

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÜÇGEN BİR KAVİTE İÇERİSİNDEKİ NANOAKIŞKANLARIN  
KONVEKTİF ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**MEDET KILIÇTEPE**

**KOCAELİ 2018**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

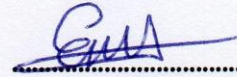
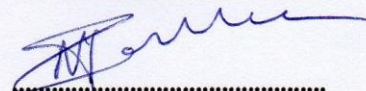
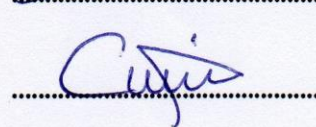
**ÜÇGEN BİR KAVİTE İÇERİSİNDEKİ NANOAKIŞKANLARIN  
KONVEKTİF ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**MEDET KILIÇTEPE**

**Doç. Dr. Elif ÖĞÜT**  
Danışman, Kocaeli Üniv.

**Doç.Dr. Nezaket PARLAK**  
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

**Dr. Öğr. Üyesi Canan CİMŞİT**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

  
.....  
  
.....  
  
.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 05.06.2018

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Nanoakışkanların keşfi ısı transferi akışkanları alanında devrim niteliğindedir. Isıl iletkenliği yüksek, nanometrik ebatlardaki partiküllerin baz akışkana karıştırılması ile elde edilen ve ısı transferinde büyük artış sağlayan nanoakışkanlar; üzerine bir çok çalışmanın yapılabileceği geniş bir alandır.

Üçgen bir kavite içerisindeki nanoakışkanların konvektif ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi konusunda bana çalışma fırsatı veren, katkılarıyla bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Elif ÖĞÜT'e, her zaman bana destek olan sevgili eşim Hilal'e ve bana ilham veren oğlum Kemal'e teşekkür ederim.

Mayıs – 2018

Medet KILIÇTEPE

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Nanopartiküller.....	3
1.2. Nanoakışkanlar.....	4
1.3. Nanoakışkanlarda Isıl İletkenlik.....	5
2. LİTERATÜRÜN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ.....	9
3. MATEMATİKSEL MODEL.....	17
4. NÜMERİK ANALİZ.....	22
4.1. Kodun Doğrulanması.....	23
4.2. Çözüm Ağı Bağımsızlığının İncelenmesi.....	24
4.3. Isı Kaynağının Konumunun Etkisi.....	25
4.4. Isı Kaynağı Çapının Etkisi.....	40
4.5. Nanopartikül Etkisi.....	53
4.6. Farklı Isıl İletkenlik Modellerinin Etkisi.....	65
4.7. Farklı Viskozite Modellerinin Etkisi.....	73
5. YAPILAN DİĞER ÇALIŞMALAR.....	81
5.1. Üçgen Kavite İçerisindeki Bakır-Su Nanoakışkanının Doğal Konveksiyonu Üzerinde Viskozite Modellerinin Etkisi.....	81
5.2. Alt Duvarı Dalgalı Üçgen Şeklinde Bir Kavite İçerisindeki Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonu Üzerinde Viskozite Modellerinin Etkisi.....	84
5.3. Alt Duvarı Dalgalı Üçgen Şeklinde Bir Kavite İçerisindeki Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonu.....	88
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR.....	95
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	101

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Boru devresi.....	2
Şekil 4.1.	Silindir ısı kaynağının K1 konumu.....	25
Şekil 4.2.	Silindir ısı kaynağının K2 konumu.....	26
Şekil 4.3.	Silindir ısı kaynağının K3 konumu.....	26
Şekil 4.4.	Akım çizgilerinin yönleri.....	27
Şekil 4.5.	K1, K2 ve K3 konumlarında $Gr=10^5$ , $\phi=0-0,025-0,05-0,075$ için akım çizgileri.....	28
Şekil 4.6.	K1, K2 ve K3 konumlarında $Gr=10^5$ , $\phi=0-0,025-0,05-0,075$ için eş sıcaklık eğrileri.....	29
Şekil 4.7.	K1, K2 ve K3 konumlarında $Gr=10^4$ , $10^5$ , $10^6$ , $\phi=0,05$ için akım çizgileri.....	31
Şekil 4.8.	K1, K2 ve K3 konumlarında $Gr=10^4$ , $10^5$ , $10^6$ , $\phi=0,05$ için eş sıcaklık eğrileri.....	32
Şekil 4.9.	Sol kenar için K1, K2, K3 konumlarında, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	33
Şekil 4.10.	Sol kenar K1, K2, K3 konumlarında, $Gr=10^4$ , $10^6$ nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	34
Şekil 4.11.	Alt kenar için K1, K2, K3 konumlarında, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	35
Şekil 4.12.	Alt kenar için K1, K2, K3 konumlarında, $Gr=10^4$ , $10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi.....	36
Şekil 4.13.	K1, K2, K3 konumlarında, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	37
Şekil 4.14.	K1, K2, K3 konumlarında, $Gr=10^4$ , $10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değişimi.....	38
Şekil 4.15.	Sol kenar için K1, K2, K3 konumlarında, $Gr=10^6$ , $\phi=0,05$ , yerel Nusselt sayısının değişimi.....	39
Şekil 4.16.	Alt kenar için K1, K2, K3 konumlarında, $Gr=10^6$ , $\phi=0,05$ , yerel Nusselt sayısının değişimi.....	39
Şekil 4.17.	D1 çaplı silindir ısı kaynağı.....	40
Şekil 4.18.	D2 çaplı silindir ısı kaynağı.....	41
Şekil 4.19.	D3 çaplı silindir ısı kaynağı.....	41
Şekil 4.20.	D1, D2 ve D3 çaplarında $Gr=10^5$ , $\phi=0-0,025-0,05-0,075$ için akım çizgileri.....	42
Şekil 4.21.	D1, D2 ve D3 çaplarında $Gr=10^5$ , $\phi=0-0,025-0,05-0,075$ için eş sıcaklık eğrileri.....	43
Şekil 4.22.	D1, D2 ve D3 çaplarında $Gr=10^4$ , $10^5$ , $10^6$ , $\phi=0,05$ için akım çizgileri.....	44

Şekil 4.23. D1, D2 ve D3 çaplarında $Gr=10^4, 10^5, 10^6$ , $\phi=0,05$ için eş sıcaklık eğrileri.....	45
Şekil 4.24. Sol kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	46
Şekil 4.25. Sol kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında, $Gr=10^4, 10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi.....	47
Şekil 4.26. Alt kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	48
Şekil 4.27. Alt kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında, $Gr=10^4, 10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi.....	49
Şekil 4.28. D1, D2 ve D3 çaplarında, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	50
Şekil 4.29. D1, D2 ve D3 çaplarında, $Gr=10^4, 10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değişimi grafiği.....	51
Şekil 4.30. Sol kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında, $Gr=10^5$ , $\phi=0,075$ , yerel Nusselt değişimi grafiği.....	51
Şekil 4.31. Alt kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında, $Gr=10^5$ , $\phi=0,075$ , yerel Nusselt sayısının değişimi.....	52
Şekil 4.32. Cu-su, Ag-su ve $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının $Gr=10^5$ , $\phi=0-0,025-0,05-0,075$ için akım çizgileri.....	54
Şekil 4.33. Cu-su, Ag-su ve $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının $Gr=10^5$ , $\phi=0-0,025-0,05-0,075$ için eş sıcaklık eğrileri.....	55
Şekil 4.34. Cu-su, Ag-su, $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının $Gr=10^4, 10^5, 10^6$ , $\phi=0,05$ için akım çizgileri.....	56
Şekil 4.35. Cu-su, Ag-su, $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının $Gr=10^4, 10^5, 10^6$ , $\phi=0,05$ için eş sıcaklık eğrileri.....	57
Şekil 4.36. Sol kenar için Cu-su, Ag-su ve $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	58
Şekil 4.37. Sol kenar için Cu-su, Ag-su ve $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, $Gr=10^4, 10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	59
Şekil 4.38. Alt kenar için Cu-su, Ag-su ve $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	60
Şekil 4.39. Alt kenar için Cu-su, Ag-su ve $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, $Gr=10^4, 10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	61
Şekil 4.40. Cu-su, Ag-su, $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ c) $Gr=10^6$ değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	62
Şekil 4.41. Cu-su, Ag-su, $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, $Gr=10^4, 10^6$ için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	63
Şekil 4.42. Sol kenar için Cu-su, Ag-su, $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, $Gr=10^6$ $\phi=0,075$ , yerel Nusselt sayısının değişimi.....	64



Şekil 4.43. Alt kenar için Cu-su,Ag-su,Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su nanoakışkanlarının, Gr=10 <sup>6</sup> φ=0,075, yerel Nusselt sayısının değişimi.....	64
Şekil 4.44. Sol kenar için farklı ısıl iletkenlik modellerinde, a) Gr=10 <sup>4</sup> , b) Gr=10 <sup>5</sup> ,c) Gr=10 <sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	66
Şekil 4.45. Sol kenar için farklı ısıl iletkenlik modellerinde, Gr=10 <sup>4</sup> ,10 <sup>6</sup> için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi.....	67
Şekil 4.46. Alt kenar için farklı ısıl iletkenlik modellerinde, a) Gr=10 <sup>4</sup> , b)Gr=10 <sup>5</sup> , c)Gr=10 <sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	68
Şekil 4.47. Alt Kenar için farklı ısıl iletkenlik modellerinde, Gr=10 <sup>4</sup> ,10 <sup>6</sup> için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi.....	69
Şekil 4.48. Farklı ısıl iletkenlik modellerinde, a) Gr=10 <sup>4</sup> , b) Gr=10 <sup>5</sup> , c) Gr=10 <sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	70
Şekil 4.49. Farklı ısıl iletkenlik modellerinde,Gr=10 <sup>4</sup> ,10 <sup>6</sup> için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değişimi.....	71
Şekil 4.50. Lu ve Lin,Pak ve Cho modelleri için Gr=10 <sup>4</sup> ,10 <sup>5</sup> ,10 <sup>6</sup> ve φ=0,075 nanopartikül konsantrasyonundaki akım çizgileri.....	71
Şekil 4.51. Lu ve Lin,Pak ve Cho modelleri için Gr=10 <sup>4</sup> ,10 <sup>5</sup> ,10 <sup>6</sup> ve φ=0,075 nanopartikül konsantrasyonundaki eş sıcaklık eğrileri.....	72
Şekil 4.52. Sol kenar farklı viskozite modellerinde, a) Gr=10 <sup>4</sup> , b) Gr=10 <sup>5</sup> c)Gr=10 <sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	74
Şekil 4.53. Sol Kenar için farklı viskozite modellerinde, Gr=10 <sup>4</sup> , 10 <sup>6</sup> için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi.....	75
Şekil 4.54. Alt kenar için farklı viskozite modellerinde,a) Gr=10 <sup>4</sup> ,b) Gr=10 <sup>5</sup> c)Gr=10 <sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	76
Şekil 4.55. Alt Kenar için farklı viskozite modellerinde, Gr=10 <sup>4</sup> , 10 <sup>6</sup> için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi.....	77
Şekil 4.56. Farklı viskozite modellerinde,a) Gr=10 <sup>4</sup> , b) Gr=10 <sup>5</sup> , c) Gr=10 <sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	78
Şekil 4.57. Farklı viskozite modellerinde,Gr=10 <sup>4</sup> , 10 <sup>6</sup> için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değişimi.....	79
Şekil 4.58. Einstein,Pak ve Cho modelleri için Gr=10 <sup>4</sup> ,10 <sup>5</sup> ,10 <sup>6</sup> ve φ=0,075 nanopartikül konsantrasyonundaki akım çizgileri.....	79
Şekil 4.59. Einstein,Pak ve Cho modelleri için Gr=10 <sup>4</sup> ,10 <sup>5</sup> ,10 <sup>6</sup> ve φ=0,075 nanopartikül konsantrasyonundaki eş sıcaklık eğrileri.....	80
Şekil 5.1. Geometri ve sınır şartları.....	81
Şekil 5.2. Farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri.....	82
Şekil 5.3. Farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri.....	82
Şekil 5.4. Gr=10 <sup>4</sup> için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi grafiği.....	83

