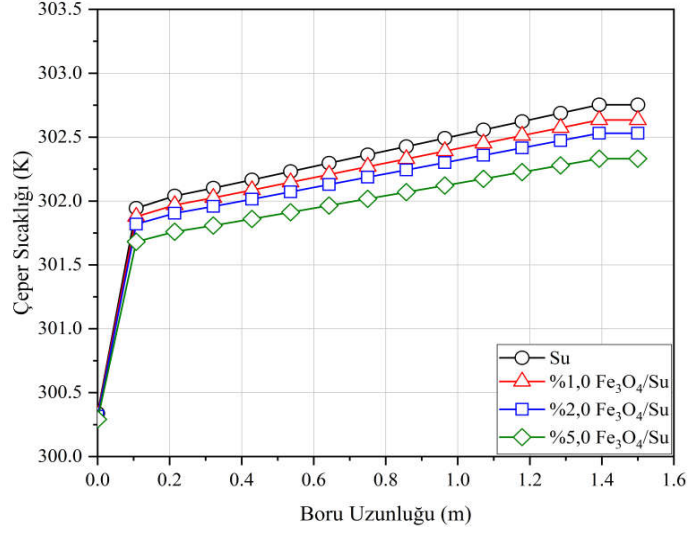


Şekil 4.35. Statik basıncın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).

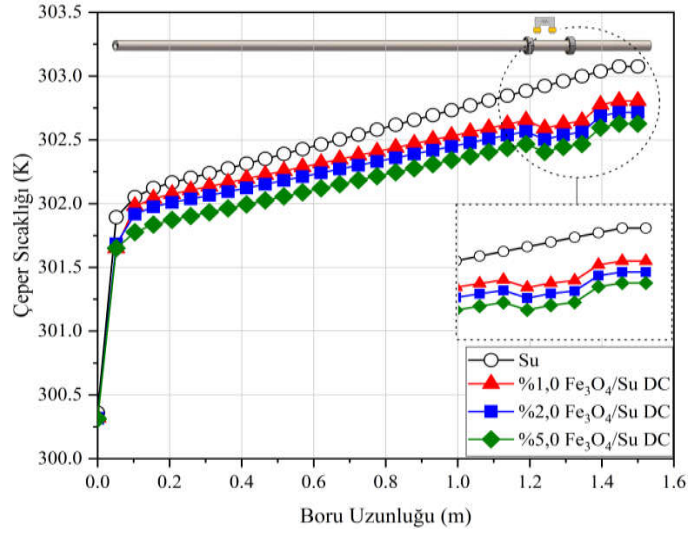
4.3.2.2. Sıcaklık Değişimi

Isı transferinde Reynold sayısı arttıkça Nusselt sayısının artmasının sebeplerinden bir tanesi de verimin yükselerek duvar ve yığın sıcaklıklarının arasındaki farkın düşmesidir. Şekil 4.36 ve 4.37 karşılaştırıldığında sabit manyetik alan uygulaması ile dairesel kesitli kanalın yüzey sıcaklığında düşüşün olduğu görülmektedir. Bu düşüşün sonucu olarak, ısı transferinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumda, manyetik alan etkisi nedeniyle nanoparçacıkların duvara yaklaşması ve yerel ısı iletim katsayısının artması etkilidir. Nanoparçacık konsantrasyonu yükseldikçe kanal çeper

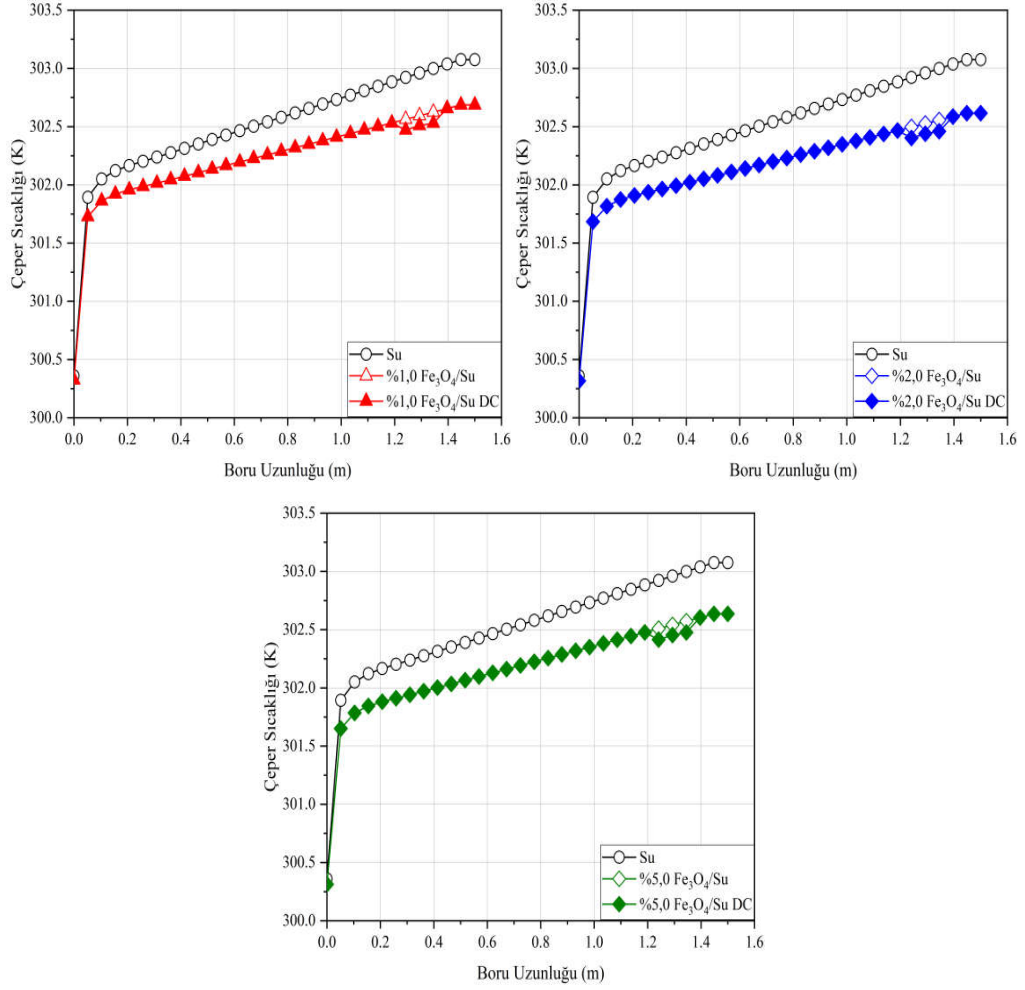
sıcaklığının da düştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça manyetik alan etkisi altında kanal çeper sıcaklığında doğru orantılı bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.36. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.



Şekil 4.37. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).

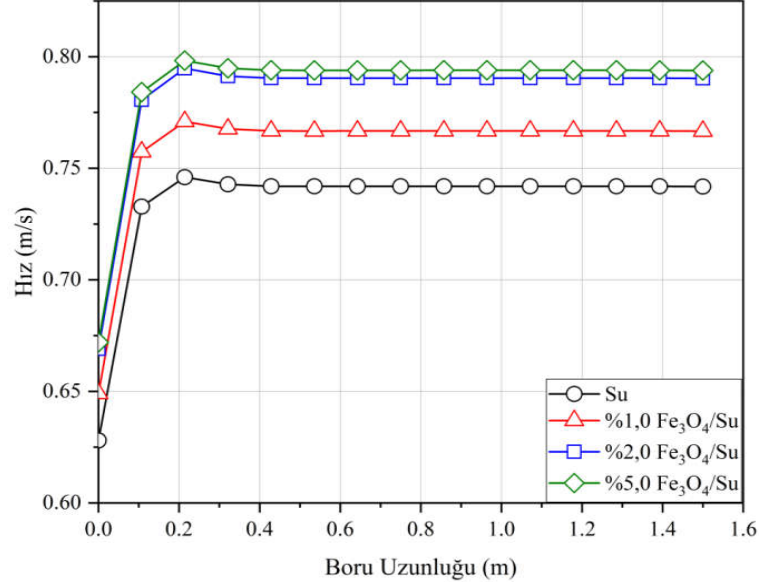


Şekil 4.38. Çeper sıcaklığın dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).

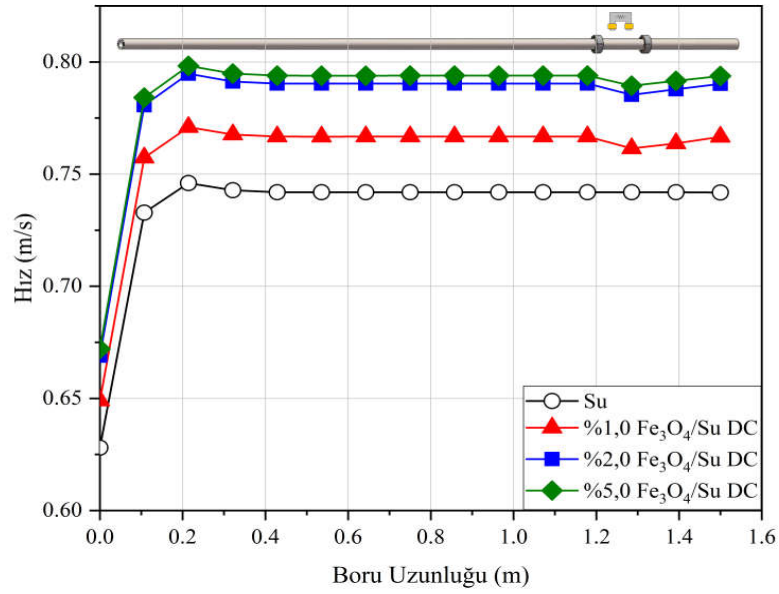
4.3.2.3. Hız Değişimi

Laminer akış sonuçlarında olduğu gibi türbülans akış şartları altında da aksel hız değerleri manyetik alan uygulanmadığı durumda belli bir süre sonra kararlı hale ulaşır nispeten sabitlenmiştir. Fakat manyetik alan uygulanan bölgede kısmi olarak düşüşler yaşanmıştır (Şekil 4.39). Bunun sebebi yine daha önce açıklandığı gibi Kelvin kütle kuvvetine maruz kalması ile açıklanmaktadır. Ayrıca, Şekil 4.40 incelendiğinde Kelvin kütle kuvvetinin etkisi rahatça görülebilmektedir. Sabit manyetik alan uygulanmasının sonucunda nanoparçacıklar üstüne uygulanan manyetik kuvvet sonucu akış yavaşlamaktadır. Yine Şekil 4.41’de farklı hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkana sabit manyetik alan uygulanan ve uygulanmayan durumlarda hız değerlerindeki düşüşler görülebilmektedir. Sabit

