



**NANO SIVI METALLERİN MANYETİK ALAN
ALTINDAKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Suat ÖZGÜR

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

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

**NANO SIVI METALLERİN MANYETİK ALAN ALTINDAKİ AKIŞ VE ISI
TRANSFERİ DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Suat ÖZGÜR

**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**

Suat ÖZGÜR tarafından hazırlanan “NANO SIVI METALLERİN 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 Anabilim Dalı

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

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Ali KEÇEBAŞ (MSKÜ)

.....

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 bilgileri akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde ettiğimi ve sunduğumu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Suat ÖZGÜR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO SIVI METALLERİN MANYETİK ALAN ALTINDAKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİ DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Suat ÖZGÜR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Engin GEDİK

Temmuz 2022, 58 Sayfa

Bu çalışmada, dairesel kesitli bir boruda sıvı metal bazlı nanoakışkanların akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Nanoakışkan olarak Galyum (Ga) sıvı metal bazlı ve üç farklı hacimsel konsantrasyon oranlarına ($\phi=0.03, 0.06$ ve 0.09) sahip Ga-Al₂O₃, Ga-Cu ve Ga-CNT nanoakışkanları kullanılmıştır. Akış boru girişinde uniform ve sabit sıcaklıkta (310 K) olup boru yüzeyine sabit ısı akısı ($q''=5000$ W/m²K) uygulanmış ve çözümlenmeler laminer akış (Re=1000) şartlarında gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümlenme için sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlenme yapabilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS Fluent programı kullanılmıştır. Akışa uygulanan manyetik alan indüksiyonu, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ve sıvı metal nanoakışkan tipi gibi parametrelerin akış ve taşınım ile ısı transferi karakteristiklerine etkisi belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Ga içerisine nanopartikül ilave edilmesi (Al₂O₃ hariç) taşınım ile ısı transferi miktarını arttırmıştır. Manyetik alan uygulanmadığı

durumda, en yüksek taşınım ile ısı transfer artış miktarı Galyum kullanılan duruma göre %15,01'e varan artış sunan %6,0 CNT/Ga nanoakışkanında elde edilmiştir. Manyetik alan uygulanan durumda ise bu oran aynı akışkan için %20,88 olmuştur. Akışa manyetik alan uygulanması ısı transferini daha fazla arttırmıştır. Bununla birlikte akışa nanopartikül ilavesi ve manyetik alan indüksiyonu yüksek basınç düşümü değerlerine neden olmuştur. Isı transferi artışına karşın basınç düşümü değerlendirildiği zaman Ga sıvı metal içine nanopartikül ilavesi ve manyetik alan uygulamasının efektif olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Sıvı metal, sıvı metal bazlı nanoakışkanlar, manyetik alan, ısı transferi, laminer akış, ANSYS, sayısal analiz.

Bilim Kodu : 91412

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER BEHAVIOURS OF LIQUID METAL BASED NANOFLUIDS UNDER MAGNETIC FIELD

Suat ÖZGÜR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Engin GEDİK

July 2022, 54 Pages

In this study, the flow and heat transfer characteristics of liquid metal-based nanofluids in a circular tube were investigated numerically. Ga-Al₂O₃, Ga-Cu and Ga-CNT nanofluids with three different volumetric concentration ratios ($\phi=0.03, 0.06$ and 0.09) based on Gallium (Ga) liquid metal were used as nanofluids. The flow is uniform and at constant temperature (310 K) at the pipe inlet, and a constant heat flux ($q''=5000$ W/m²K) is applied to the pipe surface and the analyzes are carried out under laminar flow (Re=1000) conditions. For numerical analysis, ANSYS Fluent program, which is a Computational Fluid Dynamics (CFD) software that can analyze based on the finite volume method, was used. The effects of some parameters such as magnetic field induction applied to the flow, nanoparticle volumetric concentration ratio and liquid metal nanofluid type on the flow and convection heat transfer characteristics were determined. According to the results obtained from the study, the addition of

nanoparticles into Ga (except Al_2O_3) increased the amount of convection heat transfer. In the absence of magnetic field, the highest convective heat transfer increase was obtained in 6.0% CNT/Ga nanofluid, which offers an increase of up to 15.01% compared to the case using Ga base fluid. In the case of magnetic field applied, this ratio was 20.88% for the same fluid. The application of magnetic field to the flow further increased the convection heat transfer. However, addition of nanoparticles to the flow and application of magnetic field caused higher pressure drop values. When the pressure drop is evaluated together despite the heat transfer increase, it was concluded that the addition of nanoparticles into the Ga liquid metal and the application of magnetic field were not effective.

Key Word : Liquid metal, liquid metal based nanofluids, magnetic field, heat transfer laminar flow, ANSYS, numerical analysis.

Science Code : 91412

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmasını yűrűttűĐűm bu sűrete bana sabır ve anlayıŐ gűsteren sevgili eŐim Emel ŐZĐŪR'e, çalıŐma aŐamasında yardımını esirgemeyen arkadaŐım Abdulla ALAKOUR'a, son olarak bu tez çalıŐmasının planlanmasında, yűrűtűlmesinde ve meydana gelmesinde bana her tűrlű destek veren, bilgi ve deneyimlerinden istifade ettiĐim, çalıŐmamın bilimsel temelde oluŐması için gerekli tűm katkıyı saĐlayan sayın hocam Doç. Dr. Engin GEDİK'e sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
BÖLÜM 3	8
GENEL BİLGİLER	8
3.1. SIVI METAL BAZLI NANOAKIŞKANLAR	9
3.2. NANOAKIŞKANLAR VE MANYETİK ALAN UYGULAMALARI	12
3.3. MANYETOHİDRODİNAMİK AKIŞ	12
3.4. TAŞINIMLA ISI TRASNFERİ	15
BÖLÜM 4	20
MATERYAL VE YÖNTEM	20
4.1. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)	20
4.2. MODEL GEOMETRİ VE AĞ YAPISI	21
4.3. SAYISAL ÇÖZÜMLEMELERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	25
4.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	28

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	31
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	31
5.1. LİTERATÜR İLE DOĞRULAMA.....	31
5.2. SIVI METAL BAZLI NANOAKIŞKAN KULLANILAN DURUM	32
5.2.1. Sıcaklık Değişimi.....	32
5.2.2. Basınç Değişimi.....	33
5.2.3. Taşınım İle Isı Transferi Karakteristiklerinin Değişimi.....	35
5.3. SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA NANOAKIŞKAN AKIŞI	36
5.3.1. Ga Akışkanına Ait Sonuçlar	36
5.3.2. Ga-Al ₂ O ₃ Akışkanına Ait Sonuçlar	38
5.3.3. Ga-Cu Akışkanına Ait Sonuçlar	40
5.3.4. Ga-CNT Akışkanına Ait Sonuçlar	42
5.4. MANYETİK ALAN VARLIĞI VE YOKLUĞU DURUMLARINA AİT SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	44
5.4.1. Eksenel Hız Değişimi	44
5.4.2. Basınç Değişimi.....	45
5.4.3. Radyal Hız Profili	46
5.4.4. Isı Taşınım Katsayısının Değişimi.....	47
5.5. PERFORMANS DEĞERLENDİRME KRİTERİ (PDK).....	48
BÖLÜM 6	50
SONUÇ	50
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Termal sistemlerin uygulama alanları.....	1
Şekil 1.2. Isıl performansı etkileyen nanoakışkan özellikleri	3
Şekil 3.1. Nanoakışkanların teknolojisinde önemli olan unsurlar.....	9
Şekil 3.2. Sıvı metallerin etkinliğinde önemli olan parametreler.....	11
Şekil 3.3. Sıvı ve katı bazlı nanopartiküller özelliklerinin karşılaştırılması.	11
Şekil 3.4. Dairesel kesitli kanalda a) hız b) ısı sınır tabakanın gelişimi.	16
Şekil 3.5. Laminer ve türbülanslı akış görseli.	17
Şekil 4.1. HAD işlem aşamaları.	21
Şekil 4.2. Problem geometrisi.	22
Şekil 4.3. Sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması.	23
Şekil 4.4. Mesh skewness değerleri.....	24
Şekil 4.5. Dairesel kanala ait mesh yapısı (3D görünüm).	24
Şekil 4.6. Dairesel kanala ait mesh yapısı (yan görünüş).....	25
Şekil 4.7. EES programında yapılan hesaplardan bir örnek.	30
Şekil 5.1. Duvar sıcaklığın dairesel kesitli boyunca değişimi.....	33
Şekil 5.2. Yığın sıcaklığın dairesel kesitli kanal boyunca değişimi.	33
Şekil 5.3. Statik basıncın kanal boyunca değişimi.	34
Şekil 5.4. Statik basıncın hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi. 34	
Şekil 5.5. Isı taşınım katsayısının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.	35
Şekil 5.6. Nusselt sayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.	36
Şekil 5.7. Ga akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.....	38
Şekil 5.8. Ga-Al ₂ O ₃ akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.....	40
Şekil 5.9. Ga-Cu akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.....	42

Sayfa

Şekil 5.10. Ga-CNT akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.....	44
Şekil 5.11. Eksenel akış hız değişimi (B=0-0.05-0.10-0.15 T).....	45
Şekil 5.12. Statik basıncın boru uzunluğu ile değişimi (B=0-0.05-0.10-0.15 T).....	46
Şekil 5.13. Manyetik alan uygulanan ve uygulanmayan durumda borunun 0,5 m yüzeyindeki eksenel hız profili.	47
Şekil 5.14. Ortalama ısı taşınım katsayısının değişimi (B=0-0.05-0.10-0.15 T).	48
Şekil 5.15. Performans değerlendirme kriteri.	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Farklı ağ yapılarında hesaplanan Ga-Al ₂ O ₃ 'e ait h _{ort} değerleri.....	22
Çizelge 4.2. Termofiziksel özellikleri (310 K)	28
Çizelge 4.3. Ga bazlı nanoakışkanların termofiziksel özellikleri (310 K).....	30

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
C_p	: Özgül ısı (kJ/kgK)
d	: çap (m)
f	: Darcy Sürtünme Faktörü
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Boru uzunluğu (m)
Nu	: Nusselt Sayısı
P	: Statik basınç (Pa)
Re	: Reynold Sayısı
u	: Hız (m/s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
μ	: Viskosite (kg/ms)
γ	: Birim hacim ağırlığı
ΔP	: Basınç farkı (Pa)
q''	: Isı akısı (W/m ²)

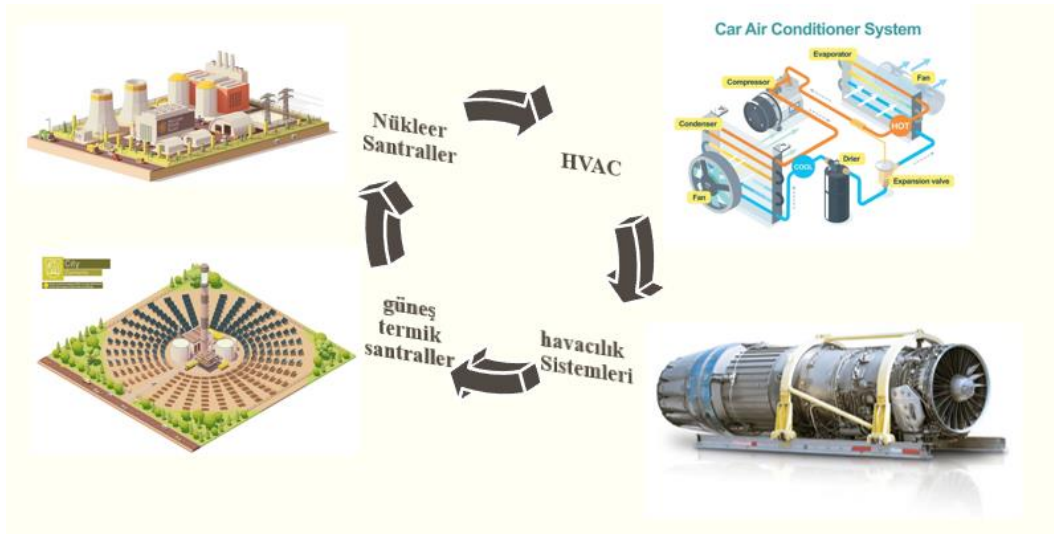
KISALTMALAR

CFD	: Computational Fluid Dynamics
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
MHD	: Manyetohidrodinamik
PDK	: Performans Değerlendirme Kriteri
PEC	: Performance Evaluation Criteria

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Isı transferi kavramı, günümüzde yaşamın bir parçası olarak birçok uygulamada karşımıza çıkmaktadır (Ör: Şekil 1.1). Yaşam boyu devam eden enerji gereksinimine karşın enerji kaynaklarının kısıtlılığı ısı transferi üzerine çalışmaların artmasına neden olmuştur. Hızlı bir şekilde gelişen teknoloji ile birlikte ısı transferine olan ihtiyaç da artmakta, ısı transferi iyileştirme üzerine araştırma ve geliştirmelere önem verilmektedir. Enerji santralleri, iklimlendirme ve soğutma sistemleri, elektronik sistemler, otomotiv sektörü, gıda sektörü gibi birçok endüstri bunun içerisinde yer almakta ve söz konusu sistemlerin verimliliğin artması beklenmektedir.



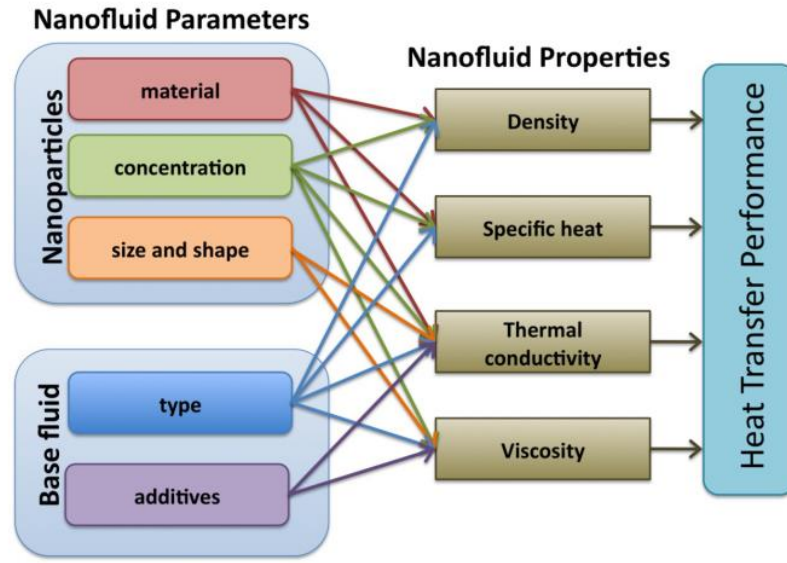
Şekil 1.1. Termal sistemlerin uygulama alanları.

Günümüzde ısı transferini arttırmaya yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. Isı transferini arttırma teknikleri genel olarak aktif ve pasif yöntemler olarak iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Aktif yöntemler, dış güç kaynağının eklenmesiyle ısı transfer oranında iyileştirmeyi sağlayan tekniklerdir. Pasif yöntemler ise direkt dış güç kaynağı gerektirmeden ısı transfer oranında iyileştirmeyi sağlayan tekniklerdir.

Pasif yöntemler, genellikle akış kanalında, yüzeyde veya geometride değişiklikler kullanırlar veya ilave bir cihaz dahil ederler. Etkili ısı transfer yüzey alanını arttıran uzatılmış yüzeyler haricinde, pasif kenarlar mevcut akış davranışını bozarak ya da değiştirerek daha yüksek ısı transfer katsayıları elde edilmektedir. Aktif teknikler söz konusu olduğunda dış güç kaynağının ilavesi akış modifikasyonunu ve ısı transfer oranındaki iyileşmeyi kolaylaştırır. Yüzey titreşimi, akışkan karışımı, enjeksiyon ve elektrostatik alanlar aktif yöntemler olarak örneklendirilmektedir. Genişletilmiş yüzeyler, işlenmiş yüzeyler, dönmeli akış cihazları ve sarmal tüpler ise pasif tekniklere örnek olarak verilebilmektedir. Karma yöntemler ise aktif ve pasif tekniklerin birlikte kullanılmasıyla oluşan tekniklerdir [1].

Isı transferi akışkanı olarak kullanılan etilen glikol, su ve motor yağının performansları düşüktür. Bu nedenle ısı transferi ekipmanlarında istenilen performans elde edilememekte, yeni tasarım ekipmanların küçülmesi kısıtlanmakta ve elektronik sistemlerde ısınma problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bunun üzerine yapılan çalışmalarda ısı transferi performansını arttırmak için kullanılan pasif yöntemlerden birisi de temel akışkan içerisine ısıl iletkenliği daha yüksek olan (Cu, Au, Ag ya da Al_2O_3 , CuO, SiO_2 ve TiO_2) gibi katı metal ve/veya metal oksit partiküllerin eklenmesidir. Akışkan içerisine mikrometre boyutlarda katı partiküllerin eklenmesi kanallarda ve borularda tıkanma ve çökelmeye neden olduğundan endüstride bu yöntem tercih edilmemektedir. Son yıllarda nanometre boyutlarda partiküllerin üretilmesi üzerine çalışmalar artmış ve üretim teknikleri geliştirilmiştir. Nanometre boyutlardaki partiküllerin temel akışkan içerisine eklenmesi ile ısı transfer miktarını arttıran bu akışkanlara nanoakışkanlar denilmiştir [2].

Nanoakışkanlar mekanik alaşımlama, kimyasal sentez ve gaz fazda sentez gibi yöntemler ile üretilebilmektedir. Nanopartiküllerin ısıtma ve soğutma sıvılarına eklenmesi ile ısı transfer performansı önemli ölçüde iyileştirilmektedir (Şekil 1.2). Bu iyileşmenin sağlanabilmesi için hazırlanan akışkanın homojen ve kimyasal özelliklerini koruyan bir süspansiyon olması gerekmektedir.



Şekil 1.2. Isıl performansı etkileyen nanoakışkan özellikleri [3].