Şekil 5.5. $Gr=10^5$ için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi grafiği.....	83
Şekil 5.6. $Gr=10^6$ için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi grafiği.....	84
Şekil 5.7. Geometri ve sınır şartları.....	84
Şekil 5.8. Einstein modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri.....	85
Şekil 5.9. Pak ve Cho modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri.....	85
Şekil 5.10. Einstein modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri.....	86
Şekil 5.11. Pak ve Cho modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri.....	87
Şekil 5.12. $Gr=10^4$ için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi grafiği.....	87
Şekil 5.13. $Gr=10^5$ için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi grafiği.....	88
Şekil 5.14. $Gr=10^6$ için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi grafiği.....	88
Şekil 5.15. Geometri ve sınır şartları.....	89
Şekil 5.16. Cu-su nanoakışkanının farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri.....	90
Şekil 5.17. Cu-su nanoakışkanının farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri.....	90
Şekil 5.18. Farklı nanoakışkanların $Gr=10^5$ de partikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimleri.....	91



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Su, Cu, Ag ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nanopartiküllerinin termofiziksel özellikleri.....	23
Tablo 4.2. Üçgen kavite içindeki nanoakışkanın Gr=10 <sup>5</sup> degeri ve doğal konveksiyonu için ortalama Nusselt sayısının karşılaştırılması.....	23
Tablo 4.3. Üçgen kavite içindeki nanoakışkanın $\phi=0,04$ degeri ve doğal konveksiyonu için ortalama Nusselt sayısının karşılaştırılması.....	24
Tablo 4.4. Farklı ağ yapılarında elde edilen ortalama Nusselt değerleri.....	24
Tablo 5.1. Su, Cu, Ag ve TiO <sub>2</sub> nanopartiküllerinin termofiziksel özellikleri.....	89



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$c_p$	: Özgül ısı, (J/kg.K)
$D$	: Boyutsuz çap
$g$	: Yerçekimi ivmesi, (m/s <sup>2</sup> )
$Gr$	: Grashof sayısı
$k$	: Isı iletim katsayısı, (W/m.K)
$K$	: Konum
$L$	: Kapalı bölgenin uzunluğu, (m)
$n$	: Şekil faktörü
$Nu$	: Nusselt sayısı
$p$	: Basınç
$Pr$	: Prandtl sayısı
$T$	: Sıcaklık, (K)
$u$	: x yönündeki hız bileşeni
$v$	: y yönündeki hız bileşeni
$x$	: Yatay yöndeki konum koordinatı
$y$	: Düşey yöndeki konum koordinatı
$w$	: Boyutsuz uzunluk
$\alpha$	: Isıl yayılım katsayısı, (m <sup>2</sup> /s)
$\eta$	: Sıvı tabaka kalınlığının orijinal partikül yarıçapına oranı
$\beta$	: Isıl genişleme katsayısı, (1/K)
$\mu$	: Mutlak viskozite, (N.s/m <sup>2</sup> )
$\rho$	: Yoğunluk, (kg/m <sup>3</sup> )
$\phi$	: Partikül konsantrasyonu
$\Psi$	: Küresellik
*	: Boyutlu değişken
$c$	: Soğuk
$eff$	: Efektif
$f$	: Akışkan
$h$	: Sıcak
$nf$	: Nanoakışkan
$ort$	: Ortalama
$s$	: Katı

## ÜÇGEN BİR KAVİTE İÇERİSİNDEKİ NANOAKIŞKANLARIN KONVEKTİF ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

### ÖZET

Isı transferi akışkanlarının etkinliğinin artırılması amacıyla; ısı iletkenliği yüksek, nanometrik boyutlardaki partiküllerin baz akışkana karıştırılmasıyla elde edilen nanoakışkanlar geliştirilmiştir. Günümüzde nanoakışkanların kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Alan darlığı çekilen yerlerde, boru devrelerini içine alan üçgen geometriler kullanılarak alandan tasarruf sağlanacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmada; içerisinden sıcak boru geçen, üçgen prizmatik ve su bazlı nanoakışkanlarla doldurulmuş bir kavite ele alınmış ve konvektif ısı transferi 2 boyutta sayısal olarak incelenmiştir. Analizler için ANSYS Fluent 14.0 paket programı kullanılmıştır. Çalışmada; sıcak borunun farklı konum ve çaplarının, farklı nanoakışkanların, ısı iletkenlik ve viskozite modellerinin, Grashof sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar; üçgen kavite için alan darlığı yaşanan yerlerde, ısıtma veya soğutmanın artırılması amacıyla kullanılabileceğini, Grashof sayısının artırılmasıyla ısı transferinin arttığını, nanopartiküllerin kullanımıyla ısı transferinin artırılabilirliğini, ısı kaynağının çapının büyütülmesiyle ısı transferinin artacağını ve tabana yakın konumlandırılmasının daha verimli olacağını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ANSYS Fluent, Doğal Konveksiyon, Nanoakışkan, Üçgen Kavite.

## **NUMERICAL INVESTIGATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER OF NANOFLUIDS IN A TRIANGULAR CAVITY**

### **ABSTRACT**

To increase the efficiency of heat transfer fluids; nanofluids have been developed. Nanofluids can be generated by dispersing nanometer-sized particles with high thermal conductivity in a base fluid. Today nanofluid applications are spreading wide. It is accepted that, in narrow places, using triangular cavities which covers pipes will provide space economy. Therefore in this study, a triangular cavity covering a hot pipe and which is filled with water based nanofluids is handled and convective heat transfer of the cavity is examined numerically in 2 dimensions. ANSYS Fluent 14.0 software is used for the analyses. Effects of varied positions and diameters of the hot pipe, nanofluids, thermal conductivity and viscosity models, Grashof number and volume fraction of nanoparticles on heat transfer are studied. Results showed that, triangular cavities can be used for area economy and to increase heating and cooling efficiency. Heat transfer can be enhanced by using nanoparticles. Increase of Grashof number and diameter of heat source increases the heat transfer. The study also showed that positioning the heat source at the bottom of the cavity is more efficient.

**Keywords:** ANSYS Fluent, Natural Convection, Nanofluid, Triangular Cavity.

## GİRİŞ

Günümüzde ısı değiştiricileri, güneş kollektörleri ve elektronik cihazların soğutulmasında doğal taşınımla ısı transferinin geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. Ancak doğal taşınım için en çok kullanılan hava, su, yağ, etilen glikol gibi geleneksel akışkanlar, çok düşük ısıl iletkenliğe sahip olduklarından günümüz beklentilerini karşılayamamaktadır. Isı transfer akışkanlarına ait ısı transfer karakteristiklerinin arttırılması için kullanılan pasif yöntemlerden birisi de akışkan içerisine termal iletkenlikleri akışkanlara göre daha yüksek olan katı partiküllerin ilave edilmesidir [1]. Bu tür sıvı ve katı partiküllerden oluşan süspansiyonlarda milimetre ve mikrometre büyüklüğünde katı partiküller kullanılmaktaydı. Ancak bahse konu katı partiküllerin; kullanıldıkları sistemler içerisinde çökelme, aşınma ve tortulaşma gibi problemlere sebep olduğu ve kullanıldıkları sistemlerde basınç düşümleri meydana geldiği gözlemlenmiştir [2]. Teknolojik gelişmelere paralel olarak son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda, 100 nanometreden daha küçük katı partiküller üretilebilmektedir. Bu partiküller nanopartikül olarak adlandırılmaktadır. Nanopartiküllerin kullanılmasıyla hazırlanan yeni bir süspansiyon tipi olan nanoakışkanların keşfi ısı transfer akışkanları konusunda çığır açmıştır. Bunun en önemli nedeni, çok düşük nanopartikül konsantrasyonlarında dahi nanoakışkanların dikkat çekici derecede yüksek termal iletkenlik değerlerine sahip olmasıdır [3-5]. Nanopartikül olarak genellikle bakır, gümüş, bakır oksit, titanyum oksit ve alüminyum oksit kullanılmaktadır.

Nanoakışkanlarda ısı transferi ile ilgili en önemli parametre ısı iletim kabiliyetidir. Süspansiyonların ısıl iletkenliklerinin hesaplanması konusunda Maxwell tarafından geliştirilen teorik model temel taşı niteliğindedir [6,7]. İki fazlı karışımlara ait ısı iletim kabiliyetinin hesaplanması için kullanılan başlıca modeller; Maxwell Garnett, Bruggeman, Hamilton-Crosser, Wasp, Wang ve diğ. tarafından önerilen modellerdir [8-12]. Ancak bu modellerin nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmede başarısız olduğu, yapılan deneysel çalışmalardan alınan sonuçların çoğunlukla bu modellerden daha yüksek ısıl iletkenlik katsayılarını gösterdiği görülmüştür [7].

Nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmek üzere alternatif bir model Yu ve Choi tarafından önerilmiştir. Bu modelde, nanoakışkanlarda yüzeylerde oluşan tabakanın sıvı ve katı arasında bir termal köprü görevini gördüğü ve ısı iletim kabiliyetindeki önemli artışın bu etkiyle oluştuğu değerlendirilmiştir. Yu ve Choi model sonuçlarını nanoakışkanlar için yapılmış pek çok deneysel sonuçla karşılaştırmışlar ve modellerinin nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetini ifade etmede oldukça başarılı olduğunu görmüşlerdir [13].

Günümüz ekonomisinde denizcilik sektörü çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Lojistik faaliyetlerin yanında ülke savunması için güçlü donanmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Denizcilik sektörü ve donanmaların ana unsuru gemilerdir. Gemiler içerisinde çok fazla sistem ve cihaz bulundururlar. Bu sistem ve cihazlar gemilerin kullanım amaçlarına göre değişkenlik göstermektedir.

Gemiler kullanım amaçlarına, taşıyacakları sistem ve cihazlara göre dizayn edilir ve uzun yıllar hizmet verirler. Ancak hizmete girdikten sonra, kullanıma ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni beklentiler gündeme gelir. Bu beklentilere bağlı olarak tadilat veya modernizasyon ihtiyacı ortaya çıkar. Gemiler ilk beklentilere göre inşa edilmiş oldukları için genellikle alan darlığı sıkıntısı yaşanmaktadır.



Şekil 1.1. Boru devresi

Gemilerde boru devreleri genellikle Şekil 1.1'de görüldüğü gibi dip, kenar ve köşelerden yürütülür. Isıtma ve soğutma sistemlerinde tadilat veya modernizasyon ihtiyacı gündeme geldiğinde bu boru devrelerini içine alan üçgen geometriler kullanılarak alandan tasarruf sağlanacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmada; içerisinde sıcak boru geçen, üçgen prizmatik ve su bazlı nanoakışkanlarla doldurulmuş bir kavite ele alınmış, değişik şartlar altında 2 boyutta nümerik olarak incelenmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Nanopartiküller

Nanopartiküller yarı kararlı materyaller olmakla birlikte daha az kütleyle daha fazla yüzey alanı oluşturduklarından uygun koşullarda blok hallerinden farklı ve üstün olarak kabul edilen özellikler göstermektedirler [7]. Bu özellikleri sebebiyle termal, elektronik, medikal, kimya ve otomotiv vb. sektörlerde geniş spektrumlu bir kullanım alanları mevcuttur. Nanopartiküller temel anlamda metal, metal oksit ve karbon nanotüpler olarak üçe ayrılabilir.

