



**SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDAKİ
FERRONANOAKIŞKAN AKIŞININ ÇİFT FAZ
ÇÖZÜM YÖNTEMİ KULLANILARAK ISI
TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ**

Meltem KARADAŞ

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kamil ARSLAN**

**SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDAKİ FERRONANOAKIŞKAN
AKIŞININ ÇİFT FAZ ÇÖZÜM YÖNTEMİ KULLANILARAK ISI
TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Meltem KARADAŞ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kamil ARSLAN**

**KARABÜK
Eylül 2020**

Meltem KARADAŞ tarafından hazırlanan “SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDAKİ FERRONANOAKIŞKAN AKIŞININ ÇİFT FAZ ÇÖZÜM YÖNTEMİ KULLANILARAK ISI TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kamil ARSLAN
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Engin GEDİK
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/09/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin KURT (NEÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans 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.”

Meltem KARADAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDAKİ FERRONANOAKIŞKAN AKIŞININ ÇİFT FAZ ÇÖZÜM YÖNTEMİ KULLANILARAK ISI TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Meltem KARADAŞ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kamil ARSLAN

Doç. Dr. Engin GEDİK

Eylül 2020, 113 sayfa

Yapılan bu tez çalışmasında, yüzeyine manyetik alan uygulanmış dairesel kesitli kanal içerisinde akmakta olan Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmalarda baz akışkan olarak saf su kullanılırken, nanoparçacık olarak farklı hacimsel konsantrasyonlardaki (%1,0; %2,0 ve %5,0) Fe_3O_4 nanoparçacığı kullanılmıştır. Problemlerle ilgili olan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini çözmek için sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümleme yapan Ansys Fluent 19.0 paket programı kullanılmıştır. Sayısal çözümler tek faz ve çift faz çözüm yöntemleri ile yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma laminar akış koşulları altında ($1000 < Re < 2000$) gerçekleştirilmiştir. Kanal yüzeyine sabit ısı akısı (6366 W/m^2) uygulanmıştır. Ayrıca kanal yüzeyine 0,1 T; 0,2 T ve 0,3 T değerlerinde sabit manyetik alan uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızının; Re sayısı, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu ve sabit manyetik alan uygulaması ile arttığı gözlemlenmiştir. Çift faz çözüm yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalarda; $Re=2000$ değerinde çalışma akışkanı olarak %5,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan kullanımının saf su kullanılması durumuna göre ısı transferi hızında %16,32 artış meydana gelirken, 0,3 T manyetik alan uygulanan durumda ise %23,11 artış meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, MHD, ferronanoakışkan, laminar akış, ısı transferi.

Bilim Kodu : 91411

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF FERRONANOFUID FLOW UNDER THE CONSTANT MAGNETIC FIELD EFFECT USING TWO PHASE SOLUTION METHOD

Meltem KARADAŞ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Kamil ARSLAN

Doç. Dr. Engin GEDİK

September 2020, 113 pages

In this thesis study, the flow and heat transfer characteristics of Fe₃O₄-water ferronanofluid flowing in a circular cross-section channel, on which magnetic field is applied, was numerically investigated. While pure water was used as the base fluid in numerical studies, Fe₃O₄ nanoparticles of different volumetric concentrations (%1,0; %2,0 and %5,0) were used as the nanoparticle. Ansys Fluent 19.0 package program, which performs analysis based on finite volume technique, was used to solve the continuity, momentum and energy equations related to the problem. Numerical analysis has been done with single phase and two phase solution methods and the results are compared. The study was carried out under laminar flow conditions ($1000 < Re < 2000$). Constant heat flux (6366 W/m^2) was applied to the duct surface.

Also, constant magnetic field of (0,1 T; 0,2 T and 0,3 T) is applied to the channel surface. According to the results obtained, the rate of heat transfer realized by convection; It was observed that Re number increased with nanoparticle volumetric concentration and constant magnetic field application. In numerical studies using the two phase solution method; In the case of using Fe_3O_4 -water ferronano fluid with 5,0% nanoparticle volumetric concentration as the working fluid at $Re = 2000$, the heat transfer rate increases by 16,32% when pure water is used, and 23,11% in the case of 0,3 T magnetic field. It has been observed to occur.

Key Word : Computational fluid dynamics, MHD, ferronano fluid, laminar flow, heat transfer.

Science Code : 91411

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocalarım Prof. Dr. Kamil ARSLAN, Doç. Dr. Engin GEDİK ve Arő. Gör. Mutlu TEKİR'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen, en büyük desteğilerim annem Meral YİğİT ve babam Fikret YİğİT'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Son olarak, bu yüksek lisans tez alıőması, 217M978 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiőtir. TÜBİTAK'a verdiği destekten dolayı teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. NANOAKIŞKANLAR	4
2.2. MANYETOHİDRODİNAMİK AKIŞ	10
BÖLÜM 3	17
NANOAKIŞKANLAR	17
3.1. NANOAKIŞKAN TÜRLERİ.....	20
3.1.1. Seramik Nanoakışkanlar.....	21
3.1.2. Saf Metalik Nanoakışkanlar	21
3.1.3. Karbon Tabanlı Nanoakışkanlar	21
3.1.4. Alaşım Nanoakışkanlar.....	22
3.2. NANOAKIŞKAN KULLANIM ALANLARI.....	22
3.2.1. Elektronik Sistemlerin Soğutulması	22
3.2.2. Ulaşım.....	23
3.2.3. Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Sistemleri	23

	<u>Sayfa</u>
3.2.4. Nükleer Reaktörlerin Soğutulması	24
3.2.5. Savunma Sanayi	24
3.2.6. Tıbbi Uygulamalar.....	24
3.2.7. Triboloji Uygulamaları	25
3.3. NANOAKIŞKAN VE NANOPARÇACIK ÜRETİM YÖNTEMLERİ	25
3.3.1. Tek Adım Yöntemi	26
3.3.2. İki Adım Yöntemi.....	27
3.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	28
3.4.1. Isıl İletkenlik.....	28
3.4.2. Viskozite	31
3.4.3. Yoğunluk	32
3.4.4. Özgül Isı	32
3.5. NANOAKIŞKAN AKIŞI İÇİN FİZİKSEL MODELLER	33
3.5.1. Tek-Faz Akış Modeli.....	33
3.5.2. Çift-Faz Akış Modeli.....	35
3.5.2.1 VOF (Volume of Fluid) Model.....	36
3.5.2.2 Mixture Model (Karışım Modeli)	37
3.5.2.3. Eulerian Model.....	39
3.6. FERRONANOAKIŞKANLAR.....	41
BÖLÜM 4	44
TAŞINIM İLE ISI TRANSFERİ	44
4.1. TAŞINIM TÜRLERİ	46
4.1.1. Zorlanmış Taşınım.....	46
4.1.2. Doğal Taşınım	47
4.1.3. Karma Taşınım	48
4.2. LAMİNER VE TÜRBÜLANSLI AKIŞ	48
4.3 ISI TRANSFERİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ	51
4.3.1. Aktif Yöntem.....	51
4.3.1.1. Mekanik Karıştırıcılar	52
4.3.1.2. Yüzey Titreşimi	52
4.3.1.3. Akışkan Titreşimi.....	52

	<u>Sayfa</u>
4.3.1.4. Enjeksiyon.....	53
4.3.1.5. Emme	53
4.3.1.6. Elektrik Alan.....	53
4.3.1.7. Manyetik Alan	53
4.3.2. Pasif Yöntem	54
4.3.2.1. Genişletilmiş Yüzeyler.....	54
4.3.2.2. Pürüzlü Yüzeyler	55
4.3.2.3. İşlenmiş Yüzeyler	55
4.3.2.4. Sarmal Borular	55
4.3.2.5. Girdap Akış Cihazları	56
4.3.2.6. Akışkana Parçacık İlavesi	56
4.3.3. Hibrit Yöntem.....	56
BÖLÜM 5	58
MANYETOHİDRODİNAMİK AKIŞ.....	58
5.1. MHD AKIŞ UYGULAMA ALANLARI.....	60
BÖLÜM 6	62
SAYISAL ANALİZ.....	62
6.1. PROBLEM TANIMI.....	62
6.2. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ.....	64
6.3. SONLU HACİMLER YÖNTEMİ	65
6.4. ANSYS FLUENT.....	67
6.4.1. Geometrinin Oluşturulması (Geometry).....	69
6.4.2. Sayısal Ağın Oluşturulması (Mesh)	69
6.4.3. Problem ve Sınır Koşullarının Belirlenmesi (Setup).....	71
6.4.4. Analiz (Sulation)	72
6.5.5. Sonuçlar (Results).....	74
6.5. GENEL DENKLEMLER.....	75
6.5.1. Temel Denklemler	75
6.5.2. Manyetik Alan Denklemleri	76
6.5.3. Nanoakışkanın Termofiziksel Özellik Denklemleri	77

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	81
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	81
7.1. SAYISAL MODELİN DOĞRULANMASI	81
7.2. ÇALIŞMA AKIŞKANI OLARAK FERRONANOAKIŞKAN KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI	82
7.3. SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA ÇALIŞMA AKIŞKANI OLARAK FERRONANOAKIŞKAN KULLANILARAK YAPILAN SAYISAL ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI	85
BÖLÜM 8	100
SONUÇ VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR	102
EK AÇIKLAMALAR A.	111
FLUENT KODUNDA MHD MODEL.....	111
ÖZGEÇMİŞ	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. (a) Deney düzeneğinin şematik görüntüsü, (b) su ve ferroakışkan için tüpün boyutsuz uzunluğuna karşı taşınım ile ısı transfer katsayısı grafiği ..	11
Şekil 3.1. Isı transfer akışkanlarının, seramik, metal ve karbon gibi katı parçacıkların ısı iletkenlikleri	18
Şekil 3.2. Tipik bir nanoparçacık olarak karbon nanotüplerin boyutlarının karşılaştırılması	19
Şekil 3.3. Nanoakışkan hazırlamada tek adım yönteminin şekilsel gösterimi	26
Şekil 3.4. Nanoakışkan hazırlamada iki adım yönteminin şekilsel gösterimi	27
Şekil 3.5. Nanoakışkan akış modelleri	33
Şekil 3.6. Eulerian-Lagrange ve Eulerian-Eulerian yaklaşımları; mavi ok sıvı yolunu, kırmızı ok parçacık yolunu gösterir.	35
Şekil 4.1. Isı taşınım türlerinin sınıflandırılması.....	44
Şekil 4.2. Isı taşınım türleri	46
Şekil 4.3. Laminer ve türbülanslı akışlarda akım çizgileri ve hız-zaman grafikleri ..	49
Şekil 4.4. Düz bir levha üzerinde laminer ve türbülanslı akışın hız sınır tabaka gelişimi.....	49
Şekil 4.5. Pasif ısı transferi artırma yöntemlerinden olan bazı kanatçık modelleri. .	55
Şekil 4.6. Sarmal tüplü ısı değiştiricinin şematik diyagramı ve kesiti	56
Şekil 5.1. Manyetik alan varlığında hareketli bir iletken sıvıda indüklenen akım.....	60
Şekil 6.1. Ansys fluent akış şeması	68
Şekil 6.2. Ansys Fluent programında geometrinin oluşturulduğu sayfa görüntüsü...	69
Şekil 6.3. Sayısal çalışmada kullanılan ağ yapısının kesit görünümü.	70
Şekil 6.4. Sayısal çalışmada kullanılan ağ yapısının genel görünümü.	70
Şekil 6.5. Setup bölümü için giriş sekmesi.	72
Şekil 6.6. Sayısal analiz çözüm metotlarının oluşturulması.	73
Şekil 6.7. Kalıntı yakınsama kriterleri.	73
Şekil 6.8. MHD modül ve çözüm şartları.	74
Şekil 6.9. Manyetik alana tabi iki paralel plaka arasında sınırlı ferronanoakışkan akışı	76
Şekil 7.1. Sayısal çalışma sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması.	82
Şekil 7.2. Ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi.	83

Şekil 7.3. Ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi.	84
Şekil 7.4. Ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re sayısına bağlı olarak değişimi.	85
Şekil 7.5. %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için ortalama Nu sayısının Re sayısı ve manyetik alan şiddeti ile değişimi.	86
Şekil 7.6. %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için ortalama Nu sayısının Re sayısı ve manyetik alan şiddeti ile değişimi.	87
Şekil 7.7. %5,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için ortalama Nu sayısının Re sayısı ve manyetik alan şiddeti ile değişimi.	88
Şekil 7.8. %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için Ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re sayısına bağlı olarak değişimi.....	89
Şekil 7.9. Boru uzunluğu boyunca %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında farklı manyetik alan etkisi altında yerel Nu sayısının değişimi.	90
Şekil 7.10. Boru uzunluğu boyunca %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında farklı manyetik alan etkisi altında yerel Nu sayısının değişimi.....	91
Şekil 7.11. Boru uzunluğu boyunca %5,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında farklı manyetik alan etkisi altında yerel Nu sayısının değişimi.....	91
Şekil 7.12. $Re=2000$ değerindeki saf suyun hız vektörü.....	92
Şekil 7.13. Tek faz çözümü ile elde edilen $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının hız vektörü.....	92
Şekil 7.14. Çift faz çözümü ile elde edilen $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının hız vektörü.....	93
Şekil 7.15. $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının 0,1 T sabit manyetik alan etkisinin hız vektörü.	94
Şekil 7.16. $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının 0,2 T sabit manyetik alan etkisinin hız vektörü.	94
Şekil 7.17. $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının 0,3 T sabit manyetik alan etkisinin hız vektörü.	95
Şekil 7.18. %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).....	96
Şekil 7.19. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).	96
Şekil 7.20. 0,2 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).	97
Şekil 7.21. 0,3 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).	97

Şekil 7.22. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe ₃ O ₄ -su ferronanoakışkan akışında, boru boyunun x=1,25 kesitinde meydana gelen manyetik alan çizgileri ($Re=2000$).....	98
Şekil 7.23. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %2,0 Fe ₃ O ₄ -su ferronanoakışkan akışında, boru boyunun x=1,25 kesitinde meydana gelen manyetik alan çizgileri ($Re=2000$).....	98
Şekil 7.24. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %5,0 Fe ₃ O ₄ -su ferronanoakışkan akışında, boru boyunun x=1,25 kesitinde meydana gelen manyetik alan çizgileri ($Re=2000$).....	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanıldığı çalışmalara ilişkin literatür özeti.	8
Çizelge 3.1. Nanoakışkan imalinde kullanılan bazı katı nanoparçacıkların ve bazı akışkanların ısı iletkenlikleri.	29
Çizelge 6.1. Su ve Fe ₃ O ₄ nanoparçacığına ait termofiziksel özellikler.	63
Çizelge 6.2. Fe ₃ O ₄ -su nanoakışkanına ait termofiziksel özellikler.	63
Çizelge 6.3. Farklı ağ yapıları oluşturularak ağ yapısının belirlenmesi.	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A_s : Yüzey alanı (m^2)

A : Alan (m^2)

Al_2O_3 : Alüminyumoksit

B : Manyetik alan (T)

B_o : Dışarıdan uygulanan manyetik alan indüksiyonu ($T.m^2$)

Cu : Bakır

CuO : Bakıroksit

c_p : Özgül ısı (J/kgK)

D : Çap (m)

D_h : Hidrolik çap (m)

E : Toplam enerji (J)

E_0 : Elektrik alan şiddeti (V/m)

f : Darcy sürtünme faktörü (-)

Fe_3O_4 : Demiroksit

GO : Grafenoksit

h : Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)

Ha : Hartmann sayısı (-)

J : Elektrik akım yoğunluğu (A/mm^2)

k : Isı iletim katsayısı (W/mK)

L : Uzunluk (m)

L : Kanal uzunluğu (m)

m : Kütle (kg)

\dot{m} : Kütleli debi (kg/s)

Nu : Nusselt sayısı

Pr : Prandtl sayısı

Q : Isı transfer hızı (W)

- q : Isı akısı (W/m^2)
 R : Yarıçap (m)
 Re : Reynolds sayısı
 S_Φ : Her bir kontrol hacmi için Φ 'nin kaynağı (-)
 T_b : Ortalama akışkan sıcaklığı (K)
 T_i : Akışkanın kanala giriş sıcaklığı (K)
 T_o : Akışkanın kanaldan çıkış sıcaklığı (K)
 T_w : Kanal duvar sıcaklığı (K)
 V : Hız (m/s)
 ZnO : Çinkooksit
 σ : Elektriksel iletkenlik (S)
 δ : Sınır tabaka kalınlığı (m)
 ρ : Yoğunluk (kg/m^3)
 μ : Dinamik viskozite (Pa.s)
 φ : Akışkan içerisindeki nanoparçacık oranı (%)
 ΔP : Basınç kaybı (Pa)

KISALTMALAR

- MHD : Magnetohydrodynamics (Manyetohidrodinamik)
EHD : Elektrohydrodynamic (Elektrohidrodinamik)
CFD : Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
HAD : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
SHY : Sonlu Hacimler Yöntemi
MNF : Magnetic Nanofluid (Manyetik Nanoakışkan)
MF : Magnetic Field (Manyetik Alan)
CHF : Critical Heat Flux (Kritik Isı Akısı)
DPM : Discrete Phase Model (Ayrık Faz Modeli)
CNT : Carbon Nano Tube (Karbon Nano Tüp)
SWCNT : Single Walled Carbon Nanotube (Tek Katmanlı Karbon Nanotüp)
DWCNT : Double Walled Carbon Nanotube (Çift Katmanlı Karbon Nanotüp)
MWCNT : Multi Walled Carbon Nanotube (Çok Katmanlı Karbon Nanotüp)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, insanların yaşamında büyük öneme sahip bir etmendir. Gün geçtikçe artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte oluşan enerji açığı için alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde fosil yakıtlardan dolayı meydana gelen sera gazının, iklim değişikliği ve küresel ısınmaya neden olması aynı zamanda tartışma konusu olan nükleer enerji maliyetinin fazla olması durumu, öz kaynaklarımızın daha dikkatli bir şekilde kullanmamız gerektiğini göstermektedir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak meydana gelen gereksinimler, enerji üretimiyle alakalı araştırmaların artmasına ve enerji kaynaklarının tasarruflu kullanılmasına neden olmaktadır [1].

Enerji tasarrufuna yönelik çalışmalardan en önemlilerinden birisi de; ısı enerjisinin bir ortamdan başka bir ortama aktarılmasında, en az güç harcanarak, en verimli şekilde taşınması işlemidir. Enerji tasarrufu ve ısı transferi uygulamalarında ısı değiştiriciler dönüşüm ve geri kazanım alanında önemli bir rol oynamaktadır.

Taşınım ile ısı transferi temel olarak zorlanmış, doğal ve karma taşınım olmak üzere üç katagoriye ayrılır. Son yıllarda, doğal taşınım ile ısı transferi ve kapalı alanlardaki sıvı akışı kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Güneş kolektörleri, fırınlar, minyatür elektronik bileşenler, termal depolama sistemleri ve elektronik bileşenlerin soğutulması gibi kapalı alanlarda doğal taşınım için çeşitli uygulama alanları seçilebilir. Bunun yanında zorlanmış taşınım ile ısı geçişinin etken olduğu mühendislik uygulamaları da bulunmaktadır. Bu uygulamaların başında ısı değiştiricileri gelmektedir. Öte yandan, su ve yağ gibi geleneksel ısı transfer akışkanlarının düşük ısı iletkenliği, bu tür sistemlerin performansının önündeki çok büyük bir engeldir. Nano ölçekli katı parçacıkların nanoakışkan üretmek üzere bir baz akışkanda çözünük oluşturulması, akışkanın termofiziksel özelliklerini ve dolayısıyla

toplam ısı transfer hızını yükseltmenin yenilikçi bir yoludur [2]. Son zamanlarda araştırmacılar, geleneksel akışkanlara (su etilen glikol, vb.) alternatif olacak bir akışkan olan üstün özellik sergileyen nanoakışkanları, ısı transferi iyileştirme çalışmalarında kullanmaya başlamışlardır. Nanoakışkanlar; geleneksel akışkanlara kıyasla (su, etilen glikol, yağ vb.) iletkenliği yüksek olan ve boyutları 100 nm'den daha küçük metallerin, metal oksitlerin, karbürlerin, nitridlerin, karbon nanotüplerinin sürekli bir ortamda dağılan su, etilen glikol, soğutucular ve motor yağı vb. süspansiyonu şeklinde oluşturulmaktadır [3].

Isı transferini arttırmaya yönelik diğer tekniklerle karşılaştırıldığında, nanoakışkanlar, geleneksel ısı transfer sıvılarının ikamesi olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin, baz akışkanlarına kıyasla daha yüksek olduğu birçok araştırmada yer almaktadır. Nanoakışkanların bozunma problemlerinin olması ve deney düzeneği oluşturma maliyetlerinin yüksek olması, nanoakışkanların ısı transferi üzerine etkilerini araştırma konusunda sayısal modelleme ihtiyacı doğurmuştur. Bu nedenle deneysel çalışmalar kadar sayısal çalışmalar da önemli hale gelmiştir.

Nanoakışkanların ısı transfer özellikleri; nanoparçacıkların boyutuna, hacimsel konsantrasyonuna, şekline, termofiziksel özelliklerine ve ayrıca baz akışkan özelliklerine bağlıdır. Genel olarak, nanoakışkanların hız alanının, sıcaklık dağılımının ve ısı transfer hızının sayısal simülasyonu, tek fazlı ve iki fazlı yöntemler olmak üzere iki ana yaklaşım kullanılarak gerçeleştirilmektedir [4]. Son zamanlarda araştırmacılar tarafından çift fazlı model tercih edilmektedir [5-6]. Bunun nedeni ise deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha doğru sonuçların elde edilmesidir.

Aktif ısı transferi artırma yöntemlerinden olan ve dışarıdan bir manyetik alan uygulanarak oluşturulan akış biçimi MHD (manyetohidrodinamik) akış olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem, elektriksel iletkenliği olan akışkanlar için geniş uygulama alanına sahiptir ve nanoakışkan uygulamaları gibi enerji verimliliğinin artırılmasına yardımcı olan yeni bir uygulama alanıdır. MHD, endüstriyel alanda ve mühendislik çalışmalarında sayısız uygulama alanlarından dolayı dikkat çekmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, yüzeyine manyetik alan uygulanmış dairesel kesitli bir kanal içerisindeki su bazlı Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının akış ve ısı transfer karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesidir. Sayısal çözümler çift fazlı çözüm yöntemlerinden biri olan mixture (karışım) modeli kullanılarak Ansys Fluent 19.0 ticari kodlu programda gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında ısıtma ve soğutma uygulamalarında en önemli parameter olan taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızının çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı ve kanal yüzeyinden harici olarak uygulanan manyetik alan etkisiyle değişimi irdelenmiştir. Bu konu kapsamında çalışılan teknikler için ayrı ayrı literatürde birçok çalışma bulunmasına rağmen iki tekniğin aynı anda kullanıldığı çalışma sayısı sınırlıdır. Bu bölüm kapsamında, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı ve kanal yüzeyine uygulanan manyetik alanın akış ve ısı transferine etkileri için yapılmış olan çalışmalar ayrı olarak değerlendirilmiş olup, bölüm sonunda her iki etkinin de birlikte kullanıldığı çalışmalar hakkındaki literatürde yer alan çalışmalar sunulmuştur. Bunun yanında, gerçekleştirilen tez çalışmasının literatür kapsamında yapılan çalışmalardan farklılıkları ve özgün değeri vurgulanmıştır.

2.1. NANOAKIŞKANLAR

Nanoakışkanlarla ısı transferi ile alakalı literatürde yapılan çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Gelişen teknoloji ile farklı tür ve konfigürasyonlarda nanoparçacıklar, geleneksel akışkanlarla (su, etilen glikol, yağ vb.) karıştırılarak oluşturulan üstün özellikli nanoakışkan türleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, gün geçtikçe artan enerji tüketimiyle birlikte enerjinin verimli kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Nanoakışkan kullanımının enerji verimliliğinde büyük öneme sahip olması nanoakışkanlara olan ilginin artmasına sebep olmuştur. Burada, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmalara değinilecektir.

Nanoakışkan kavramı ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içindeki süspansiyonu olarak tanımlanmıştır. Choi tarafından

düşük konsantrasyon oranlarında bile nanoakışkanların ısı iletim katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır [7].

Chein ve Huang, Cu-su nanoakışkanı kullanarak mikro kanallı soğutucunun performansını incelemiştir. Elde ettiği sonuçlarda, nanoakışkan kullanımının, soğutucunun performansını büyük ölçüde geliştirdiğini göstermişlerdir [8].

Bianco vd., çalışmalarında, duvardaki sabit ve homojen bir ısı akısına maruz kalan dairesel kesitli bir kanal içerisindeki Al_2O_3 -su nanoakışkanının türbülanslı zorlanmış taşınım akışını sayısal olarak analiz etmişlerdir. Nanoparçacık çapı 38 nm'ye eşit olan tek ve iki fazlı modeller kullanarak çözümlmelerini yapmışlardır. Nanoakışkanlar için taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısının, baz akışkanınkinden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Isı transfer artışının, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu ve Reynolds sayısı ile arttığını gözlemlemişlerdir [9].

Liu vd., yaptıkları çalışmada, kimyasal (indirgeme yöntemi) kullanılarak bakır (Cu) varlığında suyun termal iletkenliğinin artırılmasını incelemiştir. Cu-su nanoakışkanının hacimsel konsantrasyonu %0,2'nin altında kullanmışlardır. Sonuçlarında, düşük konsantrasyonlu nanoparçacık içeren Cu-su nanoakışkanlarının, baz akışkandan belirgin derecede daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu göstermişlerdir. %0,1 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonundaki Cu-su nanoakışkanı kullanıldığında termal iletkenliğin %23,8'e kadar arttığını gözlemlemişlerdir [10].

Ziyadanoğulları ve Yücel % 0,2; % 0,4 ve % 0,8 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarda Al_2O_3 -su nanoakışkanı hazırlayarak ısı iletkenlik ve viskozite değerlerini ölçmüşlerdir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda nanoparçacık hacimsel konsantrasyonun artmasıyla ısı iletkenlik ve viskozite değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir [11].

Mağa vd., yüzeyine sabit ısı akısı tatbik edilmiş dairesel kesitli bir kanal içerisinden akan nanoakışkan akışının hidrodinamik ve termal davranışlarını sayısal olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak, nanoparçacıkların dahil edilmesinin, baz sıvınıninkine

göre ısı transferinde önemli bir artış gerçekleştirdiğini açıkça göstermiştir. Bununla birlikte, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun artırılması ile taşınımın gerçekleşen ısı transferindeki artışın daha belirgin olduğu gözlenmiştir [12].

Karabulut vd., yapmış oldukları çalışmada %0,01 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonundaki grafen oksit (GO)-su nanoakışkanının, iç çapları sırasıyla 12 mm ve 16 mm, uzunluğu 1830 mm olan dairesel kesitli kanallar içerisindeki akışını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Kanal yüzeyine sabit ısı akısı uygulanmıştır. Sayısal çözüm için hesaplamalar Ansys-Fluent ticari kodu ile tek faz modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan sayısal ve deneysel analizler sonucunda, nanoakışkanın hacimsel debisinde ve ısı akısında meydana gelen artışla h ve Nu sayısı değerlerinin de arttığını gözlemlemiştir. En yüksek artış 16 mm iç çapına sahip boruda gözlenmiştir. GO-su nanoakışkanı kullanılan 16 mm iç çapına sahip boruda meydana gelen ortalama ısı taşınım katsayısı, $Re=1981$ değerinde ve 350 W/lık ısı akısı uygulanmasıyla %34,88'lik artış olduğu saptanmıştır [13].

Hanafizadeh vd., yapmış oldukları çalışmada sabit ısı akısı altındaki bir borunun hem gelişmekte olan hem de tamamen gelişmiş bölgelerinde Fe_3O_4 -su nanoakışkanının ısı transferini simüle etmede, tek ve çift fazlı modelleri karşılaştırmışlardır. Tek ve çift fazlı modelleri doğrulamak için deney düzeneği tasarlamışlardır. Deneyler, %0,5-2 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarda $D=0,0098$ m, $L=2,375$ m olan yatay boruda $300 < Re < 1200$ sayıları aralığında gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkan akışının simülasyonu için sayısal analizde üç farklı çift faz modelini kullanmışlardır. Ayrıca, simülasyon sonuçları ile nanoakışkan akışı için, Reynolds sayısı ve nanoparçacık hacimsel konsantrasyonun artmasıyla taşınımın gerçekleşen ısı transfer katsayısının arttırdığını göstermişlerdir. Düşük Reynolds sayısı ve gelişmekte olan bölgede, karışım modelinin diğer iki yöntemle göre deneysel verilere daha yakın sonuçlar verdiğini elde etmişlerdir. Ayrıca, karışım modeli için öngörülen taşınımın ısı transfer katsayısı, diğer iki modelden daha yüksek ve deney verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir [14].

Literatürde varolan ve iş akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan çalışmalar detaylı olarak incelenmiş ve derlenmiştir. Bu çalışmalar anlaşılır ve düzenli olması sebebiyle tablolaştırılmış ve Çizelge 2.1 ile sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanıldığı çalışmalara ilişkin literatür özeti.

Yazar	Problem Tanımı	Sonuç
Hwang ve vd. [15]	<ul style="list-style-type: none"> Laminer Akış Al₂O₃ nanoparçacık Baz akışkan su Sabit ısı akısı Φ=%0,01-%0,3 	<ul style="list-style-type: none"> %0,3 Al₂O₃ -su nanoakışkanının baz akışkana göre taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısının %8 oranında artış gösterdiği gözlenmiştir.
Teng ve vd. [16]	<ul style="list-style-type: none"> İç çap D=8 mm, uzunluğu L=600 mm ölçülerinde bakır boru Al₂O₃ nanoparçacık Baz akışkan su Φ=%0,5-%3,0 	<ul style="list-style-type: none"> %1,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonda baz akışkana kıyasla ısı transferi %16,8 oranında arttığı gözlenmiştir. Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan şartlarda taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızı saf suya oranla artış göstermiştir.
Chandrasekar vd., [17]	<ul style="list-style-type: none"> Laminer Akış Al₂O₃ nanoparçacık (43nm) Baz akışkan su 	<ul style="list-style-type: none"> $Re=2275$ Al₂O₃-su nanoakışkanı kullanıldığında tam gelişmiş bölgedeki Nusselt sayısının %12,24 değerinde artış gösterdiği gözlenmiştir.
Chopkar vd., [18]	<ul style="list-style-type: none"> Al₂Cu, Ag₂Al nanoparçacık Baz akışkan etilen glikol, su Φ=%0,2-%1,5 	<ul style="list-style-type: none"> Nanoakışkan kullanımı termal iletkenlikte %50-150 arası gelişme gösterdiği gözlemlenmiştir.
Perarasu vd., [19]	<ul style="list-style-type: none"> TiO₂ nanoparçacık Baz akışkan su Φ=%0,10-%0,30 	<ul style="list-style-type: none"> Nanoakışkan için ısı transfer katsayısının baz akışkana göre daha yüksek olduğu ve ayrıca artan nanoparçacık hacimsel konsantrasyon ile arttığı gözlemlenmiştir. Nanoakışkan kullanılarak taşınım ile gerçekleşen ısı transferindeki artışın maksimum %17,59'a ulaştığı saptanmıştır.
Selvakumar ve Suresh [20]	<ul style="list-style-type: none"> CuO nanoparçacık Baz akışkan su Φ=%0,1-%0,2 Sabit ısı akısı 	<ul style="list-style-type: none"> %0,2 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip CuO-su nanoakışkanı kullanımında ısı iletkenlikte %29,63 oranında bir artış gözlemlenmiştir.
Qu ve Wu [21]	<ul style="list-style-type: none"> SiO₂, Al₂O₃ SiO₂ (Φ=%0-%0,6), Al₂O₃ (Φ=%0-%1,2) Deneyel çalışma 	<ul style="list-style-type: none"> Deneyel çalışmada Al₂O₃-su nanoakışkan kullanımının ısı performansını arttırdığı ve SiO₂-su nanoakışkanı kullanıldığında ise ısı performansının düştüğü gözlemlenmiştir.

Saeed Zeinali Heris [22]	<ul style="list-style-type: none"> • CuO nanoparçacık (40nm) • Baz akışkan etilen glikol (%60)-su (%40) • Deneysel çalışma 	<ul style="list-style-type: none"> • %0,5 oranında nanoparçacık hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan kullanımıyla taşınımınla gerçekleşen ısı transferi baz akışkana kıyasla %55 oranında arttığı gözlemlenmiştir.
Vermahmoudi vd., [23]	<ul style="list-style-type: none"> • Laminer Akış • Deneysel çalışma • Fe₂O₃ (40nm) • Baz akışkan su, polietilen glikol (%0,8) 	<ul style="list-style-type: none"> • Genel ısı transfer katsayısının ve nanoakışkanın ısı transfer hızının, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonun ve Reynolds sayısındaki artışla arttığı gözlemlenmiştir. • %0,65'lik bir nanoparçacık hacimsel konsantrasyonda nanoakışkanın uygulanması, toplam ısı transfer katsayısını baz akışkana göre %13 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.
Suganthi vd., [24]	<ul style="list-style-type: none"> • ZnO (25-40nm) • Baz akışkan etilen glikol, su 	<ul style="list-style-type: none"> • ZnO-EG ve ZnO-su nanoakışkanları, %4 ve %2 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarında ısı iletkenlikte baz akışkana kıyasla %33,4 ve %17,26 oranında artış göstermiştir. • Aynı nanoakışkanlarda viskozite değerinde ise baz akışkana kıyasla %39,24 ve %17,34 oranında azalma gözlemlenmiştir.
Bhanvase ve ark.[25]	<ul style="list-style-type: none"> • Baz akışkan etilen glikol (%40)-su (%60) • TiO₂ nanoparçacık (<100nm) • Φ=%0-%0,5 • D=8 mm (iç çap), L= 750 mm (uzunluk), bakır boru 	<ul style="list-style-type: none"> • %0,5'lik nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlu TiO₂-su/etilen glikol nanoakışkanı kullanıldığında taşınımınla gerçekleşen ısı transfer katsayısında %105'lik bir artış saptanmıştır.
Abbassi vd., [26]	<ul style="list-style-type: none"> • TiO₂ nanoparçacık (10nm) • Baz akışkan su • Deneysel çalışma • Φ=%0,25-%1,5 	<ul style="list-style-type: none"> • Nanoakışkan kullanılan durum için ısı transfer katsayısının saf suya kıyasla daha yüksek olduğu ve artan nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlar ile taşınımınla gerçekleşen ısı transferinin de arttığı gözlemlenmiştir. • Çok düşük nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarda (%0,5'den az) nanoakışkanların taşınımınla gerçekleşen ısı transfer parametreleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

2.2. MANYETOHİDRODİNAMİK AKIŞ

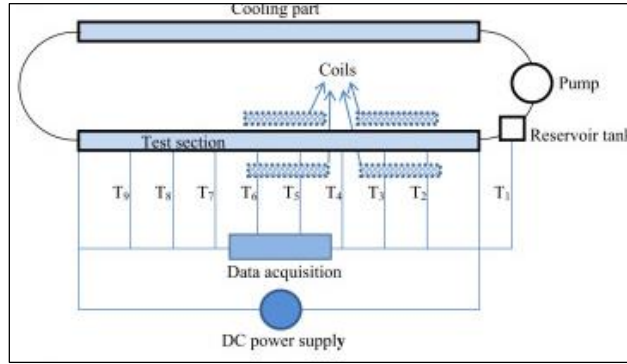
Isı transferini arttırmak için kullanılan yöntemlerden bir diğeri ise manyetiklenebilen akışkanlara uygulanan manyetik alan kuvvetidir. Ferronanoakışkanlar son yıllarda önemli bir araştırma konusu haline gelmektedir. Ferronanoakışkanlarda kullanılan manyetik nanoparçacıklar genellikle demir, kobalt, nikel gibi metal malzemelerden (ferromanyetik malzemeler) ve ayrıca manyetit (Fe_3O_4), spinel tipi ferritler, vb. oksitlerinden (ferromanyetik malzemeler) farklı boyutlarda ve morfolojilerde hazırlanmaktadır [27].