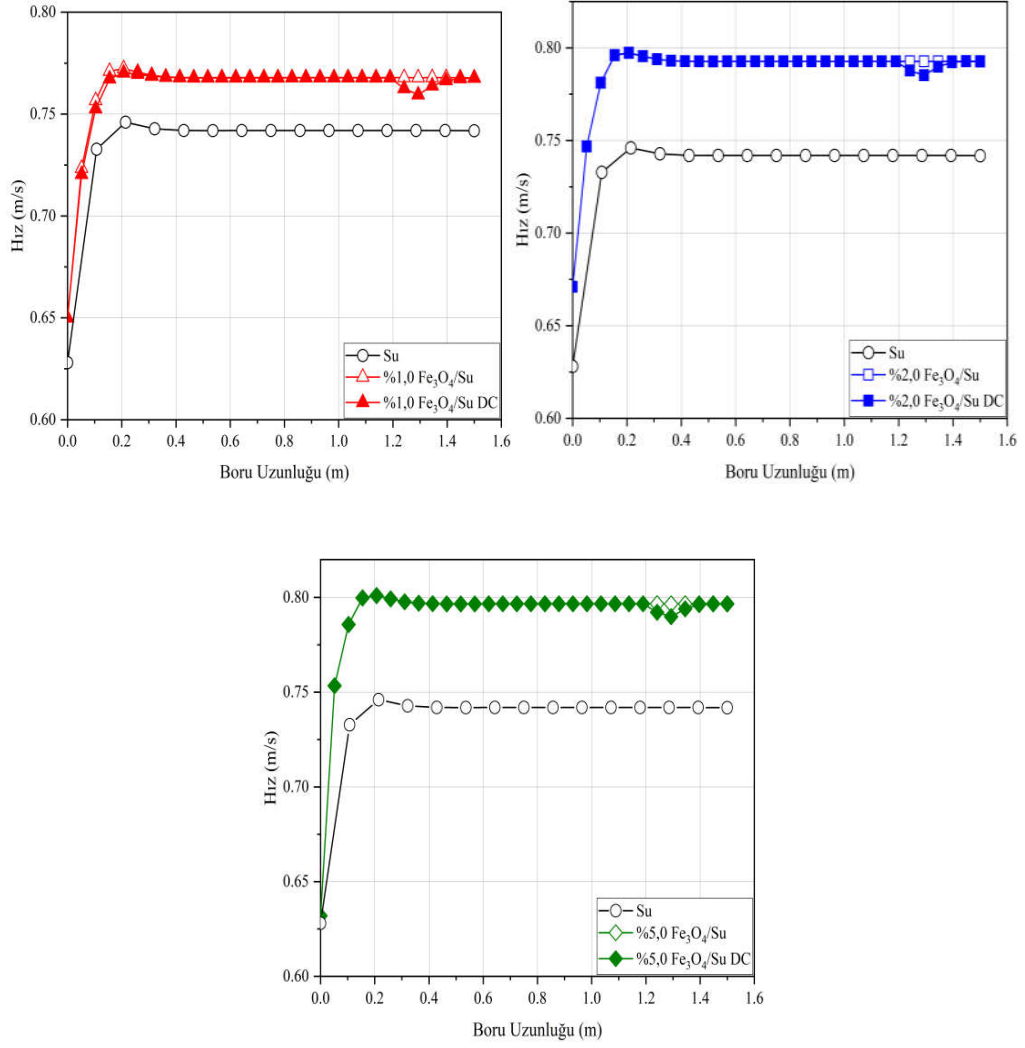
manyetik alanın uygulandığı bölgede nanoakışkanın hızında azalmanın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.39. Akış hızının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.



Şekil 4.40. Akış hızının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0,3$ T DC).

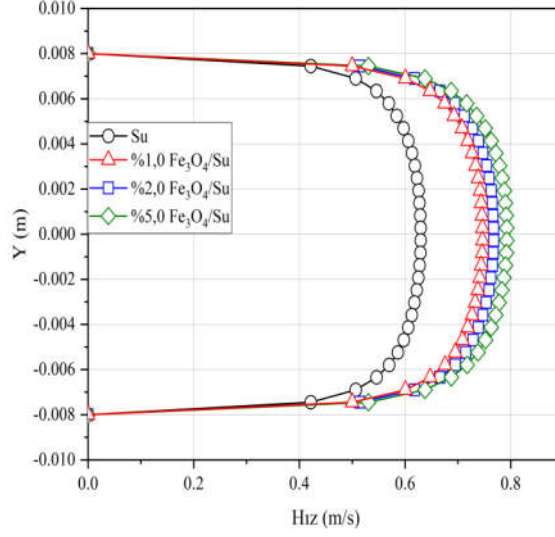


Şekil 4.41. Akış hızının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi ($B=0$ ve $B=0,3$ T).

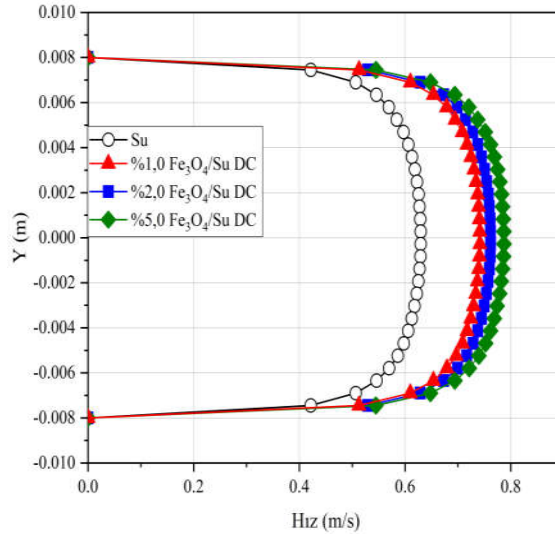
4.3.2.4. Eksenel Hız Profili

Şekil 4.42’de farklı hacimsel konsantrasyonları için $Re=10 \times 10^3$ değerine göre hız dağılımı sunulmuştur. Hacimsel konsantrasyonların hız dağılımında aktif bir rol oynadığı grafikten açıkça görülmektedir. Bunun sebebi ise, nanopartikül konsantrasyon oranı arttıkça aynı Re sayısı için hız büyüklüğünün göreceli olarak artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.44’te manyetik alan yokluğunda ve uyguladığında her nanopartikül hacimsel konsantrasyonu için hız profili çizilmiştir. Manyetik alan uygulandığında hız profilinin en yüksek değerinin azaldığı görülmektedir. Manyetik kuvvet nedeniyle tutulan nanoparçacıklar akışı kısıtlayarak bu duruma neden olmaktadır. Manyetik alan uygulaması sonucunda artan basınç

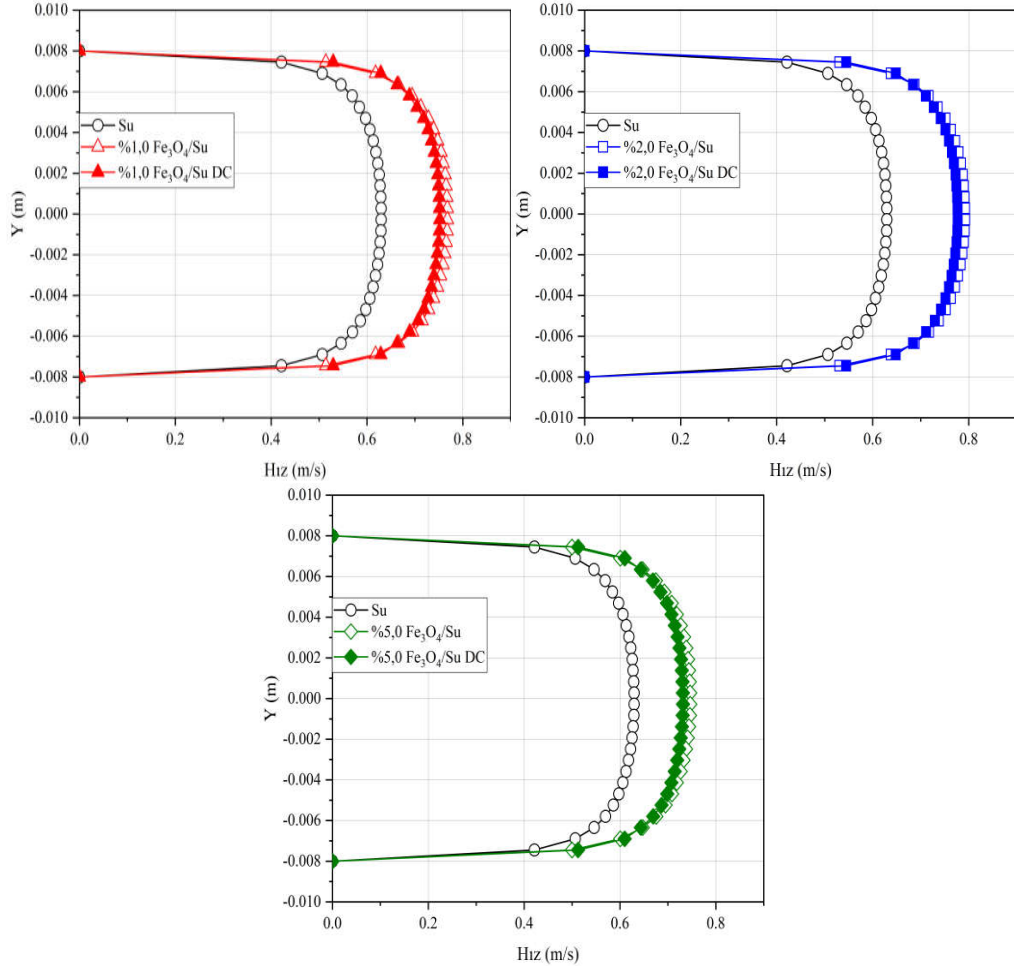
düşüşü ile oluşan bu hız profilinin benzer davranışı, iki olgunun birbiriyle bağlantılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.42. Manyetik alan yokluğunda dairesel kesitli kanalın 1,25 m yüzeyindeki aksenal hız profili.



