T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI TİP NANOAKIŞKAN İÇEREN ELİPTİK KANALDA AKIŞIN MODELLENMESİ VE ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

SELCEN AKINCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÇİĞDEM SUSANTEZ

EDİRNE-2021

SELCEN AKINCI'NIN hazırladığı **"FARKLI TİP NANOAKIŞKAN İÇEREN ELİPTİK KANALDA AKIŞIN MODELLENMESİ VE ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ"** başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):	İmza
Prof. Dr. Kamil KAHVECİ	……
Prof. Dr. Elif ÖĞÜT	……
Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem SUSANTEZ	……

Tez Savunma Tarihi: 15/02/2021

Bu tezin yüksek lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem SUSANTEZ
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

26/01/2021

Selcen Akıncı

Yüksek Lisans Tezi

Farklı Tip Nanoakışkan İçeren Eliptik Kanalda Akışın Modellenmesi ve Isı Transferinin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada COMSOL Multiphysics programı kullanılarak farklı nanoakışkanlar ile eliptik bir kanalda doğal taşınım ile ısı transferi iki boyutlu olarak ele alınmıştır. Öncelikle denklemler boyutsuzlaştırılarak programa tanımlanmıştır. Eliptik kanal geometri şartları, nanopartikül tipi, hacim fraksiyonu, Gr sayısı değiştirilerek maksimum Nu sayıları tespit edilmiştir. İncelenen nanopartiküller CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co'dur. Nanopartiküllerin su bazlı akışkan ile etkileri incelenmiştir. Genel olarak en yüksek değerler Gr değeri 10^5 ve hacim fraksiyonu değeri 0,2 iken tespit edilmiştir. Değişen L ve d değerlerine göre alınan Nu değerleri incelenmiş ve hangi parametrenin daha etkili olduğu gözlenmiştir. Maksimum Nu sayısı Fe_3O_4 nanopartikülü için elips geometrisi L=1, d=4 ve Ø=0,2, Gr=10^5 değerlerinde 6,977 olarak tespit edilmiştir.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 100

Anahtar Kelimeler : Nanoakışkan, Isı Transferi, Nanopartikül, Hacim Fraksiyonu, Eliptik Geometri

Master's Thesis

Modeling of Flow and Investigation of Heat Transfer in Elliptic Channel Containing Different Types of Nanofluids

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

In this study, heat transfer by natural convection in an elliptical channel with different nanofluids was investigated in two dimensions by using the COMSOL Multiphysics program. First of all, the equations were nondimensionalized and defined in the program. The maximum Nu numbers were determined by changing the elliptical channel geometry, nanoparticle type, volume fraction and Gr number. The nanoparticles studied are CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co. The effects of nanoparticles with water-based fluid have been studied. Generally, the highest values have been determined when the Gr value is 10^5 and the volume fraction value is 0.2. The Nu values obtained according to the change of L and d values have been examined and it was observed which parameter is more effective. The maximum Nu number was determined as 6,977 for the Fe_3O_4 nanoparticle at the ellipse geometry when L = 1, d = 4 and $\emptyset$ = 0,2, Gr = 10^5 values.

Year : 2021

Number of Pages : 100

Keywords : Nanofluid, Heat Transfer, Nanoparticle, Volume Fraction, Elliptical Geometry

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada sıcak ve soğuk kaynaklara temaslı, nanoakışkanın ovalliği değişen geometrideki kanalda ısı ve akış analizi modellenmiştir. Nanoakışkan içeren kanalda ısı transferinin katı hacim fraksiyonu, Grashof sayısı, nanopartikül tipi ve ovallik değeri ile nasıl değişim gösterdiği incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan kısmen faydalanılarak farklı parametrelerin etkisi bir arada incelenip, ısı transferindeki ovallik parametrelerine, Gr sayısına, hacim fraksiyonu değerine ve nanopartikül cinsine göre iyileşme kapsamlı şekilde gözlemlenmiştir. Nümerik analiz işlemleri için Comsol Multiphysics programı kullanılarak oval bir geometrideki doğal taşınımla ısı transferi Nu değerleri ele alınarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasını yapmamda büyük emeği geçen ve her aşamada bana yardımcı olan kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem SUSANTEZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET….....iv

ABSTRACT….....v

TEŞEKKÜR.....vi

İÇİNDEKİLER.....vii

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....ix

ŞEKİLLER DİZİNİ…….....……..……....xi

ÇİZELGELER DİZİNİ……..…..……..…...xiv

BÖLÜM 1.....1

GİRİŞ.....1

1.1. Nanoakışkanların Hazırlanması.....2

1.2. Literatür Araştırması.....3

BÖLÜM 2.....14

TEMEL DENKLEMLER VE VALİDASYON.....14

BÖLÜM 3.....22

ELİPTİK GEOMETRİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELİN OLUŞTURULMASI.....22

BÖLÜM 4.....25

ANALİZ SONUÇLARI.....25

4.1. Cu Nanopartikülü İçin Farklı Parametrelere Göre Alınan Nu Değerleri.....26

4.2. CuO Nanopartikülü İçin Farklı Parametrelere Göre Alınan Nu Değerleri.....34

4.3. Al_2O_3 Nanopartikülü İçin Farklı Parametrelere Göre Alınan Nu Değerleri….....39

4.4. CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co Nanopartikül-Su Bazlı Nanoakışkanlar İçin d=5, L=5, $Gr=10^5$ Değerlerinde ∅=0-0,2 Değişen Aralıklarda Alınan Nu Değerleri.....46

4.5. Ag Nanopartikülü İçin Gr=10^5 Ø=0.2 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri.....48
4.6. TiO_2 Nanopartikülü İçin Gr=10^5 Ø=0.2 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri.....55
4.7. Co Nanopartikülü İçin Gr=10^5 Ø=0.16 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri.....58
4.8. Fe_3O_4 Nanopartikülü İçin Gr=10^5 Ø=0.2 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri.....63
4.9. SiO_2 Nanopartikülü İçin Gr=10^5 Ø=0.16 Değerinde L=1-10 ve d=4-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri.....66
BÖLÜM 5.....68
FARKLI NANOAKIŞKANLAR İÇİN SİMÜLASYON SONUÇLARI.....68
BÖLÜM 6.....77
SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....77
KAYNAKLAR.....80
ÖZGEÇMİŞ.....85

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

C_p	sabit basınçta özgül ısı ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
β_T	termal genleşme katsayısı (K^{-1})
2L	elipsin yatay yarıçap değeri (m)
Ag	Gümüş
Al_2O_3	Alüminyum oksit(alümina)
Co	Kobalt
Cu	Bakır
CuO	Bakır(II) oksit
d_{kanal}	eliptik kanal çapı
Fe_3O_4	Demir (II, III) oksit
GO	Grafen oksit
Gr	Grashof sayısı
H	Kapalı ortamın yüksekliği (m)
k	termal iletkenlik (WmK^{-1})
L	Kapalı ortamın eni (m)
Mn	Mangan
Nu	Nusselt sayısı
P	basınç (Pa)
PAO	Polialfaolefin
Pr	Prandtl sayısı
SiC	Silisyum Karbür
SiO_2	Silikon Dioksit
T_C	soğuk kenar sıcaklığı (K)
T_H	sıcak kenar sıcaklığı (K)
TiO_2	Titanoksit
Zn	Çinko

α	termal yayılım (m^2/s)
β	sıvı tabaka kalınlığının orijinal parçacık yarıçapına oranı
ΔT	sıcaklık farkı (K)
μ	dinamik viskozite (Pa.s)
ρ	yoğunluk (kg / m3)
Ψ	küresellik
ar	aspect ratio (ar = H/L)
g	yerçekimi ivmesi (ms^{-2})
n	şekil faktörü ($= 3 / \Psi$)
$\dot{q}$	ısı akısı (Wm^{-2})
u	x yönünde hız bileşeni (ms^{-1})
v	y yönünde hız bileşeni (ms^{-1})
x	yatay koordinat (m)
y	dikey koordinat (m)
ν	kinematik viskozite (m^2s^{-1})
ϕ	katı hacim fraksiyonu

*	Boyutsuz değişken ifadesi
C	cold
eff	efektif
f	fluid
H	hot
rat	ratio
s	solid
a	average

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Deney düzeneği şeması.....5
Şekil 1.2. Isıl iletkenlik ölçüm aparatı.....10
Şekil 1.3. Kendi kendine pompalama sisteminin şeması.....12
Şekil 1.4. Bir ısı aktarım tüpü.....13
Şekil 2.1. Fiziksel modelin şeması.....14
Şekil 2.2. Khanafer vd.(2003)'nin çalışmasıyla yapılan validasyon grafiği.....21
Şekil 3.1. Analiz edilecek fiziksel model.....24
Şekil 4.1. Cu nanopartikülü için 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre Ø=0,2 ve L=5 değerinde alınan Nu değeri sonuçları.....28
Şekil 4.2. Cu nanopartikülü için değişen ovallik değerlerine karşılık farklı Gr sayılarında bulunan Nu değerleri.....29
Şekil 4.3. Cu nanopartikülü için değişen Gr sayılarında (10^3-10^4) ve değişen ovallik değerlerinde Nu değerleri.....30
Şekil 4.4. Cu nanopartikülü için değişen Gr sayılarında (10^4-10^5) ve değişen ovallik değerlerinde Nu değerleri.....31
Şekil 4.5. Cu nanopartikülü ile ovallik değeri d=5 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.....33
Şekil 4.6. Cu nanopartikülü ile ovallik değeri d=5 ve L=5 iken 10^4-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.....34
Şekil 4.7. CuO nanopartikülü ile ovallik değeri d=2-16 ve 10^3-10^4 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 değerleri için alınan Nu değeri sonuçları.....36
Şekil 4.8. CuO nanopartikülü ile ovallik değeri d=5-16 ve 10^4-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.....37
Şekil 4.9. CuO nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-20 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....39

Şekil 4.10. Al_2O_3 nanopartikülü ile ∅=0,12, 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri.....40
Şekil 4.11. Al_2O_3 nanopartikülü ile10^4-10^5 aralıklarındaki L=5 ve ∅=0.12 iken Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları.....43
Şekil 4.12. Al_2O_3 nanopartikülü ile ovallik değeri d=10 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık ∅=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.....45
Şekil 4.13. CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co nanopartikül-su bazlı nanoakışkanlar için d=5, L=5, Gr=10^5 değerlerinde ∅=0-0,2 değişen aralıklarda alınan Nu değerleri.....47
Şekil 4.14. Ag nanopartikülü için Gr=10^5 ∅=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....49
Şekil 4.15. d=2 L=1-10 değerlerinde geometri.....50
Şekil 4.16. d=3 L=1-10 değerlerinde geometri.....50
Şekil 4.17. d=4 L=1-10 değerlerinde geometri.....51
Şekil 4.18. d=5 L=1-10 değerlerinde geometri.....51
Şekil 4.19. d=6 L=1-10 değerlerinde geometri.....52
Şekil 4.20. d=7 L=1-10 değerlerinde geometri.....52
Şekil 4.21. d=8 L=1-10 değerlerinde geometri.....53
Şekil 4.22. d=9 L=1-10 değerlerinde geometri.....53
Şekil 4.23. d=10 L=1-10 değerlerinde geometri.....54
Şekil 4.24. Gr=10^5 ∅=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....56
Şekil 4.25. TiO_2 için d=4 Gr=10^5 olması durumunda değişen ∅ değerinde L=1-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....57
Şekil 4.26. Co nanopartikülü için Gr=10^5 ∅=0.16 değerinde L=1-10 ve d=4-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....59
Şekil 4.27. Co nanopartikülü için Gr=10^5, L=1-2 ve d=4 ve tüm ∅ değerlerinde hesaplanan Nu değerleri.....60
Şekil 4.28. Co nanopartikülü için Gr=10^5, L=1-2 ve d=5 ve tüm ∅ değerlerinde hesaplanan Nu değerleri.....61

Şekil 4.29. Fe_3O_4 nanopartikülü için $Gr=10^5$ $\emptyset=0.2$ değerinde L=1-10 ve d=4-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerlerinin grafik ile ifadesi.....64
Şekil 4.30. SiO_2 nanopartikülü için $Gr=10^5$ $\emptyset=0.16$ değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....66
Şekil 5.1. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=2 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....68
Şekil 5.2. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=3 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....69
Şekil 5.3. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=4 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....70
Şekil 5.4. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=5 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....71
Şekil 5.5. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=6 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....72
Şekil 5.6. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=7 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....73
Şekil 5.7. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=8 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....74
Şekil 5.8. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=9 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....75
Şekil 5.9. $Gr=10^5$, $\emptyset=0.2$ L=1, d=10 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.....76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ø=0 değerinde artan mesh sıkılığında farklı Gr sayıları için alınan Nu değerleri.....19
Çizelge 2.2. Ortalama Nu değerleri.....19
Çizelge 2.3. Baz akışkan ve nanopartikül termofiziksel özellikleri.....20
Çizelge 4.1. Cu nanopartikülü, Ø=0,16, d=5, L=5 değerleri için yapılan mesh analizi.....25
Çizelge 4.2. Cu nanopartikülü için 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre Ø=0,2 ve L=5 değerinde alınan Nu değeri sonuçları.....27
Çizelge 4.3. Cu nanopartikülü ile ovallik değeri d=5 ve L=5 iken 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.....32
Çizelge 4.4. CuO nanopartikülü Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 değer ile ovallik değeri d=2-16, 10^3-10^5 aralıklarındaki alınan Nu değeri sonuçları.....35
Çizelge 4.5. CuO nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-20 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....38
Çizelge 4.6. Al_2O_3 nanopartikülü için Ø=0,12, L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları.....40
Çizelge 4.7. Al_2O_3 nanopartikülü ile10^4-10^5 aralıklarındaki L=5 ve Ø=0.12 iken Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları.....42
Çizelge 4.8. Al_2O_3 nanopartikülü ile ovallik değeri d=10 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.....44
Çizelge 4.9. CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co nanopartikül-su bazlı nanoakışkanlar için d=5, L=5, Gr 10^5 değerlerinde Ø=0-0,2 değişen aralıklarda alınan Nu değerleri.....46
Çizelge 4.10. Ag nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....48

Çizelge 4.11. TiO_2 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....55
Çizelge 4.12. TiO_2 için, d=4, $Gr=10^5$ olması durumunda değişen Ø değerinde L=1-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....57
Çizelge 4.13. Co nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....58
Çizelge 4.14. Co nanopartikülü için $Gr=10^5$, L=1-2 ve d=4-5 ve tüm Ø değerlerinde hesaplanan Nu değerleri.....60
Çizelge 4.15. Fe_3O_4 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....63
Çizelge 4.16. Çizelge 4.15'deki değerler baz alınarak iki L değerlerine karşılık gelen Nu değerleri farkları.....65
Çizelge 4.17. Çizelge 4.15'deki değerler baz alınarak iki d değerlerine karşılık gelen Nu değerleri farkları.....65
Çizelge 4.18. SiO_2 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.....66
Çizelge 6.1. d=5, L=5, $Gr=10^5$ ve Ø=0,2 iken farklı nanoakışkanlar için hesaplanan Nu değerleri.....78

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalar her zaman araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Bu enerjiyi aktarmak için en optimum koşulları sağlamak mühendislerin önemli bir sorunudur. Isı transferini arttırmada gerek akışkan tipi gerekse akışkana dışarıdan yapılan müdahaleler gibi çeşitli yöntemler geliştirmek üzere sayısız çalışma yürütülmektedir.

Isı transferi arttırmada kullanılan teknikler Ganji ve Malvandi (2016)'nin kitabında şu şekilde sınıflandırılmıştır:

Pasif Isı Transferi Artırma Teknikleri

- İşlenmiş Yüzey
- Pürüzlü Yüzey
- Genişletilmiş Yüzey
- Enerji Transportu Sağlayan Kanala Yerleştirilen Cihazlar
- Akışı Girdaplı Hale Getiren Cihazlar
- Kavisli Borular
- Yüzey Gerilimi Oluşturan Cihazlar
- Sıvılar/Gazlar İçin Katkı Maddeleri

Aktif Isı Transferi Artırma Teknikleri:

- Mekanik Katkılar
- Yüzey Titreşimi
- Akışkan Titreşimi

- Elektrostatik Alan
- Emme/Enjeksiyon

Akışkan tipini değiştirerek ısı transferi arttırmak da çok tercih edilen bir yoldur. Genellikle akışkanlar kolloidal süspansiyonlarla (nanoakışkan) karşılaştırıldığında daha düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle farklı maddelerin (metaller, metal oksitler, vb.) nano boyuttaki parçacıklarının bir taşıyıcı sıvı içinde dağılımı olan nanoakışkanlar ısı iletimi ve elektronik soğutmalarda potansiyel uygulamaları nedeniyle son yıllarda yoğun araştırmaların konusu olmuştur.

1.1. Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanları hazırlamak için genellikle aşamalı hazırlama işlemi ve iki aşamalı hazırlama işlemi olmak üzere iki temel yöntem vardır (Chand, 2017):

Tek aşamalı yöntem: Daha kararlı bir nanoakışkan elde etmek için tek aşamalı hazırlama işlemi tercih edilir, isminden de anlaşılacağı üzere nanoakışkan sadece bir aşamada sentezlenir. Tek aşamalı yöntemde, nanoparçacıkların hazırlanması ve nanoakışkanın hazırlanması aynı anda gerçekleştirilir. Nanopartiküller doğrudan bir fiziksel buhar biriktirme tekniği veya bir sıvı kimyasal yöntemle hazırlanır. Bu yöntemde, nanopartiküllerin kurutulması, depolanması, taşınması ve dispersiyonu işlemlerinden kaçınılmakta, böylece nanopartiküllerin birikmesi en aza indirgenmekte ve akışkanların kararlılığı arttırılmaktadır. Yöntem, istenmeyen parçacık toplanmasını oldukça önler. Bununla birlikte, bu yöntem yalnızca küçük ölçekli üretim için geçerlidir ve bu yöntem yalnızca uygulanmasını sınırlayan düşük buhar basınçlı baz sıvı için uygulanabilir.

İki aşamalı yöntem: Nanoakışkan hazırlanmasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan nanopartiküller önce fiziksel veya kimyasal yöntemlerle kuru tozlar halinde üretilir; öğütme, lazerle ablasyon, sol-jel işleme, vb. işlemlerin ardından nano boyuttaki toz ikinci işlemde yoğun manyetik kuvvet ajitasyonunun yardımı ile baz akışkan içerisinde asılı halde olacak şekilde dağılır. Aglomerasyon ve tıkanma probleminin nanoakışkanların ısıl iletkenliğini azaltması gibi bazı dezavantajları olmasına rağmen, bu işlem nanoakışkan üretimi için en ekonomik süreç olarak halen popülerdir.

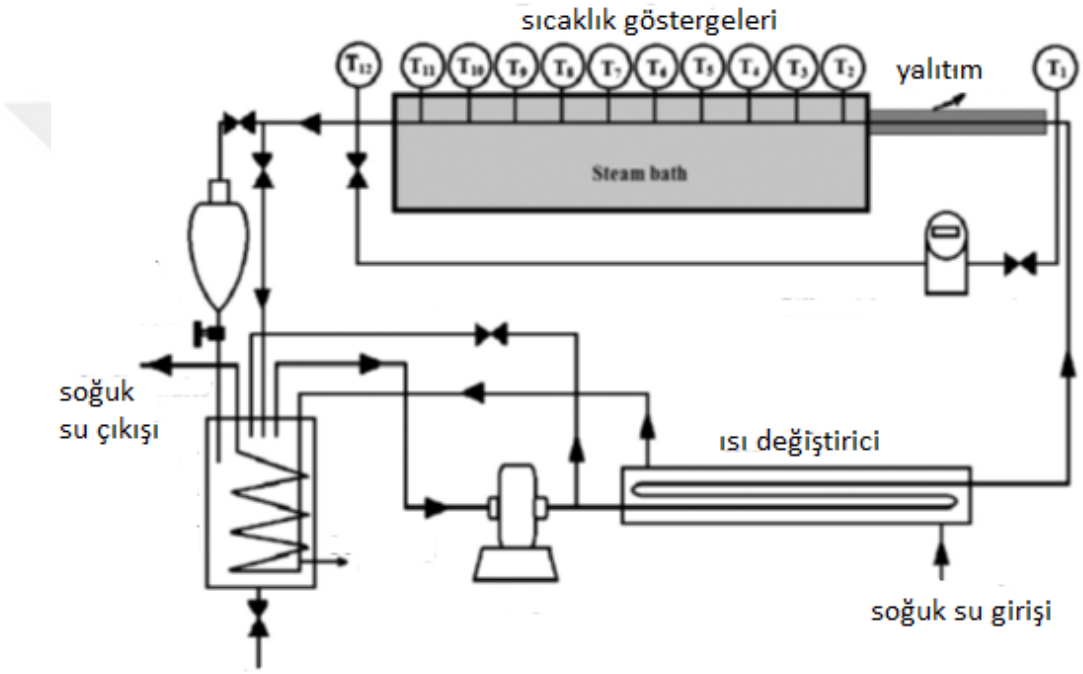
Bu iki prosedür dışında literatürde başka yöntemler de mevcuttur. Faz transfer yöntemi, zamana bağlı ısıl iletkenlik göstermeyen kerosen bazlı Fe_3O_4 nanoakışkanlarının hazırlanması için de uygulanabilir. Yu, Xie, Chen ve Li (2010), oleik asidi Fe_3O_4 nanopartiküllerinin yüzeyine kimyasal olarak emdirmiş ve Fe_3O_4 nanopartiküllerinin kerosen ile iyi bir uyumluluğa sahip olmasını sağlamıştır. Ortalama çapı 15 nm olan saf kübik faz Fe_3O_4 nanoparçacıkları elde edilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Yapılan literatür taraması sonuçları göstermiştir ki, nanoakışkan kütle hacim fraksiyonu yükseldikçe ısıl iletkenlik değeri de artmaktadır. Bu aşamada akışkanın viskozitesindeki artış da dikkatle incelenmelidir. Nanopartikül tipi ve akışkan içerisindeki oranı ile birlikte, baz akışkan tipi seçimi de nanoakışkan termofiziksel değerleri için önem arz etmektedir. Nanoakışkan termofiziksel özellikleri tespit etmek amaçlı yapılan çalışmalardan biri olan Murshed, Leong ve Yang (2009)'un çalışmasında nanoakışkanların ısıl iletkenliğini tahmin etmek için birleştirilmiş statik ve parçacık Brownian hareketi, parçacık etkileşimleri ve yüzey kimyası gibi dinamik mekanizmalara dayalı bir model sunulmuştur. Sunulan mevcut modelin, çeşitli nanoakışkan tipinin deneysel sonuçları ile makul derecede iyi bir uyum sergilemekte, klasik ve son zamanlarda geliştirilen modellere kıyasla daha iyi tahminler vermekte olduğu görülmüştür. Nanoakışkanların gözlenen ısıl iletkenliğini tahmin etmek için yeni ve geliştirilmiş bir teorik model geliştirilmiştir. Bunun nedeni, mevcut modelin nanoakışkanların artan ısıl iletkenliğinden sorumlu olan nanopartiküllerin parçacık boyutu, nano tabaka, parçacık hareketleri, etkileşimleri ve yüzey kimyası gibi olası mekanizmalarının çoğunu hesaba katmasıdır. Başka bir çalışmada (Polidori, Fohanno ve Nguyen 2007), Newtonian nanoakışkanların bir laminer dış sınır tabakasında doğal taşınım ısı transferini integral formalizm yaklaşımıyla incelemiştir. Bu çalışma katı hacim fraksiyonu %4' ten az Newtonian davranışlı γ-Al_2O_3 / su nano akışkanları için deneysel olarak doğrulanmıştır. Doğal taşınım ile ısı transferinin sadece nanoakışkan etkili ısıl iletkenlik ile karakterize olmadığı ve kullanılan viskozite modeline olan duyarlılığın yadsınamaz göründüğü ve ısı transfer davranışında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Haddad, Oztop, Eiyad ve Mataoui (2012)'nin çalışmasında genel olarak nanoakışkanların ısı transferini geliştirmedeki potansiyelinden bahsedilmiştir. Bu çalışmada tek ve iki fazlı

modeller için nanoakışkanların doğal taşınım ısı transfer karakteristikleri ile ilgili yapılan araştırmalardaki ilerlemeler hakkında kapsamlı bir inceleme sunulmuştur. Yapılan bu çalışmada, farklı tipte kapalı ortamlar için doğal taşınım ile ısı transferi şartlarındaki deneysel ve teorik çalışmalar incelenmiştir. Sonuç olarak iki fazlı akış yaklaşımı, nanopartikül ve baz akışkan arasındaki kayma hızı nanoakışkanların ısı transfer performansı üzerinde önemli rol oynadığından, nanoakışkan akışını tanımlamak için daha iyi bir model gibi görünmektedir. Jacob, Basak ve Das (2012), dış yüzey etkisinden bağımsız olarak Al_2O_3-su nanoakışkanının ısıl ve akış davranışını mikrodalga ısıtması yoluyla hacimsel ısı üretimi tarafından indüklenen doğal taşınım akışı ile incelemiştir. Nümerik sonuçlar Eulerian ve Lagrangian modeli yaklaşımı ile elde edilmiş ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Isıl ve akışkan akış davranışını anlamada iki fazlı modellemenin, özellikle nanoakışkanların kaldırma kuvveti etkisinde akışlarının çalışmasında, uygun yaklaşım olduğu bulunmuştur. Heyhat, Kowsary, Rashidi, Momenpour ve Amrollahi (2013) makalesinde, laminer akış ve sabit duvar sıcaklığı koşulu altında tamamen gelişmiş bölge kabulü ile yatay bir tüp içinde akan nano akışkanların ısı transfer katsayısını ve sürtünme faktörünü deneysel olarak sunmaktadır. Test sıvısı olarak 40 nm çaplı Al_2O_3 nanopartikülü ile hazırlanmış %0,1-2 katı hacim fraksiyonuna sahip su bazlı nanoakışkan kullanılmıştır. Basınç düşüşünü ve konvektif ısı transfer katsayısını hesaplamak için gereken Al_2O_3-su nanoakışkanlarının tüm fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Sonuçlar, nanoakışkanın ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı ve nanopartikül konsantrasyonu artışı nedeniyle, baz sıvınınkinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Isı transfer katsayısının tamamen gelişmiş bölgede %2 katı hacim fraksiyonunda baz sıvıya göre %32 arttığı deneysel olarak gözlenmiştir. Bununla birlikte nanoakışkanlar için basınç düşüşü saf suya göre daha yüksek olarak ölçülmüştür. Yapılan bu çalışmada deneysel sonuçlar göstermiştir ki nanoakışkan özellikleri ile tek fazlı korelasyon, nanoakışkan ısı transfer katsayısının artışını tam olarak öngörememiştir. Heyhat, Kowsary, Rashidi, Esfehani ve Amrollahi (2012)'nin deneysel düzeneği Şekil 1.1'de görülmektedir. Heyhat vd. (2012) türbülanslı akış üzerine yaptıkları bir diğer çalışmada, türbülanslı akış koşulları altında sabit duvar sıcaklığına sahip dairesel bir tüpte nanoakışkanların taşınımla ısı transferi ve sürtünme faktörünü deneysel olarak incelemiştir. 40 nm çaplı Al_2O_3 nanopartiküllerin su içerisinde dağılımı ile hazırlanan %0,1-2 katı hacim hacim fraksiyonuna sahip nanoakışkan ele alınmıştır. Heyhat vd.