Manyetohidrokinamik akışın ısı transferi konusunda öncüsü olan Hartmann tarafından 1937 yılında civa akışkanı ile iki paralel levha ile gerçekleştirdiği deney bu alanda yapılan çalışmaların öncüsü olmuştur. Hartmann'ın gerçekleştirdiği bu çalışmadan sonra nükleer güç reaktörleri, MHD pompalar ve güç jeneratörleri gibi önemli uygulamalarda kullanılmak üzere sayısal ve deneysel çalışmalara konu olmuştur. MHD akışla ilgili literatürde birçok deneysel ve sayısal çalışma yer almaktadır [29-46].

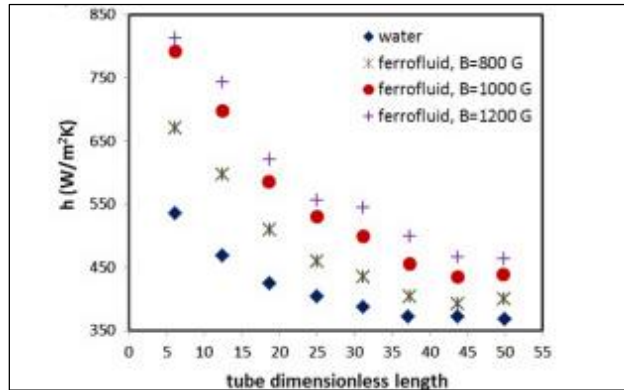
Jafari vd., yapmış oldukları çalışmada, gaz yağı esaslı bir ferronanoakışkanın (manyetik nanoakışkanlar) ısı transfer performansını incelemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiğini (HAD) kullanmışlardır. Manyetik alanın sıcaklık gradyanına dik olduğu durumdaki ısı transferinin, manyetik alanın sıcaklık gradyanına paralel olduğu duruma kıyasla daha fazla arttığını gözlemlemişlerdir. Manyetik parçacıkların çapının artmasının sistemde kolloid oluşumuna neden olduğunu ve ferroakışkanın ısı transferinin azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir [28].

Gavili vd., helmholtz bobinleri tarafından üretilen manyetik alan altında 10 nm çapında Fe_3O_4 -su bazlı ferroakışkanın termal iletkenlik artışını deneysel olarak araştırmışlardır. Manyetik alanın yokluğunda, Fe_3O_4 -su ferroakışkanının termal iletkenliğinde bir artış olmadığını fark etmişlerdir. Ferroakışkanlar üzerine manyetik alan uygulanması ve uygulanan manyetik alan yoğunluğunun artırılması termal iletkenliği %200'lere kadar arttırdığını gözlemlemişlerdir [29].

Lajvardi vd., laminar akış rejiminde bir borudan akan Fe_3O_4 -su ferroakışkanının akış yönüne dik yönde uygulanan manyetik alan varlığında taşınım ile ısı transferini araştırmak amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneylerde ferroakışkan konsantrasyonu ve manyetik alan uygulaması konumunun etkisini değerlendirmişlerdir. Şekil 2.1’de, farklı manyetik alanlarda su ve ferroakışkan için borunun boyutsuz uzunluğuna karşı taşınım ile ısı transfer katsayısı (h) ile ilgili konfigürasyonlarını ve sonuçlarını göstermişlerdir. Isı transferi miktarında gözlenen artışın, manyetik alan içerisinde ferroakışkanın gelişmiş termofiziksel özelliklerine bağlanabileceğini bildirmişlerdir. Manyetik alan yoğunluğunun artışıyla birlikte ısı taşınım katsayısının da arttığını gözlemlemişlerdir [30].



(a)



(b)

Şekil 2.1. (a) Deney düzeneğinin şematik görüntüsü, (b) su ve ferroakışkan için tüpün boyutsuz uzunluğuna karşı taşınım ile ısı transfer katsayısı grafiği [31].

Aminfar vd., yapmış oldukları çalışmada, yatay düz ve kavisli borular içerisindeki ferroakışkan (su ve hacimce %4,0 Fe_3O_4) akışına doğrusal manyetik alan uygulanmasının etkilerini araştırmışlardır. Akışın hidrotermal davranışını, çift fazlı

karışım modeli ve kontrol hacmi tekniği kullanılarak sayısal olarak araştırmışlardır. Akışa dik yönde doğrusal manyetik alan uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak; ısı transfer katsayısı, düz boru yerine kavisli tip boru kullanılarak, baz akışkana manyetik nanoparçacıklar eklenerek ve harici manyetik alan uygulanarak arttırıldığını gözlemlemişlerdir [32].

Amir vd., yapmış oldukları çalışmada manyetik alandan etkilenen Fe_3O_4 ve $CoFe_2O$ bazlı ferronanoakışkanların termal iletkenliklerini araştırmak için deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Nanoakışkanların %0-%4,8 nanoparçacık hacimsel konsantrasyona sahip ve 0-500 G'luk manyetik alan altındaki davranışı incelenmiştir. Her iki ferronanoakışkanın termal iletkenliğinin nanoparçacık hacimsel konsantrasyon ve manyetik alan şiddetinin artmasıyla arttığı sonucuna ulaşmışlardır [33].

Parekh ve Lee yapmış oldukları deneysel çalışmada enine manyetik alanın bir fonksiyonu olarak ferronanoakışkanın termal iletkenliğini incelemişlerdir. Manyetik alan altında %4,7 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu için termal iletkenlikte yaklaşık %30 artış gözlemlenmiştir. Bu sonucun, manyetik akışkan içerisinde manyetik nanoparçacıkların sürekli üç boyutlu fermuar benzeri yapı oluşturulması temeline dayandığını belirtmişlerdir [34].

Aminfar vd., yapmış oldukları çalışmada su ve %4 Fe_3O_4 nanoparçacık hacimsel konsantrasyondaki ferroakışkana uygulanan manyetik alan etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Akışı incelemek için çift fazlı karışım modeli ve kontrol hacmi tekniğini kullanmışlardır [35].

Azizian vd., harici bir manyetik alanın laminer akış rejimi ($Re < 830$) koşulları altında ferronanoakışkanın taşınımıyla ısı transferi ve basınç düşüşü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Manyetik alan kuvvetinin ve eğiminin arttırılmasıyla yerel ısı transfer katsayısında büyük bir artış sağlanabileceğini göstermişlerdir. Taşınımıyla ısı transfer artışı, $Re=745$ değerinde elde edilen dört katlık bir artış (manyetik alan olmayan duruma göre) ve 32,5 mT/mm'lik manyetik alan gradyanı ile daha yüksek Reynolds sayılarında daha belirgin hale geldiği gösterilmiştir. Manyetik alanın basınç düşüşü üzerindeki etkisinin çok önemli olmadığını göstermişlerdir. Manyetik alan ve

manyetik kuvvet dağılımının simülasyon sonuçlarına dayanarak, ısı transferini arttırma mekanizmalarının miknatısların yakınında (yerel olarak daha yüksek termal iletkenliğe yol açan) biriken parçacıkların akışından kaynaklandığını göstermişlerdir [36].

Hong vd., etilen glikol içindeki bakır ve demir nanoparçacıklarla oluşan farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlara sahip ferronanoakışkanların termal iletkenliklerini araştırmışlardır. Sonuçları, nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonlarındaki artış ile termal iletkenliği arttırdığını doğrulamışlardır. Etilen glikol içinde dağılmış bakır ve demir nanoparçacıklarının karşılaştırılmasında, demir bazlı nanoakışkanların termal iletkenlik artışının bakır bazlı nanoakışkanlarınkine göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir [37].

Racabavodiloğlu, dairesel kesitli bir boruda zorlanmış taşınım şartları altında manyetik alan uygulamasının taşınım ile gerçekleşen ısı transferine olan etkisini incelemiştir. Akışa dik yönde uygulanan manyetik alan şiddetinin artırılmasıyla sıcaklık dağılımında belirgin bir şekilde artış olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu artışın yaklaşık değeri %4,5 olarak belirlenmiştir. Elde edilen teorik verilerin deneysel verilerle olan hata oranı %3,8 olarak belirtmiştir [38].

Erdem vd., yapmış oldukları üç boyutlu sayısal çalışmada dairesel kesitli bir boruda sıvı lityum akışının farklı değerlerdeki manyetik alan şiddetinin ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. Sayısal çalışmayı Ansys-Fluent ticari kodlu yazılım yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Uygulanan manyetik alan kuvvetindeki artış akışkanda meydana gelen yerel hız profillerini düşürdüğü sonucunu elde etmişlerdir. Manyetik alan şiddetinin artmasıyla kanalın merkez uzunluğunca basınç değerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Uygulanan manyetik alanın artması; boru merkezindeki sıcaklığı düşürdüğü, cidar kısmına yakın bölgelerde sıcaklığı arttırdığı ve cidarın ortasındaki ve kanalın merkezindeki bölgede ise sıcaklığı önce arttırdığı sonra da azalttığı sonucunu bulmuşlardır [39].

Sun vd., yapmış oldukları deneysel çalışmada farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlardaki Fe₃O₄-su ferronanoakışkanının bir boru içersinde sabit manyetik

alan etkisi altında akışının ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. $Re=1080$ ve %0,9 Fe_3O_4 -su nanoparçacık hacimsel konsantrasyonundaki ferronanoakışkanının manyetik alan olmadığı durumdaki taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısının, saf suya göre %9,16 arttığını gözlemlemişlerdir. Fe_3O_4 nanoparçacıklarının eklenmesi ısı transfer özelliklerini değiştirerek termal iletkenlik ve viskozite artışına neden olduğunu saptamışlardır. İçerisinde Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının bulunduğu bir boruya, akış yönüne dik yönde uygulanan manyetik alan etkisi ısı transfer performansını artırmıştır. Bunun nedeni, dikey düzgün manyetik alanın manyetik parçacıkların harici manyetik alan yönünde zincir benzeri bir yapı oluşturmasına ve boru duvarı ile sıvı arasında düşük bir termal direnç kanalı oluşturmasına neden olması olarak açıklanmıştır. Ayrıca, manyetik alan yoğunluğunun artmasıyla güçlendirme etkisi de artmıştır. Manyetik alan yönü kademelendirildiğinde, manyetik alan yönündeki ani değişiklik, boru içerisindeki manyetik parçacıkların güçlü bir şekilde bozulmasına neden olarak, ısı transfer performansını artırdığı sonucuna varılmıştır. Manyetik alan kuvvetinin artırılmasıyla birlikte ısı transfer katsayısında önemli bir gelişme sağlayabildiğini göstermişlerdir [40].

Sha vd., yapmış oldukları deneysel çalışmada dikey, düzgün manyetik alanın türbülanslı akış rejiminde Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının taşınım ile ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Lokal taşınım ile ısı transfer katsayıları; %0,5-%2 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarında ve 20-40 °C sıcaklık aralığında belirlenmiştir. Isı transfer katsayısının; Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu, sıcaklığı ve manyetik alan yoğunluğunun artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Manyetik alan etkisi olmadan, 40 °C sıcaklıkta ve %3 nanoparçacık hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan akışının baz akışkana göre taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısının %5,2 arttığını gözlemlemişlerdir. Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanına sabit manyetik alan (800 G) ve değişken manyetik alan (0,1 T) uygulandığında, maksimum ısı taşınım katsayısının %4,2 ve %8,1 değerlerinde arttığını gözlemlemişlerdir. Manyetik alan etkisinin, Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanların ısı transferi performansı üzerinde etkisinin büyük değerlerde olduğunu gözlemlemişlerdir [41].

Motozawa vd., yapmış oldukları çalışmada manyetik bir akışkanın dikdörtgen kesitli kanal içerisindeki akışında manyetik alanın taşınım ile ısı transferi üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deney, 0-500 mT değerleri arasında manyetik alan yoğunluğunun değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan, ferronanoakışkan akışına uygulandığında, manyetik alanın uygulanmadığı durumdaki taşınım ile ısı transfer katsayısına kıyasla manyetik alan uygulanan durumdaki ısı transfer katsayısı büyük ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir [42].

Fadaei vd., bir boru içerisinde akan ferroakışkanın sabit mıknatıslar tarafından üretilen manyetik alanın ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. Ferronanoakışkanı taşıyan boruya akış yönüne dik manyetik alan uygulanmasıyla aksel hız dağılımının değiştiğini gözlemlemişlerdir. Boru duvarları yakınındaki hız ve sıcaklık parametrelerinde artış meydana gelmiştir. Sabit mıknatıslarla üretilen sabit manyetik alan etkisi ile ısı transfer katsayısı ve Nu değerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, nanoparçacıkların yüksek hacimli konsantrasyonlarda kullanılması durumunda, simülasyon için çift fazlı bir modelleme yaklaşımı uygulanması gerektiğini savunmuşlardır [43].

Mei vd., yapmış oldukları deneysel çalışmada oluklu bir boru içerisinde farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlardaki ($\phi=0,1-0,5$) akışın hidrolik performansını incelemek için bir deney sistemi kurmuşlardır. Farklı Reynolds sayılarında ($800 < Re < 12000$), manyetik alan yoğunluklarında ($B=0-300G$) ve elektromıknatıs düzenleme modlarında (tek taraflı elektromıknatıs ve iki taraflı kademeli elektromıknatıs) akış ve ısı transfer katsayılarına etkileri incelenmiştir. Nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun ve manyetik alan yoğunluğunun artması ile iki taraflı elektromanyetik mıknatıs kullanımının ısı transfer katsayısını arttırdığını gözlemlemişlerdir [44].

Amani vd., yapmış oldukları sayısal ve deneysel çalışmada Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanına sabit manyetik alan uygulaması ile ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları sayısal çalışmada tek fazlı çözüm yöntemini kullanmışlardır. Uyguladıkları manyetik alan dört özdeş mıknatıs tarafından üretilmiştir. Yapmış oldukları çalışmada Reynolds sayısı, nanoparçacık hacimsel

konsantrasyonu ve manyetik alan yoğunluğunun ısı transferine olan etkisi araştırılmıştır. Manyetik alan etkisinin düşük Reynolds sayılarında ısı transferine etkisinin daha çok olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneysel sonuçlarda, Fe₃O₄-su ferronanoakışkan uygulanmasının saf suya kıyasla ısı transfer katsayısını arttırdığını gözlemlemişlerdir [45].

Elektriksel olarak iletken olan nanoakışkanlar ve manyetik alan uygulaması için literatür araştırması yapılmıştır. Ferronanoakışkanların akış ve ısı transferi karakteristiklerinin incelenmesine yönelik gerek deneysel gerekse sayısal bir çok çalışma yapılmış ve yapılmaya halen devam edilmektedir. Yapılan birçok çalışmada ferronanoakışkanların kolloid karışımlar olmasına rağmen, sayısal simülasyonları için tek faz modelini kullanmışlardır.

Bu çalışmada ise literatürdeki çalışmalardan farklı olarak dairesel kesitli boru yüzeyine uygulanan sabit duvar ısı akısı ve sabit manyetik alan etkisi altında laminar akış ($1000 < Re < 2000$) şartları için elektriksel olarak iletken olan Fe₃O₄-su nanoakışkan akışının (ferronanoakışkan) akış ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonları (%1,0; %2,0 ve %5,0) için sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmada, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümler yapabilen Ansys Fluent 19.0 kodu, problemle ilgili olan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini iteratif olarak çözmek için kullanılmıştır. Çift faz çözüm yöntemlerinden olan mixture (karışım) model kullanılarak; nanoparçacık hacimsel konsantrasyon oranlarının ve farklı değerlerde (0,1; 0,2 ve 0,3 T) sabit manyetik alan uygulamasının taşınım ile ısı transfer katsayısı (h), Nusselt sayısı (Nu), basınç düşümü ve Darcy sürtünme faktörü (f) üzerindeki etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 3

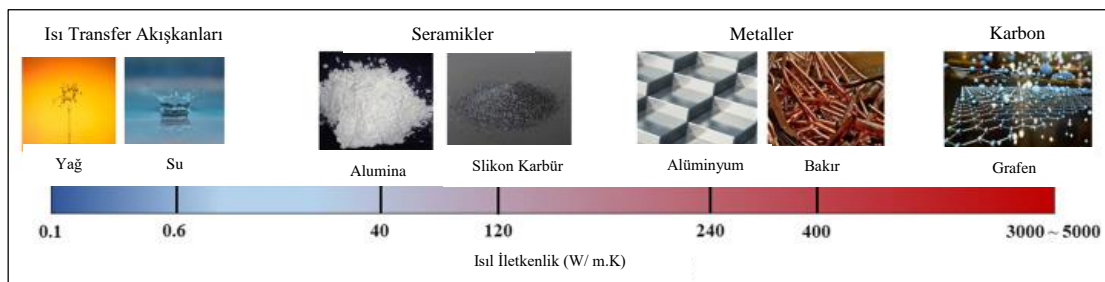
NANOAKIŞKANLAR

Çağımızda enerji tüketiminin artması ve mevcut kaynaklarımızın giderek tükenmesiyle birlikte bu durum enerji tasarrufuna yönelik yapılan çalışmaların hız kazanmasına ve geliştirilmesine neden olmuştur. Zamanla enerji kaynaklarının tükenmeye başlamasıyla beraber endüstrinin tüm bölümlerinde enerjinin verimli ve etkili kullanılması için bilim insanları ısı transferinin iyileştirilmesi için yeni metod arayışı içine girmişlerdir.

Teknolojinin hızla gelişmesi ile endüstriyel uygulamalarda elektronik ekipmanların kullanımını artmakta ve bu durum elektronik ekipmanlarda yüksek ısı akısı problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu sistemlerin soğutulması ekipmanların uzun ömürlülüğü ve enerji tasarrufu açısından oldukça önemlidir. Endüstriyel tesislerin en önemli ihtiyaçlarından biri de soğutmadır. Bu ihtiyacın sağlanabilmesi için ısı iletkenlik faktörünün önemi oldukça fazladır. Bu yüzden bilim adamları ve mühendisler ısı transferini geliştirme arayışına girmişlerdir. Isı transferini geliştirme teknikleri olarak ısı transfer yüzey alanının artırılması, ısı taşınımı katsayısı değerinin artırılması gibi yöntem ve tekniklerden yararlanmak mümkündür. Bunun yanı sıra bir başka ısı transferi artırma yöntemi olarak kullanılan; nano boyutta metal veya metal olmayan parçacıkları iş akışkanı içerisine (su, etilen glikol, yağ vb.) ilave ederek oluşturulan üstün özellikli akışkanlara “nanoakışkan” adı verilmiştir. Nanoakışkanlar günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Soğutma sistemlerinde kullanılan geleneksel akışkanlara nanoparçacık ilavesiyle oluşan nanoakışkan kullanımı durumunda hem sistem veriminde hem de soğutma sistemi ekipmanlarının daha küçük tasarlanmasına olanak sağlanmış olur. Ayrıca, soğutma sistemlerinin küçük boyutlarda olması yer tasarrufu da sağlamaktadır.

Termal karakteristikleri geliştirmek için baz akışkana nanoparçacık ekleme fikrini ortaya koyan ilk kişi Choi'dir [7]. Nanoakışkan kavramı, yenilikçi bir fikirdir. Yüksek ısı iletkenlikli nanoakışkan kavramının uygulanabilirliği, 1962 yılında Hamilton ve Crosser tarafından baz akışkan olan su içerisine bakır nanoparçacıklarının uygulanmasıyla kullanılmaya başlanmıştır. Baz akışkan içerisine az miktarda yüksek ısı iletkenliği olan katı nanoparçacıkların eklenmesi termal iletkenliği arttırır ve böylece ısı aktarım hızını da arttırmış olur. Aslında, nanoparçacıkların mevcudiyeti ve baz akışkan içindeki rastgele hareketi nedeniyle termal sınır tabakası kalınlığının azaltılması, bu tür ısı transferi iyileştirmesine de önemli katkılar sağlamaktadır [7]. Nanoakışkan konsantrasyonunu arttırmak, ısı aktarım hızını da arttırır, çünkü bu koşullar altında nanoparçacık etkileşimi ve çarpışması yoğunlaşır. Ayrıca, parçacıkların duvarın yakınında difüzyonu ve bağıl hareketi duvardan nanoakışkana hızlı bir ısı transferine yol açmaktadır [46].

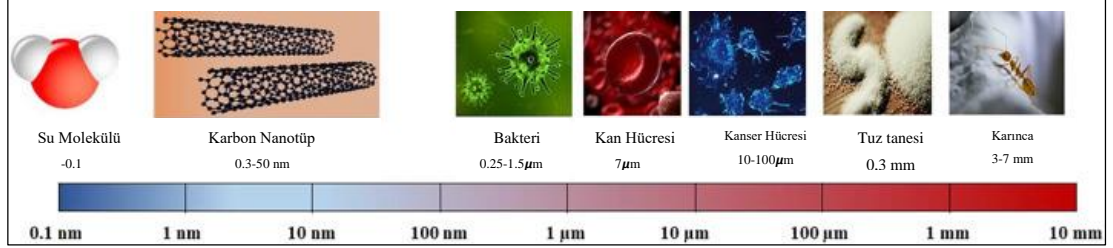
Metalik katıların ısı iletkenliği, sıvılarınkinden çok daha fazladır. Şekil 3.1'de görülen; su ve yağ içeren sıvıların, seramik, metal ve grafen gibi bazı katı maddeler ile ısı iletkenliği arasındaki fark gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, metallerin ve grafenlerin termal iletkenlikleri, sıvıların yüz katından daha yüksektir. Özellikle grafen gibi bazı katı maddeleri termal sistemlerde kullanım için uygun bir seçenek haline getiren çok yüksek ısı iletkenlikleridir [47].



Şekil 3.1. Isı transfer akışkanlarının, seramik, metal ve karbon gibi katı parçacıkların ısı iletkenlikleri [47].

Nanoparçacık bazlı sıvıların termal kararlılığı, mikroparçacık bazlı sıvıların kararlılığından çok daha fazladır. Ayrıca, belirli bir katı parçacık kütlesinde, nanoparçacıklar arasındaki temas yüzey alanı, mikroparçacıklardan daha geniştir ve bu durum sıvı sıcaklığı değişimlerinde daha hızlı ısı tepkimelere neden olmaktadır.

Şekil 3.2’de bir nanoparçacığın boyutunu daha iyi görselleştirmek için tipik karbon nanotüplerin çapını, bir karınca ve tek bir tuz tanesi gibi iyi bilinen bazı maddelerin boyutuyla karşılaştırmaktadır. Görüldüğü üzere, bir karbon nanotüpün çapı, tek bir tuz tanesinden 1 milyon kat daha küçük olabilmektedir [47].



Şekil 3.2. Tipik bir nanoparçacık olarak karbon nanotüplerin boyutlarının karşılaştırılması [47].

Nanoparçacıklardaki nano ön eki on üzeri eksi 9 demektir. Kimi alanda nanoboyut 10-20 nm’den daha küçük olarak kabul edilmekte, ancak çoğu alanda 1 ve 100 nm aralıklarında olan parçacıklara nanoparçacık denilmektedir. Bu nano boyuttaki üstün ısı transfer özellik içeren parçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanın; kararlı ve uzun ömürlü süspansiyon olabilmesi için akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekir. Nanoparçacıklar içerisinde bulunacağı baz sıvı içerisinde çözünmemeli veya topaklanmamalıdır. Nanoparçacıklar yapı olarak inorganik yapıdır. Genel olarak, nanoakışkanlar geleneksel akışkanlara kıyasla daha yüksek termal iletkenlerinden dolayı termal sistemlerde taşınımıyla gerçekleşen ısı transfer hızını arttırlar. Bu nedenle, belirli bir ısı değerini transfer etmek için ısı transfer oranının artması daha kompakt bir sistem imal etmek için nanoakışkan kullanımı ile elde edilmektedir. Nanoakışkan kullanımı termal sistem boyutunu azaltarak malzeme ağırlığını ve üretim maliyetini düşürmektedir.

Nanoakışkanları mikroakışkanlarla karşılaştırıldığında nanoakışkanların daha yüksek bir kararlılığa ve ısı iletimini arttırmak için daha üstün özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Öte yandan, nanoakışkanların bazı dezavantajları da vardır [47]:

- Nanoakışkanların baz akışkana göre yüksek üretim maliyetine sahip olması,

- Nanoakışkanların uzun süreli kullanımı için, içerisindeki nanoparçacıkların agregasyon ve sedimentasyon olmadan korunmasının zor olması,
- Nanoakışkanların baz sıvılara kıyasla viskozitenin daha yüksek olması, gerekli pompalama gücünün ve sürtünmeli ısıtma hızının artmasına neden olması,
- Nanoakışkan kullanımında, nanoakışkanlarla temas eden bileşenlerin korozyon ve erozyon oranlarını arttırabilmeleri,
- Uzun süreli kullanımlarda topaklanma sorununun yaşanması,
- Nanoakışkanlar baz sıvıya göre yüksek viskoziteye sahip olmasından dolayı pompalama gücünde artışa yol açması.

Isı transfer hızını arttırmak için nanoakışkan kullanımının bazı faydaları ise [48];

- Parçacıkların nano boyutta olması, ısı iletkenliklerinin ve geniş yüzey alanlarına sahip olmasından dolayı ısı transferini büyük ölçüde arttırabilmektedir.
- Geleneksel akışkanların ısı transfer kabiliyetleri nanoakışkanlara göre daha düşüktür. Nanoakışkan kullanımı ile yeni tasarlanacak olan ekipmanların daha küçük yapıda üretilmesine olanak sağlar. Ekipmanların daha küçük boyutlarda üretilmesi; yatırım maliyetinde önemli ölçüde tasarruf sağlayarak enerjiyi daha verimli kullanılmasına neden olmaktadır.
- Nano boyutta olan parçacıkların asıl parçacıklara kıyasla daha hafif olması nanoakışkanlarda çökelme problemini azaltmaktadır.
- Mikro kanallarda tıkanma oluşturmadan yüksek kapasitede ısı transferi gerçekleştirebilmektedir.
- Nanoparçacıkların küçük olması buldukları yüzeye uygulayacakları kuvvetin de az olacağı anlamına gelir ve bu yüzden kullanıldıkları yüzeylerde aşındırma problemi yaratmazlar.

3.1. NANOAKIŞKAN TÜRLERİ

Modern imalat teknolojisi, malzemelerin nanometre ölçeğinde üretilmesine izin verir. Nanoparçacıklar, aynı malzemenin daha büyük (mikron ölçeği ve daha büyük)

parçacıklarına kıyasla benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikler sergileyen bir malzeme sınıfıdır. Nanoakışkanlarda kullanılan bazı nanoparçacık malzemeler; oksit seramikler (Al_2O_3 , CuO), nitrür seramikler (AlN , SiN), karbür seramikler (SiC , TiC), metaller (Ag , Au , Cu , Fe), yarı iletkenler (TiO_2), tek, çift veya çok duvarlı karbon nanotüpler ($SWCNT$, $DWCNT$, $MWCNT$) ve kompozit malzemelerden oluşur [49].

3.1.1. Seramik Nanoakışkanlar

Seramik parçacıkların kimyasal kararlılıklarının yüksek ve üretiminin kolay olmasından dolayı nanoakışkanlar için ilk denenen maddelerdendir. 2000 yılında Xuan ve Li tarafından gerçekleştirilen çalışmada CuO ve Al_2O_3 esaslı nanoakışkanları kullanarak baz akışkana göre ısı iletkenliğinin farkedilir derecede arttığı sonucuna varılmıştır. Genellikle uygulama alanında Al_2O_3 ve ZnO gibi oksit seramikler ısı iletkenliği önemli ölçüde yükselttiklerinden dolayı tercih edilirler [50].

Farklı kategorilerdeki seramik çeşitleri;

- Nano oksit seramikler (Al_2O_3 , CuO , Cu_2O)
- Nano nitrür seramikler (AlN , SiN)
- Nano karbür seramikler (SiC , TiC)

3.1.2. Saf Metalik Nanoakışkanlar

Saf metalik nanoakışkanlarla ilgili çalışma, seramik nanoakışkanlara göre daha az sayıda olmasına rağmen elde edilen sonuçlarda aynı nanoparçacık hacimsel konsantrasyona sahip seramik nanoakışkanlara kıyasla saf metal nanoakışkanların ısı iletkenlikleri daha fazladır. Başlıca metalik nanoakışkanlarda kullanılan metal türleri; Ag , Fe , Au , Ni , Cu vb. dir. [51].

3.1.3. Karbon Tabanlı Nanoakışkanlar

Karbon tabanlı nanoyapıların ısı iletkenliklerinin yüksek ve yoğunluklarının düşük olmasından dolayı nanoakışkan olarak kullanıma uygun yapılardır. Isı iletkenlik

olarak karbon nanotüplerinin grafitte benzemesinden dolayı, en iyi iletken olarak bilinen elması bile geçtiği belirtilmiştir. Tek katmanlı karbon nanotüp (SWCNT), çift katmanlı karbon nanotüp (DWCNT) ve çok katmanlı karbon nanotüp (MWCNT) olmak üzere üç grupta incelenir [50].

3.1.4. Alaşım Nanoakışkanlar

Alaşım nanoakışkanlarıyla yapılan çalışma sayısı az olmasına rağmen daha verimli sonuçların elde edilmesi ve termofiziksel özelliklerin iyileştirilmesinde farklı metallerin alaşımından oluşan nanoakışkanlar kullanılmaktadır. Alaşım nanoakışkanlarında kullanılan alaşımlar şu şekildedir: Ag-Cu, Ag-Al, Al-Cu.

3.2. NANOAKIŞKAN KULLANIM ALANLARI

Yukarda bahsedildiği üzere nanoakışkanların dezavantajlarından çok avantajları daha çoktur. Nanoakışkanlar, ısı transfer ekipmanı için büyük potansiyele sahiptir. Isı transfer uygulamalarında kullanımı oldukça uygundur. Sağladığı faydaları ve yüksek ısı iletkenlikleri göz önüne alındığında aşağıda verilen birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Bu durum araştırmacılara, mühendislere kompakt ve etkili bir ısı transfer ekipmanı geliştirme fırsatları sunmaktadır. Nanoakışkanların; otomobil radyatörleri, savunma, elektronik sistemlerin soğutulması, iklimlendirme, enerji üretimi, uzay teknolojisi, ticari soğutma vb. gibi pek çok alanda kullanım potansiyeli oldukça yüksektir.

Nanoakışkan kullanım alanlarından bazıları aşağıdaki gibidir:

3.2.1. Elektronik Sistemlerin Soğutulması

Modern teknolojinin hızlı gelişimi nedeniyle, elektronik cihazların normal performansını bozan, güvenilirliği ve beklenen ömrü azaltan yüksek miktarda ısı üretme sorunuyla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu nedenle, verimli bir soğutma sistemi elektronik bileşenlerin tasarımındaki en önemli sorunlardan biridir. Hava soğutma, sıvı soğutma ve iki fazlı soğutma da dahil olmak üzere yüksek ısı akısı sorununu etkili bir

şekilde gidermek için çok sayıda girişim yapılmıştır. Nanoakışkanlar ısı transfer akışkanları kavramının bu zorlukların üstesinden gelmesi için önerilmiştir. Bu sistemlerdeki aşırı ısınma sorununu, yüksek ısı transfer kabiliyetine sahip olan nanoakışkanların kullanımı ile daha küçük ısı transfer alanlarında yeterli soğutma sağlanarak etkili bir şekilde kullanılmaktadır [52].

3.2.2. Ulaşım

Nanoakışkanlar, yüksek ısı transfer kabiliyetine sahip akışkanlardır. Ulaşımında kullanılan araçların; motor soğutucuları, yağlayıcı maddeler, şanzıman yağları vb. yüksek sıcaklık akışkanlarının ısı transfer miktarları düşük olmasından dolayı bu akışkanlara nanoparçacıkların ilavesiyle daha yüksek ısı iletkenlik sağlanmaktadır.

Evrensel olarak kullanılan otomotiv soğutma sıvısı olan etilen glikol ve su karışımı, sadece suya kıyasla nispeten zayıf bir ısı transfer sıvısıdır. Motor yağları ısı transfer ortamı olarak daha da kötü performans sergilemektedir. Standart motor soğutma suyuna nanoparçacıkların eklenmesi, otomotiv sektöründe motor soğutma oranlarını artırma potansiyeline sahiptir. Bu tür bir iyileştirme, azaltılmış boyutlu bir soğutma sistemi ile motor ısını uzaklaştırmak için kullanılabilir. Daha küçük soğutma suyu sistemleri, daha küçük ve daha hafif radyatörlerle sonuçlanır, bu da otomobilin ve ekonominin hemen hemen her yönüne yarar sağlar. Otomotiv alanındaki soğutma sıvılarının içerisine nanoparçacık ilavesi, daha az yakıt tüketimine neden olmaktadır [48].

3.2.3. Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Sistemleri

Isı pompaları, ısı değiştiricileri, ısı boruları vb. ısıtma ve soğutma sistemlerinde nanoakışkan kullanılarak ısı transfer miktarında artış sağlanacağı düşünülmektedir. Nanoakışkan kullanımıyla ısı değiştiricileri boyutunda ve pompa gücünün azalması konusunda önemli kazanımlar elde edilebilmektedir. Elde edilen kazanımlar sonucunda sistem performansı artarak yatırım maliyetinde azalma olabilmektedir.

3.2.4. Nükleer Reaktörlerin Soğutulması

Nükleer reaktörlerin soğutulmasında ısı transferi, kaynama işlemi ile sağlanmaktadır. Ancak bu sistemlerde daha fazla miktarda ısı transferi elde edebilmek için kaynama işleminin çekirdek kaynama mekanizmasında gerçekleşmesi gerekmektedir. Çekirdek kaynama ise CHF (Kritik Isı Akısı) ile sınırlı kalmaktadır. Literatürde yapılan birçok çalışmada nanoakışkanların kritik ısı akısı değerini artırdığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı, nanoakışkan kullanımı ile bu sistemlerin soğutulması daha etkili ve daha güvenilir olacaktır.

Buongiorno ve Hu [53], nanoakışkanların kritik ısı akısını ve geliştirilmiş ısı transferi mekanizmalarını araştırmak için nükleer reaktörde bir proje yürütmüşlerdir. Su soğutmalı nükleer sistemlerde kullanım için nanoakışkanların geliştirilmesi, ekonomik performans ve güvenlik sınırlarında önemli bir iyileşme ile sonuçlandığını açıklamışlardır.