Bununla birlikte, akışa manyetik alan uygulanması aktif yöntemlerden biri olup, üzerinde sıklıkla çalışılan bir konudur. Akış alanında manyetik indüksiyonun etkisi akış karakteristiklerini ve ısı transferi karakteristiklerini etkilemektedir. Literatürde belirli bazı nanoakışkanların ve manyetik alan uygulamalarının nanoakışkan akışının taşınımıyla gerçekleşen ısı transfer performansına etkisinin incelendiği görülmekle birlikte sıvı metal bazlı nanoakışkanların manyetik alan altındaki davranışların incelendiği çalışmalar çok nadirdir. İzleyen Bölümde konu ile ilgili literatür detaylı bir biçimde paylaşılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Manyetik alan altında elektriksel iletkenliğe sahip akış davranışlarının incelenmesi Manyetohidrodinamik (MHD) olarak adlandırılmaktadır. Kimya ve petrol endüstrisi başta olmak üzere MHD pompa ve güç üretim teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Manyetik alan ile akış kontrolü gerektiren teknolojilerde de MHD uygulamalarına yer verilmiştir. Bunlara örnek döküm teknolojisinde sıvı metal akışkanların kontrolü, nükleer reaktörlerde sıvı metal alaşımların soğutulması uygulamaları verilebilir. Literatürde MHD çalışmaları üzerine gerçekleştirilen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ilki Hartmann [4] tarafından gerçekleştirilmiş olup, paralel iki plaka arasındaki akış davranışı manyetik alan altında incelenmiştir. Hartman öncülüğünde başlatılan bu çalışmanın devamında birçok araştırmacı ve bilim adamının manyetik alan altında farklı akışkanların akış ve ısı transferi davranışlarını incelediği görülmektedir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

Salman vd. [5], yaptıkları sayısal çalışmada etilen glikol bazlı dört farklı nanoakışkanın mikrokanaldaki akışını incelemişlerdir. Laminer akış şartlarında gerçekleştirilen çalışmada akış hızı, nanopartikül konsantrasyonu, nanopartikül çapı gibi bazı parametrelerin Nu sayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada SiO_2 /etilen glikol için en büyük Nu değeri elde edilmiş olup nanopartikül çapının artışı ile Nu sayısının azaldığını belirtmişlerdir.

Teamah ve ark. [6] kare boşlukta manyetik alanın varlığında ve üniform ısı üretiminde/soğurmada nanoakışkanlar kullanarak doğal taşınım ile ısı transferinin arttırılmasını sayısal olarak incelemişlerdir. Rayleigh sayısı arttıkça konveksiyonun arttığını, sabit hacim kesrinde $q=1$ iken Ha sayısı arttığını, Nu sayısının azaldığını genel olarak manyetik alanın Nu sayısını azalttığını, tüm partiküllerde hacim kesri arttıkça Nu sayısının yaklaşık %15 arttığını bulmuşlardır.

Aminossadati ve ark. [7] nanoakışkanlarla dolu bir kavitede alt duvar üzerine yerleştirilmiş bir ısı kaynağının doğal taşınım ile soğutulması üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Nanopartiküllerin saf suya eklenmesinin özellikle düşük Rayleigh sayılarında soğutma performansını arttırdığı, nanopartiküllerin türünün, ısı kaynağının uzunluğunun ve konumunun ısı kaynağının sıcaklığını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmışlardır.

Isı transferi ve MHD konusunda analitik ve sayısal çalışmalar gerçekleştiren Nayak vd. [8] yaptıkları çalışmada Runge-Kutta metodunu kullanmışlardır. Problem üç farklı model için çözülmüş olup bunlar; i) Vogel's modeli ii) sabit viskozite durumu ve iii) Reynolds modelidir. Çalışmada manyetik alan artışının akışkan hızını azalttığı belirtilmiştir.

Muthuraj ve Srinivas [9], gözenekli dalgalı bir kanalda, MHD titreşimli akışın hareketini analitik olarak çalışmışlardır. Çalışmada, Hartman sayısı, Pe sayısı, geometri, porozite gibi bazı parametrelerin akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Satyamurthy vd. [10], deneysel ve sayısal olarak yaptıkları çalışmada 1 T manyetik alan altında NaK alaşımını incelemiştir. Sayısal çalışmada FULENT MHD modülü kullanılarak akış hız ve basınç dağılımları elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının uyum içerisinde olduğu ifade edilmiştir. Benzer bir biçimde MHD ile ilgili olarak Zhang vd [11] deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirmiştir. Diktörge kesitli bir kanal içerisine engeller yerleştirerek düz ve engelli yüzeyler için akış ve basınç dağılımları incelenmiştir. Düz kanal için sayısal ve deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülürken engelli kanalda hız dağılımlarında bazı farklılıklar meydana gelmiştir.

Farklı nanoakışkanların ve manyetik alanın ısı transferi karakteristikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı birçok çalışma Narankhishig vd. [12] yaptıkları derleme makalede anlatılmaktadır. Deneysel ve sayısal olarak gerçekleştirilen bu çalışmalarda özellikle hibrit nanoakışkanlar ön plana çıkarılmıştır. Çalışmada genel olarak ısı transferinin optimize edilmesini sağlayan parametrelerin nanoakışkanları içeriğine,

nanoakışkanların üretim metoduna, manyetik alan şiddetine, nanopartikül konsantrasyon ve partikül boyutuna ve Re sayısına bağlı olduğu anlatılmaktadır.

Nükleer reaktör sıvı metal uygulamalarında MHD basınç düşümleri incelenmesi gereken önemli bir parametredir. Bu konuda sayısal bir çalışma gerçekleştiren Yang vd [13] elektriksel olarak iletken dikdörtgensel kanal (R-duct) ve yine iletken üçgensel şeritler yerleştirilmiş dikdörtgensel kanalda (RTS-duct) MHD akışı incelemiştir. MHD akış için hız dalgalanmalarının RTS kanalda daha fazla geliştiği basınç düşümünün ise azaldığını belirtmişlerdir. Manyetik alan ile hız ve basınç değişimlerinin kontrol edilebileceği de ilgili çalışmada bahsedilmektedir.

Ani genişlemeli bir kanaldaki sıvı metal akışı Bühler vd. [14] tarafından deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada farklı giriş hızı ve farklı manyetik alan değerleri için deneyler tekrarlanmıştır. Çalışma sonucu elde edilen veriler asimptotik teori sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Aoyagi vd. [15], 5 T değerinde manyetik alan uygulanan tabakalı bir kanal içindeki akışta basınç düşümünü belirlemek için deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deneysel ve sayısal çalışmalarda manyetik alanın Bi-Sn sıvı metal akışkanın akış davranışlarında önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Manyetik alan etkisi altındaki bir kanalda sıvı metal lityum akışı Recebli vd. [16], sayısal olarak incelenmiştir. Kanal yüzeyine sabit ısı akışı uygulanmıştır. Analizler hidrodinamik olarak gelişmekte olan ısı olarak gelişmiş akış koşullarında gerçekleştirilmiştir. ANSYS Fluent programında yapılan sayısal analiz sonuçlarına göre kanal uzunluğu ve çapı boyunca akışa ait hız, sıcaklık dağılımları ile Nu sayısı değişimleri elde edilmiştir.

Gedik vd. [17], yaptığı çalışmada dairesel bir borudan akan iki fazlı (demir tozu-su) akışkanın manyetik ve elektrik alan altındaki davranışları MATLAB programında nümerik olarak incelenmiştir. Uygulanan manyetik alan akış hız ve basınçlarında değişimler oluştururken (akış hızı merkezde düşmüştür) akışa sadece elektrik alan uygulanması herhangi bir etki meydana getirmemiştir. Bununla birlikte manyetik alan

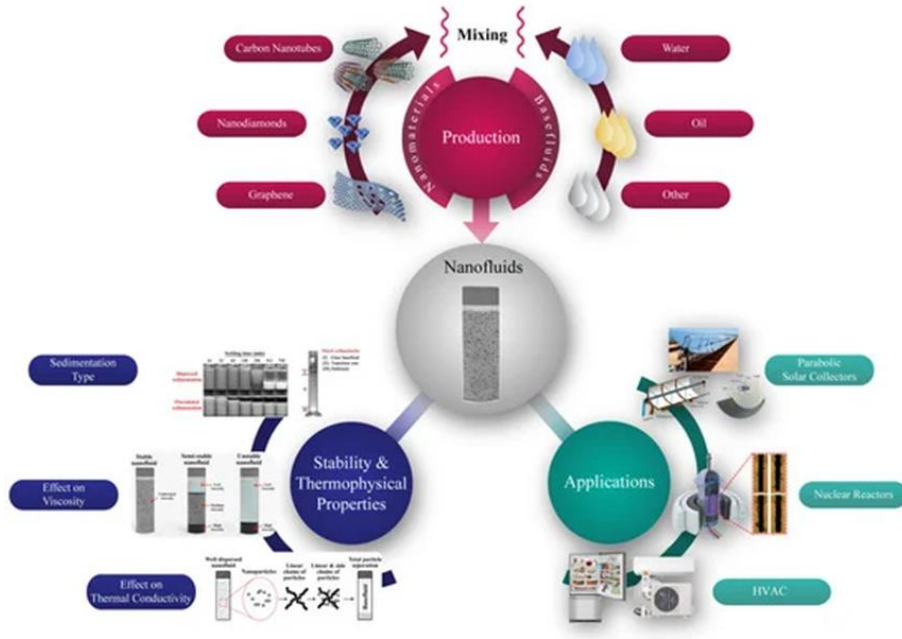
ile elektrik alan birlikte uygulandığında elektrik alanın yönüne bağılı olarak akış hızlarında artma ve azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, dairesel bir kanalda üç farklı sıvı metal nanoakışkan akışı manyetik alan uygulanan ve uygulanmayan durumlar için sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma Zhou vd [18] yapmış oldukları sayısal çalışmadan esinlenerek gerçekleştirilmiştir. Zhou vd. Ga-Diam, Ga-CNT ve Ga-Al₂O₃ sıvı metal nanoakışkanların dairesel bir borudaki akış ve ısı transferi davranışlarını incelemiştir. Baz akışkan Galyum'a göre Ga-CNT ve Ga-Diam sıvı metal nanoakışkanların Nu değerlerinde sırasıyla %17,3 ve %16,1 iyileşme sağlanırken Ga-Al₂O₃ nanoakışkanı için -%2.1 değerinde azalma görülmüştür. Yapılan bu çalışmada da baz akışkan olarak Ga sıvı metal kullanılırken nanoakışkan olarak da %3, %6 ve %9 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip Ga-Al₂O₃, Ga-Cu ve Ga-CNT sıvı metal nanoakışkanları kullanılmıştır. Kanal yüzeyine 5000 W/m² değerinde sabit ısı akısı uygulanırken B=0, 0,05-0,10-0,15 T değerlerinde manyetik alan şiddeti uygulanmıştır. Sayısal analizler ANSYS 2022 R1 Fluent yazılımında laminar akış şartları için gerçekleştirilmiştir. Manyetik alanın sıvı metal nanoakışkanların akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Zhou vd [18] sonuçları ile karşılaştırılmış ve benzer verilerin elde edildiği görülmüştür.

BÖLÜM 3

GENEL BİLGİLER

Nanoteknoloji alanında yapılan ilk çalışmaların temelleri 1970 li yıllara dayanmakta olup Tokyo Bilim Üniversitesi araştırmacıları tarafından ortaya atılmıştır. Bu teknolojinin gelişiminde Taramalı Tünelleme Mikroskopu önemli bir yer tutmaktadır. Nano boyut 10^{-9} m birimine sahip olup bu boyutlardaki ultra küçük parçacıklar için nanopartikül veya nanoparçacık terimleri kullanılmaktadır. 100 nm'den daha küçük olan bu parçacıkların baz akışkanlar ile oluşturdukları süspansiyonlar ise nanoakışkanlar olarak adlandırılmakta olup bu konular ile ilgili ilk çalışmalar 1990 lı yıllarda Choi ve Eastman [19] tarafından gerçekteştirilmiştir. Nanoakışkan elde etmek için genellikle geleneksel ısı transferi akışkanları olan su, yağ ve etilen glikol gibi baz akışkanların içerisine metal, metal oksit nanopartikülleri katılmaktadır. Bu sayede düşük ısı iletim katsayısına sahip olan geleneksel ısı transferi akışkanlarının ısı iletim katsayıları arttırılabilmektedir. Lee ve ark [20] nano partiküllerin üç farklı yöntemle (mekanik aşındırma, kimyasal çöktürme ve gaz yoğuşturma) sentezlenebileceğini/üretilebileceğini belirtmişlerdir. Bunlar içerisinde gaz yoğuşturma işleminin daha temiz bir ortamda üretilebilmesi ve yüzeyi istenmeyen maddelerle karşı koruduğu için diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Genel olarak nanoakışkan teknolojisinde Şekil 3.1'de gösterildiği gibi üç temel kritik nokta bulunmaktadır. Bunlar; i) nanopartiküllerin sentezi, ii) hazırlanan nanoakışkanların kararlılıkları ve termofiziksel özellikleri iii) nanoakışkanların uygulama alanlarıdır.



Şekil 3.1. Nanoakışkanların teknolojisinde önemli olan unsurlar.

Günümüzde nanoakışkan uygulamalarının kullanılabilceği alanlara örnek olarak soğutma sistemleri gösterilebilir. Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve yağlar termofiziksel özellikleri ve akış karakteristiklerinden dolayı yüksek ısı transfer kapasitelerine sahip değillerdir. Dolayısıyla yapılarında nanopartiküllerin kullanılmasıyla daha etkili hale gelebileceklerdir. Diğer yandan mikro elektrik sistemlerin çalışması sırasında yüksek değerlerde ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Ayrıca bu tür sistemlerde kullanılan mikro kanallardaki debinin düşük olması nanoakışkan kullanılmasının önünü açmaktadır. Bu sayede ortaya çıkan yüksek ısı nanoakışkan yardımıyla rahatlıkla taşınabilmektedir. Isı değiştiricilerde nanoakışkanların kullanılması durumunda ise ekipmanın daha uygun sıcaklıklarda çalışabilmesi sağlanacaktır. Bu sayede boyutu daha küçük ekipmanlar üretilebilecek ve daha az enerji girdisi ile yüksek performanslar elde edilebilecektir [21].

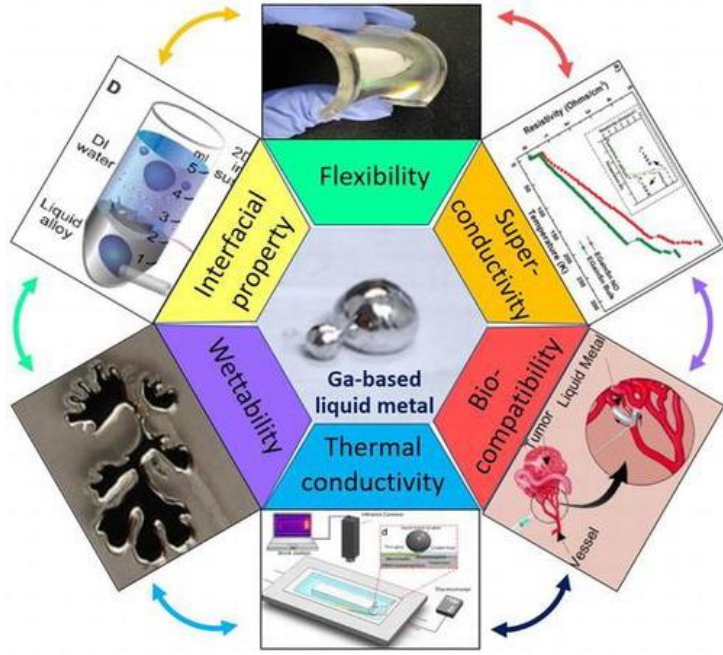
3.1. SIVI METAL BAZLI NANOAKIŞKANLAR

Sıcaklık ve basınca bağlı olarak doğada bulunan tüm maddeler temel olarak üç halde (katı, sıvı ve gaz) bulunurlar. Madde düşük sıcaklıklarda katı iken, sıcaklık artışına bağlı olarak sıvı ve gaz halinde bulunabilirler. Endüstride birçok metal, sıvı halde

saflaştırıldıktan sonra kullanılmaktadır. Dolayısıyla sıvı metallerin özelliklerinin bilinmesi ve incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

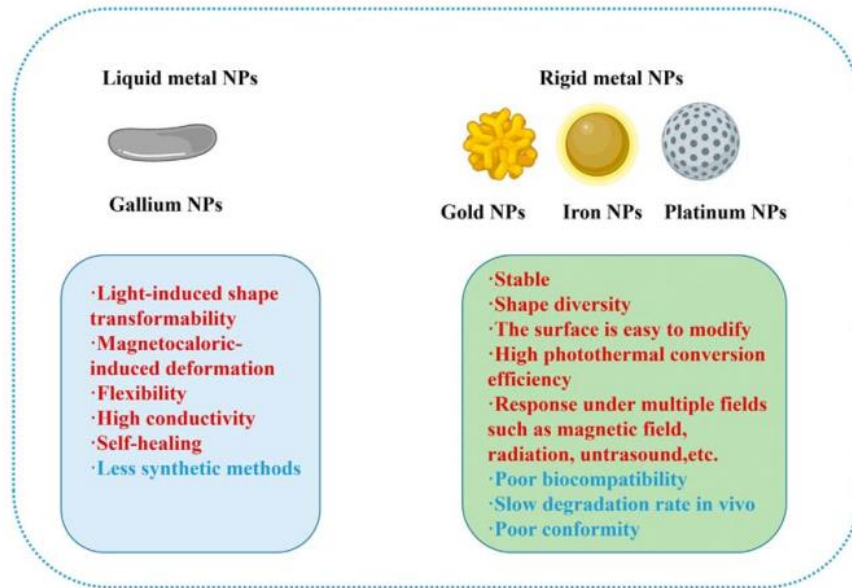
Erime sıcaklığı oda sıcaklığının altında veya oda sıcaklığına çok yakın değerlerde olan metal ve alaşımlar sıvı metaller olarak adlandırılmaktadır. Cıva buna en güzel örnek olup, bu tez çalışmasında da farklı bir sıvı metal olan galyum (Ga) elementi ele incelenmiştir. Erime sıcaklığı 29.76 °C ve kaynama noktası 2204°C olan galyum, standart sıcaklık ve basınç altında yumuşak, gümüş renginde bir metaldir ve sıvı halde geldiğinde rengi gümüş beyaza dönüşür. Güneş panelleri, yüksek hızlı yarı iletkenler, cep telefonları Ga elementinin başlıca kullanım alanları arasındadır. Bu cihazların yapımında galyum bileşenleri olan galyum arsenit (GaAs) ve galyum nitrür (GaN) de kullanılmaktadır. Bunların dışında aynalar ve tıbbi termometreler Ga elementinin kullanım alanları arasında yer almaktadır [22].

İdeal katılarda atomlar arasında üç boyutlu ve düzenli bir diziliş söz konusudur. Gazlarda ise atomlar basit yapılarda olduğundan her bir atom bulunduğu hacim içinde serbestçe hareket ederler. Bununla birlikte bir sıvının davranışını açıklamak oldukça karmaşıktır. Sıvı ortamdaki bir atom, bazen katı ortamdaki gibi çevresindeki atomlar ile etkileşir, bazen de gaz ortamdaki atom gibi davranıp serbest hareket edebilir. Sıvının sıcaklığı ara değerlerde olduğunda bazı yönlerden katıya, bazı yönlerden de gaza benzerlik göstermektedir. Diğer yandan birçok sıvı metalin davranışları deneysel olarak incelenebilmektedir. Ancak bu deneyler yüksek sıcaklıklarda yapıldığından ölçümlerde birtakım güçlükler meydana gelmektedir [22].



