



**İYONİK SIVI BAZLI NANOAKIŞKANLARIN
(İYONANOAKIŞKAN) MANYETİK ALAN
ALTINDAKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Enes ŞAKİRALİ

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç.Dr. Engin GEDİK**

**İYONİK SIVI BAZLI NANOAKIŞKANLARIN (İYONANOAKIŞKAN)
MANYEİK ALAN ALTINDAKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Enes ŞAKİRALI

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

**Tez Danışmanı
Doç.Dr. Engin GEDİK**

**KARABÜK
Temmuz 2022**

Enes ŞAKİRALİ tarafından hazırlanan “İYONİK SIVI BAZLI NANOAKIŞKANLARIN (İYONANOAKIŞKAN) MANYETİK ALAN ALTINDAKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİ DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/07/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Ali KEÇEBAŞ (MÜ)

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.”

Enes ŞAKİRALI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İYONİK SIVI BAZLI NANOAKIŞKANLARIN (İYONANOAKIŞKAN) MANYETİK ALAN ALTINDAKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİ DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Enes ŞAKİRALI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç.Dr. Engin GEDİK

Temmuz 2022, 98 sayfa

İyonanoakışkanlar, yüksek sıcaklıktaki termal kararlılıklarının yanı sıra kirletici olmayan özellikleri nedeniyle termal enerji sistemlerinde yeni bir nanoteknoloji tabanlı ısı transfer sıvısı olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, iyonanoakışkanların sabit manyetik alan varlığında ve yokluğunda akış ve taşınım ile gerçekleşen ısı transfer özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında dairesel kesitli bir kanalda farklı kütle konsantrasyonlarında (%1-15) Fe_3O_4 nanopartikül ile saf su-[C2mim][CH3SO3] (1-Etil-3-metilimidazolyum Metan sülfonat) iyonik sıvı karışımının akış ve ısı transferi karakteristikleri sabit manyetik alan etkisi altında sayısal olarak incelenmiştir. Akış ve ısı transferinin temel denklemlerini laminer akış ($500 < Re < 2000$) şartlarında ve sabit manyetik alan ($B_0 = 0, 0.5, 1, 1.5$ T) etkisi altında çözmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine (HAD) dayalı çözümleme yapabilen

ANSYS Fluent 2020 R2 kodu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; İyonanoakışka sabit manyetik alan uygulandığı durumda manyetik alanın uygulanmadığı duruma göre daha yüksek ısı transfer artışı elde edilmiştir. %1,0wt ve %15wt kütleli nanopartikül konsantrasyonuna sahip iyonanoakışkan sabit manyetik alan uygulandığı durumda manyetik alanın uygulanmadığı duruma göre sırasıyla %5 ve %16 oranlarında artış elde edilmiştir. Bununla birlikte manyetik alanın uygulanması yüksek basınç düşüşlerine neden olmuştur. Manyetik alanın şiddeti ve nanopartikülün kütle konsantrasyonu arttıkça performans değerlendirme kriteri değerlerinin (PDK) azaldığı görülmüştür. Ayrıca iyonanoakışkanların en yüksek PDK değeri %4 olarak manyetik alan uygulanmadığı durumda tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : İyonanoakışkan, laminar akış, manyetohidrodinamik (MHD), manyetik alan, hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), zorlanmış taşınım.

Bilim Kodu : 91412

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER BEHAVIORS OF IONIC LIQUID BASED NANOFLUIDS (IONANOFLUIDS) UNDER MAGNETIC FIELD

Enes ŞAKİRALI

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Engin GEDİK

July 2022, 98 pages

Ionanofluids (INFs) are a recent class of nanotechnology-based heat transfer fluids. INFs are of great interest in thermal energy systems due to their thermal stability at high temperature as well as their non-polluting properties. In this context, in the present study, it is aimed to examine the flow and convection heat transfer characteristics of INFs in the presence and absence of magnetic field. For this propose, forced convection heat transfer of water-[C2mim][CH3SO3] (1-Ethyl-3-methylimidazolium Methane sulfonate) ionic liquid mixture with Fe₃O₄ nanoparticles of different mass concentrations (i.e. 1–15 %*wt.*) in a straight pipe under constant magnetic field effect has been investigated numerically. Governing equations of flow and heat transfer has been solved using a Computational Fluid Dynamics (CFD) method based ANSYS Fluent 2020 R2. Analysis were performed under laminar flow

regime ($500 < Re < 2000$) and constant heat flux was applied externally on the part of pipe surface. Some pertinent parameters effects such as Reynolds number, mass concentration of nanoparticle (1-15% *wt.*), constant magnetic field ($B_0 = 0, 0.5, 1, 1.5$ T) on the convective heat transfer are examined. According to the results obtained;. The forced convection of INFs effected by constant magnetic field shows higher heat transfer enhancement compared to the absence of a magnetic field for all mass concentration of nanoparticle. The constant magnetic field offers 5% and 16% convective heat transfer enhancement compared to the absence of a magnetic field for 1% *wt* and 15% *wt* mass concentration of nanoparticle, respectively. On the other hand, Constant magnetic field generally causes higher pressure drops. Yet, Increase of magnetic field intensity as well as mass concentration of nanoparticle results in the performance evaluation criteria (PEC) decrement. The absence of magnetic field resulted in the highest values PEC %4 in the studied INFs.

Key Word : Ionanofluid, laminar flow, Magnetohydrodynamics (MHD), magnetic field, Computational Fluid Dynamic (CFD), forced convection.

Science Code : 91412

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Engin GEDİK'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmamın her aőamasında sabırla yanımda olan, maddi ve manevi her türlü desteği veren Sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	18
GİRİŞ	18
BÖLÜM 2	23
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
2.1. NANOAKIŞKANLAR	23
2.2. İYONANOAKIŞKANLAR	27
2.3. MANYETOHİDRODİNAMİK.....	30
2.4. TEZİN AMACI.....	33
BÖLÜM 3	34
GENEL BİLGİLER	34
3.1. ISI TRANSFERİ MEKANİZMALARI	34
3.2. ISI TRANSFERİNİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ	36
3.3. NANOPARTİKÜLLER VE NANOAKIŞKANLAR.....	39
3.3.1. Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri.....	39
3.3.2. Nanoakışkanlar ve Üretim Yöntemleri.....	41
3.4. NANOAKIŞKANLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	43
3.4.1. Nanopartiküllerin Boyut Etkisi.....	43

	<u>Sayfa</u>
3.4.2. Brownian Hareketi.....	44
3.4.3 Partiküllerin Konsantrasyonu	44
3.4.4. Nanopartiküllerin Şekil Etkisi	44
3.5. İYONİK SIVILAR	46
3.5.1. İyonik Sıvıların Özellikleri	46
3.6. İYONANOAKIŞKANLAR	50
3.6.1. İyonanoakışkanların Özellikleri.....	50
BÖLÜM 4	52
MATERYAL VE YÖNTEM	52
4.1. ÇALIŞMA GEOMETRİSİ.....	52
4.2. SAYISAL AĞ YAPISININ OLUŞTURULMASI.....	53
4.3. AKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	56
4.3.1. Su-İyonik Sıvı Karışımın Termofiziksel Özellikleri	57
4.3.2. İyonanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	58
4.3.3. Deneysel Çalışmalara Göre Termofiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması	60
4.4. SAYISAL YÖNTEMİ.....	63
4.4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)	63
4.4.2. Sonlu Hacimler Yöntemi	64
4.4.3. ANSYS Fluent Programı	65
4.4.4. MHD Model.....	66
4.4.5. Sayısal Verilerin Hesaplanması	68
4.4.6. Sınır Şartları.....	70
BÖLÜM 5	72
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	72
5.1. SONUÇLARIN DOĞRULANMASI.....	72
5.2. SU-İYONİK SIVI KARIŞIMIN SONUÇLARI.....	73
5.2.1. Karışımlara Ait “Nu” Sayısının Sonuçları.....	73
5.2.2. Isı Taşınım Katsayısı “h” Sonuçları	74
5.2.3. Statik Basınç Değişim “ ΔP ” Sonuçları	75

	<u>Sayfa</u>
5.2.4. Darcy Sürtünme Faktörün “ <i>f</i> ” Sonuçları	76
5.3. İYONANOAKIŞKAN SONUÇLARI	77
5.3.1. İyonanoakışkanların Ortalam “Nu” Sayısının Sonuçları	77
5.3.2. Isı Taşınım Katsayısı “ <i>h</i> ” Sonuçları	78
5.3.3. Statik Basınç Değişim “ ΔP ” Sonuçları	79
5.3.4. Darcy Sürtünme Faktörün “ <i>f</i> ” Sonuçları	80
5.3.5. Eksenel Hız Profili.....	81
5.3.6. Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK)	85
BÖLÜM 6	87
SONUÇ VE ÖNERİ.....	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Hartmann tabakası ve Öz Bölgesi [8].	21
Şekil 1.2. MHD boru akışında elektriksel akım çizgileri: Duvar elektriksel olarak yalıtkan (a), duvar elektriksel olarak iletken (b) [2].	21
Şekil 1.3. Dikdörtgen kesitli bir kanaldaki manyetohidrokinamik akış, etkili kuvvetler ve hız profilleri.	22
Şekil 3.1. Isı transferi mekanizmaları.	34
Şekil 3.2. Taşınım ile ısı transferinin çeşitleri.	35
Şekil 3.3. Nanopartikül üretim yöntemleri [69].	40
Şekil 3.4. Tek adım yöntemi.	42
Şekil 3.5. İki adım yöntemi.	42
Şekil 3.6. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen faktörler.	43
Şekil 3.7. TEM görüntü, ZnO nanopartikül dikdörtgen ve küresel şekli [63].	44
Şekil 3.8. İyonik sıvıların bazı uygulama alanları [77].	46
Şekil 3.9. İyonik sıvıların sentezinde kullanılan bazı katyonlar [79].	47
Şekil 3.10. İyonik sıvıların sentezinde kullanılan bazı anyonlar [79].	47
Şekil 3.11. İyonanoakışkanların kullanım alanları [82].	50
Şekil 3.12. İki adımlı yöntemde İyonanoakışkanın hazırlanması [85].	51
Şekil 4.1. Problem geometrisi.	52
Şekil 4.2. Ağdan bağımsız çalışma.	54
Şekil 4.3. Örnek sayısal çözüm ağ yapısı.	54
Şekil 4.4. Boru duvarında hücre dağılımı.	55
Şekil 4.5. Mesh kalitesinin değerlendirilmesi.	55
Şekil 4.6. İyonanoakışkanın hazırlama şeması.	58
Şekil 4.7. Teorik modellerden elde edilen viskozite değerleri.	62
Şekil 4.8. HAD akış şeması.	64
Şekil 4.9. Fluent işlem aşamaları.	65
Şekil 5.1. Nu değerinin sonuçları literatürle karşılaştırılması.	72
Şekil 5.2. Karışımların farklı manyetik alan durumunda Nu değerinin Re değerine göre değişimi.	73
Şekil 5.3. Karışımların farklı manyetik alan durumunda h değerinin Re değerine göre değişimi.	74

Şekil 5.4. Karışımların farklı manyetik alan durumunda ΔP değerinin Re değerine göre değişimi.	75
Şekil 5.5. Karışımların farklı manyetik alan durumunda f değerinin Re değerine göre değişimi.	76
Şekil 5.6. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda Nu değerinin Re değerine göre değişimi.	78
Şekil 5.7. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda h değerinin Re değerine göre değişimi.	79
Şekil 5.8. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda ΔP değerinin Re değerine göre değişimi.	80
Şekil 5.9. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda f değerinin Re değerine göre değişimi.	81
Şekil 5.10. Manyetik alan şiddetine bağlı çap boyunca sayısal hız değişimi ($Re = 500$).	82
Şekil 5.11. Manyetik alan şiddetine bağlı çap boyunca sayısal hız değişimi ($Re = 2000$).	82
Şekil 5.12. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 500, \%10$).	83
Şekil 5.13. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 2000, \%10$).	84
Şekil 5.14. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 500, \%15$).	84
Şekil 5.15. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 2000, \%15$).	85
Şekil 5.16. Performans değerlendirme katsayısının manyetik alan şiddetile değişimi.	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Isı transfer iyileştirme yöntemlerinin sınıflandırılması [62].	38
Çizelge 3.2. Kullanılan farklı kimyasal malzemeye göre nanopartikül üretimi [67].	39
Çizelge 3.3. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan baz sıvılar ve nanopartiküller [63].	41
Çizelge 3.4. Nanopartiküllerin farklı şekilleri ve şekil faktörleri [66].	45
Çizelge 3.5. İyonik sıvılarda kullanılan katyon ve anyonların sınıflandırılması [80].	48
Çizelge 3.6. İyonik sıvılar, organik çözücüler ve Erimiş tuzların fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [78].	49
Çizelge 4.1. Farklı ağ yapılarında hesaplanan Nu değerleri.	53
Çizelge 4.2. İyonik sıvı ve suyun özellikleri.	56
Çizelge 4.3. Su ve iyonik sıvının termofiziksel özellikleri.	57
Çizelge 4.4. Su-iyonik sıvı karışımının termofiziksel özellikleri.	58
Çizelge 4.5. İyonanoakışkanın termofiziksel özellikleri.	60
Çizelge 4.6. Su ve iyonik sıvı karışımının teorik ve deneysel termofiziksel özellikleri.	61
Çizelge 4.7. Viskozitenin klasik modelleri	61
Çizelge 4.8. Farklı teorik modellerden viskozite değerleri.	62
Çizelge 4.9. İyonanoakışkanın viskozitesini araştıran deneysel çalışmalar.	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- C_p : özgül ısı (kJ/kg·K)
 D : çap (m)
 f : Darcy sürtünme faktörü
 F_c : sinerji alan sayısı
 h : taşınım ile ısı transferi (W/m²·K)
 k : ısı iletkenlik (W/m·K)
 L : kanal uzunluğu (m)
 p : basınç (Pa)
 ΔP : basınç farkı (Pa)
 Nu : nusselt sayısı
 Pe : Peclet sayısı
 r : yarıçap (m)
 Re : Reynold sayısı
 $T_{giriş}$: akışkan giriş sıcaklığı (°C)
 $T_{çıkış}$: akışkan çıkış sıcaklığı (°C)
 $T_{oçıkış}$: akışkan ortalama çıkış sıcaklığı (°C)
 T_{kanal} : kanal yüzey sıcaklığı (°C)
 q : ısı akısı (W/m²)
 μ : dinamik viskozite (kg/m·s)
 ρ : yoğunluk (kg/m³)
 σ : elektriksel iletkenlik (S/m)
 φ : hacimsel nanopartikül konsantrasyonu
 w_t : kütleli nanopartikül konsantrasyonu
 μ : manyetik geçirgenlik (H/m)
 m : moleküler kütlesi (g/mol)

x : mol konsantrasyonu
V : molar hacim
 Φ : molar hacim konsantrasyonu
T : Tesla
 B_0 : Uygulanan dış manyetik alan (T)
Pr : Prandtl sayısı
u : x yönündeki hız bileşeni (m/s)
v : y yönündeki hız bileşeni (m/s)
w : z yönündeki hız bileşeni (m/s)
x,y,z : Konum koordinatları
U : Hız (m/s)
ba : baz akışkan
na : nanoakışkan
np : nanopartikül
is : iyonik sıvı
 Fe_3O_4 : demir oksit
 θ : silindirik koordinat
 Θ : boyutsuz sıcaklık
 \dot{m} : Kütleli debi (kg/s)
Ha : Hartmann sayısı

KISALTMALAR

MHD : Manyetohidrodinamik

HAD : Hesaplama Akışkanlar Dinamiği

CFD : Computational Fluid Dynamics (Hesaplama Akışkanlar Dinamiği)

DC : Sabit manyetik alan

MNF : Magnetic Nanofluid (Manyetik Nanoakışkan)

PDK : Performans Değerlendirme Katsayısı

SHY : Sonlu Hacimler Yöntemi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz.) kullanılmasıyla sadece enerji ihtiyacının karşılanması ile kalmamakta, aynı zamanda dünya atmosferinde ısıyı tutan karbondioksit gibi sera gazların yayınmasına izin verilmektedir. Enerji için fosil yakıtların yakılması, hava ve su kirliliğinden küresel ısınmaya kadar insanlığa ve çevreye büyük bir zarar verir. Bu sebepler nedeniyle mühendisler ve bilim adamları enerji tüketiminin azaltılması, karbondioksit ve zararlı gaz salınımlarının yok edilmesi, tüm insanlığın geleceği için gerekli araştırmalar ve projeler üzerinde çalışmaya devam etmektedirler. Bu amaca yönelik gerek yenilenebilir enerji sistemlerinde gerekse de ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması temel bir ihtiyaçtır. Enerjiyi daha verimli bir şekilde üretebilmek ve ısı transferini artırabilmek amacıyla kullanılan sistemlerde enerji tasarrufuna yönelik çalışmaların ve projelerin yapılması zorunlu olmuştur. Bu nedenle, ısı transferinde verimi artırabilmek için çeşitli iyileştirici yöntemler geliştirilerek, aynı verimde daha küçük boyutlu, düşük maliyetli ve daha hafif özelliğe sahip ısı transfer sistemlerinin tasarımı önem arz etmektedir.

Araştırmacılar, ısı sistemlerinin verimliliğini geliştirmek, boyutunu azaltmak ve enerji tüketim oranını indirmek için ısı transfer uygulamasında kullanılan akışkanlara büyük bir önem vermişlerdir. Akışkanların araştırmacıların ilgisini çekme sebebi ısı transfer uygulamalarında kullanılan akışkanların termofiziksel özelliklerine bağlı olarak, enerji verimini ve ısı transfer ekipmanlarının geliştirilmesinde büyük bir rol oynamasıdır. Isı transferi akışkanları, termal akışkanlar veya termal yağlar olarak ta bilinir. Isıtma veya soğutma akışkanları olarak ta adlandırılabilirler. Endüstriyel uygulamalar kapsamında ısı transferi akışkanlarının üstün özellikleri nedeniyle enerji üretim sistemlerinde daha fazla kullanılmaya ihtiyaç duyulmuştur.

Yeni teknolojilerin ilgilendiği konulardan biri de Manyetohidrodinamik (MHD) sistemlerde ısı transferidir, Manyetohidrodinamik (MHD) kelimesinin kökeni manyetik alandan gelen “manyeto”, akışkan anlamındaki “hidro” ve hareket anlamındaki “dinamik” kelimelerinin birleşimine dayanmaktadır. Kısaca MHD, elektriksel olarak iletken akışkanların, akışı ile uygulanan manyetik alan arasındaki etkileşimini inceleyen disiplindir [1]. Akışkanın davranışını tahmin etmek ve bu tahminleri kullanarak yararlı sistemler kurmak her zaman tüm insanlığın ilgisini çekmiş, teorik ve deneysel çalışmalar ile bu amaca ulaşılmaya çalışılmıştır [2].

Manyetik alanın uygulanması akışkanlarda Lorentz kuvveti olarak bilinen bir direnç kuvveti üretir, Manyetikleşme özelliğine dayanarak akışkanların debisi, akış hızları ve ısı transferi performansı manyetik alanın etkisiyle değişmektedir [3]. Akışkanların MHD akışında momentum ve ısı transfer karakteristiklerinin belirlenmesinin son yıllarda önem kazanmasına neden olmuştur [4]. MHD ısı transfer alanının incelemesinde iki sınıfa ayrılır: birincisi akışkanın hareketi ve aerodinamik ısıtmada ısı transferini kontrol edebilmek için elektromanyetik alanların kullanılması, ikincisi ısıtma, MHD güç jeneratörü, MHD pompa vb. cihazlar için elektromanyetik alanların üretilmesidir. Bu nedenle manyetik alanın varlığı bir aktif ısı transferi iyileştirme yöntemi olarak kullanılmaktadır [5].

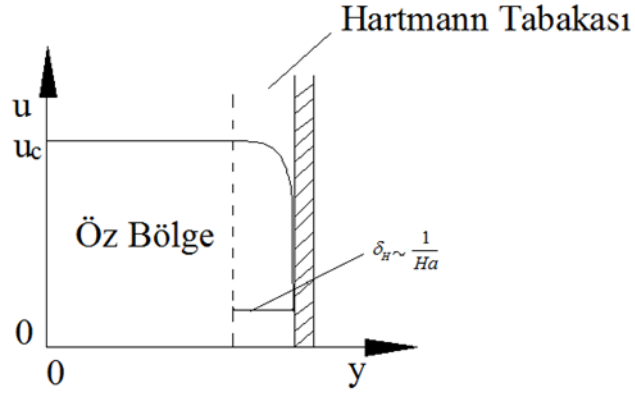
MHD, mühendislik ve fizik bilimlerinde geniş bir uygulama ve temel araştırma alanına sahip olmasından dolayı büyük ilgi görmüştür. İlk bilinen araştırma, manyetik etkilerini görmek için Michael Faraday tarafından yapılmıştır 1832’de Thames nehrinin akış hızını büyük ölçekli bir açık kanal magmetresi ile ölçmeye çalışmıştır. Çalışmada düşük duyarlı ölçüm teknolojisi nedeniyle tatmin edici bir çözüm elde edilememiştir [6]. Faraday’ın bu fikrini Hartmann 1937’de yeniden ve daha iyi şartlar altında ele almıştır, Hartmann manyetik alan altında iki paralel plaka arasındaki viskoz sıkıştırılmaz, elektriksel iletkenliği olan akışkanın MHD akışını ilk kez deneysel olarak incelemiştir [7]. MHD terimi ilk olarak 1942 yılında Hannes Alfvén tarafından ifade edilmiştir. Alfvén’den sonra MHD, birçok araştırmacının (akademisyenlerin ve mühendislerin) ilgisini çekmiştir, yaygın olarak analitik ve deneysel çalışmalarda kanal ve dairesel kesitlerde uygulanmıştır [6].

Uygulanan manyetik alan kuvvetinin etkisi altında elektriksel iletkenliği olan akışkanların kanal akışı MHD'nin temel problemleri arasında yer almaktadır. Standart sınır tabaka karakteristiklerine ek olarak manyetik alan kuvvetinin altındaki bir akış uygulamasında üç farklı tabakadan bahsetmek gereklidir. Bu tabakalar;

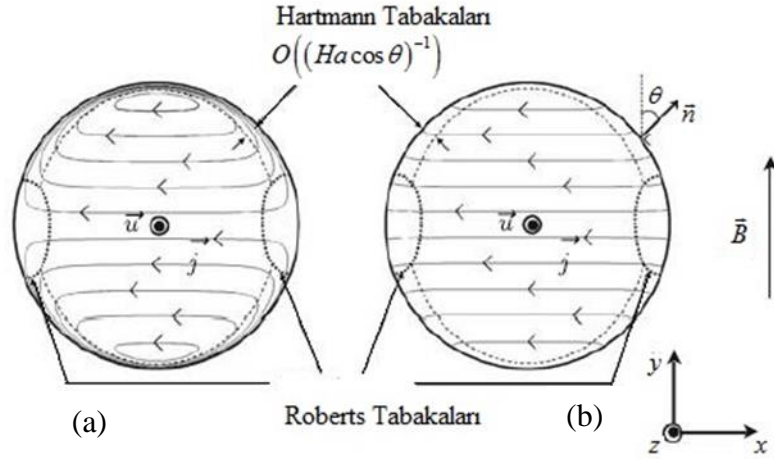
- Öz bölge
- Hartmann tabakası
- Roberts tabakası

Çok yüksek Hartmann sayısının değerlerinde öz bölgede hız profili manyetik alan yönünde dengeleşir ve akım yoğunluğu üniform olur. Viskoz etkiler ihmal edildiği durumda momentum dengesi basınç gradyanı ve Lorentz kuvvetleri tarafından kontrol edilir. Boru duvar alanında akım çizgileri kapalı bir şekilde kalması gerektiğinden dolayı bir gerilim indüklenir. Gerilim, duvar iletkenlik oranına bağlı olarak viskoz sınır tabakasında akım çizgilerinin yönünü, bu çizgilerin duvar boyunca devam etmesini ya da duvara girmesine neden olacak biçimde değiştirir [2].

Hartmann tabakası Şekil 1.1'de görüldüğü gibi boru duvarına yakın yerlerde Lorentz kuvvetinin etkili olduğu bir alandır. Bu tabakada temel akışın kontrolünde önemli bir etkiye sahip olup tabakanın normal vektörü manyetik alanın yönüne dik değildir. Hartmann tabakasında momentum dengesi büyük değerde Lorentz kuvveti ve viskoz kuvvetleriyle sağlanır. Bu durum duvara yaklaşıldıkça hız profilinde eksponansiyel bir düşüşe neden olur [8]. Roberts tabakası ise Şekil 1.2'de görüldüğü gibi duvara yakın olup, bu tabakanın normal vektörü manyetik alanın yönüne diktir. Roberts tabakasındaki hız profili, basınç gradyanı, Lorentz kuvveti ve viskoz etkileşim arasındaki birleşik denge tarafından tespit edilir. Hartmann sayısı arttıkça, Roberts tabakasının kalınlığı ve toplam debiye olan etkisi azalır. Roberts tabakasındaki hız profilinin olası varsayımı çok zordur. Çünkü hız profili viskoz sınır tabakalarda elektrik akımın yönüne bağlıdır [2]. MHD boru akışının geleneksel asimptotik yöntemlerinde Roberts tabakası dikkate alınmaz. Öz bölgedeki ve Hartmann tabakasındaki hız profilleri birleşir ve öz bölgesinin hızı, borunun elektriksel sınır şartı dikkate alınarak belirlenir [2].



Şekil 1.1. Hartmann tabakası ve Öz Bölgesi [8].



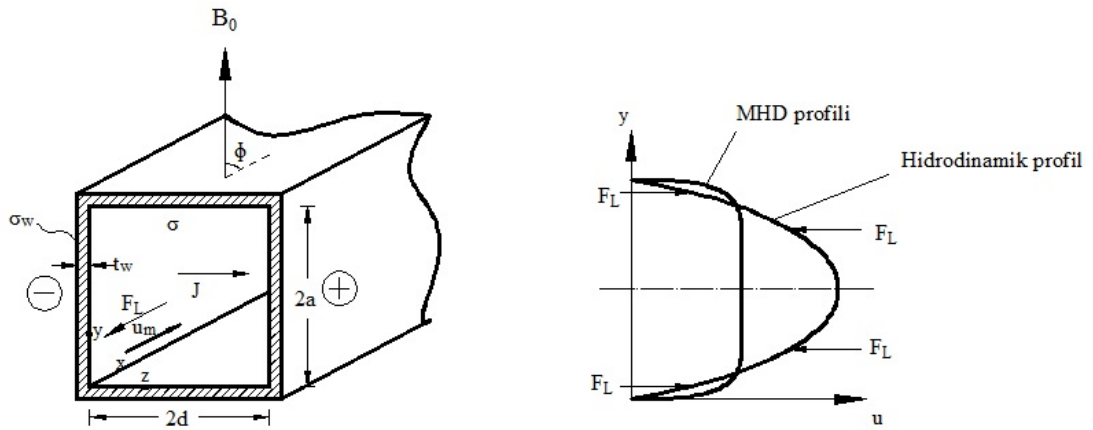
Şekil 1.2. MHD boru akışında elektriksel akım çizgileri: Duvar elektriksel olarak yalıtkan (a), duvar elektriksel olarak iletken (b) [2].