(2012) çalışmasında hacim fraksiyonu artışıyla ısı transfer katsayısı artışının doğru orantılı olduğunu deneysel olarak kanıtlamıştır. Deneysel veriler, tamamen gelişmiş türbülanslı akış için geleneksel taşınımla ısı transferi ve viskoz basınç düşüşü korelasyonları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada görülmüştür ki; ölçülen ısıl iletkenlik ve nanoakışkan viskozitesi eğer Reynolds, Prandtl ve Nu sayılarının hesaplanmasında kullanılırsa mevcut korelasyonlar, konvektif ısı transferini ve tüplerdeki viskoz basınç düşüşünü mükemmel bir şekilde tahmin edebilmektedir.



Şekil 1.1. Deney düzeneği şeması (Heyhat vd., 2012).

Direkt nanoakışkan özelliklerini tespit etmek üzere nanopartikül tipini inceleyen Lee, Park, Kang, Bang ve Kim (2011) çalışmasında nanoakışkanların özellikleri nanopartiküllerin morfolojilerine bağlı olduğundan, SiC nanopartiküllerinin şeklini ve boyutunu karakterize etmek için transmisyon elektron mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri elde etmiş ve yüksek sıcaklıkta SiC/deiyonize su nanoakışkanın termofiziksel özelliklerini incelemiştir. Murshed, Leong ve Yang (2008a) çalışmasında nanoakışkanların efektif ısıl iletkenliği ve viskozitesi üzerine deneysel ve teorik olarak

bir çalışma gerçekleştirmiştir. Nanoakışkanların ısıl iletkenliği ve viskozitesi ölçülmüş ve baz akışkan değerlerinden ciddi ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin sıcaklıktan ciddi şekilde etkilendiği ve hem ısıl iletkenliğin hem de viskozitesinin hacmi fraksiyonuyla arttığı görülmüştür. Küresel ve silindirik nanoparçacıklara sahip nanoakışkanların gelişmiş ısıl iletkenliğini tahmin etmek için iki statik mekanizma tabanlı model sunulmaktadır. Önerilen modeller, deneysel sonuçlarla makul derecede iyi bir uyum sergilediği ve mevcut klasik modellere kıyasla nanoakışkanların etkili ısıl iletkenliği için daha iyi tahminler verdiği için önem arz etmektedir. Değişken sıcak tel yöntemiyle alınan kalibrasyon sonuçlarına dayanarak, ölçüm hatasının %2 içinde olduğu tahmin edilmiştir ve nanoakışkanların ölçülen efektif viskozite değerlerinin klasik modeller kullanılarak bulunmasının yetersiz olduğu bununla birlikte viskozitenin arttırılmasının pratik uygulamalarda nanoakışkanların etkinliğini azaltabileceği sonucuna varılmıştır.

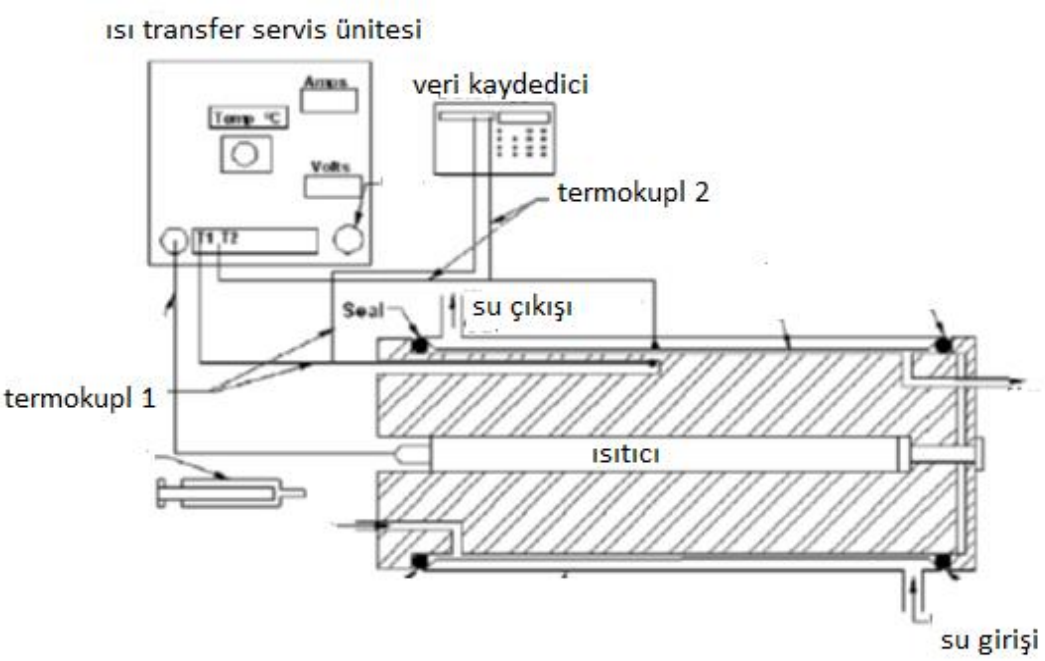
Küresel olmayan tanecikler içeren nanoakışkanların, özellikle su bazlı olmayanların, konvektif ısıl taşınımı ile alakalı kapsamlı bir bilgi mevcut olmadığından, Yu, Liu ve Botz (2012), çalışmasında hem küresel hem de çubuk benzeri nanopartiküller içeren Al_2O_3-polialfaolefin (PAO) nanoakışkanlarının termofiziksel özelliklerini ve konvektif ısı transferini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmıştır. Nanoakışkanların etkili viskozitesi ve etkin ısıl iletkenliği ölçülmüş ve literatürdeki mevcut birkaç teoriden elde edilen tahminlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada hacim fraksiyonu, en-boy oranını içeren diğer parametreler, dağılma durumunun ve nanoparçacıkların kayma alanları ile birlikte birleşmesinin özellikle küresel olmayan parçacıkları içeren nanoakışkanların efektif niteliği üzerinde önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Basınç düşüşü ve taşınım ısı transfer katsayısı, laminer akış rejimindeki nano akışkanlar için de ölçülmüştür ve teorik korelasyonların küresel nanoparçacık içeren akışkanların sürtünme faktörü ve Nu sayısı tahmininde başarılı sonuçlar verirken çubuk benzeri nanopartikül içeren nanoakışkanlarda yanıltıcı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışma sonuçları göstermektedir ki küresel parçacıklı nanoakışkanlarda nanopartiküllerin kayma kaynaklı hizalaması ve oryantasyon hareketi dikkate alınmalıdır. Oztop ve Abu-Nada (2008)'nın özellikle nanopartikül tipi ve ısıtıcı konumunu dikkate alarak yaptığı çalışmasında bir duvarı ısıtılmış, bir duvarı buna nispeten daha soğuk ve diğer duvarları yalıtımlı bir kapalı ortam içinde kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanan ısı transferi ve sıvı

akışı, farklı tipteki nanoparçacıklar ile incelemiştir. Dikdörtgen kapalı ortamlar için düşük en boy oranında nanoparçacıkların varlığı dolayısıyla ısı transferindeki artış yüksek en boy oranındaki artışa göre daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Tüm Rayleigh sayısı aralığında hacim fraksiyonu artışıyla Nu sayısında artış gözlenmiştir. Bununla birlikte ısıtıcı yüksekliğinin artmasıyla ısı transferinde artış olduğu tespit edilmiş ve ısıtıcı konumunun nanoakışkanlar kullanılırken akış ve sıcaklık alanlarını etkilediği bulunmuştur. Çalışmaya göre nanoakışkan tipi, ısı transferinin geliştirilmesinde kilit bir faktördür. Cu nanopartiküller kullanılırken en yüksek değerler elde edilmiştir. Buschmann (2012), çalışmasında oldukça basit fakat iyi tanımlanmış bir test teçhizatı kullanarak, ısı transferinin laminer boru akışının ısıl giriş bölgesindeki nanoakışkanlarla arttırılabileceğini gösterilmiştir. Bu deneylerin sonuçlarını yorumlamak için gerekli olan termofiziksel özellikler ölçülmüştür. Beş farklı seramik nanoakışkanın ısıl iletkenliğinin herhangi bir anormal davranış göstermediği bulunmuştur. Bununla birlikte, dinamik viskozite, baz akışkan ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde artmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, nanoakışkanların homojen tek fazlı akışkanlar olarak yorumlanamayacağını göstermektedir. Deneysel sonuçlara dayanarak, analitik ve sayısal modellerin genel olarak iki fazlı akış için geçerli denklemlerden başlaması gerektiği tartışılmıştır. Yapılan bir derleme çalışmasında, Philip ve Shima (2012), nanoakışkanlar alanındaki son gelişmelere, özellikle de nanoakışkanların ısıl özelliklerini etkileyen malzeme özelliklerine ve son derece yüksek ısıl iletkenlik elde etmek için yeni yaklaşımlara genel bir bakış sunmaktadır. Yapılan çalışmada ölçüm sırasında numunedeki küçük sıcaklık gradyanlarının bile, ısıl iletkenlik sonuçlarında büyük hatalara yol açabileceğine dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Nanoakışkanların araştırmacılar tarafından dikkate alınmayan topaklanma ve çökelme eğilimli olduğu üzerinde durulmuştur. Murshed, Leong ve Yang (2008b) makalesinde efektif ısıl iletkenlik, efektif ısıl yayılma, taşınım ile ısı transferi ve elektrokinetik özellikler üzerine yapılan deneysel ve analitik çalışmaları, potansiyel uygulamaları ve sentezi de içeren nanoakışkanların çeşitli yönlerini eleştirel bir şekilde incelenmiştir. Nanoakışkanların etkin ısıl iletkenliği ve altta yatan gelişmiş mekanizmalardaki tartışmalar gibi termofiziksel özelliklerin deneysel sonuçlarında birçok tutarsızlıklar tespit edilmiştir. Bununla birlikte, nanoakışkanların etkili ısıl yayılma kabiliyetini kesin olarak tahmin etmek için hiçbir modelin mevcut olmadığı ve mevcut klasik modellerin, nanoakışkanların viskozitesini de tahmin

edemediği bulunmuştur. Bu nedenle, nanoakışkanların ısıl yayılma ve viskozitesi için teorik modellerin geliştirilmesi üzerine yapılan analitik çalışmaların oldukça ilgi çekici olduğu düşünülmüştür. Murshed, Leong ve Yang (2005), bir diğer çalışmalarında nanoakışkanları 15nm çapında küresel ve 10nm çapında 40nm uzunluğunda çubuk şeklinde TiO_2 nanopartikülleriyle ve baz sıvı olarak deiyonize su kullanarak hazırlamıştır. Nanoakışkanların ısıl iletkenliklerini daha rahat bir şekilde ölçmek için entegre bir korelasyon modeliyle değişken sıcaklığa sahip tel cihaz kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, ısıl iletkenliğin, parçacık hacmi fraksiyonunun artmasıyla arttığını göstermiştir. Bu çalışmada değişken sıcaklıktaki tel yöntemi ile nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin daha kesin ve rahat bir şekilde belirlenmesini sağlamak için entegre bir korelasyon modeli getirilmiştir. Nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin, artan hacim fraksiyonu ile dikkate değer biçimde arttığı görülmüştür. Deney sonuçlarının, katı-sıvı karışımlar için mevcut modellerin öngördüğünden çok daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki, nanoakışkanların ısı transfer performansını arttırmada çeşitli muhtemel faktörleri göz önünde bulunduracak şekilde nanoakışkanların ısıl iletkenliğini tahmin edebilmek amacıyla uygun bir model geliştirmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Vajjha ve Das (2009) çalışmasında, 60:40 oranında etilen glikol ve su karışımı içinde %10 oranında katı hacim fraksiyonuna kadar dağılmış alüminyum oksit, bakır oksit ve çinko oksit nanoparçacıklarını içeren üç nanoakışkan türünün ısıl iletkenliğini belirlemek için sıcaklık aralığı 298-363K aralığında tutularak deneysel araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan ölçüm aparatı Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Sonuçlar, nanopartiküllerin artan hacimsel konsantrasyonunda nanoakışkanların ısıl iletkenliklerinde bir artış olduğunu göstermektedir. Isı iletkenliğinin ayrıca sıcaklık artışı ile önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Isı iletkenliği için mevcut bazı modeller, bu nanoakışkanlar ile yapılan deneylerin verileriyle karşılaştırılmış ve iyi bir uyum göstermediği tespit edilmiştir ve bu sebeple nanoakışkanların sıcaklığın, parçacık hacimsel konsantrasyonunun, nanopartikül özelliklerinin ve deneysel verilerle iyi uyum sağlayan baz sıvının bir fonksiyonu olarak ısıl iletkenliğini hesaba katan klasik Maxwell modelini ve Brownian hareket efektini içeren mevcut modelin iyileştirilmiş hali olan bir model geliştirilmiştir. Murugesan ve Sivan (2010) makalesinde, nanoakışkanların ısıl iletkenliği için daha düşük üst limitler geliştirmiş ve bu sınırlar yayınlanmış deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, bir dizi bağımsız yayınlanmış kaynaktan elde

edilen deneysel verilerin yeni geliştirilen sınırlar arasında olduğunu doğrulamak amaçlı kullanılmıştır. Üst limit, parçacık şekli, Brownian hareketi ve nano tabaka gibi ısı transfer mekanizmalarının birleştirilmesiyle tahmin edilirken, alt limit Maxwell denklemine dayanmaktadır. Deney verilerinin çoğu yeni geliştirilen sınırlar içinde kaldığı için, parçacık şeklinin, Brownian hareketinin ve nano tabakanın, nanoakışkanların ısıl iletkenliğini arttırmada önemli olduğu sonucuna varılabileceği açıklanmıştır. Wang ve Xu (1999) çalışmasında, sıvıların ve nanometre boyutlu parçacıkların karışımlarının etkin ısıl iletkenliğini, sabit durumlu bir paralel plaka yöntemi ile ölçmüştür. Test sıvıları iki tüp nanopartikül içermektedir. Nanopariküller Al_2O_3 ve CuO, baz sıvılar da vakum pompası sıvısı, motor yağı ve etilen glikoldür. Deneysel sonuçlar her tip baz sıvı ve sıvı-nanopartikül karışımları karşılaştırıldığında sıvı-nanopartikül karışımının ısıl iletkenliğinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Makaleye göre bir karışımın etkin ısıl iletkenliğini hesaplamak için mevcut modelleri kullanarak, teorik modeller tarafından hesaplanan ısıl iletkenliklerin ölçülen verilerden çok daha düşük olduğu, bunun da mevcut modellerin sıvılarda nanometre ölçeğinde ısı transferini tarif etmedeki eksikliklerin var olduğu sonucuna varılır. Nanoakışkanın ısıl iletkenliğinin mikroskobik harekete ve parçacık yapısına bağlı olduğu görülmektedir. Çalışmada sonuç olarak nanometre boyutunda parçacıklarla süspanse edilen sıvıların ısı iletkenliği modelinde, parçacıkların boyutu ve yüzey özellikleri ile yakından ilgili olan mikroskobik hareket ve yapıya bağlı davranışın bulunması gerektiği ve nanoparçacık sıvı karışımlarını bir ısı transfer geliştirme ortamı olarak kullanmak için, akışkan akışında ısı aktarımı üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu ortaya konmuştur. Xuan ve Li (2000) nanoakışkan hazırlanmasına yönelik yaptığı çalışmasında nanofaz tozları ve bir baz sıvıdan oluşan bir süspansiyon olan nano akışkanın hazırlanmasına yönelik bir prosedür sunmaktadır. Prosedür ile bazı örnek nano akışkanlar hazırlanmıştır. TEM fotoğrafları, süspansiyonun stabilitesini ve düzgünlüğünü göstermek için verilmiştir. Nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin teorik olarak incelemeleri sunulmuştur. Sıcak tel aparat, içerisinde askıda bakır nanofaz tozları bulunan nanoakışkanların ısıl iletkenliğini ölçmek için kullanılmıştır. Nanopartiküllerin hacim oranı, boyutları, şekilleri ve özellikleri gibi bazı faktörler tartışılmaktadır. Bir tüp içinde akan nanoakışkanın katı nanopartiküllerinin dağılımını açıklayarak, ısı transfer performansını tanımlamak için teorik bir model önerilmiştir. Xuan ve Li (2003) bir başka çalışmasında nanoakışkanın taşınımla ısı

transferini ve akış özelliklerini incelemek için deneysel bir sistem inşa etmiştir. Türbülanslı akış için örnek nanoakışkanların hem ısı taşınım katsayısı hem de sürtünme faktörü sırasıyla ölçülmüştür. Asılı nanoparçacıkların hacim fraksiyonu ve Reynolds sayısı gibi faktörlerin ısı transferi ve akış özellikleri üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Nanoakışkanlar için deneysel ısı transferi verilerini ilişkilendirmek amacıyla yeni bir tür konvektif ısı transferi korelasyonu önerilmiştir. Diğer yandan, su ve Cu-nanopartiküllerden oluşan seyreltik nanoakışkanlar için sürtünme faktörü, yaklaşık olarak su ile aynıdır. Asılı nanoparçacık hacim fraksiyonu düşük olan nanoakışkanlar neredeyse hiç pompa gücü gerektirmez.

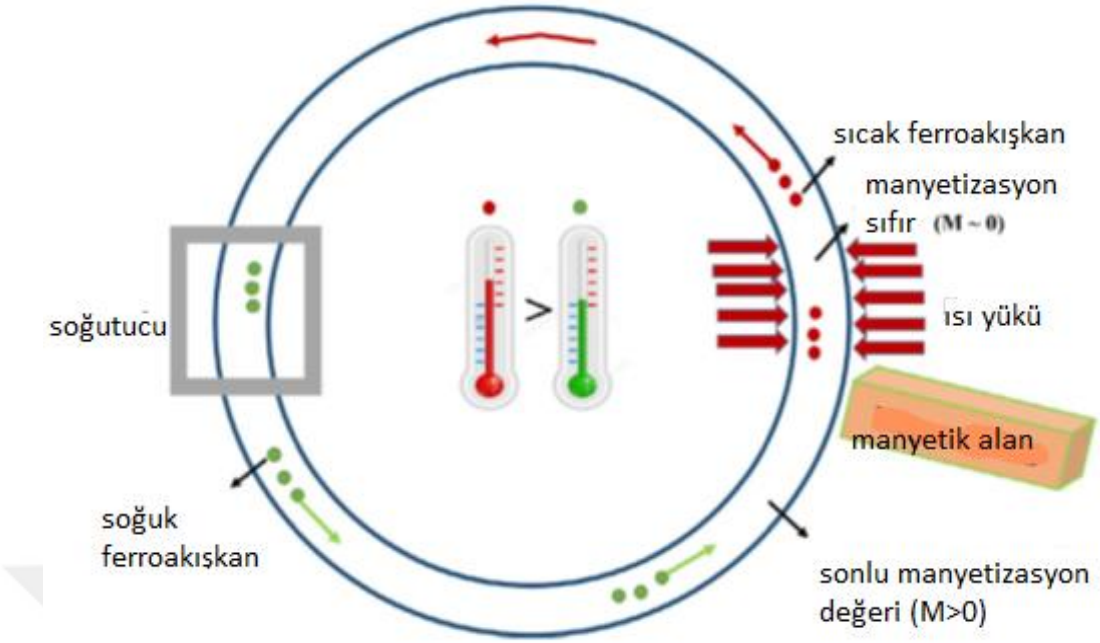


Şekil 1.2. Isıl iletkenlik ölçüm aparatı (Vajha ve Das, 2009).

Karabulut, Buyruk ve Kılınç (2017) çalışmasında grafen oksit su nanoakışkanının taşınım ile gerçekleşen ısı transferini, laminer akış kabulü ile ve ısı akısı duvar boyunca uniform olacak şekilde dairesel bir bakır boru boyunca deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada, grafen oksit-su nanoakışkanının ısı transferi artışı ve basınç düşüşü özellikleri değerlendirilmiş, korunum denklemleri üç boyutlu olarak sonlu

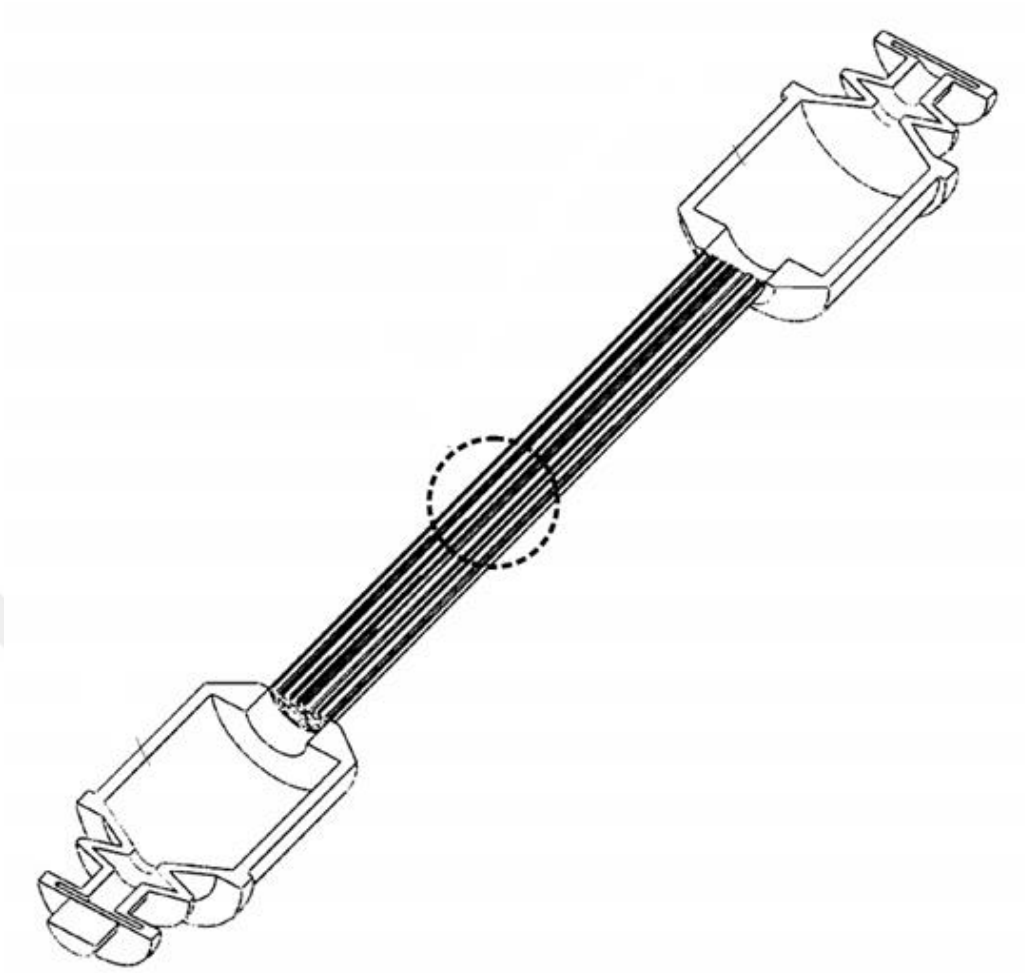
hacimler yöntemi ile analiz yapan Ansys Fluent 15.0 programının kullanılmasıyla ve tek fazlı akışkan kabulü yapılarak çözülmüştür. Boru yüzey sıcaklığı için sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar %2 hata payıyla uyum göstermiştir. Çalışmada, %0,02 katı hacim fraksiyonu değerinde GO (grafen-oksit)-su nanoakışkanının ısı transferinin artmasında, ısı akısı, hacimsel debi ve katı hacim fraksiyonunun etkileri sunulmuş; yük kaybı ve sürtünme faktörü için optimum debi ve katı nanopartikül konsantrasyonu değeri ortaya konmuştur.

Yine bir nanoakışkan olan ferroakışkan üzerine yapılan çalışmalar da ısı transferi alanında hayli dikkat çekici sonuçlar vermektedir. Chaudhary, Wang, Ray, Sridhar ve Ramanujan (2017), kendiliğinden pompalanan ferroakışkan esaslı bir soğutma cihazı incelemiştir. Çalışmada ferroakışkanın sıcaklık azaldıkça manyetik alandan daha fazla etkilenmesi özelliğinden faydalanılmıştır. Kimyasal olarak sentezlenen Mn-Zn ferrit nanopartikülleri, bir ferro-akışkan hazırlamak için oleik asit ile kaplanmış ve suda dağılmıştır. Hazırlanan ferroakışkan, bir ısı yükünün soğutulmasını incelemek için bir cihazda kullanılmıştır. Cihaz mıknatıs, ısı yükü, ısı emici, polimer tüp, konektörler ve ferro-akışkandan oluşur. Soğutma cihazının performansının, sıcak kaynak sıcaklığına, akışkandaki manyetik parçacık içeriğine ve manyetik alan kuvvetine bağlı olduğu bulunmuştur. 0,3 T manyetik alan uygulanarak nanoparçacık madde miktarı sırasıyla %5 ve %10 olduğunda sıcaklıkta sırasıyla 16°C ve 27°C civarında düşüş tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları, deneysel bulgularla iyi uyum içinde olduğu görülmüştür. Başlangıçtaki sıcaklık 64°C, 74°C ve 87°C civarında olduğunda, 0,3T manyetik alanın yerinde uygulanması sonucunda sırasıyla 20 °C, 24 °C ve 28 °C civarında soğutma gerçekleştiği kanıtlanmıştır. Bu manyetik soğutma cihazları kendi kendini düzenler, yani ısı yükü ne kadar yüksekse ısı transferi de o kadar hızlı olur. Çalışmanın düzeneği Şekil 1.3'de görülmektedir.



Şekil 1.3. Kendi kendine pompalama sisteminin şeması (Chaudhary vd., 2017).

2016/20384 başvuru numaralı, 30/12/2016 başvuru tarihli Aktaş (2016)'ın "Bir Isı Aktarım Tüpü" isimli patenti, içerisinden nanoakışkanlar geçirilen, nanoakışkanların titreşimli akışı ile ısı transferinin arttırıldığı bir ısı aktarım tüpü ile ilgilidir. Buluşta amaçlanan nanoakışkanların kılcal boru demeti içerisindeki titreşimli akışında demetin bağlandığı farklı sıcaklıkta iki rezervuar arasında ısı transferi gerçekleştiren bir ısı aktarım tüpü gerçekleştirmektir. Bu buluşun amacına ulaşmak için gerçekleştirilen ısı aktarım tüpü, sıcak akışkanın doldurulduğu bir birinci tank ve soğuk akışkanın doldurulduğu bir ikinci tank içermektedir. İki tank arasında bir kanal ve kanal içerisinde birden fazla kılcal borudan oluşmuş bir boru demeti yer almaktadır. İlk önce ikinci tank ve ardından boru demeti ve birinci tank sırası ile soğuk ve sıcak akışkanlar ile doldurulmaktadır. Sarsıcının çalıştırılması ile birlikte titreşim meydana gelmektedir. Başvuruda gösterilen düzenek Şekil 1.4'de görülmektedir.

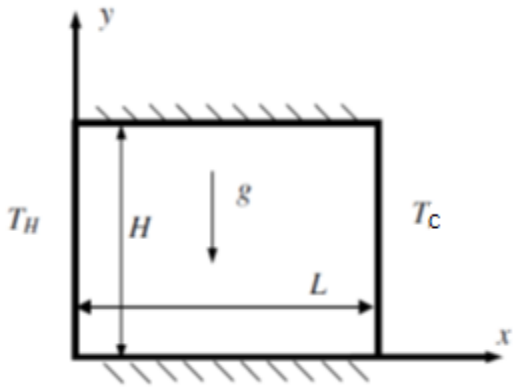


Şekil 1.4. Bir ısı aktarım tüpü (Aktaş, 2016).

BÖLÜM 2

TEMEL DENKLEMLER VE VALİDASYON

Fiziksel modeli oluşturup analizlere başlamadan önce çalışmada kullanılacak formüllerin, daha önce yapılan bir çalışmada denenmesi ve doğrulanması gerekmektedir. Yapılacak validasyon için Khanafer, Vafai ve Lightstone (2003), çalışması uygun görülmüştür. Khanafer vd., 2003 makalesinde kullanılan kapalı ortam geometrisinin şematik görünümü Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Fiziksel modelin şeması (Khanafer vd., 2003).