Nanopartiküllerin termal ve kimyasal özelliklerinin, üretimde kullanılan teknik ve malzemelerden etkilenmesinden dolayı değişik mekanik ve kimyasal üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Üretim tekniklerini genel anlamda yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olarak ikiye ayırabiliriz. Yukarıdan aşağıya yaklaşımında bütün haldeki malzemeye dışarıdan enerji verilerek nanopartiküller elde edilir. Aşağıdan yukarıya yaklaşımında ise atomik veya moleküler boyuttaki yapılar kimyasal reaksiyonlar sonucunda nanopartiküllere dönüştürülürler. Başlıca üretim teknikleri aşağıda sıralanmıştır.

Mekanik aşındırma yöntemi, bütün haldeki materyalin öğütücü ve yüksek hız değirmenleri yoluyla fiziksel olarak parçalanmasına ve titreşimlerle nanopartikül seviyesine kadar küçültülmesine dayanır. Metal nanopartiküllerin üretimine uygundur.

Alev sentezi yöntemi, buharlaşan materyalin yakıcı bir gazla alevlendirilmesi sonucu oksitlenerek nanopartikül oluşturulmasına dayanır. Oksit nanopartiküllerin üretimine uygundur.

Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi, gaz fazındaki materyalin ısı parçalanma ile nanopartiküllere dönüşmesine dayanır. Kullanılan malzeme ve işlem sıcaklığına bağlı olarak her çeşit nanopartikül üretimine uygundur.



Mikroheterojen sistemlerden üretim yöntemi, malzeme ve reaktanların kimyasal reaksiyonu sonucunda nanopartikül elde edilmesine dayanır. Metal ve manyetik nanopartiküllerin üretimine uygundur.

Redüksiyon yöntemi, gaz fazındaki materyalin hidrojen, azot, argon vb. taşıyıcı ve redükleyici bir gaz ile reaksiyona girmesiyle nanopartikül elde edilmesine dayanır. Metal nanopartiküllerin üretilmesi için uygundur.

Ultrasonik sprej piroliz yöntemi, aerosol buharına yüksek sıcaklık uygulanarak damlacığın kurumması, çökmesi ve parçalanmasıyla nanopartikül elde edilmesine dayanır. Farklı tipte nanopartiküllerin üretilmesi için uygundur.

Asal gaz yoğunlaştırma yöntemi, gaz fazındaki materyalin vakum altında asal gaz ile tepkimeye girmesi ve soğutucu ünite üzerinde nanopartikül oluşmasına dayanır. Metalik ve oksit nanopartiküllerin üretilmesine uygundur [14].

## **1.2. Nanoakışkanlar**

Nanoakışkan, baz akışkan ve ısı iletkenlikleri yüksek nano boyuttaki partiküllerin karıştırılmasıyla elde edilen süspansiyon olarak değerlendirilebilir. Ancak basınç düşümünde çok küçük bir artışa sebep olan nanoakışkanlar çok iyi karıştırıldıklarında bir karışımdan çok, tek fazlı bir akışkan gibi davranırlar. Nanoakışkanların ideal özellikleri olarak;

- Termal kararlılık,
  - Homojen dağılım ve topaklanmama,
  - Kimyasal uyum ve kararlılık,
- gösterilebilir [7].

Nanoakışkan hazırlanmasında iki farklı yöntem kullanılmaktadır.

Tek adım yöntemi, baz akışkan içerisinde nanopartikül üretilmesine dayanır. Ancak kuru nanopartikül elde etmek için ayrıştırma gereklidir. Metalik nanopartiküller için daha uygundur.

İki adım yöntemi, daha önce hazırlanmış nanopartiküllerin baz akışkan içerisine karıştırılmasına dayanır. Oksit nanopartiküller için daha uygundur [15].

Nanoakışkan hazırlanırken topaklanmaması ve partiküllerin homojen olarak dağılması için; ultrasonik titreşimlerin, yüzey aktivatörlerinin, seyrelticilerin kullanılması ve pH kontrolü yöntemleri kullanılmaktadır [7].

### 1.3. Nanoakışkanlarda Isıl İletkenlik

Nanoakışkanlarda ısı iletkenlik; kullanılan nanopartikülün türüne, boyutuna, şekline, hacimsel oranına, baz akışkana ve sistem sıcaklığına göre değişkenlik gösterir. Nanoakışkanlarda ısı iletkenliğin ölçülmesinde en doğru sonuçları veren yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

Geçici sıcak tel tekniği, ince metal bir telin akım gönderilmek suretiyle hem ısı kaynağı olarak, hem de sıcaklık sensörü olarak kullanılmasına dayanır. Akışkanın termal iletkenliği ne kadar yüksekse, teldeki sıcaklık artışı o kadar düşük olacaktır. Deneysel çalışmalarda en çok kullanılan yöntemdir.

Sıcaklık salınım tekniği, silindirik sıvı hacim içerisinde sıcaklık yayılımını baz alır. Sıcaklık verileri sürekli kayıt edilerek ısı iletim katsayısı bulunur [7].

Birçok araştırmacı, akışkan içerisindeki partiküllerin rastgele hareketi olan Brownian hareketi ve bunun sonucunda birbirleri ile olan etkileşimleriyle mikro seviyede bir ısı transferi olduğunu düşünmektedir.

Süspansiyonların ısı iletkenliklerinin hesaplanması konusunda Maxwell tarafından geliştirilen teorik model temel taşı niteliğindedir. Maxwell'in çalışmasında, içinde küresel partiküllerin bulunduğu düşük konsantrasyonlu bir çözelti düşünülmüş ve parçacıkların arasındaki etkileşimler ihmal edilmiştir. Maxwell, süspansiyonun ısı iletkenliğinin kullanılan partikülün ısı iletkenliğine, baz akışkanın ısı iletkenliğine ve partikül konsantrasyonuna bağlı olduğunu varsayarak Denklem (1.1)'deki modeli geliştirmiştir [8];

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f + 2\phi(k_s - k_f)}{k_s + 2k_f - \phi(k_s - k_f)} \quad (1.1)$$

Süspansiyonların ve nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin hesaplanması için geliştirilen modellerin birçoğu Maxwell modelinin farklı parametreler de hesaba katılarak modifiye edilmiş şekilleridir.

Hamilton ve Crosser küresel ve küresel olmayan partiküller için, deneysel olarak belirlenen şekil faktörünü de hesaba katarak Maxwell modelini Denklem (1.2)'deki şekilde geliştirmişlerdir [10];

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = \frac{k_s + (n-1)k_f - (n-1)\phi(k_f - k_s)}{k_s + (n-1)k_f + \phi(k_f - k_s)} \quad (1.2)$$

$$n = \frac{3}{\Psi} \quad (1.2a)$$

Burada n; şekil faktörü,  $\Psi$ ; partikülün yüzey alanının, eş hacimdeki bir küreyle oranını gösteren küreselliktir. Küresel partiküller için  $\Psi=1$  alındığında Maxwell modeline indirgenmiş olur.

Homojen bir karışım içindeki küresel partiküllerin etkileşimini de dikkate alarak geliştirilen Bruggeman ısı iletkenlik modeli Denklem (1.3)'de gösterilmiştir [9];

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = \frac{1}{4} [(3\phi-1)k_s + (2-3\phi)k_f] + \frac{k_f}{4} \sqrt{\Delta} \quad (1.3)$$

$$\Delta = \left[ (3\phi-1)^2 \left(\frac{k_s}{k_f}\right)^2 + (2-3\phi)^2 + 2(2+9\phi-9\phi^2) \left(\frac{k_s}{k_f}\right) \right] \quad (1.3a)$$

Wasp, şekil faktörünü yenileyerek Hamilton-Crosser modelini Denklem (1.4)'deki şekilde geliştirmiştir [11];

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2\phi(k_f - k_s)}{k_s + 2k_f + \phi(k_f - k_s)} \quad (1.4)$$

Yu ve Choi modeli; baz akışkan ve partiküller arasında bir sıvı tabaka oluştuğunu, bu sıvı tabakanın partikül ile akışkan arasında ısı bir köprü görevi gördüğünü ve ısı transferindeki önemli artışın bu sebeple gerçekleştiğini farz ederek geliştirmişlerdir. Yu ve Choi, aldıkları sonuçları nanopartikül kullanılarak yapılan birçok deneysel

sonuç ile karşılaştırmış ve Denklem (1.5)'de gösterilen modellerinin ısı iletkenliği hesaplamada oldukça başarılı olduğunu görmüşlerdir [13];

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)(1 + \eta)^3 \phi}{k_s + 2k_f - (k_s - k_f)(1 + \eta)^3 \phi} \quad (1.5)$$

Burada  $\eta$ , sıvı tabaka kalınlığının orijinal partikül yarıçapına oranıdır.

Pak ve Cho, ısı iletkenliğin artırılmasının akışkan içerisindeki partiküllerin dağılımına bağlı olduğu varsayımıyla Denklem (1.6)'da gösterilen modeli önermişlerdir [16];

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = 1 + 7,47\phi \quad (1.6)$$

Koo ve Kleinstreuer, nanoakışkanlarda ısı iletkenliğin hesaplanmasında Brownian hareketinin etkisini de göz önüne alarak Maxwell-Garnet modelini Denklem (1.7)'deki şekilde geliştirmiştir [17];

$$k_{\text{nf}} = k_{\text{statik}} + k_{\text{Brownian}} \quad (1.7)$$

$$k_{\text{statik}} = k_f \left[ \frac{(k_s + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_s)}{(k_s + 2k_f) + \phi(k_f - k_s)} \right] \quad (1.7a)$$

$$k_{\text{Brownian}} = 5 \times 10^4 \beta \phi \rho_f C_{\text{pf}} \sqrt{\frac{\kappa T}{2\rho_s R_s}} f(T, \phi) \quad (1.7b)$$

Burada  $R_s$  partikül yarıçapıdır.

$$\kappa = 1,3807 \times 10^{-23} \text{ J / K} \quad (1.7c)$$

$$\beta = 0,0137 (100\phi)^{-0,8229}, \quad \phi \langle \%1$$

$$\beta = 0,0011 (100\phi)^{-0,7272}, \quad \phi \rangle \%1 \quad (1.7ç)$$

$$f(T, \phi) = (-6,04\phi + 0,4705) T + (1722,3 \phi - 134,63) \quad (1.7d)$$

Lu ve Lin, küresel ve küresel olmayan partiküller için, yakın ve uzak alan çiftlerin etkileşimlerini dikkate alarak Denklem (1.8)'de gösterilen modeli önermişlerdir [18];

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = 1 + a\phi + b\phi^2 \quad (1.8)$$

Küresel partiküller için;  $a=2,25$  ,  $b=2,27$  alınır.



## 2. LİTERATÜRÜN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Nanoakışkanlarla ilgili teorik, deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmaktadır. Önerilen teorik ısı iletkenlik modelleri ile yapılan hesaplamaların, çoğunlukla deneysel çalışmaların sonuçlarıyla örtüşmediği, deneysel olarak elde edilen ısı iletkenlik modellerinin ise farklı sınır şartları, başlangıç koşulları, baz akışkan ve partikül çeşitleri, boyut ve konsantrasyonlarında farklı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Lee ve diğ. [19],  $Al_2O_3$  (38 nm) ve CuO (24 nm) nanopartiküllerini, baz akışkan olarak seçtikleri su ve etilen glikole ekleyerek deneysel bir çalışma yapmışlar ve sonuçları karşılaştırmak için Hamilton-Crosser ısı iletkenlik modelini kullanmışlardır. Kullanılan nanopartikül ve baz akışkandan bağımsız olarak, nanopartikül eklenmesiyle ısı iletimin arttığını,  $Al_2O_3$  için deneysel sonuçların Hamilton-Crosser modeliyle örtüştüğünü ancak CuO için alınan sonuçların hesaplanandan çok daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Literatürdeki diğer çalışmalarla yaptıkları kıyaslamalar sonucunda partikül boyutu küçüldükçe nanoakışkanın ısı iletkenliğinin artabileceğini ifade etmişlerdir.