MHD akışta manyetik alanın ve hız arasındaki etkileşimin şiddeti değişiklik gösterebilir. Hız ve manyetik alanın elektromanyetizmada ve akışkanlar mekaniğinde, gerektiğinden büyük bir şekilde farklılık gösterdiği durumlarda ise bu etkileşim güçlüdür. Bu duruma en çarpıcı örneklerden biri olarak elektromanyetik ve akustik dalgalar gibi açıklanamayan Alfven dalgaları verilebilir. Alfven dalgalarının çalışma temeli, güçlü bir şekilde manyetik alanın ve hız arasındaki etkileşime bağlıdır. Bu kavramın anlaşılması, var olan iki temel etkiye dayanmaktadır [9].

Birinci etki, elektromanyetizm manyetik alan içerisindeki herhangi bir iletken maddenin hareketi elektrik akım yoğunluğu olan J 'nin de akmasını sağlayan bir DC

güç kaynağı meydana getirmesidir. Ayrıca, bu hareket kendi manyetik alanını da indüklemektedir. Bu etki hareket eden maddenin katı olmasıyla daha basit bir biçimdeyken, iletken maddenin bir akışkan olması durumunda daha karmaşık bir biçimde bulunur.

İkinci etki ise, maddenin Lorentz kuvvetine maruz kalmasıdır. İndüklenen elektrik akımı yoğunluğu ve Lorentz kuvveti, kendilerini oluşturan mekanizmaya ters koyma eğiliminde oldukları için, bu indüklenmeye sebep olan hareketler, sistematik bir şekilde Lorentz kuvveti tarafından durdurulmaktadır [9]. Belirli bir zorlanmış akışta, hidrodinamik hız profili ve manyetik alanın etkisi altında meydana gelen Lorentz kuvvetinin etkisi ile oluşan MHD hız profilinin şematik resmi, Şekil 1.3'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi duvara ve orta eksene yakın yerlerde manyetik alanın etkisi farklı karakterler göstermektedir. Duvara yakın yerlerde Lorentz kuvveti akış doğrultusunda etkilenirken, merkeze yakın yerlerde ise akışa ters yönde etkilenmektedir. Bu etkileşimin sonucunda parabolik şekle sahip olan hız profili uniform bir şekle geçiş yapar [2,9].



Şekil 1.3. Dikdörtgen kesitli bir kanaldaki Manyetohidrokinematik akış, etkili kuvvetler ve hız profilleri.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı transferi, birçok endüstriyel uygulamalarda en önemli süreçlerden biridir. Geleneksel akışkanların düşük ısı iletkenlik katsayıları, ısı transfer performansına temel bir sınır koymuştur. Bu nedenle, Maxwell'den (1873) bu zamana kadar, bilim adamları ve mühendisler, milimetre veya mikrometre boyutundaki katıları kullanarak bu temel sınırı aşmak için büyük çaba sarf etmişlerdir. Richard P. Feynman'ın Aralık 1959'da American Physical Society'nin yıllık toplantısında, mikromakineler kavramını sunarak ilk Nobel ödülünü kazanmıştır. Yaklaşık 40 yıl sonra, bir başka Nobel ödülünü kazanan bilim adamı, H. Rohrer, nanoteknolojinin fırsatlarını ve zorluklarını sunarak, ayrıca nanobilim ve nanoteknolojinin sanal belirsizlikten ilgi odağına girdiğini ilan etmiştir [10].

Argonne National Laboratuvarı'ndaki (ANL) ileri akışkanlar programının kapsamında olan deneyler, nanopartiküllerin büyük boyuttan başlayıp, nano boyutuna inerek nanoakışkanların icadıyla son bulmuştur. Bu deneylerde kullanılan akışkanlara farklı nanopartikül ekleyerek ısı transferinin yeni bir alanı olarak nanoakışkanların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Son yıllarda, dairesel bir boruda veya farklı bir geometride zorlanmış taşınım birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Uygulamalarda saf akışkanlar veya farklı nanoakışkanlar kullanılarak ısı transferi ve akış performansını incelemiştir [11,10]. Bunlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

2.1. NANOAKIŞKANLAR

Kherbeet vd.'nin çalışmasında, sabit ısı akısına maruz olan 3 boyutlu basamak şeklinde bir kanal, 25 nm çapında ve %4,0 hacimsel konsantrasyona sahip SiO₂ nanopartikül, dört farklı baz akışkan (gliserin, motor yağı, etilen glikol ve su) içinde

dağıtılarak sayısal olarak ısı tranferi incelenmiştir. Çalışmada $Re = 35$ sıkıştırılmaz laminer akış şartlarında, en yüksek Nusselt sayısının baz akışkan gliserin kullanarak elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca baz akışkan su kullanıldığında yüzey sürtünme katsayısının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [12].

Yihe Huang yaptığı çalışmada, su ile %0-%4,0 arasında değişken hacimsel konsantrasyonlarına sahip Al_2O_3 , CuO ve CNT nanopartikülleri boru içerisinde laminer, türbülans akışının ve konvektif ısı transferinin sayısal bir incelemesini gerçekleştirmiştir. Çalışmada CuO yüksek ısı iletkenliğinden dolayı, CuO/su nanoakışkanın ısı transferi üzerindeki etkisi, Al_2O_3 /su nanoakışkana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca %0,038 konsantrasyonda CNT/su nanoakışkanın, akış alanındaki ısı transfer katsayısının ve Nusselt sayısının en yüksek değerde olduğunu gözlemlemişlerdir. [13].

Berberovic ve Bikic yaptıkları çalışmada EG/ Si_3N_4 nanoakışkanı çeşitli konsantrasyonlarda, tamamen laminer akış rejiminde zorlanmış taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda EG/ Si_3N_4 nanoakışkanı hacimsel konsantrasyon arttıkça taşınım ile ısı transferinin arttığını gözlemlemişlerdir [14].

Bayat ve Nikseresht yaptıkları sayısal çalışmada yatay dairesel kesitli bir kanal içerisinde sabit ısı akısı altında farklı hacimsel konsantrasyon (%0-%0,09) ve geçiş rejimi ($100 \leq Re \leq 2000$) şartlarında Al_2O_3 nanopartikülü su, etilen glikol ve su-etilen glikol karışımı içerisinde dağıtarak ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. Su-etilen glikol karışımına eklenen nanopartikül ile hacimsel konsantrasyon ve Reynolds sayısının artmasıyla ortalama ısı transfer katsayısında bir artışın olduğunu belirtmişlerdir [15].

Tijerina vd.'nin çalışmalarında, sabit ısı akısı altında düz boru ve düz mikrotüp içinde üç farklı baz akışkan (su, etilen glikol ve türbin yağı) ve beş farklı nanopartikül (Al_2O_3 , TiO_2 , CuO, SiO_2 , ZnO) kullanılarak ısı transfer özelliklerini incelenmişlerdir. Hacimsel konsantrasyon ve Reynold sayısı arttıkça Nusselt sayısının arttığını ifade etmişlerdir. Hacimsel konsantrasyon olarak %4,0 Al_2O_3 /su, Al_2O_3 /EG ve Al_2O_3 /türbin

yağı nanoakışkanlar için Nusselt sayısında sırasıyla %16, %12 ve %8 oranlarında artış olduğunu belirtmişlerdir [16].

Minea'nın yaptığı çalışmada sabit ısı akısı altında dairesel bir kanalda Al_2O_3/su nanoakışkanın laminer zorlanmış taşınım akış şartlarında ısı transferi ve akış özelliklerini incelenmiştir. Al_2O_3/su nanoakışkanın ısı transfer katsayısının saf suya kıyasla %3,4-27,8 oranında arttığı belirtilmiştir. [17].

Salman vd.'nin yaptıkları çalışmada, bir mikrotüpte tek faz akış modeli kullanılarak nanoakışkanın (SiO_2/su , SiO_2/EG , $SiO_2/gliserin$ ve $SiO_2/$ motor yağı) zorlanmış taşınım akış şartlarında baz akışkanların etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar neticesinde gliserinin en yüksek Nusselt sayısına sahip olduğunu ve ardından motor yağı, etilen glkol ve en son su olduğunu bulmuşlardır [18].

Maseer vd.'nin yaptıkları çalışmada, Al_2O_3 , CuO , MgO , SiO_2 , TiO_2 ve ZnO nanopartikülleri farklı konsantrasyon oranlarında suya ilave edilerek termofiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin, nanopartiküllerin konsantrasyon oranı ve sıcaklık artışından dolayı önemli ölçüde artığını gözlemlemişlerdir. Ancak değişiklik sadece nanoakışkanların ısı iletkenliğinde olmadığını, nanoakışkanlardaki viskozite artışına da neden olduğunu belirtmişlerdir [19].

Ting vd.'nin yaptıkları sayısal çalışmada, farklı hacimsel konsantrasyonlarına (%0,1 ve %2,0) sahip Al_2O_3/su nanoakışkanın sabit duvar sıcaklığı altında ısı transferi ve akış özellikleri incelenmiştir. Laminer akış rejiminde ($360 \leq Re \leq 2100$) %2,0 konsantrasyona sahip Al_2O_3/su nanoakışkanın ısı transfer katsayısının saf suya göre %32 oranında arttığı görülmüştür [20].

Shahrul vd.'nin yaptıkları çalışmada, %3,0 hacimsel konsantrasyonuna sahip 5 farklı nanoakışkanın bir borulu ısı değiştiricide kullanarak termal performansını araştırmışlardır. Hacimsel konsantrasyon olarak %3,0 Al_2O_3/su , Fe_3O_4/su , TiO_2/su , ZnO/su ve CuO/su nanoakışkanları için ısı transfer katsayısında sırayla %12,06, %11,01, %8,86, %8,68 ve %8,60 oranlarında artış olduğunu belirtmişlerdir. Bunun

yanında, gövde kısmında yüksek kütleli akış hızı ve boru kısmında düşük kütleli akış hızının, ısı değiştiricinin enerji performansını arttığı görülmüştür [21].

Malika vd.'nin çalışmalarında, CuO–ZnO (80:20)/su %0,01 hacimsel konsantrasyonuna sahip hibrit nanoakışkanın türbülans akış rejiminde ($1900 \leq Re \leq 17.500$) bir borulu ısı değiştiricide kullanılmasıyla ısı transfer performansını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Bulgulara göre, nanoakışkanın tüm Reynold sayılarında ısı transfer performansının yüksek artış gösterdiği görülmüştür. Ayrıca Nusselt sayısı, basınç düşüşü, ısı performans faktörü ve ısı verimliliği sırasıyla %33, %13, %1,45 ve %7 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir [22].

Sokhal vd. yaptıkları çalışmada, enerjiyi depolamak için su bazlı nanoakışkanların etkisini incelemişlerdir. Nanoakışkanın üstün ısı taşıma özellikleri nedeniyle baz akışkana kıyasla yüksek depolama kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin ısı depolama kapasitesi nanoakışkanlar kullanıldığında önemli ölçüde arttığını ifade etmişlerdir [23].

Rangababu vd.'nin yaptıkları sayısal çalışmada, düzlemsel güneş kolektöründe Al_2O_3/su ve CuO/su nanoakışkanları kullanılarak ısı transfer performansını incelemişlerdir. CuO/su nanoakışkanın ısı transfer katsayısının baz akışkan ve Al_2O_3/su ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak kolektör veriminde sırasıyla % 22 ve % 8 oranında artış olduğu görülmüştür [24].

Esfe vd.'nin çalışmalarında, %40-%60 oranında SWCNT ve Fe_3O_4 nanopartikülleri etilen glikol baz akışkan içerisinde dağıtılarak hibrit nanoakışkanın ısı iletkenlik performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Verilere göre, %1,0 hacimsel konsantrasyondaki nanoakışkanın ısı iletkenliğinde %40 oranında bir artış gözlemlenmiştir [25].

2.2. İYONANOAKIŞKANLAR

İyonik sıvılara nanopartiküllerin eklenmesi ile “iyonanoakışkan” olarak bilinen yeni termofiziksel özelliklere sahip bir akışkan elde edilir. İyonanoakışkanlar, son yıllarda kimya proseslerinde ve özellikle “yeşil kimya” alanında büyük bir ilgi çekmiş, ve ayrıca yenilenebilir enerji sistemlerinde yüksek ısıya dayanıklı olmalarından dolayı güneş enerjisi santrallerinde alternatif sıvı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Birbirinden farklı iyonik sıvılar ve nanopartiküller kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Nieto de Castro vd.’nin yaptıkları deneysel çalışmada, farklı kütle konsantrasyonuna sahip karbon nanotüp (MWCNT) iyonik sıvıyla ([C6mim][BF4], [C4mim][CF3SO3], [C4mpyr][CF3SO2)2N]) hazırlanarak ısı iletkenlik ve ısı transfer karakteristiklerini incelenmiştir. %3,0 kütle konsantrasyonda ısı iletkenliğinde %26 civarında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir [27].

Fuxian Wang vd.’nin çalışmalarında, MWCNT/[Hmim][BF4] ve Grafen/[Hmim][BF4] iyonanoakışkanları kullanılarak ısı iletkenliğini deneysel olarak incelemişlerdir. İyonanoakışkanın saf iyonik sıvıyla karşılaştırıldığında ısı iletkenliğinde az bir artışın olduğunu gözlemişlerdir. Ayrıca sıcaklığın ısı iletkenlik üzerindeki etkisinin fark edilir hale gelmediğini tespit etmişlerdir [28].

Ansarpour vd.’nin yaptıkları sayısal çalışmada, dairesel kesitli bir kanalda 20 nm çapında ve 0,5, 1,0 ve 2,5 kütle konsantrasyonuna sahip Al₂O₃ nanopartikül baz akışkan ([EMIM][EtSO₄]/su-Etilen glikol) karışımına ekleyerek iyonanoakışkanın ısı transfer özelliklerini araştırmışlardır. Oda sıcaklığı altındaki sıcaklık için iyonanoakışkan yüksek ısı iletkenliğinden dolayı su-etilen glikol bazlı nanoakışkanlardan daha yüksek ısı transfer performansı göstermiştir. Bunun yanında baz akışkana nanopartikül oranının artırılmasıyla ısı transfer katsayısının arttığını tespit etmişlerdir [29].

Paul vd.’nin çalışmalarında, yoğunlaştırılmış güneş enerji sisteminde Al₂O₃/[C4mim][NTf2] iyonanoakışkanı kullanarak laminar ve türbülans akış

rejiminde ısı transfer değişimini incelemişlerdir. Isı transfer katsayısındaki artış laminer ve türbülans akış için sırasıyla %27 ve %40 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, %0,9 hacimsel konsantrasyonunda, ısı iletkenliğin ve ısı kapasitesinin sırasıyla %11 ve %49 oranında arttığını gözlemlemişlerdir [30].

Chereches vd.'nin yaptıkları deneysel çalışmada, $Al_2O_3/[C2mim][CH_3SO_3]$ -su iyonanoakışkanını kullanarak yoğunluk ve ısıl iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Isıl iletkenlik değerlendirilmesinde %13 oranında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca nanopartikül kütle konsantrasyonunun artmasıyla yoğunluğun arttığını gözlemlemişlerdir [31].

Prasad and Selvakumar çalışmalarında, $Al_2O_3/[C4mim][NTf_2]$ iyonanoakışkanının farklı hacimsel konsantrasyon (%0-%2,5) oranlarında ve laminar rejim ($250 \leq Re \leq 1000$) şartlarında farklı giriş sıcaklıkları 293 K, 313 K ve 333 K için 2 boyutlu bir kanalda zorlanmış taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre, iyonanoakışkanlar yüksek sıcaklıklarda geleneksel su bazlı nanoakışkanlardan daha yüksek ısı transfer performansı göstermiştir. Bu nedenle iyonanoakışkanların yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanım potansiyelinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [32].

Rupesh ve Selvakumar yaptıkları sayısal çalışmada, dairesel bir silindir etrafındaki $Al_2O_3/[C4mim][NTf_2]$ iyonanoakışkanının farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0-%2,5) laminer akış rejiminde ($10 \leq Re \leq 40$) ısı transfer performansını incelemişlerdir. Geleneksel Al_2O_3 /su nanoakışkan ile karşılaştırıldığında iyonanoakışkan ısı transferinde %59 oranında bir artış sağlamıştır [33].

Hosseinghorbani vd.'nin yaptıkları deneysel çalışmada, üç farklı kütleli konsantrasyonunda (%1,0, %2,12 ve %3,1) $GO/[Bmim][NTf_2]$ iyonanoakışkanının ısı transferi ve termofiziksel özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. İyonanoakışkanın ısı iletkenliği ve ısı kapasitesi sırasıyla %6,5 ve %27 oranlarında artış olduğunu belirtmişlerdir. GO nanopartikülün %0,5 kütleli konsantrasyonunda maksimum ısı transfer katsayısı %7,2 oranında arttığını görmüşlerdir [34].

Jian Liu vd.'nin çalışmalarında, Grafen /[Hmim][BF4] iyonanoakışkanı kullanılarak orta ve yüksek sıcaklıklarda ısıl iletkenliğini deneysel olarak araştırmışlardır. 25 ile 200°C sıcaklık arasında ve %0,06 kütle konsantrasyonda iyonanoakışkanın ısıl iletkenliğinin %15,2-%22,9 oranında arttığını belirtmişlerdir [35].

Chereches vd. yaptıkları çalışmada, sabit ısı akısı altında dairesel bir kanalda Al₂O₃/[C4mim][NTf2] iyonanoakışkanın laminer zorlanmış taşınım ile ısı transfer özelliklerini sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmaya göre, Al₂O₃ konsantrasyonu ve Reynold sayısının artışı ile ısı transfer katsayısında artış elde etmişlerdir [36].

Paul vd. çalışmalarında, dairesel kesitli kanalda iki faz akışkan modeli kullanılarak Al₂O₃/[C4mim][NTf2] iyonanoakışkanının ısı transfer değişimini sayısal olarak incelemişlerdir. İyonanoakışkanın ısı transfer katsayısı tamamen laminer akış rejiminde önemli ölçüde arttığını belirtmiştir [37].

Minea ve Murshed yaptıkları sayısal çalışmada, dairesel bir kanalda farklı kütle konsantrasyonlara sahip Al₂O₃/[C4mim][NTf2], MWCNT/[C4mim][NTf2], MWCNT/[HMIM][BF4], Graphene/[HMIM][BF4] iyonanoakışkanları kullanılarak ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. %0,9 konsantrasyonda Al₂O₃/[C4mim][NTf2] iyonanoakışkanın ısı transfer katsayısı $Re=500$ de %200 oranında bir artış olduğu görülmüştür. Çalışmada MWCNT/[HMIM][BF4] ve Graphene/[HMIM][BF4] iyonanoakışkanların kütle konsantrasyonu arttıkça ısı transfer katsayısının arttığını belirtmişlerdir [38].

Chereches vd. çalışmalarında, dairesel bir kanalda farklı kütle konsantrasyonlara sahip Al₂O₃/[C2mim][CH3SO3]-su iyonanoakışkanın laminer akış rejiminde tek faz modelini kullanılarak ısı transfer karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Su oranı azaldıkça baz akışkanın ([C2mim][CH3SO3]-su) ısı transfer katsayısının azaldığı görülmüştür. İyonanoakışkanın Al₂O₃ kütle konsantrasyonuna bağlı olarak maksimum %50 oranında arttığını bulmuşlardır [39].

Chen vd. yaptıkları deneysel çalışmada, SiC/[HMIM][BF4] iyonanoakışkanın %0,01, %0,03, %0,06 kütle konsantrasyonunda ve 30 nm çapında absorpsiyonlu güneş

kollektörü kullanarak termofiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Nanopartikül konsantrasyonu arttıkça, yoğunluk, viskozite, ısıl iletkenlik ve ısıl kapasitesinde bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Isıl iletkenliğin maksimum %10 oranında arttığını bulmuşlardır [40].

Minea ve Maghlany çalışmalarında, kare şeklindeki kapalı ortamda $Al_2O_3/[C4mim][NTf_2]$ iyonanoakışkanı kullanılarak farklı hacimsel konsantrasyon (%0,5, %1,0 ve %2,5) oranlarında termofiziksel özelliklerini incelemişlerdir. İyonanoakışkanın Nusselt sayısının geleneksel Al_2O_3/su nanoakışkanı ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça viskozitenin arttığı görülmüştür [41].

2.3. MANYETOHİDRODİNAMİK

M.Gaber vd. yaptıkları çalışmada, kare şeklindeki kapalı ortamda $Al_2O_3/[C4mim][NTf_2]$ iyonanoakışkanı kullanılarak farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0,5, %1,0 ve %2,5) ve yatay manyetik alanında ($0 \leq Ha \leq 60$) ısıl transferi üzerindeki etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuçlara göre, manyetik alan iyonanoakışkanın ısıl transfer katsayısını azalttığı görülmüştür. Rayleigh sayısının yükselmesiyle ısıl transfer katsayısının arttığını bulmuşlardır [42].

Zonouzi vd. yaptıkları deneysel çalışmada, dairesel kesitli kanal içinde ve manyetik alanın etkisi altında farklı Reynold sayılarında Fe_3O_4/su nanoakışkanın ısıl transferi özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde dört kutuplu mıknatıs kullanılarak %2,0 hacimsel konsantrasyonuna sahip nanoakışkanın ısıl transfer katsayısında maksimum %48,9 oranında artış olduğunu belirtmişlerdir [43].

Tolba vd. çalışmalarında, sabit manyetik alan altında ısıtılmış dairesel kesitli kanalda kütlelesel olarak %2,5 konsantrasyonda Fe_3O_4/su nanoakışkanın laminer akış rejiminde ısıl transfer özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. %2,5 kütlelesel konsantrasyonunda ve $Re=2000$ akış şartında sabit manyetik alan uygulanmasıyla ısıl transfer katsayısının maksimum %119,6 oranında arttığını görmüşlerdir [44].

Mei vd.'nin yaptıkları çalışmada, silindirik bir boru içinde %1,0, %3,0 ve %5,0 kütleli konsantrasyonunda Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanılarak farklı manyetik alan büyüklüklerinde ($B=0$ G, 100 G, 200 G ve 300 G) ve $600 \leq Re \leq 11000$ akış şartlarında ısı performansını incelemiştir. Çalışma neticesinde, Nusselt sayısı artışının kütleli nanopartikül konsantrasyonu ile arttığı görülmüştür, en iyi artışı %5,0 kütleli konsantrasyonunda ve $B=300$ G manyetik alan büyüklüğü altında tespit etmişlerdir [45].

Sun vd. yaptıkları deneysel çalışmada, %0,5 hacimsel konsantrasyonunda Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanılarak manyetik alanın ısı transferi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemiştir. Sonuçlara göre, 415 G ve 700 G manyetik alan ile $Re=1080$ akış şartları altında manyetik alan uygulanmadığı durumla kıyaslandığında sırasıyla %4,36 ve %7,19 oranında bir artışın olduğu belirtilmiştir [46].

Lajvardi vd. yaptıkları çalışmada, sabit ısı akışı altında bakır kanal kullanılarak Fe_3O_4/su nanoakışkanının 0,12 T şiddetinde manyetik alan altındaki özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Artan manyetik alan şiddeti ve nanopartiküllerin eklenmesiyle taşınımın gerçekleşen ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir [47].

Bonab vd. yaptıkları deneysel çalışmada, laminar akış şartlarında 0,07 T şiddetinde alternatif manyetik alan kullanılarak %1,0, %2,5 ve %5,0 hacimsel konsantrasyonlarındaki Fe_3O_4/su nanoakışkanın ısı transferi karakteristiklerini incelemiştir. Sonuçlara göre, manyetik alan frekansı arttıkça ısı transfer katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. %2,5 hacimsel konsantrasyonunda ve alternatif manyetik alanla beraber ısı transferinde %30 oranına varan artış tespit etmişlerdir [48].

Selimefendigil vd. yaptıkları çalışmada, silindirik bir kanal içinde Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanılarak farklı Hartmann sayısında ($0 \leq Ha \leq 3$) ve $100 \leq Re \leq 500$ laminar akış şartlarında ısı transfer özelliklerini sayısal olarak incelemiştir. $Ha=3$ değerinde ortalama Nusselt sayısı manyetik alanın uygulandığı ve uygulanmadığı durumunda sırasıyla %12-15 ve %9-12 oranında arttığını tespit etmişlerdir [49].

Bennia ve Bouaziz çalışmalarında, dairesel kesitli bir kanalda Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanılarak farklı manyetik alan şiddetinde ($0 \leq B \leq 10$) ve $5000 \leq Re \leq 25000$ akış şartlarında ısı transfer karakteristiklerini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü manyetik alan şiddet ile doğru orantılı olarak arttığını bulmuşlardır, en iyi artışı $Re=9800$ değerinde ve $B=10$ T manyetik alan şiddeti altında tespit etmişlerdir.

Goharkhah vd. yaptıkları deneysel çalışmada, ısıtılmış bir tüpte %1,0, %1,5 ve %2,0 hacimsel konsantrasyonlarındaki Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanılarak laminer zorlanmış taşınım ısı transferi üzerinde sabit ve alternatif manyetik alanın etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. %2,0 hacimsel konsantrasyonunda ve $Re = 1200$ akış şartında manyetik alanın uygulanmadan ısı transferini %13,5 kadar iyileştirdiğini bulmuşlardır. Sabit ve alternatif manyetik alan uygulandığında ise ısı transfer katsayısının sırayla %18,9 ve %31,4 oranında arttığını tespit etmişlerdir [51].

Aminfar vd. yaptıkları çalışmada, sabit manyetik alan altında dikdörtgen bir kanalda %4,0 hacimsel konsantrasyonunda Fe_3O_4/su nanoakışkanın iki fazlı karışım modeli kullanılarak ısı transfer davranışını sayısal olarak incelemişlerdir. Manyetik alan kanala yatay ve dikey uygulandığında Darcy sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının arttığını gözlemlemişlerdir [52].

Aminian vd. çalışmalarında, sabit ısı akısı altında dairesel kesitli bir kanalda Al_2O_3-CuO/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak laminer zorlanmış taşınım şartında ısı transferinin manyetik alan etkisi ile değişimini sayısal olarak incelemişlerdir. Hacimsel konsantrasyon ve Hartmann sayısı arttıkça Nusselt sayısının arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca nanopartiküllerin ilave edilmesiyle birlikte PDK değerinin arttığını gözlemlemişlerdir [53].

Yarahmadi vd.'nin çalışmalarında, dairesel kesitli kanalda Fe_3O_4/su nanoakışkanın kullanılarak laminer zorlanmış taşınım şartları altında ısı transferi üzerine sabit ve değişken manyetik alanın etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre, sabit manyetik alan uygulandığında laminer akış şartları altında ısı transferinde bir artışın gerçekleştiği vurgulanmıştır [54].

Erdem vd. çalışmalarında, dairesel kesitli kanal içinde farklı manyetik alan ($B = 0T, 0,04T, 0,08T, 0,12T$) etkisi altında ve $Re=2250$ değerinde lityum sıvının akış karakteristikleri ANSYS-Fluent ticari yazılımı kullanılarak araştırmışlardır. Uygulanan manyetik alan akışkan hızını azaltırken basıncını arttırdığını belirlemişlerdir [55].

Gedik vd. yaptıkları sayısal çalışmada, dairesel bir kanalda farklı sabit manyetik alan ($B = 0 T, 0,5 T, 1,5 T$) altında Galinstan (galyum, indiyum ve kalaydan oluşan sıvı) sıvı metali kullanılarak akış özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmanın neticesinde, uygulanan manyetik alan yoğunluğu arttıkça akışkanın hızı azaldığını tespit etmişlerdir [56].