Kapalı ortamın yan duvarları sabit sıcaklıklarda iken, üst ve alt duvarlar adyabatik şartlardadır. Sabit termofiziksel özelliklere sahip iki boyutlu, daimi, Newtonian ve sıkıştırılamaz akış varsayımı altında temel denklemler şu şekildedir:

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}} = 0 \tag{1}$$

Momentum Denklemleri:

$$\mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}} + \mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{y}} = -\frac{1}{\rho_{eff}}\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\mu_{\mathrm{eff}}}{\rho_{eff}}\left(\frac{\partial^2 \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{u}}{\partial \mathrm{y}^2}\right) \tag{2}$$

$$\mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{x}} + \mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}} = -\frac{1}{\rho_{eff}}\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial \mathrm{y}} + \frac{\mu_{\mathrm{eff}}}{\rho_{eff}}\left(\frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}^2}\right) + \mathrm{g}\beta_{T,eff}\,(\mathrm{T} - \mathrm{Tc}) \tag{3}$$

Enerji Denklemi:

$$\mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}} + \mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{y}} = \frac{\mathrm{k}_{\mathrm{eff}}}{(\rho \mathrm{C}_p)_{eff}}\left(\frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial \mathrm{y}^2}\right) \tag{4}$$

Temel denklemler, aşağıdaki boyutsuz değişkenler kullanılarak boyutsuzlaştırılmıştır:

$$\mathrm{x}^* = \frac{\mathrm{x}}{L},\ \mathrm{y}^* = \frac{\mathrm{y}}{\mathrm{L}},\ \mathrm{u}^* = \frac{\mathrm{u}}{\frac{\alpha_\mathrm{f}}{\mathrm{L}}},\ \mathrm{v}^* = \frac{v}{\frac{\alpha_\mathrm{f}}{\mathrm{L}}},\ \mathrm{P}^* = \frac{L^2}{\rho_\mathrm{f}\,{\alpha_\mathrm{f}}^2}P,\ \mathrm{T}^* = \frac{\mathrm{T}-\mathrm{T_C}}{\mathrm{T_H}-\mathrm{T_C}} \tag{5}$$

Boyutsuz Denklemler:

$$\frac{\partial \mathrm{u}^*}{\partial \mathrm{x}^*} + \frac{\partial \mathrm{v}^*}{\partial \mathrm{y}^*} = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\rho_{eff}}{\rho_f}\left(u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*}\right) = - \frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \frac{\rho_{eff}}{\rho_f} \frac{\nu_{eff}}{\nu_f} \Pr \left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\rho_{eff}}{\rho_f}\left(u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right) = - \frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \frac{\rho_{eff}}{\rho_f} \frac{\nu_{eff}}{\nu_f} \Pr \left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (8)$$

$$+ \mathrm{GrPr}^2 \frac{(\rho\beta_T)_{eff}}{(\rho\beta_T)_f} T^*$$

$$u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{\alpha_{eff}}{\alpha_f} \left[\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}}\right] \quad (9)$$

Burada uzunluk oranı, Prandtl sayısı, Grashof sayısı şu şekilde tanımlanmıştır;

$$ar = \frac{H}{L}, Pr = \frac{\nu_f}{\alpha_f}, Gr = \frac{g\beta_{T,f} L^3 \Delta T}{{\nu_f}^2} \quad (10)$$

Burada g yerçekim ivmesi, ΔT kapalı ortamın izotermal duvarlarının sıcaklık farkı, $\beta_{T,f}$ ve ν_f sırasıyla baz akışkanın ısıl genleşme katsayısı ve kinematik viskozitesidir.

Sınır şartları:

$$T^*|_{0,y^*} = 1,\ T^*|_{1,y^*} = 0,\ \frac{dT^*}{dy^*}|_{x^*,0} = 0,\ \frac{dT^*}{dy^*}|_{x^*,ar} = 0 \quad (11)$$

$$u^*|_{0,y^*} = 0,\ u^*|_{1,y^*} = 0,\ u^*|_{x^*,0} = 0,\ u^*|_{x^*,ar} = 0, \quad (12)$$

$$v^*|_{0,y^*} = 0,\ v^*|_{1,y^*} = 0,\ v^*|_{x^*,0} = 0,\ v^*|_{x^*,ar} = 0. \quad (13)$$

Nanoakışkanın ısı iletkenliği, nanoakışkanların ısı transfer performansı ile ilgili en önemli parametrelerdendir. Nanoakışkanların ısıl iletkenlikleri ile alakalı teorik bir

model olmadığından genellikle katı-sıvı karışımları için oluşturulan modeller kullanılır. Bu modellerden biri Maxwell (1873) modelidir.:

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)\phi}{k_s + 2k_f - (k_s - k_f)\phi} \tag{14}$$

k_s ve k_f sırasıyla katı nanopartiküllerin ve baz akışkanın ısıl iletkenliğidir, ϕ nanoparçacık hacim fraksiyonudur.

Hamilton ve Crosser (1962) tarafından küresel olmayan parçacıklara sahip iki bileşenli karışımlar için önerilen bir başka model, parçacıkların şeklinin etkisini dikkate almaktadır.

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_s + (n-1)k_f + (n-1)(k_s - k_f)\phi}{k_s + (n-1)k_f - (k_s - k_f)\phi} \tag{15}$$

Burada şekil faktörü n küreselliğin (Ψ) bir fonksiyonu olarak tanımlanır:

$$n = 3 / \Psi \tag{16}$$

Yu ve Choi (2003) katı parçacıkların etrafındaki sıvı tabakalaşmasına dayanan bir ısıl iletkenlik modeli önermiştir. $k_{\text{tabaka}} = k_s$ varsayımıyla küresel parçacıklar için bu model aşağıdaki formu alır:

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)(1+\beta^3)\phi}{k_s + 2k_f - (k_s - k_f)(1+\beta^3)\phi} \tag{17}$$

Burada, β sıvı tabaka kalınlığının orijinal parçacık yarıçapına oranıdır. Bu model, mevcut çalışmada deneysel ısıl iletkenlik verileriyle iyi uyum gösteren bir değer olan β = 0,1 olduğu varsayılarak, nanoakışkanların efektif ısıl iletkenliği için kullanılmıştır.

Nanoakışkanın efektif viskozitesini tahmin etmek için, bu çalışmada Brinkman (1952) modeli kullanılmıştır:

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{f}}/(1 - \phi)^{2,5} \tag{18}$$

Nanoakışkanların diğer efektif özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$(\rho C_p)_{eff} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_s \tag{19}$$

$$(\rho\beta_{\text{T}})_{\text{eff}} = (1 - \phi)(\rho\beta_{\text{T}})_{\text{f}} + \phi(\rho\beta_{\text{T}})_{\text{s}} \tag{20}$$

$$\rho_{eff} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_s \tag{21}$$

Kapalı ortamın sıcak izotermal duvarı boyunca yerel ve ortalama Nu sayısı şu şekilde tanımlanmıştır:

$$Nu = -\frac{k_{eff}}{k_f}\frac{\partial \text{T}^*}{\partial \text{X}^*}\Big|_{x^*=0} \tag{22}$$

$$Nu_a = \frac{1}{ar}\int_0^{ar} Nu\, dy^* \tag{23}$$

Khanafer vd. (2003)'nin çalışması ile bu çalışmada kullanılan ve Comsol Multiphysics programında oluşturulan matematiksel kod doğrulanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 2.2'de ve Şekil 2.2'de görülmektedir.

Programın mesh analizi fine mesh sıkılığından en sıkı mesh ayarına kadar Nu değerleri kontrol edilerek yapılmıştır. Alınan sonuçlar Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Nu değerlerinin extremely fine mesh ayarına kadar değiştiği gözlenmiştir bu sebeple sonuçlar alınırken en sıkı mesh kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. Ø=0 değerinde artan mesh sıkılığında farklı Gr sayıları için alınan Nu değerleri.

Mesh/Gr	10^3	10^4	10^5
Fine(2540 eleman)	1,930	4,078	8,063
Finer(6578 eleman)	1,932	4,074	8,052
Extra Fine(17038 eleman)	1,933	4,077	8,051
Extremely Fine (26300 eleman)	1,933	4,077	8,052

Yukarıdaki temel denklemler kullanılarak oluşturulan Comsol Multiphysics programında Khanafer vd. (2003)'nin çalışması extremely fine mesh ayarında tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2.2'deki grafikte gösterilerek karşılaştırma yapılmıştır.

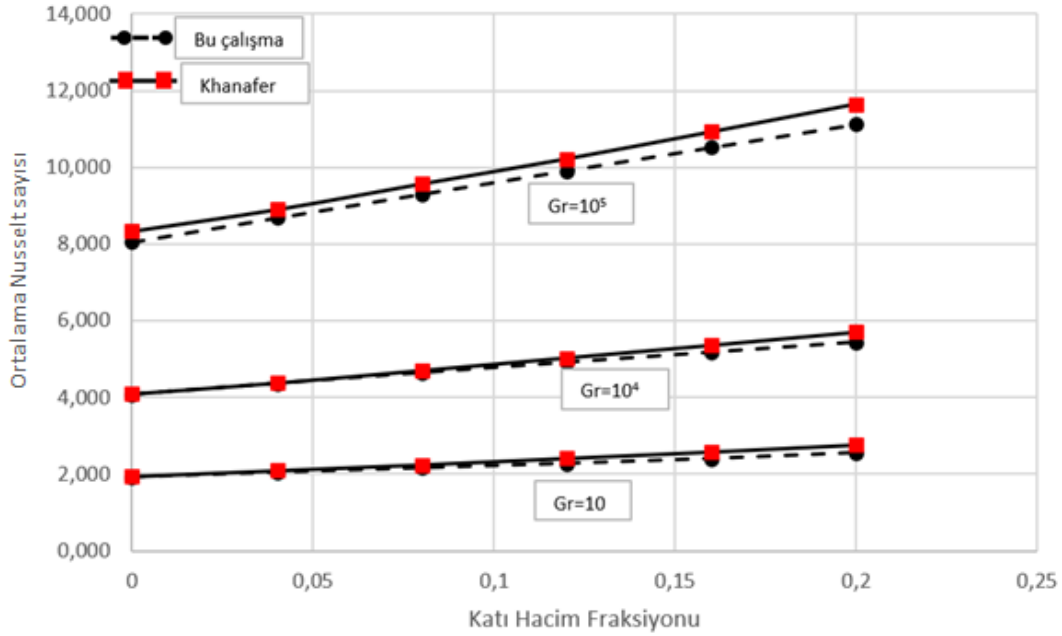
Çizelge 2.2. Ortalama Nu değerleri.

	Ø/Gr	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2
Bu çalışma	10^3	1,933	2,053	2,167	2,282	2,408	2,560
Khanafer vd.(2003)	10^3	1,948	2,100	2,251	2,418	2,584	2,766
Bu çalışma	10^4	4,077	4,367	4,645	4,915	5,181	5,445
Khanafer vd.(2003)	10^4	4,089	4,375	4,705	5,035	5,365	5,710
Bu çalışma	10^5	8,052	8,683	9,302	9,912	10,517	11,119
Khanafer vd.(2003)	10^5	8,345	8,908	9,575	10,225	10,928	11,649

Çizelge 2.3. Baz akışkan ve nanopartikül termofiziksel özellikleri (Kahveci, 2010; Khanafer vd., 2003; Kalbani, Alam ve Rahman, 2016; Mohammed, Talib, Aziz ve Ahmed, 2016; Tsou, Huang, Li ve Lai, 2005).

Özellik	Su	Cu	Ag	CuO	Al_2O_3	TiO_2	Co	Fe_3O_4	SiO_2
ρ (kg/m^3)	997,1	8954	10500	6500	3970	4250	8900	5180	2220
C_p (J /kg K)	4179	383	235	536	765	686	420	670	745
k (W/m K)	0,613	400	429	20	40	9	100	80,4	1,4
α $x10^7(m^2/s)$	1,47	1163,1	1738,6	57,4	131,7	30,7	267,5	231.7	8.5
$\beta_T \times 10^6$ (1/K)	210	16,7	54	51	24	24	13	206	0,55
Pr	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaynak	Kahveci (2010)	Khanafer vd. (2003)	Kahveci (2010)	Kahveci (2010)	Kahveci (2010)	Kahveci (2010)	Kalbani vd. (2016)	Kalbani vd. (2016)	Mohammed vd., Tsou vd. (2016)

Çizelge 2.3'de farklı nanoakışkanların termofiziksel özellikleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Khanafer vd. (2003)'nin çalışmasıyla yapılan validasyon grafiği.

Şekil 2.2. bu çalışmada kullanılan kodun doğruluğunu göstermektedir. Khanafer vd. (2003)'nin çalışmasında iki boyutlu dikdörtgen bir kapalı kapta nanoakışkanın ısı transferine etkisini incelemiştir. Mevcut çalışmada ise ovallik ölçüsü değişen iki boyutlu eliptik bir kapalı ortamda kanal çapı sabit tutularak taşınım denklemleri boyutsuzlaştırılmış ve değişen parametrenin ısı transferine etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM 3

ELİPTİK GEOMETRİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELİN OLUŞTURULMASI

Yapılan validasyon işlemi sonucunda programın kodları doğrulandıktan sonra çalışmada analiz edilecek fiziksel model oluşturulmuştur. Boyutsuzlaştırmada kanal çapı d_{kanal} kullanılmıştır. Bu tip bir fiziksel modelde kullanılacak denklemlerin boyutsuzlaştırılmasında kullanılan boyutsuz değişkenler şu şekildedir:

$$x^*=\frac{x}{d_{kanal}},\ y^*=\frac{y}{d_{kanal}},\ u^*=\frac{u}{\frac{\alpha_f}{d_{kanal}}},\ v^*=\frac{v}{\frac{\alpha_f}{d_{kanal}}},\ P^*=\frac{{d_{kanal}}^2}{\rho_f {\alpha_f}^2}P,\ T^*=\frac{T-T_C}{T_H-T_C} \quad (24)$$

Boyutsuz değişkenler ile oluşturulan boyutsuz denklemler aşağıdaki şekli almaktadır:

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*}+\frac{\partial v^*}{\partial y^*}=0 \quad (25)$$

$$\frac{\rho_{eff}}{\rho_f}\left(u^*\frac{\partial u^*}{\partial x^*}+v^*\frac{\partial u^*}{\partial y^*}\right)=-\frac{\partial P^*}{\partial x^*}+\frac{\rho_{eff}}{\rho_f}\frac{\nu_{eff}}{\nu_f}\ Pr\left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial {x^*}^2}+\frac{\partial^2 u^*}{\partial {y^*}^2}\right) \quad (26)$$

$$\frac{\rho_{eff}}{\rho_f}\left(u^*\frac{\partial v^*}{\partial x^*}+v^*\frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right)=-\frac{\partial P^*}{\partial y^*}+\frac{\rho_{eff}}{\rho_f}\frac{\nu_{eff}}{\nu_f}\ Pr\left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial {x^*}^2}+\frac{\partial^2 v^*}{\partial {y^*}^2}\right) \quad (27)$$

$$+GrPr^2\frac{(\rho\beta_T)_{eff}}{(\rho\beta_T)_f}T^*$$

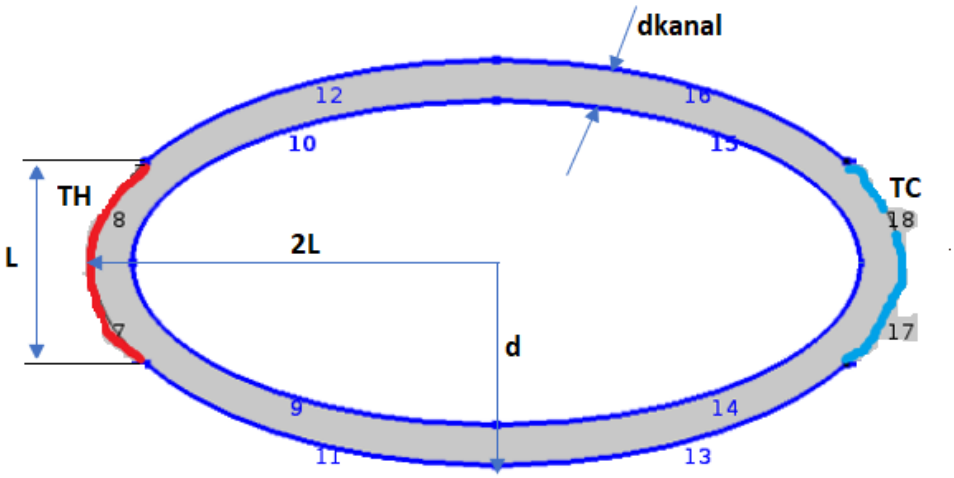
$$u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{\alpha_{eff}}{\alpha_f} \left[\frac{\partial^2 T^*}{\partial {x^*}^2} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial {y^*}^2}\right] \quad (28)$$

$$k_{rat} = (k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)\phi(1+\beta_T)^3)/(k_s + 2k_f - (k_s - k_f)\phi(1+\beta_T)^3) \quad (29)$$

$$Pr = \frac{\nu_f}{\alpha_f},\ Gr = \frac{g\beta_{T,f} {d_{kanal}}^3 \Delta T}{{\nu_f}^2},\ Nu = -\frac{k_{eff}}{k_f}\frac{\partial T^*}{\partial x^*} \quad (30)$$

Nu değerini ifade edebilmek için, iletim=taşınım eşitliği oluşturulmuştur; bu eşitlik $-k_{eff}\frac{\partial T}{\partial x} = h(T_H - T_C)$ olarak yazılır. Burada h ifadesi; $h=-\frac{k_{eff}}{d_{kanal}}\frac{\partial T^*}{\partial x^*}$ olarak elde edilir. Nu ifadesi; elde edilen h değeri, "$\frac{hd_{kanal}}{k_f}$" ifadesinde yerine yazılarak bulunmaktadır. Eliptik kanal ile gerçekleştirilen çalışmada Nu sayısında kullanılacak $-\frac{k_{eff}}{k_f}$ programda -k_{rat} olarak tanımlanmıştır. Programda sıcak kaynağa temas eden eliptik kanal yüzeyi için Line Average komutu seçilmiştir. Böylelikle programda Line Average içerisinde sıcak kaynağa temaslı taraftaki "-$k_{rat}\frac{\partial T^*}{\partial x^*}$" değerleri okunarak Nu değerleri hesaplanmıştır.

Denklemlerde boyutsuz parametrelerin önündeki sabit değerler programa tanıtılmadan önce üzerinde analizlerin yapılacağı geometri Şekil 3.1' deki gibi oluşturulur.



Şekil 3.1. Analiz edilecek fiziksel model.

Şekil 3.1'de gösterilen, analiz için oluşturulan geometride sağ taraf soğuk kaynak (T_C), sol taraf sıcak kaynak (T_H) olarak tanımlanmıştır ve kaynaklara temaslı yüzeyler harici sınırlar için ısıl olarak yalıtılmış kabulü yapılmıştır. Oluşturulan fiziksel modelde elipsin yatay yarıçap değeri 2L, dikey yarıçap değeri d olarak programda tanımlanmıştır ve bu çalışmada ovallik ifadesi kullanılmıştır.

BÖLÜM 4

ANALİZ SONUÇLARI

Cu nanopartikülü kullanılarak oluşturulan nanoakışkan ile ∅ değeri 0.16 ve elips boyutlarında ovallik değeri d=5 ve L=5 olduğu durumda yapılan mesh analizi ile alınan sonuçların karşılaştırılması Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Cu nanopartikülü, ∅=0,16, d=5, L=5 değerleri için yapılan mesh analizi.

Mesh/Gr	10^3	10^4	10^5
Fine(5400 eleman)	0,662	1,601	3,014
Finer(17260 eleman)	0,679	1,621	3,058
Extra Fine(50230 eleman)	0,689	1,632	3,080
Extremely Fine (57464 eleman)	0,689	1,632	3.080

Bu çalışmada;

1. Su bazlı Cu nanopartikülü için değişen Gr ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri

2. Su bazlı CuO nanopartikülü için değişen Gr ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri ve değişen Gr ve L değerlerine karşılık Nu değerleri

3. Su bazlı Al_2O_3 nanopartikülü için değişen Gr ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri ve değişen Gr ve ∅ değerlerine karşılık Nu değerleri

4. Su bazlı Ag nanopartikülü için değişen L ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri

5. Su bazlı TiO_2 nanopartikülü için değişen L ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri

6. Su bazlı Co nanopartikülü için değişen L ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri

7. Su bazlı Fe_3O_4 nanopartikülü için değişen L ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri

8. Su bazlı SiO_2 nanopartikülü için değişen L ve d (ovallik) değerlerine karşılık Nu değerleri

9. Tüm nanopartüküller için aynı şartlarda Nu değer karşılaştırması yapılmıştır.

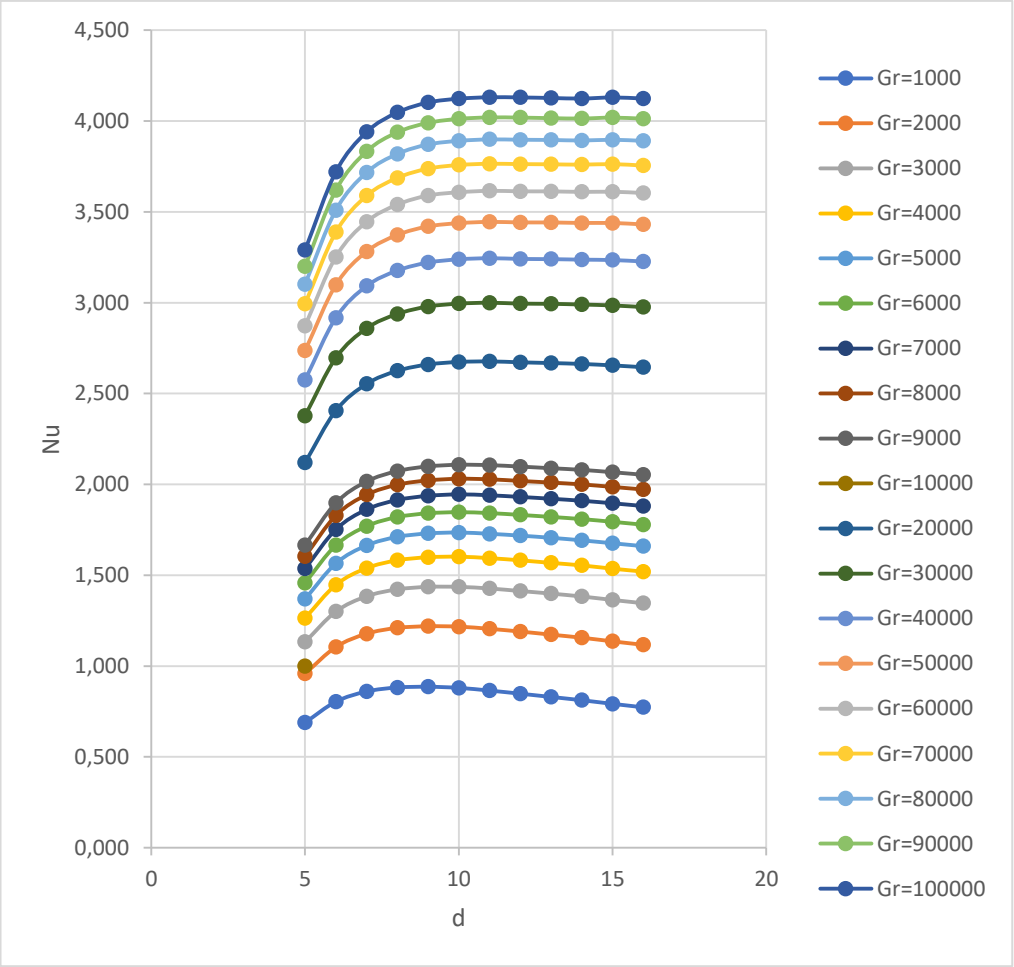
4.1. Cu Nanopartikülü İçin Farklı Parametrelere Göre Alınan Nu Değerleri

Cu nanopartikülü için 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre Ø=0,2 ve L=5 değerinde alınan Nu değeri sonuçları Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Cu nanopartikülü için 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre Ø=0,2 ve L=5 değerinde alınan Nu değeri sonuçları.

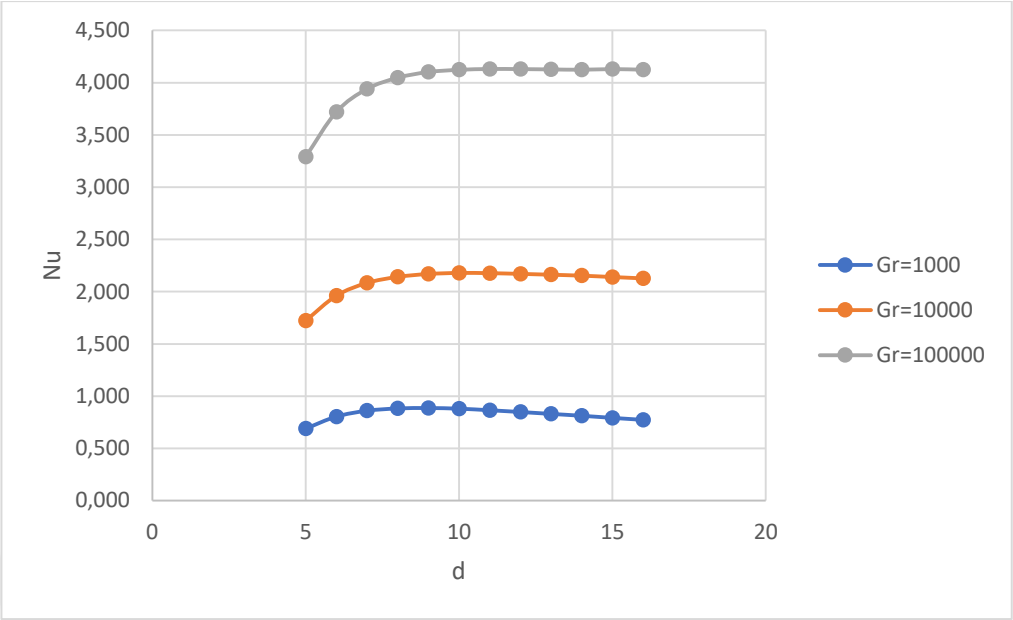
d/Gr	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10^3	0,689	0,804	0,860	0,882	0,886	0,880	0,865	0,848	0,830	0,812	0,792	0,773
2.10^3	0,958	1,105	1,178	1,210	1,219	1,217	1,205	1,190	1,173	1,156	1,136	1,117
3.10^3	1,133	1,3	1,384	1,422	1,436	1,436	1,427	1,413	1,399	1,383	1,364	1,346
4.10^3	1,264	1,447	1,539	1,582	1,599	1,602	1,594	1,582	1,568	1,554	1,536	1,520
5.10^3	1,369	1,565	1,664	1,711	1,730	1,735	1,728	1,718	1,706	1,692	1,676	1,660
6.10^3	1,458	1,665	1,770	1,820	1,841	1,847	1,842	1,832	1,821	1,809	1,794	1,778
7.10^3	1,536	1,752	1,862	1,914	1,937	1,945	1,940	1,931	1,921	1,910	1,896	1,881
8.10^3	1,604	1,829	1,943	1,998	2,022	2,031	2,028	2,019	2,010	2,0	1,986	1,972
9.10^3	1,666	1,898	2,016	2,073	2,099	2,108	2,106	2,098	2,089	2,080	2,067	2,053
10^4	1,722	1,961	2,083	2,141	2,169	2,179	2,177	2,170	2,162	2,153	2,140	2,127
2.10^4	2,12	2,406	2,553	2,625	2,660	2,674	2,677	2,672	2,668	2,663	2,655	2,645
3.10^4	2,378	2,696	2,859	2,938	2,979	2,995	3,000	2,995	2,994	2,990	2,985	2,976
4.10^4	2,575	2,917	3,092	3,177	3,221	3,239	3,245	3,241	3,240	3,237	3,235	3,227
5.10^4	2,736	3,098	3,282	3,373	3,420	3,438	3,445	3,442	3,442	3,439	3,439	3,431
6.10^4	2,873	3,252	3,446	3,540	3,590	3,608	3,616	3,613	3,613	3,610	3,611	3,604
7.10^4	2,994	3,388	3,589	3,687	3,738	3,758	3,765	3,763	3,762	3,760	3,763	3,755
8.10^4	3,102	3,509	3,717	3,819	3,871	3,891	3,899	3,897	3,896	3,893	3,897	3,891
9.10^4	3,200	3,619	3,833	3,938	3,990	4,012	4,020	4,019	4,016	4,014	4,019	4,013
10^5	3,290	3,720	3,940	4,047	4,102	4,123	4,131	4,130	4,127	4,124	4,130	4,124

Çizelge 4.2'de Cu nanopartikülü ile 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre L=5 değerinde alınan Nu değerlerine bakıldığında maksimum değer olan 4,131 değeri Gr 10^5, d=11 koşullarında tespit edilmiştir.