3.2.5. Savunma Sanayi

Savunma sanayisinde ve askeri sistemlerde kullanılan askeri araçlar, radarlar, lazerler ve elektronik ekipmanlar yüksek ısı akılı soğutma sistemine ihtiyaç duyarlar. Ancak geleneksel akışkanlar bu ihtiyaca karşı yetersiz kalmaktadırlar. Bu tür sistemlerde nanoakışkan kullanımı ile yüksek miktarlarda soğutma elde edilebilmektedir.

3.2.6. Tıbbi Uygulamalar

Tıpta nanoakışkan kullanılarak kanser tedavisi yapılabilmektedir. Kanserli hücrelerin etrafında yüksek sıcaklık değerleri oluşturularak sağlıklı hücrelere zarar verilmeden tümörler yakılabilmektedir.

Nanoakışkanların ve nanoparçacıkların biyomedikal endüstrisinde birçok uygulaması vardır, ancak geleneksel kanser tedavi yöntemlerinde bazı yan etkileri de vardır. Demir bazlı nanoparçacıklar, yakınlardaki sağlıklı dokuya zarar vermeden ilaçlar veya

radyasyon için dağıtım aracı olarak kullanılabilir. Bu parçacıklar, kan akışında vücuda harici miknatıslar kullanılarak tümörü yönlendirebilmektedir. Nanoakışkanlar, cerrahi bölge çevresinde etkili soğutma üreterek hastanın hayatta kalma şansını artırır. Ayrıca, organ hasarı riskini azaltarak daha güvenli cerrahi işlemler için de kullanılabilir. Biyoakışkanlardaki manyetik nanoparçacıklar, yeni kanser tedavi teknikleri sağlayarak ilaçlar veya radyasyon için dağıtım aracı olarak kullanılabilir. Manyetik nanoparçacıklar, insanlar tarafından tolere edilebilen AC manyetik alanlardaki mikroparçacıklardan çok daha fazla güç emerler. Nanoparçacıklar tümör hücrelerine normal hücrelerden daha fazla bağlanabilir, bu nedenle AC manyetik alan tarafından uyarılan manyetik nanoparçacıklar kanser tedavisi için umut vericidir [54].

3.2.7. Triboloji Uygulamaları

Nanoakışkanlar birçok yağlama sisteminde kullanılabilir. Yağlara eklenen nanoparçacıklar ile yağların yük taşıma kapasitesi artmakta, sürtünme kuvvetleri ve aşınmalar azaltılabilmektedir.

3.3. NANOAKIŞKAN VE NANOPARÇACIK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Sabit özellikli nanoakışkanın hazırlanması, nanoakışkanların ısı transferi uygulamalarında büyük öneme sahiptir. Kötü hazırlanmış nanoakışkanlar, bifazik ısı transferini (yani katı-sıvı) sağlayacaktır. Başka bir sorun ise, daha büyük parçacıklar oluşturan nanoparçacıkların topaklanma sorununu ortaya çıkarır. Ayrıca, parçacık kararsızlığı; rezervuarda, borularda, pompalarda ve diğer termal döngü ekipmanında kirlenme ve tıkanıklığa neden olmaktadır.

Nanoakışkan elde edebilmek için; alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş (Ag) ve silisyum dioksit (SiO_2) vb. nanoparçacıklar kullanılır [55].

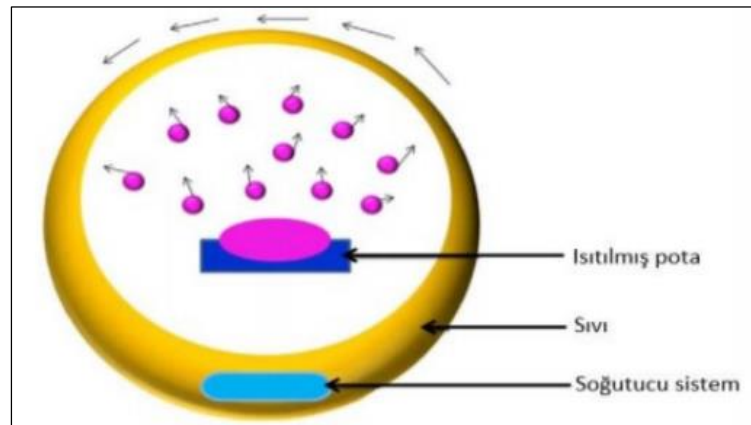
Nanoakışkan karışımı hazırlanırken şu maddeler dikkate alınmalıdır;

- Dayanıklı ve kararlı süspansiyon oluşturmaya özen gösterilmeli,
- Topaklanma ihtimalinin minimum düzeyde olmalı,
- Oluşan yeni akışkanın kimyasal özellikleri değişmemelidir.

Nanoparçacıklar fiziksel yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere iki yoldan üretilirler. Fiziksel yöntemde; inert (etkisiz) gaz yoğunlaştırma ve mekanik öğütme yöntemlerini içerir. Kimyasal yöntem ise; kimyasal çökeltme, püskürterek (spray) eritme ve ısı püskürtmeyi içerir. Bunun yanı sıra nanoakışkan üretiminde iki yol daha vardır. Bunlar; tek adım yöntemi ve iki adım yöntemidir.

3.3.1. Tek Adım Yöntemi

Tek adım yöntemi aynı anda nanoparçacıkları doğrudan baz sıvıya dönüştürür ve dağıtır. Tek adım yöntemi, nanoparçacıkların oksidasyonunu önler. Kullanılan bu yöntem ile homojen dağılımlı ve sabit özellikli nanoakışkanlar elde edilmektedir. İki adım yöntemine göre nanoparçacıkların topaklanma oranları daha düşüktür. Bahsedilen bu avantajların yanı sıra geniş uygulama alanlarına sahip değildir. Bu yöntemin üretim maliyeti yüksektir ve kullanılabilecek parçacık çeşidi sınırlıdır. Bakır gibi yüksek iletkenliğe sahip metaller içeren nanoakışkanlarda, parçacıkların oksidasyonunu önlemek için iki adım yöntemine göre tek adım yöntemi tercih edilir. Bu teknikte, nanoparçacıklar tek bir işlemde bir sıvı içinde oluşturulur ve dağıtılır [49].



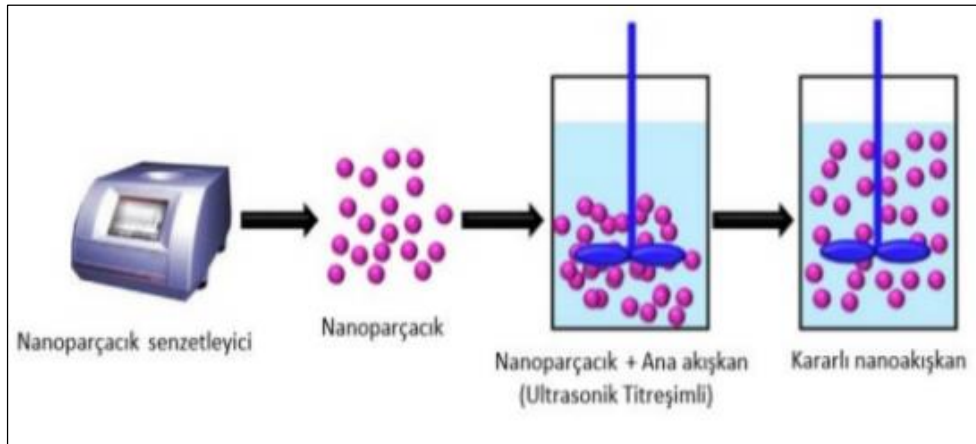
Şekil 3.3. Nanoakışkan hazırlamada tek adım yönteminin şekilsel gösterimi [56].

3.3.2. İki Adım Yöntemi

Bu yaklaşımda, nanoparçacıklar öncelikli olarak kimyasal veya fiziksel yöntemlerle kuru toz formunda üretilirler. Daha sonra üretilen nano boyuttaki toz yapı ana akışkan içerisinde dağıtılır. Parçacıkların akışkan içerisinde homojen olarak karışması ve stabil özellik sergileyebilmesi için; ultrasonik karıştırma işlemi uygulanır. Nanoakışkan üretiminde; tek adım yönteminin aksine, iki adım yöntemi, daha düşük bir işlem maliyeti nedeniyle nanoakışkan üretiminde kullanılan yaygın bir yöntemdir [57].

İki adım yönteminde kullanılan nanoparçacıkların topaklanma eğilimi göstermesi bir dezavantajdır. Bu yöntemde kararlılık üretim için önem arz etmektedir. Üretilen tozlarda meydana gelen Van Der Waals etkisinden dolayı tozların topaklanma ihtimali yüksektir. Nanoakışkan üretiminde topaklanma sorunu, ısı iletimi etkisini azaltan bir etmendir. Parçacıklarda meydana gelebilecek topaklanmayı önleyebilmek için sürekli karıştırma işlemi uygulanır [58].

Ayrıca yüzey aktif maddelerinin temel akışkana (sümfaktanların) az miktarda katılması nanoparçacıkların kararlılığını arttıran yöntemlerden birisidir [59].



Şekil 3.4. Nanoakışkan hazırlamada iki adım yönteminin şekilsel gösterimi [56].

3.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Nanoakışkan kullanımı ile nanoakışkanların termofiziksel özellikleri literatürde çok sık tartışılan konu haline gelmiştir. Literatürde nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesinde çok sayıda deneysel bağıntılar elde edilmiştir. Bazı sıvı içerisinde nanoparçacıkların eklenmesiyle oluşan yeni üstün özellikli nanoakışkanın termofiziksel özelliklerini büyük ölçüde değiştirir. Isı transferi uygulamalarında bazı akışkan içerisinde nanoparçacık ilave edilmesiyle oluşan nanoakışkanların, ısı transfer performansı konusunda ortaya çıkabilecek iyileşmenin saptanması için termofiziksel özellikleri göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Nanoparçacıkların bir sıvıya eklenmesi, yalnızca termal iletkenliğini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda viskozite, yoğunluk ve özgül ısı gibi diğer fiziksel özellikleri de etkiler [60].

3.4.1. Isıl İletkenlik

Isıl iletkenlik, bir malzemenin ısı iletme kabiliyetini karakterize eder ve birimi W/mK ' dir. Nanoakışkanların termal iletkenliği genellikle geleneksel sıvılarınkinden daha yüksektir. Isıl iletkenlik, ısı transfer akışkanının ısı transfer performansının arttırılmasında önemli bir parametredir. Katı metallerin bu akışkanlardan daha yüksek iletim katsayısı olduğu için (Çizelge 3.1) akışkan içerisinde süspansiyonlanan bu parçacıkların, akışkanların ısı iletkenliği ve ısı transfer performansını arttıracığı beklenmektedir.

Çizelge 3.1. Nanoakışkan imalinde kullanılan bazı katı nanoparçacıkların ve baz akışkanların ısı iletkenlikleri [61].

Malzeme	Isıl İletkenlik Katsayısı ($Wm^{-1}K^{-1}$)
<i>Metalik Parçacıklar</i>	
Alüminyum (Al)	237
Bakır (Cu)	401
Altın (Au)	318
Gümüş (Ag)	429
Demir (Fe)	80,40
<i>Ametal Parçacıklar</i>	
Alümina (Al ₂ O ₃)	40
CNT 3000	3000
Bakır Oksit (CuO)	76,50
Elmas 3300	3300
Silikon (Si) 148	148
<i>Sıvılar</i>	
Su	0,61
Motor Yağı	0,14
Etilen Glikol	0,20
Sodyum	72,3
Gliserol	0,29

Burada literatürde sunulan ısı iletkenlik için en çok kullanılan teorik modeller ve deneysel korelasyonlar gözden geçirilmiştir.

Maxwell Modeli;

Maxwell modeli, katı-sıvı dispersiyonlarının termal iletkenliği için sunulan ilk modeldir [3]. Maxwell çift fazlı akışkanlar için, sürekli ve süreksiz akış rejim şartlarında Eş. (3.1) ile verilen denklemi oluşturmuştur. Eş. (3.1)'de görüldüğü gibi Maxwell'e göre ısı iletkenlik; temel akışkanın ısı iletkenliği, küresel nanoparçacıkların ısı iletkenliği ve nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna bağlıdır. Sırasıyla k_p , k_f ve k_{nf} ; nanoparçacığın, baz akışkanın ve nanoakışkanın ısı iletkenliğini ifade etmektedir. ϕ ise nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunu ifade etmektedir. Bu parametreler üzerine Maxwell denklemi şu şekildedir;

$$k_{nf} = \frac{(k_p + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_p)}{(k_p + 2k_f) + \phi(k_f - k_p)} k_f \quad (3.1)$$

Bruggeman Modeli;

Bruggeman [62], rastgele dağılan küresel parçacıklar arasındaki etkileşimleri incelemek için bir model önermiştir. Bruggeman modeli küresel parçacıkların büyük hacimli kesri için geçerlidir. Düşük nanoparçacık hacimli konsantrasyonlar için Bruggeman modeli, Maxwell modeli ile yaklaşık olarak aynı sonuçları verir. Bruggeman modeli şu şekilde ifade edilebilir [63]:

$$k_{nf} = \frac{(3\varphi_p - 1)\frac{k_p}{k_f} + [3(1 - \varphi_p) - 1] + \sqrt{\Delta}}{4} k_f \quad (3.2)$$

$$\Delta = \left[(3\varphi_p - 1)\frac{k_p}{k_f} + \{3(1 - \varphi_p) - 1\} \right]^2 + 8\frac{k_p}{k_f} \quad (3.3)$$

Hamilton ve Crosser Modeli;

Hamilton ve Crosser [64], küresel olmayan nanoparçacıklar için iki bileşenli karışımların etkili termal iletkenliği için bir model geliştirmiştir.

$$k_{nf} = \frac{k_p + (n-1)k_f + (n-1)\varphi_p(k_p - k_f)}{k_p + (n-1)k_f - \varphi_p(k_p - k_f)} k_f \quad (3.4)$$

Bu denklemde; n ampirik şekil faktörü olup, $n=3/\psi$ olarak hesaplanır ve ψ ise parçacığın küreselliğidir. Maxwell'in modeli ile Hamilton ve Crosser'ın modeli karşılaştırılırsa Maxwell modelinin bire eşit ($\psi=1$) küresellik modeli için uygun bir eşitlik olduğu görülür. Şekil faktörü; küreler için $n=3$, silindirler için ise $n=6$ olarak kabul edilir. Hamilton Crosser modelinin en dikkate değer dezavantajı, sıcaklık ve parçacık boyutu gibi önemli fiziksel parametrelerin dikkate alınmamasıdır.

3.4.2. Viskozite

Nanoakışkanların viskozitesi, termal davranışlarını ve ısı transfer yeteneklerini etkileyen en önemli özelliklerden biridir [65]. Nanoakışkanların viskozitesi için literatürde teorik ve deneysel olarak çeşitli viskozite modelleri kullanılmıştır. Saf su için sıcaklığa bağlı olan viskozitenin, nanoparçacıkların eklenmesiyle artış göstereceği bilinmektedir. Bir nanoakışkanın viskozitesi, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna, nanoparçacık büyüklüğüne ve sıcaklığına bağlıdır [66]. Geçmişten günümüze kadar, çeşitli araştırmacılar, sıvı-katı süspansiyonların viskozitesini araştırmış ve sayısal hesaplanması için denklemler sağlamıştır. Bunlardan birisi olan Einstein, $\varphi=2\%$ nanoparçacık hacimsel konsantrasyondaki orana sahip nanoakışkanın viskozitesini elde etmek için Eş. (3.5)'deki denklemi öne sürmüştür [67].

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\varphi) \quad (3.5)$$

Brinkman [68], nanoakışkanların viskozitesini tahmin etmek için başka bir denklem önermiştir. Önerilen bu denklemin temeli de Einstein denklemine dayanır ve viskoziteyi daha yüksek konsantrasyonlarda tahmin etmeyi sağlar:

$$\mu_{nf} = \left(\mu_f \frac{1}{(1 - \varphi)^{2.5}} \right) \quad (3.6)$$

Lundgren [69] ise Taylor serisine dayanan bir denklem önermiştir. Aslında, bu denklem Einstein modelinin bir uzantısıdır:

$$\mu_{nf} = \mu_f \left(1 + 2.5\varphi + \frac{25}{4}\varphi^2 + 0(\varphi^3) \right) \quad (3.7)$$

Brownian hareketinin katı küresel parçacıkların süspansiyonundaki viskozite üzerindeki etkisi Batchelor tarafından da çalışılmıştır [70]. İzotropik süspansiyon yapısı için ve Stokes akışı için karşılıklı teoremden yola çıkarak, etkili viskozite Einstein modelinin daha sonraki işlemleriyle elde edilmiş ve Eş. (3.8) ile verilmiştir.

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\varphi + 6.5\varphi^2) \quad (3.8)$$

3.4.3. Yoğunluk

Nanoparçacıkların baz sıvıya eklenmesi, karışımın yoğunluğunu sistematik olarak artırır. Bunun nedeni, katıların yoğunluğunun sıvılardan daha büyük olmasıdır [71]. Nanoakışkanın yoğunluğu Pak ve Cho'nun önerdiği Eş. (3.9) ve Eş. (3.10)'da gösterildiği gibi hesaplanır [72]:

$$\rho_{nf} = \varphi\rho_p + (1-\varphi)\rho_f \quad (3.9)$$

$$(\rho c_p)_{nf} = (1-\varphi)(\rho c_p)_f + \varphi(\rho c_p)_p \quad (3.10)$$

Nanoparçacıkların, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu φ , nanoparçacıkların yoğunluğu ρ_p , baz akışkanın yoğunluğu ρ_f , nanoakışkanın yoğunluğu ise ρ_{nf} şeklinde ifade edilmektedir.

3.4.4. Özgül Isı

Özgül ısı basit bir şekilde, 1 g maddenin sıcaklığını 1 °C artırmak için gereken ısı miktarı olarak tanımlanır. Katıların özgül ısısı, sıvıların özgül ısısına kıyasla daha düşüktür. Bu nedenle, baz sıvıya katı nanoparçacıkların eklenmesiyle özgül ısı değeri azalır. Bununla birlikte, ideal bir soğutucunun daha fazla ısıyı uzaklaştırması için daha yüksek bir özgül ısı değeri arzu edilir [73]. Xuan ve Roetzel [73] nanoakışkanların özgül ısısının hesaplanması için Eş. (3.11)'de ifade edilen denklemi önermişlerdir.

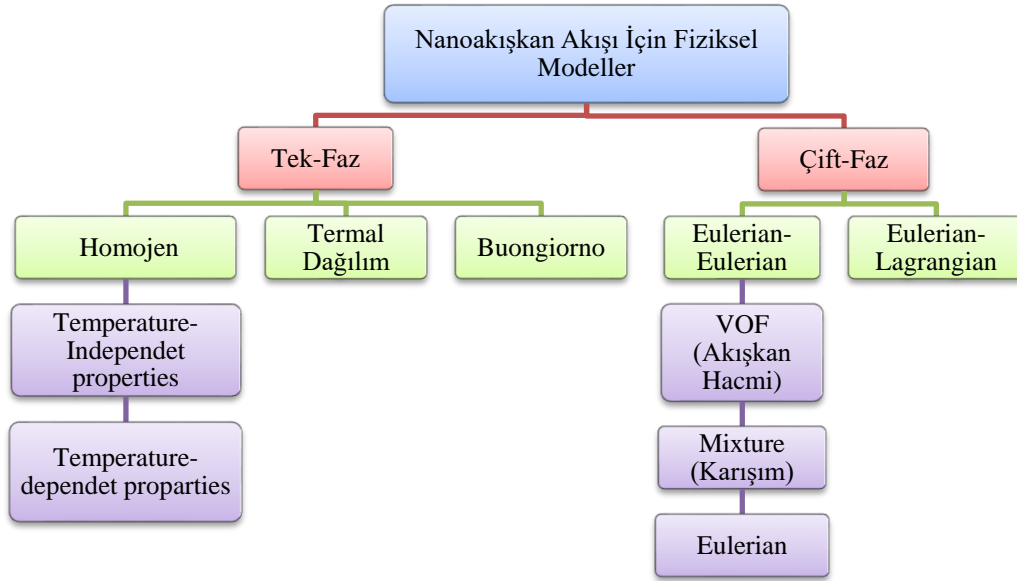
$$c_{p,nf} = \frac{(1-\varphi_p)\rho_f c_f + \varphi_p \rho_p c_p}{\rho_{nf}} \quad (3.11)$$

Pak ve Cho'nun denklemlerine göre ise özgül ısı şu şekilde hesaplanmaktadır [72]:

$$c_{p,nf} = \frac{(1-\varphi)(\rho c_p)_f + \varphi(\rho c_p)_p}{(1-\varphi)\rho_f + \varphi\rho_p} \quad (3.12)$$

3.5. NANOAKIŞKAN AKIŞI İÇİN FİZİKSEL MODELLER

Nanoakışkanların ısı transferini simüle etmek için iki genel sayısal analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar tek fazlı ve çift fazlı yöntemler olmak üzere iki temel başlıkta incelenmektedir. Tek fazlı modeller hem homojen hem de dispersiyon modellerini içerirken; iki fazlı modeller, Eulerian-Eulerian (sıvı, karışım ve Eulerian hacmi) Eulerian-Lagrangian modelleri ve Ayrık Faz Modeli'ni (DPM) içermektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Nanoakışkan akış modelleri [47].

3.5.1. Tek-Faz Akış Modeli

Nanoakışkanlar katı-sıvı karışımlar olmasına rağmen, doğal taşınımların çoğunda geleneksel olarak kullanılan yaklaşım nanoakışkanı tek fazlı (homojen) bir sıvı olarak ele alır. Aslında, asılı nanoparçacıkların aşırı büyüklüğü ve düşük nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu nedeniyle, parçacıkların sıvı ile aynı hızda hareket ettiği varsayılır. Ayrıca, yerel termal denge göz önünde bulundurularak, katı parçacık-sıvı

karışımın bileşenlerin işlevleri olarak değerlendirilecek özelliklere sahip geleneksel bir tek fazlı sıvı olarak davrandığı düşünülebilir. Tek-faz model kullanımının bir nanoakışkan için her zaman doğru sonuçlar vermediği birçok araştırmada belirtilmiştir. Bununla birlikte, birçok çalışma tek fazlı varsayım kullanarak sayısal simülasyon gerçekleştirmiş ve akışın ısı transferi ve hidrodinamik özellikleri için kabul edilebilir sonuçlara ulaşmışlardır [74].

Tek fazlı model ile doğru sonuçlar elde etmek için, nanoakışkan özelliklerinde en uygun korelasyonların kullanılması çok önemlidir. Fakat şimdiye kadar, bağımsız değişkenlerin herhangi bir kombinasyonu için (nanoparçacıkların doğası, nanoparçacıkların çapı vb.) nanoakışkan özelliklerini doğru olarak tahmin edebilen bir korelasyon yoktur. Literatürde bulunan birçok farklı korelasyon çelişkili sonuçlara yol açmaktadır [75].

Tek fazlı yöntemlerde ortaya çıkan en büyük sorun nanoakışkan viskozitesi ve ısıl iletkenlik için doğru modellerin olmaması veya ilişkilendirilememesidir. Temel akışkanlar için kullanılan enerji, momentum ve süreklilik denklemleri, tek fazlı akış modelleri için de geçerlidir [76].

Süreklilik Denklemi:

$$\nabla(\rho_{nf}\vec{v}) = 0 \quad (3.13)$$

Momentum Denklemi:

$$\nabla(\rho_{nf}\vec{v}\vec{v}) = -\nabla P + \nabla(\mu_{nf}\nabla\vec{v}) \quad (3.14)$$

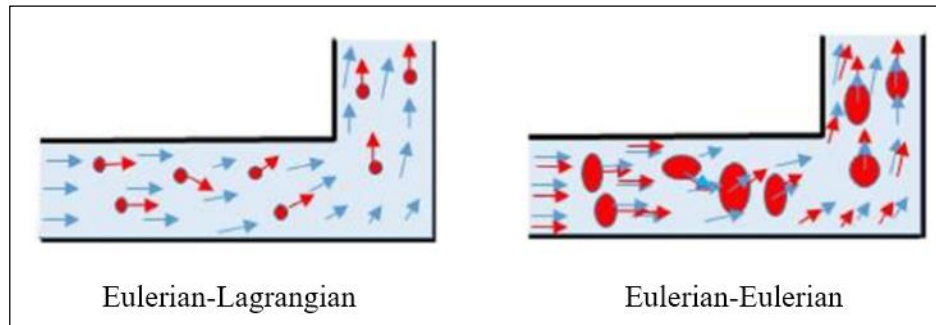
Enerji Denklemi:

$$\nabla(\rho_{nf}\vec{v}Cp_{nf}T) = \nabla(k_{nf}\nabla T) \quad (3.15)$$

3.5.2. Çift-Faz Akış Modeli

Çift fazlı yaklaşımlar, Eulerian-Eulerian ve Eulerian-Lagrangian modelleri olarak bilinen iki genel grupta kategorize edilir. Nanoakışkanlar iki fazlı sıvılar gibi davranırlar. İki fazlı yaklaşımlarda, baz sıvı ve nanoparçacıklar, farklı hızlara ve olası farklı sıcaklıklara sahip iki ayrı faz olarak modellenir.

Euler-Euler yaklaşımında, matematiksel olarak fazların birbiri ile iç içe geçmiş bir biçimde davrandığı bununla birlikte geleneksel akışkanın ve nanoparçacığın hacimsel konsantrasyonlarının uzay ve zaman boyutlarında sürekli ve toplamları bire eşit olan fonksiyonlar olarak kabul edilen yaklaşımdır. Daha yüksek nanoparçacık hacimsel konsantrasyonları için en uygun yaklaşım Eulerian-Eulerian yaklaşımıdır. Bu yaklaşım da kendi arasında; Akışkan Hacmi (Volume of Fluid), Karışım (Mixture) ve Eulerian modeli olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. İkinci bir yaklaşım olan Euler-Lagrange yaklaşımı ise akışkan fazını Navier-Stokes denklemleri; nanoparçacık fazını ise parçacık takibi yöntemi kullanarak hesaplamalar yapar (Şekil 3.6). Bu yaklaşım sadece düşük nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlar için geçerlidir. Nanoakışkan akış problemlerinin Euler-Lagrange yaklaşımıyla; yazılım yetenekleri, bellek gereksinimleri vb. nedenlerden dolayı çözümü zordur [75].



Şekil 3.6. Eulerian-Lagrange ve Eulerian-Eulerian yaklaşımları; mavi ok sıvı yolunu, kırmızı ok parçacık yolunu gösterir.

Genel olarak, baz akışkan ve nanoparçacıklar arasındaki etkileşimlere değinen farklı çift fazlı modeller daha iyi bir tahmin doğruluğu gösterirler. Çift faz yaklaşımlar, sıvı ve nanoparçacıklar arasındaki hareketi göz önüne alarak daha gerçekçi sonuçlar elde ettiği bilirse de simülasyon için daha uzun simülasyon süreleri gerektirir.

3.5.2.1 VOF (Volume of Fluid) Model

VOF modeli, sıvı fazları arasındaki arayüzün izlenmesi gereken çok fazlı karışmayan sıvı rejimleri için geçerlidir. Bu modelin bazı uygulamaları; kabarcık büyümesinin simülasyonu, serbest yüzey akışları, tabakalı akışlar ve sıvı-gaz yüzey izleme problemleridir. Nanoparçacıklar tipik olarak hesaplama hücresinden çok daha küçük olduğu ve baz sıvı içinde dağıldığı için, bu model nanoakışkan akışı uygulamaları için çok da uygun değildir.

Bu model, etki alanı boyunca her bir fazın hacim kısmını izler. Tüm fazlar için tek bir momentum ve enerji denklem seti çözülür ve tüm fazlar tarafından paylaşılan tek bir hız ve sıcaklık hesaplanabilir. Formülasyon, iki fazın birbirine nüfuz etmediği varsayımına dayanmaktadır. Fiziksel özellikler, her faz için hacim konsantrasyonuna dayalı olarak ağırlıklı bir ortalama ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

Süreklilik Denklemi:

$$\nabla(\varphi_q \rho_q \vec{V}_q) = 0 \quad (3.16)$$

Momentum Denklemi:

Burada $\sum_{q=1}^n \varphi_q = 1$ ve tüm özellikler şu şekilde hesaplanır; $N = \sum_{q=1}^n \varphi_q N_q$ (n , fazların sayısıdır).

$$\nabla(\rho_{nf} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla(\mu_{nf} \nabla \vec{v}) \quad (3.17)$$

Enerji Denklemi:

$$\nabla(\rho_{nf} \vec{v} C_p T) = \nabla(k_{nf} \nabla T) \quad (3.18)$$

3.5.2.2 Mixture Model (Karışım Modeli)

Burada ele alınan iki fazlı akış modeli, Manninen ve ark. tarafından geliştirilen karışım modeline dayanmaktadır [77]. Karışım modeli, iki veya daha fazla faza sahip akışlar için uygulanabilir. Bu modelde her fazın farklı hız ve konsantrasyon alanlarına sahip olduğu varsayılmaktadır. Karışım modeli sıvı fazları arasındaki bağlantıyı açıklar ve düşük konsantrasyonlu akışlar için geçerlidir.

Karışım modeli, VOF modelinin aksine, iç içe geçen fazları modelleyebilir ve fazların farklı hızlara sahip olmasını sağlar. Mixture (karışım) modelin diğer modellere göre daha az çalışma süresi ve CPU kullanımı gerektirmesi, çok fazlı akış problemleri için kesin sonuçlara yakın sonuçlar sergilemektedir [47].

Çok fazlı akış uygulamalarında bu yaklaşımın avantajı aşağıdaki gibi sıralanabilir [78];

- Hem teoride hem de uygulamada basit olması,
- Daha az çalışma süresi ve CPU kullanımı gerektirmesi,
- Geniş bir iki fazlı akış aralığı için doğruluk değerinin yüksek olmasıdır.

Karışım modeli aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır;

- Fazlar arasındaki bağlantının güçlü olması ve parçacıkların akışını yakından takip etmesi,
- Tüm aşamalar tarafından tek bir basınç paylaşılması,
- Her fazın kendi hız vektör alanı olmasıdır.

Karışım modeli, karışım için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini çözerek çift fazlı akışı modelleyebilirken, her fazın kendi hız alanı vardır ve göreceli hızlar için cebirsel ifadeler kullanılır. Karışım modelinin uygun özelliklerinden biri, granül fazların modellenmesine izin vermesidir. Karışım modeli için geçerli denklemler aşağıda ifade edilmiştir [14]:

Süreklilik Denkemi:

$$\nabla(\rho_m v_m) = 0 \quad (3.19)$$

$$v_m = \frac{\rho_p \varphi_p v_p + \rho_{bf} \varphi_{bf} v_{bf}}{\rho_m} \quad (3.20)$$

$$\rho_m = \varphi_p \rho_p + \varphi_{bf} \rho_{bf} \quad (3.21)$$

Momentum Denkemi:

$$\rho_m (v_m \nabla v_m) = -\nabla P + \mu_m (\nabla \mu_m + (\nabla \mu_m)^T) + \nabla(\varphi_{bf} \rho_{bf} v_{dr,bf} v_{dr,bf} + \varphi_p \rho_p v_{dr,p} v_{dr,p}) \quad (3.22)$$

Bu denklemlerde, v_m , ρ_m ve μ_m karışımın hızı, yoğunluğu ve viskozitesi olarak tanımlanır.

$v_{dr,bf}$ ve $v_{dr,p}$ sırasıyla baz sıvı ve parçacıkların sürüklenme hızıdır ve şu şekilde tanımlanır;

$$v_{dr,bf} = v_{bf} - v_m \quad (3.23)$$

$$v_{dr,p} = v_p - v_m \quad (3.24)$$

Fazlar arasındaki kayma hızı;

$$v_{bf,p} = v_{bf} - v_p \quad (3.25)$$

Sürüklenme hızı ve kayma hızı aşağıdaki bağıntı ile ilişkilendirilir.

$$v_{dr,p} = v_{p,bf} - \left(\frac{\varphi_p \rho_p}{\rho_m} v_{bf,p} \right) \quad (3.26)$$

Kayma hızı aşağıdaki denklemden bulunur.

$$v_{dr,p} = v_{bf} - \sum_s^n \bar{V} \frac{\varphi_p \rho_p}{\rho_m} \quad (3.27)$$

Schiller ve Naumann [79] tarafından geliştirilen denklemden bağlı hız bulunur.

$$v_{p,f} = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu_f f_{drag}} \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_p} \vec{a} \quad (3.28)$$

$$f_{drag} = \begin{cases} 1 + 0,15Re_p^{0,687}, Re_p \leq 1000 \\ 0,0183Re_p, Re_p > 1000 \end{cases} \quad (3.29)$$

Enerjinin Korunumu Denklemi:

$$\nabla(\varphi_p v_p \rho_p i_p + \varphi_{bf} v_{bf} \rho_{bf} i_{bf}) = \nabla(k_{eff} \nabla T) \quad (3.30)$$

3.5.2.3. Eulerian Model

Euler yaklaşımı, fazlar arasındaki güçlü bağlanma nedeniyle en karmaşık çok fazlı modeldir. Euler yaklaşımı ile karışım modeli arasındaki temel fark olan her faz için bağımsız olarak çözülmesidir. Basınç ve fazlar arası değişim katsayıları, sıvı fazlarının türüne (sıvı-sıvı veya sıvı-katı gibi) bağlı olarak denklemlerin birleştirilmesi için kullanılır. Bu model kabarcıklı akışların, akışkan yatakların ve parçacık akışlarının simülasyonu için uygundur. Ayrıca nanoakışkan akış simülasyonları için de uygulanabilir [47].

Süreklilik Denklemi:

$$\nabla(\varphi_q \rho_q \vec{V}_q) = 0 \quad (3.31)$$

Euler modelinde, fazlar arasında farklı bağlantı türleri vardır. Basınç tüm fazlar tarafından paylaşılırken, birincil ve ikincil fazlar dahil olmak üzere farklı fazlar için ayrı süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kullanılır. φ_p her bir fazın nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun kontrol hacmindeki integralidir, tüm fazların nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarının toplamı bire eşittir.

Momentum Denklemi:

q^{th} aşaması için momentum denklemi şu şekilde sunulur:

$$\nabla \left(\varphi_m \rho_q \vec{V}_q \vec{V}_q \right) = -\varphi \nabla P + \varphi_q \nabla \left(\mu_q \nabla \vec{V}_q + \varphi_{bf} \rho_{bf} \overline{v_{bf} v_{bf}} + \varphi_p \rho_p \overline{v_p v_p} \right) + \varphi_q \rho_q \vec{g} + \sum_{k=1}^2 \overline{R_{qk}} + \vec{F}_{(lift,q)} \quad (3.32)$$

$\vec{F}_{lift,q}$ kaldırma kuvvetidir ve $\sum_{k=1}^2 \overline{R_{qk}}$ fazlar arasındaki etkileşim kuvvetlerini ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} \vec{F}_{lift} &= -0,5 \rho_q \varphi_q \left(\vec{V}_p - \vec{V}_q \right) \times \left(\nabla \times \vec{V}_q \right) \\ \sum_{p=1}^n \overline{R_{qp}} &= \sum_{p=1}^n K_{pq} \left(\vec{V}_p - \vec{V}_q \right) \end{aligned} \quad (3.33)$$

Enerji Denklemi:

$$\nabla \left(\varphi_q \rho_q \vec{V}_q H_q \right) = -\nabla \left(K_q \nabla T_q \right) - \tau_{q_i} : \nabla \vec{V}_q + \sum_{p=1}^2 \overline{Q_{pq}} \quad (3.34)$$

Burada $\overline{Q_{pq}} = h \left(\vec{V}_p - \vec{V}_q \right)$ fazları arasındaki ısı değişiminin yoğunluğudur.

$$h = \frac{6k_q \rho_q \varphi_q Nu_p}{d_p^2} \quad (3.35)$$

Bu çalışmada ilk olarak ferronanoakışkan akışının tek faz çözüm yöntemi kullanılarak sayısal analizleri gerçekleştirilmiş olup, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımının akış ve ısı transferine olan etkisi incelenmiştir. Ardından ferronanoakışkanın ve akışa uygulanan manyetik alan uygulamasının taşınımıyla ısı transferine olan etkisini incelenmek için çift faz çözüm yöntemi kullanılmıştır. Çift fazlı yöntemlerden mixture (karışım) modeli uygulanmıştır.