2.4. TEZİN AMACI

Literatür araştırılmasında görüldüğü gibi nanoakışkanlar ve hibrit nanoakışkanlar manyetik alan etkisi altında taşınım ile ısı transferi üzerindeki etkilerini bir çok çalışmada incelenmiştir. Ancak sabit manyetik alan uygulanmasıyla kanal içerisinde akan iyonanoakışkan akışının taşınım ile ısı transferi alanında yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada, $Fe_3O_4/(0,25 Su + 0,75 [C2mim][CH_3SO_3])$ manyetik iyonanoakışkanın %1,0, %2,5, %5,0, %10 ve %15 kütle konsantrasyonlarında sabit manyetik alan ($B = 0 T, 0,5 T, 1 T, 1,5 T$) uygulanmasıyla taşınım ile gerçekleşen ısı transferi üzerindeki etkileri $100 \leq Re \leq 2000$ laminer akış şartlarında sayısal olarak incelenmiştir.

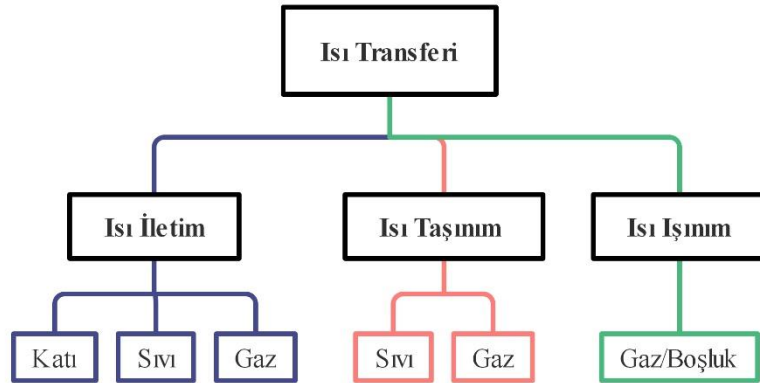
BÖLÜM 3

GENEL BİLGİLER

3.1. ISI TRANSFERİ MEKANİZMALARI

Isı, iki sistem arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen bir enerji şeklidir. Isının kendisi görülemez ancak etkisi sıcaklık denen bir özellik olarak hissedilebilir ve ölçülebilir. Isı transferi ve uygulamaları günlük hayatın neredeyse tüm alanlarında yer almaktadır. Isıtma, soğutma, santraller, elektrikli aletler, bilgisayarlar, klima, havalandırma sistemleri gibi birçok örnek ısı transferinin uygulama alanları arasında verilebilir [57].

Isı transferi iki ortamın sıcaklık farkına bağlı olduğu kadar aynı zamanda sistemin ve yüzeylerin özelliklerine de bağlıdır. Bu sebeple Şekil 3.1’de görüldüğü gibi ısı transferin gerçekleştiği üç farklı temel mekanizması vardır: Bunlar iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıyım (radyasyon) olarak adlandırılmaktadır [58].

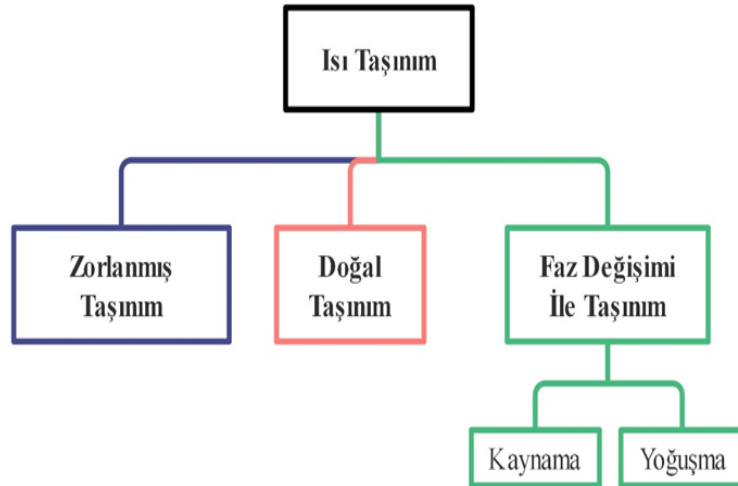


Şekil 3.1. Isı transfer mekanizmaları.

Isı iletimi (kondüksiyon), bir maddenin temas halindeki atom ve moleküllerinin birbirleriyle etkileşimi sonucunda meydana gelir. Isı iletim katılarda atomlar arası etkileşim yüksek olduğu için titreşim halinde oluşur, sıvılarda ve gazlarda ise moleküler arası etkileşim daha az olduğundan dolayı çarpışma şeklinde gerçekleşir [57].

Isı ışınımı (radyasyon), sıfır olmayan bir sıcaklıktaki madde tarafından yayılan radyasyon enerjisidir. Maxwell dalga teorisine göre elektromanyetik dalgalar şeklinde veya Max Plank teorisine göre ayrı fotonlar şeklinde dağılımsıdır [59].

Isı taşınımı (konveksiyon), hareket halindeki gaz veya sıvı gibi bir akışkanın ısıtılması, ve bu ısı akışkanın hareket ile beraber ısı kaynağından uzaklaştırılmasına ısı taşınımı olarak bilinir. Genellikle bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan arasında gerçekleşir. Isı taşınım mekanizmasında önemli olan akışkanın nasıl tahrik edildiğidir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ısı taşınımın üç farklı yöntemi vardır. Genel olarak en çok kullanılan doğal (serbest) ve zorlanmış taşınım yöntemleridir. Zorlanmış taşınımında akışkanın hareketi fan ve pompa gibi dış bir etken ya da dışarıdan bir kaynak yardımıyla oluşur. Doğal (serbest) taşınımında ise akışkan hareketi yoğunluk farkından dolayı oluşur [60].



Şekil 3.2. Taşınım ile ısı transferinin çeşitleri.

3.2. ISI TRANSFERİNİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

Isı transferi arttırma yöntemleri pasif ve aktif yöntemler olarak ikiye ayrılır. Pasif yöntemler, hem deneysel hem de sayısal uygulamalarda enerji ve maliyet tasarrufu için ısı transferindeki iyileştirme ve sürtünme kayıplarını araştırarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Pasif yöntemlerde ısı transfer hızını arttırmaya yönelik dış bir güce gereksinim duymadan özel yüzey geometrilerine bağlı olan bir yöntemdir, bükülmüş bantlar, sarmalı veya karışık teller ve meme türbülatoörleri gibi sıvı akış yolunda bulunan çeşitli bileşenleri içerir. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır [61].

- Kaplamalı yüzeyler, yüzeyin metalik veya metalik olmayan kaplamasını içerir, teflon gibi ıslanmayan bir kaplama veya ıslak hava basınç düşüşünü azaltan evaporatör kanatçıklarında yoğuşma drenajını destekleyen hidrofilik bir kaplama gibidir.
- Pürüzlü yüzeyler, ya taban yüzeyine entegre olabilirler ya da yüzeye bitişik bir “pürüzlülük” yerleştirilerek yapılabilirler. Tek fazlı akış için ısı transfer yüzey alanını arttırmaktan ziyade yüzeye yakın sınır tabakasını parçalamak için daha fazla teşvik edilmektedir.
- Genişletilmiş yüzeyler, en çok ısı eşanjörlerinde kullanılır. Isı transfer katsayısı (h), yüzey alanı (A) veya hem h hem de A artırılarak termal direnç azaltılabilir. Düz kanatçık kullanılarak sadece alan artışı sağlamaktan ziyade özel bir şekle sahip genişletilmiş yüzey oluşumuna ve ısı transfer artışını sağlayabilir.
- İç elemanların yerleştirilmesi, ısıtılmış yüzeylerin enerji aktarımını iyileştirmek için akış kanalına yerleştirilen cihazlardır. İç elemanlar tek ve iki fazlı akışlarda kullanılabilir.
- Yüzey gerilimi, yüzey gerilim cihazları sıvı filmi boşaltmak veya taşımak için yüzey gerilim kuvvetlerini kullanır.
- Sıvılar için katkı maddeleri, tek fazlı akışlarda katı partikülleri veya gaz kabarcıklarını ekleyerek akışkanın ısı transferini arttırır, nanoakışkan kullanımını bu tekniğin temelinden çıkmıştır.

- Girdaplı akış elemanları, dönen veya ikincil akış oluşturan zorlanmış akış için bir dizi geometrik düzenleme veya kıvrılmış borular gibi boru eki içerir [62-63-64].

Aktif yöntemler ise elektrik, yüzey titreşim, manyetik alan, DC güç kaynağı gibi dış etkenlerin kullanımını gerektirir. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Yüzey titreşimi, düşük veya yüksek frekansta yüzey titreşimini sağlar. Öncelikle tek fazlı akışlarda ısı transferini iyileştirmek için kullanılır.
- Emme, çekirdek ve film kaynatmada buhar gidermeyi veya gözenekli ısıtılmış bir yüzeyden tek fazlı akışta sıvı çekmeyi içerir.
- Akışkan titreşimi, tek fazlı akışlarda kullanılan akışkanın titreşimini sağlar, titreşimler yaklaşık 1 Hz'lik titreşimlerden ultrasona kadar değişir çoğu ısı eşanjörlerde bulunabilir.
- Enjeksiyon, gözenekli bir ısı transfer yüzeyinden bir sıvı akışına gaz sağlayarak veya aynı sıvının ısı transfer tabakasının üst kısmına enjekte ederek kullanılır.
- Elektrostatik alanlar, elektrik iletkenlik özeliğine sahip akışkanlar AC veya DC manyetik alan uygulanarak gerçekleştirilir. Elektrostatik alan ısı transfer yüzeyine yakın olan akışkanın karışmasına sebep olur.
- Mekanik karıştırıcılar, sıvıyı mekanik yollarla karıştırmayı veya yüzeyi döndürmeyi içerirler. Kimyasal işlem endüstrisinde viskoz sıvılar için yaygın olarak kullanılır, aynı zamanda gazların kanal akışında uygulanabilir.
- Jet çarpması, tek fazlı bir akışkanı normal veya eğik olarak yüzeylere çarptırılır. Tekli veya çoklu jetler kullanılabilir [62,63,64].

Pasif ve aktif yöntemler kullanılarak hem ısı hem de kütle transferine uygulanabilir. Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi her iki yöntemin ısı transfer iyileştirme teknikleri ısı transfer moduna (tek veya iki fazlı akış, serbest veya zorlanmış taşınım, kaynama gibi) göre sınıflandırılmıştır [62].

Çizelge 3.1. Isı transfer iyileştirme yöntemlerinin sınıflandırılması [62].

Isı Transfer Modu					
	Zorlanmış Taşınım (Gazlar)	Zorlanmış Taşınım (Sıvılar)	Kaynama Buharlaştırma	Yoğuşma	Kütle Transferi
Pasif Yöntemler					
Kaplamalı yüzeyler	-	-	X	X	-
Pürüzlü yüzeyler	Z	Y	Y	Y	Y
Genişletilmiş yüzeyler	X	-	Y	Y	Z
İç elemanların yerleştirilmesi	Y	-	Z	-	-
Girdaplı akış elemanları	Y	X	Y	Y	Z
Sargılı tüpler	-	Z	-	-	-
Yüzey gerilimi	-	-	Y	Z	-
Katkı maddeler	Y	X	Z	(Y)	Z
Aktif Yöntemler					
Mekanik karıştırıcılar	-	Y	Z	-	Y
Yüzey titreşimi	Z	Z	-	Z	-
Akışkan titreşimi	Z	(Y)	(Y)	-	Y
Elektrostatik alanlar	(Y)	-	Y	Y	(X)
Enjeksiyon	Z	-	-	Z	-
Emme	Z	-	-	Z	-
Jet çarpması	(Y)	Z	-	-	-
X: En Önemli Y: Önemli Z: Biraz ilgili -: İlgili değil (): Tahmin edilen					

3.3. NANOPARTİKÜLLER VE NANOAKIŞKANLAR

Pasif yöntemde belirtildiği gibi (sıvılar için katkı maddeler), ısı transferinde yaygın olarak kullanılan akışkanlara nano boyutlu metal ve metalik olmayan partikülleri ekleyerek ısı transferinde bir iyileştirme şeklidir.

3.3.1. Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri

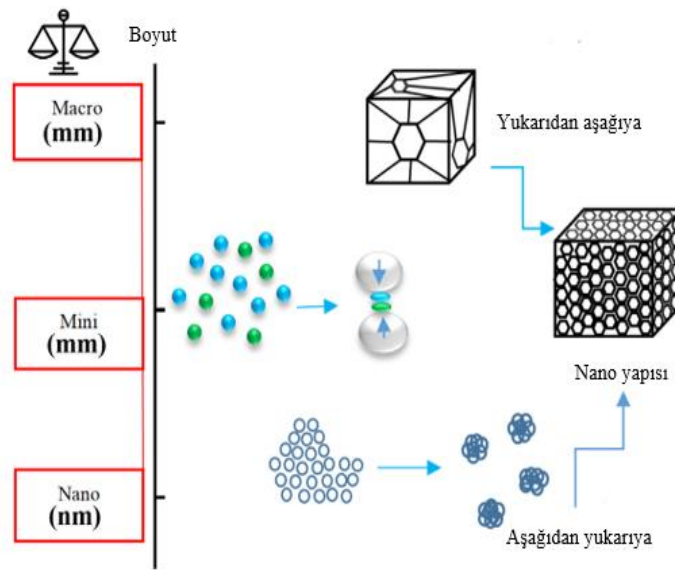
Nanopartiküller, genel boyutları nano ölçekte, başka bir deyişle 1 ile 100 nanometre arasında değişen küçük parçacıklardır. İnsan gözüyle tespit edilemeyen nanopartiküller daha büyük boyutlu malzemelerden önemli ölçüde farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sergileyebilir [65]. Akışkanlarda mikro boyutlu partiküllerin kullanımındaki sorunları çözmek için araştırmacılar mikro boyutlu partikülleri nano boyutuna geliştirmişlerdir. Bu geliştirmede nanopartikül süspansiyonları mikropartikül içeren süspansiyonlardan daha kararlı hale gelmiş ve böylece düşük sedimentasyon hızları ve sıvı yollarının tıkanma sorunları en aza indirilmiştir. Nanopartiküllerin çekici olmasının nedeni, nano boyutlu malzemelerin mikro boyutlu malzemelerden tamamen farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip olmasıdır [66].

Nanopartiküller aralarında çok farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir, bunun nedeni nanoboyutlu katı partiküllerin üretiminde kullanılan farklı kimyasal malzemelerdir. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi metaller, seramikler, silikatlar, metal oksitler, polimerik ve karbon malzemeler olarak verilebilir [67].

Çizelge 3.2. Kullanılan farklı kimyasal malzemeye göre nanopartikül üretimi [67].

Metaller	Oksitler ve Seramikler	Alaşımlar	Karbon bazlı partiküller
Cu	CuO	Ag-Cu	CNT
Ag	CuO ₂	Al-Cu	Elmas
Fe	Al ₂ O ₃	Ag-Al	Grafit
Ti	TiO ₂		Grafen

Nanopartikül üretiminde, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi iki temel yaklaşım vardır. Bunlar yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yöntemleridir. Yukarıdan aşağıya yöntemi, daha büyük boyutlu malzemeleri nanometre boyutlu malzemelere indirgemek ve böylece yüzey alanı-hacim oranını artırmakla ilgilenir. Yukarıdan aşağıya yöntemi dağlama, asitler, püskürtme, mekanik frezeleme ve elektro-patlama gibi farklı kimyasal yöntemlere dayanarak imal edilir. Kullanılan farklı üretim yöntemlerinde kütle malzeme ele alınır, ardından şekillendirilerek, yapısı oluşturulur ve yeniden düzenlenerek istenilen ürüne dönüştürülür [68,69].



Şekil 3.3. Nanopartikül üretim yöntemleri [69].

Aşağıdan yukarıya yöntemi, kimyasal tepkimeler yolu ile atomlar ve moleküller gibi küçük boyuttaki yapıları büyütür (nanometre boyutu) nanopartiküllerin oluşumunu sağlayan bir süreç olarak tanımlanabilir. Aşağıdan yukarıya yöntemi kimyasal-fiziksel yöntem olarak da düşünülebilir. Bu yöntemde atomlardan veya moleküllerden daha büyük ve karmaşık yapılar üretilir. Nanopartiküllerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan endüstriyel yöntemdir. Oluşturulacak olan nanopartikülün kullanılacağı malzeme fiziksel veya kimyasal yollarla gaz fazında üretilir. Sıvı veya katı halde kalacak olan nanopartiküller homojen çekirdeklenme ile üretilir [68,69].

3.3.2. Nanoakışkanlar ve Üretim Yöntemleri

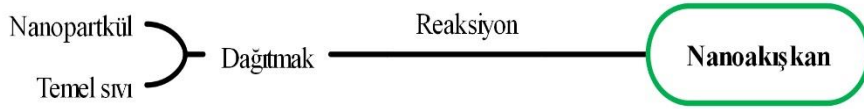
Isı transferi uygulamalarında birincil gereksinim ısının bir noktadan diğer bir noktaya aktarılmasıdır. Isının taşınması için genellikle su, motor yağı, gaz yağı, etanol, metanol, etilen glikol gibi farklı çalışma akışkanları kullanılır. Geleneksel akışkanların bir çok problemleri vardır; bunlardan biriside düşük ısı transferi hızına neden olan düşük ısıl iletkenlikleridir, bu da ısı transferinde kullanılan farklı ekipmanların performansını etkilemektedir. Isı transferi verimliliğini arttırmak endüstriyel tesislerde büyük bir önem taşımaktadır, bu amaca yönelik araştırmacılar pasif yöntemler arasında bulunan nanoakışkanlar olarak bilinen yeni bir ısı transfer akışkan sınıfına yönelmişlerdir. Nanoakışkanlar, nanometre boyuttaki partikülleri (nanopartiküller) içeren akışkanlardır [3]. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri baz akışkan ve kullanılan nanopartikül özeliğine bağlıdır. Çizelge 3.3'te nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan baz akışkanlar ve bazı nanopartiküller verilmiştir. Nanoakışkanın hazırlama yöntemi, partiküllerin türü, şekli ve boyutu, baz akışkanın türü ve özellikleri veya katkı maddenin kullanımına bağlıdır. Sayılan parametrelerde herhangi bir değişiklik yapılırsa nanoakışkanın özelliklerini doğrudan etkileyecektir. Ayrıca bu parametreler nanoakışkanın kararlılığını ve dayanıklılığını etkilemektedir [66].

Çizelge 3.3. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan baz akışkanlar ve bazı nanopartiküller [63].

Nanopartiküller	Baz sıvılar
Au	Su, Etilen Glikol, Toluen
Ag	Su, Toluen
Cu	Su, Yağ, Etilen Glikol, Aseton
CuO	Su, Etilen glikol, R134a (1,1,1,2-Tetrafloroetan)
ZnO	Su
Fe ₃ O ₄	Su
Al ₂ O ₃	Su, Etilen Glikol, Pompa Yağı, Su+ Gliserin
TiO ₂	Su, R141b (1,1-Dikloro-1-Floroetan)
SiO ₂	Su, Etilen Glikol
Al _x Cu _y	Su, Etilen Glikol
Ag _x Cu _y	Yağ, Etilen Glikol
Grafit	Yağ
Diamond	Etilen Glikol, Mineral yağ

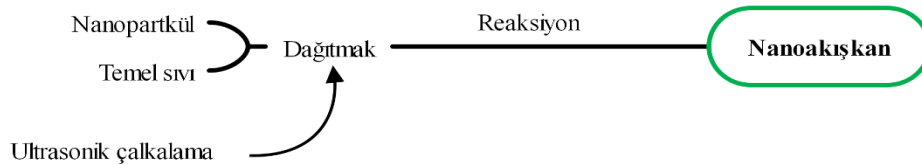
Baz akışkanlar, nanopartiküllerin dağıtılacağı temel akışkan olduğu için nanoakışkanların tasarımında baskın bir rol oynamaktadır. Su, birçok araştırmacı tarafından kullanılan en yaygın baz sıvıdır. Nanoakışkanın iyi bir performans gerçekleştirmek için baz akışkan seçiminde dikkate alınması gereken bazı özellikler olarak , ısı iletkenlik, viskozite, ısıl kapasite, donma ve kaynama noktası gibi unsurlar sayılabilir. [67].

Nanometre boyutlarda üretilmiş çeşitli şekillerde katı partiküllerini temel akışkanların içine süspansiyon etmek için iki tür yöntem vardır, tek adım yöntemi ve iki adım yöntemidir. Nanopartiküllerin kümelenme problemini azaltmak için tek adımlı yöntem tercih edilmektedir. Bu yöntemde Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, nanopartiküller doğrudan fiziksel buhar biriktirme tekniği veya sıvı kimyasal yöntem ile formüle edilerek, tek aşamalı süreçte partiküller sıvı içinde dağıtılarak homojen bir şekilde hazırlanabilir [67,68].



Şekil 3.4. Tek adım yöntemi.

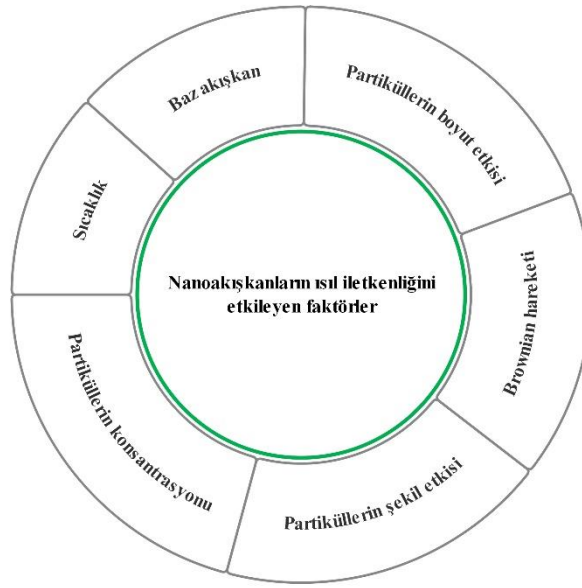
İki adım yöntemi, nanoakışkanların hazırlanmasında en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde Şekil 3.5'te görüldüğü gibi kullanılan nanopartiküller, nanotüpler veya diğer nanomalzemeler önce mekanik aşındırma veya kimyasal buhar yoğunlaştırma gibi yöntemlerle kuru tozlar olarak işlenir. Sonradan nano boyutlu tozları, manyetik karıştırıcı, yüksek kesmeli karıştırma, homojenleştirme yöntemleri ile belirli sıcaklıklarda temel akışkan içine karıştırılır [67,68].



Şekil 3.5. İki adım yöntemi.

3.4. NANOAKIŞKANLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Nanoakışkanların ısı iletkenliği temel akışkanın ve nanopartiküllerin ısı iletkenliğine, partiküllerin hacimsel konsantrasyonuna, partiküllerin yüzey alanına ve partiküllerin şekline bağlı olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen parametreler Şekil 3.6'da verilmiş ve aşağıda kısa maddeler halinde tanıtılmıştır. [70].



Şekil 3.6. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen faktörler.

3.4.1. Nanopartiküllerin Boyut Etkisi

Nanopartiküllerin boyutu, nanoakışkanların ısı iletkenliğine etkileyen son derece önemli bir faktördür. Nanopartiküllerin boyutunun küçülmesi partiküllerin baz akışkan içinde Brownian hareketi artar. Bunun sonucunda nanoakışkanların ısı iletkenliği ve taşınımı artar. Ayrıca nanopartikül boyutunda herhangi bir değişiklik yapılırsa nanoakışkanın özelliklerini doğrudan etkileyecektir. Nanoakışkanlarda nanopartiküllerin boyutu genellikle 100 nm'den küçük olur, ancak bazı çalışmalarda nanopartikül boyutu 210 nm'ye kadar çıkarıldığı görülmektedir [66].

3.4.2. Brownian Hareketi

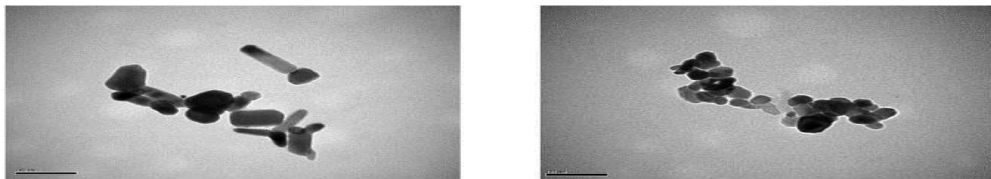
Brownian hareketi, baz akışkan içinde dağıtılan nanopartiküllerin birbirleriyle etkileşim sonucunda meydana gelen rastgele veya zikzak hareketidir. Brownian hareketi, momentum/kinetik enerjinin daha hızlı partiküllerden düşük hızlı partiküllere aktarılmasına neden olur. Nanopartiküllerin Brownian hareketi partiküllerin baz akışkan içine süspansiyon edilmesinde ve nanoakışkanların ısı iletkenliği artırılmasında büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca Brownian hareketi, nanopartiküllerin boyutu, akışkanın sıcaklığı ve viskozitesi gibi parametrelerden etkilenir [63,66].

3.4.3 Partiküllerin Konsantrasyonu

Nanopartikül hacim (ϕ) veya kütle (wt) konsantrasyonu nanoakışkanların termofiziksel özellikleri üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Nanopartikül konsantrasyonunun en belirgin etkisi nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerindedir. Literatürde yapılan çalışmalara göre nanopartiküllerin konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanların ısı iletkenliğinin doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. Diğer bir taraftan nanopartikül konsantrasyonu ile beraber sıcaklık artarsa nanopartiküllerin Brownian hareketi ve nanoakışkanların ısı iletkenliğinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür [71,72].

3.4.4. Nanopartiküllerin Şekil Etkisi




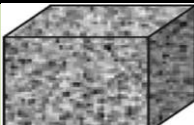
Nanopartiküllerin farklı şekilleri nanoakışkanların ısı iletkenliğini önemli bir şekilde etkiler. En yaygın olarak kullanılan şekiller küresel, silindirik, brick ve blade olmaktadır. Şekil 3.7'de ZnO nanopartikül ait dikdörtgen ve küresel şekilleri verilmiştir.



Şekil 3.7. TEM görüntü, ZnO nanopartikül dikdörtgen ve küresel şekli [63].

Nanopartiküllere ait herhangi bir şekil nanoakışkanların ısı iletkenliğini değişik oranlarda etkiler. Bu değişiklik Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi nanopartiküllerin şekil faktörlerine bağlıdır.

Çizelge 3.4. Nanopartiküllerin farklı şekilleri ve şekil faktörleri [66].

İsim	Şekil	Şekil faktörü (n)
Spherical		3.0
Platelet		5.7
Cylindrical		4.8
Blade/laminar		16.2
Brick		3.7

Nanopartiküllerin farklı şekilleri baz akışkana eklendiği zaman farklı alanlarda kullanılmasına kolaylık sağlamaktadır. Bu alanlardan bazıları:

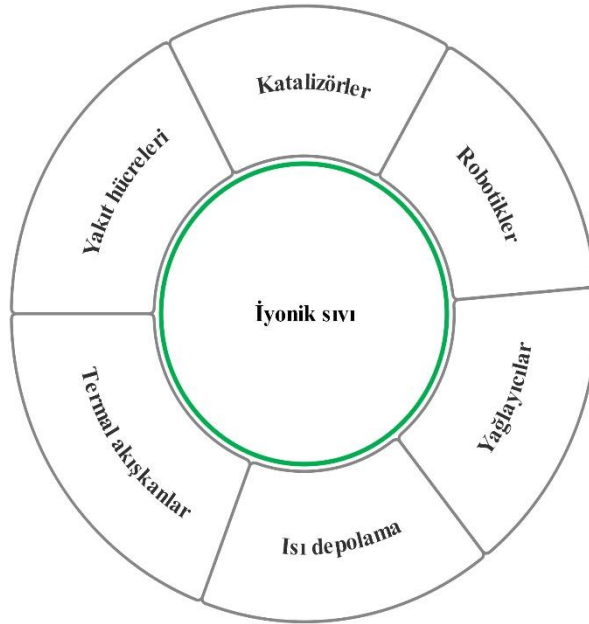
- Elektronik soğutma,
- Transformatör soğutma yağı,
- Nükleer sistemlerin soğutulması,
- Güneş enerjili su ısıtma,
- Motor soğutma,
- Sondajda nanoakışkanlar,
- Yüksek güçlü lazerler şeklindedir [73].