Xie ve diğ. [20], pH değeri ve partikül yüzey alanının nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerindeki etkisini göstermek için yaptıkları deneysel çalışmada farklı büyüklüklerde alimüna nanopartikülleri kullandılar. Nanopartikül eklenmesiyle, pH değerinin düşürülmesiyle ve partikül yüzey alanının küçülmesiyle nanoakışkanın ısı iletkenliğinin arttığını gördüler.

Murshed ve diğ. [21], küresel (15 nm) ve çubuk (10x40 nm) şekilli  $TiO_2$  nanopartiküllerini saf suya karıştırarak deneysel bir çalışma yaptılar ve deneysel sonuçları karşılaştırmak için Hamilton-Crosser, Bruggeman ve Wasp ısı iletkenlik modellerini kullandılar. Nanopartikül eklenmesiyle akışkanın ısı iletiminin arttığını, çubuk şekilli nanopartiküller kullanıldığında ısı iletimin daha yüksek olduğunu ve elde edilen deneysel verilerin teorik modellerle hesaplanan sonuçlardan çok daha yüksek olduğunu bildirdiler.

Pak ve Cho [16] yaptıkları deneysel çalışmada 13-27 nm büyüklüğünde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ve baz akışkan olarak saf su kullandılar. Isı transfer katsayısının; %1,34 partikül konsantrasyonunda %45 arttığını, %2,75 partikül konsantrasyonunda %75 arttığını ifade ettiler.

Diğer taraftan, Xuan ve Lee [22] 100 nm büyüklüğünde Cu nanopartikülleri ile yaptıkları deneysel çalışmada; nanopartikül eklenmesiyle ısı transfer katsayısının arttığı gibi düşebileceğini, viskozite, partikül ebatları, partikül özellikleri ve baz akışkanın da nanoakışkanın ısı iletkenliğinde önemli olduğunu göstermiştir.

Das ve diğ. [23], sıcaklığın nanoakışkanların ısı iletkenliğine olan etkisini göstermek için Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CuO nanopartikülleriyle 21-56 °C sıcaklıklar arasında yaptıkları deneysel çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmak için Hamilton-Crosser ısı iletkenlik modelini kullandılar. Nanopartikül eklenmesiyle akışkanın ısı iletimin arttığını, 30 °C'lik bir sıcaklık artışıyla nanoakışkanın ısı iletim kabiliyetinin 3 katından fazla arttığını ve Hamilton-Crosser teorik modelinin sıcaklık değişimlerine hassasiyetinin olmadığını bildirmişlerdir.

Benzer şekilde Chon ve Khim [24] tarafından Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11-150 nm) nanopartikülleriyle 20-70 °C sıcaklıkları arasında yapılan deneysel çalışmada sıcaklık artışıyla ve kullanılan partiküllerin küçülmesiyle nanoakışkanın ısı iletkenliğinin arttığı görülmüştür.

Li ve Peterson [25] Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CuO nanopartikülleriyle yaptıkları deneysel çalışmada; nanopartikül eklenmesiyle ve sıcaklığın artmasıyla nanoakışkanın ısı iletimin arttığını bildirmişlerdir.

Eastman ve diğ. [4], Cu, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CuO nanopartiküllerini etilen glikol baz akışkanına ekleyerek; metal ve oksit nanopartikülleri karşılaştırmak, dağılma ve çökelmenin etkisini, metal nanopartikül kullanılarak hazırlanmış nanoakışkana dengeleyici (asit) ilave edilmesinin etkisini görmek için deneysel bir çalışma yaptılar. Metal nanopartikül kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliğinin çok daha fazla olduğu, stabilizatör eklenmesiyle ısı iletkenlikte muazzam bir artış görüldüğü, yeni hazırlanmış nanoakışkanın beklemiş olandan daha fazla ısı iletkenlik gösterdiği bildirilmiştir.



Hong ve diğ. [26], Fe (10 nm) nanopartiküllerini etilen glikol baz akışkanı içerisinde dağıtmak için ultrasonik titreşimler kullandıkları deneysel çalışmada; ultrasonik titreşim süresinin nanopartiküllerin akışkan içerisindeki dağılımını iyileştirdiğini, bu sebeple nanoakışkanın ısı iletkenliğini artırdığı ve belli bir süre sonra doyum noktasına ulaştığını gözlemlemişlerdir.

Liu ve diğ. [27], etilen glikol ve sentetik motor yağına karbon nanotüpler ekleyerek yaptığı deneysel çalışmada nanoakışkanın ısı iletkenliğinin; etilen glikol ve %1 nanotüp konsantrasyonunda %12 artış, sentetik motor yağı ve %2 nanotüp konsantrasyonunda %30 artış gösterdiği görülmüştür.

Ding ve diğ. [28], karbon nanotüplerin doğal konveksiyonunu inceledikleri deneysel çalışmada 4,5 nm iç çapında karbon nanotüpler kullandılar. % 0,7 konsantrasyonda nanoakışkanın ısı iletim katsayısının saf suya göre %50 arttığını gördüler. Yaptıkları deneyleri farklı sıcaklıklarda tekrarlayarak sıcaklık artışıyla ısı iletim katsayısında ciddi bir artış olduğunu bildirdiler.

Maiga ve diğ. [29], su ve etilen glikol akışkanları ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülü için yaptıkları nümerik çalışmada; Reynolds sayısının artmasıyla ve akışkana nanopartikül eklenmesiyle Nusselt sayısının arttığını buldular.

Khanafer ve diğ. [30], Cu nanopartikülleri ve su ile yaptıkları nümerik çalışmada; Grashof sayısının artmasıyla ve akışkana nanopartikül eklenmesiyle ortalama Nusselt sayısının arttığını buldular.

Ogut [31] su bazlı nanoakışkanların, yan duvardan sabit ısı akışıyla kısmen ısıtılmış, eğik kare bir kapalı ortam içindeki doğal konveksiyonunu incelemiş ve ısıtıcı uzunluğu arttıkça ısı transfer miktarının düştüğünü gözlemlemiştir.

Akçaoğlu ve diğ. [32], bölmeli kare kapalı bir ortam içerisinde Cu, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ve su bazlı nanoakışkanların doğal konveksiyonunu nümerik olarak incelemiş; nanopartikül konsantrasyonu ve Rayleigh sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirmiştir.

Öğüt [33] eğik bir kare içerisinde Cu, Ag, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ve su bazlı nanoakışkanların doğal konveksiyonunu nümerik olarak incelemiş; eğim açısının ısı

transfer miktarını etkilediğini, nanopartikül konsantrasyonu ve Rayleigh sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirmiştir.

Arıcı ve diğ. [34], içerisinde adyabatik kare blok yerleştirilmiş üst duvarı hareketli trapezoidal kavitede su baz akışkanına Cu nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; akışkana nanopartikül eklenmesiyle ve Richardson sayısının düşmesiyle ısı transferinin arttığını, nanopartikül konsantrasyonu ve Richardson sayısından bağımsız olarak, adyabatik kare bloğun büyütülmesiyle daha fazla ısı transferi gerçekleştiğini bildirdiler.

Susantez ve Kahveci [35] içerisinde iletken daire blok yerleştirilmiş kenarları farklı şekilde ısıtılmış kare kavitede su baz akışkanına CuO nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül eklenmesiyle ve Rayleigh sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını, iletken bloğun çapının artmasıyla ısı transferinin azaldığını bildirdiler.

Öğüt ve diğ. [36], yan duvarları dalgalı, eğim açısı verilmiş kare kavitede su baz akışkanına Cu, CuO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül konsantrasyonu, Rayleigh sayısı ve yan duvarlardaki dalga sayısının artışıyla ısı transferinin arttığını, eğim açısının büyütülmesiyle sıcak duvarın daha yukarıda konumlandığını, bu sebeple ısı transferinin düştüğünü ifade etmişlerdir.

Abu-Nada ve diğ. [37], silindirik kavitede su baz akışkanına Cu, Ag, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül eklenmesiyle ısı transferinin arttığını, ısı iletkenliği çok düşük olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile hazırlanan nanoakışkanın en yüksek ortalama Nusselt değerlerini verdiğini ve bu durumun Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülünün ısı yayılım değerinin çok düşük olmasına bağlı olduğunu bildirdiler.

Garooosi ve Hoseininejad [38] içerisinde ısıtılmış silindirler bulunan kapalı kavitelere Cu, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ve su ile hazırlanmış nanoakışkanlar için yaptıkları nümerik çalışmada; dönüş yönünün ısı transferi ve akışı etkilediğini, nanopartikül eklenmesiyle ve ısı kaynağının daha aşağıda konumlandırılmasıyla ısı transferinin arttığını, Rayleigh sayısının küçük, Richardson sayısının büyük

değerlerinde farklı nanopartiküllerin etkilerinin daha belirgin olduğunu göstermişlerdir.

Selimefendigil ve Öztop [39] içerisinde dönen adyabatik bir silindir bulunan kapalı kavitede su baz akışkanına  $Al_2O_3$  nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül eklenmesiyle, Reynolds, Grashof sayılarının ve silindir dönüş hızının artırılmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Parvin ve diğ. [40], içerisinde silindirik ısı kaynağı bulunan kapalı bir kavitede Cu nanopartikülleri karıştırılmış su için yaptıkları nümerik çalışmada; Prandtl sayısının artırılmasıyla ve ısıtıcı çapının düşürülmesiyle daha yüksek ısı transferi elde edildiğini bildirdiler.

Ghasemi ve Aminossadati [41] tarafından yapılan nümerik çalışmada; su ve  $Al_2O_3$  nanopartikülleri ile hazırlanan nanoakışkanın, bir duvarı hareketli üçgen kavite içindeki ısı transferi incelenmiştir. Nanopartikül eklenmesiyle ve duvarın hareket etmesiyle ısı transferinin arttığını göstermişlerdir.

Rahman ve diğ. [42], dik üçgen bir kavitede baz akışkan suya Cu nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül konsantrasyonunun artmasıyla ısı transferinin arttığını ve Richardson sayısının akış ve ısı transferi üzerinde önemli etkileri olduğunu gördüler.

Billah ve diğ. [43], eğim açısı verilmiş üçgen kavitede baz akışkan suya Cu nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Aminossadati ve Ghasemi [44] ikiz kenar üçgen kavitede etilen glikol baz akışkanına Cu nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; üçgenin tepe açısının, ısı kaynağının pozisyonunun ısı transferini önemli ölçüde etkilediğini, Rayleigh sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Sun ve Pop [45] dik üçgen bir kavitede baz akışkan suya Cu,  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; Rayleigh sayısının ve

nanopartikül konsantrasyonunun artmasıyla ve ısı kaynağının tabana yakın konumlandırılmasıyla ısı transferini arttırdığını bildirdiler.

Billah ve diğ. [46], eğim açısı verilmiş üçgen kavitede baz akışkan suya Cu nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artmasıyla ısı transferinin lineer olarak arttığını bildirdiler.

Ouyahia ve diğ. [47], ikiz kenar üçgen kavitede su bazlı akışkana TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; eğim açısı ve görünüş oranının ısı transferini önemli ölçüde etkilediğini, Rayleigh sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Rahman ve diğ. [48], eş kenar üçgen kavitede baz akışkan suya Cu, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CuO nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül eklenmesiyle ısı transferinin arttığını ve nanoakışkanların büyük Rayleigh sayısı değerlerinde etkin olduğunu görmüştür.

Rahman ve diğ. [49], alt duvarı dalgalı ikiz kenar üçgen kavitede su bazlı akışkana Cu, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artmasıyla ısı transferinin lineer olarak arttığını bildirdiler.