3.6. FERRONANOAKIŞKANLAR

Mıknatıslanma özelliği olan ve manyetik alan uygulamasına tepki veren sıvılardır. Mıknatısın yaydığı çizgilere göre şekil alırlar. Nano teknolojiyi araştırmak için geliştirilen ferronanoakışkanların oluşumu için uzun kimyasal işlemlerden geçmesi gerekir. Ferronanoakışkanların son zamanlarda; mühendislik, endüstri, tıp, kimya vb. alanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır [80].

Ferronanoakışkanlar olarak bilinen, 10 nm'den küçük parçacık boyutlarına sahip manyetit esaslı nanoakışkanlar, ilk olarak 1960 yılında (NASA'da) uzaydaki sıvıyı kontrol etmek için gelişmiş bir yöntem olarak Stephen Pappell tarafından tanıtılmıştır. Ferronanoakışkanlara son zamanlarda harici manyetik alan uygulayarak termal iletkenlikte yüksek artış gösterdikten sonra ısı transferi topluluğunun dikkatini çekmiştir [81].

Manyetik olmayan bir taşıyıcı sıvı içinde süspansiyon halinde tutulan süper paramanyetik nanoparçacıkların kolloidal karışımlarından oluşan ferronanoakışkanlar (veya manyetik nanoakışkanlar), hem manyetik hem de sıvı özellikler sergileyen özel bir nanoakışkan sınıfı oluştururlar. Bununla birlikte, ısı transferi uygulamaları için uygun ferronanoakışkanlar için bir taşıyıcı sıvı seçimi, yüksek iletkenlik, yüksek ısı kapasitesi, yüksek termal genleşme katsayısı, vb. bazı ilave gerekliliklere ihtiyaç duymaktadır. Ferronanoakışkanlarda kullanılan manyetik nanoparçacıklar genellikle demir, kobalt, nikel gibi metal malzemelerden (ferromanyetik malzemeler) ve ayrıca manyetit (Fe_3O_4), spinel tipi ferritler, vb. gibi oksitlerinden (ferromanyetik malzemeler) farklı boyutlarda ve morfolojilerde hazırlanır. Bununla birlikte, ısı transferi uygulamalarında kullanılan uygun MNF için taşıyıcı bir sıvı seçimi, yüksek

iletkenlik, yüksek ısı kapasitesi, yüksek termal genleşme katsayısı, vb. gibi bazı ilave gerekliliklere ihtiyaç duymaktadır [82].

Ferronanoakışkanlar, manyetik olmayan nanoakışkanlara kıyasla aşağıdaki avantajları sunmaktadır [83];

- Sıcaklık gradyanı ve manyetik alan, sıvı içinde bir akış başlatabilen manyetik alan kullanılarak indüklenir. Bu fenomene termomanyetik konveksiyon denir. Termomanyetik konveksiyonun, yerçekimi konveksiyonuna kıyasla daha yüksek olması,
- Harici mıknatıslar uygulayarak ferroakışkanların termal özelliklerini değiştirme olasılığının olmasıdır.

Ferroakışkanın manyetik alandan etkilenmeyen diğer nanoakışkanlardan en önemli farkının kontrol edilebilirliği olduğu düşünülebilir. Bu kontrol mekanizması sabit mıknatıslarla olabileceği gibi mıknatısları açıp kapayarak da oluşturulabilir. Mıknatısı açıp kapama sıklığını arttırmanın (Hz), mıknatıs sayısını arttırmanın, mıknatısın oluşturduğu manyetik alan kuvveti değerini arttırmanın avantajları ferroakışkanlar üzerinde görülmüştür [84].

Sundar vd., yapmış oldukları deneysel çalışmada, ortalama çapı 36 nm olan Fe_3O_4 nanoparçacıklarıyla oluşturulmuş ferronanoakışkanın dairesel kesitli borudaki ısı transfer özelliklerini ve sürtünme faktörüne olan etkisini incelemiştir. Boru içerisindeki akış için; $3000 < Re < 22000$ aralığında ve nanoparçacık hacim konsantrasyonu $0 < \phi < 0,6$ aralığındaki şartlarda değerlendirmişlerdir. Nanoakışkanın ısı taşınım katsayısı, suya göre daha yüksek çıkmıştır ve nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu arttıkça ısı taşınım katsayısında da artış olduğunu gözlemlemiştir. Isı taşınım katsayısı; benzer çalışma koşullarında su akışına kıyasla %0,6 nanoparçacık hacim konsantrasyonu için %30,96 artmıştır. Bununla beraber Darcy sürtünme faktörü ise %10.01 artış göstermiştir [85].

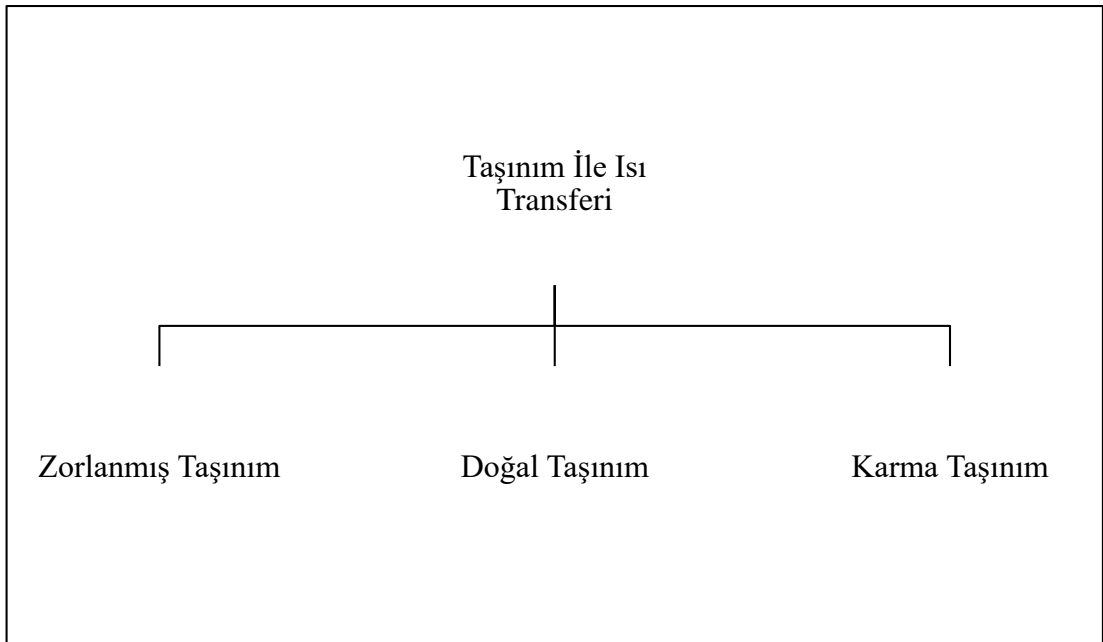
Pastoriza-Gallego vd., yapmış oldukları deneysel çalışmada etilen glikol baz sıvısı içerisindeki Fe_3O_4 nanoparçacıkların termal iletkenliklerini incelemiştir. Termal

iletkenlikteki artışın sıcaklıktan bağımsız, artan nanoparçacık hacimsel konsantrasyonla birlikte paralel olarak artış gösterdiği sonucuna varmışlardır [86].

BÖLÜM 4

TAŞINIM İLE ISI TRANSFERİ

Sıcaklık farkı olan bölgeler arasında, hareketli akışkan parçacıkları yardımıyla olan ısı geçişine taşınım adı verilmektedir. Yapılan araştırmalara göre taşınım özellikleri yüzeyin ve akışın bazı özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Taşınım ile ısı transferini; akışkanın ısı iletim katsayısı, dinamik viskozitesi, özgül ısı, yoğunluğu, hızı, sürtünme oranı ve yüzey geometrisi gibi faktörler etkilemektedir. Ayrıca akışın laminer veya türbülanslı olması durumu da taşınım ile ısı transferini etkileyen faktörler arasındadır. Taşınım ile ısı transferi temel olarak zorlanmış, doğal ve karma taşınım olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Isı taşınım türlerinin sınıflandırılması [87].

Taşınım ile ısı transferindeki temel problem, taşınım katsayısının doğru olarak tespit edilmesidir. Newton'un soğuma yasasına uygun olarak verilen denklemi Eş. (4.1)'de gösterilmiştir.

$$q = q'' A_s = \bar{h} A_s (T_s - T_{fl}) \quad (4.1)$$

Denkleme göre V hızında ve yüzey alanı A_s olan akış için; q'' ısı akısını, \bar{h} ortalama taşınım katsayısını, T_s ise yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Benzer şekilde T_∞ gerçekte akışkan sıcaklığı T_{fl} olup; dış, harici (yüzey üstü) akışlarda;

$$T_{fl} = T_\infty \quad (4.2)$$

Kanal içi (dahili) akışlarda ise;

$$T_{fl} = T_m \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eş. (4.3)'de T_m akışkan (bulk) ortalama sıcaklığını göstermektedir. Eş. (4.4); kanala giren ve çıkan akışkan sıcaklıklarının aritmetik ortalamasını ifade etmektedir:

$$T_{fl} = (T_g + T_c) / 2 \quad (4.4)$$

Yerel ısı akısı yüzeydeki tek bir nokta için geçerli olup, akış koşullarının yüzey üzerindeki noktaya göre değişmesi nedeniyle q'' ve h değişir. Toplam ısı geçiş hızı q ve yerel ısı akısının tüm yüzey üzerindeki integrasyonu Eş. (4.5)'teki gibi elde edilir.

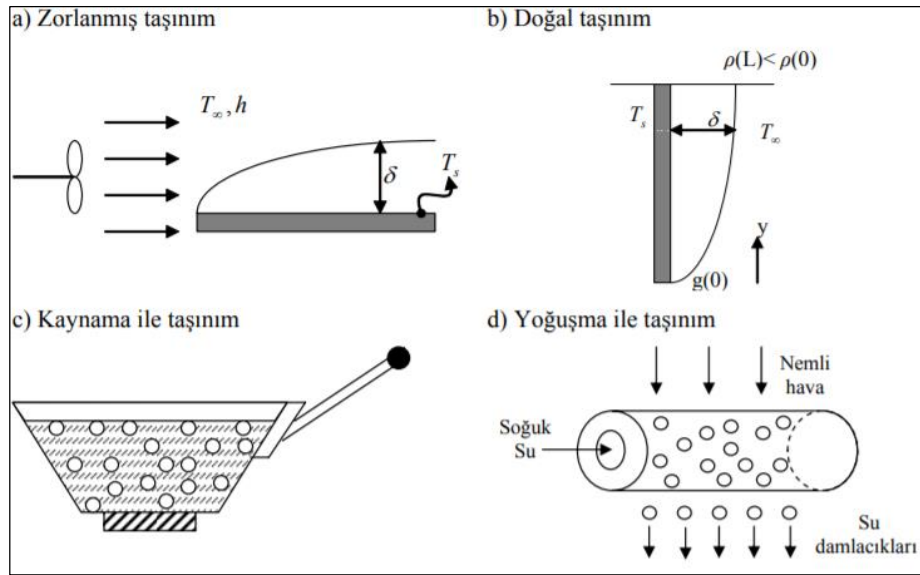
$$q = \int q'' dA_s \quad (4.5)$$

Yerel ve ortalama taşınım katsayıları arasındaki ilişki Eş. (4.6)'da gösterilmiştir.

$$\bar{h} = \frac{1}{A_s} \int h dA_s \quad (4.6)$$

4.1. TAŞINIM TÜRLERİ

Genel olarak taşınım ile ısı transferi; doğal, zorlanmış ve karma taşınım olmak üzere üç şekilde gerçekleşir. Fakat bu sınıflandırma daha çok tek fazlı akışlar için geçerlidir. Faz değişimi ile ısı taşınımı kaynama ve yoğuşma şeklinde kendi içerisinde iki bölüme ayrılmaktadır. Faz değişimi ile ısı taşınımı karmaşık fiziksel mekanizmalar içerirler. Şekil 4.2’de zorlanmış taşınım, doğal taşınım ve faz değişimi ile ısı transferlerinden olan kaynama ve yoğuşma ile taşınım gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Isı taşınım türleri [87].

4.1.1. Zorlanmış Taşınım

Akışkan üzerindeki taşınım ile ısı geçişi; fan, pompa veya akışkan içerisindeki bir cismin hareketi gibi dış kaynakların etkisiyle oluşuyorsa bu duruma zorlanmış taşınım adı verilmektedir. Karıştırıcılar bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Zorlanmış taşınım; fan, pompa gibi dış etkiler yardımıyla meydana geldiği için akış hızları doğal taşınımına göre daha yüksektir.

Zorlanmış taşınım gerçekleşirken iki farklı akıştan bahsedilebilir. Gerçekleşen akış; bir boru demeti, levha gibi yüzey üzerinde sınırlandırılmayan serbest bir akışkan hareketi gerçekleştiği zaman dış akış, kanal veya boru içi akış gibi akışkan hareketi yüzeyler tarafından sınırlandırılıyorsa iç akış olarak değerlendirilir.

Eş. (4.7)'de verilen Gr_L ; Grashof sayısı olarak adlandırılan boyutsuz bir sayıdır. Grashof sayısı, akışkan üzerine etkiyen kaldırma kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranı şeklinde ifade edilir. Re_L ise akışkan üzerine etkiyen atalet kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranı şeklinde ifade edilen Reynolds sayısıdır.

$$\frac{Gr_L}{Re_L^2} \ll 1 \quad (4.7)$$

Zorlanmış taşınım ile ısı transferinde Gr_L ile Re_L arasında Eş. (4.7)'deki gibi bir koşul sağlanırsa doğal taşınım etkileri ihmal edilir.

4.1.2. Doğal Taşınım

Dış etkiler sonucu oluşan zorlanmış taşınımın aksine, akış içerisindeki sıcaklık farkı ile ortaya çıkan taşınım şeklidir. Zorlanmış taşınımında dış etkiler akışkan hareketini oluşturacak yeterli momentumu sağlar. Doğal taşınımında akışkan hareketi zorlanmış taşınımına göre kısmen daha az olduğu söylenebilir.

Doğal taşınımın meydana gelmesi için gerekli olan bir diğer koşul, yoğunluk ile orantılı olan kütle kuvvetidir. En yaygın kütle kuvveti yerçekimi kuvvetidir. Doğal taşınımında akışkanın hareketi akışkan içerisindeki kaldırma kuvveti etkisi ile oluşur. Kaldırma kuvveti, yer çekimi etkisiyle hafif olan akışkanın daha ağır olan akışkanla yer değiştirmesini sağlayan kuvvettir. Günlük yaşamda doğal taşınım ile karşılaştığımız pek çok durum vardır. Örneğin; bardaktaki sıcak kahvenin hava ile soğuması, elektronik aletlerin soğutulması, insan vücudunda meydana gelen ısı transferi vb. gibi durumlar doğal taşınım ile verilebilecek basit örneklerdendir. Başka bir örnek verecek olursak durgun hava içerisindeki sıcak devre elemanları ile temas eden havanın zamanla sıcaklığında artış ve yoğunluğunda bir azalma olacaktır. Isınan hava

çevredeki havadan daha hafif olduğundan dolayı, levhalardan yükselen ılık hava yerini kendisinden daha serin çevre havasının almasını sağlayacaktır.

$$\frac{Gr_L}{Re_L^2} \gg 1 \quad (4.8)$$

Eğer Gr_L ile Re_L arasında Eş. (4.8)'deki gibi bir koşul sağlanırsa, akıştaki zorlanmış taşınım etkileri ihmal edilebilir.

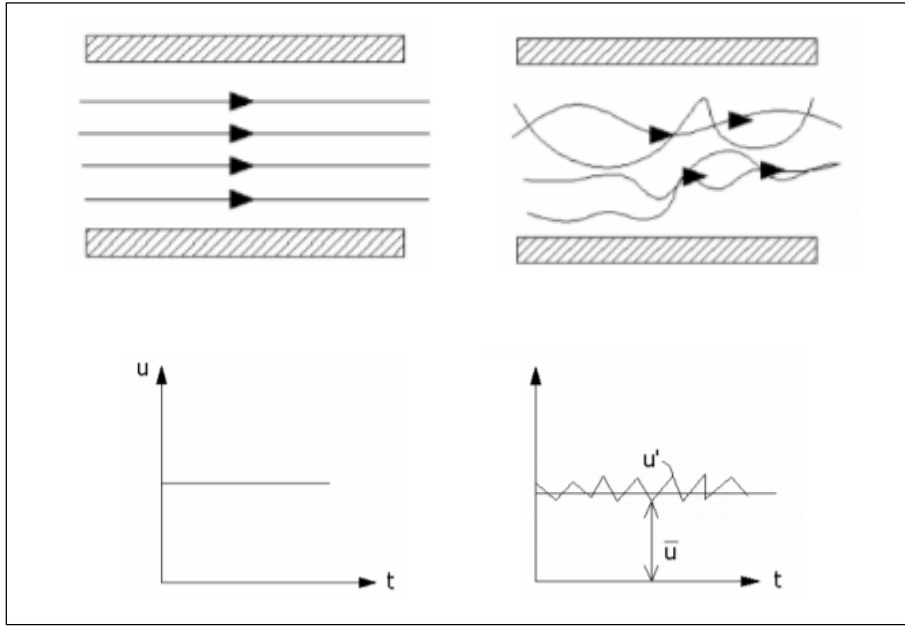
4.1.3. Karma Taşınım

Doğal ve zorlanmış taşınım etkilerinin bir arada görüldüğü taşınım türüne karma taşınım adı verilir. Taşınım ile ısı transferinde zorlanmış taşınımdan bahsederken doğal taşınım etkileri ihmal edilmektedir. Bu yaklaşım aslında bir kabuldür. Doğal taşınımın gerçekleşmesi durumunda kararsız bir sıcaklık grandyanı var demektir. Düşük Reynolds sayılarında doğal taşınımın ihmal edilmesi hataya yol açmaktadır. Doğal ve zorlanmış taşınımın birlikte gerçekleştiği karma taşınımın gerçekleşmesi için Eş. (4.9)'daki verilen şart aranmaktadır.

$$0,01 < \frac{Gr_L}{Re_L^2} < 10 \quad (4.9)$$

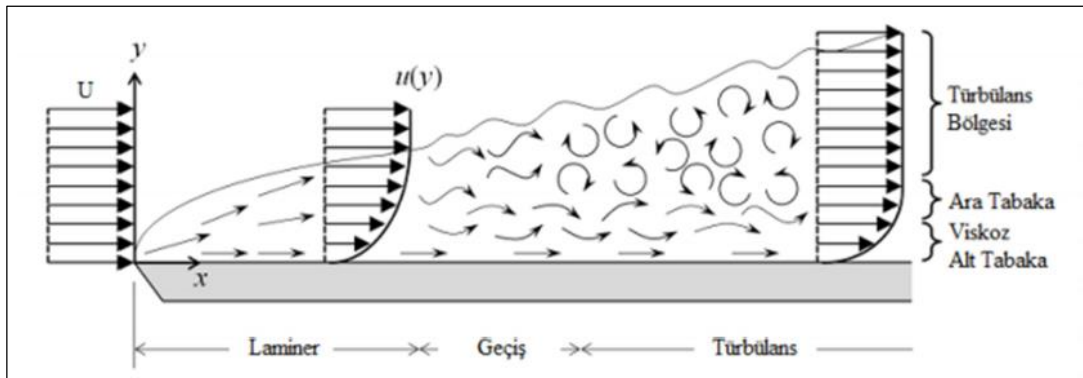
4.2. LAMİNER VE TÜRBÜLANSLI AKIŞ

Akışın karakteristiğine bağlı olarak iki akış türü mevcuttur. Bunlar laminar ve türbülanslı akış olarak adlandırılır. Laminar akış için; akış yapısı, akış tabakalarının hareketi ile tanımlanır. Laminar akış genellikle düşük akış hızlarında görülür. Türbülanslı akış için; akış yapısı, rastgele hareket eden parçacıklarla tanımlanır. Her iki akış türü Şekil 4.3' de verilmiştir. Türbülanslı akıştaki taşınımla ısı geçişi laminar akışa göre çok daha büyük değerler alır [87].



Şekil 4.3. Laminer ve türbülanslı akışlarda akım çizgileri ve hız-zaman grafikleri [87].

Isı taşınım problemleri çözümünde öncelikle sınır tabakanın laminer veya türbülanslı akış olduğunu belirlemek gerekir. Laminer ve türbülanslı akış için düz bir levha üzerindeki hidrodinamik sınır tabaka gelişimi Şekil 4.4’ de gösterilmiştir. Laminer akışın meydana geldiği sınır tabaka içerisinde akışkan hareketi düzenli ve akış çizgisi boyunca hareket etmektedir. Bunun yanı sıra türbülanslı akış sınır tabakasında ise, akış çizgileri düzensiz ve parçacık hareketi dağınıktır. Türbülanslı akışta laminer akışa göre sınır tabaka kalınlığı fazla ve sınır tabaka profilleri daha düzgündür.



Şekil 4.4. Düz bir levha üzerinde laminer ve türbülanslı akışın hız sınır tabaka gelişimi [88].

Akışın karakteristik özelliği boyutsuz olan Reynolds sayısına bağlıdır. Reynolds sayısı, akışkan elemanına etki eden atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranı şeklinde ifade edilir. Reynolds sayısının değeri; akışkanın fiziksel özelliği olan yoğunluk, viskozite, akış hızı ve akış ortamını ifade eden karakteristik uzunluğuna bağlıdır.

$$Re = \frac{V_{ort}x}{\nu} = \frac{\rho V_{ort}x}{\mu} \quad (4.10)$$

Burada; ρ akışkanın yoğunluğu, V_{ort} ortalama hız, x karakteristik uzunluk, ν kinematik viskozite ve μ ise dinamik viskoziteyi temsil etmektedir.

Akışın laminerden türbülanslı akışa geçtiği Reynolds sayısına kritik reynolds (Re_{kr}) sayısı denir. Farklı geometri ve akış şartları için Reynolds sayısının değeri farklılık göstermektedir. Yüksek Re sayılarında akışkanın atalet kuvvetleri, viskoz kuvvetlerine baskın hale gelir ve viskoz kuvvetler akışkanda meydana gelen gelişigüzel hareketleri ve hızlanmayı engelleyemez. Bu aşamada laminer akış durumundan türbülanslı akış durumuna geçiş söz konusudur.

$$Re_{kr} = \frac{\rho V_{ort} L_k}{\mu} \quad (4.11)$$

Levha üzerindeki akışlarda, L_k değeri yerine, L levha uzunluğu ele alınır. Levha üzerindeki akışlarda laminer akış durumundan türbülanslı akış durumuna geçmesi için Reynolds sayısı $Re > 5 \times 10^5$ olarak ele alınır.

Dairesel kesitli borulardaki akışlarda ise L_k değeri yerine borunun çapı olan D değeri ele alınır. Dairesel kesitli borudaki akışlar için;

- $Re < 2300$ için laminer akışı,
- $2300 < Re < 4000$ geçiş rejimini,
- $Re > 4000$ türbülanslı akış modelini ifade etmektedir.

4.3 ISI TRANSFERİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

Gün geçtikçe artan nüfus ile enerji tüketimi de giderek artmaktadır. Enerji tüketiminin artmasıyla birlikte enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar da önem kazanmaktadır. Bu kapsamda endüstrinin çoğu alanında kullanılan ısı değiştiriciler, ısı transferini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmaların başında gelmektedir. Genellikle, ısı transferi arttırma yöntemleri; aktif yöntem, pasif yöntem ve hibrit (bileşik) yöntem olmak üzere üç kategoride sınıflandırılır. Hibrit yöntem karmaşık tasarımlar için kullanılır ve bu nedenle uygulama alanı sınırlıdır. Aktif yöntemler, sürece giriş için harici güce ihtiyaç duyar; aksine pasif yöntemler sistemin termohidrolik performansını arttırmak için herhangi bir ek enerji gerektirmez. Pasif yöntemler, enerji ve maliyetten tasarruf etmek için ısı transferini arttırma ve sürtünme kayıplarını araştırırken hem deneysel hem de sayısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Niçin ısı transferi geliştirilmesine ihtiyaç vardır [89]?

- Pompalama gücünün en aza indirerek yüksek ısı transfer hızı elde etmek.
- Enerji ve malzeme maliyetini en aza indirmek.
- Ekipmanı kompakt hale getirmek.
- Belirli uygulama alanlarında ısı değiştiricisinin minyatürleştirilmesi ihtiyacı gerektirmesi.
- Proses ve sistemlerin verim arttırma ihtiyacı.
- Minimum işletme maliyeti.

4.3.1. Aktif Yöntem

Bu yöntemlerde, ısı aktarımı hızında arttırmaya ulaşmak için bazı harici güç girişlerine ihtiyaç vardır. Ekipman ihtiyacı nedeniyle, bu yöntem birçok pratik uygulamada sınırlı bir yapıya sahiptir. Pasif tekniklerle karşılaştırıldığında, bu teknikler pek çok durumda harici güç girişi sağlamak zor olduğundan çok fazla potansiyel göstermemiştir.

4.3.1.1. Mekanik Karıştırıcılar

Bu cihazlar sıvıyı mekanik yollarla veya yüzeyi döndürerek karıştırma işlemi yapan karıştırıcılardır ve özellikle ısı değıştircilerinde kullanılmaktadır. Mekanik karıştırıcıların örnekleri arasında döner tip ısı değıştirciler ve kütle değıştircileri bulunur. Sıklıkla kullanılan döner tip ısı değıştirciler, akışkanı mekanik olarak sıkıştırır ya da yüzey boyunca döndürürler. Isı aktarım hızını arttırmak için ısıtılmış yüzeyin yakınındaki termal sınır tabakasının kırılması gerekir bunun için de sıvıyı mekanik bir güç ile karıştırmak gerekir. Bu kategoride yer alan en yaygın teknik, akışta türbülans oluşturan ve ısı transfer hızında artışa neden olan mekanik güç yardımı ile ısı transfer duvarını döndürmektir [90].

4.3.1.2. Yüzey Titreşimi

Özellikle tek fazlı akışlarda kullanılır. Daha yüksek ısı transfer katsayıları ile sonuçlanan yüzey titreşimlerini kolaylaştırmak için düşük veya yüksek frekans uygulanır. Katı bir duvardan meydana gelecek periyodik hareket, yüksek frekansta salınım yapan akustik dalgalarla sağlanmaktadır. Yüzey titreşimi için ‘pizoelektrik fan’ yardımıyla salınım yapan kanatlardan faydalanılır. Yüzey titreşimi, ısı transferindeki artışı sağlarken bazı ısı değıştircilerinde tahribata neden olmaktadır.

4.3.1.3. Akışkan Titreşimi

Yüzeye titreşimler uygulamak yerine, sıvının kendisinde titreşimler uygulanır. Akış türbülansı ve akış kararsızlığı yoluyla kırıcı termal sınır katmanına ısı transfer sıvısına titreşim veya salınım hareketi verilir. Alternatif genleşme ve büzülme, girdapların ana akımla değıştirilmesine yardımcı olarak ısı transferi geliştirmesine yol açar. Bu tür titreşim güçlendirme tekniği tek fazlı akışlar için kullanılır. Akışkan titreşimi yöntemi, yüzey titreşimine göre daha avantajlıdır. Zorlanmış taşınımlı akışlarda ve düşük Reynolds sayılarındaki akışlarda kullanışlıdır.

4.3.1.4. Enjeksiyon

Bu teknikte, aynı veya başka bir sıvı, gözenekli bir ısı transfer arayüzü veya ısı transfer bölümünün yukarisından sıvıya enjekte edilir. Yüzeve yakın bölümlerdeki sınır tabaka kalınlığı üzerinde etki gösterirler. Bu teknik, tek fazlı ısı transfer işlemi için kullanılır. Genellikle iç içe borulu ısı değiştiricilerinde kullanılır.

4.3.1.5. Emme

Bu yöntem hem iki fazlı ısı transferi hem de tek fazlı ısı transferi işlemi için kullanılır. Gözenekli yüzeyler veya kanallardan soğutulan ısı transferi akışkanının geçirilerek terleme ile soğutma işlemi yapmasıdır. İki fazlı nükleas kaynama gözenekli bir ısıtılmış yüzeyden buharın çıkarılmasını içerirken, tek fazlı akışlarda sıvı, gözenekli ısıtılmış yüzeyden çekilir. Egzoz yolu soğutması, dış akışlarda geçirgen olan yüzeyin soğutulması vb. örnekler verilebilir.

4.3.1.6. Elektrik Alan

Elektro hidrodinamik kısaca EHD olarak adlandırılan yöntemde akış kontrolünü sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikte, sıvıya yüksek voltaj ve düşük akım ile karakterize edilen bir elektrik alanı uygulanır. Elektrik alanı formunda uygulanan elektrik enerjisi; dielektrik sıvı, elektrik alanıyla etkileştiğinde elektrik enerjisi kinetik enerjiye dönüşerek akış hızı arttırılmaktadır. Isı transferindeki artış, sıvının radyal doğrultuda hareketinin artması ve sınır tabakasının bozulması nedeniyle elde edilmiştir.

4.3.1.7. Manyetik Alan

MHD yöntemleri, manyetik alanın ısı transfer sıvısı üzerindeki etkisini (manyetik sıvı olarak) kullanan EHD' ye benzer. Bu manyetik sıvılar aynı zamanda manyetik nano parçacıkların ve taşıyıcı sıvının manyetik kolloidal çözeltisi olan ferronanoakışkan olarak da bilinir. Manyetit (Fe_3O_4) nanoparçacıklar olarak kullanılır ve su, kerosen ve çeşitli yağlar taşıyıcı sıvı olarak kullanılmaktadır. Ferronanoakışkanlar newtonyen

akışkanları gibi davranır ve manyetik alana tepki verirler. Ayrıca ferronanoakışkan akışı manyetik alan vasıtasıyla kolayca yönlendirilebilir.

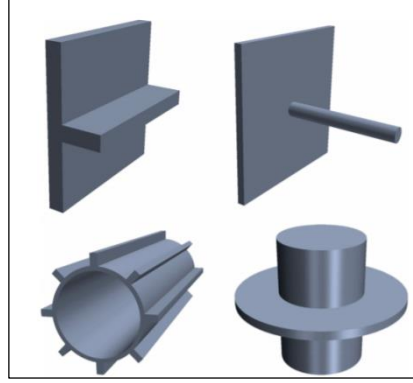
4.3.2. Pasif Yöntem

Bu yöntem, ısı transferini arttırmak için herhangi bir dış enerji gerektirmez. Bu yöntemde, akış alanında türbülans oluşturmak için modifiye edilmiş yüzey veya genişletilmiş yüzeyler kullanılır. Akıştaki türbülans, termal sınır tabakasının kırılmasına neden olan akış düzeninin değiştirilmesine yardımcı olur. Bu yöntemler, aynı zamanda basınç düşüşünün artmasına neden olan akış işlemini değiştirerek ısı transfer oranını artırır [90].

Pasif yöntemlerin uygulanmasıyla ısı transferinde artış sağlarken basınç düşümü sebebiyle akışkanı pompalama için ihtiyaç duyulan enerji miktarında da artışa neden olmaktadır. Pasif iyileştirme yöntemlerinin kullanılmasıyla birlikte çeşitli problemler de oluşturmaktadır. Karşılaşılan bu problemlerden birisi de nükleer santrallerde boru içerisine türbülantörler yerleştirilmesiyle ortaya çıkan akış kaynaklı titreşimler boru ekipmanlarında yorulmalara, hatta rezonans durumunda yorulma kaynaklı çatlama ve kırılmalara neden olmaktadır. Kimyasal proseslerde ise akışkan özelliklerine bağlı olarak kirlenme, çökme gibi problemler meydana gelmektedir. Bu durum ise ısı transferini olumsuz yönde etkilemektedir [91].

4.3.2.1. Genişletilmiş Yüzeyler

En etkili pasif yöntemlerden birisidir. Akıştaki türbülansa ek olarak etkili ısı transfer alanı artırılır. Bu yöntem genişletilmiş yüzeyleri kanatçık olarak kullanır (Şekil 4.5). Bununla beraber genişletilmiş yüzeyler basınç düşüşünü önemli ölçüde artırarak yüksek pompalama gücü gereksinimlerine yol açar. Isı transferi yüzeyini arttıran genişletilmiş yüzeyler; ısı değiştiricileri, soğutucular, kompresörlerde yaygın olarak kullanılırlar [90].



Şekil 4.5. Pasif ısı transferi artırma yöntemlerinden olan bazı kanatçık modelleri.

4.3.2.2. Pürüzlü Yüzeyler

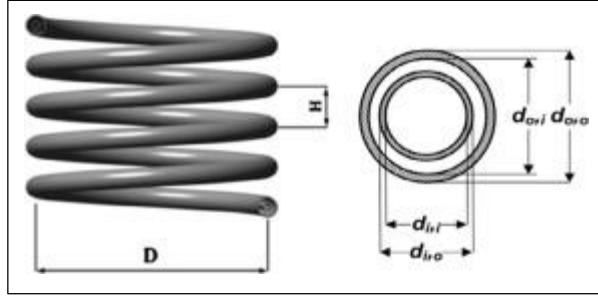
Genellikle, tek fazlı akıslarda akış alanında türbülansı arttırarak ısı transferini iyileştirici etki oluştururlar. Laminer akış koşullarında, pürüzlü yüzeyler ısı transferi arttırma konusunda fazla bir etki göstermezler. Yüzeydeki doğal pürüzlülüğün aksine işlenerek oluşturulan yapay pürüzlülüğün ısı transferine etkisi çok daha fazladır [92].

4.3.2.3. İşlenmiş Yüzeyler

Yüzeyleri veya kaplamaları hassas bir şekilde değiştirilmiş ısı transfer yüzeyleridir. Yüzeyi işleyerek şekil değiştirme ve kaplama işlemi sürekli veya süreksiz olarak uygulanabilir ve bu sayede ısı transferi arttırılır. Öncelikle yoğuşma ve kaynama işlemlerinde kullanılan bir yöntemdir.

4.3.2.4. Sarmal Borular

Bu yöntemler, daha yüksek ısı transfer katsayısını destekleyen ikincil akışlar üretir. Sarmal borular daha kompakt ısı eşanjörleri için uygundur. Akış yönünde kavisli bir şekilde sürekli bir değişim oluşturarak ikincil akış bölgesi meydana getirirler. Ana aksenal akış yönünde helisel vorteksler oluştururlar. Akıştaki meydana gelen bu karışıklık ısı transferinde artışa sebep olur. Kolay uygulanabilirliği sayesinde soğutucu ekipmanlar ve ısı değıştircilerinde tercih edilen bir yöntemdir.