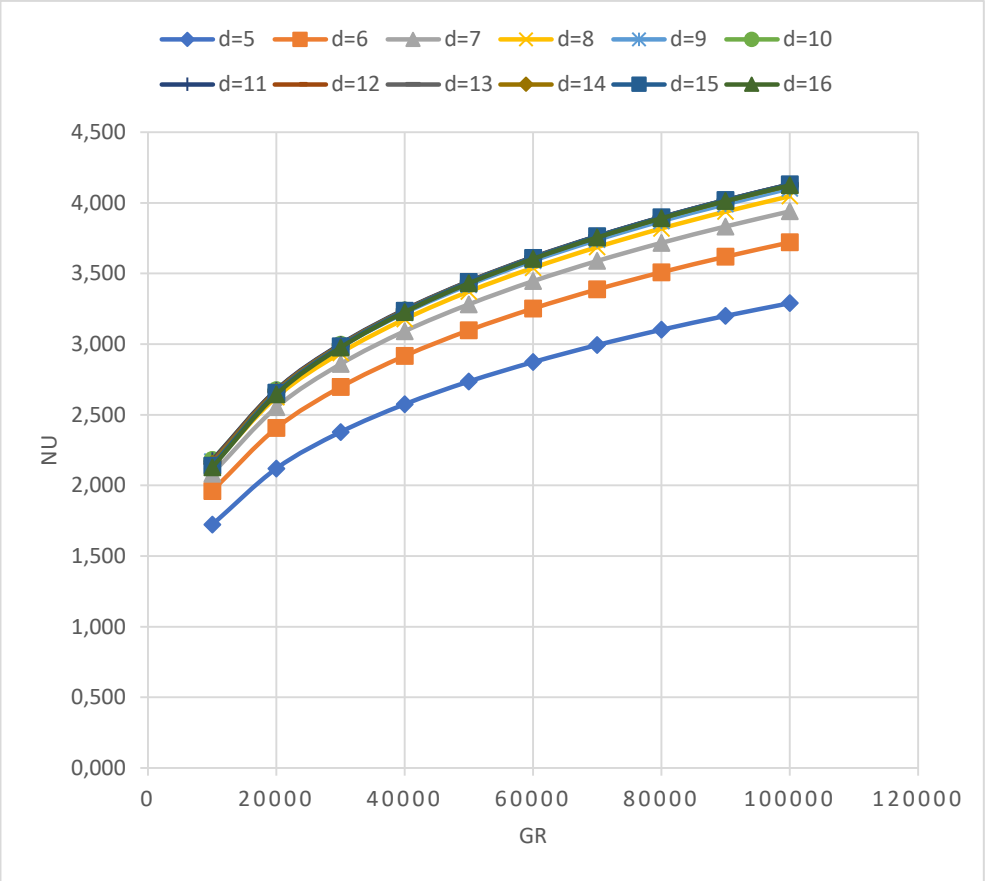
Şekil 4.1. Cu nanopartikülü için 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre Ø=0,2 ve L=5 değerinde alınan Nu değeri sonuçları.

Cu nanopartikül ile 0,2 hacim fraksiyonunda oluşturulan nanoakışkan için artan Gr sayısı ve artan ovallik değerlerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'de gösterilen analiz sonuçlarına göre tüm Gr değerlerinde d=9'a kadar artan ovallik değerleri için Nu sayısının arttığı saptanmıştır. Artan Gr değerlerinde Nu değeri artışı ovallik değerine göre belirli bir eğri çizmektedir. Nu sayısı Gr 4.10^3 değerine kadar d=9 ovallik değerine ulaşana dek artış göstermektedir. Bu sayı, 4.10^3 değerinden 2.10^4 Gr değerine kadar d=10 ovallik değerine kadar artış gösterirken, 2.10^4 değerinden sonra d=11 ovallik değerine kadar artış göstermektedir. Buradan görüleceği üzere artan Gr değerlerinde Nu değeri artışı ovallik değerinde daha ileri bir değere kaymaktadır. Bu durum ovallik değeri artışı ile birlikte taşınımdaki meydana gelen zorlanmanın artan Gr sayısı değeri ile aşılarak Nu değerindeki artışın devam etmesine olanak sağlaması olarak yorumlanabilir.



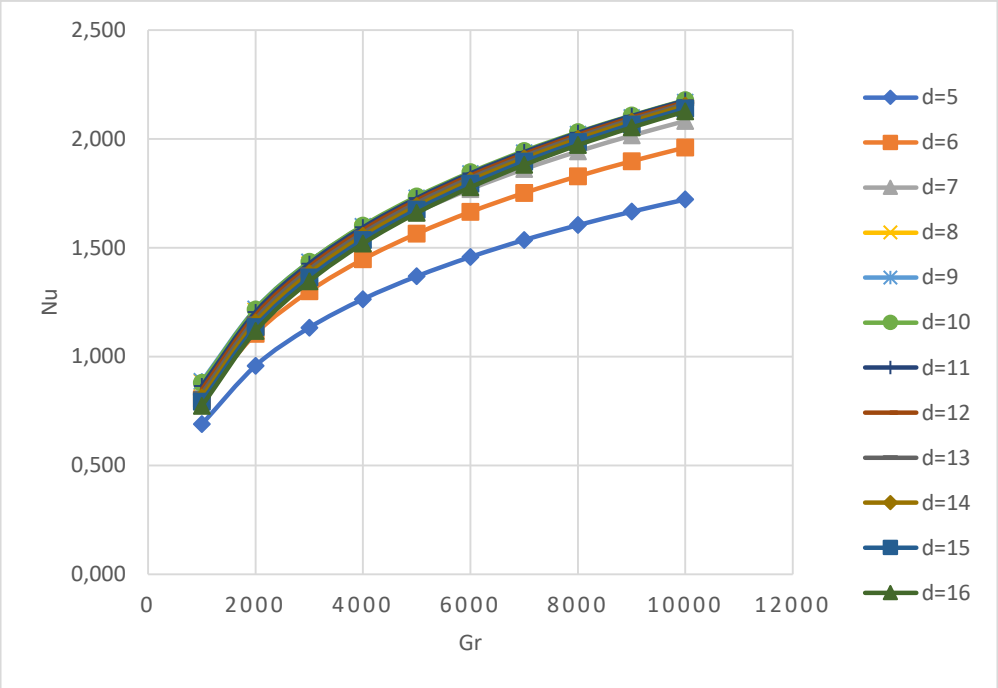
Şekil 4.2. Cu nanopartikülü için değişen ovallik değerlerine karşılık farklı Gr sayılarında bulunan Nu değerleri.

Şekil 4.2'de artan Gr değerlerinde ovalliğin Nu sayısındaki değişime etkisi gösterilmiştir. Burada görüleceği üzere yükselen Gr sayıları için Nu değeri artış yüzdesi de artmaktadır. Artan ovallik değerlerine karşılık gelen Nu değerleri ile çizilen eğrinin eğimi özellikle d=5 ovallik değerinden d=6 ovallik değerine geçişte 10^3 Gr değerinde daha düşük iken sırasıyla 10^4 ve 10^5 değerlerinde artış göstermektedir. Burada artan ovallik değerinde Gr sayısına bağlı olarak Nu değeri artışının; nanoakışkanın akışını kolaylaştıran hacim kuvvetinin, artan Gr sayısına bağlı olarak daha etkili olması dolayısıyla gerçekleştiği düşünülebilir.



Şekil 4.3. Cu nanopartikülü için değişen Gr sayılarında 10^3-10^4 ve değişen ovallik değerlerinde Nu değerleri.

Şekil 4.3'te yatay eksende 10^3-10^4 aralığında değişen Gr değerleri, dikey eksende ise değişen ovallik değerlerinde alınan Nu değerleri ifade edilmiştir. Ovallik değeri arttıkça Nu değeri eğrileri çakışmaktadır. L=5 değerine karşılık artan ovallik değerinde geometride meydana gelen değişim belirli bir değerden sonra, Nu değeri üzerinde fazla bir etki yaratmamaktadır.



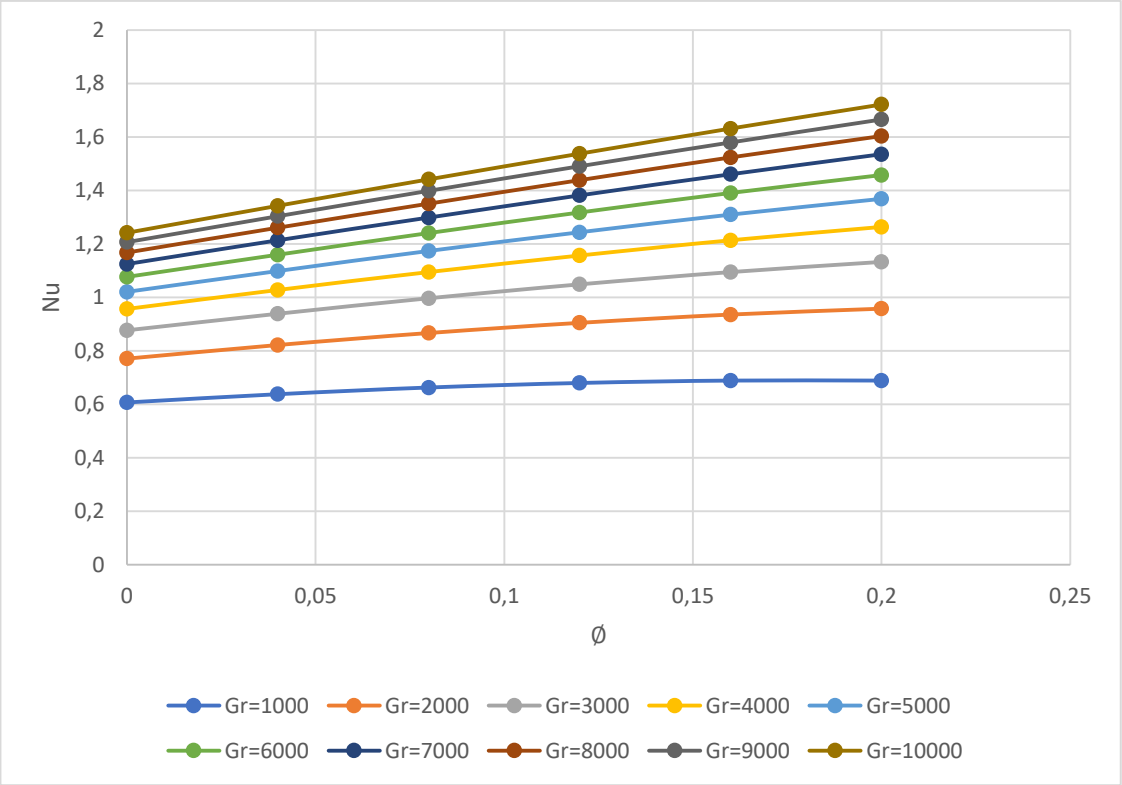
Şekil 4.4. Cu nanopartikülü için değişen Gr sayılarında 10^4-10^5 ve değişen ovallik değerlerinde Nu değerleri.

Şekil 4.4'te yatay eksende 10^4-10^5 aralığında değişen Gr değerleri ve değişen ovallik değerlerinde alınan Nu değerleri dikey eksende ifade edilmiştir.

Çizelge 4.3. Cu nanopartikülü ile ovallik değeri d=5 ve L=5 iken 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.

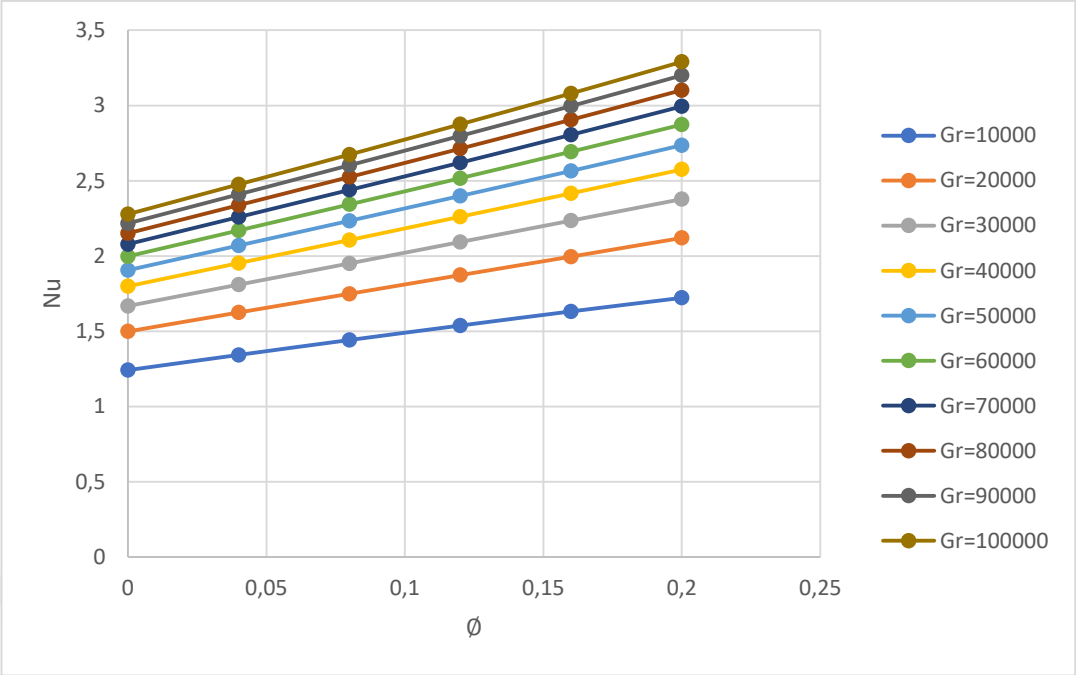
Ø/Gr	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2
1000	0,607	0,638	0,663	0,680	0,689	0,689
2000	0,771	0,822	0,867	0,905	0,936	0,958
3000	0,877	0,939	0,997	1,049	1,095	1,133
4000	0,957	1,028	1,095	1,157	1,214	1,264
5000	1,021	1,099	1,174	1,244	1,310	1,369
6000	1,077	1,160	1,241	1,318	1,391	1,458
7000	1,125	1,214	1,299	1,382	1,461	1,536
8000	1,168	1,261	1,351	1,439	1,524	1,604
9000	1,207	1,304	1,399	1,491	1,580	1,666
10000	1,242	1,343	1,442	1,538	1,632	1,722
20000	1,499	1,625	1,749	1,873	1,996	2,12
30000	1,668	1,810	1,951	2,093	2,235	2,378
40000	1,799	1,953	2,106	2,261	2,416	2,575
50000	1,906	2,070	2,234	2,399	2,565	2,736
60000	1,998	2,170	2,343	2,517	2,693	2,873
70000	2,079	2,259	2,439	2,62	2,805	2,994
80000	2,151	2,338	2,525	2,713	2,905	3,102
90000	2,217	2,410	2,603	2,798	2,996	3,2
100000	2,278	2,476	2,674	2,875	3,080	3,29

Cu nanopartikülü ile ovallik değeri d=5 L=5 iken 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi maksimum Nu değeri, L=5 ve d=5 alındığında Gr=10^5 ve Ø=0,2 iken 3,29 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Cu nanopartikülü ile ovallik değeri d=5 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.

Yatay eksende artan hacim fraksiyonu değerlerine ve dikey eksende değişen Gr değerlerine göre Nu değerleri Şekil 4.5'te $10^3 \leq Gr \leq 10^4$ aralığı için gösterilmiştir. Gr=1000 değerinde istisnai olarak Ø=0,16 ve Ø=0,2 değerlerinde Nu değeri sabit kalmış, diğer Gr değerlerinde devamlı artış gözlenmiştir. Artan Ø değerinde hiçbir zaman azalma saptanmamıştır; Nu değeri ya artmış ya da sabit kalmıştır. Artan $Gr=2.10^4$ değerine kadar Ø=0,12-0,16 değer aralığındaki artış daha fazla iken, $Gr=2.10^4$ değeri ve sonrasında Ø=0,2-0,16 değer aralığındaki artışın daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ø=0-0,04 değer aralığındaki artış incelendiğinde Gr sayısı artışına bağlı fark açılmaktadır. Gr değeri arttıkça nanoakışkana etkiyen hacim kuvveti etkisi de artmaktadır.



Şekil 4.6. Cu nanopartikülü ile ovallik değeri d=5 ve L=5 iken 10^4-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.

Şekil 4.6'da artan Gr değerleri ile Nu değer artışı gözlemlenmiştir. Artan Gr değerlerine göre Nu artışı incelendiğinde, Nu değer farklarında gitgide azalma olduğu tespit edilmiştir. Örneğin Gr=10^4-2.10^4 değerlerindeki Nu değerleri farkı daha fazla iken, Gr=9.10^4-10^5 değerlerindeki Nu değer farkı çok daha düşüktür.

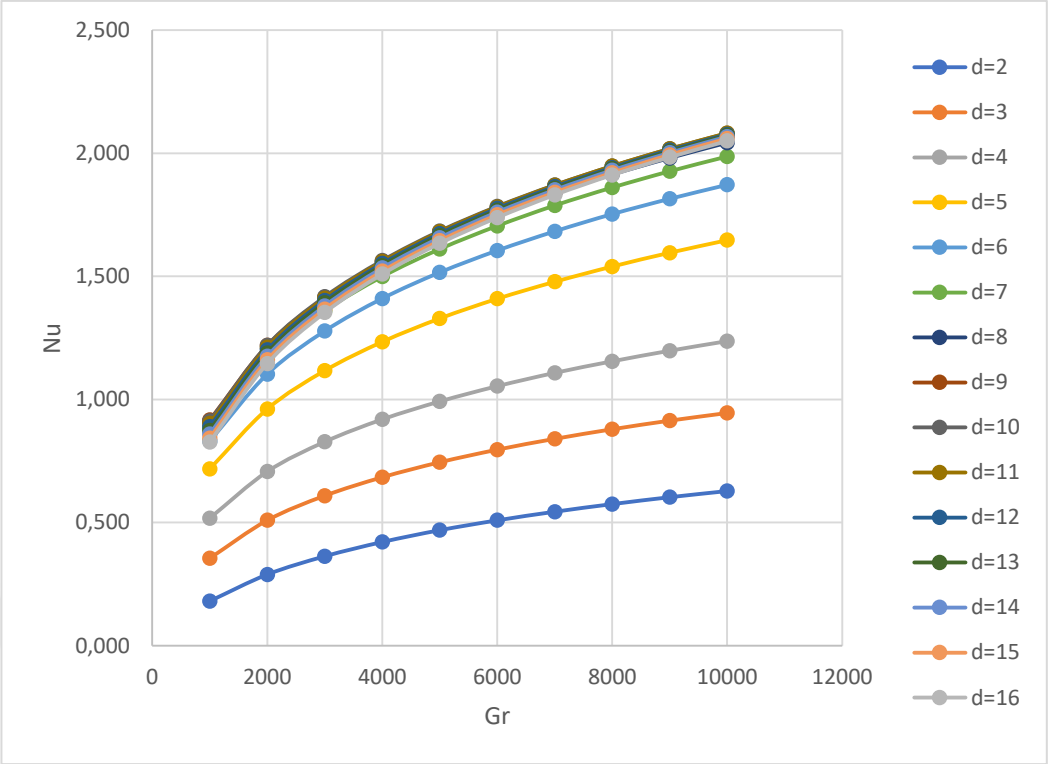
4.2. CuO Nanopartikülü İçin Farklı Parametrelere Göre Alınan Nu Değerleri

CuO nanopartikülü için Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 ovallik değeri d=2-16 ve 10^3-10^5 aralıklarındaki alınan Nu değeri sonuçları Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. CuO nanopartikülü Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 değer ile ovallik değeri d=2-16, 10^3-10^5 aralıklarındaki alınan Nu değeri sonuçları.

Gr/d	10^3	2. 10^3	3.10^3	4. 10^3	510^3	6. 10^3	7. 10^3	8. 10^3	9.10^3	10^4	2. 10^4	3. 10^4	4. 10^4	5. 10^4	6. 10^4	7. 10^4	8. 10^4	9. 10^4	10^5
2	0,181	0,289	0,363	0,421	0,469	0,509	0,544	0,575	0,603	0,628	0,804	0,916	1,001	1,070	1,129	1,181	1,227	1,269	1,307
3	0,355	0,509	0,609	0,684	0,745	0,796	0,840	0,879	0,914	0,945	1,171	1,317	1,429	1,521	1,599	1,668	1,729	1,785	1,836
4	0,518	0,707	0,828	0,919	0,992	1,054	1,108	1,155	1,198	1,237	1,516	1,698	1,837	1,951	2,049	2,135	2,212	2,281	2,346
5	0,718	0,961	1,117	1,234	1,329	1,409	1,478	1,540	1,596	1,647	2,009	2,246	2,427	2,576	2,703	2,815	2,915	3,006	3,090
6	0,831	1,103	1,278	1,410	1,516	1,605	1,683	1,753	1,815	1,872	2,279	2,545	2,749	2,916	3,059	3,185	3,298	3,400	3,494
7	0,886	1,175	1,360	1,499	1,611	1,705	1,788	1,861	1,927	1,987	2,416	2,697	2,913	3,089	3,241	3,373	3,492	3,600	3,700
8	0,910	1,207	1,398	1,541	1,656	1,754	1,838	1,914	1,981	2,043	2,484	2,772	2,993	3,174	3,329	3,465	3,587	3,698	3,800
9	0,916	1,219	1,413	1,559	1,677	1,776	1,862	1,939	2,008	2,071	2,518	2,811	3,034	3,218	3,374	3,512	3,635	3,747	3,850
10	0,913	1,220	1,417	1,564	1,684	1,784	1,871	1,948	2,018	2,081	2,531	2,825	3,050	3,234	3,391	3,529	3,653	3,765	3,868
11	0,902	1,212	1,411	1,560	1,681	1,782	1,870	1,948	2,018	2,082	2,535	2,830	3,055	3,240	3,397	3,534	3,657	3,769	3,871
12	0,889	1,201	1,402	1,552	1,674	1,776	1,864	1,942	2,013	2,077	2,531	2,827	3,053	3,238	3,396	3,534	3,658	3,770	3,873
13	0,874	1,189	1,392	1,544	1,666	1,769	1,858	1,937	2,008	2,073	2,530	2,827	3,053	3,237	3,394	3,531	3,653	3,764	3,865
14	0,859	1,176	1,380	1,534	1,657	1,761	1,851	1,931	2,002	2,068	2,527	2,825	3,051	3,235	3,392	3,529	3,651	3,761	3,862
15	0,843	1,161	1,367	1,521	1,645	1,750	1,841	1,921	1,994	2,060	2,524	2,824	3,052	3,238	3,396	3,535	3,658	3,770	3,871
16	0,827	1,146	1,353	1,509	1,634	1,739	1,831	1,912	1,984	2,050	2,516	2,817	3,046	3,232	3,391	3,530	3,654	3,765	3,868

Çizelge 4.4'e göre CuO nanopartikülü ile ovallik değeri d=2-16 ve 10^3-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 alınan Nu değerleri incelendiğinde maximum değer d=12 Gr=10^5 değerinde 3,873 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.7. CuO nanopartikülü ile ovallik değeri d=2-16 ve 10^3-10^4 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 değerleri için alınan Nu değeri sonuçları.

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere, CuO nanopartikülü için;

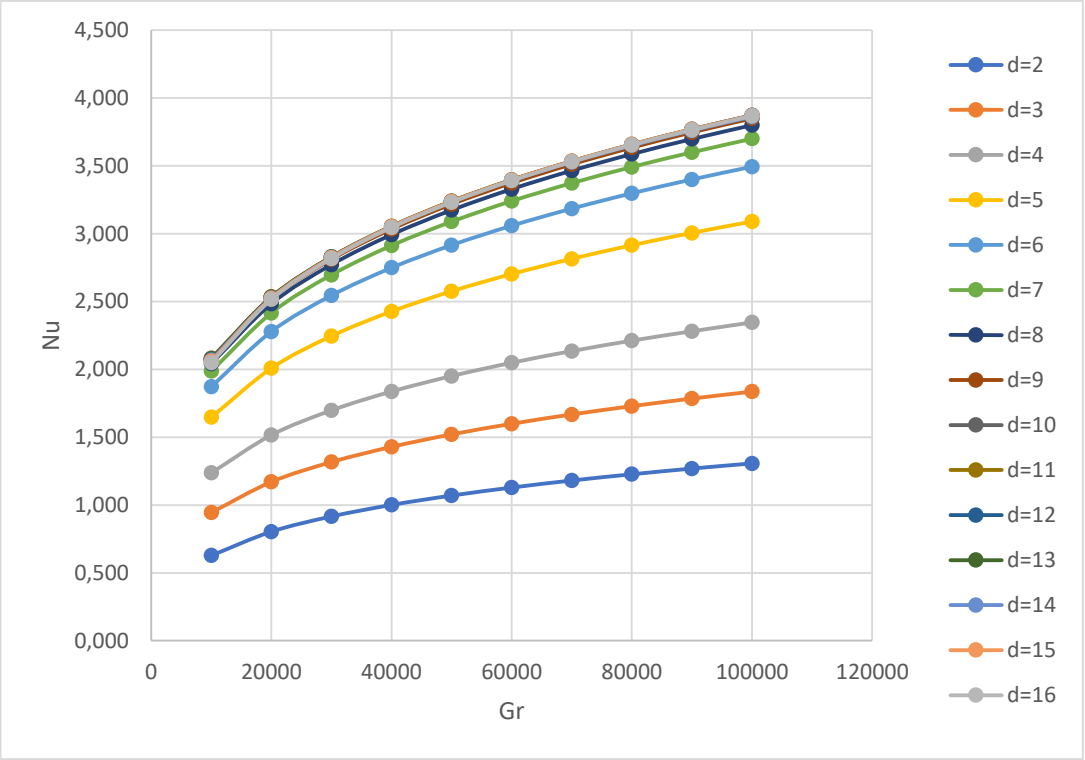
Gr=10^3 değeri için d=9 ovallik değerine kadar Nu değerinde artış olmuştur.

Gr=2.10^3 – 9.10^3 değer aralığında d=10 ovallik değerine kadar Nu değerinde artış olmuştur.

Gr=10^4 – 7.10^4 değer aralığında d=11 ovallik değerine kadar Nu değerinde artış olmuştur.

Gr=7.10^4 değerinden sonra d=12 ovallik değerine kadar Nu değerinde artış olmuştur.