Şekil 4.43. Dairesel kesitli kanalın 1,25 m yüzeyindeki uygulanan manyetik alan etkisi ile aksenal hız profili.



Şekil 4.44. %1,0, %2,0 ve %5,0 Fe_3O_4/su nanoakışkanı için eksenel hız profili ($B=0$ ve $B=0,3$ T).

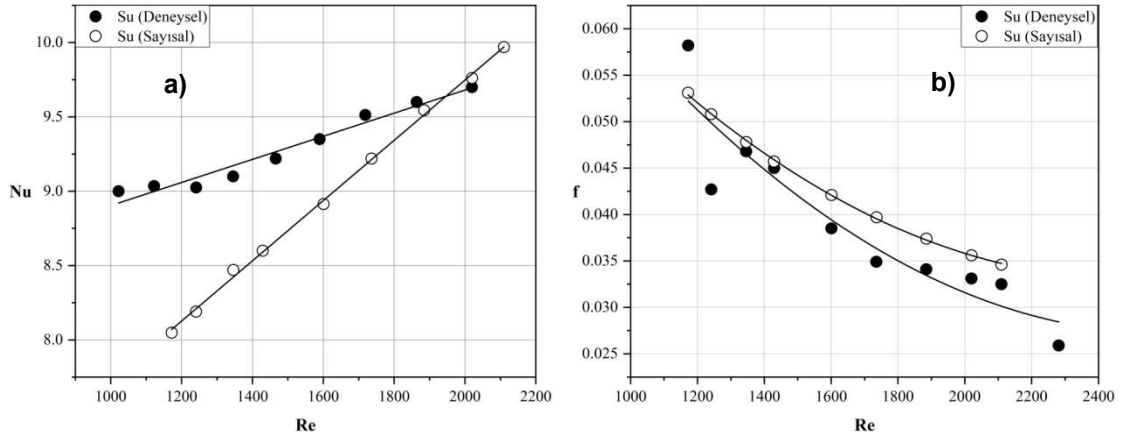
4.4. DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu aşamasında, elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlar akış ve ısı transferi karakteristikleri cinsinden detaylı olarak karşılaştırılmıştır.

4.4.1. Laminer Akış Şartları

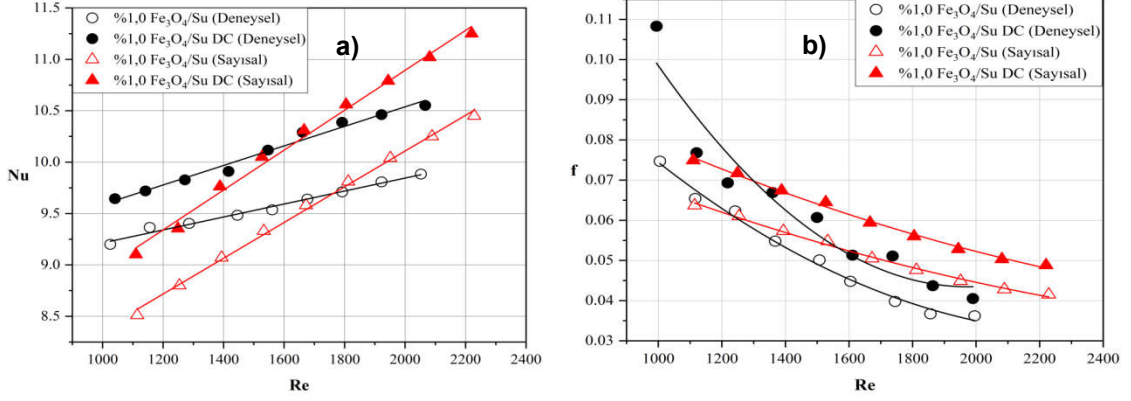
Bu bölümde, nanoakışkan akışının sabit manyetik alan uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda elde edilen deneysel ve sayısal çalışma sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Şekil 4.45’de temel akışkan olarak saf su kullanılan durum için deneysel ve sayısal yöntemlerle elde edilen Nu ve f değerlerinin Re değeri ile değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde artan Re değerleriyle deneysel ve sayısal Nu değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen Darcy sürtünme faktörü değerlerinin uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, deneysel ve sayısal Nu değerleri arasında ortalama %7,44; f değerleri arasında ise ortalama %9,69 fark çıkmıştır.



Şekil 4.45. Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması.

Farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için manyetik alan uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda Fe_3O_4/su nanoakışkanına ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen Nu ve f değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.46-48’te verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere elde edilen sonuçların birbirini destekler nitelikte olduğu saptanmıştır. Şekil 4.46’da sunulan %1,0 Fe_3O_4/su nanoakışkanının manyetik alan uygulanmadığı durum ile sabit manyetik alan uygulandığı durumlar için Nu değerleri deneysel ve sayısal çalışma sonuçları arasındaki farklar sırasıyla %8,11; %6,21 olarak elde edilmiştir. Aynı koşullarda, Darcy sürtünme faktörü değerleri için ise bu farkın sırasıyla %11,23; %23,21; %39,83 değerlerinde olduğu görülmüştür.

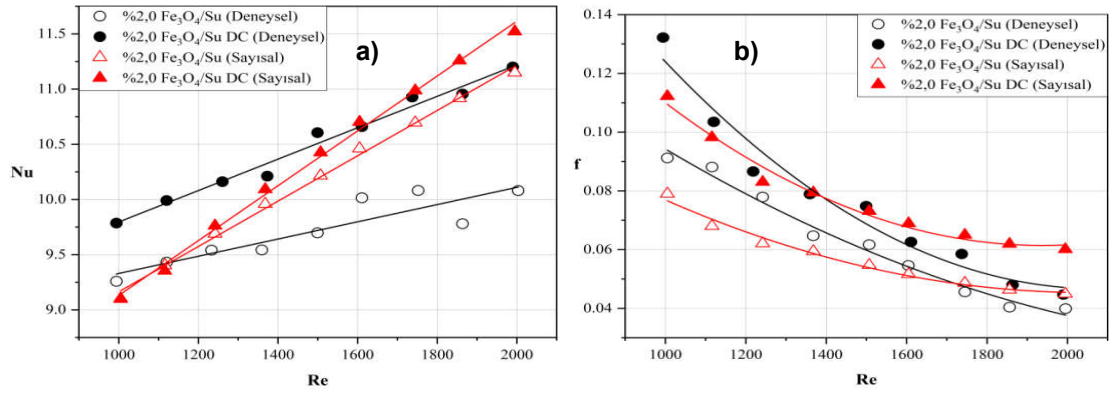


Şekil 4.46. Çalışma akışkanı olarak %1,0 Fe₃O₄/su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.

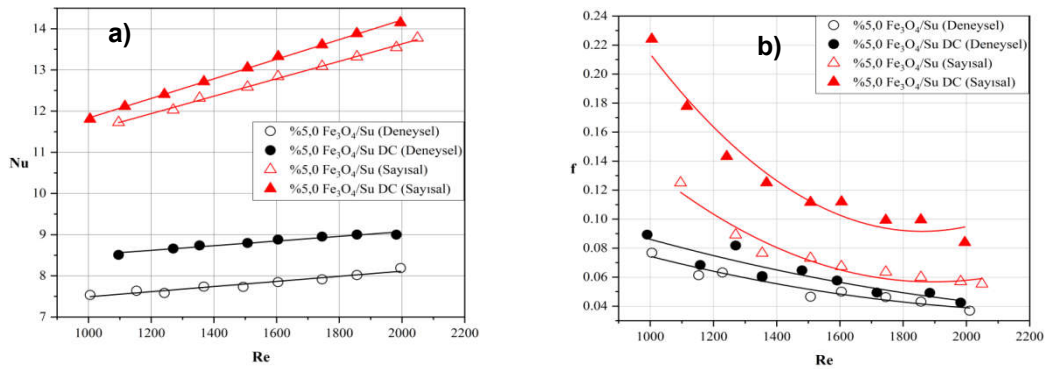
Şekil 4.47’de çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılan deneylere ve sayısal analizlere ait sonuçlar görülebilmektedir. Grafiklerde manyetik alan uygulanmayan, sabit manyetik alan uygulanan durumlardan elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizlerden elde edilen *Nu* değerleri deneysel çalışmalardan elde edilen değerlerden %10,5 fark çıkmıştır. Sabit manyetik alan etkisinde *Nu* değerleri baz alındığında sayısal analiz sonuçları, deneysel çalışmalara göre ortalama %11,79 fark çıkmıştır. Sayısal analizler neticesinde elde edilen Darcy sürtünme faktörü değerleri ise, manyetik alan uygulanmayan durumda deneysel çalışmada elde edilen sonuçlardan ortalama %13,36 fark çıkmıştır. Sabit manyetik alan uygulandığında sayısal analizlerden elde edilen artış, deneysel çalışmada elde edilen artıştan daha yüksek çıkmıştır. Sabit manyetik alan etkisinde Darcy sürtünme faktörü değerleri için sayısal analiz sonuçları, deneysel çalışma sonuçlarına kıyasla ortalama %15,12 oranında fark elde edilmiştir.