Şekil 4.6. Sarmal tüplü ısı değiştiricinin şematik diyagramı ve kesiti [89].

4.3.2.5. Girdap Akış Cihazları

Bu cihazlar arasında helisel şerit veya özlü vida tipi boru ekleri, bükülmüş bantlar bulunmaktadır. Tek fazlı veya iki fazlı akışlı ısı eşanjörü için kullanılabilirler.

4.3.2.6. Akışkana Parçacık İlavesi

Isı transferi uygulamalarında kullanılan su, etilen glikol, yağ vb. gibi geleneksel akışkanların ısıl iletkenlikleri düşüktür. Isı transferi artırma yöntemlerinden olan pasif yöntemlerden birisi de akışkana parçacık eklenmesidir. Akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutundaki katı parçacıkların eklenmesi akışkanın ısıl iletkenliğini arttırmaktadır. Fakat milimetre veya mikrometre boyutundaki parçacıklarla hazırlanan süspansiyonların kanal içerisinde tıkanma, ani basınç düşüşlerine, aşınma ve çökme gibi problemlere neden olduklarından dolayı endüstriyel işlemlerde kullanımı uygun bulunmamıştır. Malzeme bilimindeki gelişmelerle birlikte nanometre boyutunda parçacıkların üretilmesi bu problemin giderilmesine neden olmuştur. Bakır, gümüş, alüminyum gibi ısıl iletkenliği yüksek nanometre boyutundaki katı parçacıkların geleneksel akışkanlara ilave edilmesiyle yeni bir ısı transferi akışkan çeşidi üretilmiştir. Bu üstün özellik sergileyen yeni ısı transferi akışkanlarına “nanoakışkan” adı verilmektedir [91].

4.3.3. Hibrit Yöntem

Aktif ve pasif ısı transferi artırma yöntemlerinden iki veya daha fazlasının birlikte kullanılması hibrit yöntemleri oluşturmaktadır. Her iki yönteminde birlikte

kullanılması ısı transferi açısından iyi sonuçlar vermektedir. Ancak maliyeti diğer yöntemlere göre yüksek olabilmektedir. Bu yöntemlerde verimlilik analizlerinin iyi yapılması gerekir.

Mevcut tez çalışmasında dairesel kesitli kanal içerisinde akan akışkan olarak ferronanoakışkan kullanılmış olup, dışarıdan sabit bir manyetik alan uygulaması gerçekleştirilmiştir. Pasif yöntemlerden nanoakışkan kullanımı ve aktif yöntemlerden biri olan manyetik alan uygulamasının beraber kullanılması hibrit yöntem olarak adlandırılabilir. Dolayısıyla, gerçekleştirilmiş olan bu çalışma hibrit yöntemlere örnek teşkil etmektedir.

BÖLÜM 5

MANYETOHİDRODİNAMİK AKIŞ

Yapılan bu tez çalışmasında, ısı iletkenliği arttırmak amacıyla pasif yöntemlerden olan akışkana nanoparçacık eklemenin yanı sıra, aktif bir yöntem olan akışkana dışarıdan manyetik alan uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Manyetohidrodinamik (MHD) kelimesinin etimolojik kökeni; manyetik alandan kaynaklanan “manyeto”, akışkan anlamındaki “hidro” ve hareket anlamındaki “dinamik” kelimelerinin birleşimine dayanmaktadır. Kısaca MHD, elektriksel iletkenliği olan akışkanların elektromanyetik alandaki dinamiğini inceleyen disiplindir. Bu kavram literatürde ilk defa Hartmann tarafından kullanılmış ve yine kendisince geliştirilerek 1970 yılı Nobel Fizik Ödülünü almasına yol açmıştır [93].

Manyetohidrodinamik manyetik bir alana veya harici bir voltaj tarafından tahrik edilen elektrik akıma maruz kalan elektriksel olarak iletken sıvıların akışıyla ilgilenir. Hartmann'ın 1937 yılında gerçekleştirmiş olduğu deneysel çalışmada, ilk kez iki plaka arasındaki elektriksel iletkenliği olan akışkanın MHD akışı incelenmiştir [94].

Isı transferini arttırmak için kullanılan yöntemlerden olan manyetiklenebilen nanoakışkanlara uygulanan manyetik alan kuvvetidir. Ferronanoakışkanlar son yıllarda önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. MNF'ler veya ferronanoakışkanlar, uygun stabiliteyi sağlamak için oleik asit gibi yüzey aktif madde tabakaları ile kaplanmış manyetik olmayan bir baz sıvı içerisindeki manyetik nanoparçacıkların süspansiyonlarıdır. Ferronanoakışkanlarda kullanılan manyetik nanoparçacıklar genellikle demir, kobalt, nikel gibi metal malzemelerden (ferromanyetik malzemeler) ve ayrıca manyetit (Fe_3O_4), spinel tipi ferritler, vb. oksitlerinden (ferromanyetik malzemeler) farklı boyutlarda ve morfolojilerde hazırlanır [27].

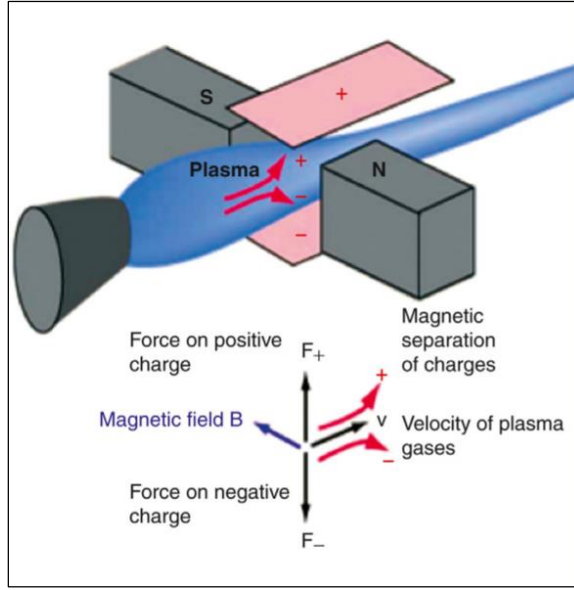
Manyetik olmayan bir taşıyıcı sıvı içinde süspansiyon halinde tutulan süper paramanyetik nanoparçacıkların koloidal karışımlarından oluşan ferronanoakışkanlar (manyetik nanoakışkanlar), hem manyetik hem de sıvı özellik sergileyen özel bir nanoakışkan sınıfını oluştururlar [82].

MHD akışın iletken özellik gösteren (sıvı metaller) nanoakışkanlarda kullanılması ve özellikle taşınım ile ısı transferine olan etkileri literatürde geniş bir araştırma konusu haline gelmiştir. Sıvı metal nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin yüksek olması, elektriksel iletkenliklerinin de yüksek olacağı anlamına gelmektedir. Son zamanlardaki çalışmalarda, ferronanoakışkanlar harici bir manyetik alan uygulanması ile termal iletkenlikte artış gösterdiklerinden dolayı ısı transfer topluluğunun dikkatini çekmiştir. MHD viskoz akışlar; endüstriyel ve teknolojik alanda yüksek sıcaklık plazmaları, nükleer reaktörlerde soğutma, sıvı-metal akışkanlar, jeneratörler, pompalar ve debimetreler gibi geniş ölçüde uygulama alanı bulan mühendislik sistemlerin tasarımı üzerinde çalışılması gereken önemli bir konudur.

Manyetik alan nedeniyle duvara yaklaşan nanoparçacıkların zincir benzeri bir yapı oluşturarak bölgesel ısı iletim katsayısını artırması, bu yöntemle ısı transferini artıran temel nedendir. Bu tip nanoakışkanların ana özelliği, termal özelliklerin iyileştirilmesinin yanı sıra, hem diğer manyetik malzemelere benzer manyetik özellikler göstermesi hem de diğer sıvılar gibi akışkanlığa sahip olmalarıdır. Bu benzersiz özellik, manyetik alan uygulayarak sıvı akışını, ısı transferini ve parçacık hareketini kontrol etmeyi mümkün kılar. Mıknatıslanma özelliği büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olduğu için minyatür enerji dönüşümü ve ısı taşınım sistemleri için umut vaat eden sıvılar olarak değerlendirilir. Özellikle, harici bir manyetik alan vasıtasıyla ısı transfer işlemi ve akışkan akışını indüklemeye ve kontrol etmede, teknolojik amaçlar için manyetik olarak kontrol edilen termosifonlar, yüksek güçlü elektronik sistemlerin soğutulması, manyetik kontrollü transformatörler ve enerji dönüşüm sistemlerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [31].

MHD'yi oluşturan temel kavram, manyetik alanın hareketli iletken bir sıvıdaki akımı indükleyebilmesidir. Bu da sıvı üzerinde kuvvetler yaratır ve manyetik alanın

kendisini değiştirir (şekil 5.1). MHD' yi tanımlayan denklemler kümesi, akışkan dinamiğinin Navier-Stokes denklemleri ile Maxwell'in elektromanyetizma denklemlerinin bir kombinasyonudur. MHD akış denklemleri, iletken bir sıvının manyetik alan altındaki hareketini tanımlar. Bu diferansiyel denklemler analitik veya sayısal olarak aynı anda çözülmelidir.



şekil 5.1. Manyetik alan varlığında hareketli bir iletken sıvıda indüklenen akım [95].

Elektriksel iletkenliğe sahip hareket halindeki akışkana, dışarıdan manyetik alan uygulanmasıyla akışkanda elektrik akımı indüklenir. Manyetik alan ile akışkanda oluşan elektrik akımı arasında bir kuvvet etkisi meydana gelir ve bu kuvvete Lorentz kuvveti adı verilmektedir. Lorentz kuvvetlerinin etkisiyle akışkan hareketi üzerinde oluşan etkiden dolayı ısı iletimi de bu durumdan etkilenir. Lorentz kuvvetinin matematiksel formülasyonu $J \times B$ şeklindedir. Bu formülasyona göre J indüklenen elektrik akım yoğunluğunu, B ise manyetik indüksiyonu ifade etmektedir [96].

5.1. MHD AKIş UYGULAMA ALANLARI

MHD uygulamaları, sıvı metallerden uzay plazmalarına kadar farklı birçok alanı kapsamaktadır. Başlangıçta, bu fizik dalı, İsveç fizikçi Hannes Alfvén'in plazma fizik uygulamaları bağlamında, özellikle magnetosferik ve uzay plazma fiziğinde öncü

çalışmalarıyla doğmuştur. MHD' nin geniş konusu, güneş fiziği, jeofizik, füzyon enerjisi araştırmaları ve endüstriye geniş uygulanabilirliği nedeniyle dikkat çeken bir uygulama alanı haline gelmiştir. Manyetik alanın iletken sıvılar (sıvı metaller) üzerindeki etkileri de son zamanlarda sıklıkla çalışılan bir konu haline gelmiştir [97].

MHD akış uygulama alanlarından bazıları aşağıdaki gibidir:

- Astrofizik (planet manyetik alan)
- MHD pompaları (1907)
- MHD jeneratörleri (1923)
- MHD akış uygulamaları (1935)
- Malzeme ve Metalurji Endüstrisi (indüksiyon ocağı ve Al ve Fe dökümü)
- Metallerin dağılması (granülasyon)
- Havacılık ve uzay sanayii
- Manyetik filtrasyon ve ayırma
- Nükleer enerji ve Füzyon reaktörleri

BÖLÜM 6

SAYISAL ANALİZ

Sayısal analiz yöntemleri, mühendislik ve fiziksel sistemlerin matematiksel modellerini ifade eden denklemlerin analitik çözümün zor olduğu durumlarda bu denklemleri bilgisayar yardımıyla çözmek için kullanılan yöntemlerdir. Sayısal yöntemlerin en büyük avantajı ise analitik çözümü olmayan problemlerin dahi çözümlenebilmesi ve bilgisayar simülasyonlarının gerçekleştirilebilmesidir. Sayısal analiz çözümlerinde istenilen problemlere yaklaşık çözümler elde edilir. Sürekli gelişme gösteren bilgisayar teknolojisi sayesinde sayısal analiz kullanımını artmış ve daha karmaşık problemlerin bile modellenip çözülmesinde etkili bir çözüm aracı haline gelmiştir.

Sayısal analiz bölümünde, çalışmada kullanılan sayısal olarak çözümlene yapan akışkanlar dinamiği paket programı Ansys Fluent 19.0 koduna ait bilgiler ve sayısal çözümlene yöntemine ait bilgiler verilmiştir.

6.1. PROBLEM TANIMI

Gerçekleştirilen sayısal çalışmada boyu 1,5 m ve çapı 1,6 cm olarak belirlenen dairesel kesitli kanal kullanılmıştır. İncelenen kanal geometrisi yüzeyine manyetik alan uygulanabilmesi için 3 bölüme ayrılmıştır. Akışkan olarak Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanı kullanılmış ve akışa dik yönde manyetik alan uygulaması gerçekleştirilmiştir. %1,0; %2,0 ve %5,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlardaki Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının sürekli, sıkıştırılmaz, laminer akış şartları altındaki akışı Ansys Fluent 19.0 kodu kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Boru yüzeyine $q_w=6300 \text{ W/m}^2$ sabit ısı akısı uygulanmış olup borunun 1,2-1,3 m olan bölümüne 0,1; 0,2 ve 0,3 T büyüklüklerinde sabit manyetik alan uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Akışkan giriş sıcaklığı 300 K olarak belirlenmiştir. Problemin geometrik görünümü, Şekil 6.2’ de verilmiştir.

Probleme ilgili denklemler; sonlu hacimler yöntemine dayalı çözümleme yapan Ansys Fluent 19.0 paket programı yardımıyla, belirlenen sınır koşullarına bağlı olarak sayısal olarak çözülmüştür. HAD analizinde basınç ve hız alanlarını birbirine bağlamak için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Daha yüksek sayısal hassasiyet elde etmek için, ikinci mertebeden bir yukarı akım şeması; süreklilik, momentum ve enerji denklemleri için 10^{-6} ’dan daha küçük bir kalıntısız yakınsama kriteri kullanılmıştır. Kanal içerisindeki akış; laminar, üç boyutlu, sıkıştırılamaz akış olarak tanımlanmıştır. Saf su ve Fe₃O₄ nanoparçacığı için termofiziksel özellikler Çizelge 6.1’de, HAD simülasyonunda kullanılan farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ise Çizelge 6.2’de verilmiştir. Nanoakışkanın farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlardaki termofiziksel özellikleri Eş. (6.16) – Eş. (6.19) kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.1. Su ve Fe₃O₄ nanoparçacığına ait termofiziksel özellikler.

Özellik	Su	Fe ₃ O ₄
ρ (kg/m ³)	998,2	5180
k (W/mK)	0,6	6
Cp (J/kgK)	4182	670
μ (kg/ms)	1.003	-
σ ($\Omega^{-1}m^{-1}$)	0,05	25000

Çizelge 6.2. Fe₃O₄-su nanoakışkanına ait termofiziksel özellikler.

Φ (%)	ρ (kg/m ³)	k (W/mK)	μ (kg/ms)	Cp (J/kgK)
1,0	1040,624	0,6096	1,0806	4152,08
2,0	1083,026	0,6186	1,16	4122,1
5,0	1208,81	0,665	1,3	4022

6.2. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ

Teknolojide meydana gelen gelişmeler, bilgisayar program ve yazılımlarının da gelişmesiyle ürün tasarım ve geliştirilmesinde önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), özellikle akışkan hareketi ve ısı transferi gibi mühendislik alanlarında detaylı hesaplamaların yapılabildiği bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. Bu yöntemde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri esas alınarak akış içerisindeki basınç, hız ve sıcaklık parametrelerine bağlı birçok alt veriye ulaşılabilmektedir. Gelişen teknoloji ile HAD, ürünlerin tasarım aşamasında ve araştırma-geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. HAD metodu kullanılarak; yeraltı rezervuarlarındaki sıcaklık dağılımı, uçak kanadı ve taşıtların aerodinamik yapısı, boru içi akışları, turbo makineler, pompa ve türbinler vb. gibi endüstriyel ve akademik uygulama alanlarında birçok parametre elde edilir. Son zamanlarda HAD metodu ve gelişen bilgisayar yazılımları ile dinamik sistemlerin ve yüksek türbülanslı akışların sayısal olarak incelenmesine ve simüle edilmesine imkan sağlanılmıştır. Aynı zamanda HAD, tek faz akışların yanı sıra çok fazlı akışlar için de kullanılabilir hale gelmiştir [98].

HAD' in probleme ait geometrinin oluşturularak analiz edilmesi, deneysel çalışmalarda zaman ve ekonomik açıdan fayda sağlamıştır. Endüstriyel ve akademik uygulamalarda deney ve test düzeneğinin maliyetinin yüksek oluşu ve deney sürelerinin uzun zaman alması, HAD kullanımını cazip hale getirmiştir. HAD avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [99];

- Karmaşık akış ve fiziksel koşulların rahatlıkla simüle edilebilmesi,
- Deney düzeneğine ihtiyaç duyulmadan problemin çözülebilmesi,
- Yeni tasarlanacak sistemlerin konsept çalışmalarına imkan sağlaması,
- Deney düzeneklerine kıyasla daha az maliyetle detaylı ürün üretiminin sağlanması,
- Ürünün test aşamasına gelmeden önce, herhangi bir aksaklık olması durumunda model ve tasarımda gerekli değişikliklerin yapılabilmesi,
- Pratikte deneysel yöntemlerle takip edilemeyen akışlar, HAD yöntemi ile rahatlıkla görüntülenebilmesi.

HAD analizleri üç temel araç içermektedir [100].

1. Ön İşlemci (Pre-Processor): HAD programlarına akışkan problem çözümü için kullanıcı tarafından belirlenen girdileri içermektedir. Bunlar;

- Geometrinin belirlenmesi
- Sayısal ağ yapısının oluşturulması
- Fiziksel model seçimi
- Akış özelliklerinin tanımlanması
- Sınır şartlarının tanımlanması

2. Çözümleyici (Solver): Bu adımda üç ayrı çözüm yöntemi yer almaktadır. Bu yöntemler; sonlu hacimler yöntemi, sonlu fark yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemidir. Sayısal metodların çözümleyici aşamasında oluşturulan başlıca adımlar;

- Akışın bilinmeyen değerlerinin basit fonksiyonlar cinsinden tanımlanması
- Problem için oluşturulan denklemlere yapılan yaklaşımların uygulanması ve ayrıklaştırma işlemleri
- Cebirsel denklemlerin çözümü

3. Son işlemci (Post-Processor): Elde edilen çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi işlemidir. Bunlar;

- Vektörel grafikler
- İki veya üç boyutlu grafikler
- Kontur grafikleri, akım çizgileri
- İlgili parametrelere ait sayısal sonuçlar

6.3. SONLU HACİMLER YÖNTEMİ

Konum ya da zaman gibi değişkenlere bağlı fizik problemlerinin çözümü kısmi diferansiyel denklemler ile yapılabilmektedir. Karmaşık problemlerin çözümü analitik çözüm yöntemleriyle yapılamadığı zamanlarda, çözümünün kolay ve anlaşılabilir hale gelmesi için alt problemlere ayrılarak çözümün kolay hale gelmesi sağlanır.

Mühendislik problemlerinin çözüm yöntemlerinde bu yöntem kullanılarak, gerçeğe yakın sonuçlar elde edilir. Sayısal analiz yöntemleri olmasaydı, yeteri derecede hassasiyetle mühendislik problemlerini çözmek imkansız olacaktı. Mühendislik problemleri analizlerinde kullanılan bu yöntemin esas aldığı prensip, fiziksel büyüklükler arasındaki bağı ifade eden denklemlerin oldukça küçük bölgede oluşturulabilmesidir. Analizlerde yapıyı küçük parçalara ayırmak ve bu parçalar arasındaki bağları oluşturarak, termal analiz problemlerinde sıcaklık ve ısı gibi fiziksel büyüklükleri hassasiyetle hesaplamak mümkündür. Küçük parçalara ayrılan bu bölgelerin sayısı arttıkça hassas çözüm kabiliyeti de artmaktadır.

Akış problemlerinin de türbülans etkisi ve üç boyutlu oluşlarından dolayı denklemlerin analitik olarak çözümü pek mümkün değildir. Bu nedenden dolayı denklemlerin çözümü için farklı sayısal yöntemler geliştirilmiştir. Bu sayısal yöntemlerden bazıları; sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sonlu hacimler olarak genellenebilir. Bu üç yöntem de akışkanlar mekaniği problemleri için uygulanabilir fakat sonlu hacimler yöntemi ile daha kolay ve hassas çözümler elde edilmektedir. Bu yöntemin yaygın kullanılmasındaki bir diğer etken ise, daha kompleks ve eğrisel geometrilere uygulanabilir olmasıdır.

Navier-Stokes ve Enerjinin korunumu denklemlerinin çözüm yöntemlerinden birisi de sonlu hacimler yöntemidir. Akış hareketini belirleyen denklemler her bir ağ yapısı için ayrıştırılarak iteratif bir çözüm gerçekleştirilir. Navier-Stokes ve Enerjinin korunumu gibi denklemleri daha iyi analiz etmek için Φ gibi herhangi bir parametre tanımlanırsa, herhangi bir kontrol hacmindeki kararlı rejim için V akışını veren bağıntı Eş. (6.1)'deki gibi tanımlanabilir. Akışkanlar mekaniğinde bu denklem; süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin yerini alabilen transport denklemi olarak bilinir. Eş. (6.1)'de Φ değeri 1 olduğunda süreklilik denklemine, sıcaklık (T) olduğunda enerji denklemine ve hız (V) olduğunda momentum denklemine dönüşür. Bu denklemlerin diferansiyel biçimi olan Navier-Stokes denklemlerinin yaygın olarak kullanımı Eş. (6.1) – Eş. (6.4)'de verilmiştir. [100].

$$\oint \rho V dA = \oint \Gamma_{\phi} \nabla \Phi dA + \int_H S_{\phi} Dh \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho V) = 0 \quad (6.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho V) + V(\nabla \rho V) + \rho V \nabla V = -\nabla_p + \nabla_{\tau_{ij}} + \rho f \quad (6.3)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla E V = \rho f V + \frac{\partial Q}{\partial t} - \nabla_q - \nabla(\rho V) + \nabla(\tau_{ij} V) \quad (6.4)$$

Eş. (6.1)- Eş. (6.4)'de verilen denklemlerde ρ yoğunluk; V hız vektörü; A yüzey alanı vektörü; Φ için Γ_ϕ difüzyon katsayısı; S_ϕ her bir kontrol hacmi için Φ 'nin kaynağı; H kontrol hacmi; τ kayma gerilmesi; p basınç; f dış kuvvetler vektörü; Q ısı; q ısı akısı vektörü; E toplam enerjii ifade eder.

6.4. ANSYS FLUENT

Ansyes paket programı; bilimsel deneyleri, mühendislik uygulamalarını dijital olarak modellenme imkanı sunan bir yazılım türüdür. Analizlerdeki fiziksel problemleri çözebilmesi için bilgisayar tabanlı sayısal metotları kullanarak gerçekleştirir. Ansys programı ile; ısı transferi, malzeme dayanımı, akışkan akışı vb. alanlarda sayısal analiz yapılarak problem çözümü gerçekleştirilir. Ansys programı kullanımının temel amacı sistemlerin veya ürünlerin üretilmeden önce modellenmesi ve gerekli analizlerinin yapılarak üretim ve kullanım öncesinde olası hataları tespit etmektir.

Ansyes programı, teknoloji ve mühendislik alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları şunlardır [101].

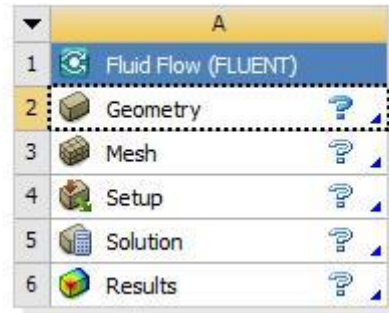
- Havacılık ve uzay
- Otomotiv sanayisi
- Yenilenebilir enerji sektörü
- Elektronik ve robotik sistemler
- Isıtma ve Soğutma sektörü
- Enerji teknolojileri

- Havalandırma sektörü
- Kömür, petrol ve doğal gazın işlenmesi

Ansyes, farklı modülleriyle birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Ansyes programı ile katı modellerin haricinde sıvılar, yarı akışkan durumundaki maddeler ve gazlar ile ilgili çalışma ve analizler de gerçekleştirilmektedir. ANSYS programı ile canlılardaki dolaşım sistemi, uçak kanatlarında meydana gelen hava akışı, bina içerisindeki sıvı akışı, türbinlerdeki akışın modellenmesi vb. pek çok alanda kullanılmaktadır [102].

Ansyes Fluent programı ise, ileri çözüm teknolojisi ve içerisinde bulunan farklı fiziksel modeller sayesinde; farklı akış koşullarında (laminar, geçişsel ve türbülanslı), ısı transferi ile (iletim, taşınım, radyasyon) ısı geçişini içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üreterek, Araştırma-Geliştirme bölümlerinde ön aşama olan tasarım sırasında kullanılan en güvenilir yöntemlerden biridir. Ansyes Fluent programında sayısal analiz 5 aşamada gerçekleşmektedir.



Şekil 6.1. Ansyes fluent akış şeması

Şekil 6.1'den de görüldüğü gibi sayısal çözümleme basamakları;

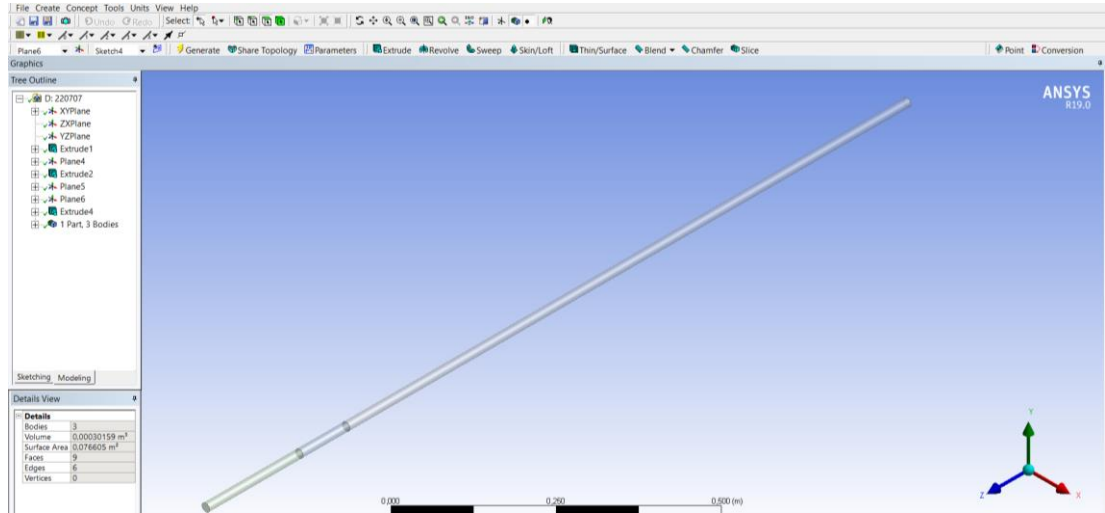
1. Geometry (Geometrinin oluşturulması)
2. Mesh (Sayısal ağ yapısının oluşturulması)
3. Setup (Problem ayarları ve sınır koşullarının belirlenmesi)
4. Solution (Sayısal sonuçların elde edilmesi)

5. Results (Sayısal sonuçların irdelenmesi)

olmak üzere 5 adımda gerçekleştirilmektedir.

6.4.1. Geometrinin Oluşturulması (Geometry)

Yapılan sayısal çalışmada kullanılan geometri, Ansys Fluent 19.0 arayüzünde gerçek boyutlarıyla çizimi gerçekleştirilmiştir. Geometrik model Ansys Fluent programının haricinde farklı çizim programlarında da oluşturulabilir. Farklı bir çizim programında oluşturulan geometri, Ansys Fluent arayüzüne aktarılarak sayısal analizleri gerçekleştirilir.

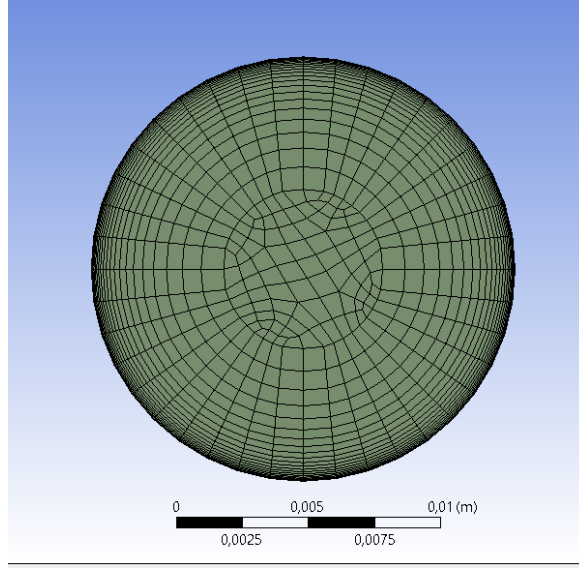


Şekil 6.2. Ansys Fluent programında geometrinin oluşturulduğu sayfa görüntüsü.

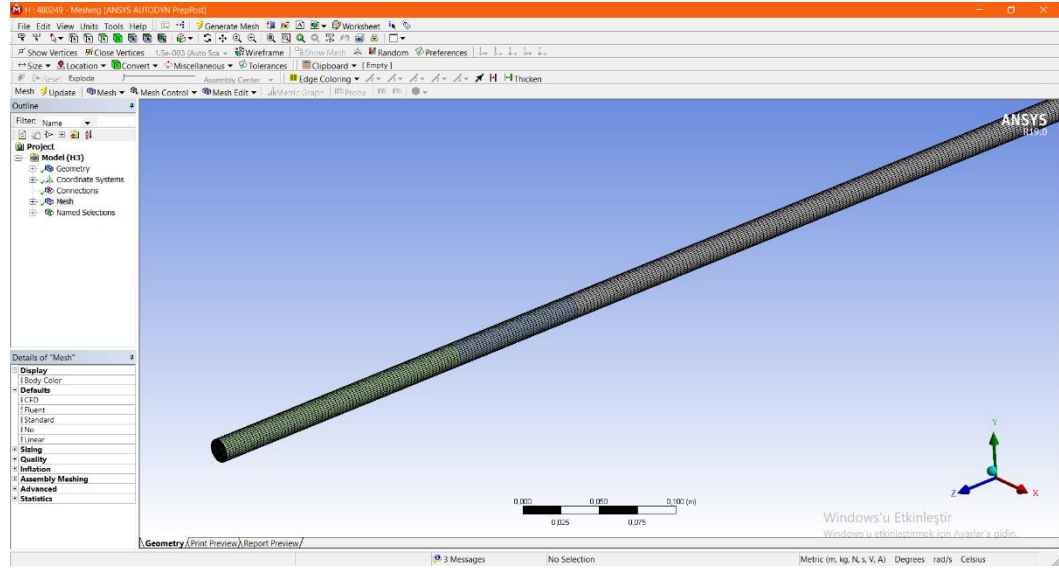
6.4.2. Sayısal Ağın Oluşturulması (Mesh)

Model geometri oluşturulduktan sonra, uygun sayısal ağ yapısının (mesh) belirlenmesi işlemine geçilmiştir. HAD analizlerinde sayısal ağ yapısının (mesh) belirlenmesi en önemli aşamaların başında gelmektedir. Geometri ne kadar küçük parçalara ayrılırsa sonuçlar o derece doğruluğa yaklaşması beklenmektedir. Fakat geometrinin küçük parçalara ayrılmasıyla, yoğun bir ağ yapısı oluşmakta ve bilgisayarın çözüm süresini arttırarak analiz sürelerini uzatmaktadır. Bu gibi sorunlarla karşılaşmamak için optimum ağ yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, analizlerde önemli olan

bölgelerde daha yoğun ağ sayısı ile çalışmak doğruluğu arttıracaktır. Uygun ağ (mesh) yapısı ile çalışılmaması durumunda elde edilen sonuçların hatalı olmasına neden olmaktadır. Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de analizi yapılan sayısal çalışmanın örnek ağ yapısı görüntü örnekleri sunulmuştur.



Şekil 6.3. Sayısal çalışmada kullanılan ağ yapısının kesit görünümü.



Şekil 6.4. Sayısal çalışmada kullanılan ağ yapısının genel görünümü.

Duvara yakın bölümlerde sınır tabakalarının doğruluğu için daha yoğun ağ yapısı kullanılmıştır. Sayısal çalışmaların başlangıcında farklı ağ sayıları için analizler yapılmış

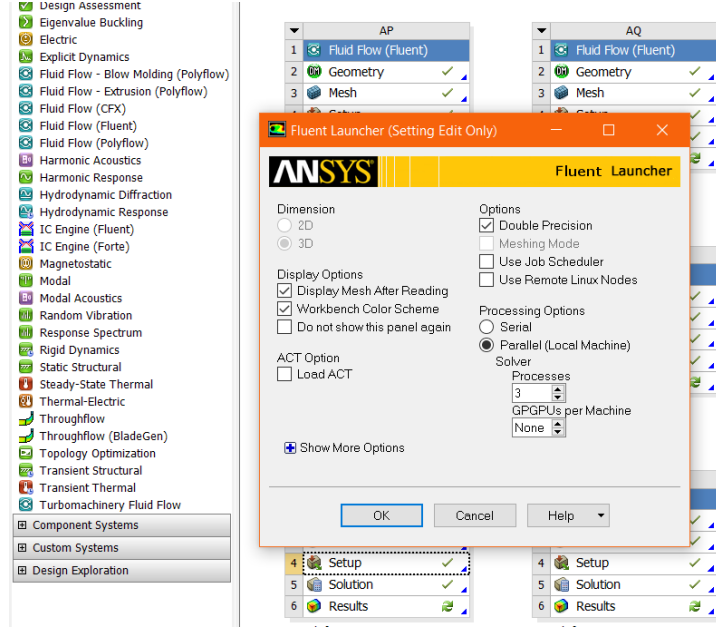
ve sonuçların ağ yapısından bağımsız olmasını sağlayacak optimum ağ sayısı değeri tespit edilmiştir. Bunun için çalışma akışkanı olarak saf su kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden farklı ağ sayıları ile yapılan çözümler neticesinde elde edilen Nusselt sayısı, ve ısı taşınım katsayısı örnek olarak Çizelge 6.3. ile sunulmuştur. Optimum ağ sayısı en yüksek Reynolds sayısı ($Re=2000$) için elde edilmiştir. Sonuçların değişmediği veya değişimlerinin minimum seviyelerde olduğu ağ sayısı optimum ağ yapısı olarak seçilmiştir. Bu bağlamda, gerçekleştirilen analizlerden 698637 parça ve 711236 düğüm noktası değerlerinin optimum ağ yapısı olduğu tespit edilmiştir ve sayısal analizler bu ağ yapısı üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.3. Farklı ağ yapıları oluşturularak ağ yapısının belirlenmesi.