Burada görüldüğü üzere normalde artan ovallik değerinde oluşan geometriye bağlı olarak Nu değeri farkı gitgide kapanmaktadır; bununla birlikte Gr sayısı değeri arttıkça Nu değerindeki artışın bir sonraki ovallik değerine doğru kayarak devam ettiği görülmektedir. Bu durum Gr sayısındaki artışın etkisinin, ovallik değerinin Nu değerine olan etkisine baskın gelmesi şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 4.8. CuO nanopartikülü ile ovallik değeri d=5-16 ve 10^4-10^5 aralıklarındaki Gr değerlerine karşılık L=5 ve Ø=0,16 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.

Şekil 4.8'e göre artan ovallik değerlerinde hesaplanan Nu değerleri arasındaki fark açılmaktadır. Örneğin d=2 için Gr=10^3 değeri ve 10^5 arasındaki fark 1,126 iken; d=3 için fark 1,481; d=4 için 1,828; d=8 için 2,89; d=16 için 3,041 olmaktadır.

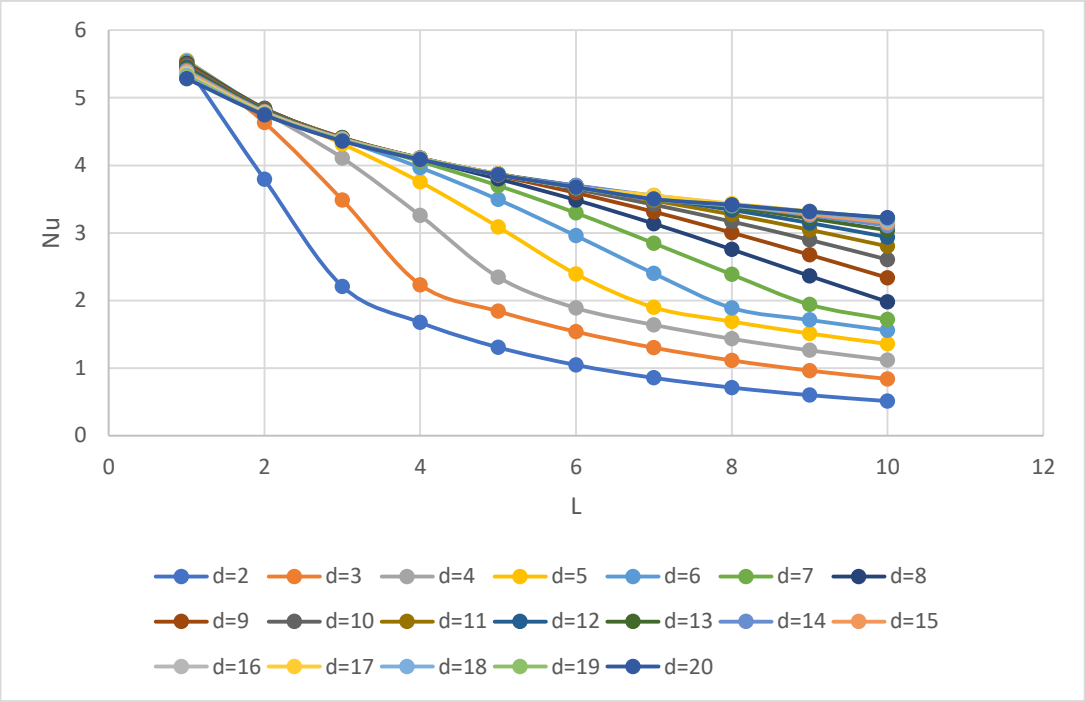
Şekil 4.8, d değer artışına göre incelendiğinde d=4 değerinden d=5 değerine geçişte en yüksek Nu değeri artışı gözlenmiştir.

d=7 değerinden sonra artan d değerlerinde Nu değerleri arasındaki fark oldukça azalmaktadır.

Çizelge 4.5. CuO nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-20 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

L/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	5,475	3,792	2,209	1,675	1,307	1,046	0,855	0,711	0,599	0,511
3	5,539	4,633	3,487	2,233	1,841	1,538	1,301	1,113	0,962	0,840
4	5,55	4,796	4,108	3,257	2,346	1,889	1,639	1,433	1,262	1,119
5	5,545	4,825	4,317	3,754	3,09	2,392	1,898	1,689	1,511	1,357
6	5,536	4,839	4,385	3,967	3,494	2,958	2,399	1,89	1,712	1,556
7	5,524	4,843	4,399	4,058	3,7	3,295	2,847	2,385	1,94	1,718
8	5,511	4,841	4,4	4,094	3,8	3,487	3,137	2,756	2,363	1,981
9	5,495	4,836	4,407	4,104	3,85	3,593	3,313	3,004	2,676	2,337
10	5,479	4,832	4,409	4,098	3,868	3,647	3,418	3,168	2,897	2,606
11	5,462	4,826	4,411	4,107	3,871	3,677	3,478	3,273	3,046	2,802
12	5,446	4,817	4,403	4,108	3,873	3,698	3,516	3,34	3,147	2,939
13	5,426	4,81	4,398	4,109	3,865	3,697	3,54	3,384	3,216	3,04
14	5,407	4,8	4,398	4,104	3,862	3,702	3,551	3,411	3,26	3,108
15	5,388	4,79	4,393	4,108	3,871	3,671	3,543	3,415	3,278	3,152
16	5,369	4,782	4,384	4,102	3,868	3,674	3,551	3,427	3,311	3,182
17	5,348	4,772	4,381	4,099	3,869	3,674	3,554	3,433	3,319	3,211
18	5,327	4,76	4,376	4,096	3,862	3,675	3,5	3,403	3,304	3,198
19	5,306	4,752	4,368	4,095	3,861	3,672	3,502	3,414	3,316	3,218
20	5,284	4,746	4,36	4,086	3,86	3,677	3,501	3,416	3,314	3,226

CuO nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-20 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.9. CuO nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-20 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

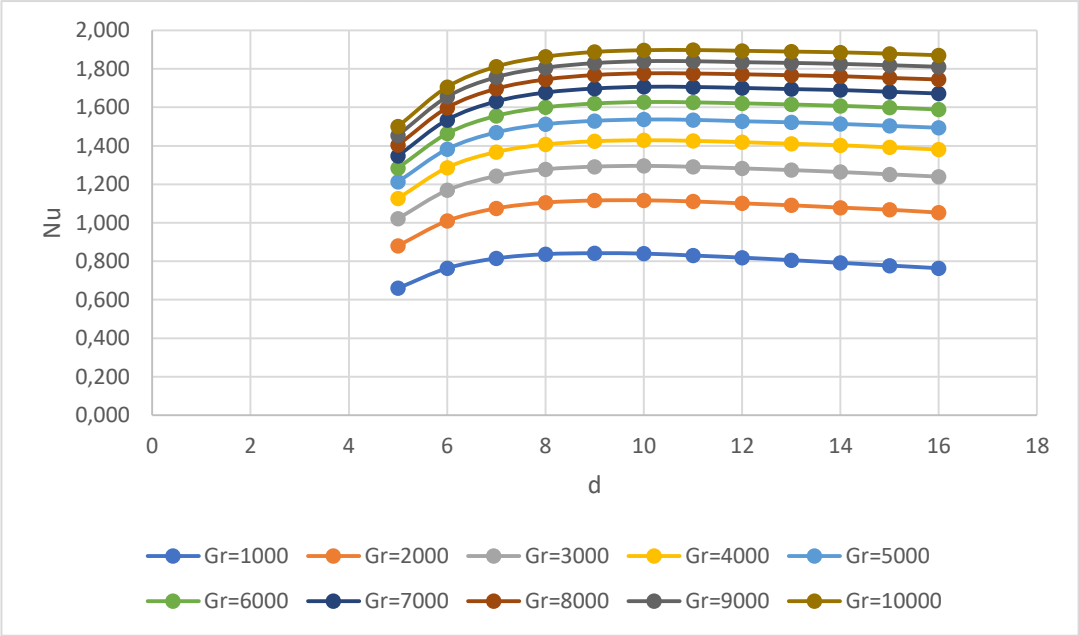
CuO nanopartikülü için Gr=10^5, Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-20 değer aralıklarında Nu değerleri hesaplanmıştır ve Şekil 4.9'da Nu değerleri her d değeri için ayrı ayrı incelendiğinde L değeri artışına göre azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte d değeri artışıyla birlikte L değeri artışına bağlı Nu değerindeki azalma daha düşük seviyede kalmaktadır; yani Şekil 4.9'da eğilim çizgileri artan d değerine bağlı olarak doğrusal olma eğilimindedir. Maksimum Nu değeri d=4 ve L=1 değerinde 5,55 olarak tespit edilmiştir.

4.3. Al_2O_3 Nanopartikülü İçin Farklı Parametrelere Göre Alınan Nu Değerleri

Al_2O_3 nanopartikülü ile Ø=0,12, L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Al_2O_3 nanopartikülü için Ø=0,12, L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları.

d/Gr	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1000	0,660	0,764	0,815	0,837	0,842	0,840	0,830	0,819	0,806	0,792	0,778	0,764
2000	0,881	1,01	1,075	1,105	1,116	1,117	1,111	1,101	1,091	1,079	1,068	1,053
3000	1,022	1,169	1,243	1,278	1,292	1,296	1,291	1,283	1,274	1,264	1,252	1,24
4000	1,127	1,287	1,368	1,407	1,424	1,429	1,426	1,419	1,411	1,403	1,392	1,381
5000	1,213	1,383	1,470	1,512	1,530	1,537	1,535	1,528	1,522	1,514	1,504	1,494
6000	1,285	1,464	1,556	1,600	1,62	1,628	1,626	1,621	1,615	1,608	1,599	1,589
7000	1,348	1,535	1,631	1,677	1,698	1,707	1,706	1,701	1,695	1,69	1,681	1,672
8000	1,404	1,598	1,697	1,745	1,768	1,777	1,776	1,772	1,767	1,762	1,753	1,745
9000	1,455	1,655	1,757	1,806	1,830	1,84	1,84	1,835	1,831	1,826	1,819	1,811
10000	1,501	1,706	1,812	1,863	1,888	1,897	1,898	1,894	1,89	1,886	1,879	1,871



Şekil 4.10. Al_2O_3 nanopartikülü ile Ø=0,12, 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri.

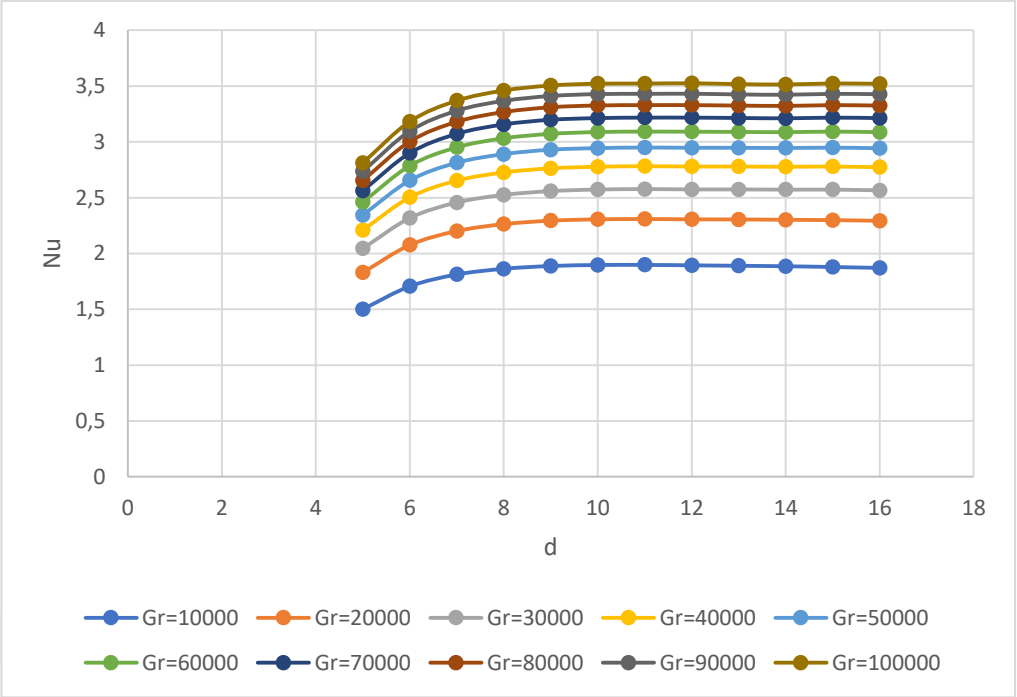
Şekil 4.10'da Al_2O_3 nanopartikülü ile Ø=0,12, 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri incelendiğinde görülmüştür ki; Gr sayısı arttıkça Nu değerlerinin d değerine bağlı değişim oranında azalma olmaktadır. Her Gr değeri için artan ovallik değerinde çizilen eğriler benzerlik göstermektedir. Belirli bir noktaya kadar artarak belirli bir değerden sonra tersi yönelime geçmektedir. Gr değeri 10^3 iken d=9 değerine dek artış olmuş; Gr=2.10^3 değerinden Gr=9.10^3 değerine kadar d=10 değerine kadar artış olmuş ve Gr=10^4 için ise d=11 değerine dek artış gözlenmiş, devamında eğri azalan yönelim göstermiştir. Artan ovallik değerlerinde en yüksek Gr değerinde bulunan Nu değeri ile en düşük Gr değerinde bulunan Nu değeri farkının artmakta olduğu görülmüştür.

Bu koşullar altında maksimum değer Gr=10^4 değerinde ovallik 11 iken 1,898 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.7. Al_2O_3 nanopartikülü ile10^4-10^5 aralıklarındaki L=5 ve Ø=0.12 iken Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları.

d/Gr	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10000	1,501	1,706	1,812	1,863	1,888	1,897	1,898	1,894	1,89	1,886	1,879	1,871
20000	1,83	2,076	2,201	2,263	2,294	2,306	2,309	2,306	2,305	2,302	2,299	2,293
30000	2,045	2,318	2,457	2,525	2,559	2,573	2,577	2,574	2,574	2,572	2,572	2,566
40000	2,21	2,503	2,653	2,726	2,763	2,777	2,782	2,779	2,779	2,777	2,779	2,773
50000	2,345	2,655	2,813	2,89	2,93	2,944	2,949	2,947	2,947	2,945	2,948	2,943
60000	2,461	2,786	2,951	3,032	3,072	3,088	3,092	3,091	3,089	3,087	3,092	3,087
70000	2,563	2,9	3,072	3,156	3,198	3,213	3,217	3,217	3,214	3,211	3,217	3,213
80000	2,654	3,003	3,18	3,267	3,31	3,326	3,329	3,329	3,325	3,322	3,329	3,325
90000	2,736	3,096	3,279	3,367	3,411	3,428	3,43	3,431	3,425	3,422	3,43	3,427
100000	2,812	3,182	3,369	3,46	3,505	3,521	3,522	3,525	3,517	3,514	3,523	3,52

Al_2O_3 nanopartikülü ile 10^4-10^5 aralıklarındaki L=5 ve Ø=0.12 iken Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları Çizelge 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Al_2O_3 nanopartikülü ile 10^4-10^5 aralıklarındaki L=5 ve Ø=0.12 iken Gr değerlerine karşılık değişen ovallik değerlerine göre alınan Nu değeri sonuçları.

Şekil 4.11'de Gr 10^4 değerinden 9.10^4 değerine kadar Nu değeri artışları d=11 ovallik değerine kadar olmuştur. Gr=9.10^4 ve 10^5 için ise Nu maksimum değerini d=12 iken almaktadır.

Her bir ovallik değerinde 10^4 -10^5 Gr değer aralığındaki farklar incelendiğinde;

d=5 için fark; 1,311

d=6 için fark; 1,476

d=7 için fark; 1,557

d=8 için fark; 1,597

d=9 için fark; 1,617

d=10 için fark; 1,624

d=11 için fark; 1,624

d=12 için fark; 1,631

d=13 için fark; 1,627

d=14 için fark; 1,628

d=15 için fark; 1,644

d=16 için fark; 1,649

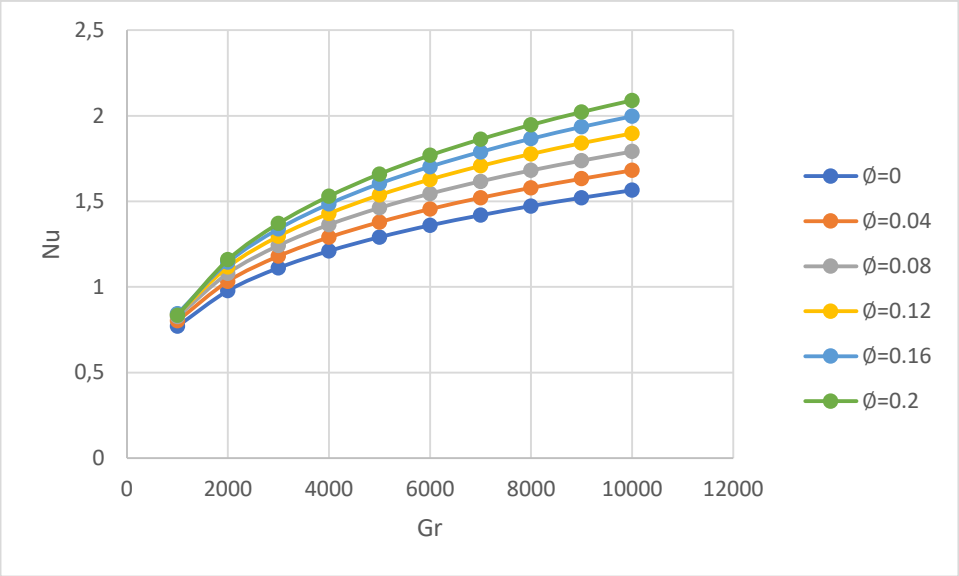
olduğu görülmüştür.

Maksimum Nu değeri Gr 10^5 ve d=12 değerinde görülmektedir. Aynı zamanda 10^4 -10^5 Gr değer aralığındaki farklar incelendiğinde, d=12 değerine kadar Nu değerleri arasındaki fark artmış, d=13 değerinde azalıp daha sonra tekrar artış göstermiştir.

Al_2O_3 nanopartikülü ile ovallik değeri d=10 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları Çizelge 4.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Al_2O_3 nanopartikülü ile ovallik değeri d=10 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.

Ø/Gr	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2
1000	0,77	0,802	0,826	0,84	0,843	0,834
2000	0,978	1,033	1,08	1,117	1,144	1,159
3000	1,111	1,18	1,242	1,296	1,339	1,371
4000	1,21	1,290	1,364	1,429	1,485	1,53
5000	1,291	1,379	1,462	1,537	1,604	1,66
6000	1,360	1,455	1,545	1,628	1,703	1,769
7000	1,419	1,521	1,617	1,707	1,789	1,863
8000	1,473	1,579	1,681	1,777	1,866	1,947
9000	1,521	1,632	1,738	1,84	1,935	2,022
10000	1,565	1,681	1,791	1,897	1,997	2,09



Şekil 4.12. Al_2O_3 nanopartikülü ile ovallik değeri d=10 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Nu değeri sonuçları.

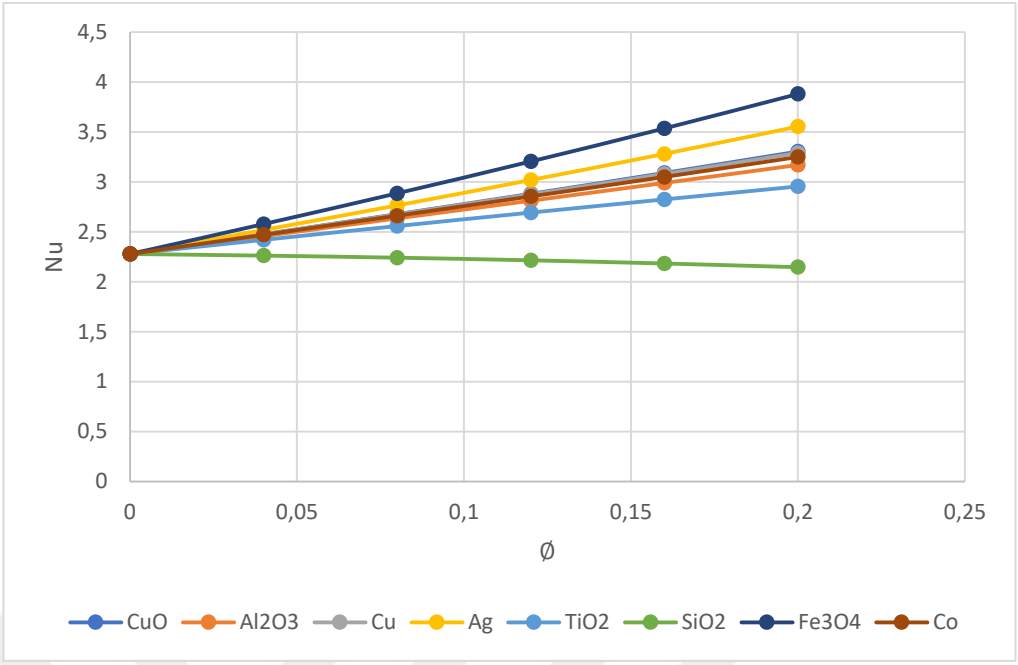
Al_2O_3 nanopartikülü ile ovallik değeri d=10 ve L=5 iken 10^3-10^4 aralığındaki Gr değerlerine karşılık Ø=0-0,2 değer aralığında alınan Şekil 4.12'deki sonuçlara göre; maximum değer $Gr=10^4$ ve Ø=0,2 değerlerinde tespit edilmiştir. Artan Gr değerlerinde Ø değerleri arasındaki Nu değer farkı gitgide açılmaktadır.

4.4. CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co Nanopartikül-Su Bazlı Nanoakışkanlar İçin d=5, L=5, Gr 10^5 Değerlerinde Ø=0-0,2 Değişen Aralıklarda Alınan Nu Değerleri

Çizelge 4.9. CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co nanopartikül-su bazlı nanoakışkanlar için d=5, L=5, Gr=10^5 değerlerinde Ø=0-0,2 değişen aralıklarda alınan Nu değerleri.

Ø/nanopartikül	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2
CuO	2,278	2,476	2,677	2,881	3,090	3,304
Al_2O_3	2,278	2,457	2,635	2,812	2,990	3,170
Cu	2,278	2,476	2,674	2,875	3,080	3,290
Ag	2,278	2,519	2,765	3,019	3,281	3,555
TiO_2	2,278	2,42	2,558	2,693	2,825	2,955
SiO_2	2,278	2,261	2,239	2,211	2,178	2,138
Fe_3O_4	2,278	2,578	2,886	3,205	3,536	3,881
Co	2,278	2,47	2,662	2,855	3,05	3,25

Çizelge 4.9'daki değerler incelendiğinde, genel anlamda katı hacim fraksiyonu ile ısı transferinin iyileştiği gözlemlenmiştir; bu durum nanopartiküllerin ısı iletim katsayı değerlerinin suyun ısı iletim katsayısından daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Lakin burada SiO_2 nanopartikülü için istisnai bir durum meydana gelmiştir. SiO_2'nin ısı iletim katsayısının oldukça düşük olmasından dolayı k_{eff} değeri artarken, aynı zamanda μ_{eff} değeri de artmaktadır. Viskoz kuvvetlerin etkisi daha baskın olduğundan SiO_2'in Nu sayısı değeri Ø değer artışıyla düşüş göstermektedir. Isı iletim katsayısı yeterince büyük olduğunda ise bu durum akışı güçleştiren viskoz etkisini yener ve Nu değeri artış gösterir.



Şekil 4.13. CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co nanopartikül-su bazlı nanoakışkanlar için d=5, L=5, Gr=10^5 değerlerinde Ø=0-0,2 değişen aralıklarda alınan Nu değerleri.

CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co nanopartikül-su bazlı nanoakışkanlar için d=5, L=5, Gr=10^5 değerlerinde Ø=0-0,2 değişen aralıklarda Nu değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.13'de; en yüksek değer Fe_3O_4 nanopartikülü kullanıldığında gözlenmiştir. Fe_3O_4 nanopartikülü Ø=0,2 iken en yüksek Nu değeri olan 3,881 değerini vermiştir. Her bir nanopartikül için (SiO_2 dışında) artan Ø değerlerinde Nu değerlerinde artış görülmüştür. Her Ø değeri için Nu değeri sıralaması en düşük değerden en yüksek değere doğru; SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Co, Cu, CuO, Ag, Fe_3O_4 şeklindedir.

Her nanopartikül için Ø= 0,04-0,2 değerlerindeki Nu farkı değerleri;

CuO için; 0,828

Al_2O_3 için; 0,713

Cu için; 0,814

Ag için; 1,036

TiO_2 için; 0,535

Fe_3O_4 için; 1,303

Co için; 0,780

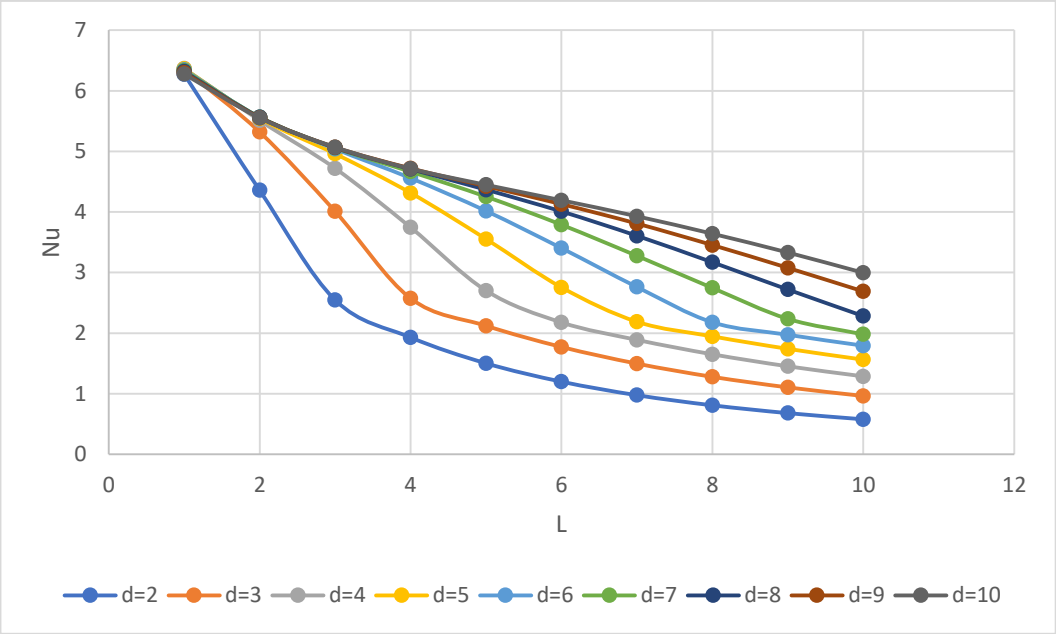
şeklinde hesaplanmıştır. Buradan görüleceği üzere artan Ø değerlerinde en büyük artış yine Fe_3O_4 nanopartikül içerikli nanoakışkan için görülmüştür.

4.5. Ag Nanopartikülü İçin Gr=10^5 Ø=0.2 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri

Optimum Gr değeri olan 10^5 değerinde optimum ovallik ve elips L yatay yarıçap uzunluğu tespiti için analizler gerçekleştirilmiştir ve Çizelge 4.10'da sergilenmiştir.