3.5. İYONİK SIVILAR

İyonik sıvılar, belirlenebilir ve ayarlanabilir pozitif katyon ve negatif anyonlardan oluşan sıvıdır, oda koşullarında ve daha düşük sıcaklıklarda sıvı halde bulunan, genellikle iyonik yapıya sahip olan tuzlardır. İyonik sıvılar 1914 yılında ilk olarak Walden tarafından keşfedilmiştir [74].

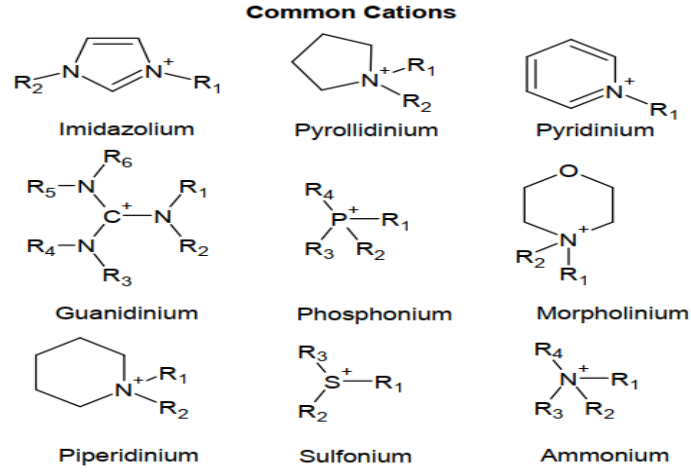
3.5.1. İyonik Sıvıların Özellikleri

İyonik sıvılar yüksek termal ve elektriksel kararlılığı, düşük buhar basıncı, ayarlanabilir ve tekrar kullanımı, düşük erime noktaları gibi özelliklerine dayanarak akademik ve endüstriyel seviyelerde çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi iyonik sıvılar, kimya, biyoloji, tıpta ısı transferine kadar geniş bir gerçek yaşam uygulama alanına sahiptirler. İyonik sıvılar parabolik oluk ve güneş enerji kuleleri gibi yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemlerinde, termal depolamada ve elektrik üretiminde yeşil sıvı olarak kullanılmaktadır [75,76].



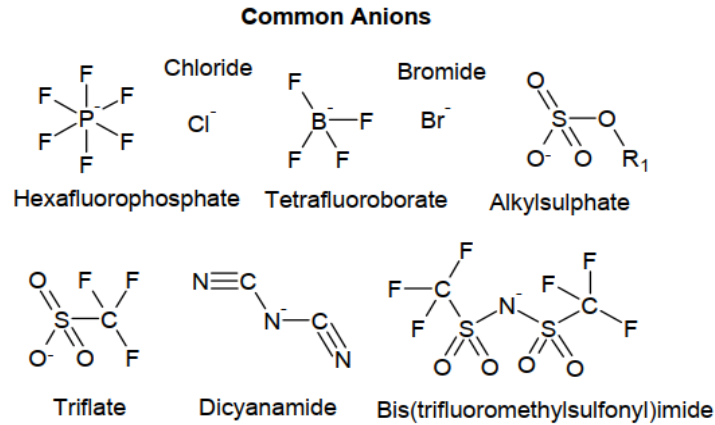
Şekil 3.8. İyonik sıvıların bazı uygulama alanları [77].

Katyonlar: İyonik sıvılarda en yaygın kullanılan kasyonlar azot veya fosfor içeren organik iyonlardır. İyonik sıvıların fiziksel ve kimyasal özellikleri içerdikleri kasyonlardan etkilenir, yaygın olarak kullanılan kasyonlar Şekil 3.9’da verilmiştir [78].



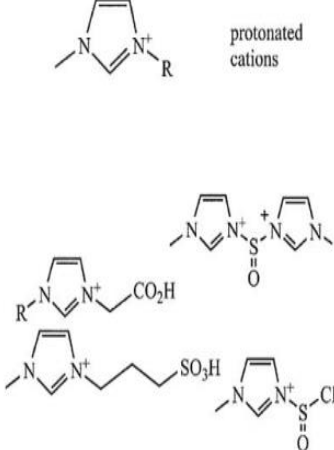
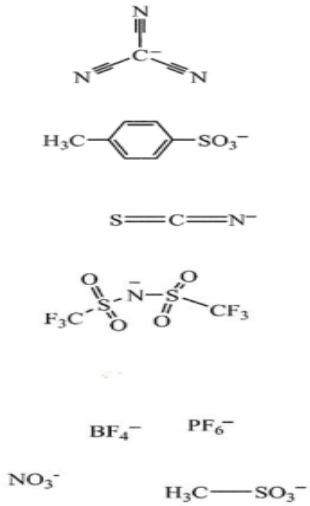
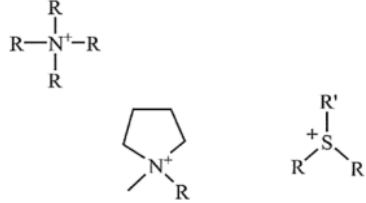
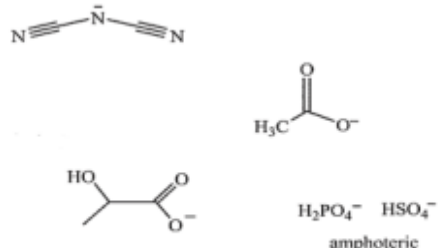
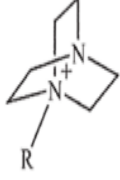
Şekil 3.9. İyonik sıvıların sentezinde kullanılan bazı kasyonlar [79].

Anyonlar: Bunlar iki kategoriye ayrılabilir polinükleer anyonlar: Bu anyonlar suya duyarlıdır ve karşılık gelen Lewis asidinin reaksiyonu ile oluşturulur. Örneğin, $Al_2Cl_7^-$, $Al_3Cl_{10}^-$, $Au_2Cl_7^-$, $Fe_2Cl_7^-$. Mononükleer anyonlar: Bu anyonlar nötr stokiyometrik iyonik sıvılar örneğin, Cl^- , Br^- , I^- , BF_4^- , PF_6^- , SbF_6^- , $ZnCl_3^-$, $CuCl_2$, $SnCl_3$. Şekil 3. 10’da iyonik sıvılarda kullanılan bazı anyonlar gösterilmiştir [78].



Şekil 3.10. İyonik sıvıların sentezinde kullanılan bazı anyonlar [79].

Çizelge 3.5. İyonik sıvılarda kullanılan katyon ve anyonların sınıflandırılması [80].

	Anyon	Katyon
Asidik	H_2PO_4^- HSO_4^- amphoteric	
Doğal		
Bazik		

İyonik sıvılar; asit, baz ve doğal olarak sınıflandırılır (Bkz. Çizelge 3.5'te). Asitler, sulu çözeltilerinde hidrojen iyonu (H⁺) bulunduran maddelere asit denir. Bazlar ise, sulu çözeltilerinde hidroksit iyonu (OH⁻) bulunduran maddelere baz denir [81]. Asitler ve bazik oksitler birleşerek iyonik sıvılar hazırlanır. Bu sıvıların üstünlükleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. İyonik sıvılar, organik çözücüler ve erimiş tuzların fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [78].

Fiziksel özellik	İyonik sıvılar	Organik çözücüler	Erimiş tuzlar
Temel bileşenler	İyon çiftleri	Molekülle	İyon çiftleri
Viskozite	Düşük	Düşük	Yüksek
İletkenlik	Yüksek	Düşük	Yüksek
Aşındırma	Düşük	Orta	Yüksek
Alevlenme	Düşük	Yüksek	Düşük

İyonik sıvıların en belirgin özellikleri aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır.

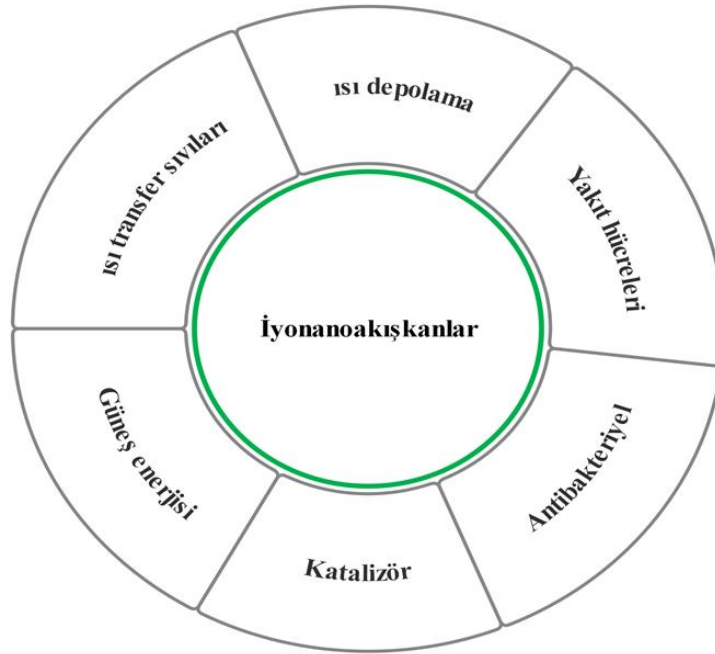
- İyonik sıvılarda moleküller arası etkileşme türü olarak genellikle zayıf elektrostatik bağı kullanılır. Bu yüzden iyonik sıvıların erime noktası Aseton, diklorometan ve diğer çözücülere göre daha düşüktür.
- İyonik sıvıların buhar basınçları geleneksel organik çözücülere göre çok düşük olduğundan kaynama noktaları çok yüksektir.
- İletkenlik, iyonik sıvılar elektrik ve kimyasal reaksiyonlarda hem çözücü hem de elektrostatik yardımcısı olarak kullanılabilirler. 0,1 mS ile 20 mS arasında çok geniş bir iletkenlik aralığına sahiptirler.
- İyonik sıvıların çok düşük buhar basınç özelliklerinden dolayı termal kararlılıkları 350 °C'ye kadar dayanıklılık gösterebilir, bu da iyonik sıvıların yüksek termal kararlılığa sahip olduğunu göstermektedir.
- Viskozite, iyonik sıvının viskozitesi geleneksel sıvılarla karşılaştırıldığında üç kat daha yüksektir.
- Yoğunluk, iyonik sıvıların yoğunluğu genellikle hem sudan hem de geleneksel organik çözücülerden daha yüksektir [81].

3.6. İYONANOAKIŞKANLAR

2009 yılında Ribeiro ve arkadaşları geleneksel ısı transferi akışkanlarda karşılaştığı düşük ısı transferi hızına neden olan düşük ısıl iletkenlik problemin üstesinden gelmek için yeni bir sıvı olarak iyonanoakışkanları önermişlerdir [82].

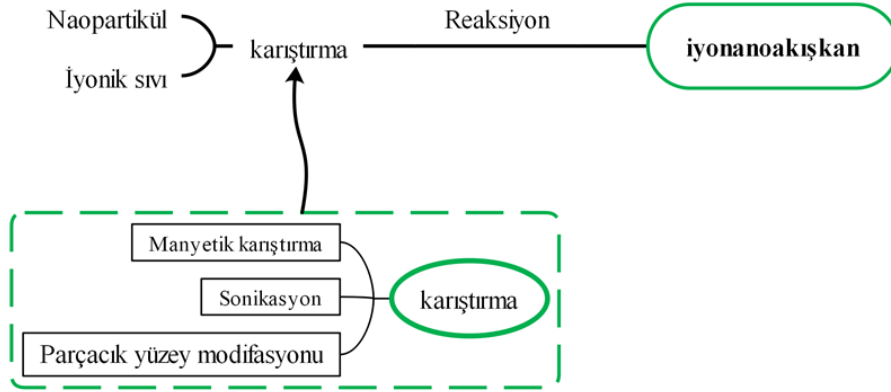
3.6.1. İyonanoakışkanların Özellikleri

İyonik sıvılarda nanoteknoloji kullanımı, resmi bir şekilde İyonanoakışkanlar (inf) olarak bilinen yeni bir sıvı sınıfının tanıtılmasına yardımcı olmuştur. İyonanoakışkanlar, nanopartiküllerin iyonik sıvılar içinde dağıtılmasıyla hazırlanan akışkanlardır. Termofiziksel, elektrokimyasal, termal performansa özellikleri olağanüstü gelişmeye sahip iyonanoakışkanlar ısı transferi uygulamalarında büyük bir avantaj sağlamıştır. İyonanoakışkanların özelliklerine dayanarak Şekil 3.11’de görüldüğü gibi elektronik, ısı depolama, ulaşım, mikroakışkanlar ve tıp alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [82,83].



Şekil 3.11. İyonanoakışkanların kullanım alanları [82].

İyonanoakışkanlar, tek adımlı yöntemlerle veya iki adımlı yöntemle hazırlanabilir. Tek adımlı yöntemin benimsenmesi, termofiziksel özellikler ve kararlılık gibi bazı bakış açılarından iki adımlı yönteme göre daha avantajlıdır. Ancak iki adımlı yöntem Şekil 3. 12’de görüldüğü gibi, tek adımlı yönteme göre daha düşük hazırlama maliyeti ve üretimin basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [84].



Şekil 3.12. İki adımlı yöntemde iyonanoakışkanın hazırlanması [85].

İyonanoakışkanlar araştırmacıların ilgisini çekme sebebi, akışkanların termofiziksel özellikleri nedeniyle ısı transfer ve ısı depolama gibi uygulamalarda olağanüstü bir fark oluşturmuş, nanopartikül konsantrasyonunun artırılması baz akışkanın ısı iletkenliğini %68 kadar arttırdığını ve aynı zamanda nanopartikül konsantrasyonundaki artış iyonanoakışkanın Newton olmayan bir akışkan olmasına neden olduğu literatürde belirtilmiştir. Yoğunluk ise esas olarak iyonik sıvı tipine, nanopartikül tipine, konsantrasyon ve sıcaklığına bağlıdır. Bu özelliğin belirlenmesinde büyük ölçüde sorumlu olan iyonik sıvının yapısında bulunan anyonun doğası olduğu tespit edilmiştir [83,86].

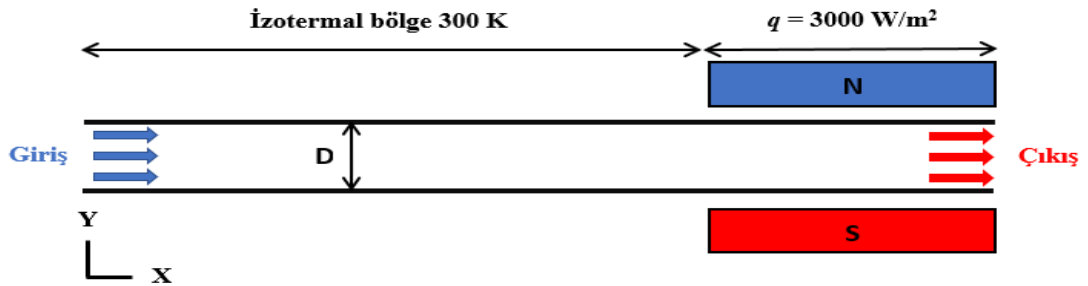
BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada; 3000 W/m^2 ısı akısı ve sabit manyetik alan etkisi altında üç boyutlu dairesel kesitli kanalda iyonanoakışkanın akış ve ısı transfer karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada; Fe_3O_4 nanopartikül farklı kütle konsantrasyonlarda (%1,0, %2,5, %5,0, %10, %15) baz akışkan 0,25 saf su-0,75 iyonik sıvı (1-Etil-3-metilimidazolyum metansülfonat, $[\text{C}_2\text{mim}][\text{CH}_3\text{SO}_3]$) karışımı içerisine katılarak oluşturulan iyonanoakışkan kullanılmıştır. Akış kanal girişinde uniform olup hidrodinamik olarak tam gelişmiş laminar akış ($500 < Re < 2000$) şartlarında incelenmiştir. Sayısal çalışmada sonlu hacimler yöntemine dayalı çözümlene yapabilen Ansys Fluent kodu kullanılmıştır.

4.1. ÇALIŞMA GEOMETRİSİ

Araştırılan problemin geometrik modeli Şekil 4.1.'de gösterilmektedir. Model 0,12 m'lik çapa sahip iki bölgeden oluşan dairesel kesitli bir kanaldır. Model geometrinin ilk kısmı 5,76 m'lik bir izotermal bölge ardından 2,88 m'lik üniform olarak ısıtılmış (3000 W/m^2) ve manyetik alan (0T, 0,5T, 1,0T 1,5 T) etkisi altında kalan bir bölgeden oluşmaktadır. Probleme ilgili olan denklemleri çözmek için ANSYS Fluent 2020 R2 kodu kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Problem geometrisi.

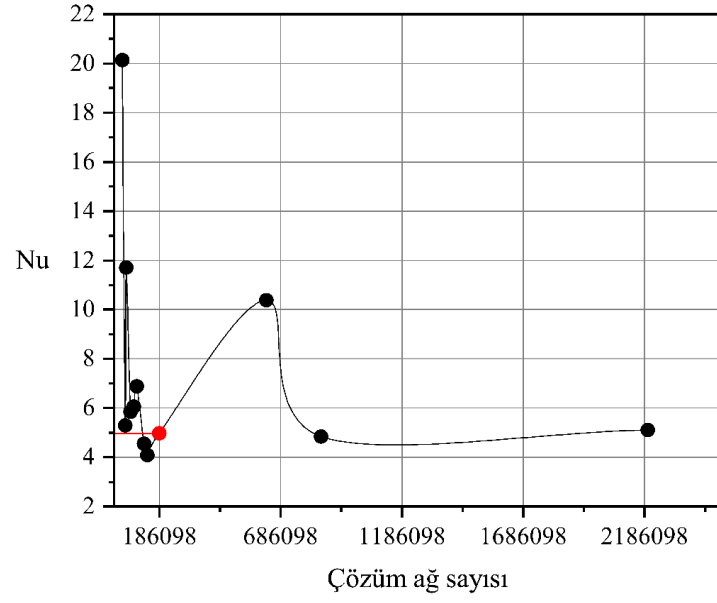
4.2. SAYISAL AĞ YAPISININ OLUŞTURULMASI

Modelin akış alanının ait ağ kalitesi simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini ve doğruluğunu etkilemektedir. HAD analizinde uygun bir ağ kalitesi belirlemek için bir ağ iyileştirme çalışması yapılmalıdır. Bunun için giriş hızı 0,0041758 m/s olan saf su seçilip, farklı ağ boyutu kullanılarak temel ağ kalite parametreleri ve en uygun sayısal ağ yapısı Çizelge 4.1’de verilmiştir.

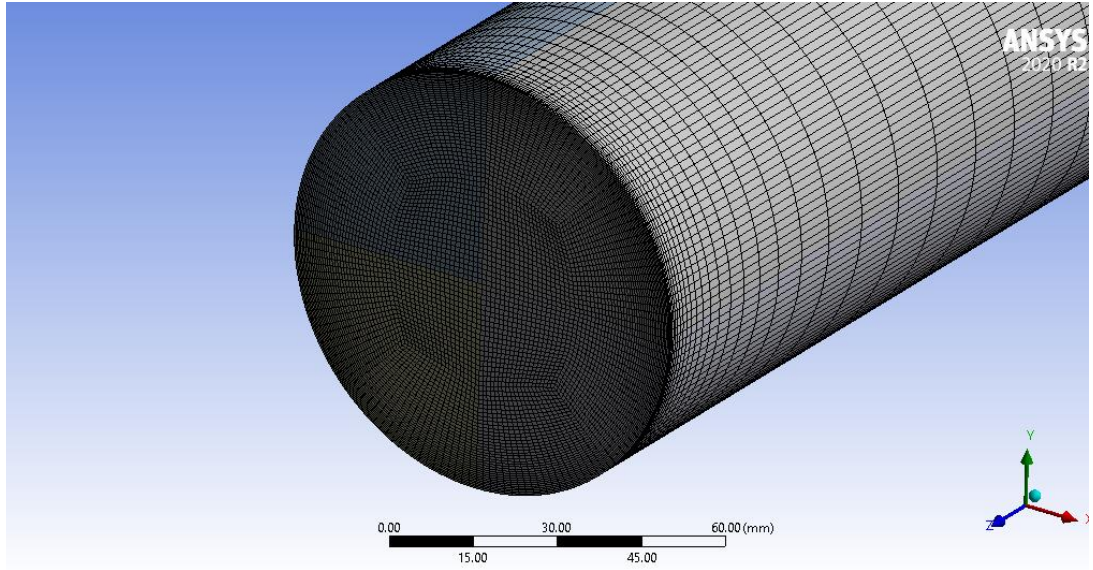
Çizelge 4.1. Farklı ağ yapılarında hesaplanan Nu değerleri.

Mesh Çalışma Sayısı	Hücre Sayısı	Nusselt Sayısı
1	34500	20,1268
2	45784	5,29178
3	50700	11,7013
4	68448	5,84477
5	82082	6,05705
6	93771	6,87801
7	124062	4,54368
8	137416	4,08305
9	186098	4,96315
10	627440	10,3721
11	853800	4,84287
12	2200140	5,10568

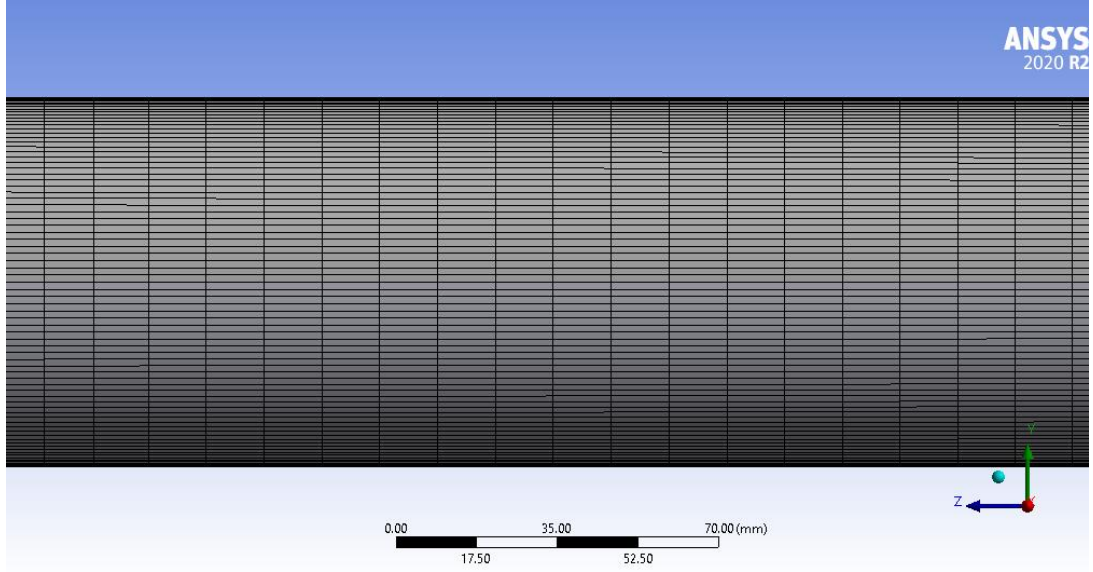
Ağ analizi için yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 4.1’de açıkça görülebileceği gibi ağ boyutu küçüldükçe (ağ yoğunluğu arttıkça) Nusselt sayısında azalmalar meydana gelmiş ve belli bir ağ boyutundan sonra Nusselt sayısında önemli ölçüde bir değişim gözlenmemiştir. Problemin çözümünde hexahedra tip hücre kullanılmıştır. Çözüm hücre sayısı 186098 olduğu durumda Nusselt sayısı bir sonraki hücre sayısına göre çok farklılık olmadığı için bu geometride en uygun çözüm hücre sayısı 186098 olarak seçilmiştir. Şekil 4.2’de hesaplanan Nu değeri ve Şekil 4.3, 4.4, 4.5’te geometrinin mesh yapısı verilmiştir.



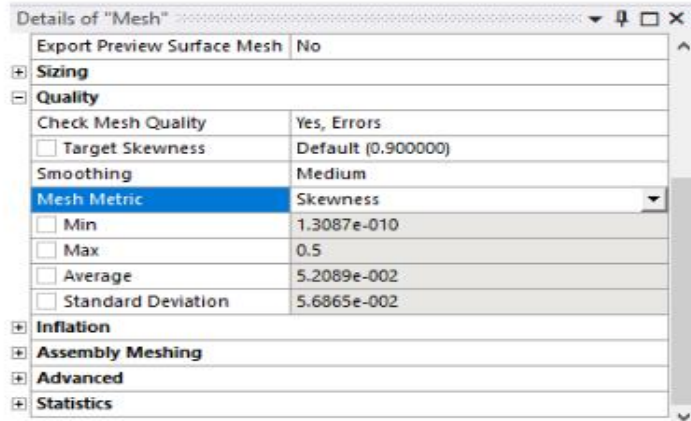
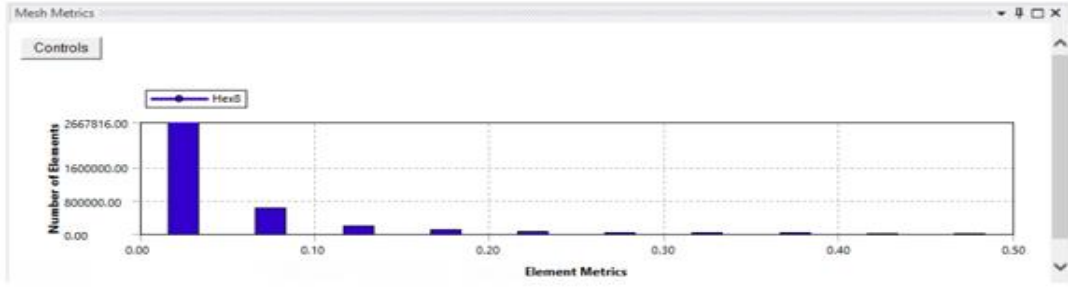
Şekil 4.2. Ağdan bağımsız çalışma.



Şekil 4.3. Örnek sayısal çözüm ağı yapısı.



Şekil 4.4. Boru duvarında hücre dağılımı.



Şekil 4.5. Mesh kalitesinin değerlendirilmesi.

4.3. AKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Saf su-iyonik sıvı karışımı, Fe₃O₄ nanopartikülünün baz akışkanı olarak kullanılmıştır. Karışımın mol oranlarına dayanarak Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi su ve iyonik sıvının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. İyonik sıvı ve suyun özellikleri.