Şekil 3.2. Sıvı metallerin etkinliğinde önemli olan parametreler.

Sıvı metallerin etkinliğinde önemli olan unsurlar Şekil 3.2 ile gösterilmiştir. Metal nanopartiküller fiziksel özelliklerine göre sıvı metal nanopartiküller (liquid metals nanoparticles, LMNP) ve sert metal nanopartiküller olarak ikiye ayrılabilir. Bunların bazı özellikleri Şekil 3.3'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Sıvı-metal ve katı bazlı nanopartikül özelliklerinin karşılaştırılması.

3.2. NANOAKIŞKANLAR VE MANYETİK ALAN UYGULAMALARI

Kanal içerisinde ısı taşınımını iyileştirmek için çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı üzerinde sıklıkla araştırılan ve ilgi duyulan bir konu olmuştur. Nanoakışkan ile birlikte manyetik alan uygulamaları da son zamanlarda artan araştırma konuları içerisinde yer almaktadır. Örneğin bu tür uygulamalar ile mevcut araç radyatörleri yerine daha küçük boyuta sahip radyatörlerin kullanımı ve daha düşük yakıt tüketimine olanak sağlanabilecektir. Dolayısıyla otomotiv sektöründe önemli avantajlar elde edilebilecektir. Bununla birlikte, manyetik alan ve nanoakışkan kullanımı ile ısı değiştiricilerin performanslarında iyileştirmeler gerçekleştirilebilecektir. Bu durum, üretim ve yatırım maliyetlerini de yüksek oranda düşürecektir. Ayrıca, nanoakışkan ile birlikte manyetik alan uygulaması nükleer reaktörlerin yakıt hücre acil durum yedek soğutma sisteminde de kullanılabilirliği öngörülmektedir [23].

3.3. MANYETOHİDRODİNAMİK (MHD)

Manyetohidrodinamik (MHD), elektriksel iletkenliğe sahip akışkanların manyetik alan etkisi altındaki davranışlarını araştıran bir bilim dalıdır. Sıvı-metal akışkanlar, plazma, manyetik akışkanlar (ferrofluid, magnetorheological fluid) eriyik tuz bunlara örnek verilebilir. MHD çalışmaları ilk kez 19. yüzyılda Thames nehrinde suyun hareketinin dünyanın manyetik alanıyla indüklenmesi sonucu voltaj farkını ölçmeye çalışan Michael Faraday ve sonrasında manyetik alan etkisi altındaki iki plaka arası akışı inceleyen Hartmann tarafından 1918 yılında atılmıştır. MHD ile ilgili çalışmalara 1970 yılında Nobel ödülü kazanan Hannes Alfvén tarafından da katkı sağlanmıştır. Daha sonra sıvı metal ve sıvı tuzların ısıtma, karıştırma ve basınçlandırma uygulamalarında elde edilen başarılı sonuçların ardından konu birçok araştırmacı tarafından yoğun bir şekilde araştırılmaya başlanmıştır. MHD uygulamalarında elde edilen başarıların temelinde akışkana temas etmeyen hareketli parça olmaması durumu yatmaktadır [1].

Hareket halindeki elektriksel iletkenliğe sahip akışkan, manyetik alan içinde ilerledikçe akım indüklenmektedir. Manyetik alanın etkisiyle indüklenen partiküller

manyetik alan çizgilerine benzeyen bir yapı meydana getirirler ve akış üzerinde bir kuvvet oluştururlar. Bu kuvvet, Lorentz kuvveti olarak adlandırılmakta olup, çift fazdan oluşan akışkana etkiyen Lorentz kuvveti ile akışkanın davranışı değişmektedir. Manyetik indüksiyon hesaplaması Maxwell denklemi ve Ohm yasasından yararlanılarak türetilmektedir. Elektrik akımının elektriksel iletken malzeme içinde gerçekleşmesi ve sonucunda manyetik alanın oluşturulması birbirini etkileyen iki temel etkidir. Bunun sonucunda akışkan üzerinde bir etki oluşturan Lorentz kuvveti, kendisini meydana getiren mekanizmalara tepki olarak oluşmaktadır [1, 24].

Aşağıda elektromanyetik alan ile ilgili eşitlikler verilmiştir.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3.1)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = q \quad (3.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = \vec{J} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde belirtilen \vec{B} (T) ve \vec{E} (V/m), sırasıyla manyetik ve elektrik alanını; \vec{H} ve \vec{D} ise sırasıyla manyetik ve elektriksel alanları için indüksiyon alanlarını temsil etmektedir. q (C/m^3) elektrik yükü yoğunluğunu, \vec{J} (A/m^2) ise elektrik akım yoğunluğu vektörünü ifade etmektedir. \vec{H} ve \vec{D} indüksiyon alanları aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} \quad (3.5)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (3.6)$$

Bu denklemlerde belirtilen μ (H/m) manyetik geçirgenliğini, ε (F/m) ise elektriksel geçirgenliği ifade etmektedir.

Akış ve elektromanyetik alanın birbiriyle etkileşimi sırasında indüksiyona bağlı j (A/m^2) akım yoğunluğu kritik bir öneme sahiptir. Akım yoğunluğunu değerlendirirken iki yaklaşım i) elektrik potansiyel denklemi ii) manyetik indüksiyon denklemi kullanılmaktadır. Manyetik indüksiyon denklemi Ohm yasası ve Maxwell eşitliklerinden elde edilmekte ve manyetik alan ile akış alanı arasındaki etkileşim hesaplanabilmektedir.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (3.7)$$

Burada σ (S/m) ortamın elektriksel iletkenliğidir. Akım yoğunluğunu tanımlayan Ohm yasası, manyetik alan \vec{B} (T) içindeki akışkan hız vektörü \vec{U} (m/s) için aşağıdaki denkleme dönüşmektedir.

$$\vec{J} = \sigma (\vec{E} + \vec{U} * \vec{B}) \quad (3.8)$$

Maxwell ve Ohm yasası kullanılarak elde edilen indüksiyon denklemi:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \nabla) \vec{U} = \frac{1}{\mu \cdot \sigma} \nabla^2 \vec{B} + (\vec{B} \cdot \nabla) \vec{B} \quad (3.9)$$

Akım yoğunluğu \vec{J} (A/m^2) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\vec{J} = \frac{1}{\mu} \nabla * \vec{B} \quad (3.10)$$

Toplam manyetik alanı temsil eden \vec{B} , dışardan uygulanan alan \vec{B}_0 ve indüklenen alan \vec{b} 'den oluşmaktadır.

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{b} \quad (3.11)$$

Maxwell denkleminde dışardan uygulanan alan \vec{B}_0 aşağıdaki denklemi sağlamaktadır.

$$\nabla^2 \vec{B} - \mu \cdot \sigma \frac{\partial \vec{B}_0}{\partial t} = 0 \quad (3.12)$$

Bu denklemdeki σ (S/m) ise elektriksel iletkenliği temsil etmektedir.

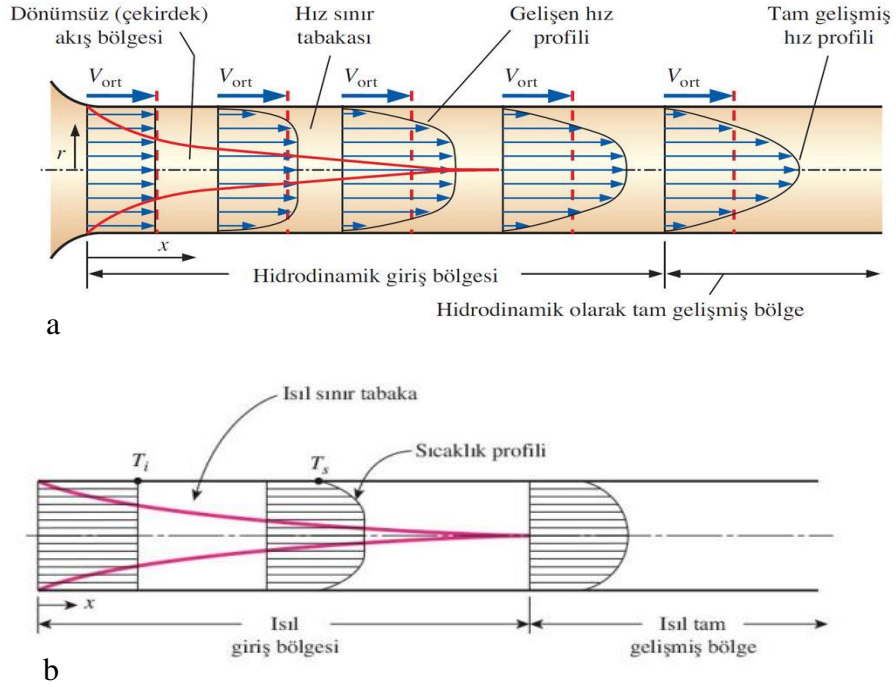
3.4. TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ

Isı transfer mekanizmaları üç farklı biçimde olup bunlar; iletim, taşınım ve ışınımdır. Taşınımla ısı transferi, rastgele davranış sergileyen sıvı ve gaz fazındaki akışkan moleküllerinin hareket halindeyken birbirlerine enerji aktarması sonucunda oluşmaktadır. Taşınımla ısı transferi mekanizması araç, konut ısıtma ve soğutma sistemleri, ısı değiştiricileri, elektronik cihazların soğutulması, araç radyatörleri, güç santralleri, jet çarpma ile ısıtma soğutma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda ısı transfer hızında elde edilecek bir artışın işlem sürecini hızlanmasını, ekipman ömrünün uzatmasını ve enerjiden tasarruf elde edilmesi gibi birçok faydaları olmaktadır.

Belirli bir hız değerine sahip akışkan boru içerisinde hareket ederken boru ile temas ettiği noktadaki hızı de belirli bir hız ile hareket halinde olan akışkanın, boru yüzeyi ile temas ettiği noktadaki hızı viskoz kuvvetlerin atalet kuvvetlere üstün gelmesi sonucu oluşan kaymama şartından dolayı sıfırdır. Aynı zamanda yüzeydeki hareketsiz akışkan moleküllerinin birbirlerine sürtünmesinden dolayı hemen yanındaki akışkan molekülünün de yavaşlamasına sebep olur. Boru yüzeydeki düşük hızı dengeleyerek kütleli debinin kanal kesiti boyunca aynı kalması için kanalın yüzeyinden merkeze doğru giderken akışkan hızının daha yükseldiği ve Şekil 3.4 (a)'da görüldüğü gibi merkez noktada en yüksek değere ulaşmaktadır. Boru girişinden hız sınır tabakasının boru merkezinde birleştiği noktaya kadar olan bölge hidrodinamik giriş bölgesi olarak adlandırılırken, bu bölgenin uzunluğu hidrodinamik giriş uzunluğu olarak ifade edilmektedir [25].

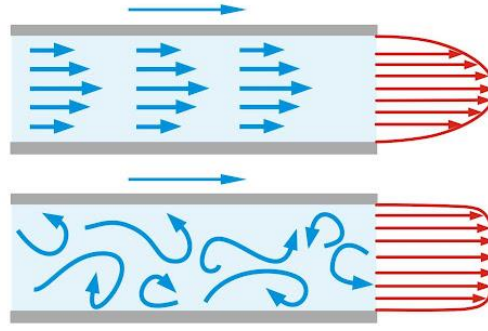
Taşınım ile gerçekleşen ısı transferini etkileyen diğer bir olgu ise üniform bir sıcaklık değerine sahip boruya giren akışkan ile borunun yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı olup, bu fark ısı sınır tabakanın oluşumuna sebep olmaktadır. Şekil 3.4 (b)'de görülebileceği üzere ısı sınır tabakanın kalınlığı akışkanın boru içerisinde ilerlemesiyle artış gösterecek ve belirli bir noktadan itibaren sıcaklık profili üniform bir davranış sergileyecektir. Bu noktaya kadar olan bölge ısı giriş bölgesi

olarak ifade edilirken, bu bölgenin uzunluğu ise ısı girişi uzunluğu olarak adlandırılmaktadır [25].



Şekil 3. 4. Dairesel kesitli kanalda a) hız b) ısı sınır tabakanın gelişimi [25].

Dairesel kesitli kanal içerisinde akan akışkan Şekil 3.5'te gösterildiği gibi laminar akış şartında oldukça düzenli bir hal sergilemektedir. Bu akış rejiminde akışkanın boru yüzeyine dik olan hız bileşeni ve değişimi neredeyse sıfırdır. Diğer akış rejimi olan Türbülanslı akışta ise akışkan Şekil 3.5'teki gibi bir dalgalı davranış sergilemektedir. Bu dalgalanmalar yüzey sürtünmelerin artmasına ve taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin iyileşmesine neden olur. Akış rejiminin belirlenmesinde ise boyutsuz bir parametre olan Reynolds (Re) sayısından faydalanılır.



Şekil 3. 5. Laminer ve türbülanslı akış görseli.

Dairesel kesitli kanallarda Laminer akış için Re sayısı:

$$Re \leq 2300 \quad (3.13)$$

Türbülanslı akış için;

$$Re \geq 4000 \quad (3.14)$$

şeklindedir.

Taşıyım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısı h ve boyutsuz Nu sayısı ısı sistemlerde ısı transferi performansını ve karakteristiğini belirlemekte kullanılan en önemli parametrelerdir (Eşitlik 3.15 ve 3.16).

$$h_{ort} = \frac{q''}{(T_{\text{çeper}_{ort}} - T_{\text{yığın}_{ort}})} \quad (3.15)$$

Nusselt sayısı, taşıyım ile gerçekleşen ısı transferinin iletimle olan ısı transferine oranıdır (Eşitlik 3.16).

$$Nu_{ort} = \frac{h_{ort} \cdot Dh}{k} \quad (3.16)$$

Bu eşitliklerde yer alan h (W/m²K) taşınım ile ısı transfer katsayısını, D (m) dairesel kesitli kanalın çapını, k (W/mK) ısı iletim katsayısını, q'' (W/ m²) ısı akısını göstermektedir.

Literatürde, laminer akış ve sabit ısı akısı şartlarında ortalama Nu sayısı için aşağıdaki korelasyonlar önerilmektedir.

Shah-London Korelasyonu [26]:

$$Nu = 1,953 \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} ; \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right) \geq 33,3 \quad (3.17)$$

Gnielinski Korelasyonu [27]:

$$Nu = \left[4,354^3 + 0,6^3 + (1,953 \sqrt[3]{Re Pr \frac{D}{L}} - 0,6)^3 + (0,924 \sqrt[3]{Pr} \sqrt{Re \frac{D}{L}})^3 \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.18)$$

Churchill-Ozoe Korelasyonu [28]:

$$Nu = 4,364 \left[1 + \left(\frac{\pi Re Pr}{29,6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{6}} * \left[1 + \left(\frac{\frac{\pi Re Pr}{19,4}}{\left((1 + (Pr/0,0207)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{1}{2}} * \left[1 + \left(\frac{\pi Re Pr}{29,6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} \right)} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.19)$$

Sieder-Tate Korelasyonu [29]:

$$Nu = 1,86 Re^{\frac{1}{3}} Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.20)$$

Çalışmada ortalama akışkan hızı V (m/s) Eşitlik 3.21 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Re_D = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (3.21)$$

Analiz sonuçlarından elde edilen basınç kaybı yardımıyla Eşitlik 3.22’de verilen Darcy-Weisbach denklemi kullanılarak ortalama Darcy sürtünme faktörü (f), ile hesaplanmıştır.

$$f = \frac{P_{giriş} - P_{çıkış}}{\left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{\rho V^2}{2}\right)} \quad (3.22)$$

Bu eşitlikte yer alan $P_{giriş}$ (Pa), $P_{çıkış}$ (Pa), L (m) ve V (m/s) sırasıyla giriş basıncını, çıkış basıncını, boru uzunluğunu ve ortalama akışkan hızını temsil etmektedir.

Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi ile birlikte akış esnasında boru boyunca basınç düşümleri meydana gelmektedir. Isı transferi artış miktarı ile basınç düşümü değerlerinin de bilinmesi yapılan çalışmanın efektif olup olmadığını sonucuna ulaşılabilmektedir. Bu nedenle Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK), ısı transferi uygulamalarında yapılan geometrik ve akışkan değişiklikleri sonucunda ısı transferinde meydana gelen artışın pompalama gücüne oranlanması ile elde edilen bir katsayıdır. PDK sayısı 1 den büyük olduğunda ısı transferi artış miktarının basınç düşümünden daha iyi, 1 den küçük olduğu durumda ise daha kötü olduğu anlamı taşımaktadır. PDK sayısının 1’e eşit olması aynı oranlarda ısı transferi ve basınç düşümü artışının bir göstergesidir [30].

$$PDK = \frac{\left(\frac{Nu_{nano}}{Nu_{temel}}\right)^{\frac{1}{3}}}{\left(\frac{f_{nano}}{f_{temel}}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (3.23)$$

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

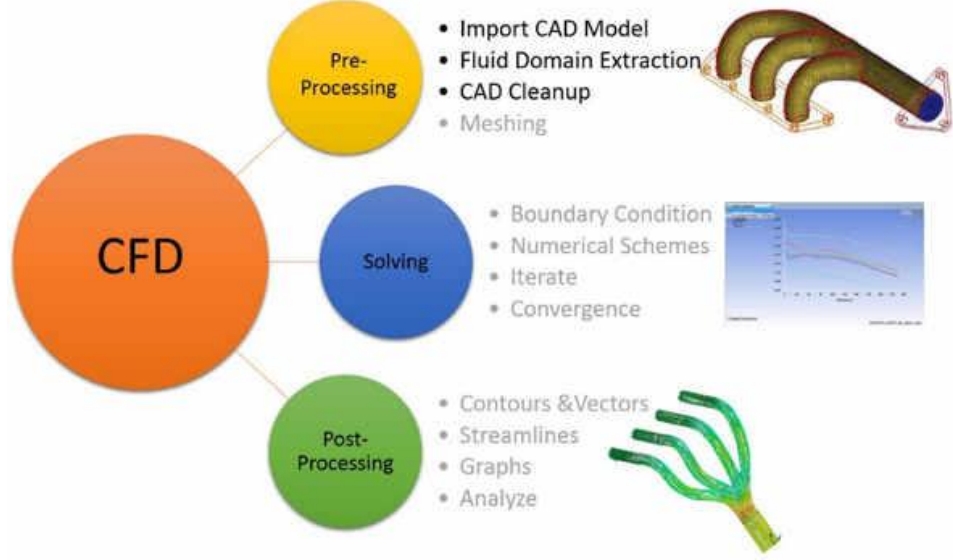
Sayısal yöntemler analitik çözümlerin yetersiz kaldığı ısı transferi ve akışkanlar mekaniği problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Gelişen teknoloji ile birlikte güçlü bilgisayarlar sayesinde deneysel olarak gözlemlenemeyen bazı akış ve ısı transferi davranışları da sayısal yöntemi kullanan programlar vasıtası ile ilgili çözümlere ulaşılabilmektedir. Analitik yöntemler genellikle matematiksel denklemler yardımıyla çözümlenirler. Sayısal yöntemler ise, bilgisayar ve yazılım teknolojisindeki ilerlemeye bağlı olarak gelişmeler göstermiş ve fiziksel problemlerin modellenerek kısa sürelerde çözümlenmesine olanak sağlamıştır.