Çizelge 4.10. Ag nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

L/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	6,272	4,358	2,547	1,93	1,502	1,199	0,976	0,809	0,68	0,578
3	6,354	5,32	4,01	2,574	2,122	1,772	1,497	1,279	1,105	0,963
4	6,368	5,51	4,72	3,746	2,702	2,177	1,889	1,651	1,453	1,287
5	6,362	5,546	4,961	4,315	3,554	2,755	2,188	1,947	1,741	1,563
6	6,349	5,562	5,04	4,559	4,017	3,403	2,762	2,179	1,973	1,793
7	6,335	5,567	5,058	4,665	4,253	3,789	3,276	2,746	2,236	1,98
8	6,318	5,564	5,061	4,708	4,368	4,009	3,607	3,17	2,72	2,282
9	6,298	5,557	5,068	4,72	4,426	4,13	3,809	3,454	3,078	2,689
10	6,277	5,552	5,07	4,715	4,448	4,193	3,929	3,641	3,331	2,997

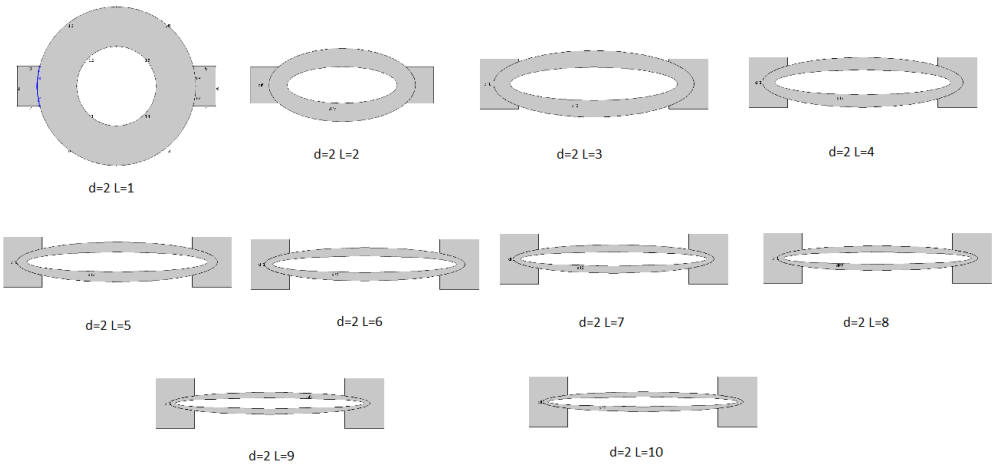


Şekil 4.14. Ag nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

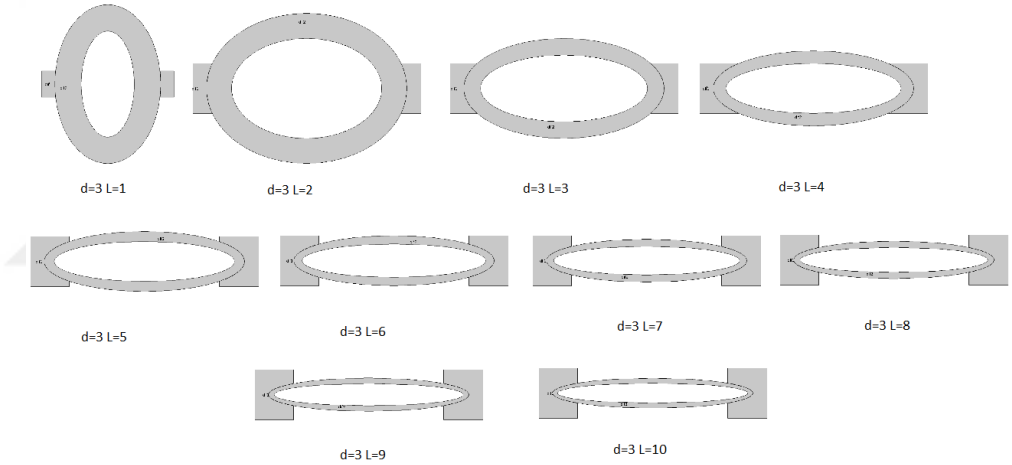
Şekil 4.14'te görüldüğü üzere Ag kullanılarak oluşturulan nanoakışkan için optimum ovallik(d) ve yarıçap değeri (2L) tespiti için analizler elde edilmiştir. Ovallik olarak ifade edilen d=4 iken L=1 olduğu noktada maksimum ısı transferi yakalanmıştır.

Maximum değer d=4 ve L=1 değerinde 6,368 olarak hesaplanmıştır.

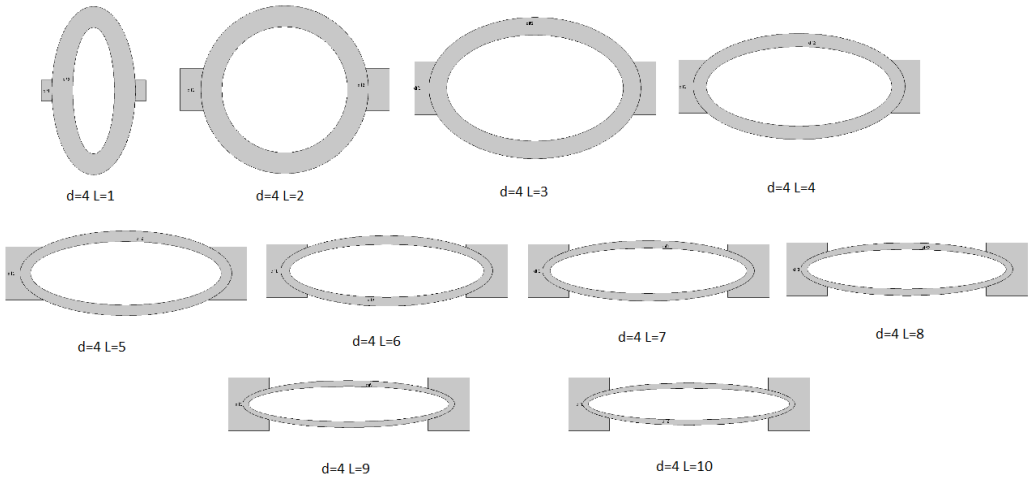
Şekil 4.14'te d değeri artışı ile birlikte Nu değerindeki ani azalma eğilimi değişmiştir. Örneğin L=1-3 değer farkları incelendiğinde d=2 değerinde bu fark dikkat çekici seviyede iken artan d değerlerinde fark kapanma eğilimindedir. d değer artışı L değer artışına bağlı olarak incelendiğinde belirli bir d değerinden sonra L değer artışına bağlı Nu sayısı değerlerindeki değişimin azaldığı gözlenmektedir. Küçük d değerlerinde L değerine bağlı geometrideki değişim gözle görülür şekilde etkili olurken belirli bir d değerinden sonra bu değişim azalmaktadır.



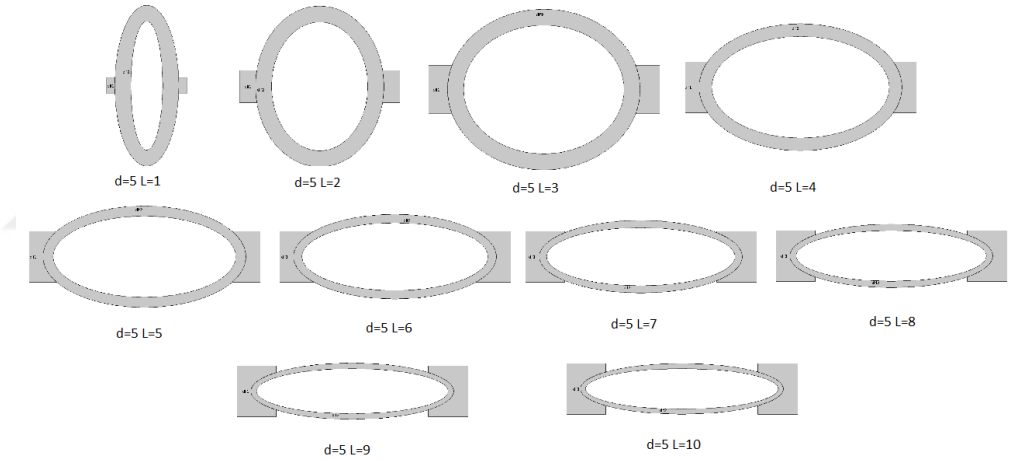
Şekil 4.15. d=2 L=1-10 değerlerinde geometri.



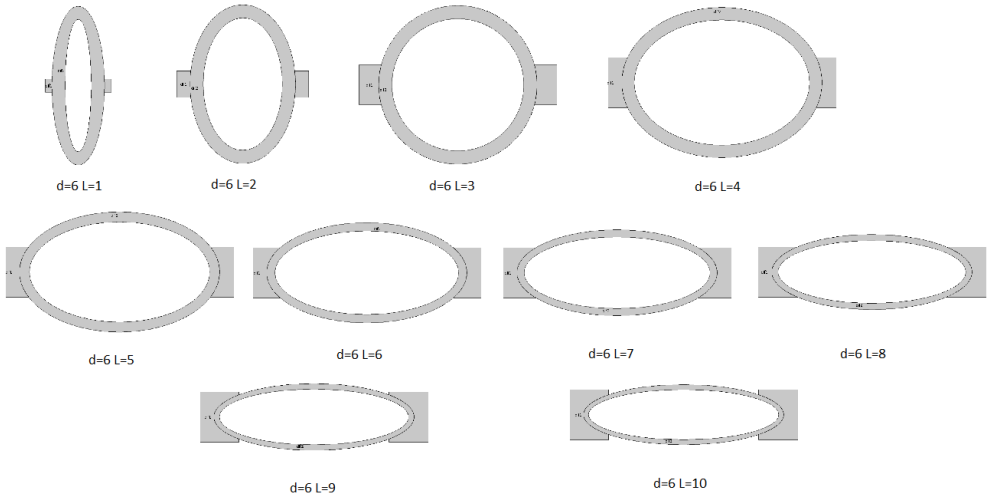
Şekil 4.16. d=3 L=1-10 değerlerinde geometri.



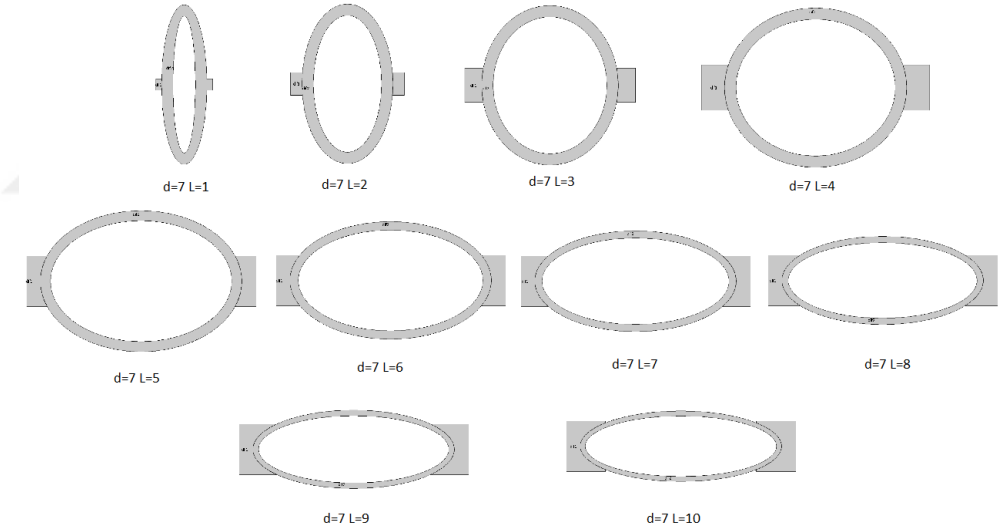
Şekil 4.17. d=4 L=1-10 değerlerinde geometri.



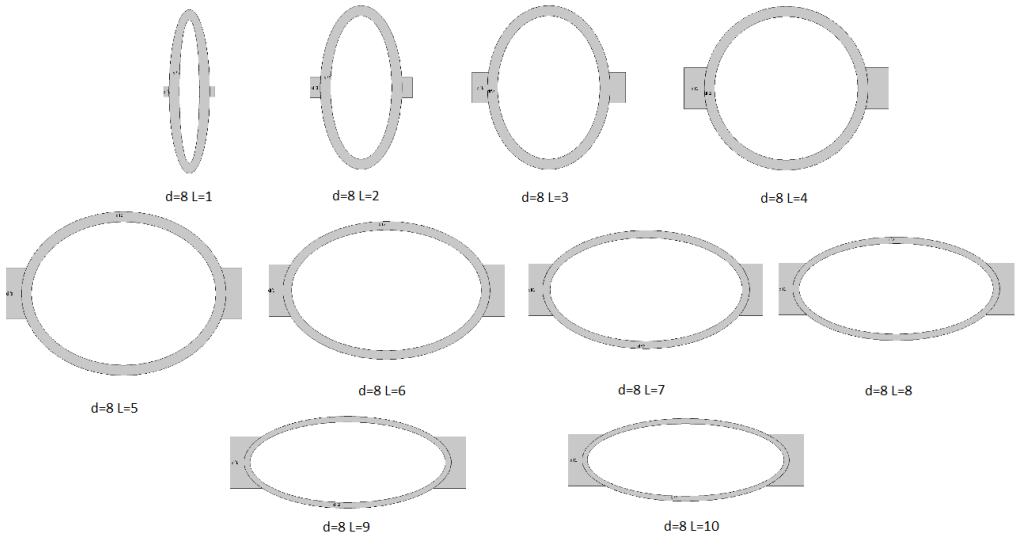
Şekil 4.18. d=5 L=1-10 değerlerinde geometri.



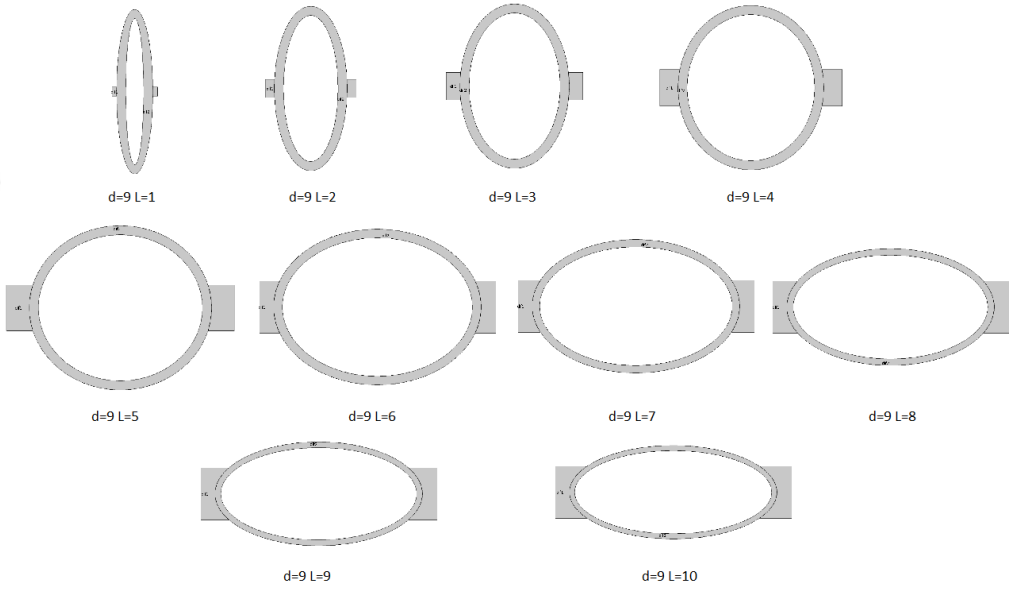
Şekil 4.19. d=6 L=1-10 değerlerinde geometri.



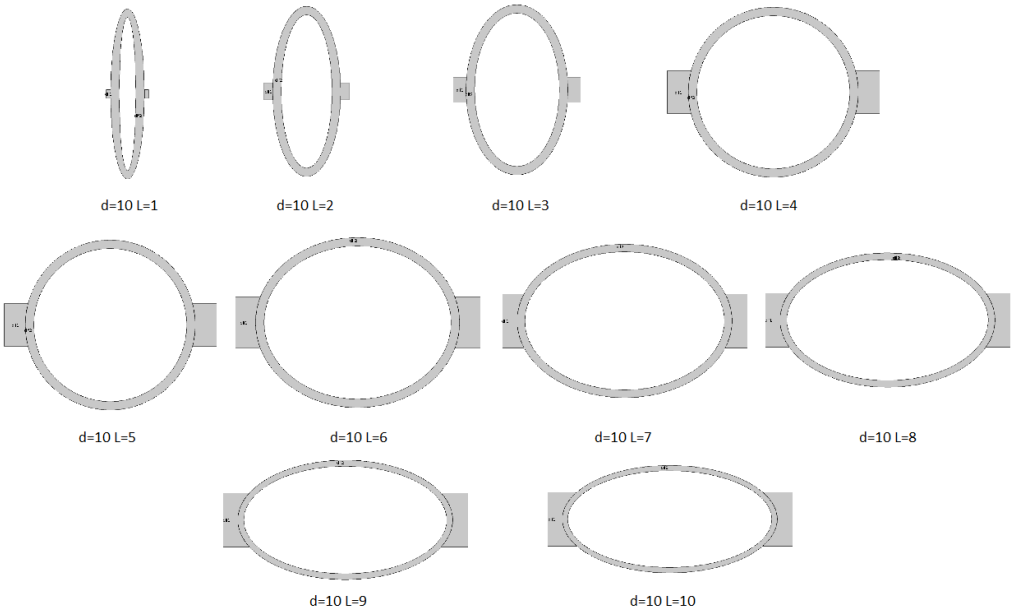
Şekil 4.20. d=7 L=1-10 değerlerinde geometri.



Şekil 4.21. d=8 L=1-10 değerlerinde geometri.



Şekil 4.22. d=9 L=1-10 değerlerinde geometri.



Şekil 4.23. d=10 L=1-10 değerlerinde geometri.

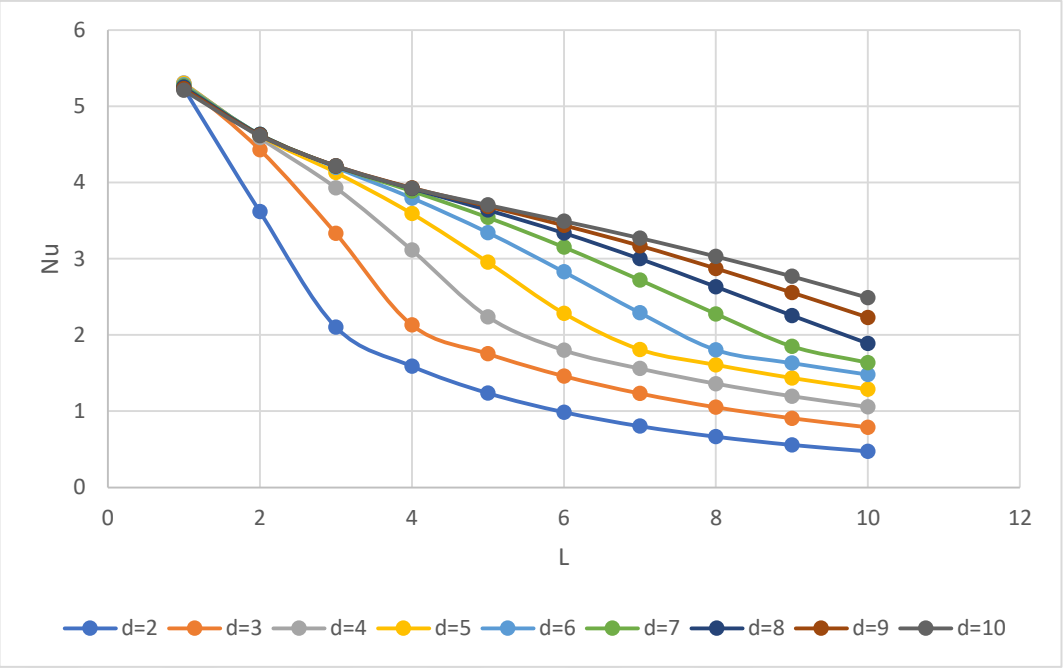
Ovallik değeri d=2-10 ve L=1-10 aralığındaki geometriler Şekil 4.15-4.23'de gösterilmektedir.

4.6. TiO_2 Nanopartikülü İçin $Gr=10^5$ Ø=0.2 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri

TiO_2 için alınan Nu değerleri Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. TiO_2 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

L/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	5,237	3,62	2,104	1,59	1,237	0,987	0,803	0,665	0,557	0,473
3	5,298	4,432	3,332	2,131	1,753	1,46	1,232	1,051	0,907	0,789
4	5,307	4,589	3,931	3,114	2,239	1,8	1,559	1,361	1,196	1,057
5	5,299	4,618	4,133	3,593	2,955	2,285	1,81	1,608	1,436	1,287
6	5,285	4,63	4,199	3,798	3,344	2,828	2,291	1,803	1,631	1,48
7	5,27	4,633	4,214	3,888	3,542	3,152	2,722	2,277	1,851	1,637
8	5,252	4,63	4,215	3,922	3,639	3,338	3	2,633	2,256	1,889
9	5,231	4,622	4,22	3,932	3,688	3,439	3,171	2,873	2,557	2,231
10	5,21	4,616	4,22	3,927	3,706	3,493	3,272	3,03	2,769	2,489

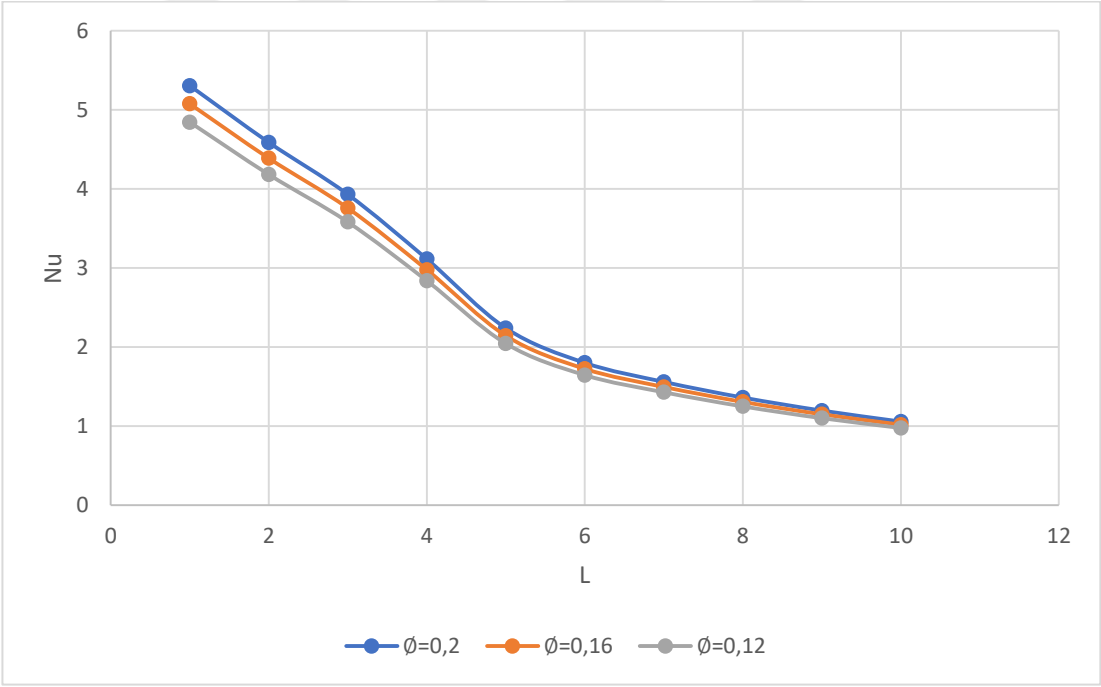


Şekil 4.24. Gr=10^5, Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

Şekil 4.24'te d=2 değerinde L=2 den L=3 değerine geçişte geometride oluşan bu değişiklik dolayısıyla Nu sayısında ciddi bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Devamında değişen L değerlerinde Nu sayısında bu derece bir düşüş olmamıştır. Ovallik d=6 değeri incelendiğinde L=8'den sonra eğrinin eğiminin azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.12. TiO_2 için, d=4, $Gr=10^5$ olması durumunda değişen Ø değerinde L=1-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

Ø/L	0,2	0,16	0,12
1	5,307	5,077	4,845
2	4,589	4,388	4,183
3	3,931	3,758	3,582
4	3,114	2,978	2,839
5	2,239	2,143	2,044
6	1,8	1,724	1,645
7	1,559	1,495	1,428
8	1,361	1,306	1,249
9	1,196	1,149	1,1
10	1,057	1,018	0,976



Şekil 4.25. TiO_2 için d=4 $Gr=10^5$ olması durumunda değişen Ø değerinde L=1-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

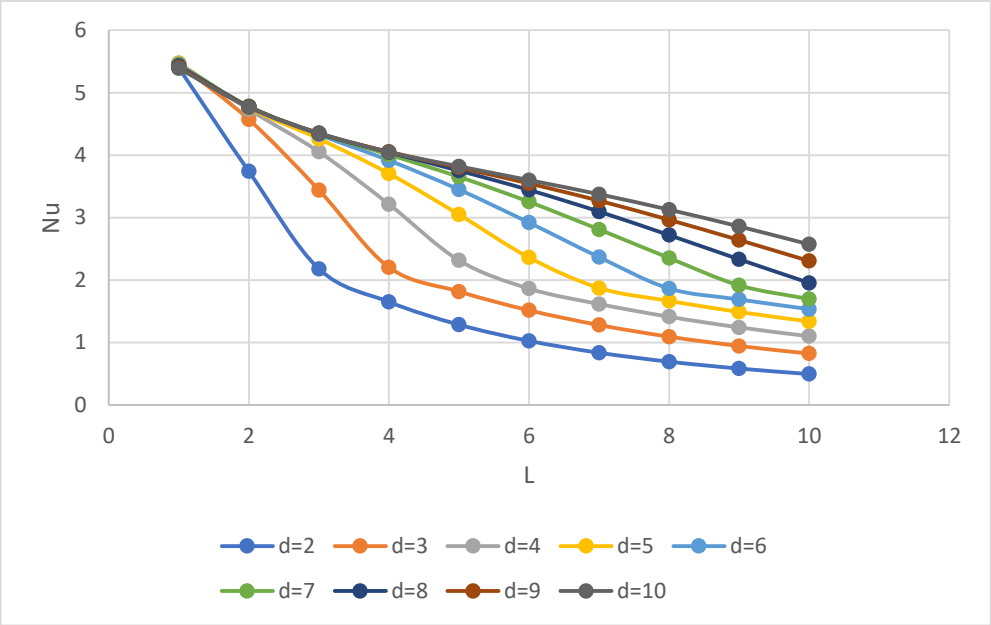
Çizelge 4.12'de TiO_2 için, d=4, $Gr=10^5$ olması durumunda değişen Ø değerinde L=1-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri gösterilmiştir.

Şekil 4.25'deki grafikte yatay eksende, L değerleri dikey eksende Nu sayısı değerleri tanımlanmıştır. L değeri 1 iken farklı Ø değerleri arasında karşılaştırma yapıldığında aradaki farkın fazla olduğu ve L değeri arttıkça farklı Ø değerlerinde alınan Nu değeri farkının gitgide azaldığı gözlemlenmiştir. Her bir Ø değeri için Nu değerinin L ile değişiminin benzer forma sahip olduğu görülmüştür. L arttıkça Nu değeri azalmakta, L=6 değerinden sonra ise Nu'in L'ye bağımlılığı azalmaktadır.