	İyonik sıvı [C2mim][CH3SO3]	Su
m (moleküler kütlesi)	206,3 g/mol	18,01 g/mol
ρ (yoğunluk)	1242,6 kg/m ³	997,8 kg/m ³
x (mol oranı)	0,75	0,25
V (mol hacmi)	0,166	0,01804
Φ_i (hacim oranı)	0,965	0,03496
w_i (kütle oranı)	0,02828	0,9717

Kimyada, çoğu karışım çözeltiler bir çözünen ve bir çözücünün homojen karışımından oluşur. Karışım, iki veya daha fazla farklı maddenin fiziksel birleşimidir. Saf su-İyonik sıvı karışımının özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Buna yönelik kullanılan kimyasal karıştırma kurallarına dayanarak, su-İyonik sıvı karışımında kütle oranı w_i , mol oranı x ve hacim oranı Φ_i kullanılmıştır.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4.1)$$

Mol oranının hacim oranına dönüşüm Eş. (4.2) ile hesaplanır.

$$\Phi_i = \frac{x_1 V_1}{x_1 V_1 + x_2 V_2} \quad (4.2)$$

Mol oranının kütle oranına dönüşümü Eş. (4.3) kullanılarak hesaplanır [87].

$$w_i = \frac{x_1 m_1}{x_1 m_1 + x_2 m_2} \quad (4.3)$$

4.3.1. Su-İyonik Sıvı Karışımın Termofiziksel Özellikleri

Çizelge 4.3'te saf su ve iyonik sıvının bu çalışmada kullanılan termofiziksel özelliklerinin değerleri verilmiştir. Aşağıdaki denklemler kullanılarak, Çizelge 4.4'teki su-iyonik sıvı karışımına ait termofiziksel özellikler elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Su ve iyonik sıvının termofiziksel özellikleri.

	İyonik sıvı [C2mim][CH3SO3]	Su
Yoğunluk (kg/m ³)	1242,6	997,8
Özgül Isı (J/kg.K)	1696,9	4182
Isı İletkenlik (W/m.K)	0,188	0,598
Viskozite (kg/m.s)	0,1540	0,0010
elektrik iletkenlik (m/s)	0,259	0,05

Karışımın yoğunluğu takip edilen Eş. (4.4) vasıtasıyla hesaplanır [88].

$$\rho = w_{is}\rho_{is} + w_{su}\rho_{su} \quad (4.4)$$

Karışımın özgül ısı kapasitesi aşağıdaki Eş. (4.5) yardımı ile bulunur [88].

$$Cp = w_{is}Cp_{is} + w_{su}Cp_{su} \quad (4.5)$$

Karışımın ısı iletkenliği (k) aşağıda Eş. (4.6) ile elde edilir [89].

$$k = (1 - w_{is})k_{su} + w_{is}k_{is} - 0,72(k_{su} - k_{is})(1 - w_{is})w_{is} \quad (4.6)$$

Karışımın viskozitesi Eş. (4.7) ile bulunur [90].

$$\log(\mu) = x_{is}\log(\mu_{is}) + x_{su}\log(\mu_{su}) \quad (4.7)$$

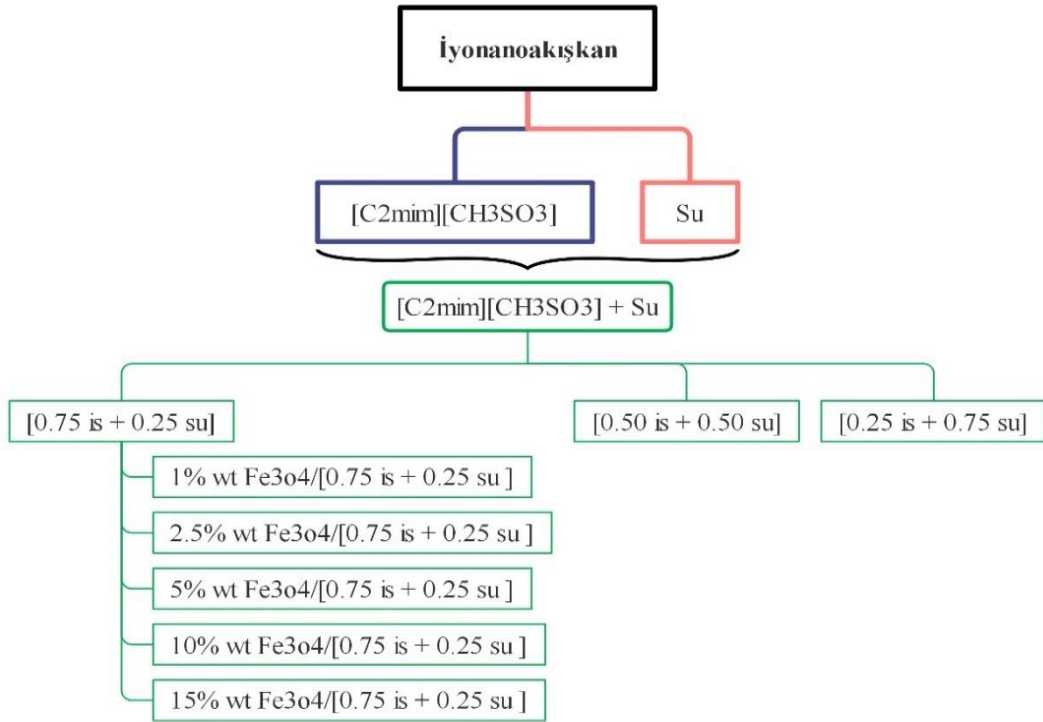
Karışımın elektriksel iletkenliği aşağıdaki Eş. (4.8) ile hesaplanır [91].

$$\sigma = x_{su}^2 \sigma_{su} + x_{is}^2 \sigma_{is} + 2x_{su}x_{is}\sigma_{su} \quad (4.8)$$

Çizelge 4.4. Su-iyonik sıvı karışımın termofiziksel özellikleri.

özellik	[0.75 İS + 0.25 SU]	[0.50 İS + 0.50 SU]	[0.25 İS + 0.75 SU]
Yoğunluk (kg/m ³)	1236	1223	1192
Özgül Isı (J/kg.K)	1767	1896	2213
Isı İletkenlik (W/m.K)	0,1915	0,1991	0,2245
Viskozite (kg/m.s)	43,75	12,43	3,531
Elektrik iletkenliği (m/s)	0,1676	0,1023	0,06306

4.3.2. İyonanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri



Şekil 4.6. İyonanoakışkanın hazırlama şeması.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, mol oranlarına göre hazırlanan saf su-iyonik sıvı karışımları, [0,75 İS + 0,25 SU] karışımı seçilerek Fe₃O₄ nanopartikülünün baz akışkanı olarak kullanılmıştır. Aşağıdaki denklemler aracılığı ile Çizelge 4.5’teki iyonanoakışkana ait termofiziksel özellikler elde edilmiştir. Çizelge 4.5’te görüleceği üzere, nanopartikülün kütle oranı arttıkça, yoğunluk, ısıl iletkenlik, viskozite, elektriksel iletkenlik artmaktadır. Özgül ısı değeri ise azalmaktadır.

İyonanoakışkanın yoğunluğu takip edilen Eş. (4.9) vasıtasıyla hesaplanır [92].

$$\rho_{ina} = \varphi \rho_{np} + (1 - \varphi) \rho_{ba} \quad (4.9)$$

İyonanoakışkanın özgül ısı kapasitesi aşağıdaki gibi Eş. (4.10) yardımıyla bulunur [92].

$$Cp_{ina} = \frac{\varphi \rho_{np} Cp_{np} + (1 - \varphi) \rho_{ba} Cp_{ba}}{\varphi \rho_{np} + (1 - \varphi) \rho_{ba}} \quad (4.10)$$

İyonanoakışkanın viskozitesi Eş. (4.11) ile bulunur [19].

$$\mu_{ina} = \frac{\mu_{ba}}{(1 - \varphi)^{2,5}} \quad (4.11)$$

İyonanoakışkanın ısıl iletkenliği (k_{ina}) aşağıdaki Eş. (4.12) ile elde edilir [92].

$$\frac{k_{ina}}{k_{ba}} = \frac{k_{np} + 2 \varphi (k_{np} - k_{ba})}{k_{np} + 2k_{ba} - \varphi (k_{np} - k_{ba})} \quad (4.12)$$

İyonanoakışkanın elektriksel iletkenliği aşağıdaki Eş. (4.13) vasıtasıyla hesaplanır [93].

$$\sigma_{ina} = (1 - \varphi) \sigma_{ba} + \varphi \sigma_{np} \quad (4.13)$$

Kütle konsantrasyonunun hacim konsantrasyonuna dönüşümü Eş. (4.14) vasıtasıyla hesaplanır [94].

$$\frac{1}{\varphi} = 1 + \frac{\rho_{np}}{\rho_{ba}} \left(\frac{1-wt}{wt} \right) \quad (4.14)$$

Çizelge 4.5. İyonanoakışkanın termofiziksel özellikleri.

Özellik	Fe ₃ O ₄	% 1wt Fe ₃ O ₄	% 2.5wt Fe ₃ O ₄	% 5wt Fe ₃ O ₄	% 10wt Fe ₃ O ₄	% 15wt Fe ₃ O ₄
Yoğunluk (kg/m ³)	5200	1245	1260	1285	1338	1396
Özgül ısı (J/kg.K)	670	1756	1740	1712	1657	1602
Isı iletkenlik (W/m.K)	6	0,1928	0,1947	0,1980	0,2053	0,2133
Viskozite (kg/m.s)	0	0,04401	0,04442	0,04513	0,0467	0,04848
Elektriksel iletkenlik (m/s)	25000	60,05	151,6	309,1	643,4	1007

Yukarıdaki bağıntılarda ρ , μ , k , C_p , φ ve wt sırasıyla iyonanoakışkanın yoğunluğu, dinamik viskozitesi, ısı iletkenliği, ısı kapasitesi hacim ve kütle oranıdır. Alt indisler np nanopartikülü, ina ve ba ise sırasıyla iyonanoakışkan ve baz akışkanı ifade etmektedir.

4.3.3. Deneysel Çalışmalara Göre Termofiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması

Karışımlar ve iyananoakışkanların ısı transferi analizinde, termofiziksel özelliklerinin doğru tespit edilmesi önem arz etmektedir. Isı iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısılarının hesaplanması nispeten kolaydır ancak viskozite söz konusu olduğunda, literatürde mevcut olan hem deneysel hem de teorik modellerde önemli farklılıklar vardır. Teorik modellerden (eş; 4,4-5-6-7-8) saf su ve iyonik sıvı karışımları için elde edilen termofiziksel özellikler (Bkz. Çizelge 4.4) Chereches vd.'nin [39] yaptıkları deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi hata oranı küçük ve kabul edilebilir görülmüştür.

Çizelge 4.6. Su ve iyonik sıvı karışımının teorik ve deneysel termofiziksel özellikleri.

özellik	[0.75 İS + 0.25 SU]		[0.50 İS + 0.50 SU]		[0.25 İS + 0.75 SU]	
	Teorik	[39]	Teorik	[39]	Teorik	[39]
Yoğunluk (kg/m ³)	1236	1237	1223	1224.9	1192	1193.8
Özgül Isı (J/kg.K)	1767	1771.9	1896	1855.2	2213	2195
Isı İletkenlik (W/m.K)	0,1915	0.201	0,1991	0.201	0,2245	0.229
Viskozite (kg/m.s)	43,75	0.053	12,43	0.0143	3,531	0.0038

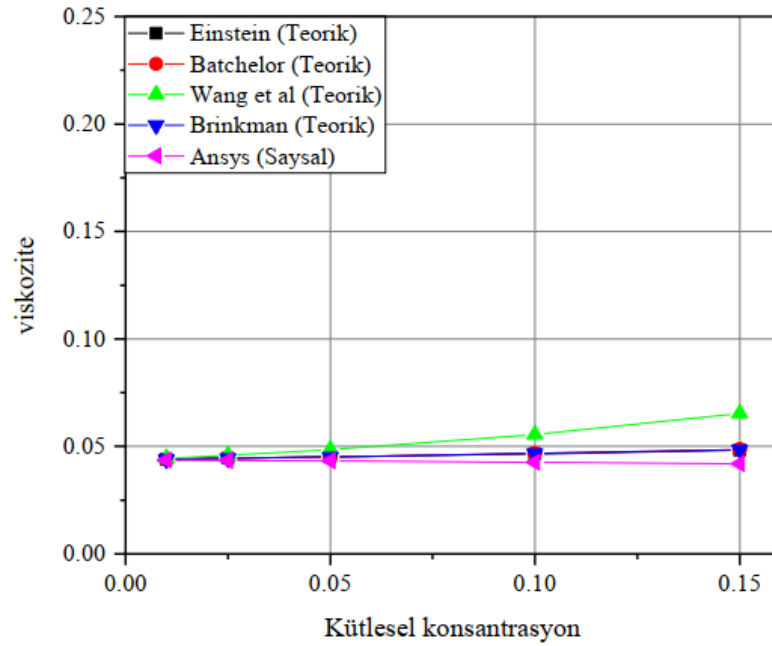
İyonanoakışkan viskozitesinin, birçok parametreye bağlı olduğu bilinmektedir; kullanılan nanopartikülün malzemesi, boyutu, şekli, hacimsel konsantrasyonu ve baz akışkan viskozitesi gibi faktörlerle önemli bir değişim göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan Fe₃O₄ nanopartikülü için Çizelge 4.7’de görülen viskozite modelleri ve Ansys FLUENT (çok fazlı model) karışım yöntemi kullanılarak, Çizelge 4.8’de Fe₃O₄/su-iyonik sıvı İyonanoakışkana ait viskozite değerleri elde edilmiştir. Viskozitenin farklı teorik modeller açısından hemen hemen benzer sonuçlar verdiği Şekil 4.7’de açıkça görülebilir.

Çizelge 4.7. Viskozitenin klasik modelleri [34].

Model	Denklem
Einstein model	$\mu_{ina} = \mu_{ba} (1 + 2.5\phi)$
Batchelor model	$\mu_{ina} = \mu_{ba} (1 + 2.5\phi + 6.2\phi^2)$
Wang et al model	$\mu_{ina} = \mu_{ba} (1 + 7.3\phi + 123\phi^2)$
Brinkman model	$\mu_{ina} = \frac{\mu_{ba}}{(1 - \phi)^{2,5}}$

Çizelge 4.8. Farklı teorik modellerden viskozite değerleri.

Akışkan	Einstein	Batchelor	Wang et al	Brinkman	Bu çalışma
					Karışım
%1wt Fe ₃ O ₄	0.04401	0.04401	0.04455	0.04401	0.0436
%2.5wt Fe ₃ O ₄	0.04441	0.04442	0.04588	0.04442	0.0434
%5wt Fe ₃ O ₄	0.0451	0.04514	0.04852	0.04513	0.0432
%10wt Fe ₃ O ₄	0.04656	0.04674	0.05553	0.0467	0.0426
%15wt Fe ₃ O ₄	0.04815	0.04859	0.06533	0.04848	0.042



Şekil 4.7. Teorik modellerden elde edilen viskozite değerleri.

Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi İyonanoakışkanların viskozitesi ile ilgili deneysel çalışmalar arasında farklılıklar vardır. Ancak elde edilen ortak sonuç baz akışkana nanopartikül eklenmesiyle viskozitesinin artmasıdır.

Çizelge 4.9. İyonanoakışkanın viskozitesini inceleyen deneysel çalışmalar.

Yazarlar	Chereches vd.'nin [38]			Hosseinghorbani vd.'nin [34]		
Akışkan	Al ₂ O ₃ /[C2mim][CH ₃ SO ₃]			Grafen /[Bmim][NTf ₂]		
Şekil						
Kütleli Oran	Deneysel	Teorik	Artış oran	Deneysel	Teorik	Artış oran
%0.5	1.21	1.01	%20	0.053	0.048	%10
%1	1.22	1.02	%20	0.069	0.048	%44
%2.5	1.39	1.03	%35	0.18	0.048	%275
%5	1.52	1.04	%46			
%10	2.01	1.05	%91			

Deneysel verilerdeki genel sonuç, nanopartikülün baz akışkana eklenmesiyle viskozitedeki artışın, teorik modeller kullanılarak elde edilen teorik tahminlerden daha büyük olmasıdır.

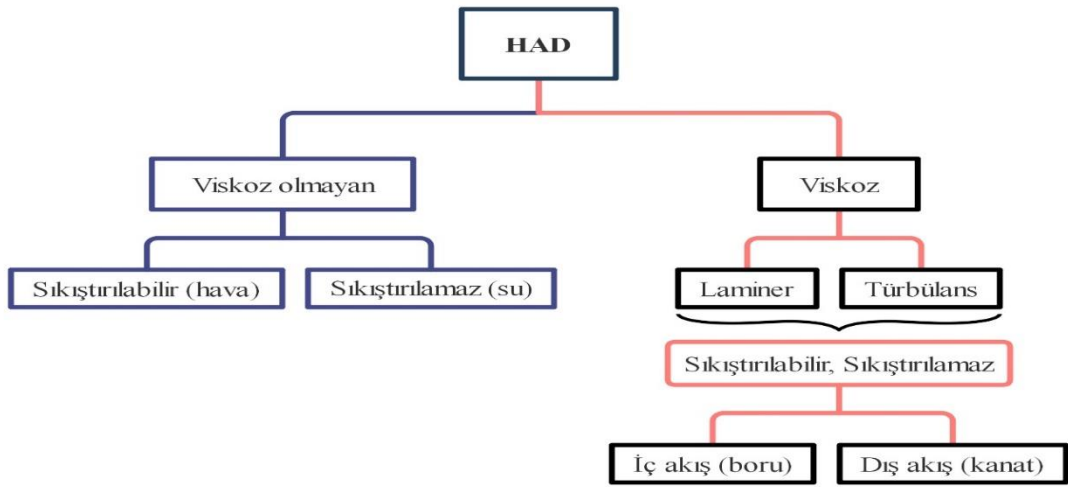
4.4. SAYISAL YÖNTEM

Pratikte karşılaşılan akış ve ısı transferi problemlerini deneysel olarak çalışmak ve analitik çözümleri oldukça zor olduğu için günümüzde bu ve benzer mühendislik problemlerin analizleri için sayısal yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), boru veya kanal içi akışların incelenmesinde yaygın olarak başvurulan faydalı ve kullanışlı bir çözüm yöntemidir. Teknolojinin gelişimi ve aynı zamanda bilgisayarlarda fiziksel problemleri çözmek için doğru sayısal algoritmaların geliştirilmesiyle birlikte son dönemlerde HAD kod programlarının kullanımı uygulama alanlarında tercih edilmektedir. Mühendislik

uygulamalarında akış içeren birçok proje/konu mevcuttur. İki temel yönteme göre bu projelerin çözümü yapılmaktadır. Birincisi, deneysel olarak yapılan çalışmalar, diğeri ise analitik ya da sayısal olarak yapılan teorik çözümlerlerdir [62]. HAD, kritik akışkan akışını (viskoz, viskoz olmayan, sıkıştırılabilir,) Şekil 4.7’de görüldüğü gibi basitleştirmek ve incelemek için algoritmalar ve sayısal yöntemlerle akışkanın hareketini inceleyen bir bilim dalıdır. HAD çalışma prensibi, kütle, momentum ve enerjinin temel yasalarına dayanmaktadır. [7].



Şekil 4.8. HAD akış şeması.

HAD analizleri, tasarım sürecinde zamandan tasarruf etme konusunda büyük bir potansiyele sahiptir, bu nedenle veri toplama için geleneksel testlere kıyasla daha ucuz ve daha hızlıdır [62].

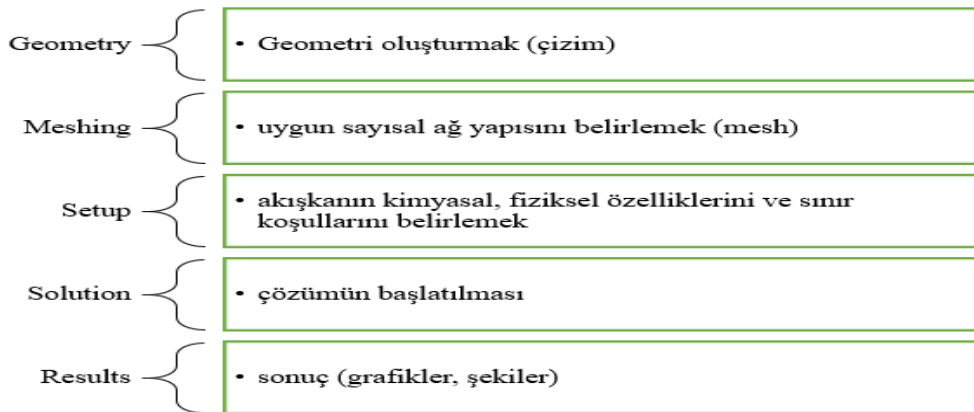
4.4.2. Sonlu Hacimler Yöntemi

Akışkan hareketinin problemlerini çözmek için sayısal algoritmalar kullanılarak HAD kodları icat edilmiştir. Bu kodlar üç temel adım içerir. Bu adımlar ön işlem, çözüm ve son işlemdir. Ön işlem; model ve sınır şartlarını kapsamaktadır. Çözüm kısmında ise üç ayrı çözüm yöntemi vardır sonlu fark, sonlu elemanlar ve sonlu hacimler yöntemi (SHY). Sonlu hacimler yöntemine son zamanlarda ısı transferi ve akışkanlar dinamiği analizlerinde büyük bir ihtiyaç duyulmuştur [62]. SHY koruma yasalarını temsil eden kısmi diferansiyel denklemleri cebirsel denklemler biçiminde göstermek ve

değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. SHY, Sonlu fark veya sonlu eleman yöntemine benzer bir şekilde, çözümü gerçekleştirilecek olan geometri ağlara bölünür ve her bir ağ üzerinde cebirsel akış denklemleri entegre edilir. Sistem cebirsel denklemler her bir ağ için bağımlı değişkenin değerlerini hesaplamak için çözümü başlatır [7].

4.4.3. ANSYS Fluent Programı

ANSYS-FLUENT, ANSYS Inc tarafından geliştirilen genel amaçlı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılım paketidir. HAD uygulamalarında (uçak kanadı, pompa, türbin, kanal) FLUENT kod programı iç ve dış akışların simüle edilmesinde en çok kullanılan programlardan biri olmuş ve birçok endüstri alanında geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Manyetohidrodinamik ve ayrık parçacık problemleri için bazı ek modüllere sahip olmasına rağmen, mühendisler FLUENT kodunda ağırlıklı olarak akış, kimya ve ısı transferi simülasyonlarına önem vermişlerdir [7]. FLUENT, genelleştirilmiş Navier-Stokes denklemlerini sonlu hacim tekniğini kullanarak çözer. Sıkıştırılmaz ve sıkıştırılabilir akışları çözmek için basınç ve yoğunluk tabanlı bir çözücüye sahiptir Isı transferini temsil eden iletim, konveksiyon ve radyasyon dahil olmak üzere bir dizi çok fazlı akış modelleme tekniğine de sahiptir. Şekil 4.8'de FLUENT işlem aşamaları verilmiştir. [95].



Şekil 4.9. Fluent işlem aşamaları.

4.4.4. MHD Model

Manyetohidrodinamik (MHD), elektriksel olarak iletken akışkanların, akışı ile uygulanan manyetik alan arasındaki etkileşimi inceler ve akışkanlar dinamiği ile elektromanyetik kavramlarını bir araya getirir. Uygulanan manyetik alanın etkisizaltında kalan elektriksel iletkenliğe sahip olan akışkanlar ve elektrik akımının indüksiyonu ile, Lorentz kuvveti olarak bilinen bir direnç kuvveti üretir. Manyetikleşme özelliğine dayanarak elektromanyetik alanlar Maxwell denklemi Eş. (4.15 – 4.18) ile tanımlanır [7,11]:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4.15)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (4.16)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = q \quad (4.17)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (4.18)$$

Burada, \vec{B} (Tesla) ve \vec{E} (V/m) sırasıyla manyetik ve elektrik alan, \vec{H} ve \vec{D} ise sırasıyla manyetik ve elektrik alanlar için indüksiyon alanıdır. q (C/m³) elektrik yük yoğunluğu ve j (A / m²) elektrik akım yoğunluğu vektörüdür [7,11].

Manyetik indüksiyon denklemi Ohm kanunu ve Maxwell denkleminde türetilmiştir. Denklem akışkan hareketini ve manyetik alan arasındaki bağıntıyı sağlar. Genel olarak Ohm yasası aşağıda verilen Eş. (4.19) akım yoğunluğu ile tarif edilir.

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (4.19)$$

Burada σ ortamın elektrik iletkenliğidir. Bir manyetik alan \vec{B} altındaki akışkan hızı \vec{U} için Ohm yasası Eş. (4.20) gibi hesaplanır.

$$\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{U} \times \vec{B}) \quad (4.20)$$

Ohm kanunu ve Maxwell denkleminde, manyetik indüksiyon denklemi Eş. (4.21) ile gösterilir.

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \nabla) \vec{B} = \frac{1}{\mu\sigma} \nabla^2 \vec{B} + (\vec{B} \cdot \nabla) \vec{U} \quad (4.21)$$

Çözülen manyetik alan \vec{B} den, akım yoğunluğu j aşağıdaki Amper eşitliğinden hesaplanabilir.

$$\vec{j} = \frac{1}{\mu} \nabla \cdot \vec{B} \quad (4.22)$$

Korunum denklemleri ise, MHD akışını tanımlayan denklemler, Navier-Stokes denklemleri ile Maxwell denklemlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Sıkıştırılmaz akışlar için süreklilik denklemi Eş. (4.23) verilmiştir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (4.23)$$

Momentum denklemi manyeto-taşınım altında aşağıdaki Eş. (4.24) denkleme dönüştürülmektedir.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\Delta p + \eta \tilde{N}^2 \vec{V} + \tilde{N} \bar{\tau} S_p + \alpha \rho g (T - T_0) k + (\vec{M} \times \tilde{N}) \vec{B} \quad (4.24)$$

Enerji denklemi ise manyetik alan altında Eş. (4.25) deki gibi hesaplanır

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = k \nabla^2 T + \eta \phi - \mu_0 T \frac{\partial \vec{M}}{\partial T} ((\vec{V} \cdot \vec{V}) \vec{H}) \quad (4.25)$$

Burada, V (m/s) akış hızını, p (Pa) statik basıncı, $\bar{\tau}$ (Pa) stres tensörünü, S_p akışkan ile nanopartikül arasındaki momentum transferini temsil eden kaynak terimini, T (°C) akışkan sıcaklığını, t (s) zamanı, η (m²/s) viskoziteyi, ϕ (kg/m²/s²) viskoz yayılımı temsil etmektedir [7,11].

4.4.5. Sayısal Verilerin Hesaplanması

Isı transferi, uygulanan tüm akışkanlar için taşınım ile oluşan ısı transfer katsayısı (h) açısından Eş. (4.26) aracılığıyla analiz edilmiştir. Ayrıca, su mol fraksiyonu, nanoparçacık ağırlık konsantrasyonu ve Re sayısının etkisi, ısı transferi artışı açısından dikkatle incelenmiştir.

$$h = \frac{q}{(T_w - T_{mean})} \quad (4.26)$$

$$T_{mean} = \frac{\int_0^R VT (2\pi r) dr}{\int_0^R V (2\pi r) dr} = \frac{\int_0^R VrT dr}{\int_0^R Vr dr} \quad (4.27)$$

Denklemlerde q'' duvar ısı akısı, T_w çıkıştaki boru duvarı sıcaklığı ve T_{mean} çıkıştaki ortalama sıcaklıktır, V (m/s) akış hızı, T sıcaklık, r (m) borunu yarı çapını temsil etmektedir. Sonuç olarak, çıkış sıcaklığı T_{mean} göre taşınım ile ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır.

Nusselt sayısının hesaplanması Eş.(4.28) yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$Nu = \frac{h D}{k} \quad (4.28)$$

h (W/m².K) taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısını, D (m) boru çapı, k (W/m.K) ısı iletim katsayısını, q'' (W/ m²) ısı akısını ifade belirtmektedir.