Yapılan bu çalışmada da dairesel bir boruda farklı hacimsel konsantrasyonlardaki (%3, %6, %9) Al_2O_3/Ga , Cu/Ga , CNT/Ga sıvı metal nanoakışkanların manyetik alan varlığındaki ve yokluğundaki durumları laminer akış şartlarındaki akışı sayısal olarak Ansys Fluent paket programında incelenmiştir.

4.1. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) akış ve ısı transferi problemlerinin bilgisayar aracılığı ile çözülmesi prensibine dayanan sayısal bir yöntemdir. Hızlı ve pratik çalışma olanağı sunan HAD akışa ait kısmi diferansiyel denklemleri bilgisayarlar vasıtasıyla bir takım cebirsel eşitliklere dönüştürür. Çözömlenen problem ile ilgili olarak basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ile bunlara bağlı birçok alt veriye ulaşma imkânı sağlar. Bilgisayar desteği ile kullanılan HAD yazılımlarından elde edilen sonuçlar akışkan dinamiği ve ısı transferi ile ilgili problemin gerçek davranışları hakkında bilgiler sunar. Bununla birlikte incelenen fiziksel modele ait problemin kolaylıkla analiz edilmesinin yanı sıra deneysel çalışmalara göre zaman ve ekonomik yönden fayda sağlaması HAD'ı ön plana çıkaran bir etken olmuştur. Genel

olarak yapılan HAD analizlerinde takip edilen işlem basamakları Şekil 4.1. verilmiştir [24,31]

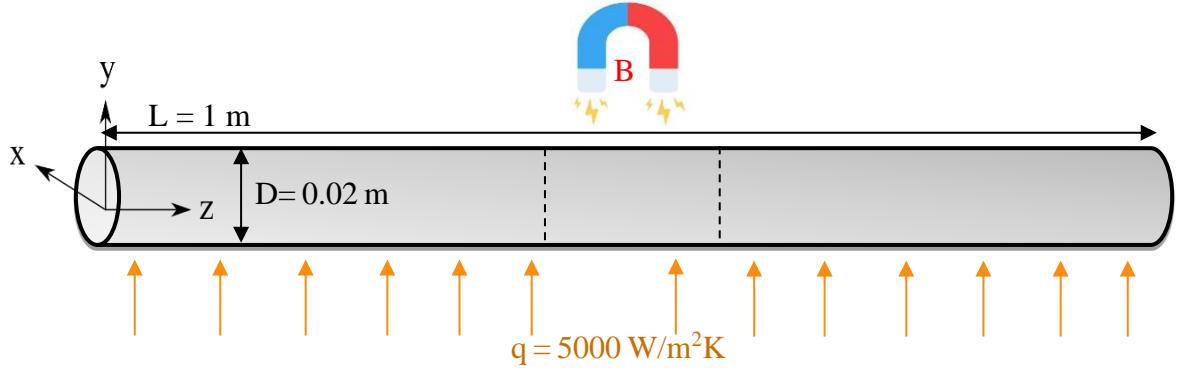


Şekil 4.1. HAD işlem aşamaları.

Burada, ön işlemci kısmında incelenen probleme ait geometri ve ağ (çözüm ağı) yapısının oluşturulması ile sınır şartlarının tanımlanması yapılırken, ikinci kısımda sonlu fark, sonlu hacimler, sonlu elemanlar yöntemi gibi çözüm tekniklerinin belirlenmesi yapılır. Son işlemci kısmında ise çözüm sonuçlarının alınması ile değerlendirilme işlemleri yapılmaktadır.

4.2. MODEL GEOMETRİ VE AĞ YAPISI

Sayısal analizlerde öncelikli yapılması gereken işlem probleme ait fiziksel modelin geometrisini oluşturmaktır. Model geometri elde edildikten sonra, akışa ait genel yönetici denklemleri çözebilmek için düzgün küçük parçalardan oluşan ağ (mesh) yapısı oluşturulur. Tez kapsamında incelenen problem geometrisi Şekil 4.2’de verilmiştir.

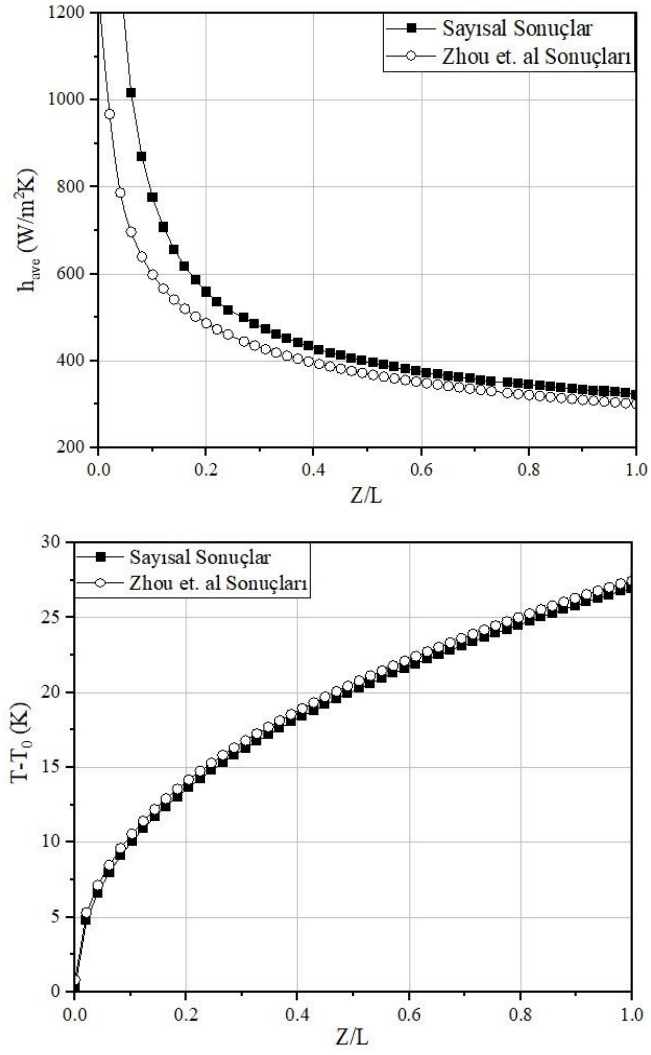


Şekil 4.2. Problem geometrisi.

Şekilden de görülebileceği gibi silindirik kanal ölçüleri $L=1$ m uzunluk ve $D=0.02$ m çap şeklindedir. Silindirik kanal yüzeyine $5000 \text{ W/m}^2\text{K}$ ısı akısı uygulanırken manyetik alan kanalın $0.4-0.6$ m aralığındaki bölgeye uygulanmıştır. Sayısal çalışmalarda sonuçları etkilemesi nedeniyle meshden (ağdan) bağımsız çalışmasının yapılması önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada da ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Kalitesi düşük veya az sayıda hücreden oluşan ağ yapılarına (kaba mesh) ait çözümlerlerde sonuçların doğruluğu şüpheli iken çok fazla hücre sayısından oluşan ağ yapılarına ait çözümlerlerde de analiz süreleri oldukça fazla olabilmektedir. Bu nedenle oluşturulan hücre sayısı ile sonuçların değişmediği veya değişimin çok düşük olduğu ağ yapısı belirlenir. Bu çalışmada da farklı hücre sayılarına sahip ağ yapıları oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Zhou vd.[18] tarafından yapılan analizler ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.1’de farklı ağ yapıları için elde edilen h_{ort} değerleri yer almaktadır. Ağ yapısındaki hücre sayısı arttıkça hort değerindeki değişim azalmaktadır. Bu değişimin Zhou vd. tarafından yapılan hücre sayısı ile $80^r \times 100^\theta \times 600^z$ hücre sayısı arasındaki farkın %0,12 olduğu hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.3’te gösterilmiştir.

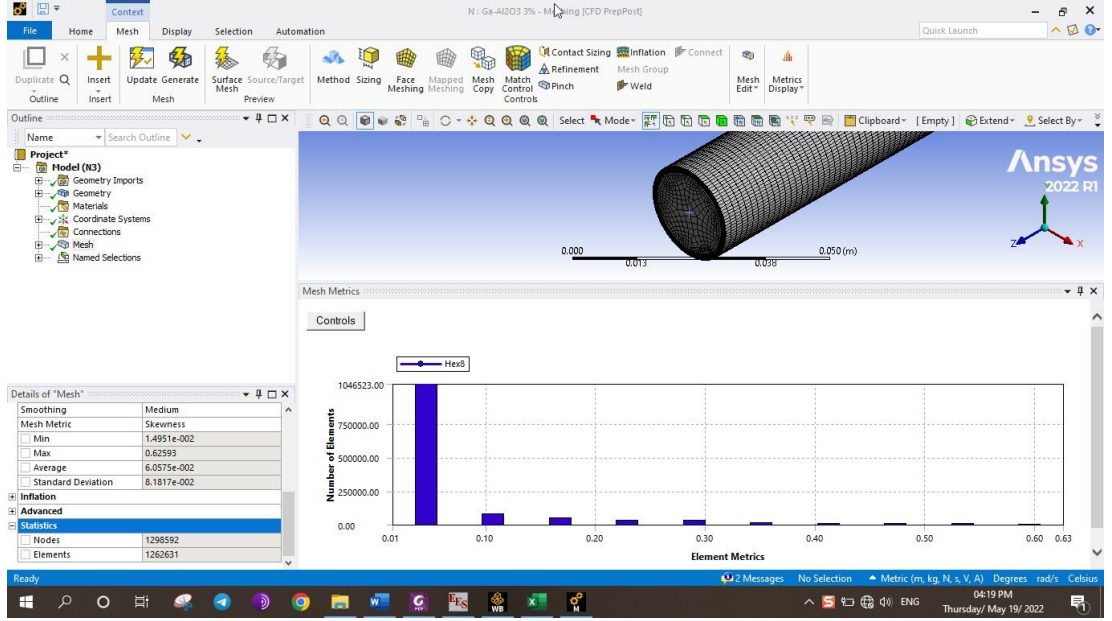
Çizelge 4.1. Farklı ağ yapılarında hesaplanan Ga- Al_2O_3 ’e ait h_{ort} değerleri.

Mesh Çalışması		Farklı Çözüm Ağ Yapıları			
		$60^r \times 80^\theta \times 400^z$	$60^r \times 80^\theta \times 600^z$	$80^r \times 100^\theta \times 600^z$	$100^r \times 120^\theta \times 800^z$
$h_{ortalama}$	Bu çalışma	10557.36	9908.7	9934.9	9934.1
	Zhou et. Al [31]	10121	9903	9947	9946

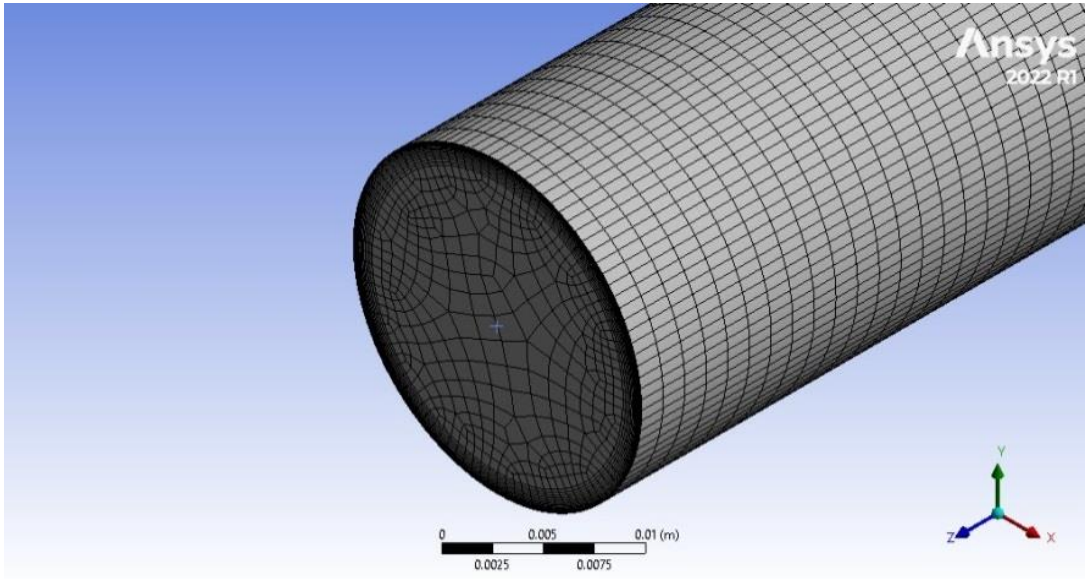


Şekil 4.3. Sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması.

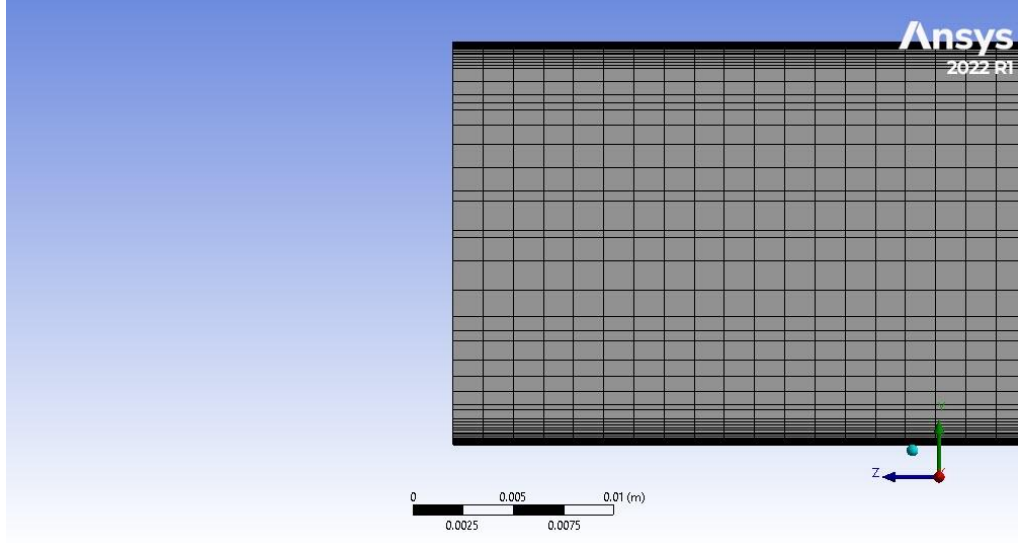
$80^r \times 100^{\theta} \times 600^z$ çözüm ağı sayısından elde edilen h_{ort} değerlerinin değişimi çözüm ağı sayısı arttıkça azalacaktır. Ancak hücre sayısının artışı hesaplama zamanını da önemli ölçüde arttıracığı için hücre sayısının 1,2 M olduğu Şekil 4.4-4.6'da verilen mesh yapısı kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Mesh skewness değerleri.



Şekil 4.5. Dairesel kanala ait mesh yapısı (3D görünüm).



Şekil 4.6. Dairesel kanala ait mesh yapısı (yan görünüş).

4.3. SAYISAL ÇÖZÜMLEMELERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Çalışmada, sayısal çözümler ANSYS Fluent 2022 R1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Ansys Fluent programı problem için tanımlanan sınır koşulları ile ilgili yönetici denklemleri sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümler gerçekleştirir. Kütle, momentum ve enerji eşitliklerinin çözümü için ikinci dereceden upwind şeması ve SIMPLE algoritması kullanılmıştır. En Küçük Kareler metodu denklemlerin ayrıklaştırılmasında kullanılmıştır. Yakınsama için denklem çözümlerinde elde edilen kalıntıların 10^{-6} 'ya erişene kadar yinelemelere devam etmesi sağlanmıştır [32].

Oluşturulan modele ait akış ve ısı transferi karakteristiklerini belirleyebilmek için aşağıda verilen kütle, momentum ve enerji denklemleri nanoakışkanların tek faz kabul edildiği durum ve laminer akış şartlarında çözümlenmiştir. Yapılan analizlerde nanoakışkanlara ait termodinamik özellikler sabit değerlerde alınmıştır.

Süreklilik denklemi;

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.1)$$

Kütle korunum denklemi;

$$\left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) \right] = S_m \quad (4.2)$$

Momentum korunum denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla P + \nabla(\bar{T}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4.3)$$

Bu denklemlerde p basıncı, (\bar{T}) gerilme tensörünü, \vec{g} yerçekimi kuvvetini, \vec{F} ise diğer dış kuvvetleri temsil etmektedir.

Enerji Denklemi;

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{V}(\rho E + \rho)) = \nabla[k_{eff} \nabla T - \sum_j h_i j_i + (\bar{T}_{eff} \vec{V})] + S_h \quad (4.4)$$

Eşitliklerde E birim enerjiyi, $k_{eff} \nabla T$ iletimi, $\sum_j h_i j_i$ difüzyonu ve $(\bar{T}_{eff} \vec{V})$ viskoz disipasyonu ifade etmektedir.

Yönetici denklemlerinin çözümlenebilmesi için sınır şartlarının iyi bir biçimde tanımlanması gerekmektedir. Buna göre; uniform akış giriş hızı ve sıcaklığı, yüzeylerde kaymama koşulu kabulleri yapılarak, boru yüzey sıcaklığı ile akışkanın sınır tabakasındaki sıcaklığın eşit olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, boru yüzeyinden akışkana 5000 W/m^2 değerinde ısı akısı uygulandığı ve çıkış sınır şartı olarak etkin basıncın sıfır olduğu kabulü yapılmıştır. Problem için tanımlanan sınır şartları matematiksel olarak aşağıda ifade edilmiştir.