4.7. Co Nanopartikülü İçin $Gr=10^5$ Ø=0.16 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri

Çizelge 4.13. Co nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

L/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	5,397	3,74	2,18	1,651	1,286	1,027	0,837	0,694	0,584	0,496
3	5,462	4,571	3,442	2,205	1,817	1,516	1,281	1,094	0,945	0,824
4	5,473	4,733	4,054	3,215	2,316	1,864	1,617	1,413	1,243	1,101
5	5,467	4,763	4,262	3,706	3,05	2,362	1,874	1,667	1,49	1,337
6	5,456	4,777	4,329	3,916	3,449	2,92	2,368	1,866	1,69	1,535
7	5,443	4,781	4,345	4,008	3,653	3,253	2,811	2,354	1,916	1,696
8	5,428	4,778	4,346	4,044	3,752	3,443	3,097	2,72	2,333	1,955
9	5,41	4,772	4,352	4,054	3,802	3,547	3,271	2,965	2,641	2,306
10	5,391	4,767	4,354	4,049	3,821	3,601	3,375	3,127	2,859	2,572



Şekil 4.26. Co nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=4-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

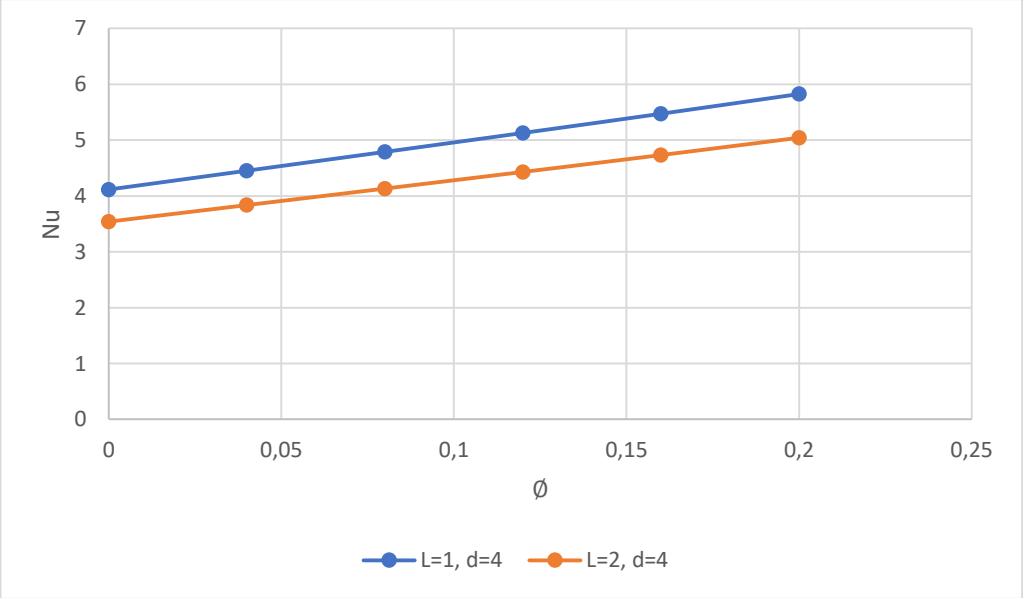
Çizelge 4.13'de Co nanopartikülü için Gr=10^5 Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri gösterilmiştir.

Şekil 4.26'da gösterilen grafiğe göre L değer artışıyla birlikte Nu değer değişimleri incelendiğinde, d=2 değerine karşılık alınan Nu değerleri eğrisinde L=5 değerine kadar ciddi düşüş olmuştur; bu değer sonrasında artan L değerlerinde eğri x eksenine paralel ilerleme eğilimine girmiştir. L=10 değeri için hangi ovallik değerlerinde en yakın Nu sonucu alındığı incelendiğinde, 6 ve 7 değerleri arasındaki farkın en düşük değer olduğu tespit edilmiştir.

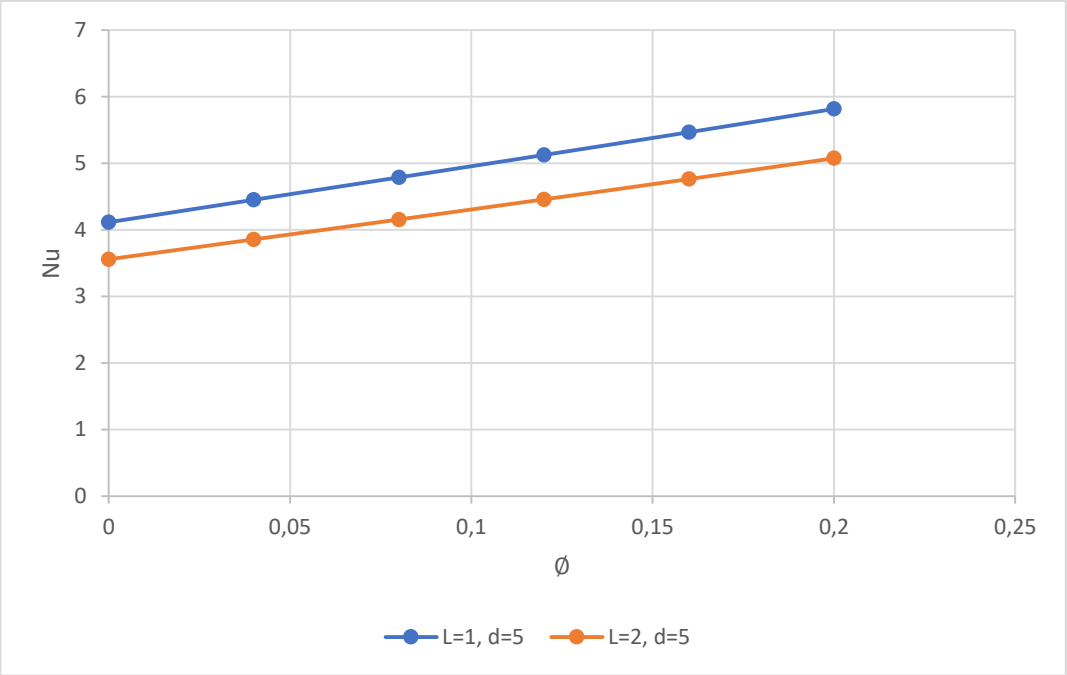
Çizelge 4.14'te Co nanopartikülü için Gr=10^5, L=1-2 ve d=4-5 ve tüm Ø değerlerinde hesaplanan Nu değerleri gösterilmiştir. L ve d değerlerindeki değişim Ø değer artışına bağlı olarak yorumlanmıştır.

Çizelge 4.14. Co nanopartikülü için Gr=10^5 , L=1-2 ve d=4-5 ve tüm Ø değerlerinde hesaplanan Nu değerleri.

	L	1		2	
	d	4	5	4	5
Ø	0	4,116	4,115	3,541	3,558
	0,04	4,453	4,452	3,837	3,857
	0,08	4,79	4,788	4,133	4,156
	0,12	5,129	5,125	4,431	4,458
	0,16	5,473	5,467	4,733	4,763
	0,2	5,826	5,817	5,043	5,076



Şekil 4.27. Co nanopartikülü için Gr=10^5, L=1-2 ve d=4 ve tüm Ø değerlerinde hesaplanan Nu değerleri.



Şekil 4.28. Co nanopartikülü için Gr=10^5, L=1-2 ve d=5 ve tüm Ø değerlerinde hesaplanan Nu değerleri.

Co nanopartikülü için Gr=10^5, L=1-2 ve d=4-5 ve tüm Ø değerlerinde hesaplanan Nu değerleri Şekil 4.27 ve 4.28'de grafikler ile gösterilmiştir. Ø değerleri için için d=4 ve 5 değerinde L=1-2 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri incelendiğinde Ø değeri arttıkça d=4 ve 5 değerleri arasındaki fark açılmaktadır.

Ø=0,04 için d=4 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,616'dır.

Ø=0,04 için d=5 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,595'dir.

Bu iki değer arasındaki fark 0,021 olmaktadır.

Ø=0,08 için d=4 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,657'dır.

Ø=0,08 için d=5 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,632'dir.

Ø=0,08 için değer farkı 0,025 olmaktadır.

Ø=0,12 için d=4 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,698'dır.

Ø=0,12 için d=5 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,667'dir.

Ø=0,12 için değer farkı 0,031 olmaktadır.

Ø=0,16 için d=4 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,740'dır.

Ø=0,16 için d=5 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,704'dir.

Ø=0,16 için değer farkı 0,036 olmaktadır.

Ø=0,2 için d=4 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,783'dır.

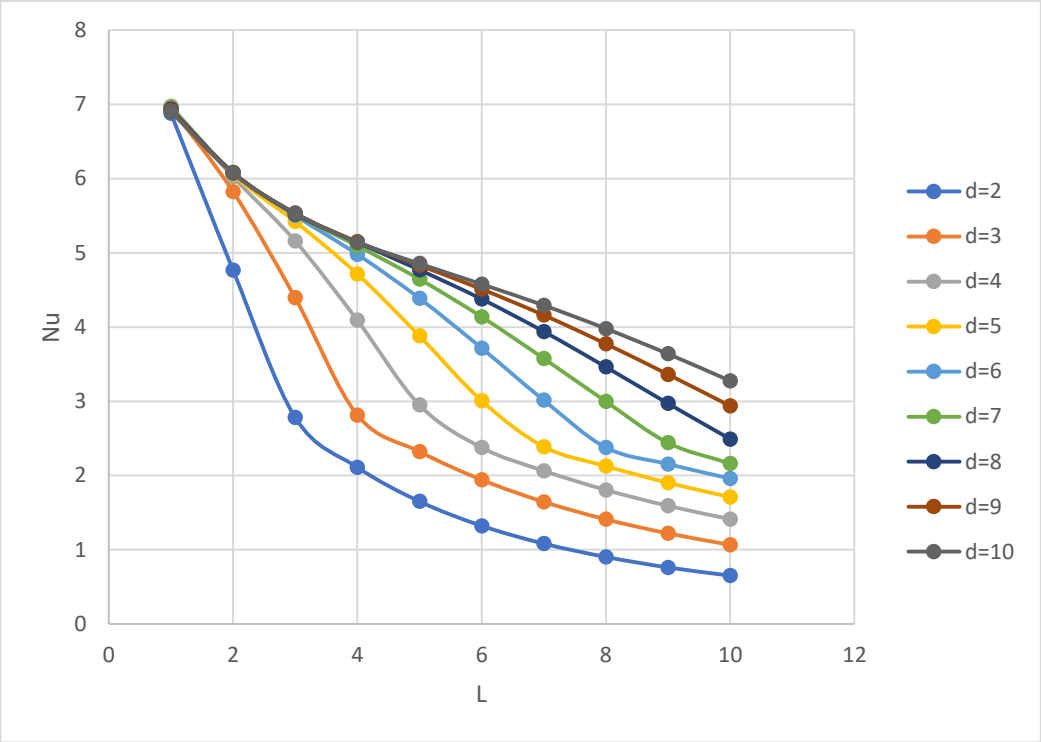
Ø=0,2 için d=5 değerlerine karşılık gelen Nu değerleri arasındaki fark 0,741'dir.

Ø=0,2 için değer farkı 0,042 olmaktadır.

4.8. Fe_3O_4 Nanopartikülü İçin $Gr=10^5$ Ø=0.2 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri

Çizelge 4.15. Fe_3O_4 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

L/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	6,881	4,768	2,781	2,111	1,65	1,322	1,082	0,902	0,761	0,651
3	6,96	5,825	4,394	2,814	2,322	1,942	1,645	1,409	1,22	1,066
4	6,977	6,025	5,16	4,092	2,949	2,376	2,063	1,805	1,591	1,412
5	6,972	6,06	5,422	4,715	3,881	3,007	2,387	2,126	1,902	1,709
6	6,962	6,078	5,505	4,98	4,388	3,716	3,015	2,377	2,154	1,959
7	6,95	6,084	5,522	5,095	4,645	4,138	3,577	2,997	2,44	2,161
8	6,936	6,082	5,523	5,14	4,771	4,378	3,94	3,462	2,97	2,491
9	6,918	6,076	5,533	5,15	4,832	4,511	4,161	3,774	3,362	2,937
10	6,901	6,072	5,535	5,143	4,855	4,578	4,293	3,979	3,639	3,275



Şekil 4.29. Fe_3O_4 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.2 değerinde L=1-10 ve d=4-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerlerinin grafik ile ifadesi.

Şekil 4.29'a göre Ø=0,2, $Gr=10^5$ için en yüksek Nu değeri 6,977 ile L=1, d=4 değeri için elde edilmiştir. Şekil 4.29' genel olarak incelendiğinde görülmüştür ki; L değerindeki değişim Nu değeri üzerinde d değerindeki değişimden daha etkili olmuştur. Bu değer farklarını gösterebilmek için Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17 aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.16'da Çizelge 4.15'teki değerler baz alınarak, satırda hangi iki L değeri arasındaki Nu değerleri farkı yazılacağı ifade edilmiştir. d=4 değerinde L artışına bağlı Nu değer değişimi "0,952, 0,865, 1,068, 1,143, 0,573" olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.17'de Çizelge 4.15'deki değerlerden sütunda hangi iki d değerine karşılık gelen Nu değeri farkı yazılacağı ifade edilmiştir ve L=5 değerinde aşağı yönde Nu değer değişimi "-0,661,-0,638,-0,932,-0,507,-0,257" şeklindedir. L değerindeki değişimlerin d değerindeki değişimlerden daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.16. Çizelge 4.15'deki değerler baz alınarak iki L değerlerine karşılık gelen Nu değerleri farkları.

L/d	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
4	0,952	0,865	1,068	1,143	0,573

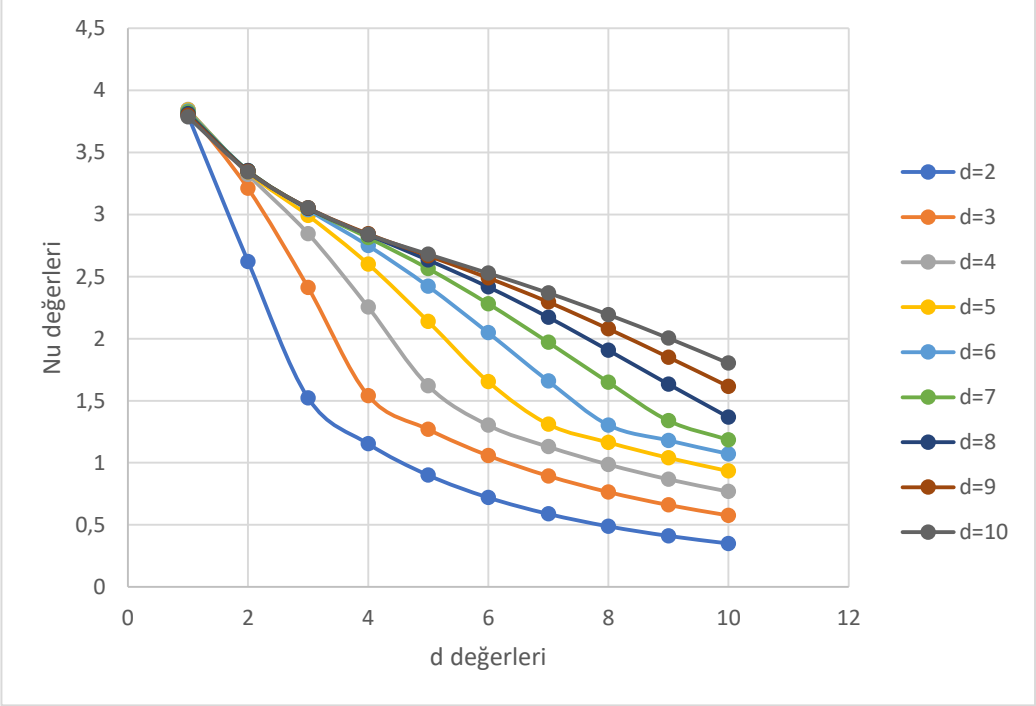
Çizelge 4.17. Çizelge 4.15'deki değerler baz alınarak iki d değerlerine karşılık gelen Nu değerleri farkları.

L/d	5
2-3	-0,661
3-4	-0,638
4-5	-0,932
5-6	-0,507
6-7	-0,257

4.9. SiO_2 Nanopartikülü İçin $Gr=10^5$ Ø=0.16 Değerinde L=1-10 ve d=2-10 Değer Aralıklarında Hesaplanan Nu Değerleri

Çizelge 4.18. SiO_2 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

L/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	3,798	2,622	1,522	1,153	0,9	0,72	0,588	0,488	0,411	0,35
3	3,84	3,21	2,412	1,541	1,269	1,058	0,894	0,764	0,66	0,576
4	3,846	3,323	2,846	2,254	1,62	1,302	1,129	0,986	0,867	0,768
5	3,841	3,342	2,992	2,601	2,138	1,653	1,31	1,164	1,04	0,933
6	3,833	3,352	3,038	2,749	2,421	2,047	1,658	1,304	1,18	1,072
7	3,824	3,354	3,049	2,813	2,564	2,281	1,97	1,648	1,339	1,185
8	3,812	3,352	3,049	2,837	2,633	2,416	2,172	1,906	1,633	1,367
9	3,799	3,347	3,053	2,844	2,668	2,489	2,295	2,079	1,85	1,615
10	3,786	3,344	3,053	2,839	2,681	2,527	2,368	2,193	2,004	1,802



Şekil 4.30. SiO_2 nanopartikülü için $Gr=10^5$ Ø=0.16 değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri.

SiO_2 nanopartikülü için $Gr=10^5$ $\emptyset=0.16$ değerinde L=1-10 ve d=2-10 değer aralıklarında hesaplanan Nu değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir.

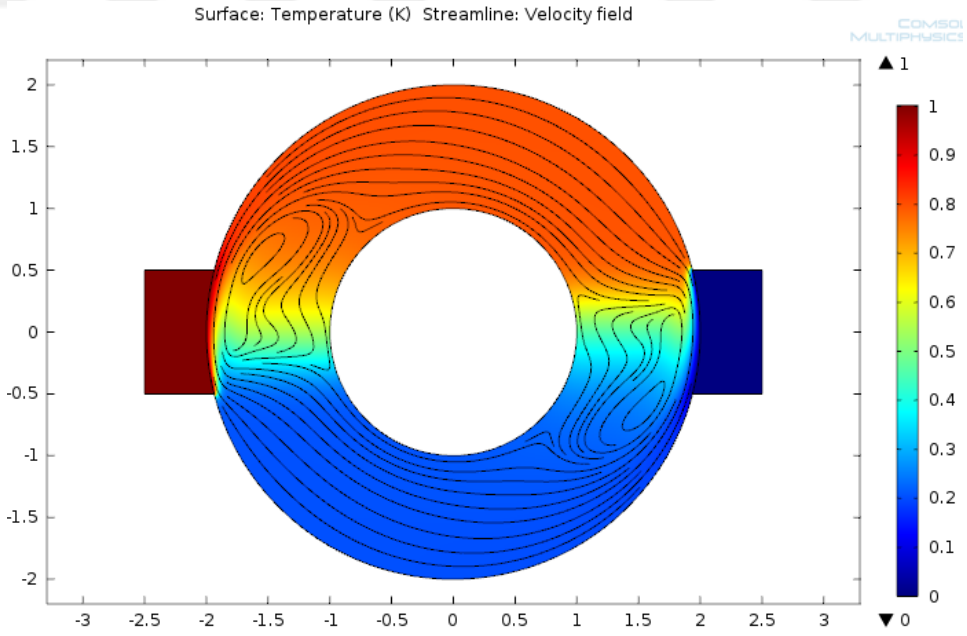
Şekil 4.30 incelendiğinde görülmektedir ki; d değer artışı ile birlikte artan L değerleri için bulunan Nu değerleri arasındaki fark kapanmaktadır. Şekilde d=9 ve d=10 çizgileri neredeyse çakışmakta olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 5

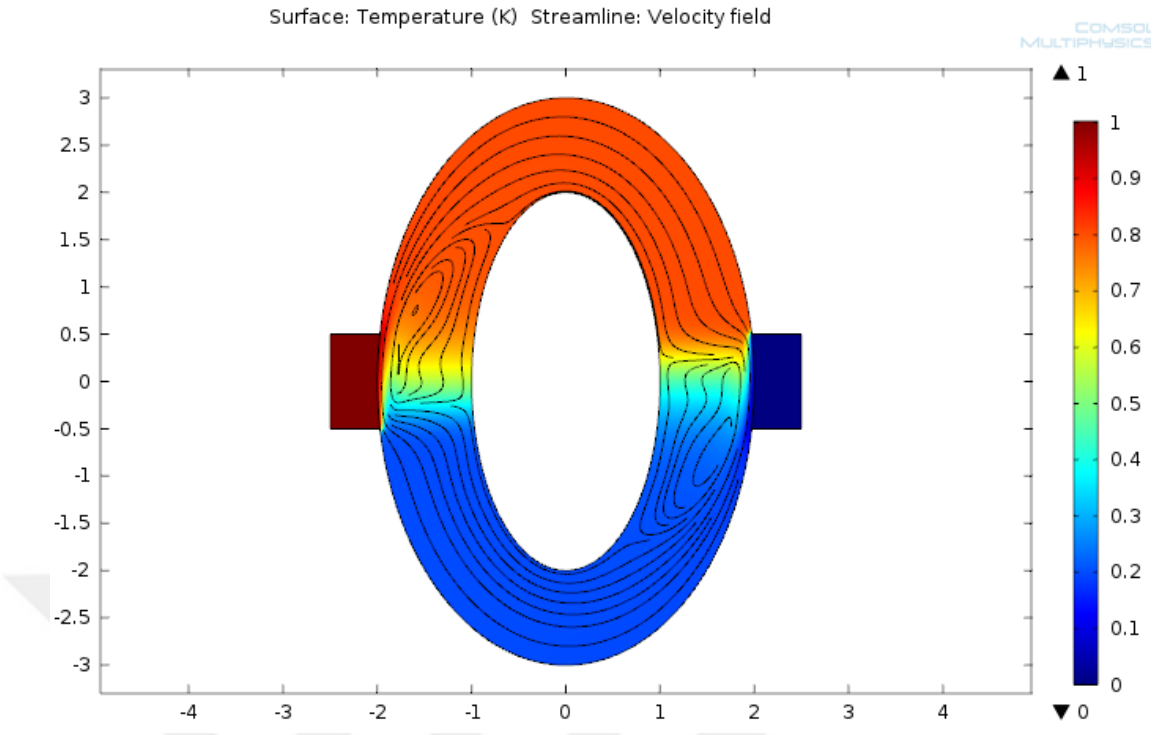
Fe_3O_4 NANOAKIŞKANININ FARKLI GEOMETRİLERDE SICAKLIK SİMÜLASYONU

Gr=10^5, Ø=0.2 L=1 değerinde d=2-10 değer aralığında Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık dağılımı analiz sonuçları Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da gösterilmektedir.

Şekil 5.1'de sıcak kaynağın üst bölgesinde ve soğuk kaynağın altındaki bölgede vortex alanların oluşumu gözlenmektedir.

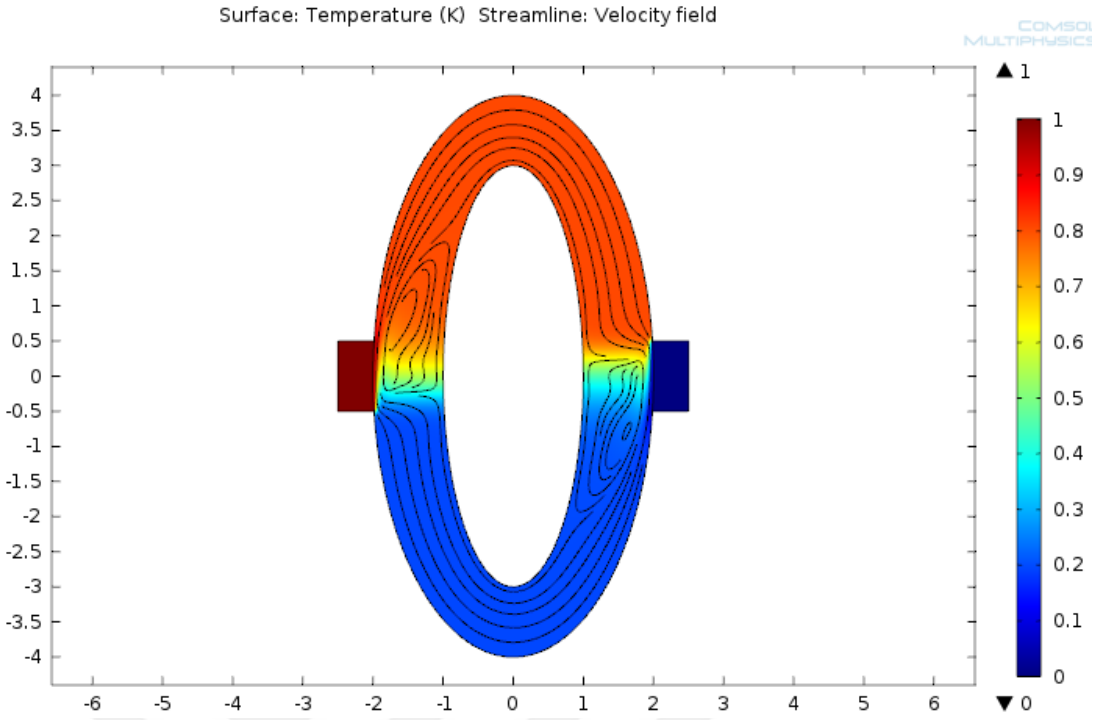


Şekil 5.1. Gr=10^5, Ø=0.2 L=1, d=2 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.



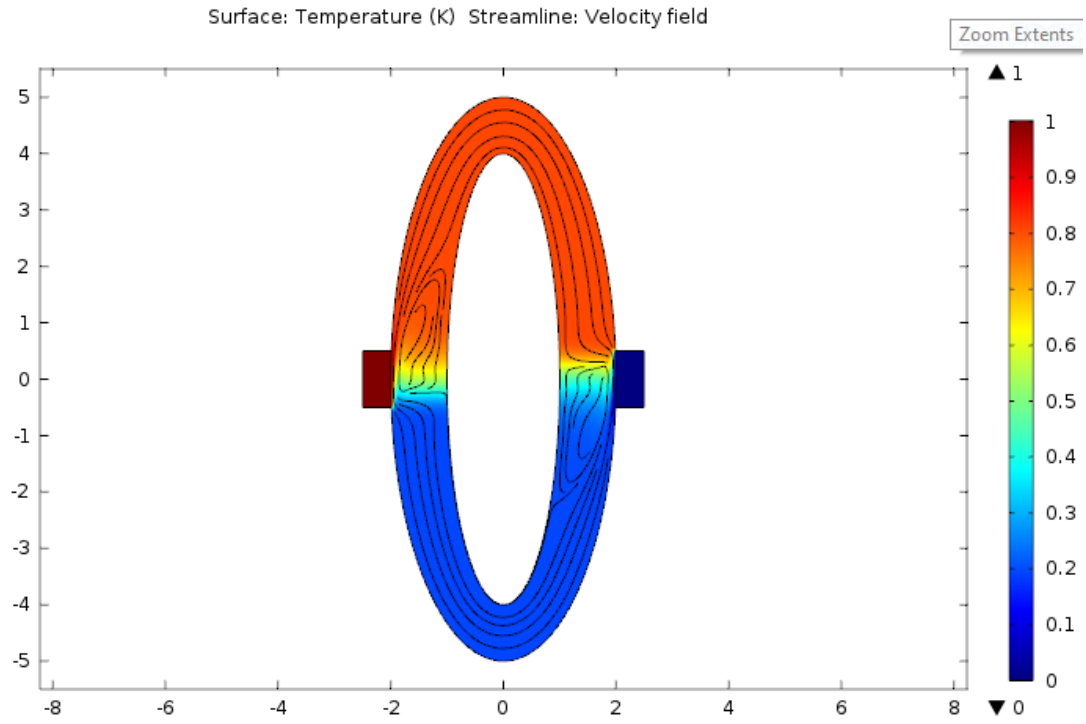
Şekil 5.2. Gr=10^5, Ø=0.2 L=1, d=3 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.

Şekil 5.2'de artan d ovallik değerine bağlı olarak vortex oluşan bölgelerdeki akım çizgileri Şekil 5.1'e göre daha düz forma dönmeye başlamıştır.