Şekil 4.48’de ise çalışma akışkanı olarak %5,0 Fe₃O₄/su kullanılan durum için elde edilen deneysel ve sayısal çalışma sonuçları sunulmuştur. Grafiklerden sayısal analiz sonuçlarının deneysel sonuçları oldukça iyi tahmin etmediği görülebilmektedir. Özellikle, manyetik alan uygulanmayan durumda sayısal analizlerden elde edilen *Nu* değerleri ile deneysel çalışmalardan elde edilen *Nu* değerleri karşılaştırıldığında aradaki farkın %40,79 olduğu elde edilmiştir. Bu fark aynı şartlarda elde deneysel ve sayısal çalışmalardan edilen Darcy sürtünme faktörleri için ise %38,56 olarak hesaplanmıştır. Sabit ve manyetik alan uygulandığı durumda deneysel ve sayısal

çalışmalardan elde edilen Nu değerleri arasındaki fark sırası ile, %36,38 ve %36 olarak elde edilmişken, Darcy sürtünme faktörleri arasındaki fark ise %61,5 ve %44,33 olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak daha düşük elde edilen Nu değerleri ve daha yüksek elde edilen f değerleri bu yüksek farklarda önemli rol oynamaktadır. Sayısal analizler artan hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranlarında Nu değerini sürekli artıyor olarak çözümlerken, gerçek koşullarda optimum hacimsel konsantrasyon oranı üstünde düşüş elde edilmektedir. Sayısal analizlerin, yüksek hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranlarını doğru tahmin edemediği görülmektedir.



Şekil 4.47. Çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe₃O₄/su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması



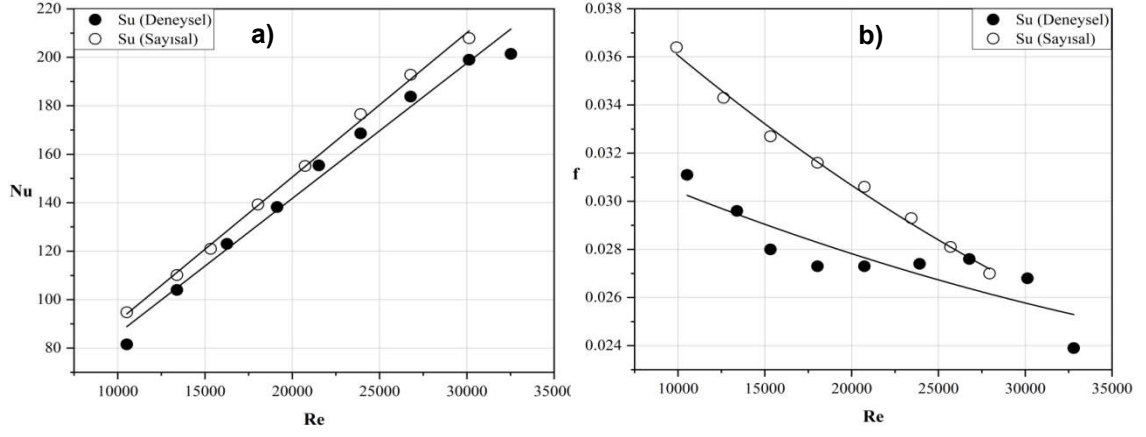
Şekil 4.48. Çalışma akışkanı olarak %5,0 Fe₃O₄/su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.

4.4.2. Türbülanslı Akış Şartları

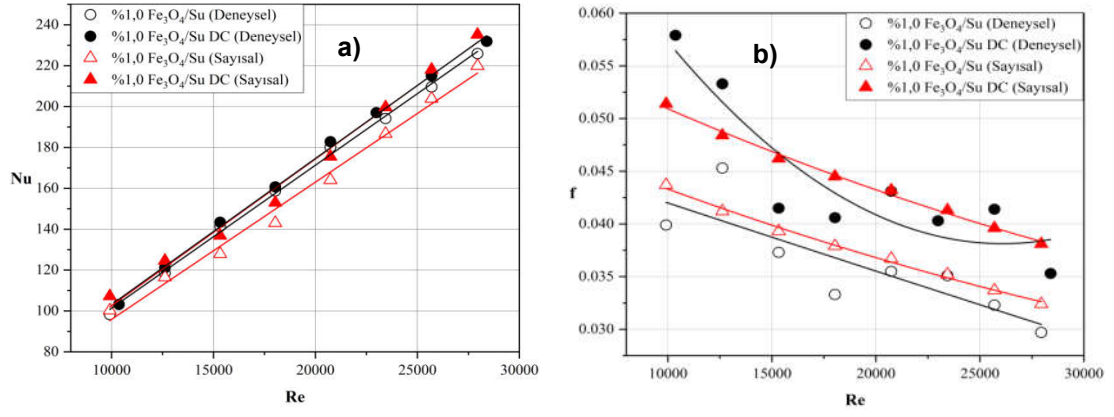
Bu bölümde, türbülanslı akış şartlarında nanoakışkan akışının manyetik alan uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda elde edilen deneysel ve sayısal çalışma sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için deneysel çalışmalar ve sayısal analizlerle elde edilen Nu ve f değerlerinin Re değeri ile değişimi Şekil 4.49'da görülmektedir. Bu bağlamda, Nu değerleri için sayısal sonuçların, deneysel çalışma sonuçlarını çok iyi temsil ettiği görülmektedir. Ayrıca, deneysel ve sayısal olarak elde edilen Darcy sürtünme faktörü değerlerinin ise uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, deneysel ve sayısal Nu değerleri arasında ortalama %5,59, f değerleri arasında ise ortalama %10,77 kadar bir fark olduğu tespit edilmiştir.

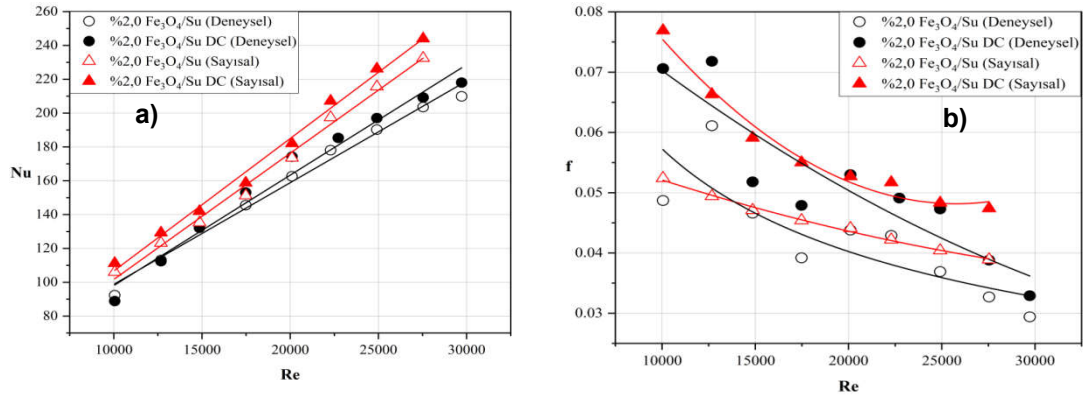
Farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için manyetik alan uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda Fe_3O_4/su nanoakışkanına ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen Nu ve f değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.50-52'te verilmiştir. Çalışma akışkanı olarak %1,0 Fe_3O_4/su nanoakışkanının kullanıldığı durumda, manyetik alan uygulanmadığı durum ile sabit manyetik alan uygulandığı durumlar için Nu değerleri cinsinden deneysel ve sayısal çalışma sonuçları arasındaki farklar sırasıyla %9,9 ve %3,75 olarak elde edilmiştir. Bu değerler %2,0 Fe_3O_4/su ve %5,0 Fe_3O_4/su nanoakışkanları için ise sırasıyla ortalama %11,77; %12,89 ve %43,71; %33,47 olduğu saptanmıştır. Darcy sürtünme faktörü değerleri incelendiğinde ise çalışma akışkanı olarak %1,0 Fe_3O_4/su nanoakışkanının kullanıldığı manyetik alan uygulanmadığı ve sabit manyetik alan uygulandığı durumlar için deneysel ve sayısal çalışma sonuçları arasındaki farklar sırasıyla %10,18; %12,66 olarak hesaplanmıştır. Bu durumun, %2,0 Fe_3O_4/su ve %5,0 Fe_3O_4/su nanoakışkanları için ise sırasıyla ortalama %8,66; %12,42; ve %29,58; %41,87; değerlerinde olduğu görülmüştür.



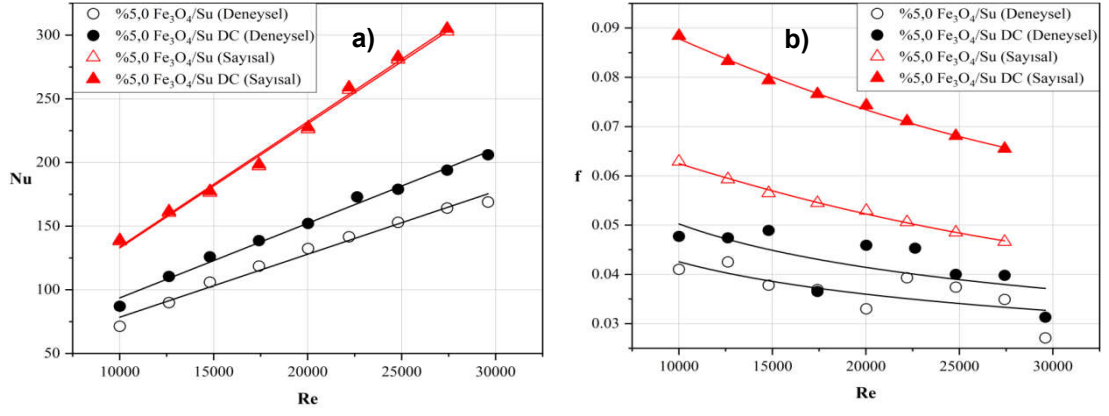
Şekil 4.49. Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.50. Çalışma akışkanı olarak %1,0 Fe_3O_4 /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.51. Çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe_3O_4 /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.52. Çalışma akışkanı olarak %5,0 Fe₃O₄ /su kullanılan durum için deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİ

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, ferronanoakışkan akışına sabit manyetik alan ($B= 0.3 \text{ T}$) uygulamasının taşınım ile ısı transferi ve akış karakteristiklerine olan etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmalar laminar akış ($1000 < Re < 2300$) ve türbülanslı akış ($10000 < Re < 30000$) şartlarında %1,0, %2,0 ve %5,0 nanopartikül hacimsel konsantrasyonlarındaki $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Tüm çalışmalarda baz akışkan saf su içerisine nanopartikül ilave edilmesi taşınım ile gerçekleşen ısı transfer miktarını arttırdığı görülmüştür.
- Laminar akış şartlarında manyetik alan uygulanmadığı durumda, en yüksek taşınım ile ısı transfer artış miktarı saf su kullanılan duruma göre %5,28'e varan artış sunan %2,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanında elde edilmiştir. Manyetik alan uygulanan durumda ise bu oran aynı akışkan için %8,32 olmuştur. Akışa manyetik alan uygulaması ısı transferini daha fazla arttırmıştır. Bununla birlikte, en yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri saf su kullanılan duruma göre ortalama %52,08 artış ile yine %2,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilmiştir.
- Türbülanslı akış şartlarında manyetik alan uygulanmadığı durumda, en yüksek taşınım ile ısı transferi değeri, saf su kullanılan duruma göre %20,45'e varan artış ile %1,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanında elde edilmiştir. En yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri saf su kullanılan duruma göre ortalama %49,85 artış oranı ile %2,0 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılan

durumda elde edilmiştir. Akışa manyetik alan uygulandığında ise çalışma akışkanı olarak kullanılan %1,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı için, manyetik alan uygulanmadığı duruma göre %5,06'ya, saf su kullanılan duruma göre ise %26,54'e varan ısı transferi artış oranları elde edilmiştir.