No	Ağ Sayısı	Düğüm Sayısı	h (W/m ² K)	Nu
1	110208	117078	350,1268	9,31
2	220707	227036	352,5288	9,4
3	383056	390775	352,8502	9,4
4	480249	492480	351,5763	9,375
5	522830	532440	351,8731	9,38
6	698637	711236	352,4488	9,39
7	720117	731680	352,3657	9,39
8	880143	894156	352,2781	9,39
9	1091721	1107204	352,2878	9,39

6.4.3. Problem ve Sınır Koşullarının Belirlenmesi (Setup)

Sayısal analizde problemin tanımlanması, çözüm için belirlenen sınır şartlarının uygulanması ve çözüm algoritmalarının belirlenmesi bu aşamada gerçekleştirilir. Sayısal analiz üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiş olup ve daha hızlı çözümler elde etmek için 3 adet paralel işlemci kullanılmıştır (Şekil 6.5).

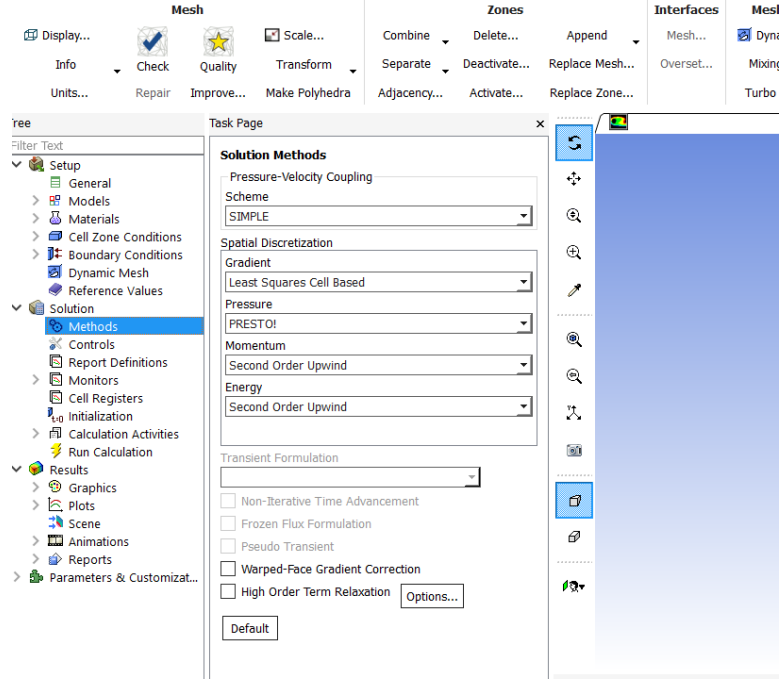


Şekil 6.5. Setup bölümü için giriş sekmesi.

Sayısal çözüm için kullanılacak denklemlerin (süreklilik, momentum, enerji) belirlenmesi ve problem sınır şartlarının belirlenerek programa tanıtılması bu aşamada gerçekleştirilmiştir. Ayrıca nanoakışkan için belirlenen termofiziksel özelliklerin problem tanımlanması da bu aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle saf su için sayısal çözümler yapılmış olup ardından farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlardaki ferronanoakışkan için sayısal çözümler yapılmıştır.

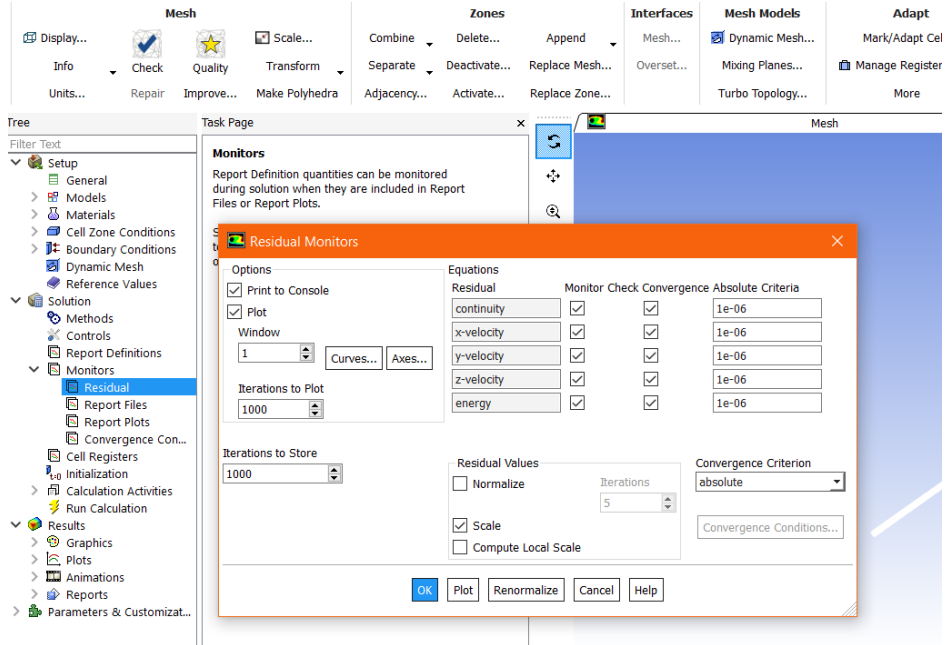
6.4.4. Analiz (Solution)

Bu aşamada sayısal çözüm algoritması oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.6'da görüldüğü gibi, HAD analizinde basınç ve hız alanlarının hesaplanmasında SIMPLE algoritması kullanılmıştır.



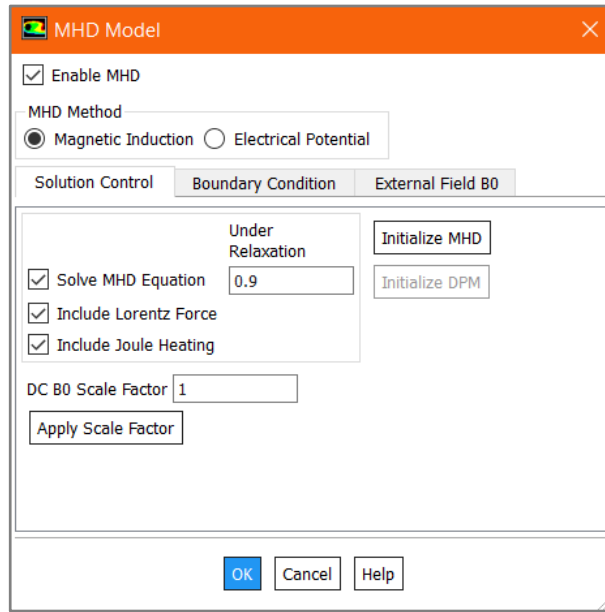
Şekil 6.6. Sayısal analiz çözüm metotlarının oluşturulması.

İkinci mertebeden upwind şeması; süreklilik, momentum ve enerji denklemleri için 10^{-6} 'dan daha küçük bir kalıntı yakınsama kriterine sahip olan daha yüksek sayısal hassasiyet elde etmek için kullanılmıştır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Kalıntı yakınsama kriterleri.

Sayısal analiz probleminde kullanılan nanoakışkanın başlangıç ve sınır şartları altında borudan akışını ifade eden genel yönetici denklemler, MHD akış modelleri ile çözülmüştür. MHD modülün aktifleştirilmesi ise yine bu aşamada gerçekleştirilmiştir. MHD modülün aktifleştirilmesi ise, addon komutu kullanılarak problem tanımlanmıştır. Böylece manyetik indüksiyon denkleminin çözüm yöntemi uygulanmış olup, akış için momentum ve elektromanyetik denklemler beraber çözdürülmüştür. MHD modül tanımlamasının yapılması ve çözüm şartları Şekil 6.8’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.8. MHD modül ve çözüm şartları.

6.5.5. Sonuçlar (Results)

Sayısal analizin bu bölümünde ise çözümü gerçekleştiren problem sonuçlarının; kontür grafik, animasyon, vektör gibi görsellerle veya istenilen yüzey, nokta ya da hacim değerlerinin matematiksel olarak analiz çıktılarının alındığı bölümdür. Gerçekleştirilen sayısal analiz sonuçları, ısı taşınım katsayısı, Nu sayısı gibi ısı transfer karakteristiklerini hesaplamak için kullanılmıştır.

6.5. GENEL DENKLEMLER

Temel olarak akışkan hareketlerinin incelenmesi için; süreklilik, momentum (Navier-Stokes) ve enerji denklemlerinin, sınır koşulları ile beraber çözülmesi gereklidir.

Tek fazlı akış modeli için süreklilik ve enerji denklemlerinin; viskoz, sıkıştırılmaz ve newtonyen bir akışkanın daimi olmayan üç boyutlu laminar akışı için en genel halleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

6.5.1. Temel Denklemler

Kütle Korunumu;

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) \right) = S_m \quad (6.5)$$

Eş. (6.5)'de kütle korunumu denkleminin genel hali verilmiştir. Bu denklem sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akış için geçerlidir. Burada S_m terimi akışkanın, akış ikinci bir faza geçmesi durumunda veya diğer kaynak terimlerini içerebilecek, kullanıcı tarafından verilen bilgi, denklem vb. terimlerdir.

Momentum Korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{T}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (6.6)$$

Burada p statik basınç, \vec{T} gerilme tensörü, yerçekimi kuvveti, \vec{F} kullanıcı tarafından verilebilecek diğer kaynak terimlerini içermektedir.

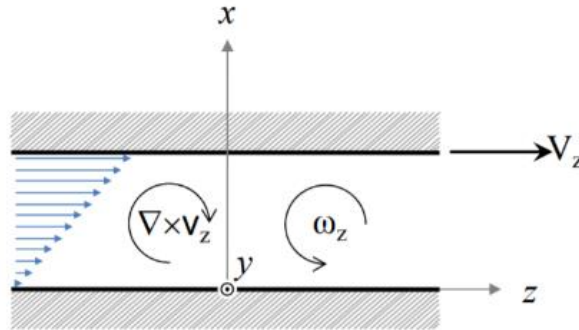
Enerji Denklemi;

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla(\vec{V}(\rho E + \rho)) = \nabla k_{eff} \nabla T - \sum_j h_i j_i (\bar{T}_{eff} \vec{V}) + S_h \quad (6.7)$$

Eş. (6.7)'de; E birim enerjii, $k_{eff} \nabla T$ iletimi, $\sum_j h_i j_i$ difüzyonu ve $(\bar{T}_{eff} \vec{V})$ viskoz disipasyonu ifade etmektedir.

6.5.2. Manyetik Alan Denklemleri

Manyetik alan dağılımını değerlendirmek için Maxwell'in elektromanyetik denklemleri kullanılır. Manyetik alan kaynakları, akım taşıyan bir tel veya boruya yerleştirilmiş tek veya iki sabit mıknatıs olabilir. Maxwell denklemleri; boru iç bölgesi, manyetik kaynak ve çevreleyen hava dahil olmak üzere üç bölgede çözülür (Şekil 6.9). İlgili yönetim denklemleri aşağıdaki gibidir [43]:



Şekil 6.9. Manyetik alana tabi iki paralel plaka arasında sınırlı ferronanoakışkan akışı [103].

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (6.8)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (6.9)$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (6.10)$$

B ve H sırasıyla ferronanoakışkan tarafından üretilen hem harici alanın hem de uyarılan alanın toplandığı toplam manyetik akı yoğunluğu ve toplam manyetik alan yoğunluğunu ifade etmektedir.

Akışkan hareketi ile manyetik alan arasındaki bağlantı, manyetik alan altında iletken malzemeden kaynaklı oluşan elektrik akımı indüksiyonu ve manyetik alan ile elektrik akımı etkileşiminden kaynaklanan Lorentz kuvveti olmak üzere iki temel etki tarafından anlaşılır. Manyetik alan ile akışkan hareketi arasındaki etkileşimde Eş. (6.11)'de verilen J akım yoğunluğunu bilmek gerekir. Akım yoğunluğunu belirlemek için iki yaklaşım kullanılır. Bunlardan ilki manyetik indüksiyon denkleminin çözüm metodu bir diğeri ise elektrik potansiyel denkleminin çözümü metodudur.

Manyetik indüksiyon metodu, Maxwell denklemlerinden ve Ohm kanunundan türetilmiştir. Türetilen bu denklem manyetik alan ile akışkan hareketi arasındaki ilişkiyi vermektedir. Ohm kanunu genel olarak akım yoğunluğu ile tarif edilir.

$$J = \sigma E \quad (6.11)$$

Eş. (6.11)'de verilen σ , ortamın elektriksel iletkenliğini ifade etmektedir. B manyetik alan altındaki ve V akışkan hızı için Ohm Kanunu Eş. (6.12)'deki gibi ifade edilir;

$$J = \sigma(E + V \times B) \quad (6.12)$$

Yapılan bu çalışmada MHD model, Ansys Fluent 19.0 programında add-on modülü kullanarak gerçekleştirilmiştir. Ansys Fluent programında MHD modelin aktif hale gelebilmesi için gerekli olan işlemler Ek Açıklamalar A'da verilmiştir.

6.5.3. Nanoakışkanın Termofiziksel Özellik Denklemleri

Mevcut tez çalışmasında Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanı farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarda kullanılmıştır. Nanoakışkana ait termofiziksel özellikler aşağıdaki eşitsizliklere göre hesaplanmıştır. Bunlar;

Yoğunluk;

$$\rho_{nf} = \varphi \rho_p + (1 - \varphi) \rho_f \quad (6.13)$$

Isıl İletkenlik;

$$k_{nf} = \frac{(kp + 2kf) - 2\varphi(kf - kp)}{(kp + 2kf) + \varphi(kf - kp)} kf \quad (6.14)$$

Özgül Isı;

$$c_{p,nf} = \frac{(1 - \varphi_p) \rho_f c_f + \varphi_p \rho_p c_p}{\rho_{nf}} \quad (6.15)$$

Viskozite;

$$\mu_{nf} = \left(\mu_f \frac{1}{(1 - \varphi)^{2.5}} \right) \quad (6.16)$$

Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi katsayısı ve Nusselt sayıları nanoakışkanların ısı performansını bulmak için en önemli verilerdir ve aşağıdaki denklemlerdeki gibi ifade edilmektedir [104];

$$h_{nf} = \frac{q''}{(T_w - T_b)_{avg}} \quad (6.17)$$

$(T_w - T_b)_{avg}$ kanalın giriş ve çıkış kesimleri arasındaki yığın sıcaklık ile duvar sıcaklığının doğrusal ortalama farkını temsil etmektedir.

$$T_b = \frac{T_{in,nf} + T_{out,nf}}{2} \quad (6.18)$$

Nusselt sayısı, taşınım ile ısı transfer katsayısının iletim ile ısı transfer katsayısına oranı şeklinde ifade edilen boyutsuz bir sayıdır.

$$Nu_{nf} = \frac{h_{nf} D_h}{k_{nf}} \quad (6.19)$$

Darcy-Weisbach [104] denklemiyle elde edilen sürtünme faktörü ise Eş. (6.20) ile hesaplanır.

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{\rho V^2}{2}\right)} \quad (6.20)$$

Reynolds ve Prandtl sayıları sırayla Eş. (6.21) ve Eş. (6.22)'deki gibi hesaplanmaktadır [104]. Reynolds sayısı, akışkandaki atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranı şeklinde ifade edilmektedir.

$$Re_D = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (6.21)$$

Prandtl sayısı, momentum yayınımasının termal yayınıma oranı şeklinde ifade edilen boyutsuz bir sayıdır.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (6.22)$$

Laminer akış şartlarında kullanılan ortalama Nu sayısı korelasyonları aşağıdaki gibidir.

Shah korelasyonu [105];

$$Nu = 1,953(RePrD / L)^{(1/3)}; (RePrD / L) \geq 33,3 \quad (6.23)$$

Gnielinski korelasyonu [106];

$$Nu = \left[4,354^3 + 0,6^3 + \left(1,953 \sqrt{\frac{RePrD}{L}} - 0,6 \right)^3 \right]^{(1/3)} + (0,924 \sqrt[3]{Pr} \sqrt{ReD/L})^3 \quad (6.24)$$

Churchill-Ozoe korelasyonu [107];

$$Nu = 4,364 \left[1 + \left(\frac{\pi RePr}{4 L/D} / 29,6 \right)^2 \right]^{1/6} \left[1 + \frac{\frac{\pi RePr}{4 L/D} / 19,04}{\left[1 + (Pr / 0,0207)^{2/3} \right]^{1/2} \left[1 + \left(\frac{\pi RePr}{4 L/D} / 29,6 \right)^2 \right]^{1/3}} \right]^{3/2} \quad (6.25)$$

Sieder-Tate [108];

$$Nu = 1,86 Re^{1/3} Pr^{1/3} \left(\frac{D}{L} \right)^{1/3} \quad (6.26)$$

Lokal Nusselt sayısı için Shah-London korelasyonu kullanılmıştır [105];

$$Nu_x = 4,364 + 8,68 \left(1000 \frac{x}{PrReD} \right)^{-0,506} ; \left(\frac{x}{PrReD} \right) \geq 0,001 \quad (6.27)$$

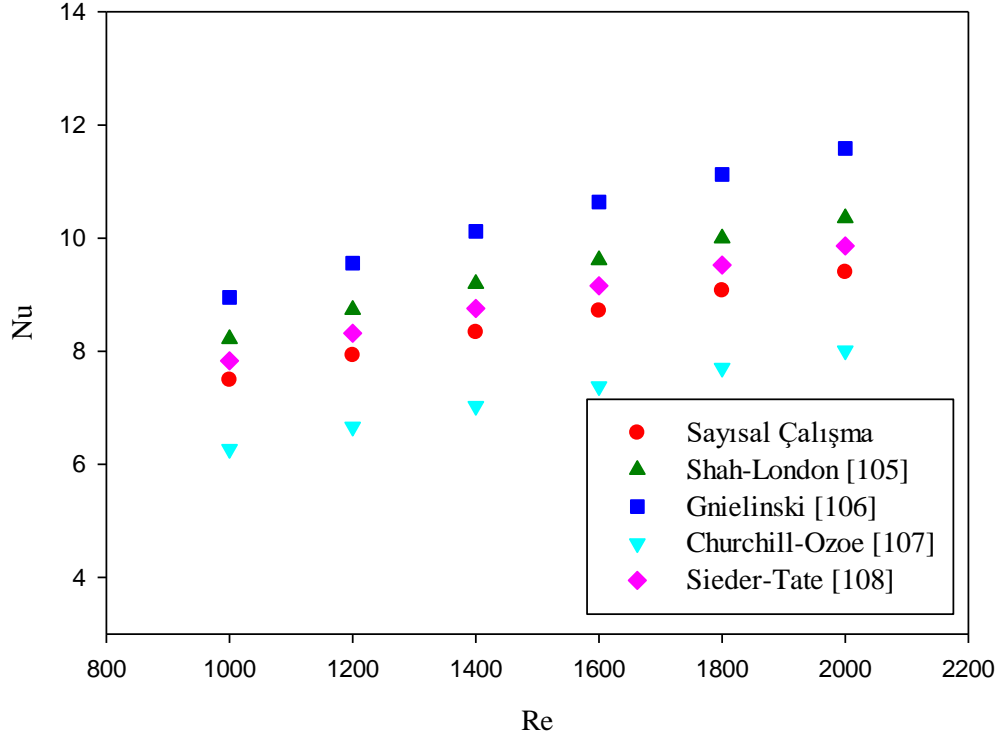
BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen bu çalışmada Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının 3 boyutlu dairesel kesitli bir kanal içerisindeki akış ve ısı transfer karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan sayısal çalışmalarda; saf su ve farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlardaki (%1,0; %2,0 ve %5,0) nanoakışkan akışı tek faz ve çift faz çözüm yöntemleri kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Ayrıca, kanal yüzeyine uygulanan farklı değerlerdeki $B=0,1T$; $0,2T$ ve $0,3T$ sabit manyetik alan kuvvetinin ısı transferine olan etkisi incelenmiştir. Sayısal hesaplamalar için sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlene yapabilen Ansys Fluent 19.0 kodu kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda tek faz ve çift faz çözüm yöntemi kullanılarak gerçekleşen ferronanoakışkan akışı ve MHD uygulaması için ısı taşınım katsayısı, Nusselt sayısı, basınç düşümü, Darcy sürtünme faktörü değişimleri grafikler halinde sunulmuş ve detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

7.1. SAYISAL MODELİN DOĞRULANMASI

Sayısal çalışmaya başlamadan önce çalışma akışkanı olarak saf suyun kullanıldığı sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlar literatürdeki deneysel çalışmalardan elde edilen farklı korelasyonlarla karşılaştırılarak doğrulama çalışması yapılmıştır. Şekil 7.1’de laminer akış şartları için ($1000 < Re < 2000$) ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi görülmektedir. Grafikten artan Reynolds sayısı ile birlikte ortalama Nusselt sayısının artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, şekilden de açık bir biçimde görülebileceği gibi elde edilen sonuçların literatürden elde edilen [105-108] ve laminer akış şartları için önerilen korelasyonlarla $\pm\%10$ hata oranı içinde kalarak uyum içinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, sayısal ağın ve çözüm yönteminin doğruluğu teyit edilmiştir.



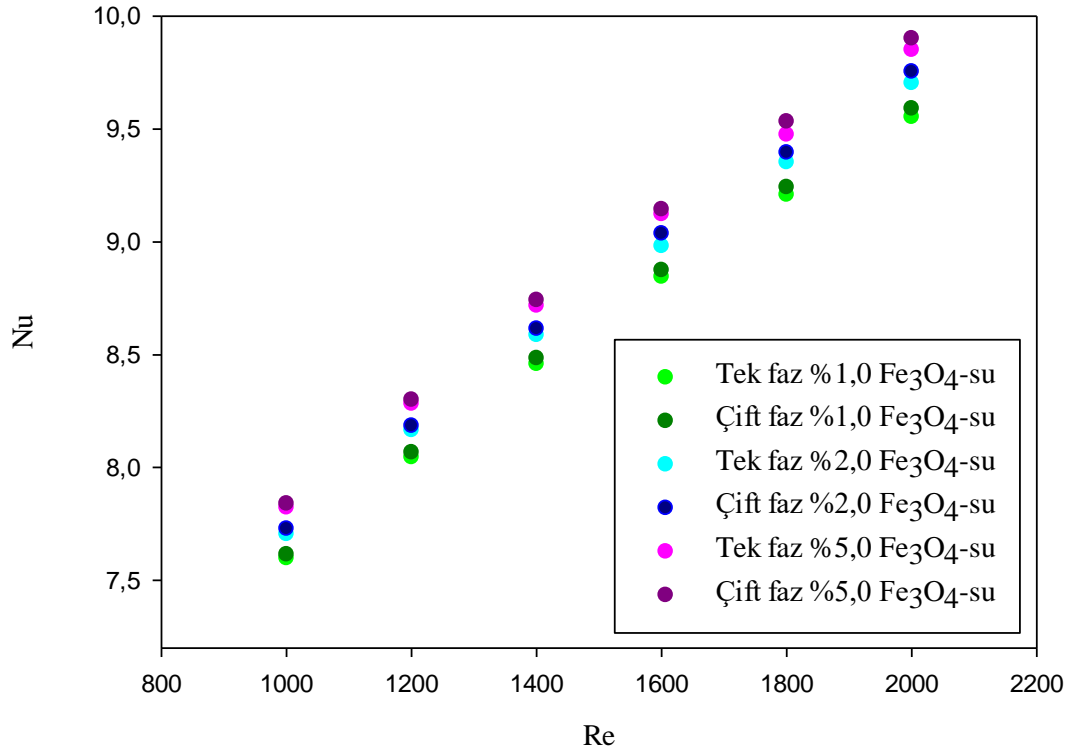
Şekil 7.1. Sayısal çalışma sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması.

7.2. ÇALIŞMA AKIŞKANI OLARAK FERRONANOAKIŞKAN KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI

Saf su ile literatür doğrulaması yapıldıktan sonra çalışma akışkanı olarak Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyon oranlarında laminer akış şartları için sayısal çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Çözümlenmeler için tek faz ve çift faz çözüm yöntemlerinden olan mixture (karışım) modeli kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalarda mixture (karışım) modeli kullanılarak elde edilen sonuçların literatür sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, literatür ile uyumlu sonuçlar vermesi ve manyetik alan uygulanabilirliği nedenleri ile sayısal çalışmaların çift faz çözümlenmelerinde mixture (karışım) modeli tercih edilmiştir.

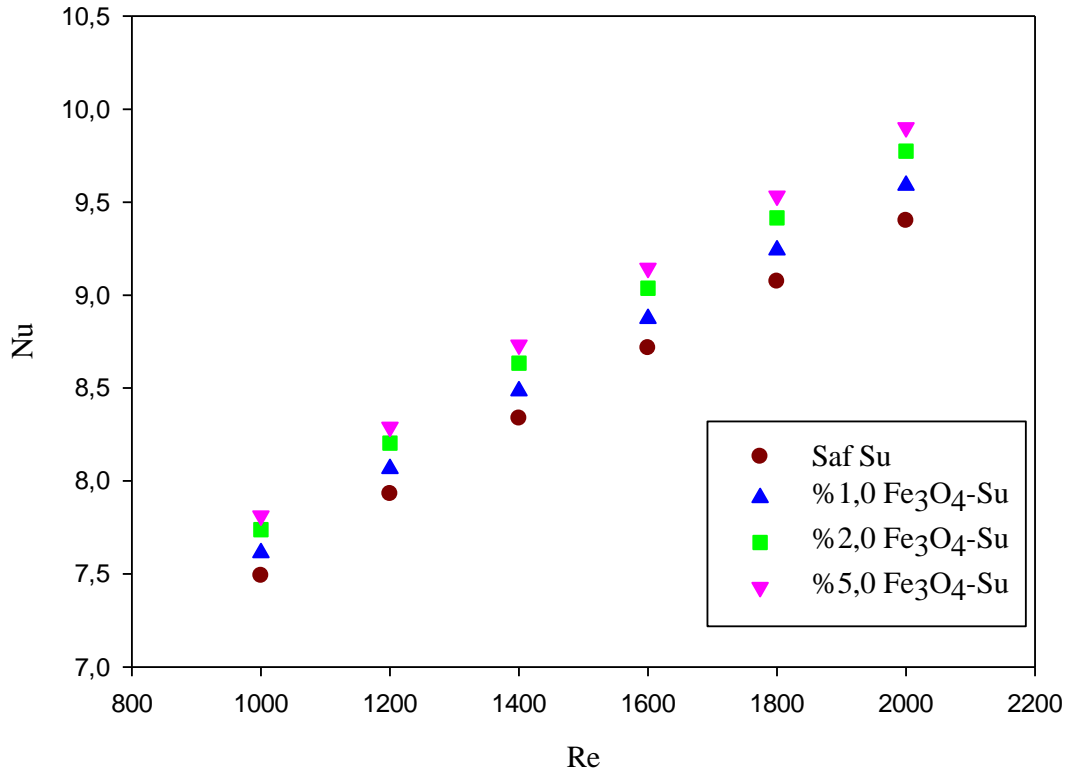
Şekil 7.2’de tek faz ve çift faz çözüm metodları kullanılarak elde edilen ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi verilmiştir. Görüldüğü üzere artan Re sayısı ile birlikte ortalama Nu sayısı da artış göstermiştir. Ayrıca, artan nanoparçacık hacimsel

konsantrasyonu ile birlikte ortalama Nu sayısı artış göstermiştir. Tek faz ve çift faz çözümlerine sonuçları birbirine yakın çıkmıştır



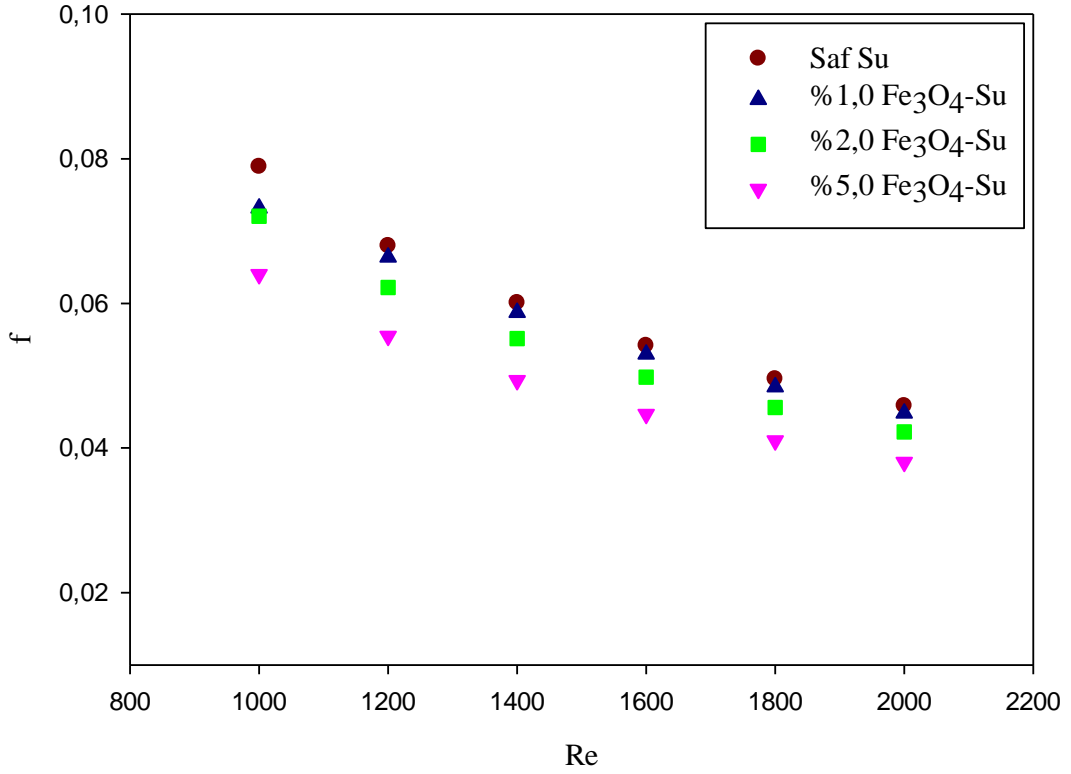
Şekil 7.2. Ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.3’de ise çift faz çözüm metodu olan mixture (karışım modeli) ile elde edilen ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Görüldüğü üzere saf su içerisine nanoparçacık eklenmesi ile birlikte ortalama Nu sayısında saf suya göre artış meydana geldiği saptanmıştır. En yüksek ortalama Nu sayısı değeri nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun %5.0 ve $Re=2000$ olduğu durumda 9,9 olarak elde edilmiştir. Bu durumda, saf suyun çalışma akışkanı olarak kullanıldığı duruma göre %5,32 artış gerçekleşmiştir.



Şekil 7.3. Ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi.

Darcy sürtünme faktörü saf su ve her bir ferronanoakışkan için Eş. (6.20) yardımıyla hesaplanmıştır. Ortalama Darcy sürtünme faktörünün Fe_3O_4 ile değişimi çift faz çözüm yöntemi kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 7.4 ile sunulmuştur. Artan Re sayısı ve suyun içerisine nanoparçacık ilavesi ortalama Darcy sürtünme faktörü değerini azaltmıştır. Artan nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun artışı ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörünün (f) düşmesi, ortalama Nu sayısının artması ısı transferi uygulamalarında Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanılmasının çok doğru bir seçim olduğunu göstermektedir.



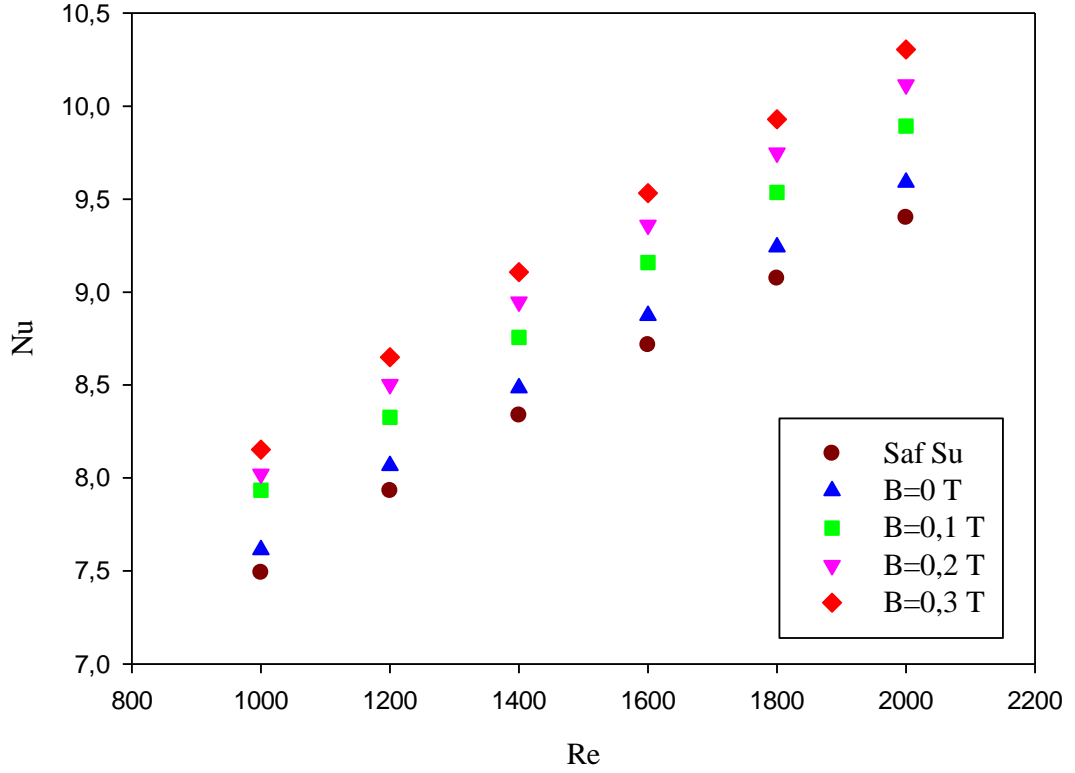
Şekil 7.4. Ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re sayısına bağlı olarak değişimi.

7.3. SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA ÇALIŞMA AKIŞKANI OLARAK FERRONANOAKIŞKAN KULLANILARAK YAPILAN SAYISAL ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda ısı transferi artırma yöntemlerinden biri olan manyetik alan etkisi, yapılan bu sayısal çalışmada detaylı olarak incelenmiştir. Sayısal çalışma alanı olan dairesel kesitli belirlenen kanal yüzeyine $B=0,1T$; $0,2T$ ve $0,3T$ değerlerinde değişen sabit manyetik alan uygulanmış ve çalışma sonuçları bu bölümde tartışılmıştır.