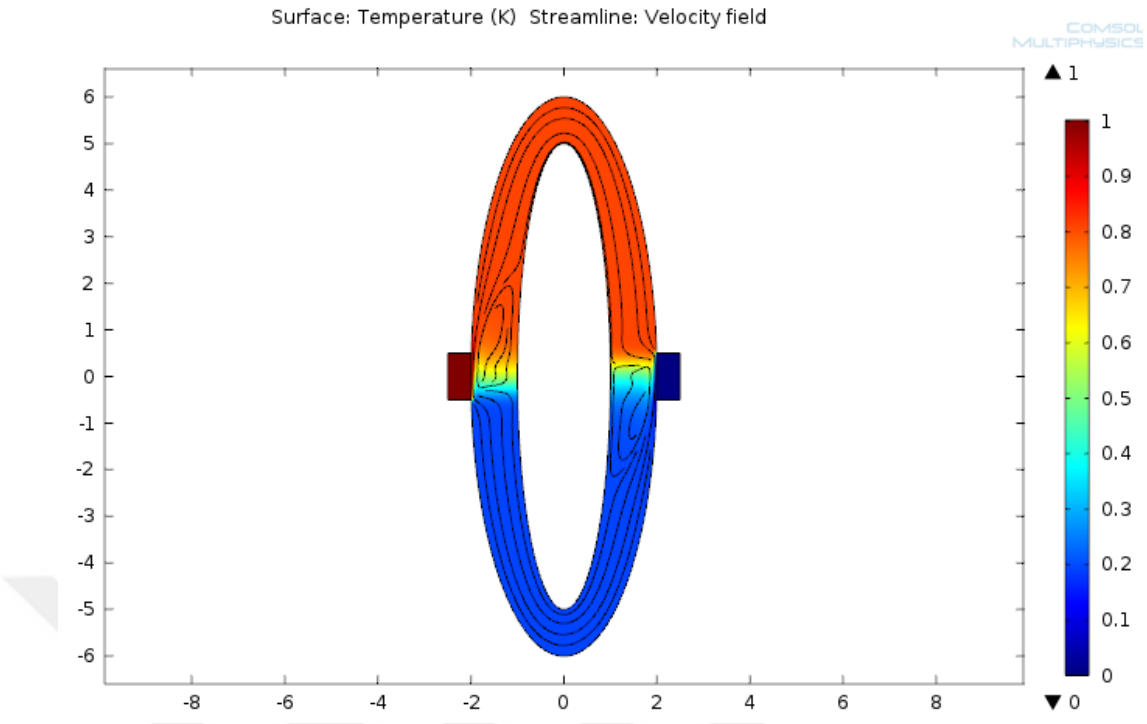


Şekil 5.3. Gr=10^5, ∅=0.2 L=1, d=4 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.

Şekil 5.3'de vortex alanlarında yayılım gözlenmektedir.

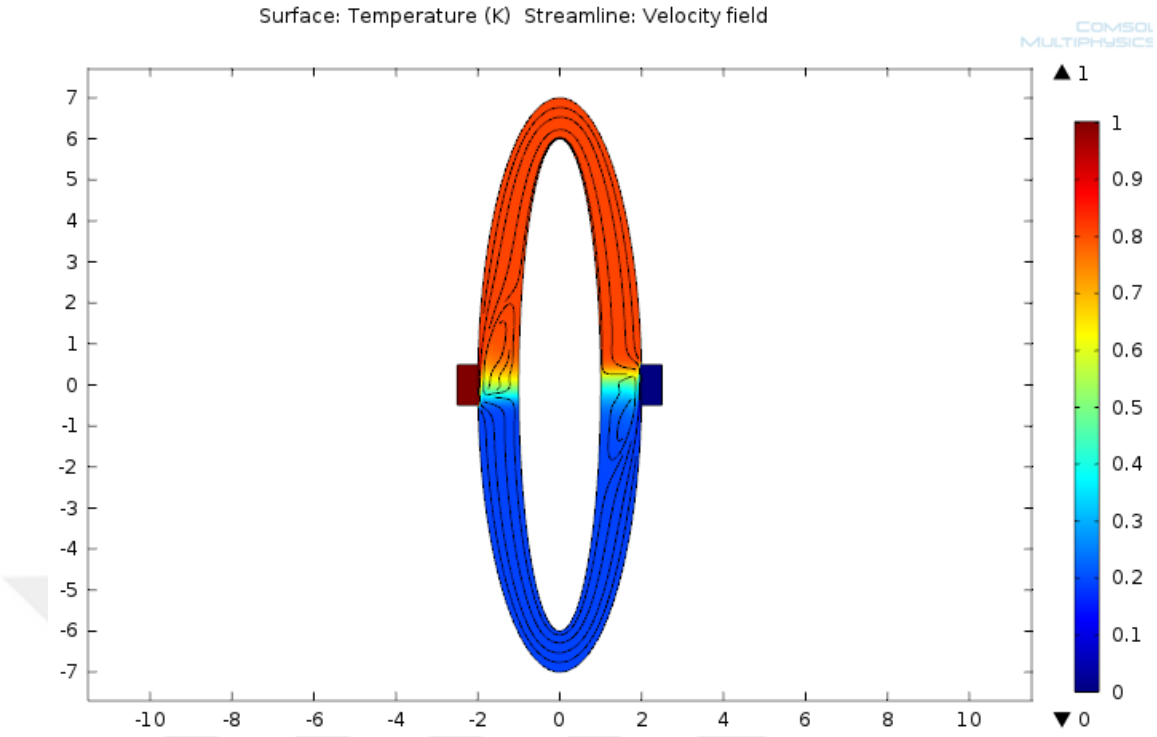


Şekil 5.4. Gr=10^5, Ø=0.2 L=1, d=5 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.



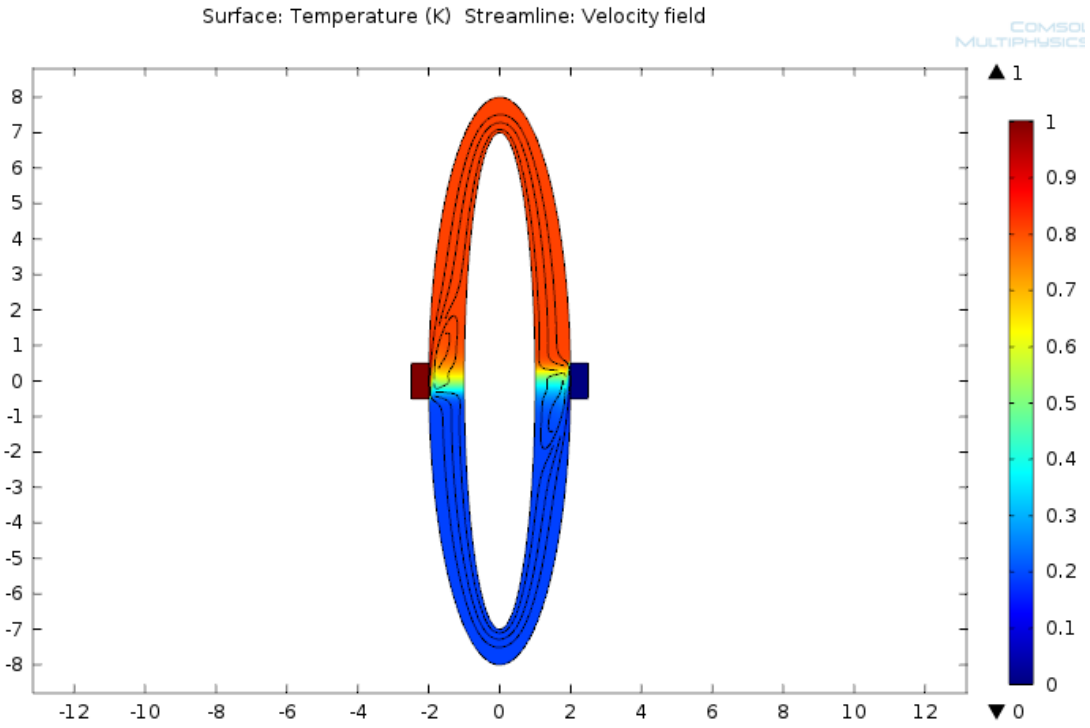
Şekil 5.5. Gr=10^5, Ø=0.2 L=1, d=6 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.

Şekil 5.5'de oluşan vortex sayısında düşüş olduğu ve vortex alanının küçüldüğü gözlenmiştir.



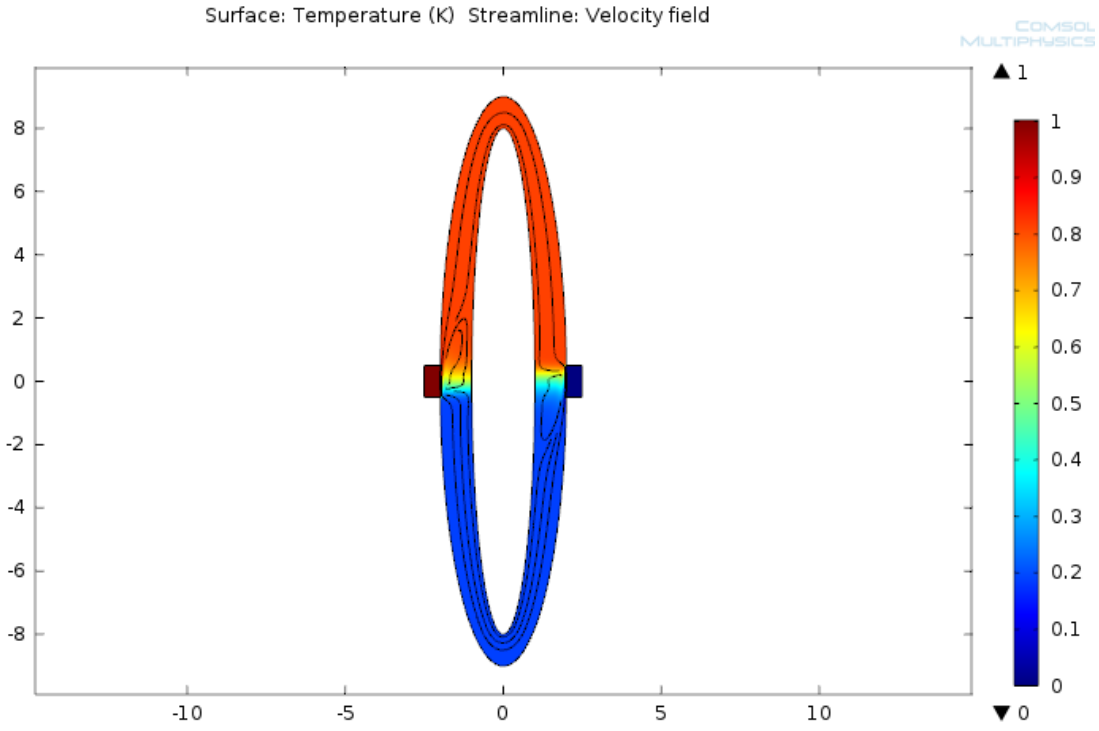
Şekil 5.6. Gr=10^5, Ø=0.2 L=1, d=7 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.

Şekil 5.6'da sıcak ve soğuk kaynak yakınında oluşan girdaplar oldukça azalmıştır.



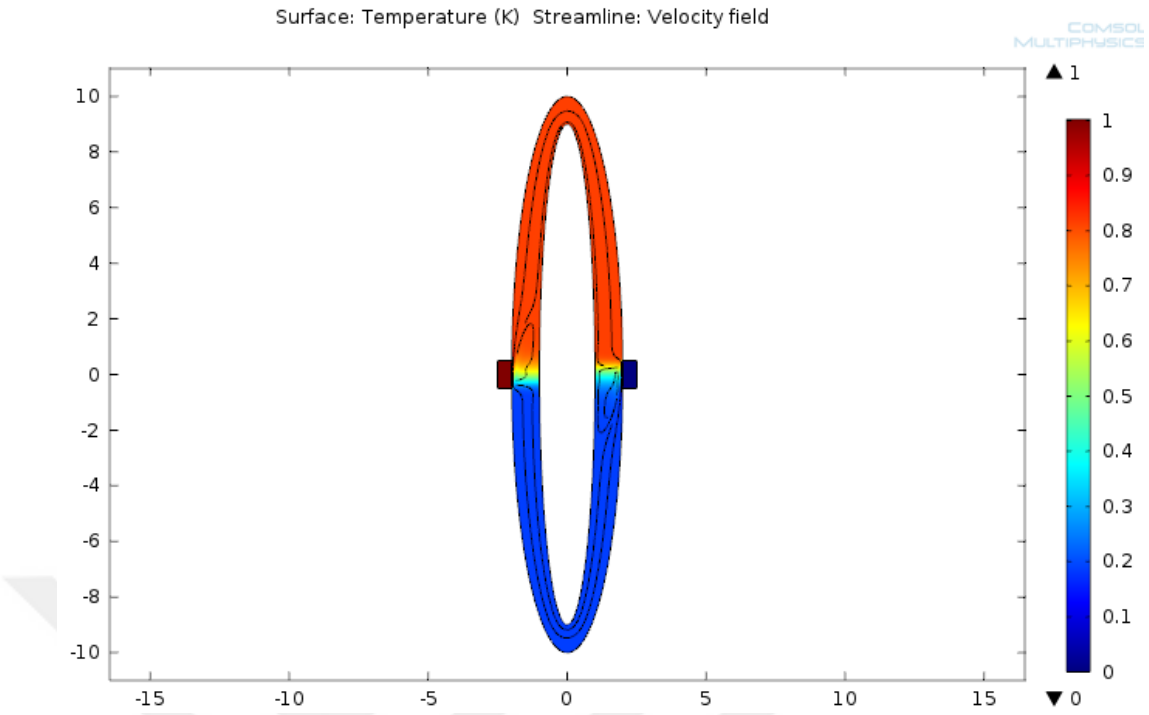
Şekil 5.7. Gr=10^5, ∅=0.2 L=1, d=8 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.

Şekil 5.7'de artan ovallik değeri ile birlikte vortex alanlarında düşüş gözlenmiştir. Soğuk kaynak yakınındaki üst bölgede akım çizgilerinin Şekil 5.6'ya göre birbirine daha yakın bir durumda olduğu görülmektedir.



Şekil 5.8. Gr=10^5, Ø=0.2 L=1, d=9 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.

Şekil 5.8'de sıcak ve soğuk kaynak yakınındaki vortex alanları artan ovallik değeri ile birlikte oldukça azalmıştır.



Şekil 5.9. Gr=10^5, Ø=0.2 L=1, d=10 değerinde Fe_3O_4 nanoakışkanı için alınan sıcaklık analizi.

Şekil 5.9'da sıcak ve soğuk kaynak yakınlarında oluşan vortex alanları neredeyse tamamen kaybolmuştur ve akım çizgileri doğrusal olma eğilimine geçmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

CuO, Cu, Ag, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, Fe_3O_4, Co nanopartikülleriyle oluşturulmuş ve su bazlı nanoakışkanlar farklı şartlarda analiz edilmiştir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde en yüksek Nu değerleri Fe_3O_4 nanopartikülünde gözlemlenmiştir. Farklı nanoakışkanlar için değişken parametrelerde alınan en yüksek değerler aşağıdaki gibidir:

Cu nanopartikülü $\emptyset$=0,2, L=5, Gr=10^3-10^5, d=5-16 değer aralıklarında analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri Gr=10^5, d=11 iken 4,131 olarak tespit edilmiştir.

Cu nanopartikülü d=5, L=5, Gr=10^3-10^5, $\emptyset$=0-0,2 değer aralıklarında analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri $\emptyset$=0,2, Gr=10^5 iken 3,29 olarak tespit edilmiştir.

CuO nanopartikülü d=2-16 $\emptyset$=0,16 Gr=10^3-10^5, L=5 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri d=12 ve Gr=10^5 iken 3,873 olarak tespit edilmiştir.

CuO nanopartikülü d=2-20 $\emptyset$=0,16 Gr=10^5, L=1-10 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri d=4 ve L=1 iken 5,55 olarak tespit edilmiştir.

Al_2O_3 nanopartikülü d=5-16 $\emptyset$=0,12 Gr=10^3-10^4, L=5 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri d=11 ve Gr=10^4 iken 1,898 olarak tespit edilmiştir.

Al_2O_3 nanopartikülü d=5-16 $\emptyset$=0,12 Gr=10^4-10^5, L=5 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri d=12 ve Gr=10^5 iken 3,525 olarak tespit edilmiştir.

Al_2O_3 nanopartikülü d=5, $\emptyset$=0-0,2, Gr=10^3-10^4, L=5 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri $\emptyset$=0,2 ve Gr=10^4 iken 2,09 olarak tespit edilmiştir.

Ag nanopartikülü d=2-10, $\emptyset$=0,2, Gr=10^5, L=1-10 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri L=1 ve d=4 iken 6,368 olarak tespit edilmiştir.

TiO_2 nanopartikülü d=2-10, ∅=0,2, Gr=10^5, L=1-10 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri L=1 ve d=4 iken 5,307 olarak tespit edilmiştir.

Co nanopartikülü d=2-10, ∅=0,16, Gr=10^5, L=1-10 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri L=1 ve d=4 iken 5,473 olarak tespit edilmiştir.

Fe_3O_4 nanopartikülü d=2-10, ∅=0,2, Gr=10^5, L=1-10 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri L=1 ve d=4 iken 6,977 olarak tespit edilmiştir.

SiO_2 nanopartikülü d=2-10, ∅=0,16, Gr=10^5, L=1-10 iken analiz edildiğinde en yüksek Nu değeri L=1 ve d=4 iken 3,846 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1. d=5, L=5, Gr=10^5 ve ∅=0,2 iken farklı nanoakışkanlar için hesaplanan Nu değerleri.

Nanopartikül	k(W/m.K)	Nu	V_{max}	β_T x 10^6 (1/K)	$(\rho\beta_T)_{rat}$
SiO_2	1,4	2,138	324,2	0,55	0,801
TiO_2	9	2,955	401,86	24	0,897
CuO	20	3,304	450,84	51	1,117
Al_2O_3	40	3,17	419,74	24	0,891
Fe_3O_4	80,4	3,881	590,12	206	1,819
Co	100	3,25	417,14	13	0,910
Cu	400	3,29	429,39	16,7	0,943
Ag	429	3,555	514,17	54	1,341

Tüm sonuçlar incelendiğinde genel anlamda Gr=10^5 değeri ve ∅=0,2 d=4, L=1 değerlerinde maksimum Nu değerleri tespit edilmiştir. ∅ (katı hacim fraksiyonu) arttıkça katı nanopartikülün ısıl iletkenliğinin etkisi de artmaktadır.

Çizelge 6.1' de genel olarak hız arttıkça Nu sayısı artmaktadır; hızı artıran ise Gr sayısı ve "$(\rho\beta_T)_{rat}$" değeridir. Bu değeri efektif ısıl genleşme katsayısı "$(\beta_T)_{rat}$" değeri etkilemektedir $\left(\frac{(\rho\beta_T)_{eff}}{(\rho\beta_T)_f}\right)$ ki bu ifadenin içerisinde nanopartikülün ısıl genleşme katsayısı β_T bulunmaktadır; β_T arttığı için hacim kuvveti artar ve buna bağlı olarak hız değeri artar. Hızı arttıran etken Navier Stokes denklemindeki hacim kuvvetini etkileyen $(\beta_T)_{rat}$

değeridir. Hız değeri arttığında Nu değeri artmaktadır. Nusselt sayısı üzerinde ısı iletim katsayısının etkisi yanı sıra hacimsel genleşme katsayısının da etkili olduğu gözlenmiştir. Nu sayısı üzerinde en etkili nanopartikülün Fe_3O_4 olduğu tespit edilmiştir.

SiO_2 nanopartikülü için de istisnai bir durum meydana gelmiştir. SiO_2'nin ısı iletim katsayısının oldukça düşük olmasından dolayı k_{eff} değeri artarken, aynı zamanda μ_{eff} değeri de artış göstermiştir. Viskoz kuvvetlerin etkisi daha baskın olduğundan SiO_2'in Nu sayısı değeri ∅ değer artışıyla düşüş göstermektedir. Isı iletim katsayısı yeterince büyük olmadığından bu durum akışı güçleştiren viskoz etkisini yenemez ve Nu değerinde ∅ değeri artışı ile düşüş olduğu gözlenmiştir.

Bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda Fe_3O_4 nanopartikülü kullanılarak farklı çalışmalar gerçekleştirilebilir. Diğer yandan, Fe_3O_4 nanopartikülü ile oluşturulan bir nanoakışkan manyetik alandan etkilenecektir. Fe_3O_4 ile oluşturulan nanoakışkanın bu özelliği de dikkate alınarak manyetik alan etkisi ile daha iyi Nu sayıları yakalanıp ısı transferi iyileştirilebilir. Bu çalışma baz alınarak, ısı transferini iyileştirmek adına farklı baz akışkanlar ile oluşturulan nanoakışkanların değişen geometrilerde ve zorlanmış taşınım ile olan ısı transferi davranışı analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

Aktaş, M.K. (2016). Bir Isı Aktarım Tüpü, 2016/20384, Türk Patent ve Marka Kurumu

Brinkman, H. C. (1952). The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions. *J. Chem. Phys., 20,* 571-581.

Buschmann, M.H. (2012). Thermal conductivity and heat transfer of ceramic nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences, 62,* 19-28.

Chand, R. (2017). Nanofluid Technologies and Thermal Convection Techniques, IGI Global.

Chaudhary, V., Wang, Z., Ray, A., Sridhar, I., & Ramanujan, R. V. (2017). Self pumping magnetic cooling. *J. Phys. D: Appl. Phys., 50,* 03LT03 (8pp).

Ganji, D.D., & Malvandi, A. (2016). Heat Transfer Enhancement Using Nanofluid Flow in Microchannels, Elsevier.

Haddad, Z., Oztop, H.F., Eiyad, A., & Mataoui, A. (2012). A review on natural convective heat transfer of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 16,* 5363–5378.

Hamilton, R. L., & Crosser, O. K. (1962). Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems, *Ind. Eng. Chem. Fundam., 1(3),* 187–191.

Heyhat, M.M, Kowsary, F., Rashidi, A.M., Momenpour, M.H, & Amrollahi, A. (2013). Experimental investigation of laminar convective heat transfer and pressure drop of

water-based Al_2O_3 nanofluids in fully developed flow regime. *Experimental Thermal and Fluid Science, 44,* 483–489.

Heyhat, M.M., Kowsary, F, Rashidi, A.M., Esfehani, S.A.V., & Amrollahi, A. (2012). Experimental investigation of turbulent flow and convective heat transfer characteristics of alumina water nanofluids in fully developed flow regime. *International Communications in Heat and Mass Transfer, 39,* 1272–1278.

Jacob, R., Basak, T., & Das, S. K. (2012). Experimental and numerical study on microwave heating of nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences 59,* 45-57.

Kahveci, K. (2010). Buoyancy Driven Heat Transfer of Nanofluids in a Tilted Enclosure. *J. Heat Transfer, 132*(6), 062501.

Kalbani, K. A., Alam, M. S, & Rahman, M. M. (2016). Finite Element Analysis of Unsteady Natural Convective Heat Transfer and Fluid Flow of Nanofluids inside a Tilted Square Enclosure in the Presence of Oriented Magnetic Field. *Columbia International Publishing American Journal of Heat and Mass Transfer, 3(3),* 186-224.

Karabulut, K., Buyruk, E., & Kılınç, F. (2017). Grafen Oksit Nanoparçacıkları İçeren Nanoakışkanın Taşınım Isı Transferi ve Basınç Düşüşü Artışı Üzerindeki Etkisinin Düz Bir Boruda Deneysel Olarak Araştırılması, *3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı,* 1263-1282.

Khanafer, K., Vafai, K., & Lightstone, M. (2003). Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 46,* 3639–3653.

Lee, S.W., Park, S.D., Kang, S., Bang, I.C., & Kim, J.H. (2011). Investigation of viscosity and thermal conductivity of SiC nanofluids for heat transfer applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 54,* 433–438.

Maxwell, J. C. (1873). A Treatise on Electricity and Magnetism (Vol.II), *Clarendon Press, Oxford,* 54.

Mohammed, K. A., Talib, A. A. R., Aziz, N.A., & Ahmed, K. A. (2016). Three dimensional numerical investigations on the heat transfer enhancement in a triangular facing step channels using nanofluid, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 152,* 012057.

Murshed, S.M.S., Leong, K.C., & Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO_2—water based nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences 44,* 367–373.

Murshed, S.M.S., Leong, K.C., & Yang, C. (2008a). Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences, 47,* 560–568.

Murshed, S.M.S., Leong, K.C., & Yang, C. (2008b). Thermophysical and electrokinetic properties of nanofluids – A critical review, *Applied Thermal Engineering, 28,* 2109–2125.

Murshed, S.M.S., Leong, K.C., & Yang, C. (2009). A combined model for the effective thermal conductivity of nanofluids, *Applied Thermal Engineering 29,* 2477–2483.

Murugesan, C., & Sivan, S. (2010). Limits For Thermal Conductivity of Nanofluids. *Thermal Science, 14,* 65-71.

Oztop, H.F., & Abu-Nada, E. (2008). Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow 29,* 1326–1336.

Philip, J., & Shima, P.D. (2012). Thermal properties of nanofluids, *Advances in Colloid and Interface Science, 183–184,* 30–45.

Polidori, G., Fohanno, S., & Nguyen, C.T. (2007). A note on heat transfer modelling of Newtonian nanofluids in laminar free convection. *International Journal of Thermal Sciences, 46,* 739–744.

Tsou, C. , Huang, Y., Li, H.C., & Lai, T. H. (2005). Determination of Thermal Expansion Coefficient of Thermal Oxide, *Sensors and Materials, 17(8),* 441– 451.

Vajjha, R.S, & Das, D.K. (2009). Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 52,* 4675–4682.

Wang, X., & Xu, X. (1999). Thermal Conductivity of Nanoparticle–Fluid Mixture, *Journal Of Thermophysıcs And Heat Transfer,* 13.

Xuan, Y., & Li, Q. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow, 21,* 58-64.

Xuan, Y., & Li, Q. (2003). Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids, *Journal Heat Transfer, 125,* 151-155.

Yu, L., Liu, D., & Botz, F. (2012). Laminar convective heat transfer of alumina-polyalphaolefin nanofluids containing spherical and non-spherical nanoparticles. *Experimental Thermal and Fluid Science. 37,* 72–83.

Yu, W., & Choi, S. U. S., (2003), The Role of Interfacial Layers in the Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A Renovated Maxwell Model. *J. Nanopart. Res., 5(1),* 167–171.

Yu, W., Xie, H., Chen, L., & Li, Y. (2010). Enhancement of Thermal Conductivity of Kerosene-Based Fe_3O_4 Nanofluids Prepared via Phase-Transfer Method. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 355*, 109-113.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimini Yüksel Yeşil İ.Ö.O.'da (2001-2005), orta öğrenimini Plevne İ.Ö.O.'da (2006-2008), liseyi ise Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi'nde (2009-2012) tamamladı. 2012 yılında T.C. Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2017'de bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2017 yılında Makine Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans programına başladı. 1 yıl ders aşamasından sonra 2018 yılında Teknik Masura Ambalaj Geri Dön. San. Tic. A.Ş. firmasında Mekanik Bakım Mühendisi olarak işe başladı. 2019 yılında buradan ayrılarak Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Technocast Otomotiv San. ve Tic. A.Ş.'de Arge Merkezi Uzmanı olarak göreve başladı ve halen burada Fikri ve Sınai mülkiyet hakları, arge teşvikleri ve genel arge süreçleri üzerine görevine devam etmektedir.