- Çalışmada, ısı transferi artış miktarları ve kanal içi basınç düşümü değerleri birlikte değerlendirildiğinde nanoakışkanların Performans Değerlendirme Katsayıları (PDK) belirlenmiştir. Buna göre manyetik alanın uygulanmadığı durumda laminer ve türbülanslı akış şartları için %1,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı en ideal çalışma akışkanı olmuştur. Manyetik alan uygulandığı durumda ise laminer ve türbülanslı akış şartları için sırasıyla %2,0 Fe₃O₄/su ve %1,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanlarının daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.
- Hem laminar hem de türbülanslı akış şartlarında sabit manyetik alan etkisinin ısı performansını artırılmasında daha verimli olduğu saptanmıştır. Manyetik alan sebebiyle tutulan, zincir benzeri yapı kuran manyetik nanoparçacıklar, yerel Nu değerinin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca, manyetik alan nedeniyle akış içinde tutulan nanoparçacıklar akışı bozarak, ısı sınır tabakayı bozmakta ve akış karışımına yol açmaktadır.
- Sayısal çalışmalarda; çalışma akışkanı olarak kullanılan %5,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı, sayısal analizler sonucunda da en yüksek Nu değerini vermiştir. Hacimsel nanoparçacık konsantrasyonla ısı transferi performansının doğru orantılı çıktığı sayısal çalışmalarda görülmüştür. Sabit manyetik alan etkisi altında Fe₃O₄ hacimsel nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça Nu değeri doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Bununla birlikte, sayısal analizlerde gerek manyetik alan uygulanmayan durumda gerekse sabit manyetik alan etkisi altında performans değerlendirme katsayısı 1'den düşük çıkmıştır.
- Deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarından, sabit manyetik alan uygulamasının kullanımının genel olarak verimli olduğu elde edilmiştir. Darcy sürtünme faktörü artışı yüksek hacimsel nanoparçacık konsantrasyonlarındaki nanoakışkanların kullanımıyla daha fazla artsa da genellikle %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının hem laminar hem türbülanslı akış şartlarında sayısal ve deneysel çalışmalar sonucunda en verimli nanoakışkan olduğu görülmektedir.

- Yapılan bu çalışma sabit manyetik alan etkisinin nanoakışkanların ısı performanslarına ve akış karakteristiğine yönelik yenilikçi bir yaklaşım getirmekte olup nükleer santral acil durum soğutma sistemlerinde, ısı pompalarında, ısı eşanjörlerinde, radyatörlerde ısı transferi verimini artırmak için kullanılabilceği öngörülmektedir. Düşük hacimsel nanoparçacık konsantrasyonlarındaki nanoakışkanların ve sabit manyetik alanın kullanılmasıyla taşınım ile ısı transferi oranları %20'ye varan miktarlarda artırabilmektedir. Bu durum verimliliğin ön plana çıktığı ısı transferi alanlarında uygulanabilir. İlerideki dönemde yapılacak çalışmalarda nanoakışkanların manyetik alan etkisi altında davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için sabit sıcaklıkta, farklı hidrolik çaplarda değişik malzemelerden imal edilmiş kanal kullanılarak ve farklı yüzey aktif maddesi ile farklı baz akışkan kullanılarak daha düşük hacimsel konsantrasyonlarda ferronanoakışkanın taşınım ile ısı transfer performansının daha detaylı araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Goodarzi, M. and Mazharmanesh, S., 'Heat transfer enhancement in parallel-plate double-pass heat exchanger using sinusoidal separating plate', *International Journal Of Thermal Sciences*, 72: 115–124 (2013).
2. Kurşun, B. and Sivrioğlu, M., 'Heat transfer enhancement using U-shaped flow routing plates in cooling printed circuit boards', *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, 40 (1): 1–14 (2018).
3. M'hamed, B., Sidik, N. A. C., Yazid, M. N. A. W. M., Mamat, R., Najafi, G., and Kefayati, G. H. R., 'A review on why researchers apply external magnetic field on nanofluids', *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 78: 60–67 (2016).
4. Choi, S. U. S. and Eastman, J. A., 'Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles', *Argonne National Lab., IL (United States)*, (1995).
5. Aglawe, K. R., Yadav, R. K., and Thool, S. B., 'Preparation, applications and challenges of nanofluids in electronic cooling: A systematic review', *Materials Today: Proceedings*, (2021).
6. Gugulothu, R., Reddy, K. V. K., Somanchi, N. S., and Adithya, E. L., 'A review on enhancement of heat transfer techniques', *Materials Today: Proceedings*, 4 (2): 1051–1056 (2017).
7. Jadhav, M., Awari, R., Bibe, D., Bramhane, A., and Mokashi, M., 'Review on enhancement of heat transfer by active method', *International Journal Of Current Engineering And Technology*, 6: 221–225 (2016).
8. Keklikcioglu, O. and Ozceyhan, V., 'A Review of Heat Transfer Enhancement Methods Using Coiled Wire and Twisted Tape Inserts', *Heat Transfer: Models, Methods And Applications*, 199–217 (2018).
9. Buongiorno, J. and Hu, L. W., 'Nanofluid coolants for advanced nuclear power plants', *Proceedings Of The American Nuclear Society - International Congress On Advances In Nuclear Power Plants 2005, ICAPP'05*, 15–19 (2005).
10. Ghasemian, M., Ashrafi, Z. N., Goharkhah, M., and Ashjaee, M., 'Heat transfer characteristics of Fe₃O₄ ferrofluid flowing in a mini channel under constant and alternating magnetic fields', *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 381: 158–167 (2015).

11. Goharkhah, M., Ashjaee, M., and Shahabadi, M., 'Experimental investigation on convective heat transfer and hydrodynamic characteristics of magnetite nanofluid under the influence of an alternating magnetic field', *International Journal Of Thermal Sciences*, 99: 113–124 (2016).
12. Choi, S. S. and Eastman, A. A., 'Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles', *International Mechanical Engineering Congress And Exhibition, San Francisco, CA (United States), 12-17 Nov 1995, ASME Publications FED*, 231: 99–105 (1995).
13. Hatwar, A. and Kriplani, V. M., 'Experimental study of convective heat transfer in a horizontal tube using nanofluids', *International Journal Of Advanced Engineering Research And Science*, 3 (11): 236903 (2016).
14. Hwang, K. S., Jang, S. P., and Choi, S. U. S., 'Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al₂O₃ nanofluids in fully developed laminar flow regime', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 52 (1–2): 193–199 (2009).
15. Teng, T.-P., Hsu, H.-G., Mo, H.-E., and Chen, C.-C., 'Thermal efficiency of heat pipe with alumina nanofluid', *Journal Of Alloys And Compounds*, 504: S380–S384 (2010).
16. Chandrasekar, M., Suresh, S., and Bose, A. C., 'Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of Al₂O₃/water nanofluid in a circular pipe under laminar flow with wire coil inserts', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 34 (2): 122–130 (2010).
17. Perarasu, V. T., Arivazhagan, M., and Sivashanmugam, P., 'Heat transfer of TiO₂/water nanofluid in a coiled agitated vessel with propeller', *Journal Of Hydrodynamics*, 24 (6): 942–950 (2012).
18. Selvakumar, P. and Suresh, S., 'Convective performance of CuO/water nanofluid in an electronic heat sink', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 40: 57–63 (2012).
19. Heris, S. Z., 'Experimental investigation of pool boiling characteristics of low-concentrated CuO/ethylene glycol–water nanofluids', *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 38 (10): 1470–1473 (2011).
20. Vermahmoudi, Y., Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., and Naraki, M., 'Experimental investigation on heat transfer performance of Fe₂O₃/water nanofluid in an air-finned heat exchanger', *European Journal Of Mechanics-B/Fluids*, 44: 32–41 (2014).
21. Abbassi, Y., Talebi, M., Shirani, A. S., and Khorsandi, J., 'Experimental investigation of TiO₂/Water nanofluid effects on heat transfer characteristics of a vertical annulus with non-uniform heat flux in non-radiation environment', *Annals Of Nuclear Energy*, 69: 7–13 (2014).