Sayısal sonuçların doğrulanması amacıyla kanal içindeki tam gelişmiş akış için literatürdeki bazı bağıntılar Shah-London, Minea [39] ve Gnielinski'nin elde etmiş olduğu denklemler kullanılarak doğrulama yapılmıştır.

Gnielinski Korelasyonu:

$$Nu = \left[4.354^3 + 0.6^3 \left(1.953 \sqrt{RePr \frac{D}{L}} - 0.6 \right)^3 + \left(0.924 \sqrt[3]{Pr} \sqrt{Re \frac{D}{L}} \right)^{1/3} \right] \quad (4.29)$$

Shah-London Korelasyonu:

$$Nu = 1.953 \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right)^{1/3}; \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right) \geq 33.3 \quad (4.30)$$

Eş. (4.31) ve Eş. (4.32) Re ve Pr sayılarını ifade etmektedir.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (4.31)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (4.32)$$

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

Boru giriş ve çıkış kısmından alınan basınç verilerinin ortalamasını hesaplayarak boru içi basınç düşüşü hesaplanmıştır. Eş. (4.33) vasıtasıyla ortalama Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır

$$f = \frac{P_{giriş} - P_{çıkış}}{\left(\frac{L}{D}\right) \times \left(\frac{\rho V^2}{2}\right)} \quad (4.33)$$

Burada, $P_{giriş}$ (Pa) ve $P_{çıkış}$ (Pa) boru giriş ve çıkış basınçlarını, L (m) boru uzunluğunu, V (m/s) ortalama akışkan hızını temsil etmektedir.

Sabit ısı akısına maruz kalan borularda laminer akış durumunda ortalama Darcy sürtünme faktörü Eş. (4.34) ile hesaplanmaktadır.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (4.34)$$

Çalışmada kullanılan iyonanoakışkanın verimliliğini ifade eden Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK) Eş. (4.35) ile hesaplanmaktadır.

$$PEC = \frac{\left(\frac{Nu_{nf}}{Nu_{bf}}\right)}{\left(\frac{f_{nf}}{f_{bf}}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (4.35)$$

4.4.6. Sınır Şartları

İyonanoakışkanlar dairesel kanala, 300 K sıcaklıkta ve tam gelişmiş laminar akış şartlarında ($500 \leq Re \leq 2000$) sabit hızla giriş yapmaktadır.

$$T(r, \theta, 0) = T_{inlet} \quad (4.36)$$

$$V(r, \theta, 0) = V_{inlet} \quad (4.37)$$

$$\varphi_{np} = 0,01 - 0,15 \quad (4.38)$$

Çıkışta ise pressure outlet sınır şartı tanımlanmıştır.

$$P_{outlet}(r, \theta, L) = 0 \quad (4.39)$$

$$\frac{\partial V(r, \theta, L)}{\partial z} = 0 \quad (4.40)$$

$$\frac{\partial \Theta(r, \theta, L)}{\partial z} = 0 \quad (4.41)$$

$$\Theta = \frac{T(r, \theta, z) - T_{wall}(R, \theta, z)}{T_{mean}(r, \theta, z) - T_{wall}(R, \theta, z)} \quad (4.42)$$

Kanalın ilk kısmı izotermal sınır şartına sahiptir, ikinci kısım ise sabit manyetik alana (0T, 0,5T, 1T 1,5 T) ve sabit ısı akısına 3000 W/m^2 maruz olarak bırakılmıştır.

$$u_r(R, \theta, z) = 0, u_\theta(R, \theta, z) = 0, u_z(R, \theta, z) = 0 \quad (4.43)$$

$$\dot{q}_0''(R, \theta, z) = \text{Constant} \quad (4.44)$$

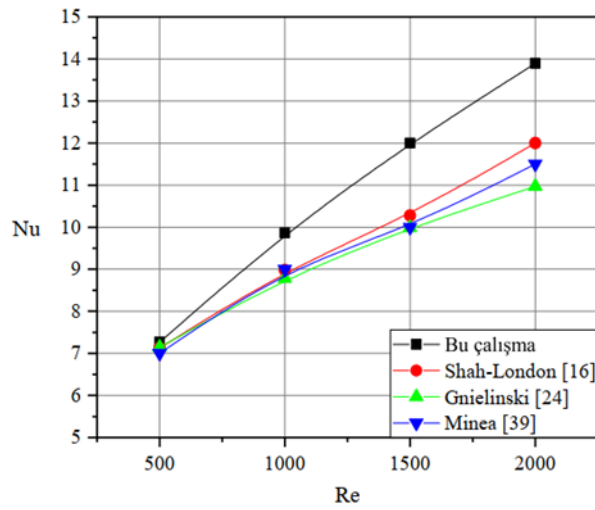
BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan su-iyonik sıvı karışımları ve $Fe_3O_4 / (SU+[C2mim][CH_3SO_3])$ İyonanoakışkan için ısı taşınım katsayısı h , Nu sayısı, basınç düşümü ΔP ve Darcy sürtünme faktörü f değişimleri grafikler halinde sunulmaktadır.

5.1. SONUÇLARIN DOĞRULANMASI

Elde edilen sonuçların güvenilirliğini ve doğruluğunu ispat edebilmek için öncelikle çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için laminer akış şartlarında sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Doğrulama analizinden elde edilen sonuçlar literatürdeki eşitliklerle karşılaştırılarak Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.1’de Nu değerinin Re değeri ile değişimi görülmektedir. Analiz sonuçlarının Shah-London [16] tarafından önerilen korelasyonla $\pm\%10$, Minea [39] korelasyonuyla $\pm\%10$ ve Gnielinski [24] korelasyonu ise $\pm\%12$ hata oranı içinde olduğu görülmüştür. Şekil 5.1’den açık bir biçimde görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir.

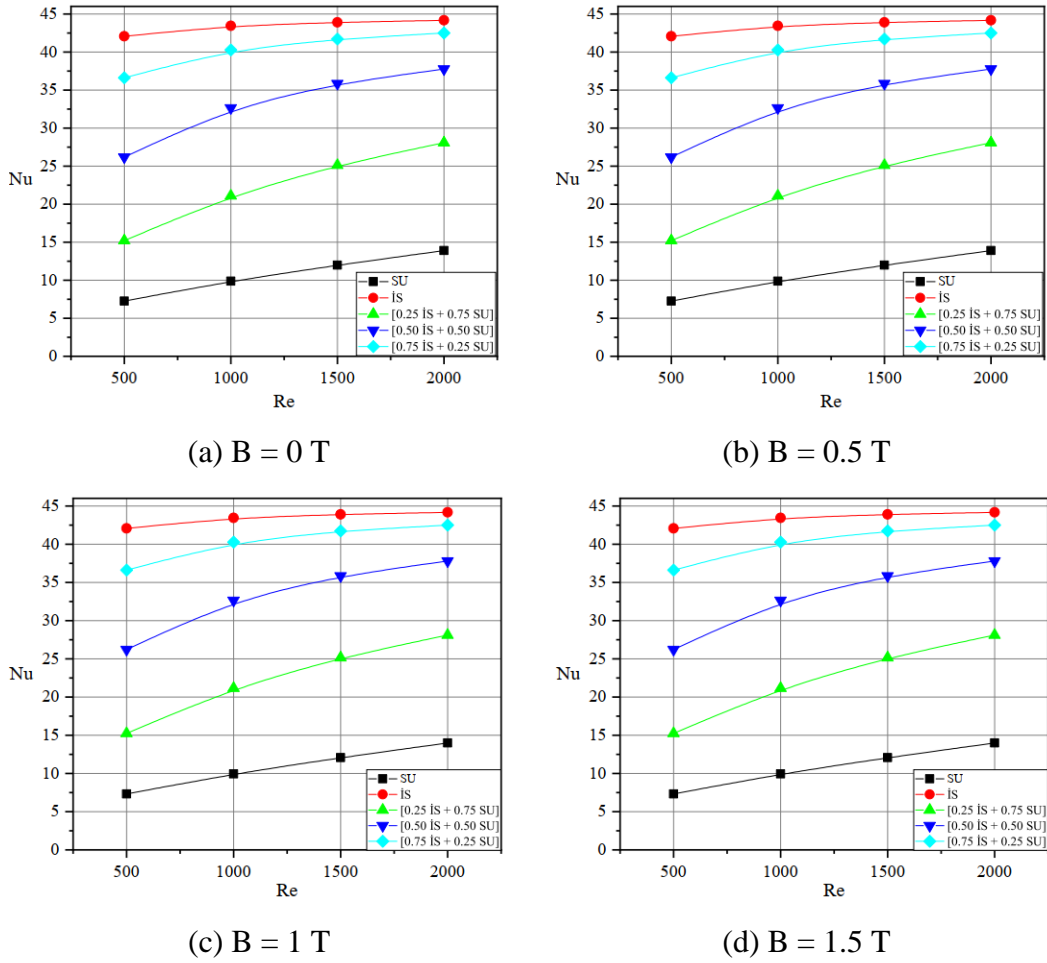


Şekil 5.1. Nu değerinin sonuçları literatürle karşılaştırılması.

5.2. SU-İYONİK SIVI KARIŞIMIN SONUÇLARI

5.2.1. Karışımlara Ait “Nu” Sayısının Sonuçları

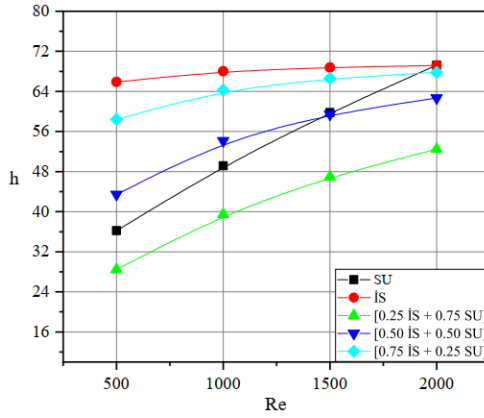
Şekil 5.2’de görüldüğü gibi saf ve karışım halinde bulunan su ve iyonik sıvı, farklı sabit manyetik alan etkisi altında Nu sayısının değişimi incelenmiştir. Şekil 5.2a’da Re değeri ile Nu sayısının değeri doğru orantılı değiştiği görülmüştür. Saf suya eklenen iyonik sıvının mol oranı arttıkça zaman Nu değeri de artmıştır. $Re=500$ değeri için iyonik sıvının mol oranı artmasıyla birlikte karışımların saf su kullanılan duruma göre Nu değeri sırasıyla %109, %260, %404 artmaktadır. Şekil 5.2b,c,d’de ise manyetik alanın şiddeti yükseldiğinde Nu değerinde hiç bir değişim görülmemiştir, bu durumun sebebi ise su ve iyonik sıvının elektriksel iletkenlik değerlerinin düşük olmasına bağlanmıştır.



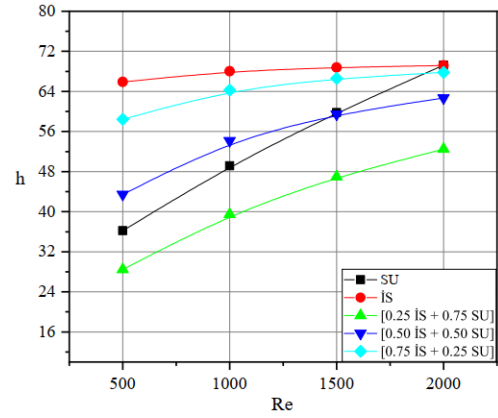
Şekil 5.2. Karışımların farklı manyetik alan durumunda Nu değerinin Re değerine göre değişimi.

5.2.2. Isı Taşınım Katsayısı “h” Sonuçları

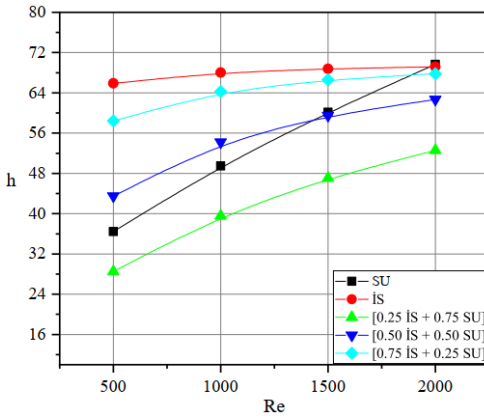
Şekil 5.3'te görüldüğü gibi su ve iyonik sıvı karışımlarının Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının değişimi görülmektedir. Şekil 5.3a'dan görülebileceği gibi Re sayısı ve iyonik sıvının mol oranı arttıkça karışımların h değeri artmaktadır. (0,25is+0,75su), (0,50is+0,50su), (0,75is+0,25su) karışımların saf su kullanılan duruma göre $Re=500$ değeri için h değeri sırasıyla %-21, % 20, %61 artmaktadır. Bununla birlikte Re sayısının artması durumunda, karışımların h değerleri $Re = 500$ ile 2000 arasında sırasıyla % 85, % 44, %16 oranında artış olduğunu tespit edilmiştir. Sabit manyetik alan ($B = 0,5, 1, 1,5$ T) etkisi altında Su-iyonik sıvı karışımların h değeri Şekil 5.3b,c,d'de görüldüğü gibi manyetik alan etkisi olmayan ($B = 0$ T) durumla aynı performansı göstermektedir.



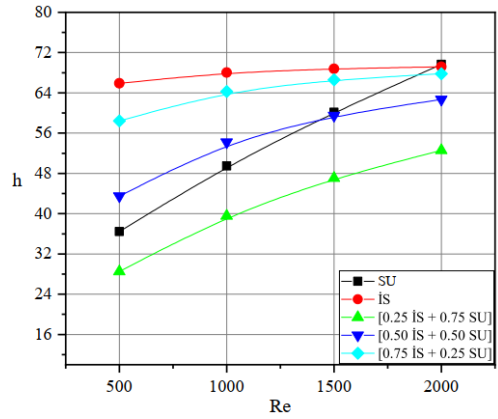
(a) $B = 0$ T



(b) $B = 0.5$ T



(c) $B = 1$ T

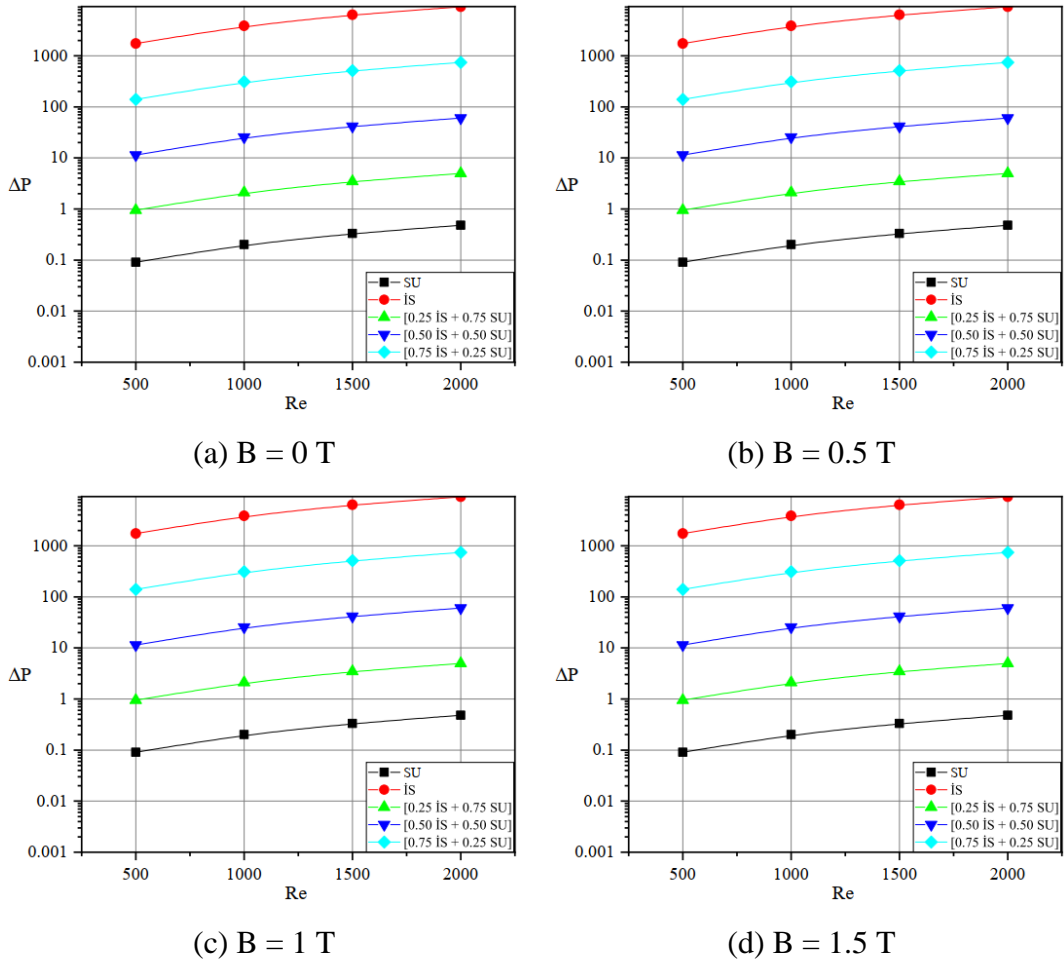


(d) $B = 1.5$ T

Şekil 5.3. Karışımların farklı manyetik alan durumunda h değerinin Re değerine göre değişimi.

5.2.3. Statik Basınç Değişim “ ΔP ” Sonuçları

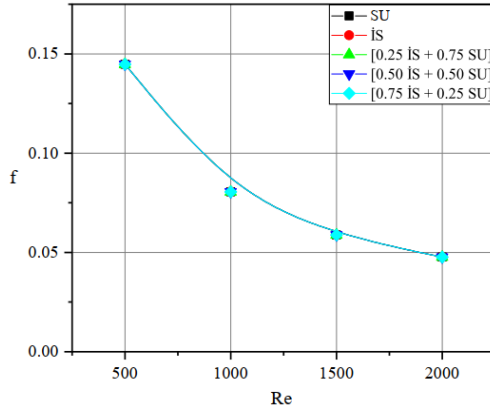
Sayısal analizler sonucundan su ve iyonik sıvı karışımların basınç düşümü ΔP değerlerinin değişimi Şekil 5.4’te görüldüğü gibi grafikler halinde verilmiştir. Şekil 5.4a’da suya iyonik sıvı ilave edildiğinde basınç düşüm değeri ΔP iyonik sıvı mol oranıyla birlikte 100 kat arttığını görebiliriz, bu duruma dayanarak karışımların taşınması için gereken pompalama gücünün iyonik sıvı içeriğiyle birlikte yaklaşık 100 kata kadar önemli ölçüde artacağını öğrenebiliriz. İyonik sıvının viskozite değeri su viskozite değerine göre daha yüksek olmasından dolayı ΔP değerlerinde bu yükselmeler ortaya çıkmıştır. Karışımlara sabit manyetik alan uygulandığı durumda Şekil 5.4b,c,d’de görüldüğü gibi manyetik alanın uygulanmadığı duruma göre ΔP sonuçlarında hiç bir etkileşim görülmemiştir.



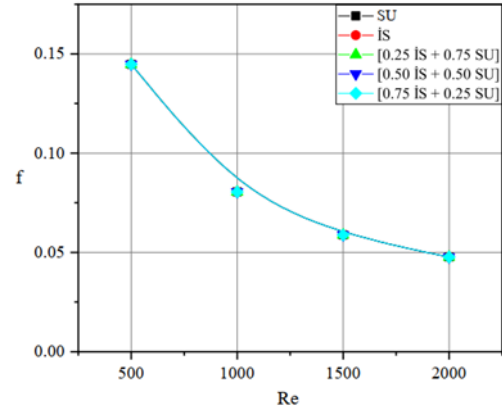
Şekil 5.4. Karışımların farklı manyetik alan durumunda ΔP değerinin Re değerine göre değişimi.

5.2.4. Darcy Sürtünme Faktörün “ f ” Sonuçları

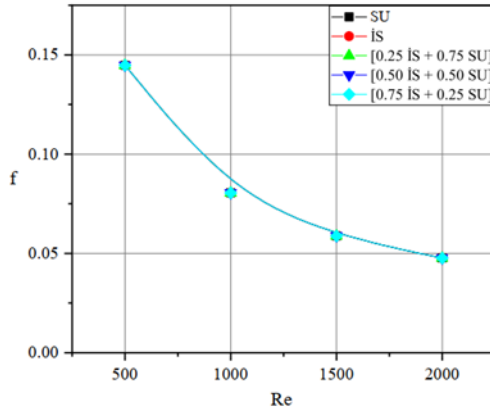
Sayısal hesaplamalar sonucunda saf ve karışım halinde bulunan su ve iyonik sıvı için Darcy sürtünme faktörü f değerlerinin Re sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.5’te verilmiştir. Şekil 5.4a’da ve Şekil 5.5a’dan görülebileceği gibi saf ve karışım halinde bulunan akışkanların iyonik sıvı içeriğiyle birlikte basınç düşümünü arttırmasına rağmen Darcy sürtünme faktörü f bundan etkilenmemiştir. Bu olay manyetik alanın uygulanmadığı ($B = 0$ T) ve sabit manyetik alanın uygulandığı ($B = 0,5, 1, 1,5$ T) durumlarda da geçerlidir Şekil 5.5b,c,d’de görüldüğü gibi. Ayrıca artan Re değerleri ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri düşmektedir.



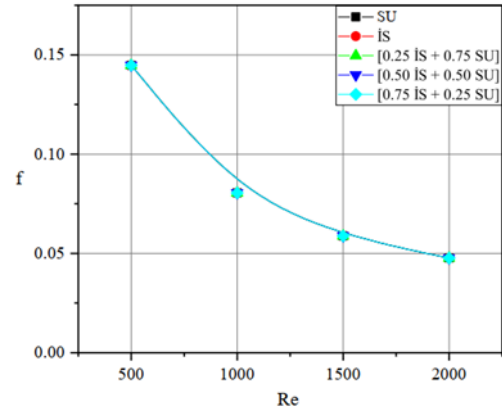
(a) $B = 0$ T



(b) $B = 0.5$ T



(c) $B = 1$ T



(d) $B = 1.5$ T

Şekil 5.5. Karışımların farklı manyetik alan durumunda f değerinin Re değerine göre değişimi.

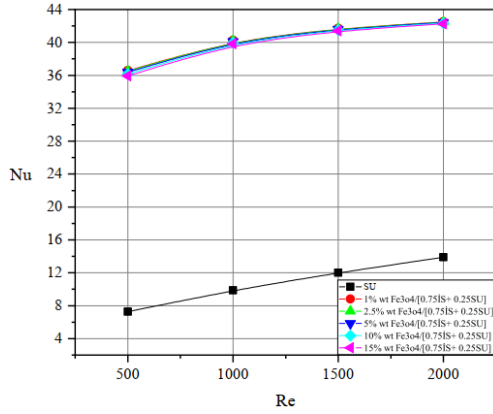
5.3. İYONANOAKIŞKAN SONUÇLARI

Saf su-iyonik sıvı karışımların ısı taşınım katsayısı h , Nusselt sayısı Nu , basınç düşümü ΔP ve Darcy sürtünme faktörü f incelemesinden. 0,75/ 0,25 mol oranlarına sahip su ve iyonik sıvı sabit manyetik alan altında hiç bir etki göstermemesine rağmen en iyi performans sağlayan karışım olarak seçilmiştir. Buna göre [0,75İS+0,25SU] karışımı Fe_3O_4 nanopartikülün baz akışkanı olarak belirlenmiştir ve buna yönelik Fe_3O_4 / [0,75İS+0,25SU] iyonanoakışkanın farklı kütle konsantrasyonlarda Re değerinde ki artışa bağlı olarak, Nu , h , ΔP ve f değerlerinde meydana gelen değişimler aşağıda incelenmiştir.

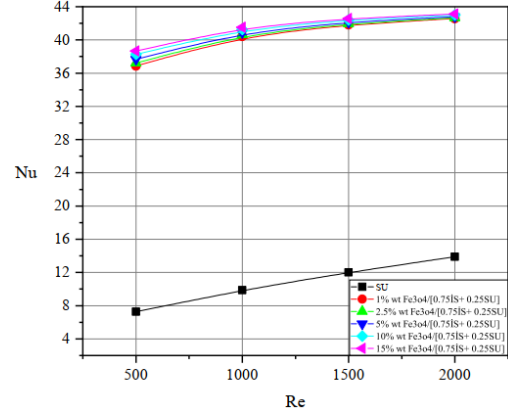
5.3.1. İyonanoakışkanların Ortalam “Nu” Sayısının Sonuçları

Nusselt sayısı Eşitlik 4.28’den hesaplanmıştır. Manyetik alanın uygulanmadığı durumda ($B = 0$ T) ve sabit manyetik alanın uygulandığı durum ($B = 0,5, 1, 1,5$ T) için Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.6’da (a-d) olarak grafikler halinde verilmiştir.

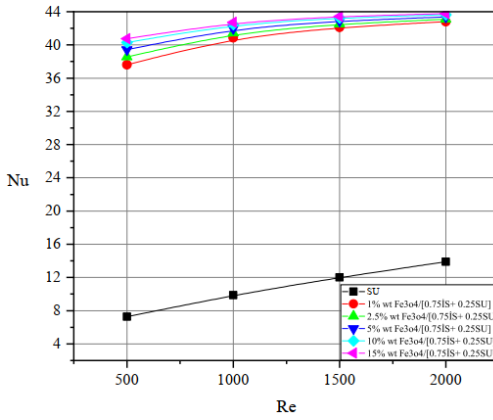
Şekil 5.6a’da görüldüğü gibi her bir iyonanoakışkan için Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekilden de açıkça görülebileceği gibi manyetik alanın uygulanmadığı durumda iyonanoakışkanın artan Re değerine göre Nu değerinin arttığı görülmektedir. %1-15wt kütleli konsantrasyonunda Fe_3O_4 nanopartikül eklenmesi Nu değerinin az miktarda arttığı gözlemlenmiştir. $Re = 500, 1000$ ve 2000 değerleri için %1wt kütleli konsantrasyonuna sahip iyonanoakışkan saf su ile karşılaştırıldığında Nu değeri sırasıyla %400, %308 ve %206 oranında görülmüştür. Şekil 5.6b,c,d’de ise manyetik alanın şiddeti ($B = 0,5, 1, 1,5$ T) artmasıyla ve baz akışkana Fe_3O_4 nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte akışın Nu değeri artmaktadır. $Re = 500$ değeri için %15wt kütleli konsantrasyonuna sahip iyonanoakışkan saf su ile karşılaştırıldığında Nu değeri 0,5 T %429, 1 T %457 ve 1,5 T %472 olarak hesaplanmıştır.