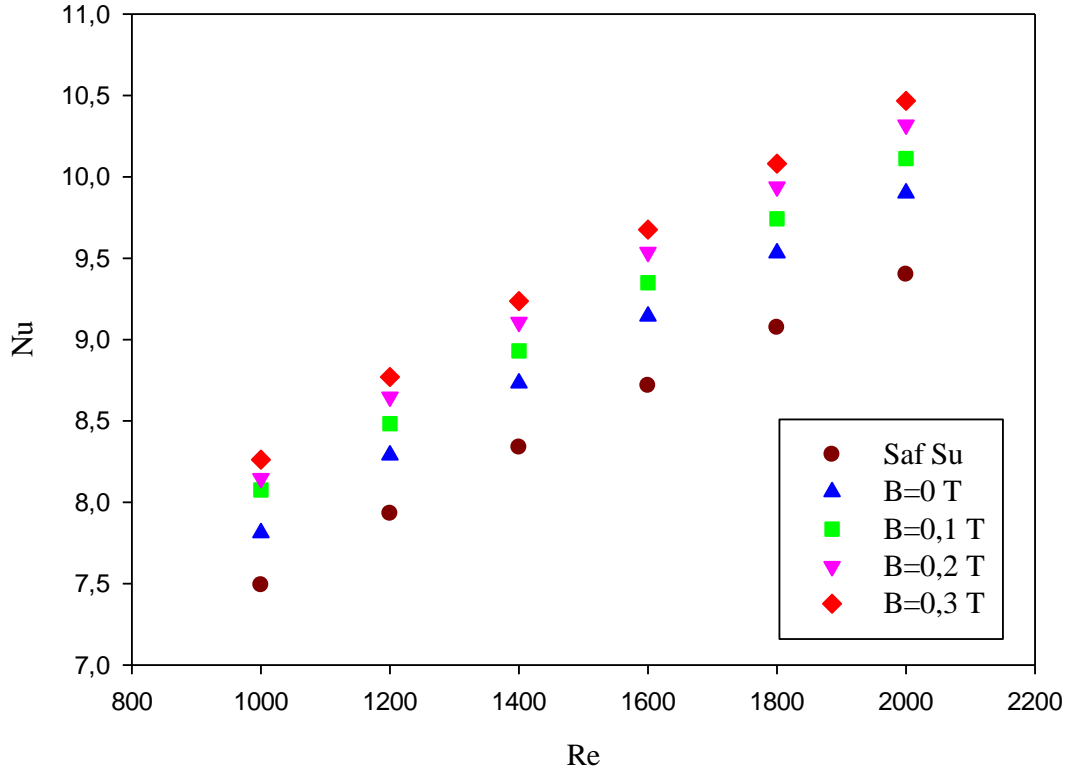
Şekil 7.5’de çalışma akışkanı olarak %1,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan kullanılan akış şartları için farklı Re sayılarındaki ve farklı manyetik alan şiddetlerindeki ortalama Nu sayısı değişimi görülmektedir. Buradan artan manyetik alan şiddeti ile birlikte ortalama Nu sayısının arttığı gözlemlenmiştir. $Re=2000$ ’de ve $0,1T$ sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -

su nanoparçacık hacimsel konsantrasyondaki ferronanoakışkan akışının çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan duruma göre ortalama Nu sayısında %5,21 artış gözlemlenmiştir. Bu durumun manyetik alan şiddetinin 0,2T ve 0,3T değerleri için sırasıyla %7,55 ve %9,57 olduğu saptanmıştır



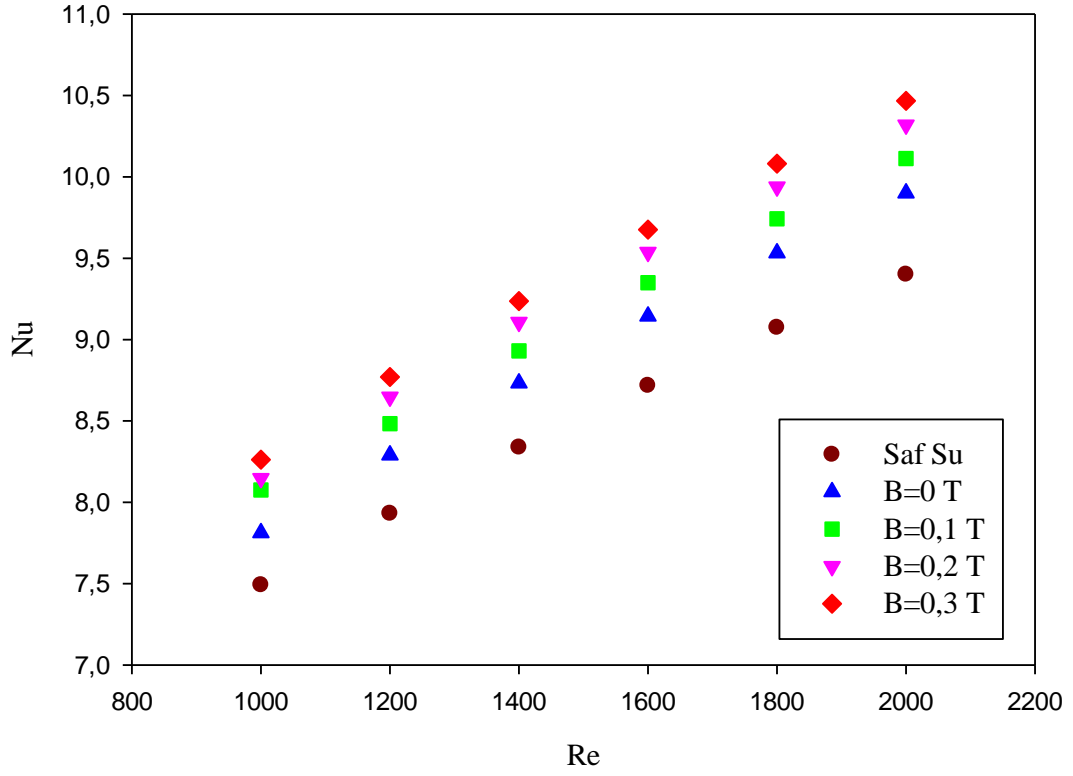
Şekil 7.5. % 1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için ortalama Nu sayısının Re sayısı ve manyetik alan şiddeti ile değişimi.

Şekil 7.6'da çalışma akışkanı olarak %2,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan kullanılan akış şartları için farklı Re sayılarındaki ve farklı manyetik alan şiddetlerindeki ortalama Nu sayısı değişimi görülmektedir. $Re=2000$ 'de ve 0,1T sabit manyetik alan etkisi altındaki %2,0 Fe_3O_4 -su nanoparçacık hacimsel konsantrasyondaki ferronanoakışkan akışının çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan duruma göre ortalama Nu sayısında %6,91 artış gözlemlenmiştir. Bu durumun manyetik alan şiddetinin 0,2T ve 0,3T değerleri için sırasıyla %9,14 ve %11,06 olduğu saptanmıştır.



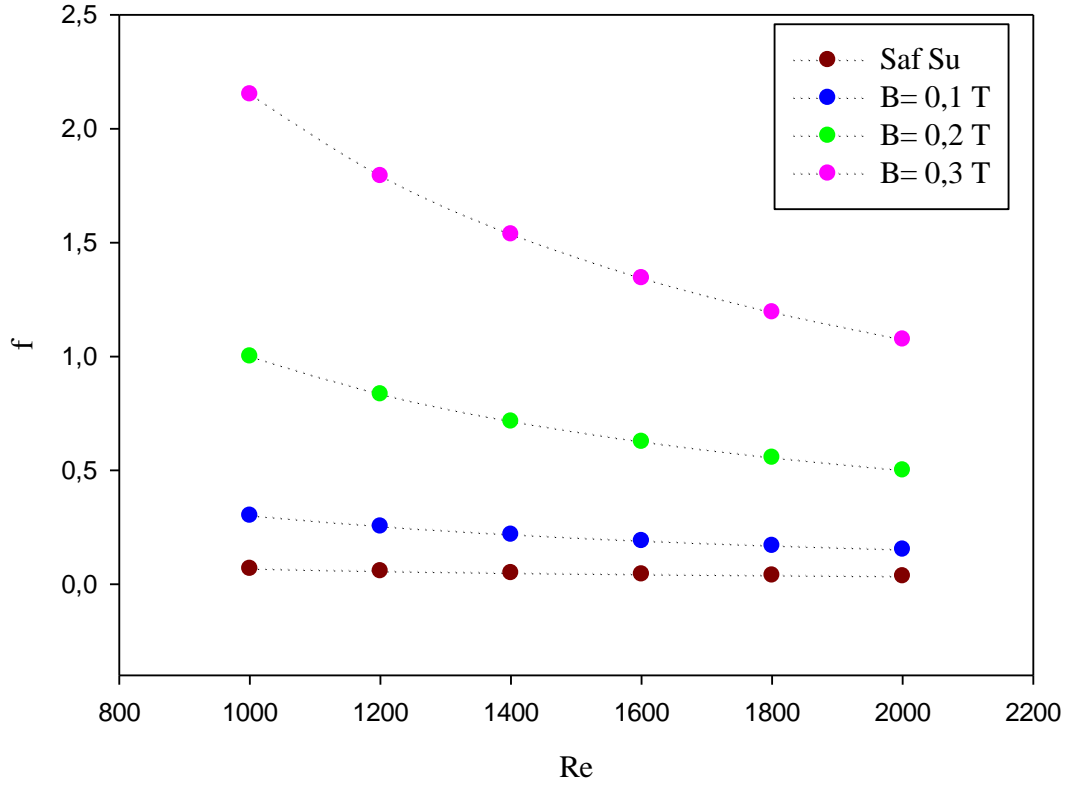
Şekil 7.6. %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için ortalama Nu sayısının Re sayısı ve manyetik alan şiddeti ile değişimi.

Şekil 7.7' de çalışma akışkanı olarak %5,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan kullanılan akış şartları için farklı Re sayılarındaki ve farklı manyetik alan şiddetlerindeki ortalama Nu sayısı değişimi görülmektedir. $Re=2000$ 'de ve 0,1T sabit manyetik alan etkisi altındaki %5,0 Fe_3O_4 -su nanoparçacık hacimsel konsantrasyondaki ferronanoakışkan akışının çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan duruma göre ortalama Nu sayısında %7,55 artış gözlemlenmiştir. Bu durumun manyetik alan şiddetinin 0,2T ve 0,3T değerleri için sırasıyla %9,78 ve %11,38 olduğu saptanmıştır.



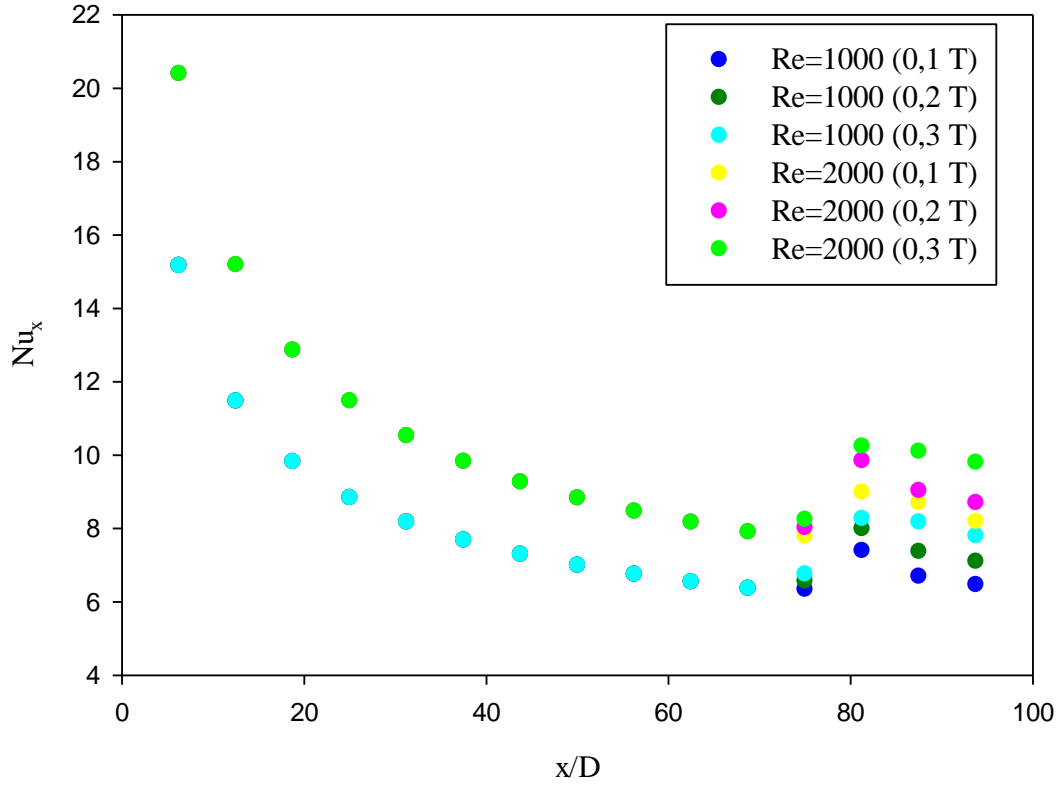
Şekil 7.7. %5,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için ortalama Nu sayısının Re sayısı ve manyetik alan şiddeti ile değişimi.

Şekil 7.8’ de çalışma akışkanı olarak %1,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan kullanılan akış şartları için farklı Re sayılarındaki ve farklı manyetik alan şiddetlerindeki ortalama Darcy Sürtünme faktörü sayısı değişimi görülmektedir. Buradan artan manyetik alan şiddeti ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörü değerinin düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Benzer etkiler %2,0 ve 5,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan kullanılan akış şartları için de gözlenmiştir.



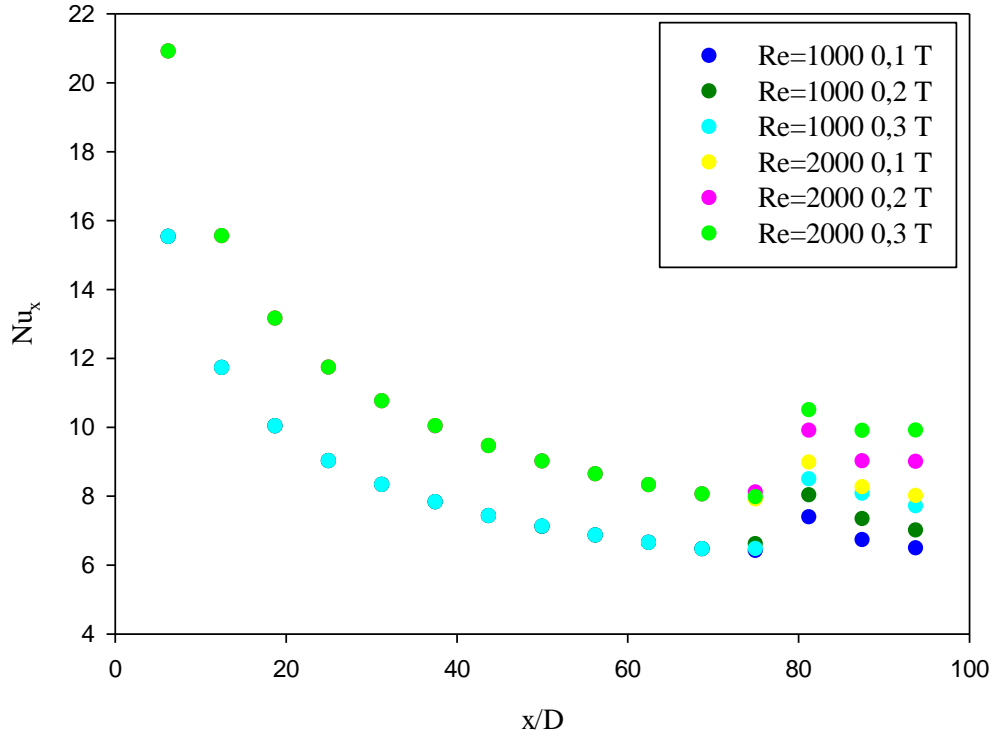
Şekil 7.8. %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışı için Ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re sayısına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.9'da %1,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyona sahip ferronanoakışkanın $Re=1000$ ve $Re=2000$ değerlerinde farklı manyetik alan şiddetlerindeki yerel Nu sayısı değerlerinin boru boyunca değişimi görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere ferronanoakışkanın boruya girişinde yerel Nu sayısı en yüksek değerde iken boru boyunca azalan bir eğilim göstermiştir. Bu durum taşınım ile ısı transferi prensibine uygundur. Bununla birlikte, manyetik alanın uygulandığı bölgede yerel Nu sayısında artış meydana gelmiştir. Manyetik alanın uygulandığı bölgenin ardından ise yerel Nu sayısı tekrar azalan bir eğilime geçmiştir. Bu bölgelerde %20,58 lokal ısı transferi artışları tespit edilmiştir. Bu durum, manyetik alan uygulanmasının taşınım ile gerçekleşen ısı transferi hızını arttırdığı olgusunu kanıtlar niteliktedir. Ayrıca, en yüksek yerel Nu sayısı $Re=2000$ ve $B=0,3T$ değerinde elde edilmiştir.

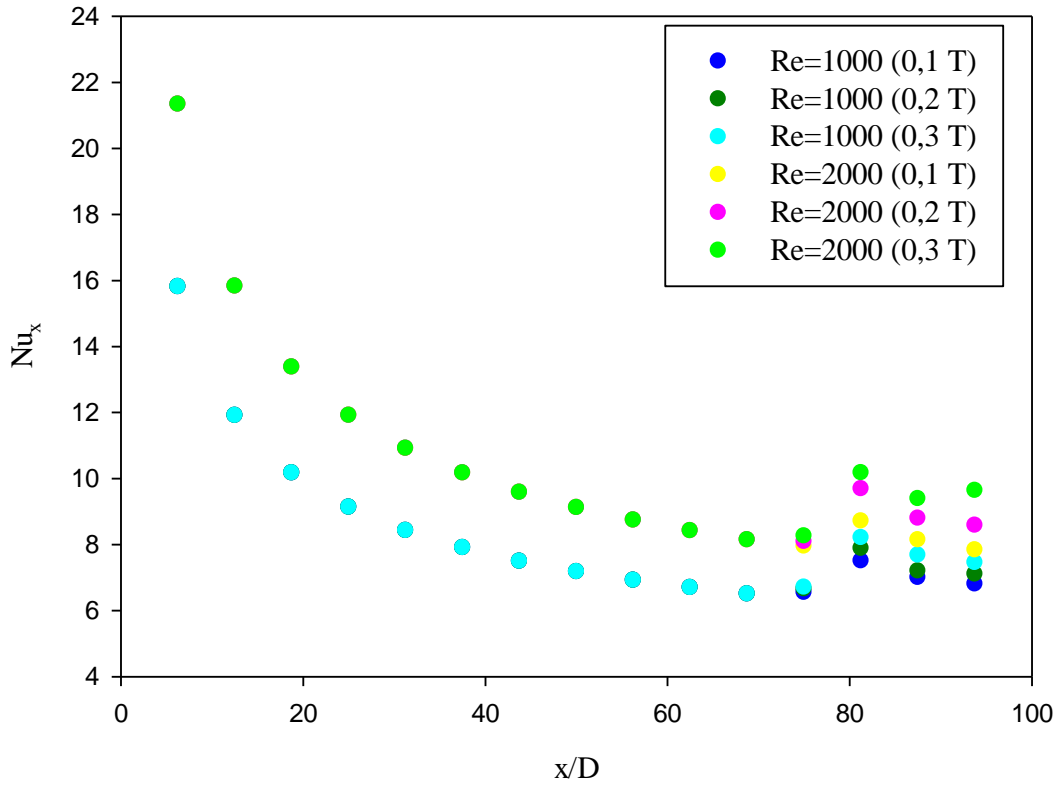


Şekil 7.9. Boru uzunluğu boyunca %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında farklı manyetik alan etkisi altında yerel Nu sayısının değişimi.

Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de %2,0 ve 5,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonlarına sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında $Re=1000$ ve $Re=2000$ değerlerinde farklı manyetik alan şiddetlerindeki yerel Nu sayısı değerlerinin boru boyunca değişimleri görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere ferronanoakışkanın boruya girişinde yerel Nu sayısı en yüksek değerde iken boru boyunca azalan bir eğilim göstermiştir. Bununla birlikte, manyetik alanın uygulandığı bölgede yerel Nu sayısında artış meydana gelmiştir. Manyetik alanın uygulandığı bölgenin ardında ise yerel Nu sayısı tekrar azalan bir eğilime geçmiştir. En yüksek yerel Nu sayısı, $Re=2000$ ve $B=0,3T$ değerinde elde edilmiştir.

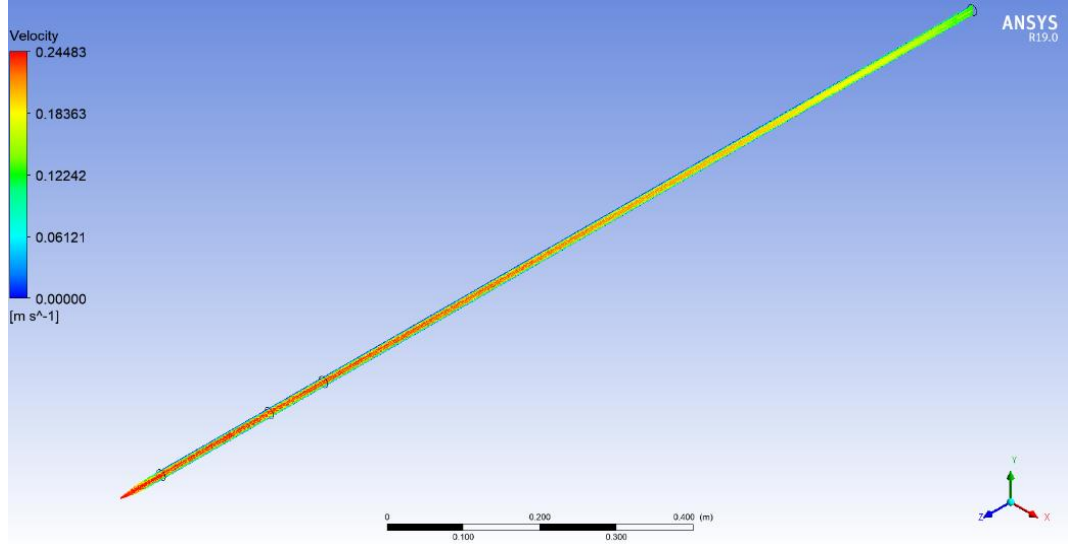


Şekil 7.10. Boru uzunluğu boyunca %2,0 Fe₃O₄-su ferronanoakışkan akışında farklı manyetik alan etkisi altında yerel Nu sayısının değişimi.

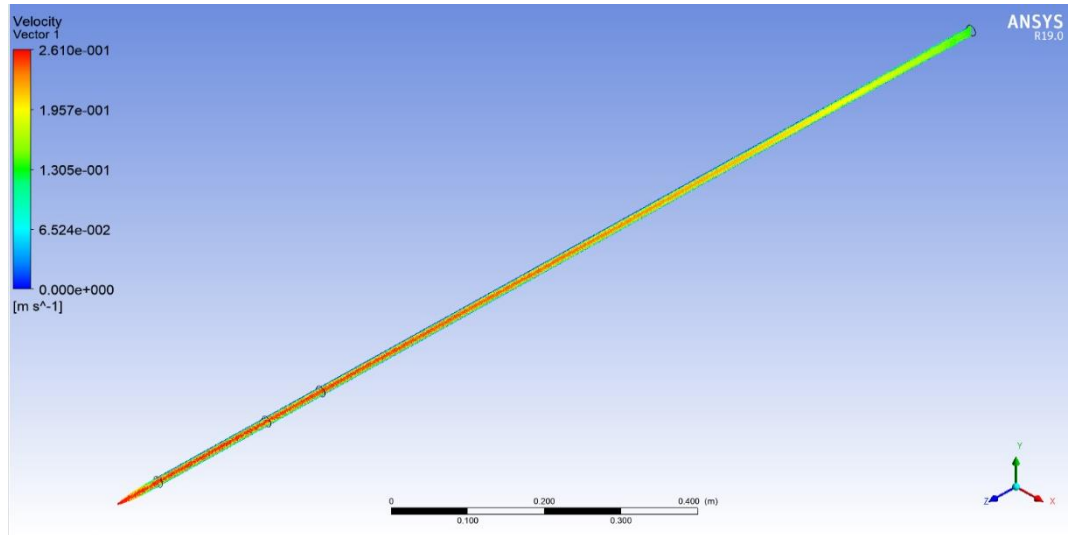


Şekil 7.11. Boru uzunluğu boyunca %5,0 Fe₃O₄-su ferronanoakışkan akışında farklı manyetik alan etkisi altında yerel Nu sayısının değişimi.

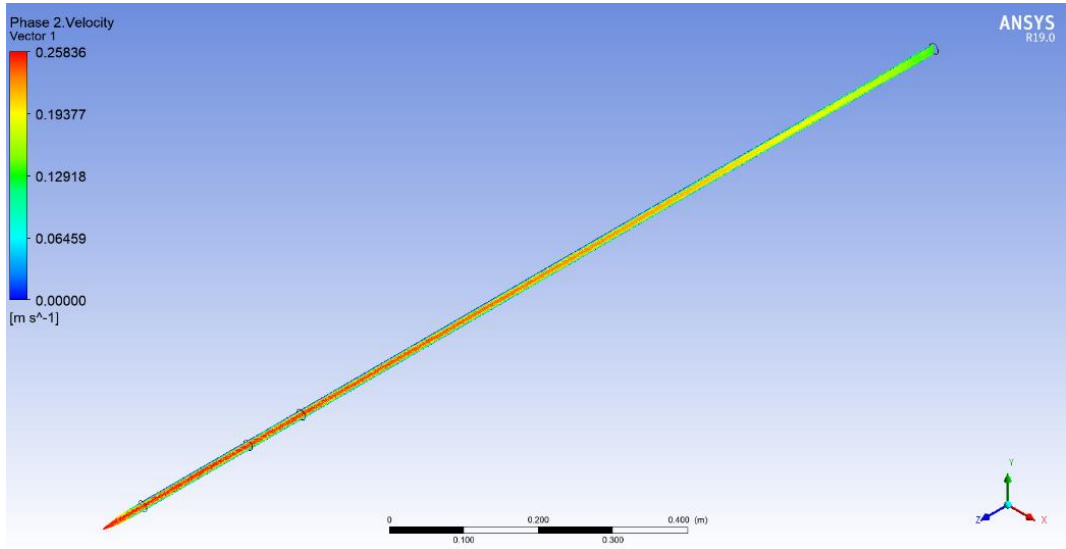
Şekil 7.12 - Şekil 7.14’de dairesel kesitli kanalda akan saf suyun ve tek faz ve çift faz çözüm yöntemi kullanılan %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışından elde edilen hız vektörü grafikleri sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi akışkana nanopartikül eklenmesiyle oluşan %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında meydana gelen hız değerlerini artırdığı görülmektedir.



Şekil 7.12. $Re=2000$ değerindeki saf suyun hız vektörü.

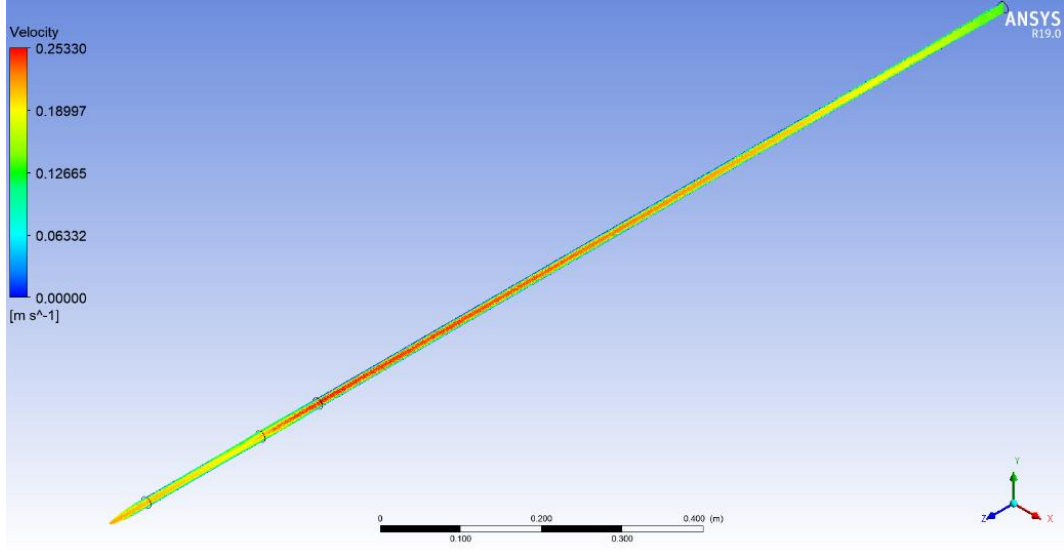


Şekil 7.13. Tek faz çözümü ile elde edilen $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının hız vektörü.

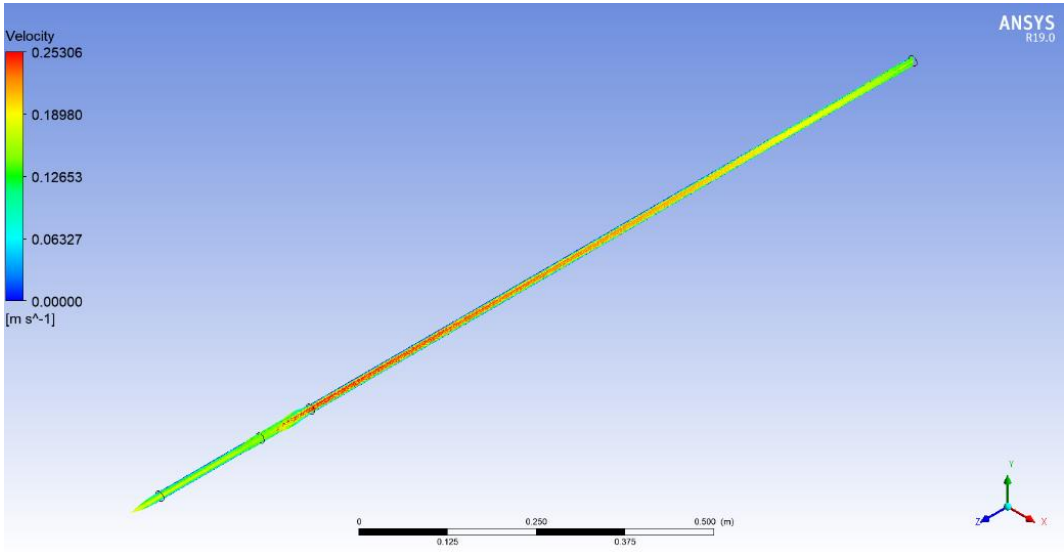


Şekil 7.14. Çift faz çözümü ile elde edilen $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının hız vektörü.

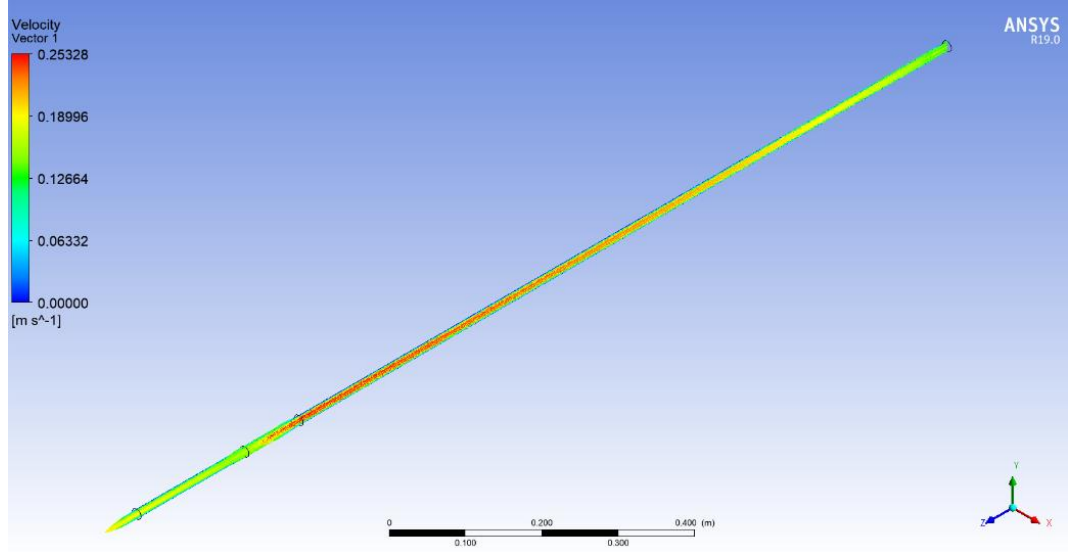
Şekil 7.15 - Şekil 7.17’de çalışma akışkanı olarak %2,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanı kullanılan akış şartları için hız profili değişimleri görülmektedir. Farklı değerlerde uygulanan manyetik alan kuvvetindeki artış akışkanda meydana gelen hız değerlerini düşürdüğü sonucu elde edilmiştir. Şekillerden de açıkça görülebileceği gibi uygulanan manyetik alan, akış hızlarını düşürmüştür. Manyetik alanın artışı hız düşüşlerine neden olmuş ve bu etki açık bir biçimde simülasyon sonuçlarından elde edilen hız vektörlerinden de görülmektedir.



Şekil 7.15. $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının 0,1 T sabit manyetik alan etkisinin hız vektörü.

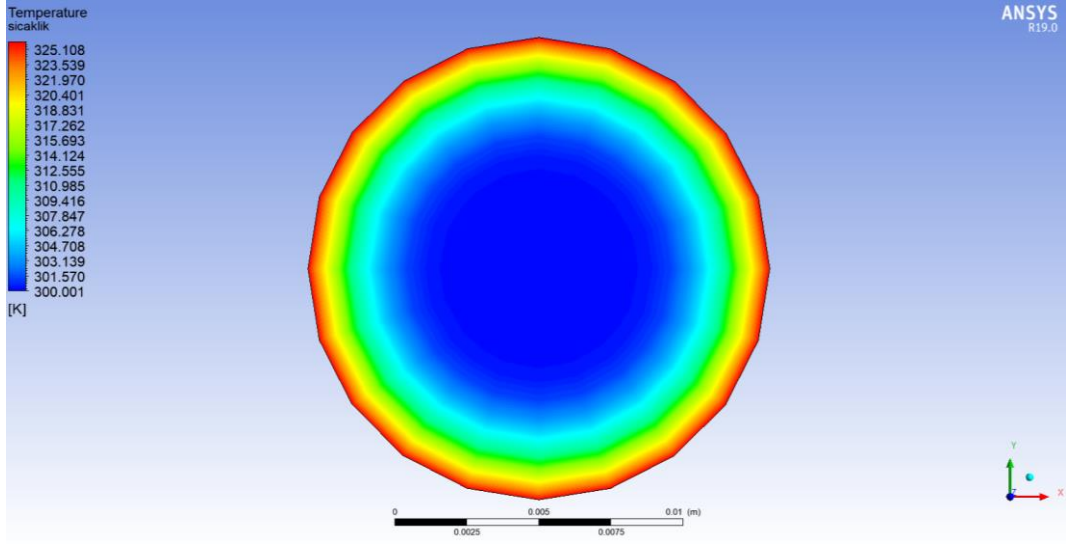


Şekil 7.16. $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının 0,2 T sabit manyetik alan etkisinin hız vektörü.