22. Ali, H. M., Ali, H., Liaquat, H., Maqsood, H. T. Bin, and Nadir, M. A., 'Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO–water nanofluids', *Energy*, 84: 317–324 (2015).
23. Mansouri, M. and Zamzamian, S. A. H., 'Experimental studies on the heat transfer characteristics of alumina/water nanofluid inside a helical coil tube', *Heat And Mass Transfer*, 1–14 (2020).
24. Sekhar, Y. R., Sharma, K. V., Karupparaj, R. T., and Chiranjeevi, C., 'Heat transfer enhancement with Al₂O₃ nanofluids and twisted tapes in a pipe for solar thermal applications', *Procedia Engineering*, 64: 1474–1484 (2013).
25. Heris, S. Z., Nassan, T. H., Noie, S. H., Sardarabadi, H., and Sardarabadi, M., 'Laminar convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid through square cross-sectional duct', *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, 44: 375–382 (2013).
26. Hussein, A. M., Bakar, R. A., Kadirgama, K., and Sharma, K. V., 'Heat transfer augmentation of a car radiator using nanofluids', *Heat And Mass Transfer*, 50 (11): 1553–1561 (2014).
27. Momin, G. G., 'Experimental investigation of mixed convection with water-Al₂O₃&hybrid nanofluid in inclined tube for laminar flow', *Int. J. Sci. Technol. Res*, 2: 195–202 (2013).
28. Baskar, S., Chandrasekaran, M., Vinod Kumar, T., Vivek, P., and Karikalan, L., 'Experimental studies on convective heat transfer coefficient of water/ethylene glycol-carbon nanotube nanofluids', *International Journal Of Ambient Energy*, 41 (3): 296–299 (2020).
29. Li, Q. and Xuan, Y.-M., 'Flow and Heat Transfer Performances of Nanofluids Inside Small Hydraulic Diameter Flat Tube', *Journal Of Engineering Thermophysics*, 25 (2): 305–307 (2004).
30. Wen, D. and Ding, Y., 'Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 47 (24): 5181–5188 (2004).
31. Heris, S. Z., Etemad, S. G., and Esfahany, M. N., 'Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer', *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 33 (4): 529–535 (2006).
32. Heris, S. Z., Esfahany, M. N., and Etemad, S. G., 'Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube', *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, 28 (2): 203–210 (2007).
33. Lai, W. Y., Duculescu, B., Phelan, P. E., and Prasher, R. S., 'Convective heat transfer with nanofluids in a single 1.02-mm tube', *ASME International Mechanical Engineering Congress And Exposition*, 47861: 337–342 (2006).

34. Jung, J.-Y., Oh, H.-S., and Kwak, H.-Y., 'Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels', (2006).
35. Zhou, Dw., 'Heat transfer enhancement of copper nanofluid with acoustic cavitation', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 47 (14–16): 3109–3117 (2004).
36. Li, Q., Xuan, Y.-M., Jiang, J., and Xu, J.-W., 'Experimental investigation on flow and convective heat transfer feature of a nanofluid for aerospace thermal management', *Yuhang Xuebao/ Journal Of Astronautics(China)*, 26 (4): 391–394 (2005).
37. Faulkner, D. J., Rector, D. R., Davidson, J. J., and Shekarriz, R., 'Enhanced heat transfer through the use of nanofluids in forced convection', *ASME International Mechanical Engineering Congress And Exposition*, 4711: 219–224 (2004).
38. Yang, Y., Zhang, Z. G., Grulke, E. A., Anderson, W. B., and Wu, G., 'Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 48 (6): 1107–1116 (2005).
39. Ding, Y., Alias, H., Wen, D., and Williams, R. A., 'Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids)', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 49 (1–2): 240–250 (2006).
40. Pak, B. C. and Cho, Y. I., 'Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles', *Experimental Heat Transfer*, (1998).
41. Sundar, L. S., Naik, M. T., Sharma, K. V., Singh, M. K., and Reddy, T. C. S., 'Experimental investigation of forced convection heat transfer and friction factor in a tube with Fe₃O₄ magnetic nanofluid', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 37: 65–71 (2012).
42. Fotukian, S. M. and Esfahany, M. N., 'Experimental study of turbulent convective heat transfer and pressure drop of dilute CuO/water nanofluid inside a circular tube', *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 37 (2): 214–219 (2010).
43. Pourfayaz, F., Sanjarian, N., Kasaeian, A., Astarai, F. R., Sameti, M., and Nasirivatan, S., 'An experimental comparison of SiO₂/water nanofluid heat transfer in square and circular cross-sectional channels', *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, 131 (2): 1577–1586 (2018).
44. Behzadmehr, A., Saffar-Avval, M., and Galanis, N., 'Prediction of turbulent forced convection of a nanofluid in a tube with uniform heat flux using a two phase approach', *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, 28 (2): 211–219 (2007).

45. Maïga, S. E. B., Nguyen, C. T., Galanis, N., and Roy, G., 'Heat transfer behaviours of nanofluids in a uniformly heated tube', *Superlattices And Microstructures*, 35 (3–6): 543–557 (2004).
46. Palm, S. J., Roy, G., and Nguyen, C. T., 'Heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling systems considering temperature-dependent properties', *Applied Thermal Engineering*, 26 (17–18): 2209–2218 (2006).
47. Anoop, K. B., Sundararajan, T., and Das, S. K., 'Effect of particle size on the convective heat transfer in nanofluid in the developing region', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 52 (9–10): 2189–2195 (2009).
48. Li, Q. and Xuan, Y., 'Convective heat transfer and flow characteristics of Cu-water nanofluid', *Science In China Series E: Technolglcal Science*, 45 (4): 408–416 (2002).
49. Minea, A. A., 'Numerical simulation of nanoparticles concentration effect on forced convection in a tube with nanofluids', *Heat Transfer Engineering*, 36 (13): 1144–1153 (2015).
50. Ahmed, M. A., Shuaib, N. H., and Yusoff, M. Z., 'Numerical investigations on the heat transfer enhancement in a wavy channel using nanofluid', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 55 (21–22): 5891–5898 (2012).
51. Ting, H. H. and Hou, S. S., 'Numerical Study of Laminar Flow Forced Convection of Water- Al_2O_3 Nanofluids under Constant Wall Temperature Condition', *Mathematical Problems In Engineering*, 2015: (2015).
52. Zeinali Heris, S., Kazemi-Beydokhti, A., Noie, S. H., and Rezvan, S., 'Numerical study on convective heat transfer of Al_2O_3 /water, CuO/water and Cu/water nanofluids through square cross-section duct in laminar flow', *Engineering Applications Of Computational Fluid Mechanics*, 6 (1): 1–14 (2012).
53. Yin, Z., Bao, F., Tu, C., Hua, Y., and Tian, R., 'Numerical and experimental studies of heat and flow characteristics in a laminar pipe flow of nanofluid', *Journal Of Experimental Nanoscience*, 13 (1): 82–94 (2018).
54. Purohit, N., Purohit, V. A., and Purohit, K., 'Assessment of nanofluids for laminar convective heat transfer: A numerical study', *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 19 (1): 574–586 (2016).
55. Chen, H., Yang, W., He, Y., Ding, Y., Zhang, L., Tan, C., Lapkin, A. A., and Bavykin, D. V., 'Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of titanate nanotubes (nanofluids)', *Powder Technology*, 183 (1): 63–72 (2008).
56. Davarnejad, R., Barati, S., and Kooshki, M., 'CFD simulation of the effect of particle size on the nanofluids convective heat transfer in the developed region in a circular tube', *SpringerPlus*, 2 (1): 1–6 (2013).

57. Fadhil, A. M., Khalil, W. H., and Al-damook, A., 'The hydraulic-thermal performance of miniature compact heat sinks using SiO₂/water nanofluids', *Heat Transfer—Asian Research*, 48 (7): 3101–3114 (2019).
58. Gedik, E., Kayfeci, M., Keçebaş, A., and Kurt, H., 'Dairesel Bir Boruda Al₂O₃ /Su ve TiO₂/Su Nanoakışkanların Laminer Zorlanmış Isı Taşınımı', *TTMD DERGİSİ*, 48–53 (2017).
59. Li, Q. and Xuan, Y., 'Experimental investigation on heat transfer characteristics of magnetic fluid flow around a fine wire under the influence of an external magnetic field', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 33 (4): 591–596 (2009).
60. Li, Q., Xuan, Y., and Wang, J., 'Experimental investigations on transport properties of magnetic fluids', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 30 (2): 109–116 (2005).
61. Lajvardi, M., Moghimi-Rad, J., Hadi, I., Gavili, A., Isfahani, T. D., Zabihi, F., and Sabbaghzadeh, J., 'Experimental investigation for enhanced ferrofluid heat transfer under magnetic field effect', *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 322 (21): 3508–3513 (2010).
62. Ghofrani, A., Dibaei, M. H., Sima, A. H., and Shafii, M. B., 'Experimental investigation on laminar forced convection heat transfer of ferrofluids under an alternating magnetic field', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 49: 193–200 (2013).
63. Azizian, R., Doroodchi, E., McKrell, T., Buongiorno, J., Hu, L. W., and Moghtaderi, B., 'Effect of magnetic field on laminar convective heat transfer of magnetite nanofluids', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 68: 94–109 (2014).
64. Goharkhah, M., Salarian, A., Ashjaee, M., and Shahabadi, M., 'Convective heat transfer characteristics of magnetite nanofluid under the influence of constant and alternating magnetic field', *Powder Technology*, 274: 258–267 (2015).
65. Shahsavari, A., Saghafian, M., Salimpour, M. R., and Shafii, M. B., 'Experimental investigation on laminar forced convective heat transfer of ferrofluid loaded with carbon nanotubes under constant and alternating magnetic fields', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 76: 1–11 (2016).
66. Hatami, N., Banari, A. K., Malekzadeh, A., and Pouranfard, A. R., 'The effect of magnetic field on nanofluids heat transfer through a uniformly heated horizontal tube', *Physics Letters A*, 381 (5): 510–515 (2017).
67. Wang, J., Li, G., Zhu, H., Luo, J., and Sundén, B., 'Experimental investigation on convective heat transfer of ferrofluids inside a pipe under various magnet orientations', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 132: 407–419 (2019).