Giriş sınır şartları:

$$T(r, \theta, 0) = T_{giris} \quad (4.5)$$

$$V(r, \theta, 0) = V_{giris} \quad (4.6)$$

$$\varphi_{np} = 0,03 - 0,09 \quad (4.7)$$

Çeper sınır şartları:

$$u_r(R, \theta, z) = 0, u_\theta(R, \theta, z) = 0, u_z(R, \theta, z) = 0 \quad (4.8)$$

$$\dot{q}_0''(R, \theta, z) = \text{sabit} \quad (4.9)$$

Çıkış sınır şartları:

$$P_g(r, \theta, L) = 0 \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial V(r, \theta, L)}{\partial z} = 0 \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial \Theta(r, \theta, L)}{\partial z} = 0 \quad (4.12)$$

$$\Theta = \frac{T(r, \theta, z) - T_{\text{yüzey}}(R, \theta, z)}{T_{\text{yığın}}(r, \theta, z) - T_{\text{yüzey}}(R, \theta, z)} \quad (4.13)$$

Problem için yapılan kabuller:

- Kararlı rejim şartları
- Akışkanlara ait termodinamik özelliklerin sıcaklık ile değişmediği ve sürekli sabit kaldığı
- Laminer akış
- Sıkıştırılamaz akış
- 3D
- Kaldırma, yer çekimi kuvvetleri ve viskoz yayılım ihmal
- Newtonyen akış davranışı

şeklinde. Bununla birlikte analizlerde manyetik alan etkisini gözlemleyebilmek için Ansys Fluent de MHD modülü aktif hale getirilmiş ve burada manyetik indüksiyon

metodu kullanılmıştır. Akışa dik yöne uygulanan manyetik alan şiddeti değerleri $B=0,05-0,10-0,15$ T olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

4.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Yapılan analizlerde çalışma akışkanı olarak üç farklı nanopartikül ve sıvı-metal baz akışkanı kullanılmıştır. Sıvı-metal olarak Galyum (Ga) baz akışkanı kullanılırken nanopartikül olarak Al_2O_3 , Cu ve CNT nanopartikülleri kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin 310 K sıcaklıktaki termofiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Termofiziksel özellikleri (310 K) [18].

Termofiziksel Özellikler	Temel Akışkan	Nanopartikül		
	Ga	Al_2O_3	Cu	CNT
ρ (kg/m ³)	6090	3970	8300	2100
C_p (J/kgK)	381,5	760	420	709
k (W/mK)	31	25	401	3000
μ (kg/ms)	0,0018879	-	-	-
σ (S/m)	7.10E+06	3.69E+07	5.96E+07	1.00E+06

Nanoakışkanların yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı, viskozite ve elektriksel iletkenliği gibi termofiziksel özellikleri ilgili eşitlikler ile hesaplanmıştır. Bunlar sırası ile aşağıda gösterilmiştir.

Yoğunluk;

$$\rho_{eff} = \rho_{baz}\phi + \rho_{np} (1 - \phi) \quad (4.14)$$

Özgül ısı;

$$(\rho C_p)_{eff} = (\rho C_p)_{baz} \phi + (\rho C_p)_f (1 - \phi) \quad (4.15)$$

Isı iletim katsayısı (k);

$$\frac{k_{nf}}{k_{baz}} = \frac{(k_p+2 \cdot k_f)-2\varphi(k_f-k_p)}{(k_p+2 \cdot k_f)+\varphi(k_f-k_p)} \quad (4.16)$$

Viskozite;

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_{baz}}{(1-\varphi)^{2.5}} \quad (4.17)$$

Elektriksel iletkenlik;

$$\frac{\sigma_{nf}}{\sigma_{baz}} = 1 + \frac{3 \cdot \left(\frac{\sigma_p-1}{\sigma_f}\right) \cdot \varphi}{\left(\frac{\sigma_p+2}{\sigma_f}\right) - \left(\frac{\sigma_p-1}{\sigma_f}\right) \cdot \varphi} \quad (4.18)$$

Eşitliklerde ρ , μ , k ve φ sırası ile yoğunluk, dinamik viskozite, ısıl iletkenlik ve partikül oranı olarak ifade edilmektedir. Alt indislerde p nanopartikülü temsil ederken, nf ve bf ise sırasıyla nanoakışkan ve baz akışkanı işaret etmektedir. Eşitlikler (4.14 - 4.18) yardımıyla EES (Engineering Equation Solver) programında (Şekil 4.7) hesaplanan ve sayısal analizlerde kullanılan akışkanlara ait termofiziksel özellikler Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

EES Professional: C:\Users\abdul\Desktop\Liquid Metal Based Nanofluid\liquid metal based nanofluid.EES - [Formatted Equations]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Density

$$\rho_{nf} = \alpha_p \cdot \rho_p + (1 - \alpha_p) \cdot \rho_f$$

$$\alpha_p = 0.09$$

$$\rho_p = 1600 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_f = 6090 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Cp

$$\rho_{nf} \cdot C_{p,nf} = \alpha_p \cdot \rho_p \cdot C_{p,p} + (1 - \alpha_p) \cdot \rho_f \cdot C_{p,f}$$

$$C_{p,p} = 796$$

$$C_{p,f} = 381.5$$

$$T = 310$$

K

$$\lambda_{nf} = \lambda_f \cdot \left[\frac{\lambda_p + 2 \cdot \lambda_f - 2 \cdot \alpha_p \cdot (\lambda_f - \lambda_p)}{\lambda_p + 2 \cdot \lambda_f + \alpha_p \cdot (\lambda_f - \lambda_p)} \right]$$

$$\lambda_f = 31$$

$$\lambda_p = 3000$$

Viscosity

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \alpha_p)^{2.5}}$$

$$\mu_f = 0.0018879$$

$$Re = \frac{\rho_{nf} \cdot V \cdot D}{\mu_{nf}}$$

$$Re = 1000$$

$$D = 0.02$$

Electrical Conductivity

$$\frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f} = 1 + \frac{3 \cdot \left[\frac{\sigma_p}{\sigma_f} - 1 \right] \cdot \alpha_p}{\frac{\sigma_p}{\sigma_f} + 2 - \left[\frac{\sigma_p}{\sigma_f} - 1 \right] \cdot \alpha_p}$$

$$\sigma_f = 7.1 \times 10^8 \text{ [S/m]}$$

$$\sigma_p = 1000000 \text{ [S/m]}$$

Şekil 4.7. EES programında yapılan hesaplardan bir örnek.

Çizelge 4.3. Ga bazlı nanoakışkanların termofiziksel özellikleri (310 K).

Akışkan	φ	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)	σ (S/m)
Galyum		6090	381.5	31	0.0018879	7.10E+06
Al ₂ O ₃ -Ga	%3	6026	389	30.81	0.002037	
	%6	5963	396.6	30.62	0.002204	7.87E+06
	%9	5899	404.4	30.43	0.00239	
Cu-Ga	%3	6156	383.1	33.28	0.002037	
	%6	6223	384.6	35.68	0.002204	8.05E+06
	%9	6289	386.1	38.21	0.00239	
CNT-Ga	%3	5955	384.8	33.79	0.002037	6.85E+06
	%6	5821	388.3	36.74	0.002204	6.60E+06
	%9	5686	392	39.89	0.00239	6.36E+06

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, dairesel kesitli kanaldan akan farklı hacimsel konsantrasyona sahip ($0,03 \leq \phi \leq 0,09$) sıvı metal bazlı nanoakışkanların (Al_2O_3 -Ga, Cu-Ga, CNT-Ga) sabit manyetik alan etkisi altındaki ısı transferi ve akış karakteristikleri laminer akış koşullarında sayısal olarak incelenmiştir. Analizlerde sabit manyetik alan büyüklüğü $B=0,05-0,10-0,15$ T değerlerinde uygulanmıştır. Sayısal çözümler ANSYS Fluent 2022 R1 yazılımında yapılmıştır. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri hesaplamak için verilen eşitlikler Engineering Equation Solver (EES) programı ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi EXCEL programında tablolara dönüştürülmüştür. ANSYS Fluent 2022 R1 programı aracılığı ile elde edilen çıkış sıcaklığı, basınç değeri ve duvar sıcaklığı değerleri yardımıyla çalışmanın ısı transferi ve akış karakteristiğini değerlendirmek için kullanılacak ısı taşınım katsayısı (h), Nusselt sayısı (Nu), basınç kaybı (ΔP), Darcy sürtünme faktörü (f) ve Performans değerlendirme kriteri (PDK) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler ORIGINPro 2022 programı yardımıyla grafik haline getirilerek kapsamlı bir şekilde yorumlanmıştır.

5.1. LİTERATÜR İLE DOĞRULAMA

Bu bölümde oluşturulan sayısal ağ yapısı ile elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için laminer akış şartlarında ($Re=1000$) akışın olduğu ve akışkan olarak saf suyun kullanılan durum ile analizler yapılmıştır. Saf su ile analizleri ile elde edilen sonuçlar kullanılarak Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Bu sonuçlar literatürde yer alan farklı korelasyonlar ile karşılaştırılarak doğrulama yapılmış ve Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Saf su için farklı korelasyonlarda hesaplanan Nu değerleri.

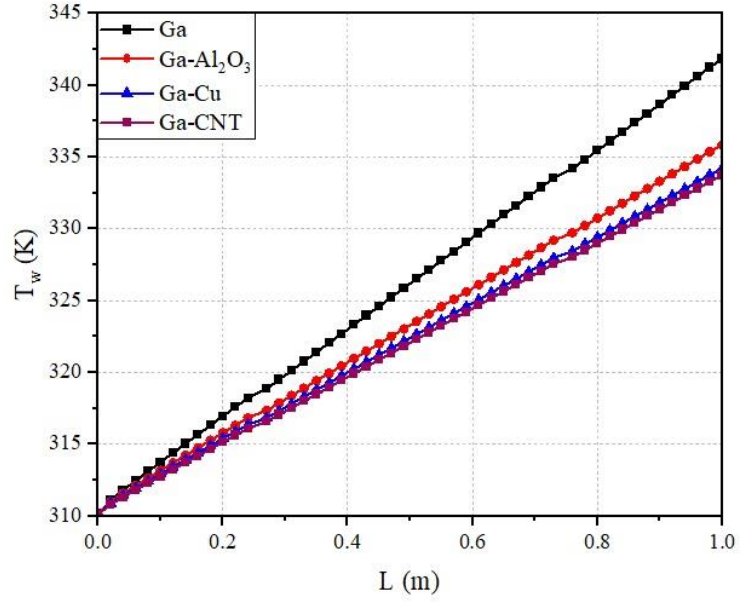
Doğrulama Tablosu	Bu Çalışma	Korelasyonlar			
	$80^r \times 100^{\theta} \times 600^z$	Churchill- Ozoe	Gnielinski	Shah- London	Sieder- Tate
Nusselt Sayısı	8.82	6.285	9.712	8.667	8.255

Çizelge 5.1’de $Re=1000$ akış rejimi için ortalama Nu değerleri görülmektedir. Analiz sonuçlarından elde edilen Nu değerinin Gnielinski, Shah-London ve Sieder-Tate tarafından önerilen korelasyonlarla elde edilen Nu değerleri ile sırasıyla $\pm\%9,18$, $\pm\%1,77$ ve $\pm\%6,84$ hata oranı içinde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu hesaplamalar doğrultusunda sayısal çalışmadan elde edilen değerler literatür ile tutarlı olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan sayısal çözümün devamlılığı için ağ sayısının yeterli olduğu ve hesaplanan değerlerin yeterli doğrulukta olduğu görülmüştür.

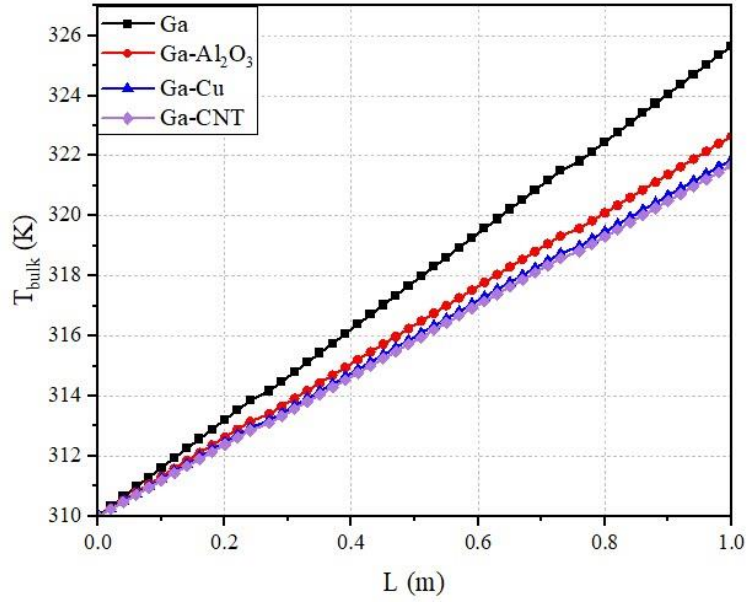
5.2. SIVI METAL BAZLI NANOAKIŞKAN KULLANILAN DURUM

5.2.1. Sıcaklık Değişimi

Dairesel kesitli kanal boyunca üniform ısı akısı uygulanması durumunda duvar sıcaklığının artış eğiliminde olduğu Şekil 5.1’de görülmektedir. Kanala 310 K sıcaklığında giren galyumun ısı iletim katsayısı diğer akışkanlara göre daha düşük olduğu için bu sonuca varılmıştır. Temel akışkana nanopartikül ilave edilmesiyle kanal çeper sıcaklığı azalma eğiliminde olup, nanoakışkanların $Re=1000$ akış rejimindeki $\%6$ ’lık hacimsel konsantrasyonu için; Ga, Ga- Al_2O_3 , Ga-Cu, Ga-CNT akışkanlarına ait “ $T_{çıkış}$ ” değerleri sırasıyla “341,8 K”, “335,8 K”, “334,1K ” ve “333,9 K” tir. Yığın sıcaklığın dairesel kesitli kanal boyunca değişimi Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Duvar sıcaklığının dairesel kesitli boyunca değişimi.

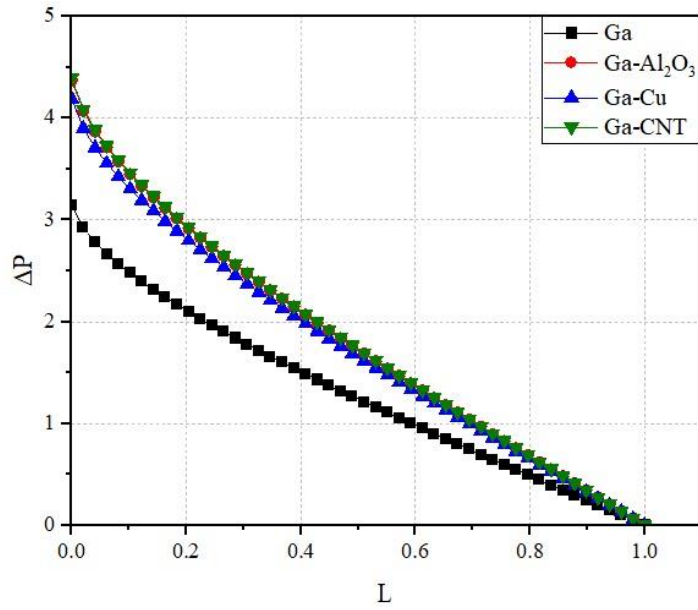


Şekil 5.2. Yığın sıcaklığının dairesel kesitli kanal boyunca değişimi.

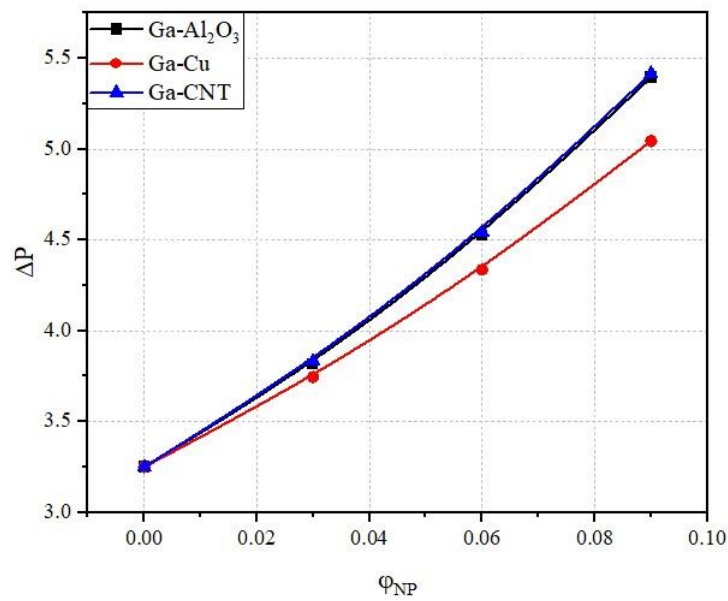
5.2.2. Basınç Değişimi

Aynı sıcaklık değerinde galyumun dinamik viskozite değerinin, Ga-Al₂O₃, Ga-Cu, Ga-CNT nanoakışkanının dinamik viskozite değerine göre daha düşük olmasından dolayı akış hattı boyunca basınç düşümünün daha düşük olduğu Şekil 5.3'te görülmektedir. Nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu arttıkça dinamik viskozite değerleri de arttığı

için dairesel kesitli kanal duvarında daha çok tutunma meydana gelir. Bu nedenle basınç düşümü değerlerinde galyuma kıyasla artışlar meydana geldiği Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Ayrıca dairesel kesitli kanal boyunca basınç düşümü gidere azalma eğilimindedir. Bunun yanı sıra dairesel kesitli kanal boyunca yaşanan basınç kayıplar doğrudan mekanik enerji kaybına neden olduğu için akışkana uygulanan pompalama gücünde artış göstermektedir.



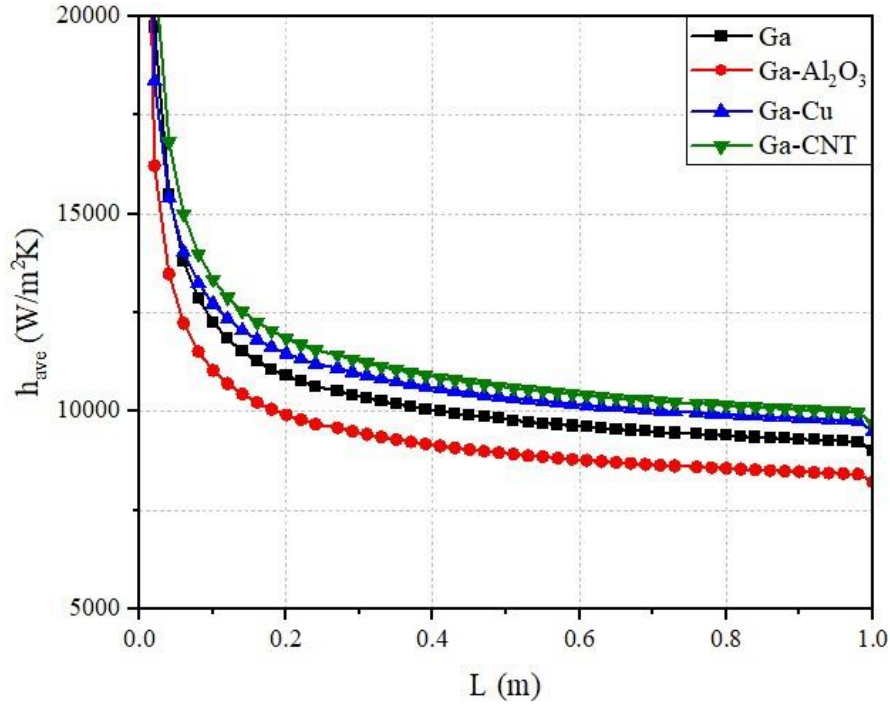
Şekil 5.3. Statik basıncın kanal boyunca değişimi.