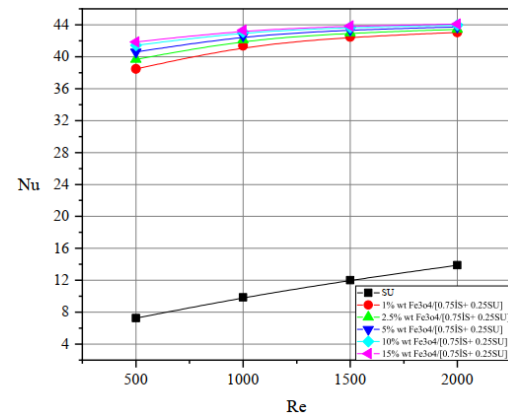
(a) $B = 0 \text{ T}$



(b) $B = 0.5 \text{ T}$



(c) $B = 1 \text{ T}$



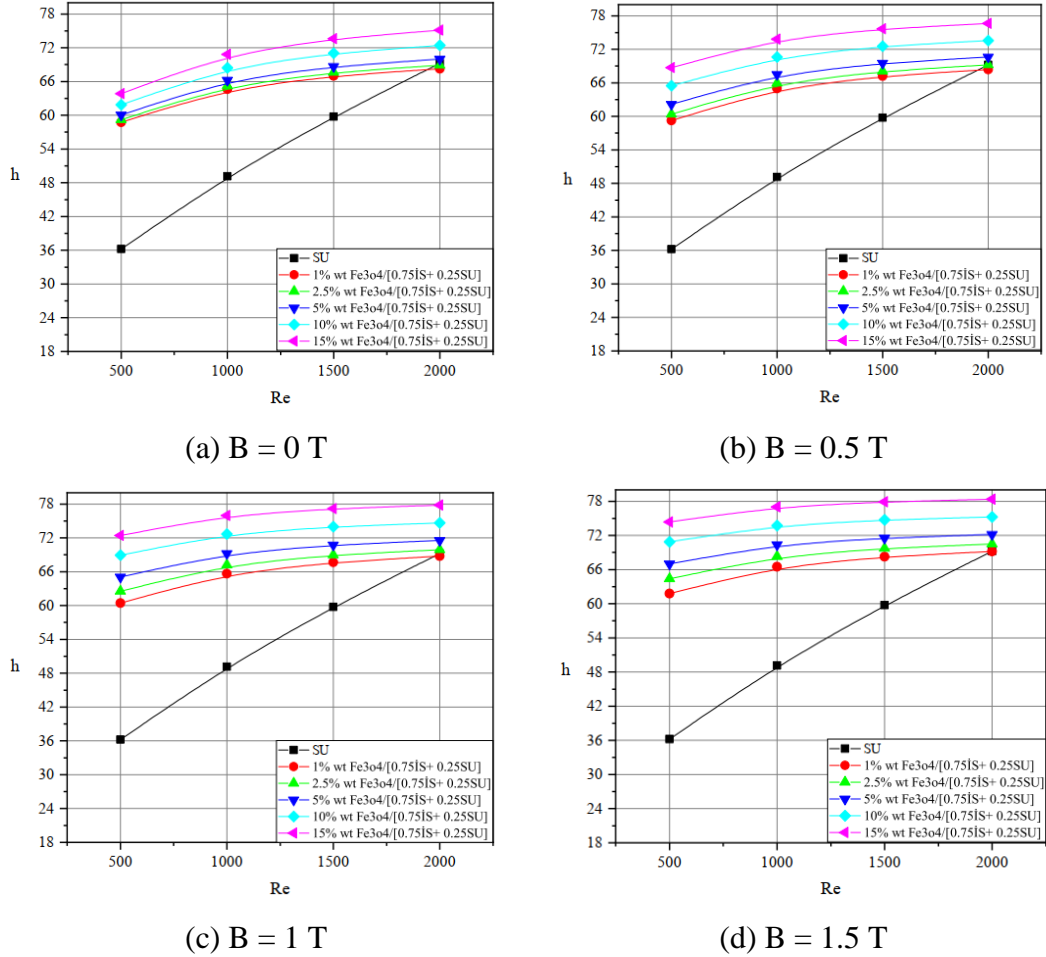
(d) $B = 1.5 \text{ T}$

Şekil 5.6. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda Nu değerinin Re değerine göre değişimi.

5.3.2. Isı Taşım Katsayısı “ h ” Sonuçları

Şekil 5.7’de farklı kütleli nanopartikül konsantrasyonundaki iyonanoakışkanın manyetik alan uygulanmadığı ($B=0 \text{ T}$) ve sabit manyetik alan uygulandığı durumlarda Re sayısına bağlı olarak ısı taşım katsayısının değişimini göstermektedir. Şekil 5.7a’da $B = 0 \text{ T}$ durumundan görülebileceği gibi Re değeri artmasıyla ve baz akışkana Fe_3O_4 nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte h değeri artmaktadır. $Re = 1000$ değeri için %1,0, %2,5, %5,0, %10 ve %15wt iyonanoakışkan saf su kullanılan duruma göre h değeri sırasıyla %31,5, %32,7, %34,7, %39,1, %44 artmaktadır. Manyetik alan ($B = 0,5, 1, 1,5 \text{ T}$) uygulandığı durumda ise Şekil 5.7b,c,d’de görüldüğü gibi iyonanoakışkan saf su ile karşılaştırıldığında %1wt ve $Re = 500$ değeri için %64,

%67 ve %71 artış tespit edilirken, %15wt kütleli konsantrasyon için %90, %100 ve %105 artış elde edilmiştir.

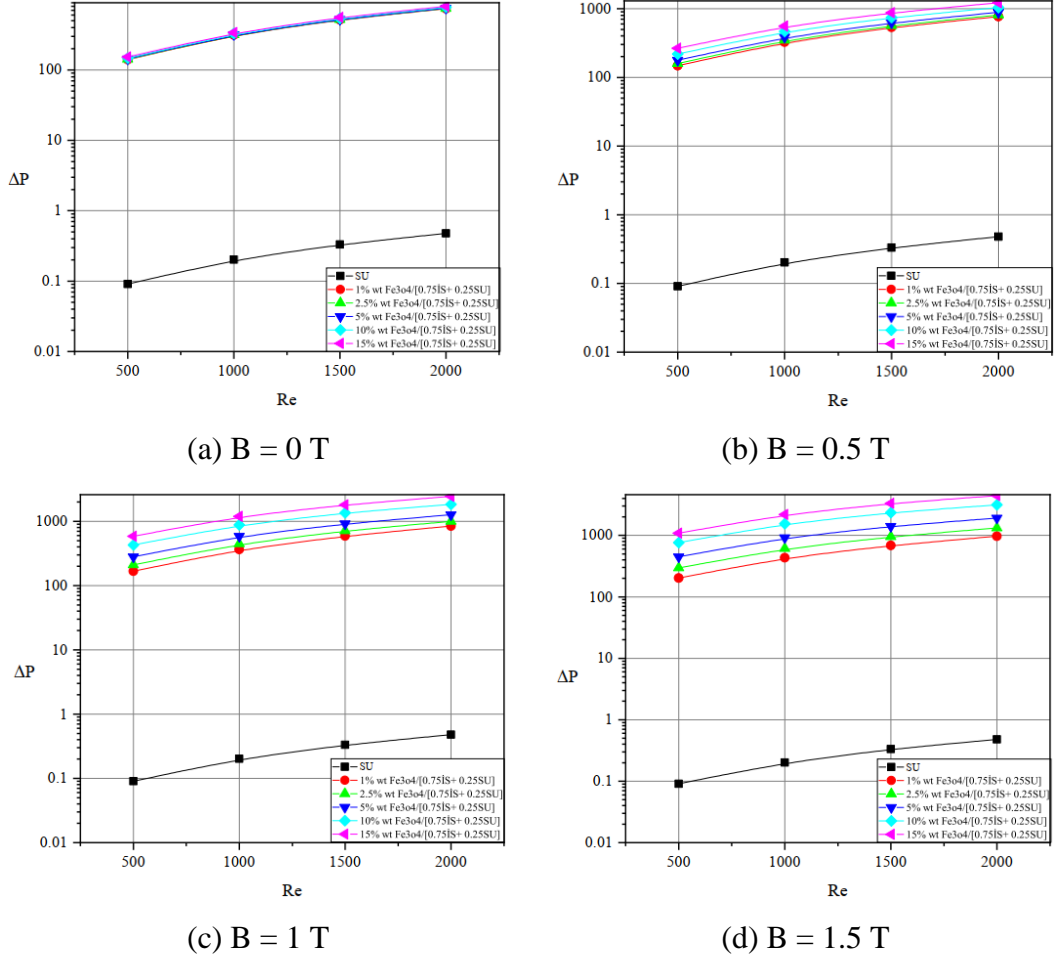


Şekil 5.7. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda h değerinin Re değerine göre değişimi.

5.3.3. Statik Basınç Değişim “ ΔP ” Sonuçları

Saf su ve iyonanoakışkanın basınç düşümü ΔP değerlerinin Re sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.8a’dan görüleceği üzere, iyonanoakışkanın dinamik viskozite değeri saf suyun dinamik viskozite değerine göre daha yüksek olmasından dolayı basınç düşüşünün daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca nanopartikül kütleli konsantrasyonu arttıkça ΔP değeri artmaktadır. Şekil 5.8b,c,d’de sabit manyetik alan ($B = 0,5, 1, 1,5$ T) uygulandığı durumda manyetik alanın uygulanmadığı duruma göre %1wt ve $Re = 500$ değeri için %5, %19 ve %44 artış

gösterirken, %15wt kütleli konsantrasyon için %73, %285 ve %615 artış elde edilmiştir. Aynı etkiler $Re = 2000$ değerinde de fark edilir, %1wt kütleli konsantrasyon için ΔP değeri %3, %13 ve %30 olarak tespit edilirken, %15wt kütleli konsantrasyon için, %51, %206 ve %454 olarak hesaplanmıştır.

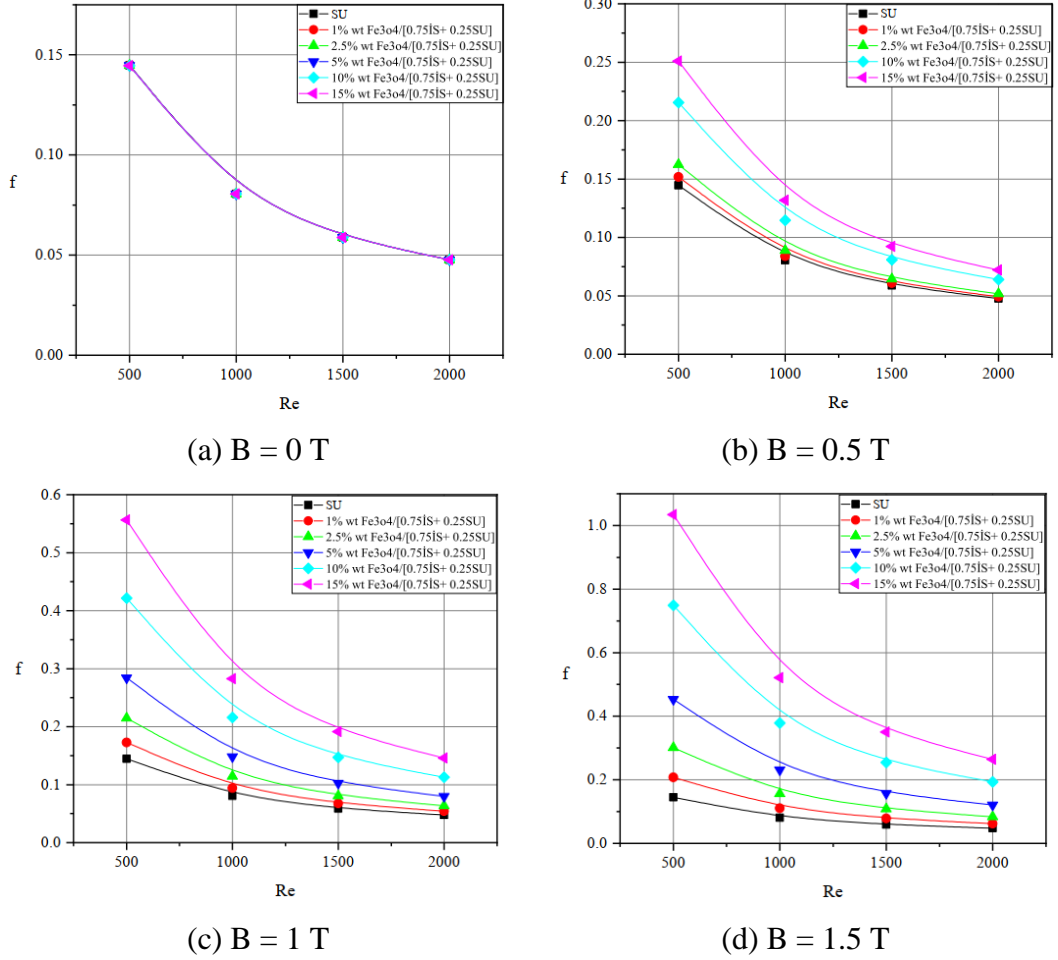


Şekil 5.8. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda ΔP değerinin Re değerine göre değişimi.

5.3.4. Darcy Sürtünme Faktörün “ f ” Sonuçları

Saf su ve iyonanoakışkan için elde edilen f değerlerinin Re sayısı ile değişimi Şekil 5.9’da görülmektedir. Şekil 5.9a’dan görülebileceği gibi artan Re değerleri ile birlikte ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri düşmektedir. Fe_3O_4 nanopartikülün kütle konsantrasyonu artması f değerinin üzerinde herhangi bir etkisi görülmemiştir. Buna karşılık manyetik alanın uygulanması durumunda Şekil 5.9b,c,d’de görüldüğü gibi f

değeri artmıştır. $Re = 500$ ve $B = 1,5$ T durumunda %1wt, %15wt kütleli konsantrasyona sahip iyonanoakışkan saf su ile karşılaştırıldığında f değeri %44 ve %615 olarak elde edilmiştir. $Re = 2000$ ve $B = 0,5, 1, 1,5$ T durumda ise %1wt kütleli konsantrasyon için %3, %13 ve %30 artış gösterirken, %15wt kütleli konsantrasyon için %51, %206 ve %454 olarak hesaplanmıştır.

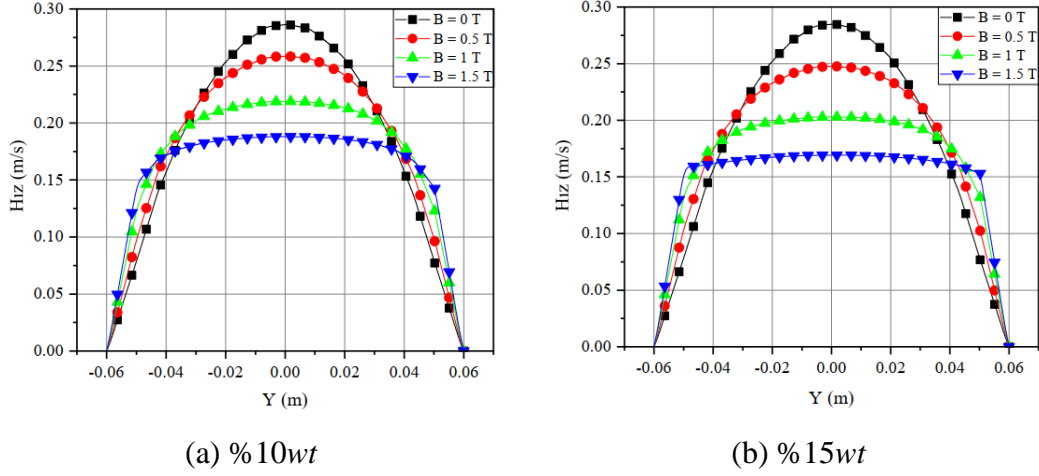


Şekil 5.9. İyonanoakışkanın farklı manyetik alan durumunda f değerinin Re değerine göre değişimi.

5.3.5. Eksenel Hız Profili

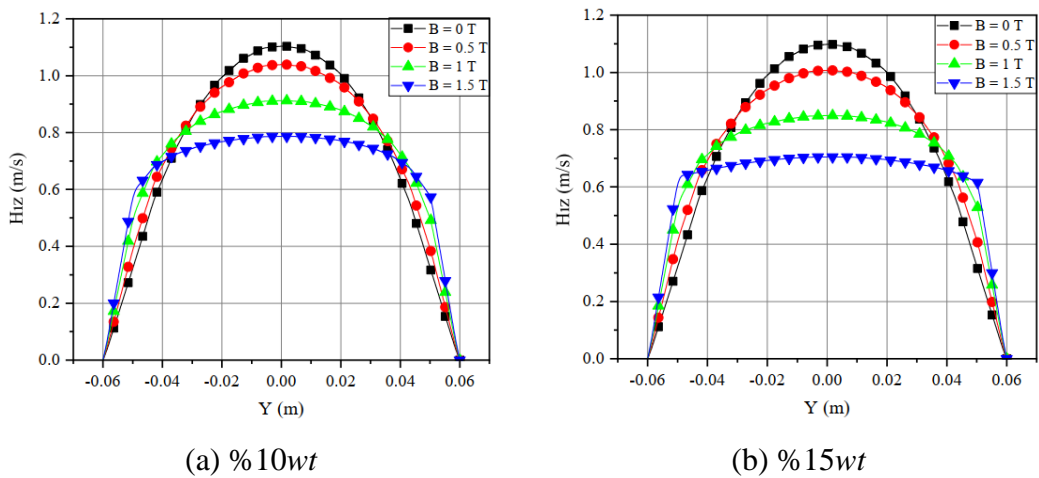
Şekil 5.10'da, %10, %15 kütleli konsantrasyona sahip iyonanoakışkan, farklı manyetik alan şiddeti için $Re = 500$ değerinde hız profillerinin eksenel yönde nasıl değiştiğini göstermektedir. Manyetik alan şiddeti artırıldığında Lorentz kuvvetinin geciktirici etkisinden dolayı hız profillerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Bu

azalmalar neticesinde farklı manyetik alan ($B = 0, 0,5, 1$ ve $1,5$ T) değerlerinde, %10 kütleli konsantrasyonu için boru merkezindeki hız değerleri sırasıyla $u = 0,286, 0,258, 0,218$ ve $0,188$ m/s olmuştur. %15 kütleli konsantrasyonda ise hız değerleri $u = 0,285, 0,247, 0,202$ ve $0,169$ m/s olarak tespit edilmiştir.



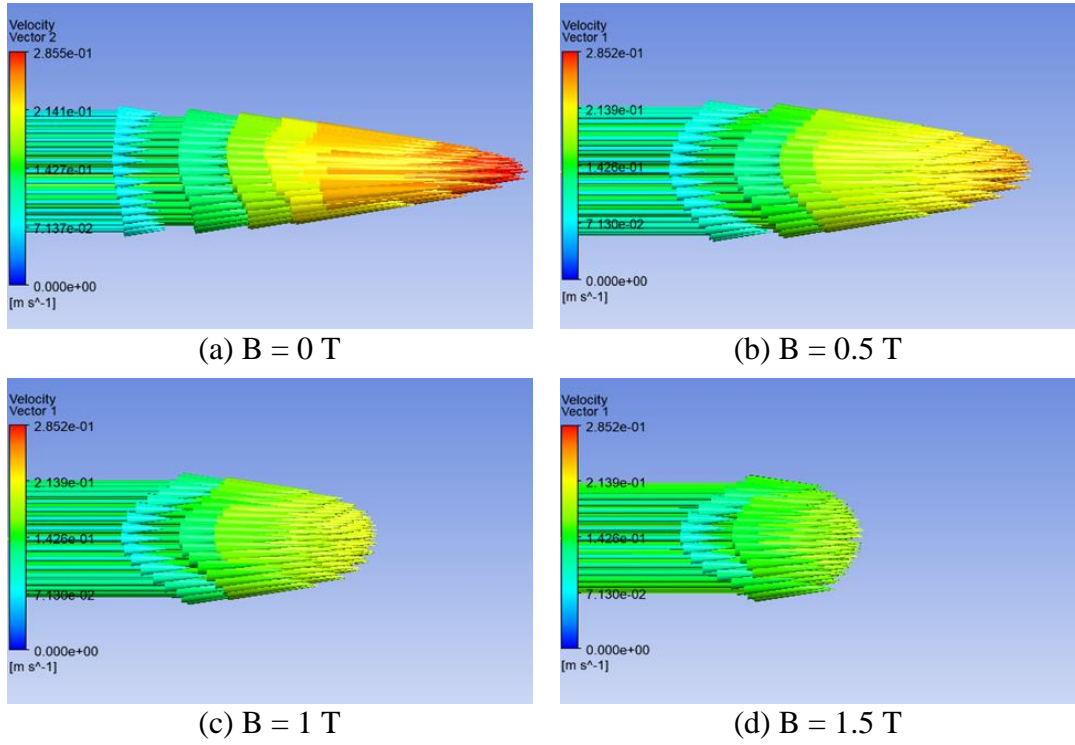
Şekil 5.10. Manyetik alan şiddetine bağlı çap boyunca sayısal hız değişimi ($Re = 500$).

Aynı etkiler $Re = 2000$ değerinde de fark edilir. Şekil 5.11’de görülebileceği gibi $B = 0, 0,5, 1$ ve $1,5$ T durumunda %10 kütleli konsantrasyonu için boru merkezindeki hız değerleri sırasıyla $u = 1,104, 1,039, 0,912$ ve $0,786$ m/s tespit edilmiştir. %15 kütleli konsantrasyonda ise hız değerleri $u = 1,099, 1,007, 0,849$ ve $0,705$ m/s olarak hesaplanmıştır.

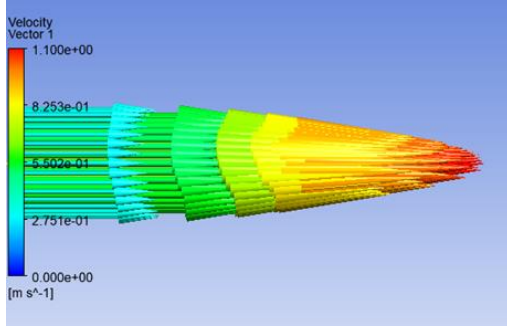


Şekil 5.11. Manyetik alan şiddetine bağlı çap boyunca sayısal hız değişimi ($Re = 2000$).

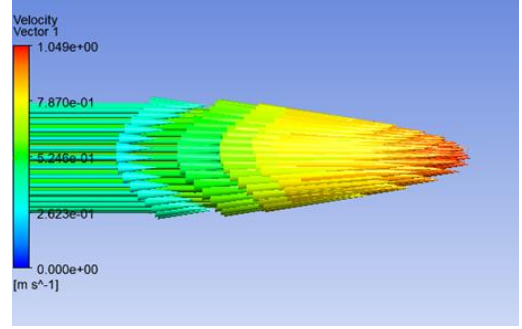
Ayrıca, yapılan sayısal hesaplamalara göre %10, %15 kütleli konsantrasyondaki iyonanoakışkanları için $B=0, 0,5, 1$ ve $1,5$ T değerlerinde dairesel kesitli kanal içinde ($Y1-2=-0,06, 0,06, X1-2=0-0 Z1-2=8,64-8,64$ (m) konumunda) hız vektörlerinin görünümü aşağıdaki Şekil 5.12,-5.15'arasında verilmiştir. Sabit manyetik alan uygulandığı durumda ($B = 0,5, 1, 1,5$ T) manyetik alanın uygulanmadığı duruma ($B = 0$) göre hızlar düşüş göstermiştir ve paraboloid olan hız vektörler görünüm manyetik alanın $B= 1,5$ T değerinde boru merkezinde neredeyse düz bir görünüm haline gelmiştir. MHD akışta uygulanan manyetik alana bağlı olarak merkezdeki hız profilleri yassılaştırma halindedir. Boru merkezindeki düz hız profili ve çeper yakınındaki hız azalması, MHD akış özelliklerini göstermiştir ve bu etki açık bir biçimde simülasyon sonuçlarından elde edilen hız vektörlerinden görülmektedir.



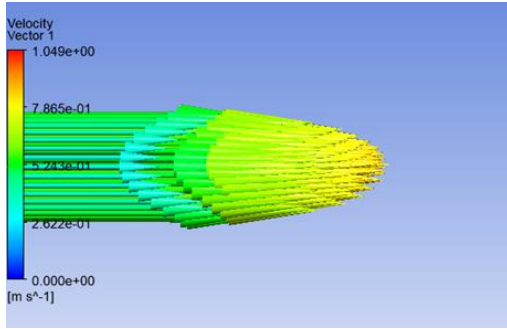
Şekil 5.12. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 500, \%10$).



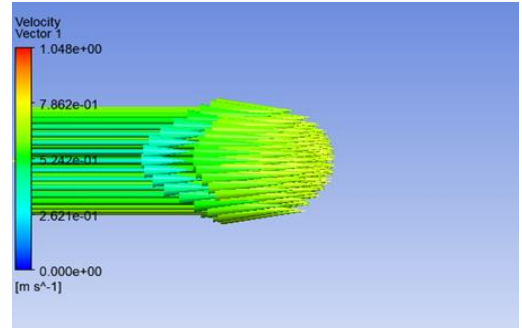
(a) $B = 0 \text{ T}$



(b) $B = 0.5 \text{ T}$

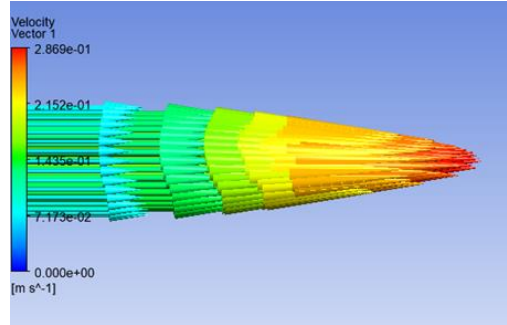


(c) $B = 1 \text{ T}$

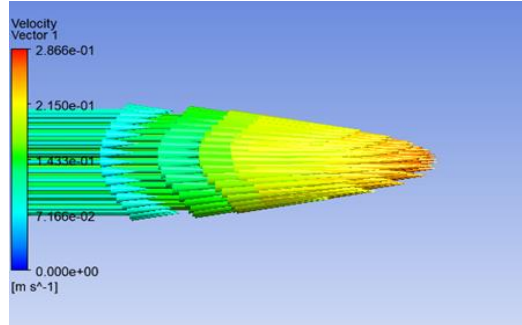


(d) $B = 1.5 \text{ T}$

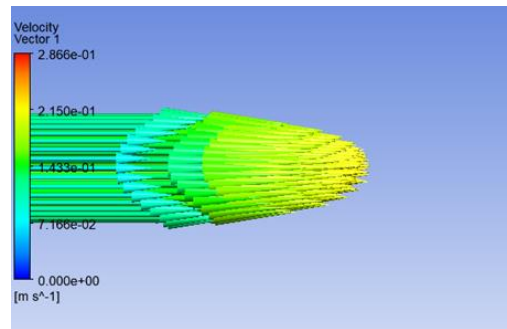
Şekil 5.13. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 2000$, %10).