Mahian ve diğ. [50], dik üçgen ve kare kavitede baz akışkan suya SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları deneysel çalışmalarında; nanoakışkanın ısı iletkenliğinin sıcaklık artışıyla arttığını, teorik ısı iletim modelleriyle oda sıcaklığı ve düşük nanopartikül konsantrasyonlarında deneysel sonuçlara yakın değerler hesaplandığı ancak sıcaklığın yükseltilmesiyle bu modellerin yetersiz kaldığını buldular.

Sourtiji ve diğ. [51], içerisinde silindirik bir ısı kaynağı bulunan eşkenar üçgen kavitede su bazlı akışkana Cu nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül eklenmesi, Rayleigh sayısının büyük değerlerinde ve ısıtıcı çapının artışıyla ortalama Nusselt sayısının arttığını bildirdiler.

Aminosadati [52] içerisinde üçgen prizmatik bir ısı kaynağı bulunan ikizkenar dik üçgen kavitede su bazlı akışkana CuO nanopartikülleri ekleyerek yaptığı nümerik çalışmada; Rayleigh sayısının büyük değerlerinde ısı transferinin arttığını, ısı kaynağı soğuk kenarlardan uzaklaştıkça azaldığını bildirdi.

Selimefendigil ve Öztop [53] içerisinde dönen bir silindir bulunan ikizkenar dik üçgen kavitede su bazlı akışkana Cu nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; Grashof sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısının arttığını ve silindirin açılmal dönüş hızının artırılmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Rahman ve diğ. [54], ikiz kenar üçgen kavitede su bazlı akışkana Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül konsantrasyonunun ve Rayleigh sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Billah ve diğ. [55], alttan ısıtılan dik üçgen kavitede su bazlı akışkana Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; nanopartikül konsantrasyonunun ve Richardson sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını, en yüksek ısı transferinin uzunluğu en az olan ısıtıcı ile sağlandığını bildirdiler.

Basak ve diğ. [56], kenarları düzenli ve düzensiz şekilde ısıtılmış ikizkenar üçgen kavitede akışkan olarak su kullandıkları nümerik çalışmada; Rayleigh sayısının artışıyla tüm kenarlarda ortalama Nusselt değerlerinin arttığını, düzenli şekilde ısıtmada ortalama Nusselt değerlerinin daha yüksek olduğunu bildirdiler.

Öğüt ve Kılıçtepe [57] alt duvarı dalgalı, yan duvarları farklı şekilde ısıtılmış üçgen kavitede su bazlı akışkana Cu, Ag ve TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; akışkana nanopartikül eklenmesiyle, konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Öğüt ve diğ. [58], alt duvarı dalgalı, yan duvarları farklı şekilde ısıtılmış üçgen kavitede su bazlı akışkana Cu nanopartikülleri ekleyerek, farklı viskozite modellerinde göre yaptıkları nümerik çalışmada; akışkana nanopartikül eklenmesiyle, nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Öğüt ve Kılıçtepe [59] içerisinde üçgen bir ısı kaynağı bulunan üçgen kavitede su bazlı akışkana CuO nanopartikülleri ekleyerek yaptıkları nümerik çalışmada; akışkana nanopartikül eklenmesiyle, nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla ve Rayleigh sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Öğüt ve diğ. [60], yan duvarları farklı şekilde ısıtılmış üçgen kavitede su bazlı akışkana Cu nanopartikülleri ekleyerek, farklı viskozite modellerine göre yaptıkları nümerik çalışmada; akışkana nanopartikül eklenmesiyle, nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla ve Grashof sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını bildirdiler.

Literatürde yapılan araştırma sonucunda; önerilen teorik ısı iletkenlik modelleri ile yapılan hesaplamaların, çoğunlukla deneysel çalışmaların sonuçlarıyla örtüşmediği, deneysel çalışmalarda daha yüksek ısı iletkenlik değerleri elde edildiği, farklı geometri, sınır şartları, başlangıç koşulları, baz akışkan ve partikül çeşitleri, boyut ve konsantrasyonlarında farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Isı transferine etki eden parametreler incelendiğinde;

- Akışkana nanopartikül eklenmesiyle,
- Partikül boyutunun küçültülmesiyle,
- pH'ın düşürülmesiyle,
- Sıcaklığın yükseltilmesiyle,
- Grashof, Rayleigh ve Reynolds sayılarının artırılmasıyla,
- Düz duvarların dalgalı yapıya dönüştürülmesiyle,
- Dönüş hızının artırılmasıyla,
- Isıtıcı çapının artırılması ve soğuk kenara yaklaştırılmasıyla, ısı transferinin arttığı görülmüştür.

Buna ilave olarak; metalik nanoakışkanların, oksit nanoakışkanlardan daha yüksek ısı iletkenlik gösterdikleri, nümerik çalışmalarda artışların çoğunlukla lineer olduğu, eğim açısı, üçgen iç açıları ve kavite içerisine yerleştirilen cisimlerin ısı transferi ve akış üzerinde önemli etkilere sahip olduğu söylenebilir.

### 3. MATEMATİKSEL MODEL

İki boyutlu üçgen bir kavite içinde nanoakışkanın bulunduğu, daimi olmayan ve laminar doğal konveksiyon akışı için, boyutlu yönetici denklemler, Boussinesq yaklaşımı altında aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \quad (3.1)$$

x-momentum denklemi;

$$\left( u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} \right) = -\frac{1}{\rho_{nf,0}} \frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{\mu_{eff}}{\rho_{nf,0}} \left( \frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (3.2)$$

y-momentum denklemi;

$$\left( u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} \right) = -\frac{1}{\rho_{nf,0}} \frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \frac{\mu_{eff}}{\rho_{nf,0}} \left( \frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right) + \frac{1}{\rho_{nf,0}} (\rho\beta)_{nf} g (T - T_C) \quad (3.3)$$

Enerji denklemi;

$$\left( u^* \frac{\partial T}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T}{\partial y^*} \right) = \alpha_{nf} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^{*2}} \right) \quad (3.4)$$

Mevcut çalışmada Denklem (3.5)'de gösterilen boyutsuz değişkenler kullanılmaktadır;

$$x = \frac{x^*}{L}, y = \frac{y^*}{L}, u = \frac{u^*}{\alpha_f / L}, p = \frac{L^2}{\rho_{f0} \alpha_f^2}, v = \frac{v^*}{\alpha_f / L}, \theta = \frac{T^* - T_C}{T_H - T_C} \quad (3.5)$$

Burada  $u^*$  ve  $v^*$  sırasıyla  $x^*$  ve  $y^*$  yönlerindeki boyutlu hız bileşenlerini,  $p^*$  boyutlu basıncı,  $T^*$  boyutlu sıcaklık,  $\rho_{f0}$ ,  $T_c$  sıcaklığındaki akışkanın yoğunluğunu ve  $\alpha_f$



akışkanın ısı difüzyonunu göstermektedir. Prandtl ve Grashof sayıları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$\text{Pr} = \frac{\mu_f}{\rho_{f,0} \alpha_f}, \quad \text{Gr} = \frac{\rho_{f,0}^2 g \beta_f L^3 (T_H - T_C)}{\mu_f^2} \quad (3.6)$$

Burada  $\mu$  viskozite,  $\beta$  ısı genleşme katsayısı ve  $\alpha$  akışkanın ısı difüzyonunu göstermektedir. Nanoakışkanın viskozitesi iki fazlı karışımlar için önerilmiş modeller kullanılarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada küçük küresel katı partiküller içeren süspansiyonlar için önerilen aşağıdaki modeller kullanılmıştır:

Batchlor,

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_f (1 + 2,5\phi + 6,5\phi^2) \quad (3.7)$$

Brinkman,

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2,5}} \quad (3.8)$$

Einstein,

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_f (1 + 2,5\phi) \quad (3.9)$$

Maiga,

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_f (1 + 7,3\phi + 123\phi^2) \quad (3.10)$$

Pak ve Cho,

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_f (1 + 39,11\phi + 533,9\phi^2) \quad (3.11)$$

Koo ve Kleinstreuer,

$$\mu_{\text{nf}} = \mu_{\text{statik}} + \mu_{\text{Brownian}} \quad (3.12)$$

$$\mu_{\text{statik}} = \mu_f / (1-\phi)^{2,5} \quad (3.12a)$$

$$\mu_{\text{Brownian}} = 5 \times 10^4 \beta \phi \rho_f \sqrt{\frac{\kappa T}{2 \rho_s R_s}} f(T, \phi) \quad (3.12b)$$

Burada  $R_s$  partikül yarıçapı olup  $R_s=20$  nm alınmıştır.

Nanoakışkanın yoğunluk, ısı kapasite, ısı genleşme katsayısı ve ısı difüzyon hızı aşağıda verilen eşitliklerle ifade edilmektedir;

$$\rho_{\text{nf},o} = (1 - \phi) \rho_{f,o} + \phi \rho_{s,o} \quad (3.13)$$

$$(\rho c_p)_{\text{nf}} = (1 - \phi) \rho_f c_{p,f} + \phi \rho_s c_{p,s} \quad (3.14)$$

$$(\rho \beta)_{\text{nf}} = (1 - \phi) \rho_f \beta_f + \phi \rho_s \beta_s \quad (3.15)$$

$$\alpha_{\text{nf}} = \frac{k_{\text{eff}}}{(\rho c_p)_{\text{nf},o}} \quad (3.16)$$

Bu denklemlerde  $\phi$  katı partiküllerin hacim fraksiyonu olup, eff, f ve s alt indisleri ise sırasıyla nanoakışkan, sıvı ve katı partikülleri temsil etmektedir. Bu çalışmada ısı iletim kabiliyeti için önerilen aşağıdaki modeller kullanılmıştır;

Yu ve Choi,

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)(1 + \eta)^3 \phi}{k_s + 2k_f - (k_s - k_f)(1 + \eta)^3 \phi} \quad (3.17)$$

Burada  $\eta$  sıvı tabaka kalınlığının orijinal partikül yarıçapına oranıdır. Bu çalışmada  $\eta=0,1$  alınmıştır.

Pak ve Cho,

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = 1 + 7,47\phi \quad (3.18)$$

Koo ve Kleinstreuer,

$$k_{\text{nf}} = k_{\text{statik}} + k_{\text{Brownian}} \quad (3.19)$$

$$k_{\text{statik}} = k_f \left[ \frac{(k_s + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_s)}{(k_s + 2k_f) + \phi(k_f - k_s)} \right] \quad (3.19a)$$

$$k_{\text{Brownian}} = 5 \times 10^4 \beta \phi \rho_f C_{pf} \sqrt{\frac{\kappa T}{2\rho_s R_s}} f(T, \phi) \quad (3.19b)$$

Burada  $R_s$  partikül yarıçapı olup  $R_s=20$  nm alınmıştır.

$$\kappa = 1,3807 \times 10^{-23} \text{ J / K} \quad (3.19c)$$

$$\beta = 0,0011(100\phi)^{-0,7272} \quad (3.19ç)$$

$$f(T, \phi) = (-6,04\phi + 0,4705) T + (1722,3 \phi - 134,63) \quad (3.19d)$$

Lu ve Lin,

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k_f} = 1 + a\phi + b\phi^2 \quad (3.20)$$

Sırasıyla soğuk sol ve alt duvar için yerel Nusselt sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$Nu_y = -\frac{k_{nf}}{k_f} \left( \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0} \quad (3.21)$$

$$Nu_x = -\frac{k_{nf}}{k_f} \left( \frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_{y=0} \quad (3.22)$$

Ortalama Nusselt sayısı, yerel Nusselt sayısının sol ve alt soğuk duvar boyunca integre edilmesiyle elde edilebilir;

$$Nu_{\text{sol}} = \int_0^1 Nu(y) dy \Big|_{x=0} \quad (3.23)$$

$$Nu_{\text{alt}} = \int_0^1 Nu(x) dx \Big|_{y=0} \quad (3.24)$$

Kavitenin ortalama Nusselt sayısı ise;

$$\text{Nu}_{\text{ort}} = \frac{1}{2}(\text{Nu}_{\text{sol}} + \text{Nu}_{\text{alt}}) \quad (3.25)$$



#### 4. NÜMERİK ANALİZ

Bu çalışmada; içerisine silindirik bir ısı kaynağı yerleştirilmiş, ikizkenar dik üçgen kavite içerisinde, nanoakışkanların laminer akış ve doğal konveksiyonu nümerik olarak incelenmiştir. Analizler için ANSYS Fluent 14.0 paket programı kullanılmış olup, momentum ve enerji denklemleri ikinci mertebeden Upwind yaklaşımı, basınç-hız denklemi ise SIMPLE algoritmasıyla çözülmüş, analizler iki boyutlu geometride yapılmıştır. Isı kaynağının konumunun, çap değişiminin, farklı termofiziksel özelliklerdeki nanopartiküllerin, farklı ısı iletkenlik ve viskozite modellerine göre yapılan hesaplamaların ısı transferi ve akış özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Isı kaynağı 3 farklı şekilde konumlandırılarak, ısı kaynağının aksel hareketlerinin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Birinci konum K1, ikinci konum K2, üçüncü konum K3 olarak adlandırılmıştır.