68. Sun, B., Guo, Y., Yang, D., and Li, H., 'The Effect of Constant Magnetic Field on Convective Heat Transfer of Fe₃O₄/Water Magnetic Nanofluid in Horizontal Circular Tubes', *Applied Thermal Engineering*, 114920 (2020).
69. Yarahmadi, M., Goudarzi, H. M., and Shafii, M. B., 'Experimental investigation into laminar forced convective heat transfer of ferrofluids under constant and oscillating magnetic field with different magnetic field arrangements and oscillation modes', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 68: 601–611 (2015).
70. Zonouzi, S. A., Khodabandeh, R., Safarzadeh, H., Aminfar, H., Trushkina, Y., Mohammadpourfard, M., Ghanbarpour, M., and Alvarez, G. S., 'Experimental investigation of the flow and heat transfer of magnetic nanofluid in a vertical tube in the presence of magnetic quadrupole field', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 91: 155–165 (2018).
71. Sha, L., Ju, Y., and Zhang, H., 'The influence of the magnetic field on the convective heat transfer characteristics of Fe₃O₄/water nanofluids', *Applied Thermal Engineering*, 126: 108–116 (2017).
72. Sha, L., Ju, Y., Zhang, H., and Wang, J., 'Experimental investigation on the convective heat transfer of Fe₃O₄/water nanofluids under constant magnetic field', *Applied Thermal Engineering*, 113: 566–574 (2017).
73. Tekir, M., Taskesen, E., Aksu, B., Gedik, E., and Arslan, K., 'Comparison of bi-directional multi-wave alternating magnetic field effect on ferromagnetic nanofluid flow in a circular pipe under laminar flow conditions', *Applied Thermal Engineering*, 179: 115624 (2020).
74. Tekir, M., "Farklı dalga tiplerinde alternatif manyetik alan etkisi altında dairesel kesitli kanal içerisindeki hibrit nanoakışkanın akış ve ısı transferi karakteristiklerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, 131-134 (2021).
75. Ashjaee, M., Goharkhah, M., Khadem, L. A., and Ahmadi, R., 'Effect of magnetic field on the forced convection heat transfer and pressure drop of a magnetic nanofluid in a miniature heat sink', *Heat And Mass Transfer*, 51 (7): 953–964 (2015).
76. Tetuko, A. P., Simbolon, S., Sitorus, T. G., Zurcher, R., Hadi, R. K., Setiadi, E. A., Kurniawan, C., Ginting, M., and Sebayang, P., 'The effect of magnetic nano-fluids (Fe₃O₄) on the heat transfer enhancement in a pipe with laminar flow', *Heat And Mass Transfer*, 56 (1): 65–74 (2020).
77. Tolba, A. S., Ahmed, A. R. A., Kandel, A. M. H., and El Saadany, H. M. H. K., 'Experimental Investigation on Laminar Forced Convective Heat Transfer of Ferrofluid under Different Modes of Magnetic Field.', *Bulletin Of The Faculty Of Engineering. Mansoura University*, 43 (1): 7–17 (2020).

78. Mei, S., Qi, C., Liu, M., Fan, F., and Liang, L., 'Effects of paralleled magnetic field on thermo-hydraulic performances of Fe₃O₄-water nanofluids in a circular tube', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 134: 707–721 (2019).
79. Majeed, A., Zeeshan, A., Bhatti, M. M., and Ellahi, R., 'Heat transfer in magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles suspended in conventional fluids: Refrigerant-134A (C₂H₂F₄), kerosene (C₁₀H₂₂), and water (H₂O) under the impact of dipole', *Heat Transfer Research*, 51 (3): (2020).
80. Cengel, Y. and Boles, M., 'Thermodynamics: An Engineering Approach', 8th Editio. Ed., *McGraw-Hill Education*, (2014).
81. Shah, R. K. and London, A. L., 'Discussion—An Overview for the Designer and the Applied Mathematician', *Laminar Flow Forced Convection in Ducts*, 385–420 (1978).
82. Gnielinski, V., 'G1 Heat Transfer in Pipe Flow', *VDI Heat Atlas*, 691–700 (2010).
83. Churchill, S. W. and Ozoe, H., 'Correlations for laminar forced convection with uniform heating in flow over a plate and in developing and fully developed flow in a tube', *Journal Of Heat Transfer*, 95(1): 78–84 (1973).
84. Mills, A. F., 'Basic Heat and Mass Transfer', Second Edi. Ed., *Prentice Hall*, New Jersey, 120–125 (1999).
85. Incropera, F., P. DeWitt, D., L. Bergman, T., and S. Lavine, A., 'Fundamentals of Heat and Mass Transfer', (2007).
86. Suresh, S., Venkataraj, K. P., Selvakumar, P., and Chandrasekar, M., 'Effect of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer', *Experimental Thermal And Fluid Science*, 38: 54–60 (2012).
87. Adapa, P. K. and Schoenau, G. J., 'Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis', *International Journal Of Energy Research*, 29 (11): 961–972 (2005).
88. Moreau, R. J., 'Magnetohydrodynamics', *Springer Science & Business Media*, (2013).
89. Azari, A., Kalbasi, M., and Rahimi, M., 'CFD and experimental investigation on the heat transfer characteristics of alumina nanofluids under the laminar flow regime', *Brazilian Journal Of Chemical Engineering*, 31 (2): 469–481 (2014).
90. Peng, W., Minli, B., Jizu, L., Liang, Z., Wenzheng, C., and Guojie, L., 'Comparison of multidimensional simulation models for nanofluids flow characteristics', *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*, 63 (1): 62–83 (2013).

91. Layton, W., Tran, H., and Trenchea, C., ‘Numerical analysis of two partitioned methods for uncoupling evolutionary MHD flows’, *Numerical Methods For Partial Differential Equations*, 30 (4): 1083–1102 (2014).
92. Dibaei Bonab, M. H., Shafii, M. B., and Nobakhti, M. H., ‘Experimental and numerical investigation of fully developed forced convection of water-based Fe₃O₄ nanofluid passing through a tube in the presence of an alternating magnetic field’, *Advances In Mechanical Engineering*, 7 (2): 1–9 (2015).
93. Saghir, M. Z., Ahadi, A., Yousefi, T., and Farahbakhsh, B., ‘Two-phase and single phase models of flow of nanofluid in a square cavity: Comparison with experimental results’, *International Journal Of Thermal Sciences*, 100: 372–380 (2016).
94. Bianco, V., Manca, O., and Nardini, S., ‘Numerical investigation on nanofluids turbulent convection heat transfer inside a circular tube’, *International Journal Of Thermal Sciences*, 50 (3): 341–349 (2011).
95. Nguyen, Q., Sedeh, S. N., Toghraie, D., Kalbasi, R., and Karimipour, A., ‘Numerical simulation of the ferro-nanofluid flow in a porous ribbed microchannel heat sink: investigation of the first and second laws of thermodynamics with single-phase and two-phase approaches’, *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, 42 (9): 1–14 (2020).
96. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., and Lavine, A. S., ‘Fundamentals of Heat and Mass Transfer(6th Edition)’, WILEY, (2007).
97. Kouloulias, K., Sergis, A., and Hardalupas, Y., ‘Sedimentation in nanofluids during a natural convection experiment’, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 101: 1193–1203 (2016).
98. Fuentes-García, J. A., Diaz-Cano, A. I., Guillen-Cervantes, A., and Santoyo-Salazar, J., ‘Magnetic domain interactions of Fe₃O₄ nanoparticles embedded in a SiO₂ matrix’, *Scientific Reports*, 8 (1): 1–10 (2018).
99. Marimón-Bolívar, W. and González, E. E., ‘Study of agglomeration and magnetic sedimentation of Glutathione@Fe₃O₄ nanoparticles in water medium’, *Dyna*, 85 (205): 19–26 (2018).
100. Ilyas, S. U., Pendyala, R., and Marneni, N., ‘Stability and agglomeration of alumina nanoparticles in ethanol-water mixtures’, *Procedia Engineering*, 148: 290–297 (2016).
101. Sheikholeslami, M., ‘CuO-water nanofluid flow due to magnetic field inside a porous media considering Brownian motion’, *Journal Of Molecular Liquids*, 249: 921–929 (2018).

102. Esmaeili, E., Ghazanfar Chaydareh, R., and Rounaghi, S. A., 'The influence of the alternating magnetic field on the convective heat transfer properties of Fe₃O₄-containing nanofluids through the Neel and Brownian mechanisms', *Applied Thermal Engineering*, 110: 1212–1219 (2017).
103. Colburn, A. P., 'A method of correlating forced convection heat transfer data and a comparison with fluid friction', *Trans Am Inst Chem Engrs*, 29: 174–210 (1933).
104. Dittus, F. W., 'Heat transfer in automobile radiators of the tubler type', *Univ. Calif. Pubs. Eng.*, 2: 443–461 (1930).
105. Colburn, A. P., 'A method of correlating forced convection heat-transfer data and a comparison with fluid friction', *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 7 (12): 1359–1384 (1964).

EK AÇIKLAMALAR A.
KULLANILAN NANOAKIŞKANIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Nanografi firması tarafından temin edilen Fe₃O₄/su nanoakışkanın analizleri aşağıda verilmiştir.

Find more information at nanografi.com



Contact us at sales@nanografi.com

NANOGRAFI NANOTECHNOLOGY

TECHNICAL DATA SHEET

PRODUCT INFORMATION

Product Group	Nanopowder, Dispersion
Trade Name	Iron (II,III) Oxide
Product Number	NG09DNP01044
CAS Number (Fe ₃ O ₄)	1317-61-9

PRODUCT PROPERTIES

Iron (II,III) Oxide	Value	Units
Average Diameter	20	nm
Purity	99.5+	%
BET	81.98	m ² /g
pH	7-8	
Morphology	Spherical	
Color	Dark Brown (Black)	
Density	5172	kg/m ³
Specific Heat Capacity	663	J/(kg.K)
Thermal Conductivity	9.6	W/(m.K)
Viscosity	1.35	

Element Analysis

Fe ₃ O ₄	Cr	Co	Na	Mn	Ni	Mg	Al
99.5+%	2 ppm	35 ppm	55 ppm	39 ppm	16 ppm	2 ppm	4.78 ppm

PRODUCT DETAILS

Application Areas

- Electromagnetic-wave absorption
- Electromagnetorheological fluids
- Magnetic cell separation
- High-density magnetic recording
- Magnetic coatings
- Magneto-optical devices
- Semiconductors
- Toners for copies and laser printers
- Microwave devices
- Removal of actinides from waste water

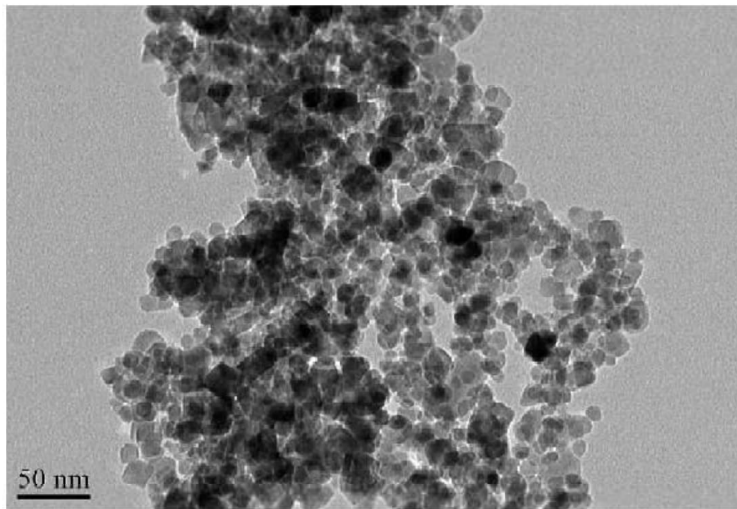
DISCLAIMER Users of this product should review the information in specific context of the planned use. To the maximum extent permitted by law, Nanografi Nanotechnology will not be responsible for damages of any nature resulting from the use or reliance upon the information contained in this data sheet. No express or implied warranties are given other than those implied mandatory by law.