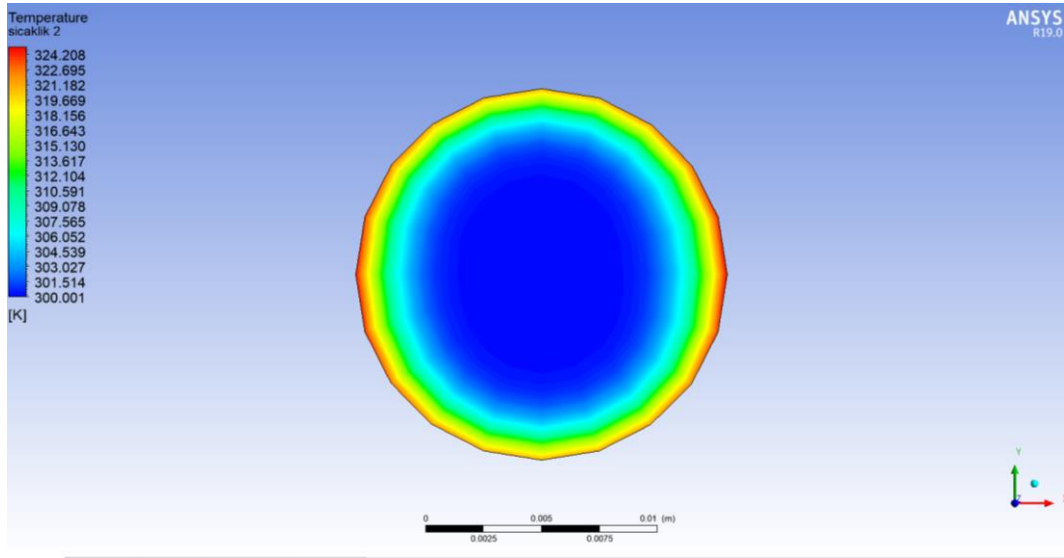


Şekil 7.17. $Re=2000$ değerindeki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının 0,3 T sabit manyetik alan etkisinin hız vektörü.

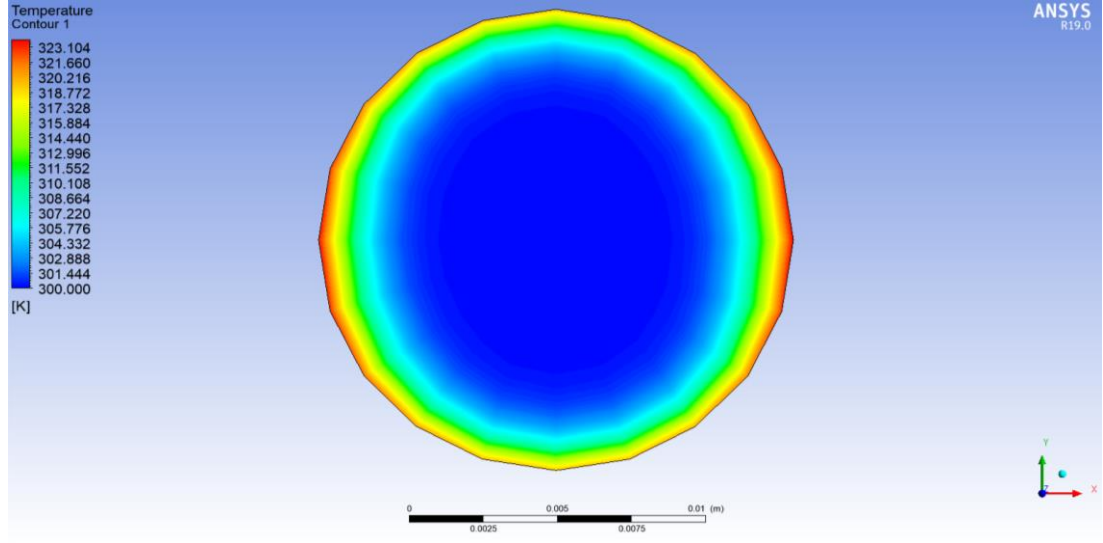
Şekil 7.18 - Şekil 7.21’de çalışma akışkanı olarak %1,0 nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 -su ferronanoakışkanı kullanılan akış şartları için boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımları görülmektedir. Farklı değerlerde uygulanan manyetik alan kuvvetindeki artış boru merkezindeki sıcaklığı düşürdüğü, cidar kısmına yakın bölgelerde sıcaklığı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer etkiler diğer nanoparçacık hacimsel konsantrasyon oranlarında da görülmüştür.



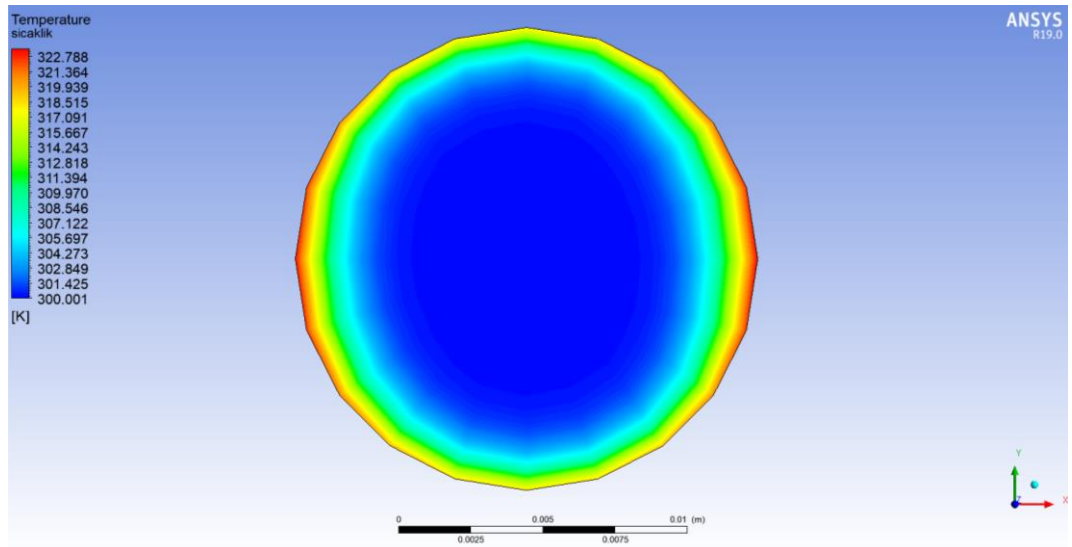
Şekil 7.18. %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).



Şekil 7.19. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).

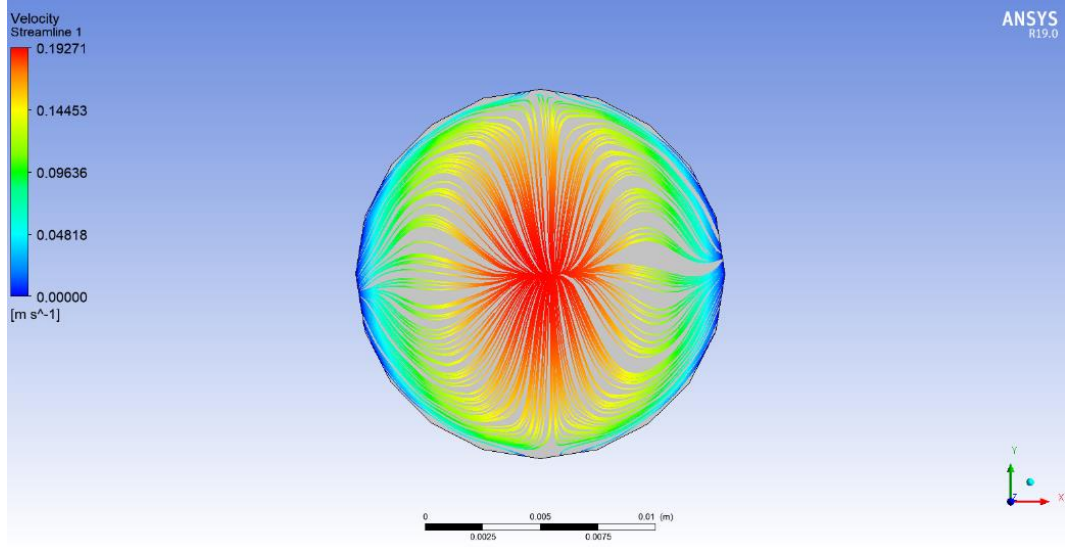


Şekil 7.20. 0,2 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).

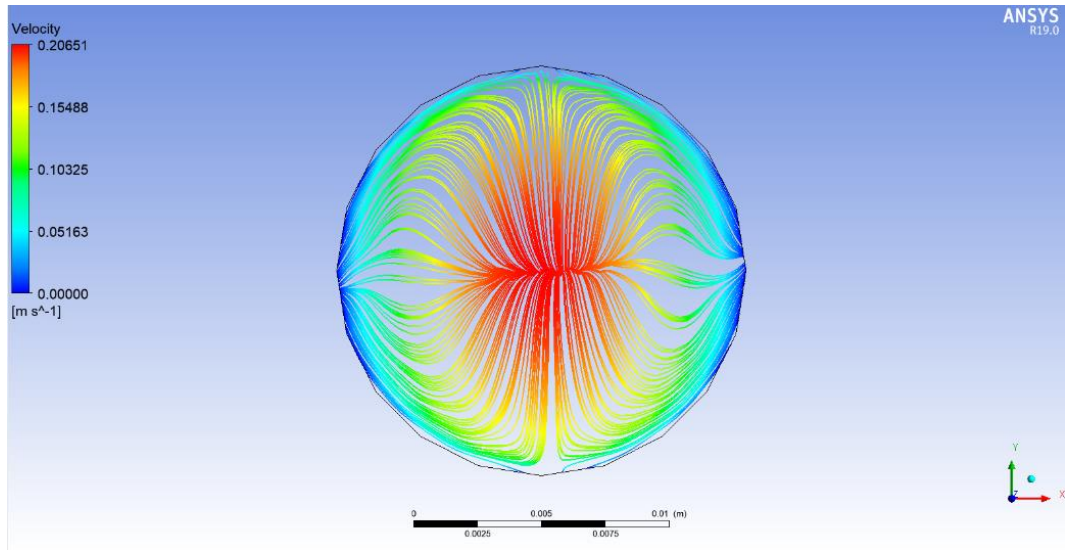


Şekil 7.21. 0,3 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışının, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen sıcaklık dağılımı ($Re=2000$).

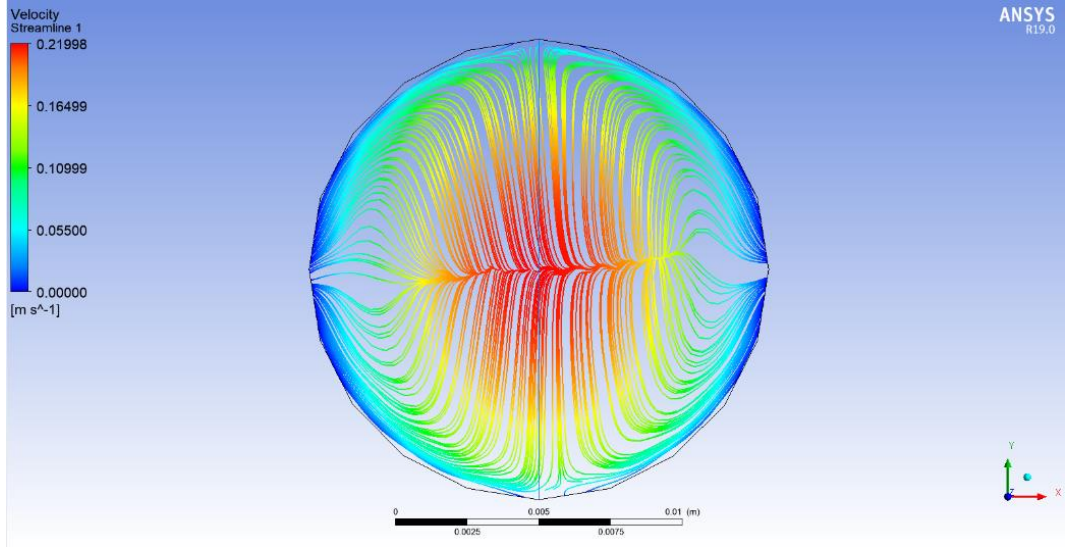
Şekil 7.22 - Şekil 7.24'de 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0; %2,0 ve %5,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen manyetik alan çizgileri gösterilmiştir. Manyetik alan çizgileri artan nanopartikül hacimsel konsantrasyonu ile birlikte arttığı gözlenmiştir.



Şekil 7.22. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen manyetik alan çizgileri ($Re=2000$).



Şekil 7.23. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %2,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen manyetik alan çizgileri ($Re=2000$).



Şekil 7.24. 0,1 T sabit manyetik alan etkisi altındaki %5,0 Fe_3O_4 -su ferronanoakışkan akışında, boru boyunun $x=1,25$ kesitinde meydana gelen manyetik alan çizgileri ($Re=2000$).

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dairesel kesitli bir kanalda sabit duvar ısı akısı ve sabit manyetik alan etkisi (0,1T; 0,2T ve 0,3T) altında laminer akış ($1000 < Re < 2000$) şartları için Fe₃O₄-su ferronanoakışkanının akış ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı nanoparçacık hacimsel konsantrasyonları (%1,0; %2,0 ve %5,0) için sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmalar sonucunda ısı transfer miktarının; Reynolds sayısı, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu ve farklı değerlerde uygulanan manyetik alanın etkisi ile değişimleri irdelenmiş ve aşağıda elde edilen sonuçlar özetlenmiştir:

- Isı transferi geliştirmesinin nanoakışkan konsantrasyonu, *Re* sayısı ve manyetik alan yoğunluğu ile doğrudan bir ilişkisi olduğu gösterilmiştir.
- İçerisinde Fe₃O₄-su ferronanoakışkanı akan dairesel kesitli kanal kesitine uygulanan sabit manyetik alan etkisi, akışın ısı transfer performansını arttırdığı saptanmıştır. Bunun nedeni, sabit manyetik etkisinin harici manyetik alan yönünde zincir benzeri bir yapı oluşturmasına ve boru duvarı ile akışkan arasında düşük bir termal direnç kanalı oluşturmasına neden olmasıdır. Ayrıca, manyetik alan yoğunluğunun artmasıyla ısı transfer performansı da artmaktadır.
- *Nu* sayısının; nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu, manyetik alan etkisi ve *Re* sayısının artışı ile arttığı gözlemlenmiştir. *Nu* sayısındaki en fazla artış miktarının %5,0 Fe₃O₄-su ferronanoakışkan nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunda olduğu ve çalışma akışkanı olarak saf suyun kullanıldığı duruma göre %11,38 arttığı saptanmıştır. Ayrıca, 0,3T şiddetinde manyetik alan uygulandığı durumda diğer manyetik alan şiddetlerine göre *Nu* sayısını daha fazla arttırmıştır. %5,0 Fe₃O₄-su nanoakışkan nanoparçacık hacimsel konsantrasyonuna sahip ferronanoakışkan akışına uygulanan 0,3T şiddetinde

- manyetik alan 0,1T ve 0,2T değerlerine göre Nu sayısını sırasıyla %7,55ve %9,78 arttırmıştır.

Gelecek alışmalarda MHD akışın, farklı nanoakışkanlar ve farklı kanal tipleri üzerindeki etkileri ile ilgili sayısal çalışmalar yapılabilir. Ayrıca alternatif manyetik alan uygulamasının akışa olan etkisinin incelenmesi farklı bir çalışmayı ortaya koyması mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Internet: ŞENOL, R., “Enerjinin İnsan Yaşamındaki Önemi”, <https://www.unienerji.com/arsivler/3797> .
2. Moraveji, M. K. ve Hejazian, M., “Natural convection in a rectangular enclosure containing an oval-shaped heat source and filled with Fe₃O₄/water nanofluid”, *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 44: 135–146 (2013).
3. Maxwell, J. C., “A treatise on electricity and magnetism”, *Clarendon Press*, (1881).
4. Sheikholeslami, M., Rashidi, M. M., ve Ganji, D. D., “Numerical investigation of magnetic nanofluid forced convective heat transfer in existence of variable magnetic field using two phase model”, *Journal Of Molecular Liquids*, 212: 117–126 (2015).
5. Garoosi, F., Bagheri, G., ve Rashidi, M. M., “Two phase simulation of natural convection and mixed convection of the nanofluid in a square cavity”, *Powder Technology*, 275: 239–256 (2015).
6. Sheikholeslami, M., Ganji, D. D., Javed, M. Y., ve Ellahi, R., “Effect of thermal radiation on magnetohydrodynamics nanofluid flow and heat transfer by means of two phase model”, *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 374: 36–43 (2015).
7. Choi, S. U. S. ve Eastman, J. A., “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles”, *Argonne National Lab., IL (United States)*, (1995).
8. Ijam, A., Saidur, R., ve Ganesan, P., “Cooling of minichannel heat sink using nanofluids”, *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 39 (8): 1188–1194 (2012).
9. Bianco, V., Manca, O., ve Nardini, S., “Numerical investigation on nanofluids turbulent convection heat transfer inside a circular tube”, *International Journal Of Thermal Sciences*, 50 (3): 341–349 (2011).
10. Liu, M.-S., Lin, M. C.-C., Tsai, C. Y., ve Wang, C.-C., “Enhancement of thermal conductivity with Cu for nanofluids using chemical reduction method”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 49 (17–18): 3028–3033 (2006).
11. Ziyadanoğulları, N. B., “Al₂O₃-Su Nanoakışkanı İle Isı Transferinin İyileştirilmesi”, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7 (2/2): 253–260 (2017).

12. Maïga, S. E. B., Nguyen, C. T., Galanis, N., ve Roy, G., “Heat transfer behaviours of nanofluids in a uniformly heated tube”, *Superlattices And Microstructures*, 35 (3–6): 543–557 (2004).
13. Karabulut, K., Buyruk, E., ve Kılınç, F., “Farklı Çaplara Sahip Dairesel Borularda Grafen Oksit (GO)-Saf Su Nanoakışkanı Kullanımının Isı Transferi Artışı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Geliştirme Dergisi*, 11 (1): 282–301 .
14. Hanafizadeh, P., Ashjaee, M., Goharkhah, M., Montazeri, K., ve Akram, M., “The comparative study of single and two-phase models for magnetite nanofluid forced convection in a tube”, *International Communications In Heat And Mass Transfer*, (2015).
15. Hwang, K. S., Jang, S. P., ve 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).
16. Teng, T.-P., Hsu, H.-G., Mo, H.-E., ve Chen, C.-C., “Thermal efficiency of heat pipe with alumina nanofluid”, *Journal Of Alloys And Compounds*, 504: S380–S384 (2010).
17. Chandrasekar, M., Suresh, S., ve 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).
18. Chopkar, M., Kumar, S., Bhandari, D. R., Das, P. K., ve Manna, I., “Development and characterization of Al₂Cu and Ag₂Al nanoparticle dispersed water and ethylene glycol based nanofluid”, *Materials Science And Engineering: B*, 139 (2–3): 141–148 (2007).
19. Perarasu, V. T., Arivazhagan, M., ve Sivashanmugam, P., “Heat transfer of TiO₂/water nanofluid in a coiled agitated vessel with propeller”, *Journal Of Hydrodynamics*, 24 (6): 942–950 (2012).
20. Selvakumar, P. ve Suresh, S., “Convective performance of CuO/water nanofluid in an electronic heat sink”, *Experimental Thermal And Fluid Science*, 40: 57–63 (2012).
21. Qu, J. ve Wu, H., “Thermal performance comparison of oscillating heat pipes with SiO₂/water and Al₂O₃/water nanofluids”, *International Journal Of Thermal Sciences*, 50 (10): 1954–1962 (2011).
22. 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).

23. Vermahmoudi, Y., Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., ve 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).
24. Suganthi, K. S., Vinodhan, V. L., ve Rajan, K. S., “Heat transfer performance and transport properties of ZnO–ethylene glycol and ZnO–ethylene glycol–water nanofluid coolants”, *Applied Energy*, 135: 548–559 (2014).
25. Bhanvase, B. A., Sarode, M. R., Putterwar, L. A., Abdullah, K. A., Deosarkar, M. P., ve Sonawane, S. H., “Intensification of convective heat transfer in water/ethylene glycol based nanofluids containing TiO₂ nanoparticles”, *Chemical Engineering And Processing: Process Intensification*, 82: 123–131 (2014).
26. Abbassi, Y., Talebi, M., Shirani, A. S., ve 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).
27. Bennis, A. ve Bouaziz, M. N., “CFD modeling of turbulent forced convective heat transfer and friction factor in a tube for Fe₃O₄ magnetic nanofluid in the presence of a magnetic field”, *Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers*, 78: 127–136 (2017).
28. Jafari, A., Tynjälä, T., Mousavi, S. M., ve Sarkomaa, P., “Simulation of heat transfer in a ferrofluid using computational fluid dynamics technique”, *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, 29 (4): 1197–1202 (2008).
29. Gavili, A., Zabihi, F., Isfahani, T. D., ve Sabbaghzadeh, J., “The thermal conductivity of water base ferrofluids under magnetic field”, *Experimental Thermal And Fluid Science*, (2012).
30. Lajvardi, M., Moghimi-Rad, J., Hadi, I., Gavili, A., Dallali Isfahani, T., Zabihi, F., ve Sabbaghzadeh, J., “Experimental investigation for enhanced ferrofluid heat transfer under magnetic field effect”, *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, (2010).
31. Bahiraei, M. ve Hangi, M., “Flow and heat transfer characteristics of magnetic nanofluids: A review”, *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, (2015).
32. Aminfar, H., Mohammadpourfard, M., ve Kahnamouei, Y. N., “Numerical study of magnetic field effects on the mixed convection of a magnetic nanofluid in a curved tube”, *International Journal Of Mechanical Sciences*, (2014).
33. Ashjaee, M., Afgh, S. S. S., ve Karimi, A., “Experimental investigation on thermal conductivity of MFe₂O₄ (M= Fe and Co) magnetic nanofluids under influence of magnetic field”, (2014).

34. Parekh, K. ve Lee, H. S., “Magnetic field induced enhancement in thermal conductivity of magnetite nanofluid”, *Journal Of Applied Physics*, 107 (9): 09A310 (2010).
35. Aminfar, H., Mohammadpourfard, M., ve Ahangar Zonouzi, S., “Numerical study of the ferrofluid flow and heat transfer through a rectangular duct in the presence of a non-uniform transverse magnetic field”, *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, (2013).
36. Azizian, R., Doroodchi, E., McKrell, T., Buongiorno, J., Hu, L. W., ve Moghtaderi, B., “Effect of magnetic field on laminar convective heat transfer of magnetite nanofluids”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, (2014).
37. Hong, K. S., Hong, T.-K., ve Yang, H.-S., “Thermal conductivity of Fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles”, *Applied Physics Letters*, 88 (3): 31901 (2006).
38. Racabovadiloğlu, Z., “ISI TAŞINIMINA MANYETİK ALANIN ETKİSİ”, *Politeknik Dergisi*, 5 (4): 293–298 (2002).
39. Erdem, M., Fırat, M., ve Varol, Y., “Dairesel bir kanalda soğutma şartları altında MHD sıvı lityum akışın sayısal olarak incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (1): 30–35 (2018).
40. Sun, B., Guo, Y., Yang, D., ve 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).
41. Sha, L., Ju, Y., ve 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).
42. Motozawa, M., Chang, J., Sawada, T., ve Kawaguchi, Y., “Effect of magnetic field on heat transfer in rectangular duct flow of a magnetic fluid”, (2010).
43. Fadaei, F., Shahrokhi, M., Dehkordi, A. M., ve Abbasi, Z., “Heat transfer enhancement of Fe₃O₄ ferrofluids in the presence of magnetic field”, *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 429: 314–323 (2017).
44. Mei, S., Qi, C., Luo, T., Zhai, X., ve Yan, Y., “Effects of magnetic field on thermo-hydraulic performance of Fe₃O₄-water nanofluids in a corrugated tube”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, (2019).
45. Amani, M., Ameri, M., ve Kasaeian, A., “Investigating the convection heat transfer of Fe₃O₄ nanofluid in a porous metal foam tube under constant magnetic field”, *Experimental Thermal And Fluid Science*, (2017).

46. Fard, M. H., Esfahany, M. N., ve Talaie, M. R., “Numerical study of convective heat transfer of nanofluids in a circular tube two-phase model versus single-phase model”, *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 37 (1): 91–97 (2010).
47. Mahian, O., Kolsi, L., Amani, M., Estellé, P., Ahmadi, G., Kleinstreuer, C., Marshall, J. S., Siavashi, M., Taylor, R. A., Niazmand, H., Wongwises, S., Hayat, T., Kolarjiyil, A., Kasaeian, A., ve Pop, I., “Recent advances in modeling and simulation of nanofluid flows — Part I: Fundamentals and theory”, *Physics Reports*, 790: 1–48 (2019).
48. Saidur, R., Leong, K. Y., ve Mohammed, H. A., .
49. Yu, W., France, D. M., Routbort, J. L., ve Choi, S. U. S., “Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements”, *Heat Transfer Engineering*, 29 (5): 432–460 (2008).
50. Das, S. K., Choi, S. U. S., ve Patel, H. E., “Heat transfer in nanofluids—a review”, *Heat Transfer Engineering*, 27 (10): 3–19 (2006).
51. Ali, F. M. ve Yunus, W. M. M., “Study of the effect of volume fraction concentration and particle materials on thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids”, *Japanese Journal Of Applied Physics*, 50 (8R): 85201 (2011).
52. Lee, J. H., “Convection performance of nanofluids for electronics cooling”, *Stanford University*, (2009).
53. Buongiorno, J. ve Hu, L., “8. Innovative Technologies: Two-Phase Heat Transfer in Water-Based Nanofluids for Nuclear Applications Final Report”, *Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139-4307*, (2009).
54. Yu, W., France, D. M., Choi, S. U. S., ve Routbort, J. L., “Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications.”, *Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States)*, (2007).
55. Xuan, Y. ve Li, Q., “Heat transfer enhancement of nanofluids”, *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, (2000).
56. Angayarkanni, S. A. ve Philip, J., “Review on thermal properties of nanofluids: Recent developments”, *Advances In Colloid And Interface Science*, 225: 146–176 (2015).
57. Ali, N., Teixeira, J. A., ve Addali, A., “A Review on Nanofluids : Fabrication , Stability , and Thermophysical Properties”, 2018: (2018).
58. Ganvir, R. B., Walke, P. V, ve Kriplani, V. M., “Heat transfer characteristics in nanofluid—a review”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 75: 451–460 (2017).

59. Yu, W. ve Xie, H., “A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications”, *Journal Of Nanomaterials*, 2012: (2012).
60. Bardool, R., Bakhtyari, A., Esmaeilzadeh, F., ve Wang, X., “Nanofluid viscosity modeling based on the friction theory”, *Journal Of Molecular Liquids*, 286: 110923 (2019).
61. Kakaç, S. ve Pramuanjaroenkij, A., “Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 52 (13–14): 3187–3196 (2009).
62. Bruggeman, V. D. A. G., “Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen. I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus isotropen Substanzen”, *Annalen Der Physik*, 416 (7): 636–664 (1935).
63. Khanafer, K. ve Vafai, K., “A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 54 (19–20): 4410–4428 (2011).
64. Hamilton, R. L. ve Crosser, O. K., “Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems”, *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1 (3): 187–191 (1962).
65. Ramezanizadeh, M., Ahmadi, M. H., Nazari, M. A., Sadeghzadeh, M., ve Chen, L., “A review on the utilized machine learning approaches for modeling the dynamic viscosity of nanofluids”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 114: 109345 (2019).
66. Prasher, R., Song, D., Wang, J., ve Phelan, P., “Measurements of nanofluid viscosity and its implications for thermal applications”, *Applied Physics Letters*, 89 (13): 133108 (2006).
67. Einstein, A., “A new determination of molecular dimensions”, *Ann. Phys.*, 19: 289–306 (1906).
68. Brinkman, H. C., “The viscosity of concentrated suspensions and solutions”, *The Journal Of Chemical Physics*, 20 (4): 571 (1952).
69. Lundgren, T. S., “Slow flow through stationary random beds and suspensions of spheres”, *Journal Of Fluid Mechanics*, 51 (2): 273–299 (1972).
70. Batchelor, G. K., “The effect of Brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles”, *Journal Of Fluid Mechanics*, 83 (1): 97–117 (1977).
71. Chandrasekar, M., Suresh, S., ve Senthilkumar, T., “Mechanisms proposed through experimental investigations on thermophysical properties and forced convective heat transfer characteristics of various nanofluids—A review”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16 (6): 3917–3938 (2012).

72. Pak, B. C. ve Cho, Y. I., “Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles”, *Experimental Heat Transfer An International Journal*, 11 (2): 151–170 (1998).
73. Xuan, Y. ve Roetzel, W., “Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 43 (19): 3701–3707 (2000).
74. Ding, Y. ve Wen, D., “Particle migration in a flow of nanoparticle suspensions”, *Powder Technology*, 149 (2–3): 84–92 (2005).
75. Akbari, M., Galanis, N., ve Behzadmehr, A., “Comparative analysis of single and two-phase models for CFD studies of nanofluid heat transfer”, *International Journal Of Thermal Sciences*, 50 (8): 1343–1354 (2011).
76. Mojarrad, M. S., Keshavarz, A., ve Shokouhi, A., “Nanofluids thermal behavior analysis using a new dispersion model along with single-phase”, *Heat And Mass Transfer*, 49 (9): 1333–1343 (2013).
77. Manninen, M., Taivassalo, V., ve Kallio, S., .
78. Vanaki, S. M., Ganesan, P., ve Mohammed, H. A., .
79. Schiller, L. ve Naumann, Z., “A drag coefficient correlation”, *Z.Ver.Deutsch.Ing*, 318–320 (1935).
80. “No Title”, <https://birtakimyazilar.com/2015/08/22/ferro-akiskanlar/> .
81. Azizian, R., “A Fundamental Study on Heat Transfer Characteristics of Magnetite Nanofluids”, (2013).
82. Nkurikiyimfura, I., Wang, Y., ve Pan, Z., “Heat transfer enhancement by magnetic nanofluids—a review”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 21: 548–561 (2013).
83. Kuzubov, A. O. ve Ivanova, O. I., “Magnetic liquids for heat exchange”, *Journal De Physique III*, 4 (1): 1–6 (1994).
84. Dibaei, M. ve Kargarsharifabad, H., “New achievements in Fe₃O₄ nanofluid fully developed forced convection heat transfer under the effect of a magnetic field: An experimental study”, *Journal Of Heat And Mass Transfer Research*, 4 (1): 1–11 (2017).
85. Syam Sundar, L., Naik, M. T., Sharma, K. V., Singh, M. K., ve Siva Reddy, T. C., “Experimental investigation of forced convection heat transfer and friction factor in a tube with Fe 3O 4 magnetic nanofluid”, *Experimental Thermal And Fluid Science*, (2012).

86. Pastoriza-Gallego, M. J., Lugo, L., Legido, J. L., ve Piñeiro, M. M., “Enhancement of thermal conductivity and volumetric behavior of Fe x O y nanofluids”, *Journal Of Applied Physics*, 110 (1): 14309 (2011).
87. Yeşilata, B., “Isı Transferi”, 87 (2007).
88. Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., ve Engin, T., “Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları”, *Güven Kitabevi*, (2008).
89. Sheikholeslami, M., Gorji-Bandpy, M., ve Ganji, D. D., “Review of heat transfer enhancement methods: Focus on passive methods using swirl flow devices”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 49: 444–469 (2015).
90. Alam, T. ve Kim, M.-H., “A comprehensive review on single phase heat transfer enhancement techniques in heat exchanger applications”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 81: 813–839 (2018).
91. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., ve Yılmaz, M., “Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi”, *Mühendis Ve Makina*, 47 (559): 29–34 (2006).
92. Liu, S. ve Sakr, M., “A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 19: 64–81 (2013).
93. İnternet: Hüseyin, Ç., “No Title”, <http://www.huseyincavus.com.tr/web/> .
94. Moreau, R. J., “Magnetohydrodynamics”, *Springer Science & Business Media*, (2013).
95. Sheikholeslami, M. ve Rokni, H. B., “Simulation of nanofluid heat transfer in presence of magnetic field: A review”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 115: 1203–1233 (2017).
96. Ganji, D. D. ve Malvandi, A., “Heat transfer enhancement using nanofluid flow in microchannels: simulation of heat and mass transfer”, *William Andrew*, (2016).
97. Davidson, P. A., “An introduction to magnetohydrodynamics”, (2002).
98. KARAMANOĞLU, Y., MOBEDİ, M., ve ERTÖZ, A. Ö., “Pompa Tasarımının Geliştirilmesinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Kullanılması”, .
99. Nadir, G., “Helisel Fanlı Pompalarda Hatve Değişiminin Verime Etkisinin, Sonlu Hacimler Yöntemi İle Ve Deneysel Olarak Belirlenmesi”, *Ege Üniversitesi*, (2012).
100. Engin, G., “Silindirik Borularda Manyetohidrodinamik Akışın Deneysel Olarak İncelenmesi Ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle Sayısal Analizi”, *Karabük Üniversitesi*, (2012).

101. “ANSYS Nedir? Nerelerde Kullanılır?”, https://muhendistan.com/ansys-nedir-nerelerde-kullanilir/#ANSYS_Nedir .
102. “Fluent Teknik İçerik”, <http://www.teknikicerik.com/ansys-fluent-nedir.html> .
103. Hajiani, P. ve Larachi, F., “Ferrofluid applications in chemical engineering”, *Int. Rev. Chem. Eng.*, 1: 221–237 (2009).
104. Incropera, F. P., Lavine, A. S., Bergman, T. L., ve DeWitt, D. P., “Fundamentals of heat and mass transfer”, *Wiley*, (2007).
105. Shah, R. K., “Laminar Flow Forced Convection in”, *Ducts, Supp. 1 Of Advances In Heat Transfer*, 153–195 (1978).
106. Gnielinski, V., “G7 heat transfer in cross-flow around single rows of tubes and through tube bundles”, *VDI heat atlas*, (2010).
107. Churchill, S. W. ve 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”, (1973).
108. Subramanian, R. S., “Heat transfer in flow through conduits”, *Department Of Chemical And Biomolecular Engineering, Clarkson University Project*, <[Http://Web2. Clarkson. Edu/Projects/Subramanian/Ch330/Not Es/Heat Transfer In Flow Thorough Conduits. Pdf](http://Web2.Clarkson.Edu/Projects/Subramanian/Ch330/Notes/Heat Transfer In Flow Thorough Conduits.Pdf)>(Accessed 15.01. 15), (2015).

EK AÇIKLAMALAR A.

FLUENT KODUNDA MHD MODEL

```
> /define/models/addon-module
FLUENT Addon Modules:
0. None
1. MHD Model
2. Fiber Model
3. Fuel Cell and Electrolysis Model
4. SOFC Model with Unresolved Electrolyte
5. Population Balance Model
6. Adjoint Solver
7. Battery Module
Enter Module Number: [0]
```

mhd-models/

Define solver configuration.

enable-mhd?

Enable/disable MHD model.

mhd-method

Select MHD method.

boundary-conditions/

Define MHD boundary conditions

list-zones

List ANSYS FLUENT zone information.

fluid

Set fluid zone boundary condition.

solid

Set solid zone boundary condition.

wall

Set wall boundary condition.

b0-scale-factor

Set and apply external magnetic field scale factor.

external-b0-field

Set and apply external magnetic field data.

initialize-mhd

Initialize MHD model.

initialize-dpm

Initialize DPM related MHD variables.

solution-control

Set MHD solution control parameters.

ÖZGEÇMİŞ

Meltem KARADAŞ 1994 yılında Nevşehir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Kardelen Koleji Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2017 yılında 3,32 derece ile mezun oldu. 2016-2017 yılları arasında İş Başı Eğitim Programı kapsamında KARDEMİR A.Ş.’de 1 yıl stajyer mühendis olarak çalıştı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kavaklıönü Mahallesi Ali Baran Nuğmanoğlu Bulvarı No:48

Ürgüp / NEVŞEHİR

Tel : (534) 455 4170

E-posta : meltemyigit50@hotmail.com