Isı kaynağının çap değişiminin etkisinin görülebilmesi için 3 farklı çaptaki sıcak silindir ile analizler yapılmış ve silindirler çaplarına göre D1, D2 ve D3 olarak tanımlanmıştır.

Nanopartikül etkilerinin incelenmesi için, farklı termofiziksel özelliklere sahip olan Cu, Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri seçilmiştir.

Isıl iletkenlik modellerinin sonuçlara etkisinin görülebilmesi için, efektif ısı transfer katsayısının hesaplanmasında literatürde kabul görmüş Yu ve Choi, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modellerinden yararlanılmıştır.

Nanoakışkan viskozite modellerinin sonuçlara etkisinin görülebilmesi için, dinamik viskozitenin hesaplanmasında literatürde kabul görmüş Batchlor, Brinkman, Einstein, Maiga, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer modellerinden yararlanılmıştır.

Yapılan tüm analizlerde Grashof sayısının 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup> ve 10<sup>6</sup> değerleri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişimleri gözlenmiştir.

Analizlerde baz akışkan olarak kullanılan suyun ve Cu, Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartiküllerinin termofiziksel özellikleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Su, Cu, Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartiküllerinin termofiziksel özellikleri

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kgK)	$k$ (W/mK)	$\alpha \times 10^7$ (m <sup>2</sup> /s)	$\beta_T \times 10^6$ (1/K)
Cu	8933	385	400	1170	16,7
Ag	10500	235	429	1740	54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3970	765	46	151	24
Su	997,1	4179	0,613	1,57	210

#### 4.1. Kodun Doğrulanması

Elde edilecek verilerin doğruluğunu ispatlamak için, daha önce yayınlanmış ve kabul görmüş çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslama yapılmıştır.

Nümerik çalışmadaki kodun doğruluğunu test etmek için iki ayrı nümerik çalışma seçilmiştir. Öncelikle Rahman ve diğ. [49]’ nin ele almış olduğu üçgen kavite içindeki su bazlı Cu ve TiO<sub>2</sub> nanoakışkanlarının doğal konveksiyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2. Üçgen kavite içindeki nanoakışkanın Gr=10<sup>5</sup> degeri ve doğal konveksiyonu için ortalama Nusselt sayısının karşılaştırılması

	Partikül/ $\phi$	0	0,05	0,08	0,1
Mevcut Çalışma	Cu	10,0	11,6	12,6	13,1
Rahman ve diğ. [49]	Cu	10,3	11,7	12,3	12,8
Mevcut Çalışma	TiO <sub>2</sub>	10,0	11,1	11,7	12,1
Rahman ve diğ. [49]	TiO <sub>2</sub>	10,3	11,4	11,9	12,3

Daha sonra Aminossadati [52]'nin içerisinde üçgen prizmatik bir ısı kaynağı bulunan ikizkenar dik üçgen kavitede su bazlı CuO nanoakışkanıyla yaptığı çalışmanın doğal konveksiyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.3' de verilmiştir. Elde edilen sonuçların her iki çalışma ile de uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. Üçgen kavite içindeki nanoakışkanın  $\phi=0,04$  degeri ve doğal konveksiyonu için ortalama Nusselt sayısının karşılaştırılması

Rayleigh Sayısı	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$
Mevcut Çalışma	3,3	3,3	3,9	6,6	11,8
Aminossadati [52]	3,4	3,4	3,8	6,3	12,1

#### 4.2. Çözüm Ağı Bağımsızlığının İncelenmesi

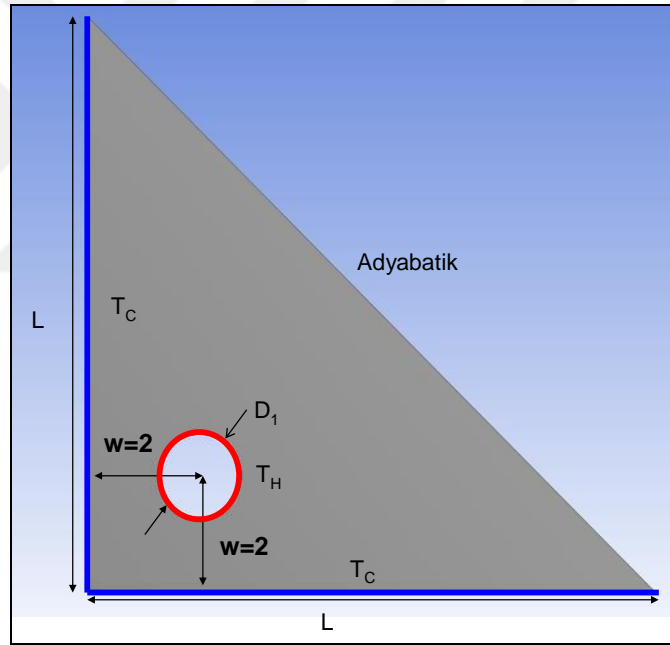
Uygun ağ yapısının seçilmesi amacıyla deneme çalışmaları yapılmış ve M1-M7 olarak tanımlanmıştır. Yapılan çalışmalarda Cu nanopartikülü,  $\phi=0,05$  katı hacim fraksiyonu, D1 çaplı ve K1 konumlu geometri seçilmiş, analizler  $Gr=10^5$  degeri için yapılmıştır. Değerlendirme kriteri olarak ortalama Nusselt sayısı seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.4' de sunulmuştur. Elde edilen veriler optimize edilerek M6 numaralı ağ yapısının kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 4.4. Farklı ağ yapılarında elde edilen ortalama Nusselt değerleri

Çözüm Ağı	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Eleman Sayısı	4769	6986	9419	11490	13547	13242	19045
Düğüm Sayısı	5044	7348	9869	12023	14156	13648	19595
Nusselt Sayısı	4,371	4,344	4,342	4,345	4,336	4,341	4,331

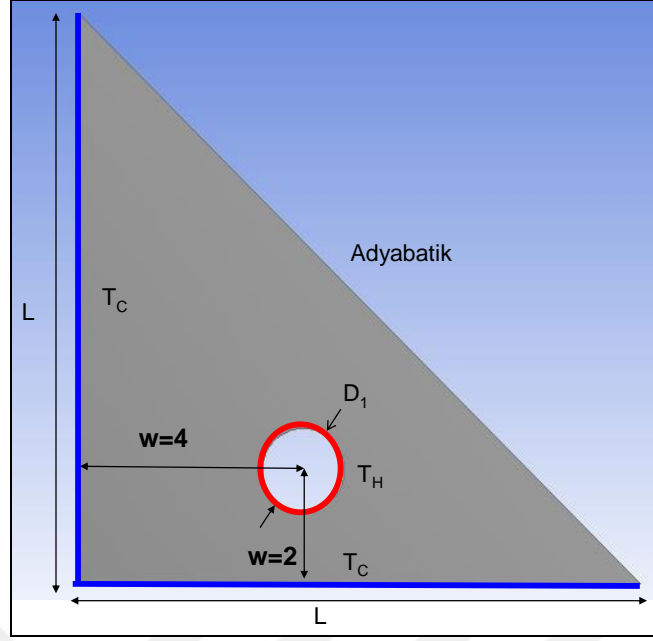
### 4.3. Isı Kaynağının Konumunun Etkisi

Isı kaynağı 3 farklı şekilde konumlandırılarak, ısı kaynağının aksenal hareketlerinin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Birinci konum K1, ikinci konum K2, üçüncü konum K3 olarak adlandırılmıştır. Silindir ısıtıcının merkezi ile üçgenin sol kenarı ve tabanı arasındaki mesafeler  $w$  boyutsuz uzunluğu ile tanımlanmıştır. Üçgenin sol ve alt kenarları eş sıcaklıkta ve soğuk olup sağ diagonal kenarı yalıtılmıştır. Yapılan analizlerde  $D_1$  silindir çapı ve Cu nanopartikülü kullanılmış olup hesaplamalarda ısı iletkenlik için Yu ve Choi, viskozite için Brinkman modellerinden yararlanılmıştır. Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişiklikler gözlenmiştir. K1, K2, ve K3 konumları Şekil 4.1-4.3'de sunulmuştur.

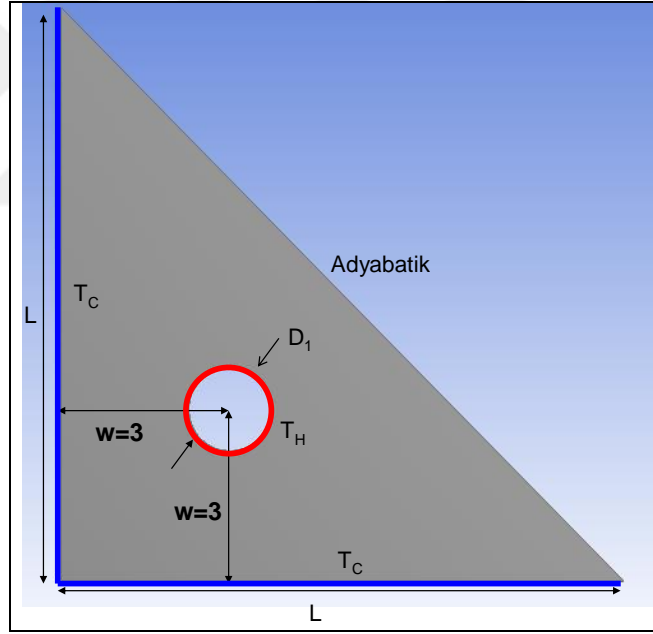


Şekil 4.1. Silindir ısı kaynağının K1 konumu





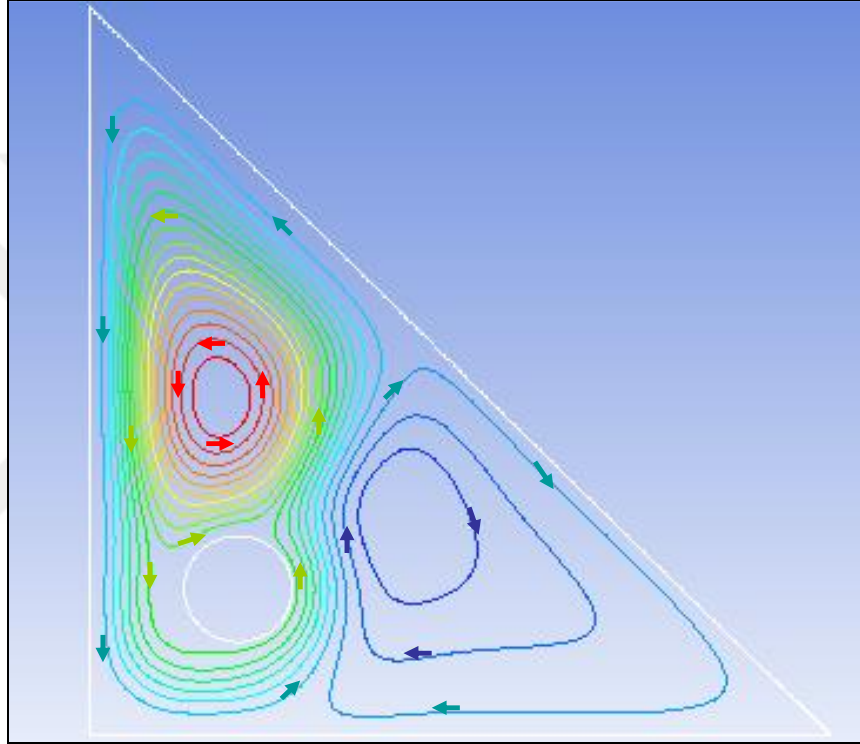
Şekil 4.2. Silindir ısı kaynağının K2 konumu