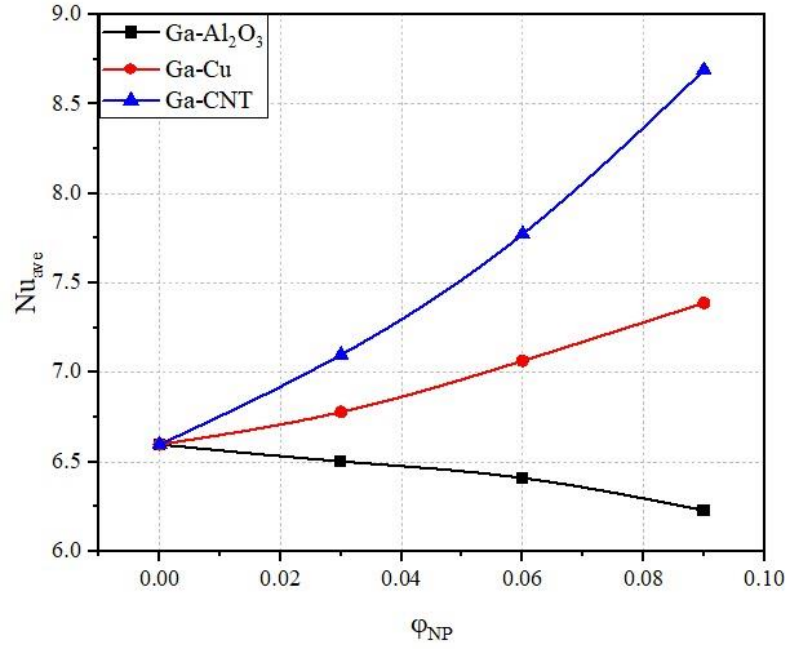
Şekil 5.4. Statik basıncın hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.

5.2.3. Taşınım İle Isı Transferi Karakteristiklerinin Değişimi

Şekil 5.5'te, dairesel kesitli kanal boyunca akan aynı hacimsel nanopartikül oranındaki (%6) galyum bazlı nanoakışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayısı değişimleri incelenmiştir. En yüksek ortalama ısı taşınım katsayısı 11.758,02 W/m²K değeri ile %6'lık hacimsel konsantrasyonda ve Re=1000 akış rejiminde CNT-Ga nanoakışkanına aittir. Çalışmada incelenen diğer nanoakışkanlar olan Cu-Ga, Ga-Al₂O₃ ile sıvı metal olan Ga'nın "h" değeri sırasıyla 11.427,88 W/m²K, 9.934,90 W/m²K ve 10.224,62 W/m²K'dir. Şekil 5.6 incelendiğinde en yüksek Nusselt değeri Ga-CNT nanoakışkanında elde edilmiştir. Nanoakışkanların hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça ortalama Nu değeri artmıştır. Bununla birlikte Zhou vd. tarafından elde edilen sonuçlarına göre sıvı metal Ga'ya göre Ga-CNT nanoakışkanının ortalama Nusselt sayısı %17,3 oranında artış göstermiş, ve Ga-Al₂O₃ nanoakışkanlarının ve ortalama Nusselt sayısı 2.1% azalma göstermiştir. Bu çalışmada artış oranları Zhou vd. tarafından yapılan çalışma ile kıyaslandığında Ga-CNT için %17,82 oranında artış, Ga-Al₂O₃ için %2,84 oranında azalma gözlemlenmiştir. Şekil 5.6'da Nu değerinin nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ile değişimi verilmiştir.



Şekil 5.5. Isı taşınım katsayısının dairesel kesitli kanal uzunluğu ile değişimi.



Şekil 5.6. Nusselt sayısının hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranıyla değişimi.

5.3. SABİT MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA NANOAKIŞKAN AKIŞI

Çalışmanın bu bölümünde manyetik alan şiddeti ile değişen ısı transferini etkileyen temel parametreler olan hız ve basınç değişimleri ile ortalama ısı taşınım katsayısının değişimi incelenerek grafikler halinde aşağıda verilmiştir.

5.3.1. Ga Akışkanına Ait Sonuçlar

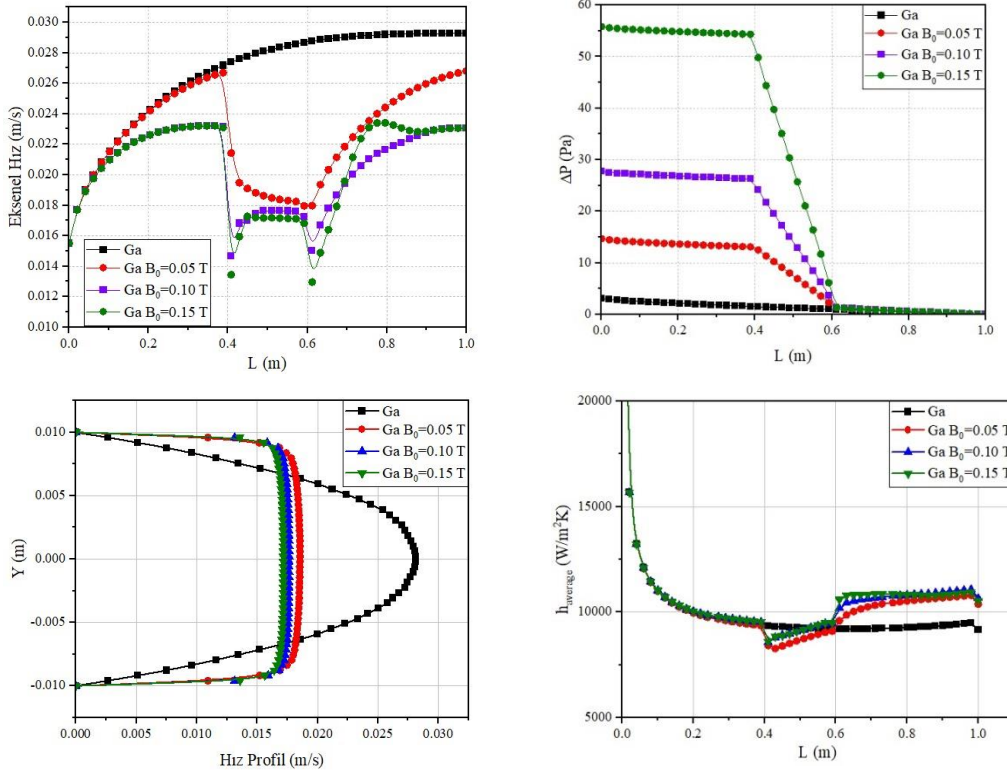
Galyum akışkanı için dairesel kesitli kanal boyunca gerçekleşen aksenal hız, basınç düşümü ve ısı taşınım katsayısı değişimleri Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Şekil 5.7(a)'daki aksenal hız değişimleri incelendiğinde akışın hidrodinamik kararlılığa ulaştığı noktadan itibaren aksenal hızın neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Akış geometrisinde akışı engelleyen bir bileşenin olmamasından dolayı $L=0,8m$ 'den sonra hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı ortaya çıkmaktadır. Manyetik alanın uygulanmasıyla birlikte galyum akışında bir değişim görülmektedir. Hızdaki bu ani düşüşün sebebi literatürde Kelvin kütle kuvveti olarak bilinen yüklü bir parçacığın, manyetik alan varlığı olan bir ortamdan geçerken manyetiklenmesi sonucunda üzerinde kuvvet oluşmasıdır. Kelvin kütle kuvveti manyetik alanın artışı ile artarken

manyetik alandan etkilenen ferro-manyetik yapıda malzemeler üzerinde farklı etkileşimler göstermektedir.

Dairesel kesitli kanal girişinden $L=0,6$ m konumuna kadar olan bölgede manyetik alan uygulanmadığında gerçekleşen basınç kaybı Şekil 5.7(b)'de gösterilmekte olup, en yüksek basınç kaybı $B=0,15T$ manyetik alan yoğunluğunda gözlemlenmiştir. Manyetik alan şiddeti arttıkça statik basınç değeri artmaktadır. Manyetik alan şiddeti ile ani basınç kayıpları gözlemlenmiştir. Maksimum basınç kaybı galyum sıvı metali için $B=0,15$ T değerinde 55.82 Pa'dır ve bu kayıp oranındaki artış manyetik olmayan duruma göre %1.676,15 daha fazladır ($B=0$ ise $\Delta P=3.14$).

Şekil 5.7(c)'de, farklı manyetik alan şiddetlerinde radyal hız profillerinin ($L=0,5m$) değişimi görülmektedir. Artan manyetik alan şiddeti hız sınır tabakasını azaltıcı yönde etki göstermiştir. Genel olarak dairesel kesitli kanala manyetik alan uygulandığında Kelvin kütle kuvvetinin geciktirici etkisinden dolayı hız alanı bastırıldığı için momentum sınır tabakası kalınlığını artış gösterir.

Ortalama ısı taşınım katsayısı değerleri manyetik alan uygulanan durumda manyetik olmayan duruma göre daha yüksektir. Ayrıca, Şekil 5.7(d)'den de görülebileceği gibi dairesel kesitli kanal boyunca manyetik alan uygulanan bölgedeki h_{ort} değerinde ani bir düşüş görülmektedir. Bunun sebebi manyetik alan uygulandığında akışkan viskozitesinin artması ve akışa daha fazla engel koyarak sıcaklık geçişinin arttırmasıdır. Manyetik olmayan durum ile kıyaslandığında manyetik etkisi altındaki artış oranları $B=0,05$, $0,10$ ve $0,15$ T için sırasıyla; %13,41, %15,26 ve %16,50 şeklindedir.



Şekil 5.7. Ga akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.

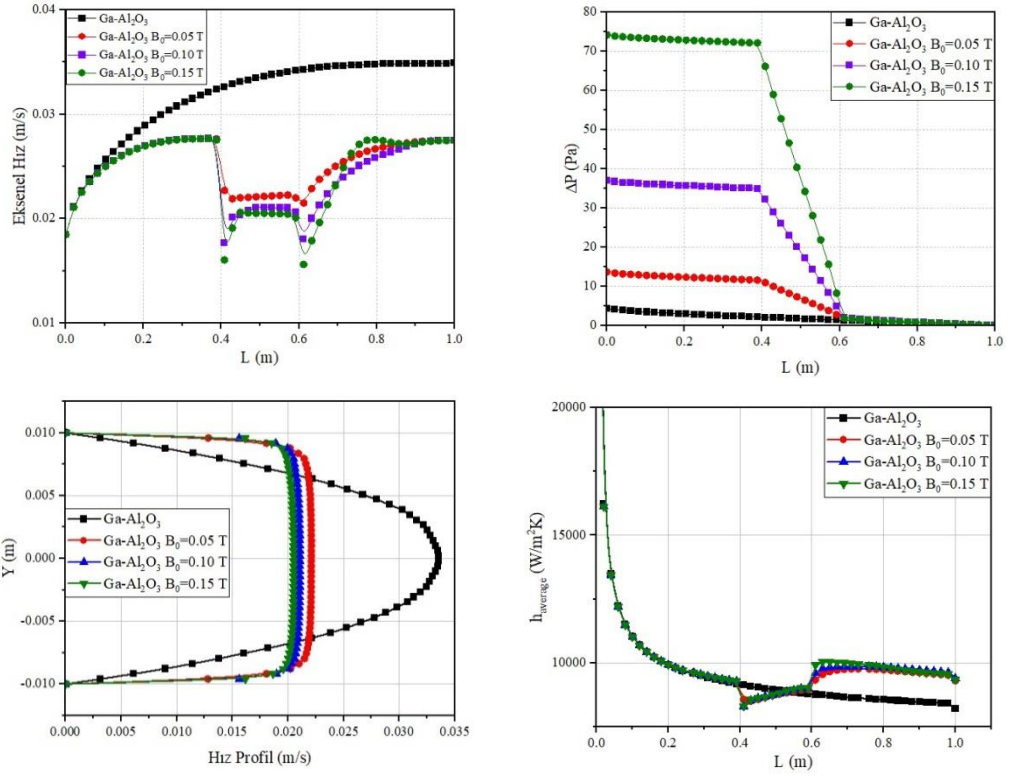
5.3.2. Ga-Al₂O₃ Akışkanına Ait Sonuçlar

Ga-Al₂O₃ nanoakışkanı için dairesel kesitli kanal boyunca eksenel hız, basınç düşümü ve ısı taşınım katsayısı değerlerinin değişimi Şekil 5.8'de gösterilmektedir. Şekil 5.8(a)'daki eksenel hız değişimleri incelendiğinde akışın hidrodinamik kararlılığa ulaştığı noktadan itibaren eksenel hızın neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Akış geometrisinde akışı engelleyen bir bileşenin olmamasından dolayı $L=0,8\text{m}$ 'den sonra hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı ortaya çıkmaktadır. Manyetik alanın uygulanmasıyla birlikte Ga-Al₂O₃ akışında bir değişim görülmektedir. Hızdaki bu ani düşüşün sebebi literatürde Kelvin kütle kuvveti olarak bilinen yüklü bir parçacığın, manyetik alan varlığı olan bir ortamdan geçerken manyetiklenmesi sonucunda üzerinde kuvvet oluşmasıdır. Kelvin kütle kuvveti manyetik alanın artışı ile artarken manyetik alandan etkilenen ferro-manyetik yapıda malzemeler üzerinde farklı etkileşimler göstermektedir.

Dairesel kanal içi akışa Şekil 5.8(b)'de görüldüğü gibi belirli bir konumda $B=0,05-0,10-0,15T$ değerinde sabit manyetik alan uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan Ga- Al_2O_3 nanoakışkanı içerisindeki manyetik geçirgenliği yüksek nanopartiküllerin zincir hareketleri ile birbirine bağlanarak manyetik alandan etkilendiği belirlenmiş olup, manyetik alan şiddeti ile ani basınç kayıpları gözlemlenmiştir. Ga- Al_2O_3 nanoakışkanın manyetohidrodinamik davranışı incelendiğinde manyetik alan yoğunluğunun basınç kaybı üzerindeki etkisinin hacimsel konsantrasyonundan daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.8(c)'de, manyetik alan şiddetinin Ga- Al_2O_3 nanoakışkanın radyal hız profilleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Artan manyetik alan şiddeti hız sınır tabakasını azaltıcı yönde etki göstermiştir. Genel olarak dairesel kesitli kanala manyetik alan uygulandığında Kelvin kütle kuvvetinin geciktirici etkisinden dolayı hız alanı bastırıldığı için momentum sınır tabakası kalınlığını artış gösterir. Manyetik alan etkisi nedeniyle hız değerlerinde meydana gelen düşüşler açıkça görülebilmektedir.

Ortalama ısı taşınım katsayısı değerleri manyetik alan uygulanan durumda manyetik olmayan duruma göre daha yüksektir. Ayrıca, Şekil 5.8(d)'den de görülebileceği gibi dairesel kesitli kanal boyunca manyetik alan uygulanan bölgedeki h_{ort} değerinde ani bir düşüş görülmektedir. Bunun sebebi manyetik alan uygulandığında akışkan viskozitesinin artarak partiküllerin birbirine daha fazla kenetlenmesi ve akışa daha fazla engel koyarak sıcaklık geçişinin arttırmasıdır. Manyetik olmayan durum ile kıyaslandığında manyetik etkisi altındaki artış oranları $B=0,05, 0,10$ ve $0,15 T$ için sırasıyla; %13.35, %13.75 ve %14.47 şeklindedir.



Şekil 5.8. Ga-Al₂O₃ akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerinin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.

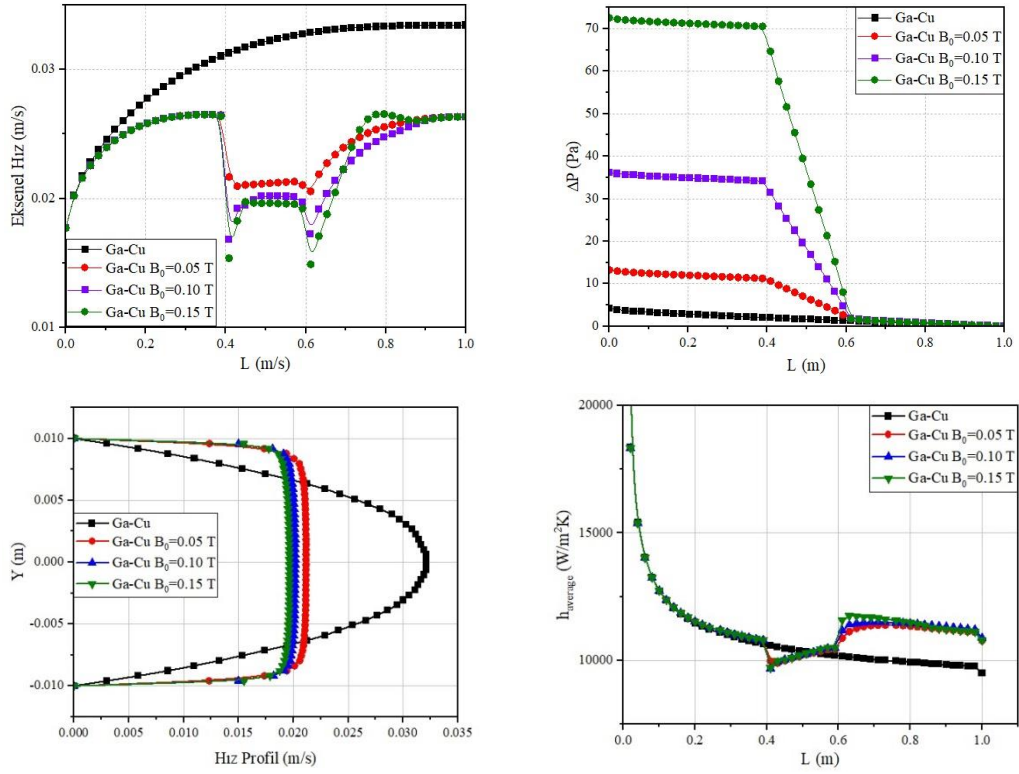
5.3.3. Ga-Cu Akışkanına Ait Sonuçlar

Ga-Cu nanoakışkanı için dairesel kesitli kanal boyunca eksenel hız, basınç düşümü ve ısı taşınım katsayısı değerlerinin değişimi Şekil 5.9'de gösterilmektedir. Şekil 5.9(a)'daki eksenel hız değişimleri incelendiğinde akışın hidrodinamik kararlılığa ulaştığı noktadan itibaren eksenel hızın neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Akış geometrisinde akışı engelleyen bir bileşenin olmamasından dolayı L=0,8m'den sonra hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı ortaya çıkmaktadır. Manyetik alanın uygulanmasıyla birlikte Ga-Cu akışında bir değişim görülmektedir. Hızdaki bu ani düşüşün sebebi literatürde Kelvin kütle kuvveti olarak bilinen yüklü bir parçacığın, manyetik alan varlığı olan bir ortamdan geçerken manyetiklenmesi sonucunda üzerinde kuvvet oluşmasıdır. Kelvin kütle kuvveti manyetik alanın artışı ile artarken manyetik alandan etkilenen ferro-manyetik yapıda malzemeler üzerinde farklı etkileşimler göstermektedir.