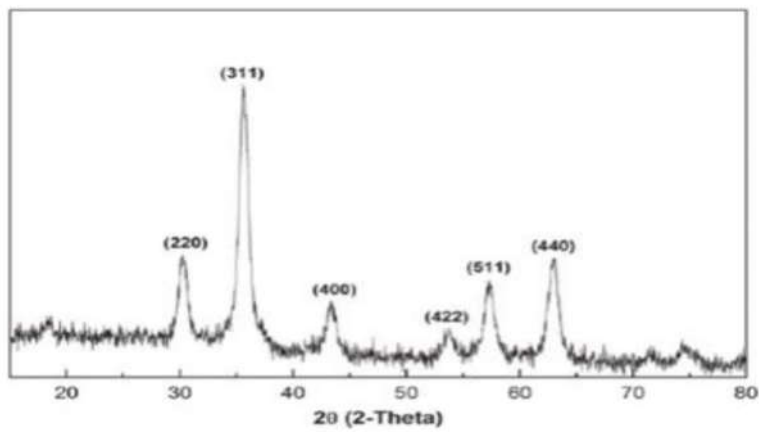
NANOGRAFI NANOTECHNOLOGY

- Magnetic resonance imaging contrast enhancement
- Magnetic detectors
- Color imaging

SEM Image of Product



XRD Analysis of Product



DISCLAIMER Users of this product should review the information in specific context of the planned use. To the maximum extent permitted by law, Nanografi Nanotechnology will not be responsible for damages of any nature resulting from the use or reliance upon the information contained in this data sheet. No express or implied warranties are given other than those implies mandatory by law.

EK AÇIKLAMALAR B.

BELİRSİZLİK ANALİZİ

Malzeme	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Parametresi	Toplam Belirsizlik	Ölçülen Değer		Belirsizlik Oranı, %	
				Min.	Mak.	U _{min}	U _{max}
1. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Giriş Sıcaklığı (T _{in})	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2\right)\right)^2} = 0,178$	(T _x /°C) 16,70	(T _x /°C) 19,21	(U _x /T _x) %0,076	(U _x /T _x) %0,925
2. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 1 (T _{w1})	0,230	17,97	39,59	%0,079	%0,580
3. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 2 (T _{w2})	0,278	17,94	43,85	%0,217	%0,634
4. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 3 (T _{w3})	0,359	18,25	50,91	%0,248	%0,704
5. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 4 (T _{w4})	0,388	18,28	53,54	%0,327	%0,725
6. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 5 (T _{w5})	0,415	19,01	58,05	%0,246	%0,714
7. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Çıkış Sıc. 1 (T _{out1})	0,113	16,97	27,41	%0,128	%0,412
8. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Çıkış Sıc. 2 (T _{out2})	0,155	17,13	30,76	%0,132	%0,503
9. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Çıkış Sıc. 3 (T _{out3})	0,092	16,67	25,25	%0,135	%0,363
		Yığın Sıcaklık	$T_b = \frac{T_{in} + \frac{1}{N} \sum T_{out,i}}{2} = \frac{T_{in} + (T_{out1} + T_{out2} + T_{out3})/3}{2}$ $U = \sum U_i = U_{in} + U_{out1} + U_{out2} + U_{out3}$	16,88	23,51	%0,47	%2,2
		Duvar Sıcaklığı	$T_w = \frac{1}{N} \sum T_{w,i} = \frac{T_{w1} + T_{w2} + T_{w3} + T_{w4} + T_{w5}}{5}$ $U = \sum U_{w,i} = U_{w1} + U_{w2} + U_{w3} + U_{w4} + U_{w5}$	18,29	49,19	%1,12	%3,36
HT201 Gaussmetre	0-2000 mT	Manyetik Alan	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2\right)\right)^2}$	(B/T) 0,295	(B/T) 0,305	(U/B) %1,7	
Gentek GT-MD-B08 GNT 604	0,055-0,45 m/s	Hız	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2\right)\right)^2}$	(V/m/s) 0,065	(V/m/s) 0,137	(U/V) %1	

GENTEK PT124B-210	0-1000 Pa	Basınç Farkı	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2\right)\right)^2}$	(ΔP/Pa) 12	(ΔP/Pa) 123	(U/ΔP) %0,5
		Reynolds Sayısı	$\frac{U_{Re}}{Re} = \left[\left(\frac{\partial Re}{\partial \rho} \cdot \frac{U_{\rho}}{Re}\right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial V} \cdot \frac{U_V}{Re}\right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial D_H} \cdot \frac{U_{D_H}}{Re}\right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial \mu} \cdot \frac{U_{\mu}}{Re}\right)^2 \right]^{0.5}$	980	2124	%1,2
Malzeme	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Parametresi	Toplam Belirsizlik	Ölçülen Değer		Belirsizlik Oranı, %
		Taşıyıcıyla Isı Transferi Katsayısı	$\frac{U_h}{h} = \left[\left(\frac{\partial h}{\partial Q} \cdot \frac{U_Q}{h}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial A_s} \cdot \frac{U_{A_s}}{h}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_w} \cdot \frac{U_{T_w}}{h}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_b} \cdot \frac{U_{T_b}}{h}\right)^2 \right]^{0.5}$	(h/W/m ² °C) 319	(h/W/m ² °C) 383	(U/h) %6,56
		Nusselt Sayısı	$\frac{U_h}{Nu} = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial h} \cdot \frac{U_h}{Nu}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial D_H} \cdot \frac{U_{D_H}}{Nu}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial k} \cdot \frac{U_k}{Nu}\right)^2 \right]^{0.5}$	8,5	10,2	%6,56
		Sistemin Toplam Belirsizliği	$U_{total} = \sqrt{\sum [U_i^2]} = \sqrt{U_{Re}^2 + U_{Nu}^2}$			%6,67

EK AÇIKLAMALAR C.

NUSSELT SAYISI İÇİN BULUNAN KORELASYONLAR

$$Nu = C_1 \cdot Re^{n_1}$$

Laminer akış şartlar altında

Nanoakışkan		Su		%1,0 Fe ₃ O ₄ /su		%2,0 Fe ₃ O ₄ /su		%5,0 Fe ₃ O ₄ /su	
Manyetik Alan Tipi		C1	n1	C1	n1	C1	n1	C1	n1
	B=0 T	3,29072	0,14211	4,66223	0,09805	4,11697	0,11781	3,3846	0,11451
	B=0,3 T	-	-	3,59583	0,14112	2,50517	0,19655	4,30417	0,09782

$$Nu = C_1 \cdot Re^{n_1}$$

Türbülanslı akış şartları altında

Nanoakışkan		Su		%1,0 Fe ₃ O ₄ /su		%2,0 Fe ₃ O ₄ /su		%5,0 Fe ₃ O ₄ /su	
Manyetik Alan Tipi		C1	n1	C1	n1	C1	n1	C1	n1
	B=0 T	0,06448	0,77823	0,06545	0,79544	0,10978	0,73591	0,07610	0,75102
	B=0,3 T	-	-	0,06358	0,80025	0,07612	0,77563	0,09056	0,75097

EK AÇIKLAMALAR D.
DARCY SÜRTÜNME FAKTÖRÜ İÇİN BULUNAN
KORELASYONLAR

$$f = C_2 \cdot Re^{n_2}$$

Laminer akış şartlar altında

Nanoakışkan		Su		%1,0 Fe ₃ O ₄ /su		%2,0 Fe ₃ O ₄ /su		%5,0 Fe ₃ O ₄ /su	
Manyetik Alan Tipi		C2	n2	C2	n2	C2	n2	C2	n2
	B=0 T	43,0015	-0,94861	141,62	-1,09064	586,267	-1,26	54,3245	-0,9522
	B=0,3 T	-	-	984,916	-1,33238	3825,38	-1,49	68,3709	-0,9634

$$f = C_2 \cdot Re^{n_2}$$

Türbülanslı akış şartları altında

Nanoakışkan		Su		%1,0 Fe ₃ O ₄ /su		%2,0 Fe ₃ O ₄ /su		%5,0 Fe ₃ O ₄ /su	
Manyetik Alan Tipi		C2	n2	C2	n2	C2	n2	C2	n2
	B=0 T	0,143625	-0,166132	0,663995	-0,297468	4,16461	-0,467308	0,404273	-0,244314
	B=0,3 T	-	-	3,07868	-0,433572	16,8718	-0,590371	0,529082	-0,256503

ÖZGEÇMİŞ

Edip TAŞKESEN Bingöl'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Lise öğrenimini ise Elazığ Balakgazi Lisesi'nden 2000 yılında mezun olarak tamamladı. 2001 yılında Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2005 yılında mezun oldu. 2011 yılında ise Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölüm'ünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2015 yılında başlamış olduğu doktora programına devam etmektedir.