Şekil 4.3. Silindir ısı kaynağının K3 konumu

Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için, akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri, ortalama ve yerel Nusselt değerleri kullanılacaktır. Kavite içerisinde meydana gelen akımın daha iyi görülmesi, akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla akım çizgilerinin yönleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Kavite içerisinde 3 temel hücre yapısı görülmektedir. Sıcak silindirin üst tarafında saat yönünün tersine dönen hücrede sirkülasyon en

yüksektir. Isınan nanoakışkanın adyabatik sağ duvar boyunca yükselmesi, soğuk sol duvara yaklaşarak soğudukça aşağıya yönelmesiyle oluşmaktadır. Sol duvar boyunca aşağıya yönelen nanoakışkanın, sıcak silindirin altından geçerken ısınarak yükselmesiyle saat yönünün tersinde dönen 2. hücre yapısı oluşmaktadır. Soğuyarak adyabatik kenar boyunca aşağı yönelen nanoakışkan, alt ve adyabatik kenar arasında saat yönünde dönen zayıf bir akım yaratmakta ve 3. temel hücre yapısını oluşturmaktadır.

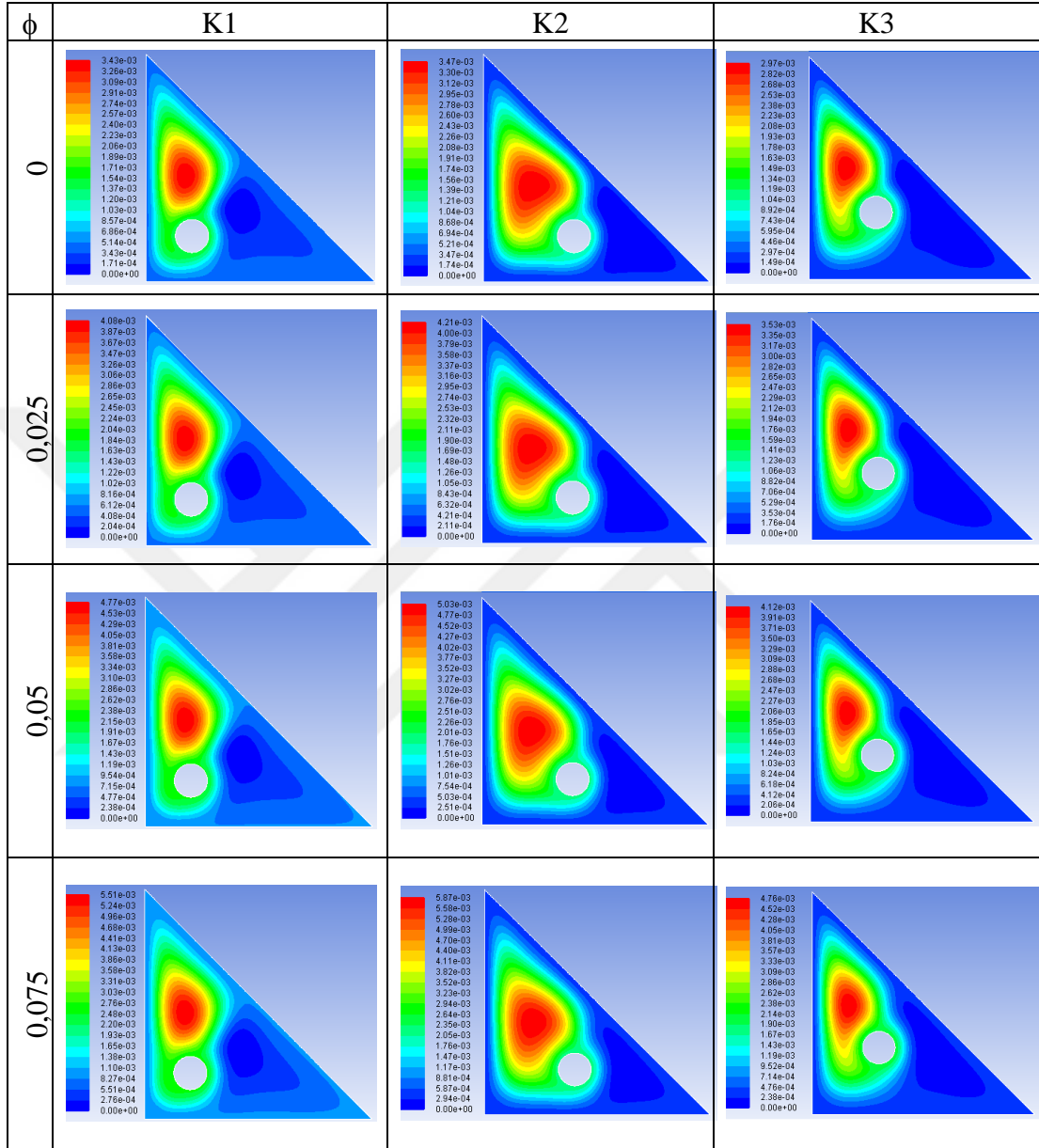


Şekil 4.4. Akım çizgilerinin yönleri

Akış yapıları üzerinde konum etkisinin görülebilmesi için  $Gr=10^5$  değerinde  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri K1, K2 ve K3 konumları için karşılaştırmalı olarak Şekil 4.5'te, eş sıcaklık eğrileri ise Şekil 4.6'da sunulmuştur.

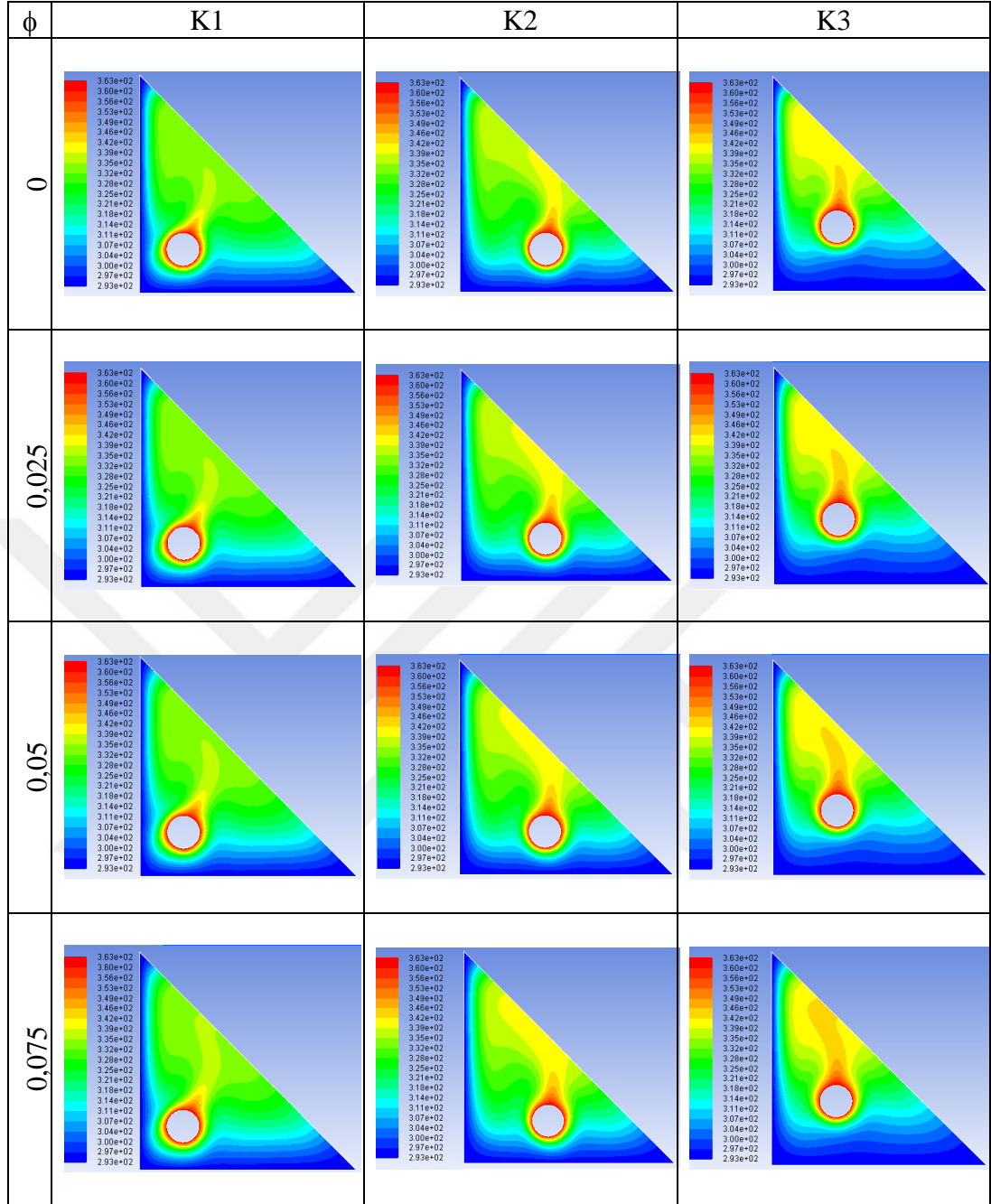
Şekil 4.5'de K1, K2 ve K3 konumlarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için akım çizgileri gösterilmiştir. K1 konumunda; sıcak boru üzerinde, sol ve adyabatik kenarlar arasında elips şekilli kuvvetli bir girdap olduğu görülmektedir. Akım çizgilerinin sol kenara çok yakın hidrodinamik sınır tabaka oluşturması, sol kenarda konveksiyonun çok güçlü olduğunu göstermektedir. Alt kenar ile adyabatik kenar

arasında saat ibresi yönünde dönen bir akımla alt kenarda zayıf bir konveksiyon gerçekleşmektedir.



Şekil 4.5. K1, K2 ve K3 konumlarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için akım çizgileri

K2 konumunda; sol ve adiabatik kenarlar arasında oluşan girdabın genişlediği, üçgensel bir şekil aldığı görülmektedir. Sol kenardan uzaklaştıkça maksimum akım fonksiyonun değeri K2 konumunda oluşmaktadır. Akım fonksiyonun yüksek değerinden de anlaşıldığı gibi sirkülasyon güçlenmektedir. Sol kenar ile alt kenar arasındaki akım çizgilerinin birbirine yaklaşması, hidrodinamik sınır tabakaların artması, bu bölgede konveksiyonun arttığını göstermektedir.



Şekil 4.6. K1, K2 ve K3 konumlarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için eş sıcaklık eğrileri

K3 konumunda yani silindir ısıtıcının soğuk duvarlardan uzaklaştığı durumda, boru üzerinde oluşan ve saat ibresinin tersi yönünde dönen hücrenin sirkülyasyon şiddeti azalmakta ve konvektif akımlar zayıflamaktadır. Alt ve adyabatik kenarlar arasındaki bölgedeki akış yapısında akım çizgileri zayıf bir hücre görünümündedir.