Dairesel kanal içi akışa Şekil 5.9(b)'de görüldüğü gibi belirli bir konumda $B=0,05-0,10-0,15T$ değerinde sabit manyetik alan uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan Ga-Cu nanoakışkanı içerisindeki manyetik geçirgenliği yüksek nanopartiküllerin zincir hareketleri ile birbirine bağlanarak manyetik alandan etkilendiği belirlenmiş olup, manyetik alan şiddeti ile ani basınç kayıpları gözlemlenmiştir. Ga-Cu nanoakışkanın manyetohidrodinamik davranışı incelendiğinde manyetik alan yoğunluğunun basınç kaybı üzerindeki etkisinin hacimsel konsantrasyonundan daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.9(c)'de, manyetik alan şiddetinin Ga-Cu nanoakışkanın radyal hız profilleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Artan manyetik alan şiddeti hız sınır tabakasını azaltıcı yönde etki göstermiştir. Genel olarak dairesel kesitli kanala manyetik alan uygulandığında Kelvin kütle kuvvetinin geciktirici etkisinden dolayı hız alanı bastırıldığı için momentum sınır tabakası kalınlığını artış gösterir. Manyetik alan etkisi nedeniyle hız değerlerinde meydana gelen düşüşler açıkça görülebilmektedir.

Ortalama ısı taşınım katsayısı değerleri manyetik alan uygulanan durumda manyetik olmayan duruma göre daha yüksektir. Ayrıca, Şekil 5.9(d)'den de görülebileceği gibi dairesel kesitli kanal boyunca manyetik alan uygulanan bölgedeki h_{ort} değerinde ani bir düşüş görülmektedir. Bunun sebebi manyetik alan uygulandığında akışkan viskozitesinin artarak partiküllerin birbirine daha fazla kenetlenmesi ve akışa daha fazla engel koyarak sıcaklık geçişinin arttırmasıdır. Manyetik olmayan durum ile kıyaslandığında manyetik etkisi altındaki artış oranları $B=0,05, 0,10$ ve $0,15 T$ için sırasıyla; % 13.51, % 13.60 ve % 14.64 şeklindedir.



Şekil 5.9. Ga-Cu akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerinin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.

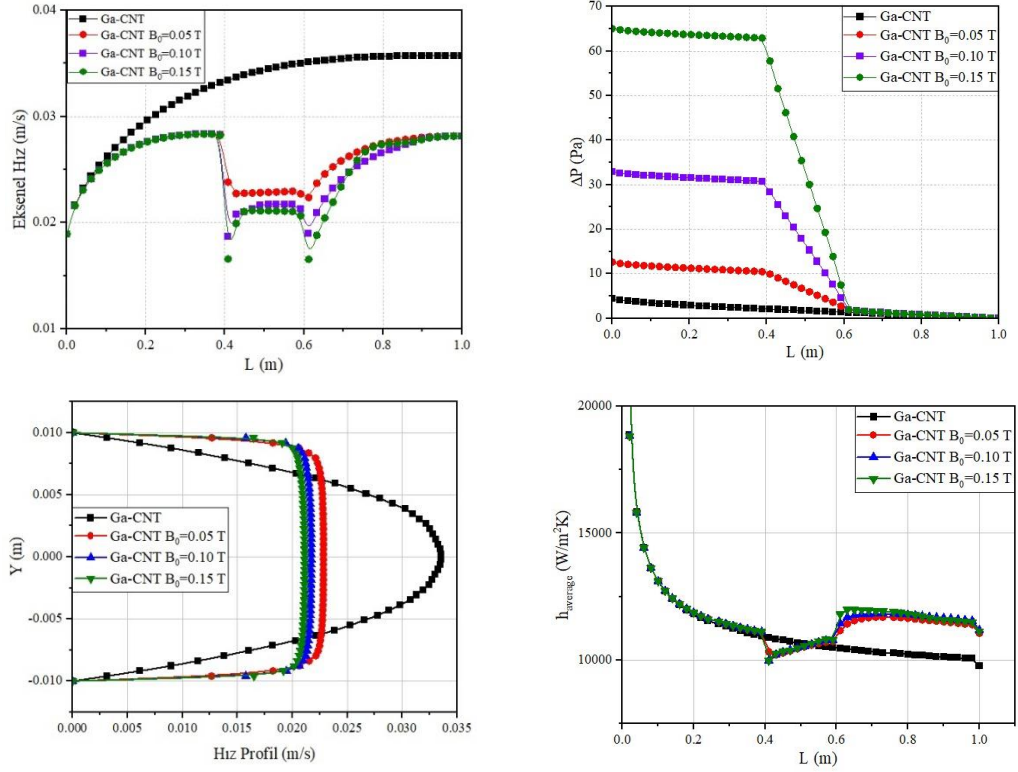
5.3.4. Ga-CNT Akışkanına Ait Sonuçlar

Ga-CNT nanoakışkanı için dairesel kesitli kanal boyunca eksenel hız, basınç düşümü ve ısı taşınım katsayısı değerlerinin değişimi Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Şekil 5.10(a)'daki eksenel hız değişimleri incelendiğinde akışın hidrodinamik kararlılığa ulaştığı noktadan itibaren eksenel hızın neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Akış geometrisinde akışı engelleyen bir bileşenin olmamasından dolayı $L=0,8m$ 'den sonra hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı ortaya çıkmaktadır. Manyetik alanın uygulanmasıyla birlikte Ga-CNT akışında bir değişim görülmektedir. Hızdaki bu ani düşüşün sebebi literatürde Kelvin kütle kuvveti olarak bilinen yüklü bir parçacığın, manyetik alan varlığı olan bir ortamdan geçerken manyetiklenmesi sonucunda üzerinde kuvvet oluşmasıdır. Kelvin kütle kuvveti manyetik alanın artışı ile artarken manyetik alandan etkilenen ferro-manyetik yapıda malzemeler üzerinde farklı etkileşimler göstermektedir.

Dairesel kanal içi akışa Şekil 5.10(b)'de görüldüğü gibi belirli bir konumda $B=0,05-0,10-0,15T$ değerinde sabit manyetik alan uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan Ga-CNT nanoakışkanı içerisindeki manyetik geçirgenliği yüksek nanopartiküllerin zincir hareketleri ile birbirine bağlanarak manyetik alandan etkilendiği belirlenmiş olup, manyetik alan şiddeti ile ani basınç kayıpları gözlemlenmiştir. Ga-CNT nanoakışkanın manyetohidrodinamik davranışı incelendiğinde manyetik alan yoğunluğunun basınç kaybı üzerindeki etkisinin hacimsel konsantrasyonundan daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.10(c)'de, manyetik alan şiddetinin Ga-CNT nanoakışkanın radyal hız profilleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Artan manyetik alan şiddeti hız sınır tabakasını azaltıcı yönde etki göstermiştir. Genel olarak dairesel kesitli kanala manyetik alan uygulandığında Kelvin kütle kuvvetinin geciktirici etkisinden dolayı hız alanı bastırıldığı için momentum sınır tabakası kalınlığını artış gösterir.

Ortalama ısı taşınım katsayısı değerleri manyetik alan uygulanan durumda manyetik olmayan duruma göre daha yüksektir. Ayrıca, Şekil 5.10(d)'den de görülebileceği gibi dairesel kesitli kanal boyunca manyetik alan uygulanan bölgedeki h_{ort} değerinde ani bir düşüş görülmektedir. Bunun sebebi manyetik alan uygulandığında akışkan viskozitesinin artarak partiküllerin birbirine daha fazla kenetlenmesi ve akışa daha fazla engel koyarak sıcaklık geçişinin arttırmasıdır. Manyetik olmayan durum ile kıyaslandığında manyetik etkisi altındaki artış oranları $B=0,05, 0,10$ ve $0,15 T$ için sırasıyla; % 13.21, % 14.02 ve % 14.52 şeklindedir.



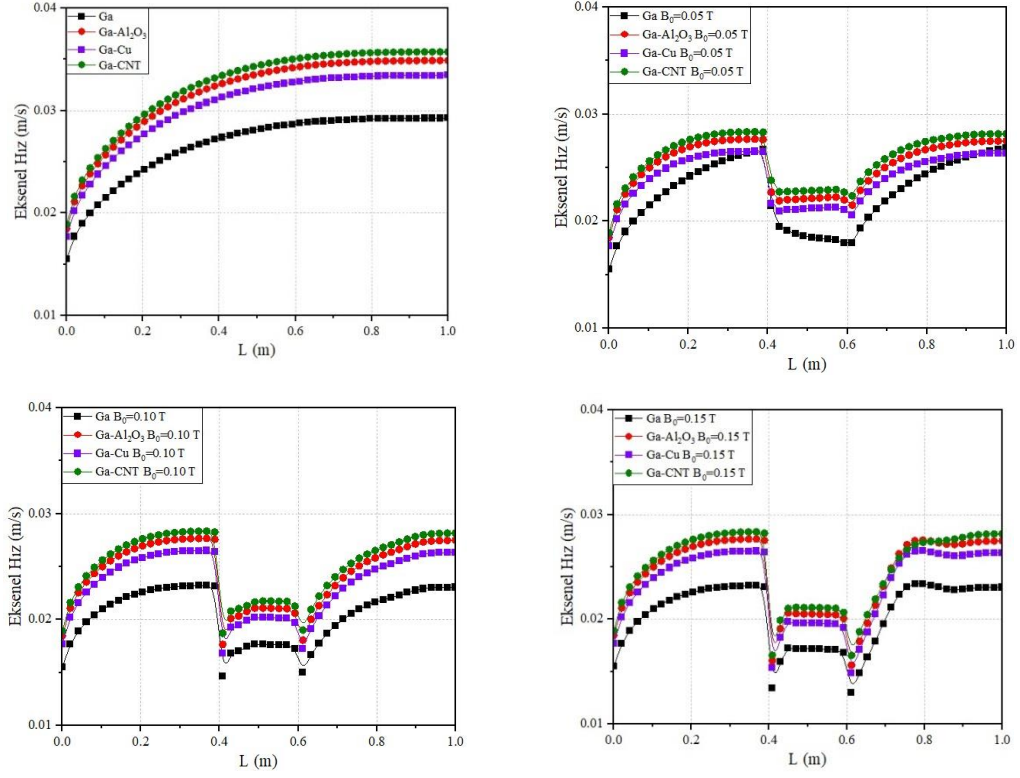
Şekil 5.10. Ga-CNT akışkana ait akış ve ısı transfer karakteristiklerinin sonuçları. a) Eksenel hız b) basınç farkı c) hız profili d) ortalama ısı taşınım katsayısı.

5.4. MANYETİK ALAN VARLIĞI VE YOKLUĞU DURUMLARINA AİT SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

5.4.1. Eksenel Hız Değişimi

Yapılan analizlerde akışkana ait eksenel hız değerlerinin manyetik alan uygulanmadığı durumlarda belli bir süre sonra kararlı hale ulaştığı ve akış hız profiline nispeten sabitlendiği görülmüştür. Ancak manyetik alan uygulanan bölgede eksenel hız değerinde düşüşler yaşandığı Şekil 5.11’de görülmektedir. Bu duruma sebebiyet veren etkinin manyetik alan uygulanmasıyla akışkanın Kelvin kütle kuvvetine maruz kalması ile açıklanmaktadır. Ayrıca Şekil 5.11(b) incelendiğinde nanoakışkan üzerindeki Kelvin kütle kuvvetinin etkisi görülebilmekte olup, DC manyetik alan uygulanmasın sonucunda nanoparçacıklar üstüne uygulanan manyetik kuvvet sonucu akış yavaşlamaktadır. Yine Şekil 5.11’de farklı nanopartikül tiplerine sahip galyum bazlı nanoakışkana farklı yoğunluklarda DC manyetik alan uygulanan ve

uygulanmayan koşulların hız değerlerinde de düşüşler görülebilmektedir. Sabit manyetik alanın uygulandığı bölgede nanoakışkanın hızında azalmanın bariz bir şekilde gerçekleştiği açıkça görülmektedir.

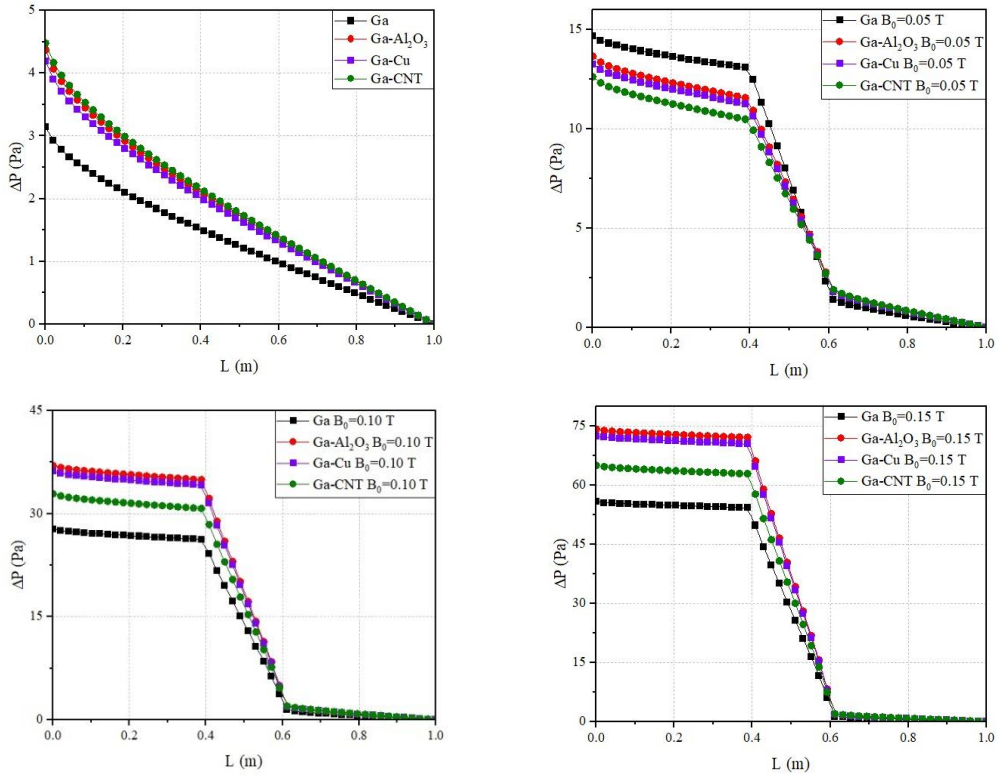


Şekil 5.11. Eksenel akış hız değişimi (B=0-0.05-0.10-0.15 T).

5.4.2. Basınç Değişimi

Şekil 5.12'den de görüleceği gibi manyetik alan uygulanmayan durumda bile nanoakışkan kullanılan analizlerin basınç kaybı temel akışkan olarak Ga'nın kullanıldığı duruma göre daha yüksektir. Ayrıca Şekil 5.12'den görüleceği gibi dairesel kesitli kanalın belirli bir bölgesine uygulanan manyetik alanın ani basınç düşüşlerine neden olduğu açıkça görülmektedir. Bu duruma neden olan etken manyetik alan uygulandığında nanoakışkan partiküllerinin birbirine daha fazla yaklaşarak kenetlenmeleri ve bu yüzden akışı engelleyerek basınç kaybını arttırmasıdır.

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi nanoakışkanların kullanılması durumunda ortaya çıkan basınç kayıpları galyumun kullanıldığı duruma göre her zaman daha büyük olup, DC manyetik alan uygulandığında bu kayıpların daha da arttığı belirlenmiştir. Dairesel kesitli kanal girişinden $L=0,6$ m olan bölgeye kadar manyetik alan uygulandığında oluşan basınç kayıpları Şekil 5.12’de verilmiş olup, en yüksek basınç kaybı $B=0,15T$ manyetik alan yoğunluğu uygulanan Al_2O_3/Ga ’da gözlemlenmiştir.

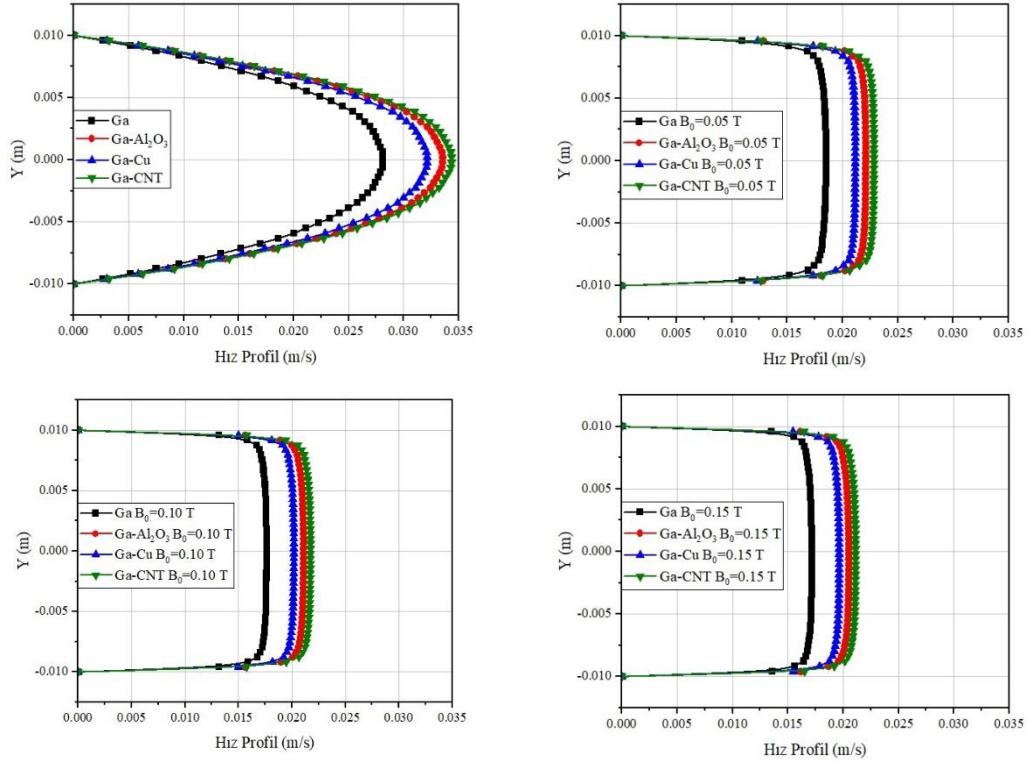


Şekil 5.12. Statik basıncın boru uzunluğu ile değişimi ($B=0-0.05-0.10-0.15$ T).