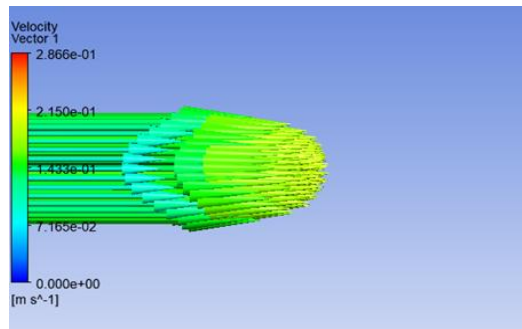
(a) $B = 0 \text{ T}$



(b) $B = 0.5 \text{ T}$

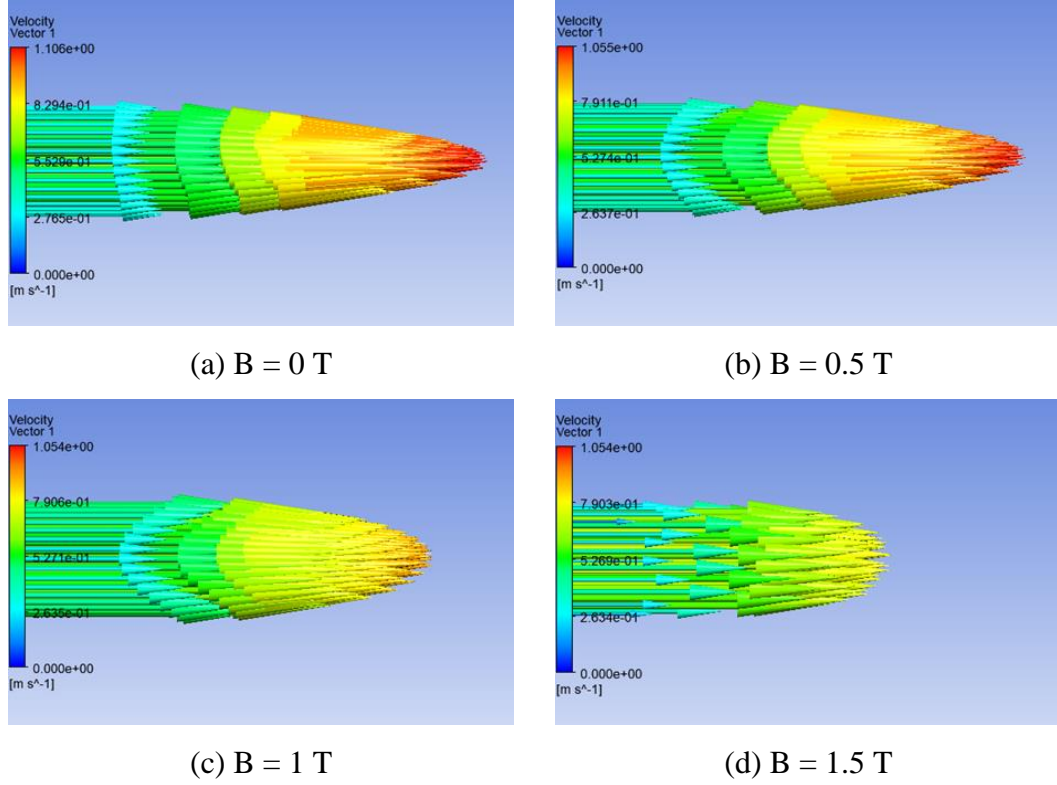


(c) $B = 1 \text{ T}$



(d) $B = 1.5 \text{ T}$

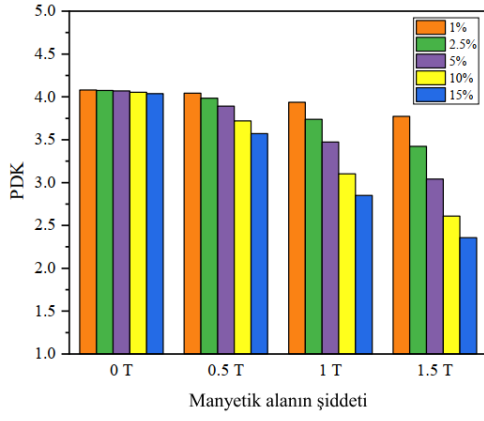
Şekil 5.14. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 500$, %15).



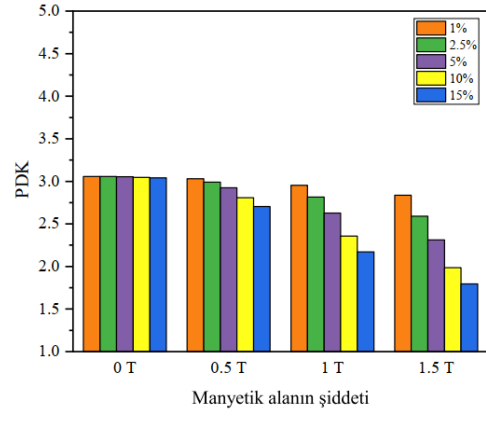
Şekil 5.15. Farklı manyetik alan durumunda sayısal hız vektörleri ($Re = 2000$, %15).

5.3.6. Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK)

%1,0, %2,5, %5,0, %10 ve %15wt kütleli konsantrasyondaki Fe_3O_4 / [0,75İS+0,25SU] iyonanoakışkanın performans değerlendirme katsayısı (PDK) farklı manyetik alan şiddetine bağlı olarak değişimi Şekil 5.16'da verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi manyetik alan şiddeti artmasıyla ve baz akışkana Fe_3O_4 nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte PDK değeri azalmaktadır. Ayrıca Re sayısı arttıkça PDK değeri azalmaktadır. sabit manyetik alan ($B = 0,5, 1, 1,5 \text{ T}$) etkisi altında Nu değeri yükselmesine rağmen ortalama Darcy sürtünme faktörünün daha fazla artışı nedeniyle Fe_3O_4 nanopartikülü içeren iyonanoakışkanlarda PDK değerinin azalmasına neden olmuştur. En yüksek PDK değeri manyetik alan etkisi olmadan ($B = 0$) ağırlıkça %1 olan iyonanoakışkan için belirlendi.



(a) $Re = 1000$



(b) $Re = 2000$

Şekil 5.16. Performans değerlendirme katsayısının manyetik alan şiddetile değişimi.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİ

Bu çalışmada, dairesel kesitli bir kanalda farklı sabit manyetik alan etkisi ($B = 0, 0,5, 1, 1,5$ T) altında laminer akış ($500 < Re < 2000$) şartları için iyonanoakışkanın Fe_3O_4 / $[0,75İS+0,25SU]$ akış ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi özellikleri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı nanopartikül kütle konsantrasyonu oranları (%1,0 %2,5, %5,0, %10 ve %15) için sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmada, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümler yapabilen ANSYS Fluent kodu kullanılmıştır. Sayısal çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- İyonik sıvı saf suyla karıştırıldığında, iyonik sıvının mol oranına bağlı olarak karışımın yoğunluğu, viskozitesi ve elektriksel iletkenliği artmaktadır.
- Tüm çalışmalarda $[0,75İS+0,25SU]$ karışımın içerisine Fe_3O_4 nanopartikül ilave edilmesi taşınım ile gerçekleşen ısı transfer miktarını arttırdığı görülmüştür. Genel olarak, iyonanoakışkanlar saf suyla kıyaslandığında daha yüksek ısı transfer katsayısı elde edilmiştir.
- Manyetik alan uygulanmadığı durumda, en yüksek taşınım ile ısı transfer artış miktarı su kullanılan duruma göre %75 varan artış sunan %15wt Fe_3O_4 iyonanoakışkanında elde edilmiştir. Manyetik alan uygulanan durumda ise ($B = 1,5$ T) bu oran aynı akışkan için %105 olmuştur.
- $Re=2000$ değerinde %15wt Fe_3O_4 / $[0,75İS+0,25SU]$ iyonanoakışkan için $h=70,85$ W/m²K en yüksek değer olarak hesaplanmıştır.
- Sabit manyetik alanın taşınım ile ısı transferi üzerindeki etkisi, düşük Re sayılarında daha fazla etki gösterirken yüksek Re sayılarında ise daha az bir etki gösterilmiştir.
- Re sayısı ve manyetik alanın şiddeti arttıkça basınç düşümü değerleri artmaktadır. Ayrıca manyetik alanın şiddeti artırılması,

iyonanoakışkanın tüm kütle konsantrasyonları için ortalama Darcy sürtünme faktörünü artmasına neden olmuştur.

- İyonanoakışkan ve karışım akışkanları için sürtünme faktörünün incelenmesi, sabit manyetik alan etkisi altında iyonanoakışkanların sürtünme faktörü karışımlardan daha yüksek olduğunu göstermiştir.
- Hem taşınım ile ısı transfer hem de pompalama göcü açısından en iyi davranış, manyetik alan etkisi olmadan ($B = 0$) %1wtFe₃O₄/ [0,75İS+0,25SU] iyonanoakışkanın $Re = 1000$ değerinde elde edilmiştir
- Sayısal çalışma sonuçlarına göre, laminar akış şartlarında sabit manyetik alan etkisinin ısı özelliklerinin artırılmasında daha verimli olduğu görülmüştür. Darcy sürtünme faktörü artışı yüksek kütleli nanopartikül konsantrasyonlarındaki iyonanoakışkanların kullanımıyla daha fazla artsa da genellikle Fe₃O₄/ [0,75İS+0,25SU] iyonanoakışkan laminar akış şartlarında sayısal çalışmalar sonucunda verimli bir akışkan olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Selvitop, H., “Manyetik ortamda magnetohidrodinamik kanal akım problemlerinin sınır elemanlar ve sonlu elemanlar yöntemleri birleşimi ile çözümü”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Trabzon, (2016).
2. Yağcı, E., “iç akışta manyetik alan etkisi”, Yüksek lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Trabzon, (2016).
3. Oğlakkaya, F.S., “A Numerical approach for the solutions of fluid dynamics problems in the presence of magnetic field”, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Ankara, (2018).
4. Şimşek, H., “MHD mikro poiseulle akış”, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Trakya, (2019).
5. Altuntaş, P., “Gözenekli bir ortamda tutulan içi boş silindir çubuk Üzerinden olan akışa birleşik ısı transferi ve manyetik Alanın etkisi (MHD)”, Yüksek lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Kahramanmaraş, (2018).
6. Selimli, S., “Computational hydrodynamic and heat transfer analysis of magnetohydrodynamic internal flow”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2015).
7. KURT, H., RECEBLİ, Z., GEDİK, E., YALTIRIK, H. and ERGÜN, A., 2012. “MR (mANYETO-Reolojij) akışkanın akış hareketlerine manyetik ve elektrik alan etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi” Proje, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2012).
8. A davison, P., Thess, A., “MAGNETOHYDRODYNAMICS 1nd ed.”, *Springer-Verlag Wien*, New York, 4- 15 (2002).
9. Moreau, R., “Magnetohydrodynamics 1nd ed”’, *Kluwer Academic Publishers*, Grenoble, 165- 168 (2002).
10. Das, S., Choi, S., Yu, W., Pradeep, T., “NANOFLUIDS Science and Technology 1nd ed”’, *Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken*, New Jersey, 4-5 (2008).

11. Erdem, M., “Nano parçacık katkılı manyetohidrokinamik akışın deneysel ve sayısal incelenmesi” , Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Elazığ, (2019).
12. Kherbeet, A.S., Mohammed, H.A., M Munisamy, K. ve Salman, B.H., “Effect of Base Fluid on Mixed Convection Nanofluid Flow Over Microscale Backward-Facing Step”, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 12 (10): 3076-3089 (2015).
13. Huang, Y., “Entry Flow and Heat Transfer of Laminar and Turbulent Forced Convection of Nanofluids in a Pipe and a Channel”, Yüksek lisans Tezi, *Washington Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Saint Louis, Missouri, (2015).
14. Berberović, E., Bikić, S., “Computational study of flow and heat transfer characteristics of EG-Si₃N₄ nanofluid in laminar flow in a pipe in forced convection regime”. *Energies*, 13 (1): 226–230 (2019).
15. Bayat, J., Nikseresht, A.H., “Investigation of the different base fluid effects on the nanofluids heat transfer and pressure drop”. *Heat and mass transfer*, 47 (9): 1089-1099 (2011).
16. Ramirez, R., Rivera, C.I., Singh, J., Nigam, K.D.P., “Numerical study of heat transfer enhancement for laminar nanofluids flow”, *Applied Sciences*, 8 (12): 2643-2661 (2018).
17. Minea, A.A., “Uncertainties in modeling thermal conductivity of laminar forced convection heat transfer with water alumina nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 68 (1): 78-84 (2014).
18. Salman, B.H., Mohammed, H.A., Kherbeet, A.S., “The effect of base fluid type in nanofluids for heat transfer enhancement in microtubes”, *In Applied Mechanics and Materials* 818, 12-22 (2016).
19. Maseer, M.M., Alnaimi, F.B.I., Hannun, R.M., Wai, L.C., Al-Gburi, K.A.H., Mezan, S.O., “A review of the characters of nanofluids used in the cooling of a photovoltaic-thermal collector”. *Materials Today: Proceedings*. 1-8 (2021).
20. Ting, H.H., Hou, S.S., “Numerical study of laminar flow forced convection of water-Al₂O₃ nanofluids under constant wall temperature condition”, *Mathematical Problems in Engineering*, 1-9 (2015).
21. Part, A., “Applications: An International Journal of Computation and Methodology”, *Numerical Heat Transfer*, 62 (2): 589-604 (2012).
22. Malika, M., Bhad, R., Sonawane, S.S., “ANSYS simulation study of a low volume fraction CuO–ZnO/water hybrid nanofluid in a shell and tube heat exchanger”, *Journal of the Indian Chemical Society*, 98 (11): 100200 (2021).

23. Sokhal, G.S., Dhindsa, G.S., Malhi, G.S., “Performance of thermal storage system with water based nanofluids” *Materials Today: Proceedings*, 48 (2): 1502-1507 (2022).
24. Rangababu, J.A., Kumar, K., “Numerical analysis and validation of heat transfer mechanism of flat plate collectors”, *Procedia Engineering*, 127, 63-70 (2015).
25. Esfe, M.H., Alirezaie, A., Toghraie, D., “Thermal conductivity of ethylene glycol based nanofluids containing hybrid nanoparticles of SWCNT and Fe₃O₄ and its price-performance analysis for energy management”, *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 1754-1760 (2021).
26. Nieto de Castro, C.A., Lourenço, M.J.V., Ribeiro, A.P.C., Langa, E., Vieira, S.I.C., Goodrich, P., Hardacre, C., “Thermal properties of ionic liquids and ionanofluids of imidazolium and pyrrolidinium liquids”, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55 (2): 653-661 (2010).
27. Wang, F., Han, L., Zhang, Z., Fang, X., Shi, J., Ma, W., “Surfactant-free ionic liquid-based nanofluids with remarkable thermal conductivity enhancement at very low loading of graphene”, *Nanoscale research letters*, 7 (1):1-7 (2012).
28. Ansarpour, M., Danesh, E., Mofarahi, M., “Investigation the effect of various factors in a convective heat transfer performance by ionic liquid, ethylene glycol, and water as the base fluids for Al₂O₃ nanofluid in a horizontal tube: A numerical study”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 113, 104556 (2020).
29. Paul, T.C., Morshed, A.K.M.M., Fox, E.B., Khan, J.A., “Thermal performance of Al₂O₃ nanoparticle enhanced ionic liquids (NEILs) for concentrated solar power (CSP) applications”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 85, 585-594 (2015).
30. Cherecheş, E.I., Prado, J.I., Cherecheş, M., Minea, A.A., Lugo, L., “Experimental study on thermophysical properties of alumina nanoparticle enhanced ionic liquids”, *Journal of Molecular Liquids*, 291, 111332 (2019).
31. Prasad, S.S., Selvakumar, R.D., “Heat transfer performance of Al₂O₃–([C₄mim][NT f₂]) nano-suspension in a 2– D channel for application in a flat plate solar collector. In IOP Conference Series”, *Materials Science and Engineering*, 577 (1): 012006 (2019).
32. Rupesh, S., Selvakumar, R.D., “Heat transfer performance of nano-suspension of Al₂O₃ in ([C₄mim][NT f₂]) ionic liquid around a circular cylinder”, *Materials Science and Engineering*, 577(1) 012004 (2019).
33. Hosseinghorbani, A., Mozaffarian, M., Pazuki, G., “Application of graphene oxide IoNanofluid as a superior heat transfer fluid in concentrated solar power

- plants”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 111, 104450 (2020).
34. Liu, J., Wang, F., Zhang, L., Fang, X., Zhang, Z., “Thermodynamic properties and thermal stability of ionic liquid-based nanofluids containing graphene as advanced heat transfer fluids for medium-to-high-temperature applications”, *Renewable Energy*, 63 (2): 519-523 (2014).
 35. Chereches, E.I., Sharma, K.V., Minea, A.A., “A numerical approach in describing ionanofluids behavior in laminar and turbulent flow”, *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 30 (3): 657-666 (2018).
 36. Paul, T.C., Mahamud, R., Khan, J.A., “Multiphase modeling approach for ionic liquids (ILs) based nanofluids: Improving the performance of heat transfer fluids (HTFs)”, *Applied Thermal Engineering*, 149, 165-172 (2019).
 37. Minea, A.A., Murshed, S.S., “A review on development of ionic liquid based nanofluids and their heat transfer behavior”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 584-599 (2018).
 38. Cherecheş, E.I., Minea, A.A., Sharma, K.V., “A complex evaluation of [C2mim][CH3SO3]–alumina nanoparticle enhanced ionic liquids internal laminar flow”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 154, 119674 (2020).
 39. Chen, W., Zou, C., Li, X., “An investigation into the thermophysical and optical properties of SiC/ionic liquid nanofluid for direct absorption solar collector”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 163, 157-163 (2017).
 40. Minea, A.A., El-Maghlany, W.M., “Natural convection heat transfer utilizing ionic nanofluids with temperature-dependent thermophysical properties”, *Chemical Engineering Science*, 174, 13-24 (2017).
 41. Gaber, N. M., Aziz, A. H. A., Elhadary, M., Elhelw, M., El-maghlany, W. M., “Heat Transfer By Ionic Nanofluids In The presence of magnetic field Via Finite Volume Method”, *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 1, 330-337 (2020).
 42. Zonouzi, S.A., Khodabandeh, R., Safarzadeh, H., Aminfar, H., Trushkina, Y., Mohammadpourfard, M., Ghanbarpour, M., Alvarez, G.S., “Experimental investigation of the flow and heat transfer of magnetic nanofluid in a vertical tube in the presence of magnetic quadrupole field”. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 91, 155-165 (2018).
 43. Shohdy, A., Hamed, A. M., & Mansour, H., “Experimental Investigation on Laminar Forced Convective Heat Transfer of Ferrofluid under Different Modes of Magnetic Field”. *Mansoura Engineering Journal*, 43 (1): 7–17 (2018).

44. Mei, S., Qi, C., Liu, M., Fan, F., Liang, L., “Effects of paralleled magnetic field on thermo-hydraulic performances of Fe₃O₄-water nanofluids in a circular tube”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 134, 707-721 (2019).
45. Sun, B., Guo, Y., Yang, D., Li, H., “The effect of constant magnetic field on convective heat transfer of Fe₃O₄/water magnetic nanofluid in horizontal circular tubes”. *Applied Thermal Engineering*, 171, 114920 (2020).
46. Lajvardi, M., Moghimi-Rad, J., Hadi, I., Gavili, A., Isfahani, T.D., Zabihi, F., Sabbaghzadeh, J., 2010. “Experimental investigation for enhanced ferrofluid heat transfer under magnetic field effect”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(21) 3508-3513 (2010).
47. Dibaei Bonab, M.H., Shafii, M.B., Nobakhti, M.H., “Experimental and numerical investigation of fully developed forced convection of water-based Fe₃O₄ nanofluid passing through a tube in the presence of an alternating magnetic field”, *Advances in Mechanical Engineering*, 7 (2): 1-9 (2015).
48. Selimefendigil, F., Oztop, H.F., Sheremet, M.A., Abu-Hamdeh, N., “Forced convection of Fe₃O₄-water nanofluid in a bifurcating channel under the effect of variable magnetic field”, *Energies*, 12 (4): 666 (2019).
49. Bennis, A., 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 (2): 127-136 (2017).
50. Goharkhah, M., Salarian, A., Ashjaee, M., Shahabadi, M., “Convective heat transfer characteristics of magnetite nanofluid under the influence of constant and alternating magnetic field”, *Powder Technology*, 274 (9): 258-267 (2015).
51. Aminfar, H., Mohammadpourfard, M., Mohseni, F., “Two-phase mixture model simulation of the hydro-thermal behavior of an electrical conductive ferrofluid in the presence of magnetic fields”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324 (5): 830-842 (2012).
52. Aminian, E., Moghadasi, H., Saffari, H., 2020. “Magnetic field effects on forced convection flow of a hybrid nanofluid in a cylinder filled with porous media: A numerical study”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141 (5): 2019-2031 (2020).
53. Yarahmadi, M., Goudarzi, H.M. and Shafii, M.B., “Experimental investigation into laminar forced convective heat transfer of ferrofluids under constant and oscillating magnetic field with different magnetic field arrangements and oscillation modes”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 68, 601-611 (2015).

54. Erdem, M., Fırat, M. and 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).
55. Gedik, E., Kurt, H. and Recebli, Z., “CFD simulation of magnetohydrodynamic flow of a liquid-metal galinstan fluid in circular pipes”, *Fluid Dynamics and Materials Processing*, 9 (1): 23-33 (2013).
56. Manay, E., “Mikrokanallarda nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2014).
57. Temiz, R.Ö., “Nanoakışkanların minikanallarda karma taşınım ile ısı transferinin destekleyen ve karşıt akış koşullarında deneysel incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum (2019).
58. Rathore, A. A., “ENGINEERING HEAT AND MASS TRANSFER 4nd ed.”, *Laxmi Publications*, New Delhi, 1- 3 (2016).
59. Karakaş, A., “Konveks ve konkav dirençlerin ısı transferine etkisinin zorlanmış konveksiyon şartlarında incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çorum, (2012).
60. Al-Hameedawi, M.A.M., “Numerical investigation of thermal and hydraulic performance a twisted tube modified by using cuo/waternanofluid”, Yüksek lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2020).
61. Bademci, N., “Boru içine yerleştirilen türbülötörlerin ısı transferi ve akış karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, (2017).
62. İnada, A. A., “Nanopartikül şekil etkisinin ve iletken köşe bölmesinin nanoakışkanla dolu bir kavitede doğal taşınım etkisinin sayısal analizi”, Yüksek lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, (2017).
63. ŞAHİN, D.B., “Dairesel mikrokanallarda nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2018).
64. Mandev, E., “Mikrokanallarda nanoakışkanların karma taşınım ile ısı transferi karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2017).
65. Ali, H. M., “Hybrid Nanofluids for Convection Heat Transfer 1nd ed.”, *Academic Press*, Amsterdam, 179- 194 (2020).

66. Ahmet, D., “Nanoakışkanlarda Doğal Taşınımın Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul, (2018).
67. Öcal, S., “Isı transferi uygulamaları için çeşitli hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde (2019).
68. Dilki, S., “Borulu ısı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanların ısı transfer karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2020).
69. Tüzün, A.H., “Mikro ve mini kanallı ısı değiştiricilerde nanoakışkan kullanılmasının ısı transferi ve basınç kaybına etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2020).
70. Oğuz, İ., “Nanoakışkanların ısı geçişi başarımının sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul, (2012).
71. Özerinç, S., “Heat transfer enhancement with nanofluids”, Yüksek lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Ankara, (2010)
72. Maarooof, A. A., “Numerical investigation of heat transfer and flow in Partly heated fittings by using nanofluid” , Yüksek lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Elazığ, (2021).
73. Oster, K., “Ionic Liquid-Based Nanofluids for Thermal Application”, Doktora Tezi, *Manchester Üniversitesi Fen ve Mühendislik Fakültesi*, Manchester, (2018).
74. Özkutlu, M., “İyonik Sıvı-Amin İkili Sisteminin Co2 Absorpsiyonu Kinetiği”, Yüksek lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim*, Ankara, (2014).
75. Sungur, G., “Yeni katyonik bor içeren iyonik sıvıların sentezi”, Yüksek lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (2016).
76. Dipl Chem Gonsior, N., “Ionic Liquids. Modern Methods of Synthesis, Polymerization, Characterization, and Application”, Doktora Tezi, *Heinrich Heine Üniversitesi Matematik Bilimler Fakültesi*, Düsseldorf, (2010).
77. Nageshwar, D., “Synthesis of ionic liquids: application to wittig, reduction and aromatic nucleophilic substitution reactions”, Doktora Tezi, *Awharlal Nehru Teknoloji Üniversitesi*, Hiderabad, (2010).
78. Ramdin, M., “CO2 Capture with ionic liquids: experiments and molecular simulations”, Doktora Tezi, *Delft Teknoloji Üniversitesi*, Delft, (2015).

79. Alabdullah, S.S.M., “pH measurements in ionic liquids”, Doktora Tezi, *Leicester Üniversitesi Kimya Bölümü*, Leicester, (2018).
80. YILDIZ, M., “Floresans grup içeren iyonik sıvıların sentezleri” Doktora Tezi, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2010).
81. Bakthavatchalam, B., Habib, K., Saidur, R., Saha, B.B., Irshad, K., “Comprehensive study on nanofluid and ionanofluid for heat transfer enhancement”, *Journal of Molecular Liquids*, 305, 112787 (2020).
82. Faizan, M., Ahmed, R., Ali, H.M., “A critical review on thermophysical and electrochemical properties of Ionanofluids (nanoparticles dispersed in ionic liquids) and their applications”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 124, 391-423 (2021).
83. Das, L., Rubbi, F., Habib, K., Aslfattahi, N., Saidur, R., Saha, B.B., Algarni, S., Irshad, K., Alqahtani, T., “State-of-the-art ionic liquid & ionanofluids incorporated with advanced nanomaterials for solar energy applications”, *Journal of Molecular Liquids*, 336, 116563 (2021).
84. Minea, A.A., Sohel Murshed, S.M., “Ionic liquids-based nanocolloids A review of progress and prospects in convective heat transfer applications”, *Nanomaterials*, 11 (4): 1039 (2021).
85. Fabre, E., Murshed, S.S., “A comprehensive review of thermophysical properties and prospects of ionanocolloids in thermal energy applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111593 (2021).
86. Asada, M.M., “Material characterization of alcohol-water mixtures for the numerical simulation of heat transfer in micro-channels”, Doktora Tezi, Honolulu *Hawaii Üniversitesi*, Honolulu (2012).
87. Chereches, E.I., Minea, A.A., “A study on few thermophysical properties of ionanofluids”, *In Proceedings of the e International Conference on Innovative Applied Energy* 19, 1-9 (2019).
88. Guevara-Carrion, G., Janzen, T., Muñoz-Muñoz, Y.M., Vrabec, J., “Mutual diffusion of binary liquid mixtures containing methanol, ethanol, acetone, benzene, cyclohexane, toluene, and carbon tetrachloride”, *The Journal of Chemical Physics*, 144(12), 124501 (2016).
89. Aftabuzzaman, M., Islam, M.M., Rima, F.R., Islam, M.N., Ali, M.A., “Volumetric and transport properties of binary liquid mixtures of sulfolane with aniline, N, N-dimethylaniline and N, N-diethylaniline at different temperatures and atmospheric pressure”, *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 96 (2): 181-186 (2016).

90. Szymanska-Kolodziej, M., Kolodziej, P., Rycerz, L., Gaune-Escard, M., “Phase Diagram and Electrical Conductivity of the AgCl-NdCl₃ Binary System”. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 63(5-6): 364-370 (2008).
91. Minea, A.A., “Uncertainties in modeling thermal conductivity of laminar forced convection heat transfer with water alumina nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 68 (2): 78-84 (2014).
92. Heidary, H., Hosseini, R., Pirmohammadi, M., Kermani, M.J., “Numerical study of magnetic field effect on nano-fluid forced convection in a channel”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 374, 11-17 (2015).
93. Chereches, E.I., Chereches, M., Minea, A.A., Prado, J.I., Lugo, L., “A numerical approach in the assessment of a new class of fluids performance in laminar flow”, *Materials Science and Engineering*, 591 (1): 012044 (2019).
94. Das, K., Basu, D., “Software Validation Test Plan and Report for ANSYS-Fluent version 12.1”, *Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses*, San Antonio, Texas (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Enes ŞAKİRALI ilk ve orta öğrenimini Lazkiye’de tamamladı. Lazkiye’de Yaser Hıdır Abas Lisesinden mezun olduktan sonra 2017 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nde Lisans öğrenime başlayıp 2020 yılında bölümden mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başladı ve halen yüksek lisans eğitiminde devam etmektedir.