5.4.3. Radyal Hız Profili

Şekil 5.13’te farklı manyetik alan şiddetleri için $Re=1000$ değerinde radyal hız dağılımları verilmiştir. Grafikler incelendiğinde akışkana uygulanan manyetik alanın akış hız dağılımları üzerinde aktif bir rol oynadığı açıkça görülmektedir. Bunun sebebi ise aynı Re değeri için manyetik alan şiddetinin artmasıyla hız değerinin giderek azalmasıdır. Şekil 5.13’te manyetik alan yokluğunda ve varlığında her bir manyetik alan şiddeti için hız profili değişimleri çizilmiştir. Manyetik alan uygulandığında uygulanmayan durumuna göre parabolik görünümde olan hız profilinin merkezden

bastırılmış yassı bir görünüm aldığı görülmektedir. Manyetik alan etkisi nedeniyle hız değeri azalan nanoparçacıklar akışı engellemektedir. Manyetik alan uygulaması sonucunda artan basınç kayıpları ile oluşan bu hız profilinin benzer davranışı, iki olgunun birbiriyle bağlantılı olduğunu göstermektedir.

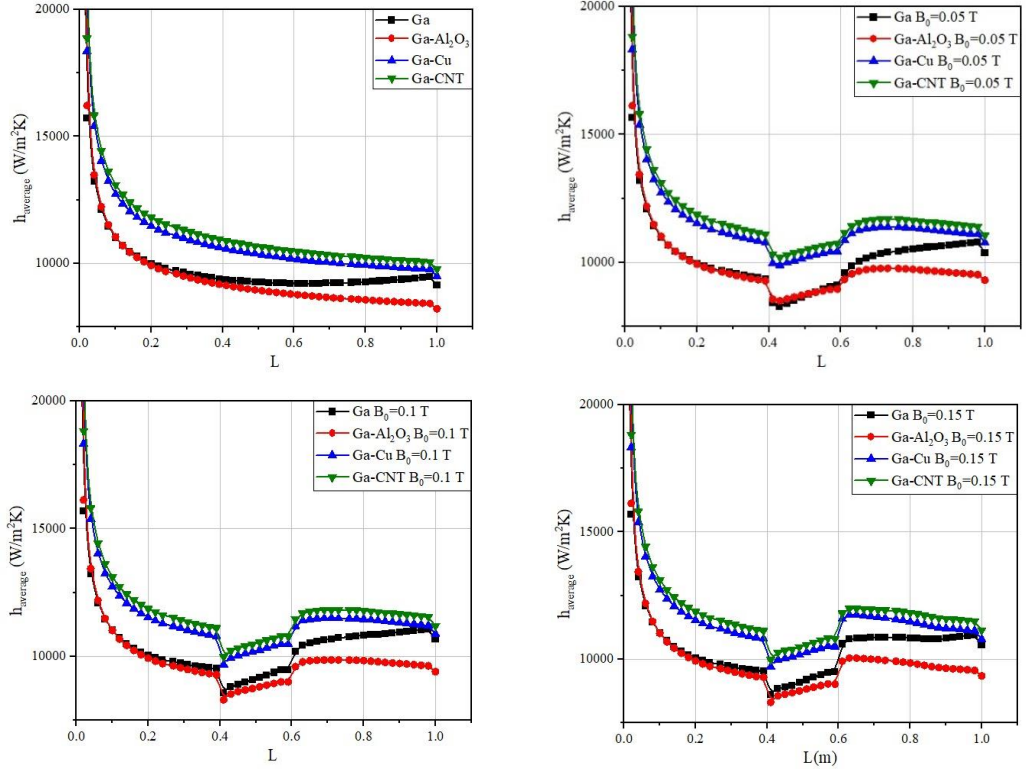


Şekil 5.13. Manyetik alan uygulanan ve uygulanmayan durumda borunun 0,5 m yüzeyindeki aksenal hız profili.

5.4.4. Isı Taşınım Katsayısının Değişimi

Sabit manyetik alan ($B=0,05-0,10-0,15$ T) etkisi altında çalışma akışkanı olarak Ga, Ga-Al₂O₃, Ga-Cu, Ga-CNT nanoakışkanları kullanılan durum için elde edilen boru boyunca ortalama ısı taşınım katsayısı değerlerinin değişimi Şekil 5.14'te verilmiştir. Şekil 5.14'te görüldüğü üzere sabit manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkan akışının akış karakteristiği ve ısı transferi performansı, manyetik alan etkisi olmayan durum ile kıyaslandığında benzer eğilim göstermektedir. Manyetik alan uygulanmayan durumda çalışma akışkanı olarak kullanılan Ga-CNT nanoakışkanı galyum kullanılan duruma göre %15,01'ye varan ısı transferi artış oranı elde edilmiştir. Bununla birlikte sabit manyetik alan etkisi altında Ga-CNT nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilen h_{ort}

değerleri, çalışma akışkanı olarak galyum kullanılan duruma göre daha yüksek olmuştur. Ortalama ısı taşınım katsayısı $Re=1000$ ve %6 hacimsel konsantrasyon oranına sahip Ga-CNT için sabit manyetik alan şiddeti $B=0,05-0,10-0,15$ T için sırayla; %20, %20,64 ve %20,88 değerlerinde ısı transferi artış oranları elde edilmiştir.



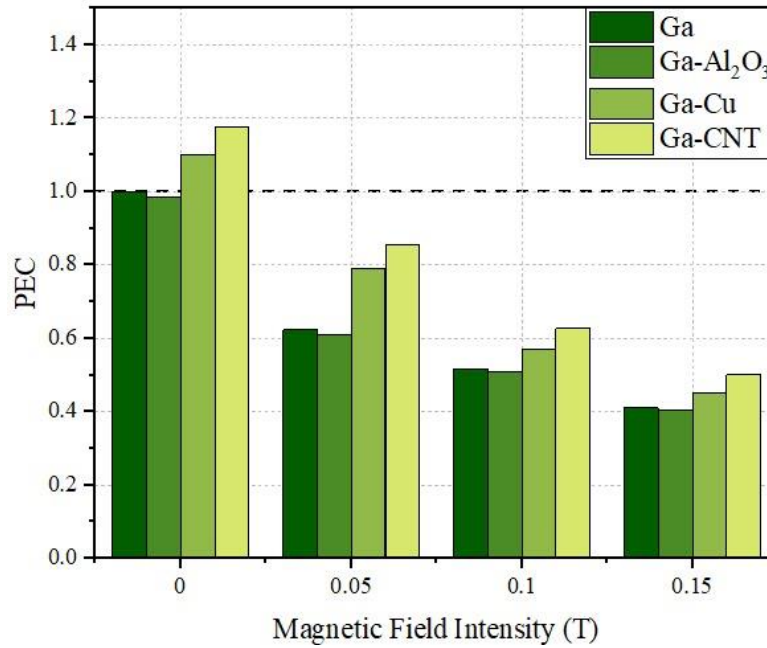
Şekil 5.14. Ortalama ısı taşınım katsayısının değişimi ($B=0-0.05-0.10-0.15$ T).

5.5. PERFORMANS DEĞERLENDİRME KRİTERİ (PDK)

Literatürde PEC (Performance Evaluation Criterion) olarak ifade edilen Performans Değerlendirme Kriteri (PDK), sistem verimliliğini değerlendirebilmek için kullanılan bir kavramdır. Bu çalışmada ise nanoakışkan ve manyetik alan uygulanması sonucu elde edilen Nusselt sayısının değişim oranını ve Darcy sürtünme faktöründe meydana gelen değişim oranı ile kıyaslanması olarak açıklanabilir.

Şekil 5.15'te $Re=1000$ akış rejimi ve farklı manyetik alan şiddeti altındaki Ga- Al_2O_3 , Ga-Cu, Ga-CNT nanoakışkanlarının performans değerlendirme katsayılarına ait sonuçlar verilmiştir. Şekil 5.15'teki PDK sonuçları incelendiğinde sabit manyetik alan

şiddetinin ısı transferi performansı ile ters orantılı çıktığı görülmüştür. Manyetik alan şiddetinin olmadığı durumda PDK sayısı 1'den yüksek çıkan nanoakışkanların Ga-CNT ve Ga-Cu nanoakışkanları olduğu görülmüştür. Bu değerler %6'lık hacimsel konsantrasyon oranına sahip; Ga-CNT için "1,17", Ga-Cu için "1,10" olarak elde edilmiştir. CNT'nin, ısı iletim katsayısının yüksek olması nedeniyle diğer nanoakışkanlara göre ısı transferi performansı, basınç düşümü artışına göre daha fazla olmuştur. Ga-Al₂O₃ nanoakışkanı için PDK<1 sonucu elde edilmiştir. Bunun sebebi Ga-Al₂O₃ nanoakışkanına ait ısı transferinin %2,83 oranında azalması ve basınç kaybının %39,19 artmış olmasıdır. Fakat sabit manyetik alan yoğunluğundaki artış ile PDK sayılarında kayda değer düşüşler meydana gelmiştir. Sabit manyetik alan etkisi altındaki h_{ort} değerleri genel olarak artmasına rağmen statik basınç değerlerinin daha fazla artışı nedeniyle tüm nanoakışkanlarda PDK değerleri 1'in altında kalmıştır. Bu sonuçlara göre sıvı metal bazlı nanoakışkanlar için ısı transferi artışı istenen sistemlerde manyetik alan uygulamasının avantajlı olmadığı söylenebilir.



Şekil 5.15. Performans değerlendirme kriteri.

BÖLÜM 6

SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, manyetik alan etkisi altındaki Galyum sıvı metal bazlı nanoakışkan akışının akış ve ısı transferi özelliklerine etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal analizler laminer akış ($Re=1000$) şartlarında %3,0, %6,0 ve %9,0 nanopartikül hacimsel konsantrasyonlarındaki Ga- Al_2O_3 , Ga-Cu ve Ga-CNT nanoakışkanları için yapılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen çıktılar aşağıdaki gibidir:

- Tüm analizlerde baz akışkan galyum içerisine nanopartikül ilave edilmesi Al_2O_3 hariç taşınım ile gerçekleşen ısı transfer miktarını arttırmıştır.
- Çalışmada, ısı transferi artış miktarları ve kanal içi basınç düşümü değerleri birlikte değerlendirildiğinde nanoakışkanların Performans Değerlendirme Katsayıları (PDK) belirlenmiştir. PDK sonuçlarına göre manyetik alan yokluğunda sırasıyla %6,0 Ga-CNT ve %6,0 Ga-Cu nanoakışkanı en ideal çalışma akışkanı olmuştur.
- Sıvı metal bazlı nanoakışkanların manyetik alan etkisi altında performansı azalmıştır. Sıvı metal bazlı nanoakışkanlar için ısı transferi artışı istenen sistemlerde manyetik alan uygulamasının avantajlı olmadığı görülmüştür.
- Manyetik alan uygulanmayan durumda saf Galyuma nanopartikül eklenmesi artan basınç düşümüne rağmen ısı transferi artışı sunmuştur. Bu noktada en iyi nanoakışkan %6,0 hacimsel konsantrasyon oranına sahip Ga-CNT nanoakışkanı olmuştur.
- Yapılacak benzer çalışmalarda sıvı metal baz akışkanlı nanoakışkanlara manyetik alan uygulanmaması ve farklı nanopartikül tipleri ile farklı hacimsel konsantrasyon oranlarının çalışılması önerilir.

KAYNAKLAR

1. Tekir, M. “Farklı dalga tiplerinde alternatif manyetik alan etkisi altında dairesel kesitli kanal içerisindeki hibrit nanoakışkanın akış ve ısı transferi karakteristiklerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi”, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2020.
2. Taştan, G., Dairesel bir borudaki zorlanmış taşınımın ısı transferine nanopartikül şekil etkisinin sayısal olarak incelenmesi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2022.
3. Imran, N., Javed, M., Sohail, M., Farooq, S., Qayyum, M., Outcome of slip features on the peristaltic flow of a Rabinowitsch nanofluid in an asymmetric flexible channel, *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures, Emerald Publishing Limited* 1573-6105, DOI 10.1108/MMMS-02-2020-0039
4. Hartmann, J., Theory of laminar flow of an electrically conductive liquid in a homogeneous magnetic field. Munksgaard.1937.
5. Salman, B.H., Mohammed, H.A. and Kherbeet, A. Sh., Heat transfer enhancement of nanofluids flow in in microtube with constant heat flux, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 1195-1204, 2012.
6. Teamah, M.A., Dawood, M.M.K. and Shehata, A., Numerical and experimental investigation of flow structure and behavior of nanofluids flow impingement on horizontal flat plate. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74, pp.235-246 2016.
7. Aminossadati, S.M. and Ghasemi, B., Natural convection cooling of a localised heat source at the bottom of a nanofluid-filled enclosure. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 28(5), pp.630-640, 2009.
8. Nayak, M.K., Dash, G.C. and Singh, L.P., Steady MHD flow and heat transfer of a third-grade fluid in wire coating analysis with temperature dependent viscosity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 79, 741-754, 2014.
9. Muthuraj, R. and Srinivas, S., A note on heat transfer to MHD oscillatory flow in an asymmetric wavy channel, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 1255-1260, 2010.
10. Satyamurthy, P., Swain, P.K., Tiwari, V., Kirillov, I.R., Obukhov, D.M. and Pertsev, D.A., Experiments and numerical MHD analysis of LLCB TBM Test-section with NaK at 1 T magnetic field, *Fusion Engineering and Design*, 91, 44-51, 2015.

11. Zhang, X., Xu, Z. and Pan, C., Numerical analysis of MHD duct flow with a flow channel insert, *Fusion Engineering and Design*, 85, 2090- 2094, 2010.
12. Narankhishig, Z., Ham, J., Lee, H., Cho, H. Convective heat transfer characteristics of nanofluids including the magnetic effect on heat transfer enhancement - a review, *Applied Thermal Engineering* 193 (2021) 116987
13. Yang, L., Mao, J., Xiong, B. Numerical simulation of liquid metal MHD flows in a conducting rectangular duct with triangular strips, *Fusion Engineering and Design* 163 (2021) 112152
14. Bühler, L. and Mistrangelo, C., Pressure drop and velocity changes in MHD pipe flows due to a local interruption of the insulation. *Fusion Engineering and Design*, 127, pp.185-191, 2018.
15. Aoyagi, M., Ito, S., Hashizume, H. and Muroga, T., MHD pressure drop characteristics in a three-surface-multi-layered channel under a strong magnetic field. *Fusion engineering and design*, 85(7-9), pp.1181-1184, 2010.
16. Recebli, Z., Selimli, S. and Gedik, E., Three dimensional numerical analysis of magnetic field effect on Convective heat transfer during the MHD steady state laminar flow of liquid lithium in a cylindrical pipe. *Computers & Fluids*, 88, pp.410-417, 2013.
17. Gedik, E., Kurt, H., Recebli, Z. and Keçebaş, A., Unsteady flow of two-phase fluid in circular pipes under applied external magnetic and electrical fields, *International Journal of Thermal Sciences*, 53, 156-165, 2012.
18. Zhou, X., Jiang, Y., Wang, Y., Jiang Y., Huan, H., “Comprehensive heat transfer performance analysis of liquid metal based nanofluid laminar flow in circular tube” *International Journal of Mechanical Sciences*, 175 (2020) 105530
19. Choi, S.U. ve Eastman, J.,” Enhancing thermal conductivity of fluids with Nanoparticles.”, *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, San Francisco, CA., (1995).
20. Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A., “Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles.”, *Asme Journal of Heat Transfer*, 121, 280–289, (1999).
21. Qin, Y., Nanofluid heat transfer within a pipe equipped with external device. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 127, p.105487, 2021.
22. Sureshkumar, R., Mohideen, S.T. and Nethaji, N., Heat transfer characteristics of nanofluids in heat pipes: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, pp.397-410, 2013.

23. Nazari, M.A., Ghasempour, R., Ahmadi, M.H., Heydarian, G. and Shafii, M.B., Experimental investigation of graphene oxide nanofluid on heat transfer enhancement of pulsating heat pipe. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 91, pp.90-94, 2018.
24. Gedik, E., "Silindirik borularda manyetohidrodinamik akışın deneysel olarak incelenmesi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal analizi", *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2012.
25. Cengel, Y. and Cimbala J. M., "*Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*", 3th Editio. Ed., Tahsin, E., Palme yayıncılık: 9-13, 353-358, (2015).
26. Shah, R. K. and London, A. L., "*Laminar Flow Forced Convection in Ducts: A Source Book for Compact Heat Exchanger Analytical Data*", Laminar Flow Forced Convection in Ducts, (1978).
27. Gnielinski, V., "*G1 Heat Transfer in Pipe Flow*", VDI Heat Atlas, (2010).
28. Churchill, S. W. and Ozoe, H., "Correlations for laminar forced convection with uniform heating in flow over a plate and in developing and fully developed flow in a tube", (1973).
29. Mills, A. F., "*Basic Heat and Mass Transfer*", Prentice Hall, (1999).
30. Gürdal, M. "Çukur kanatçıklı kanal içindeki nanoakışkan akışına etkiyen manyetik alanın ısı transferi ve akış karakteristiği üzerine etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi", *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Doktora Tezi*, 2022.
31. Tu, J., Yeoh, G.-H., Liu, C., "*Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Temelleri ve Uygulamaları 3. baskı*", Çeviri Editörü, Engin T., Ankara, 1-42 (2020)
32. Gedik, E., Kurt, H., Recebli, Z. and Balan, C., 2012. Two-dimensional CFD simulation of magnetorheological fluid between two fixed parallel plates applied external magnetic field. *Computers & fluids*, 63, pp.128-134.

ÖZGEÇMİŞ

Suat ÖZGÜR, ilk ve orta öğrenimini Giresun'da tamamladıktan sonra 1999 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesinde Tesisat Öğretmenliği lisans eğitimine başladı. 2003 yılında lisans eğitimini tamamlayarak mezun oldu. Mezun olduktan sonra, 2015 yılına kadar endüstriyel tesisler, otel, hastane, toplu konut projelerinde mekanik şef olarak çalıştı. 2015 yılından itibaren Milli Eğitim Bakanlığında Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Öğretmeni olarak çalışmaya devam etmekte. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine başladı.