Bütün konumlarda, nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla nanopartiküllerin Brownian hareketinden dolayı, konveksiyon kuvvetlenmektedir. Maksimum akım

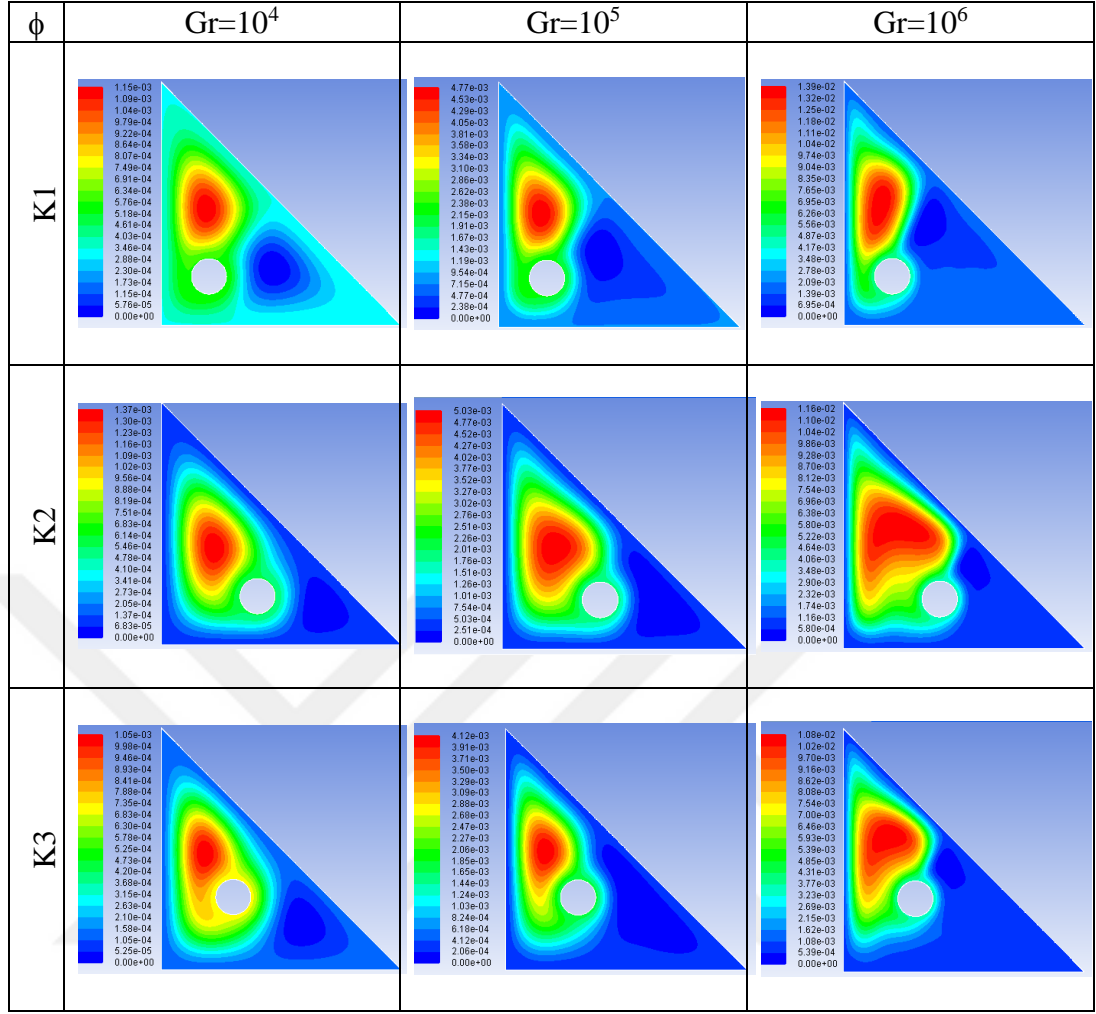
fonksiyon değerlerindeki artışla ve akım çizgilerinin sayılarının artmasıyla da bu artış görülmektedir. Özellikle K1 konumunda;  $\phi=0,025$  konsantrasyonundan 0,05'e geçişteki yeni akım çizgisi oluşumu ve 0,075'e geçişte akımın artışı rahatlıkla görülmektedir.

şekil 4.6'da K1, K2 ve K3 konumlarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için eş sıcaklık eğrileri görülmektedir. K1 konumunda; sıcak silindirin sol ve alt kenarlara yakın olduğu yerlerde eş sıcaklık eğrilerinin birbirine paralel hale gelmesi iletimin baskın olduğunu göstermektedir. Silindir ısıtıcının olduğu bölgede, ısınan akışkan tanecikleri adyabatik kenar boyunca yükselmekte, sol kenara yaklaşırken soğuyarak tekrar aşağıya yönelmekte, bunun sonucu olarak sol kenarın orta ve st bölümlerinde konveksiyonla ısı transferi gerçekleşmektedir. Sıcak silindirin st tarafında oluşan girdabın etkisi sıcaklık eğrilerinde de kendini göstermektedir.

K2 konumunda; sıcak silindirin sol soğuk kenardan uzaklaşarak, adyabatik kenara yaklaşmasıyla, sirkülasyon artmakta ve eş sıcaklık eğrilerinde çarpılmalar meydana gelmekte ve dolayısıyla konveksiyon artmaktadır. Isınan akışkan tanecikleri adyabatik kenar boyunca yükselmekte, sol kenara yaklaşırken soğuyarak tekrar aşağıya yönelmekte, oluşan geniş girdap alanı sebebiyle sol kenarın st tarafında dar bir alanda konveksiyon artmakta ve aşağı indikçe zayıflamaktadır.

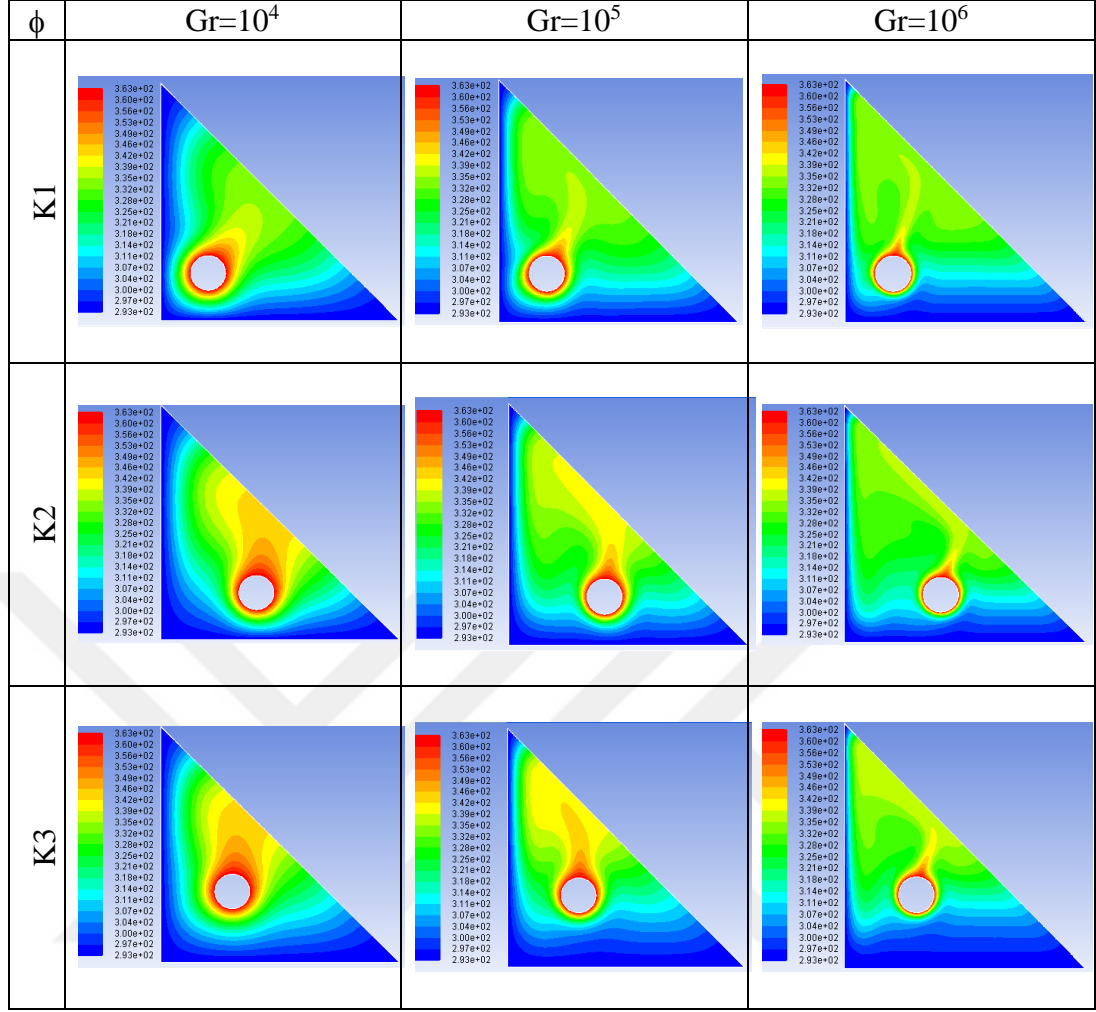
K3 konumunda; sıcak silindirin st tarafında eş sıcaklık eğrilerinin genişlediği, sol kenara tekrar yaklaşmaya başladığı, sol kenarın st bölümünde dar bir alanda yüksek ısı transferi gerçekleştiği görülmektedir. Alt kenardan uzaklařtıķa eş sıcaklık eğrilerinin arasının açılmaya başladığı ve zayıf bir konveksiyon olduğu görülmektedir.

Yüksek ısıl iletkenliğe sahip nanopartiküllerin baz akışkana eklenmesiyle sirkülasyon hızı artmakta ve ısı transfer miktarında artışa neden olmaktadır. Nanopartikül konsantrasyonunun artışıyla da ısı transferinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.7. K1, K2 ve K3 konumlarında  $Gr=10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $\phi=0,05$  için akım çizgileri

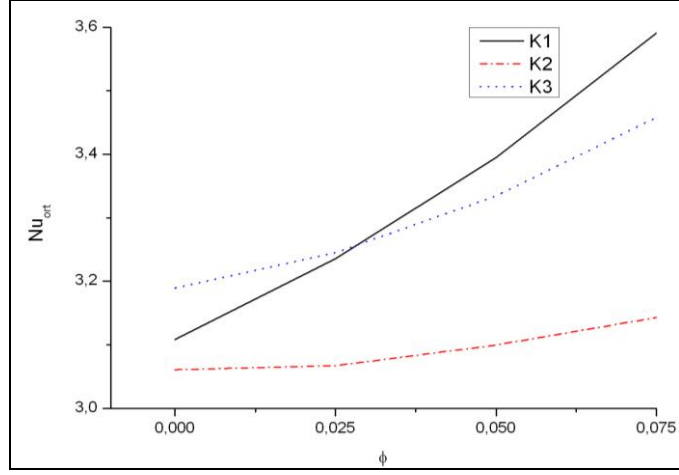
Şekil 4.7’de K1, K2 ve K3 konumlarında  $\phi=0,05$  için Grashof sayısının artışına bağlı olarak akım çizgilerindeki değişiklikler görülmektedir. Bütün konumlarda, Grashof sayısının arttırılmasıyla akım çizgileri genişleyerek kenar ve köşelere doğru yayılmakta, hüresel yapıları bozulmaya başlamaktadır. Grashof sayısının arttırılmasıyla sirkülasyonun arttığı ve böylece konveksiyonun kuvvetlendiği açıkça görülmektedir.



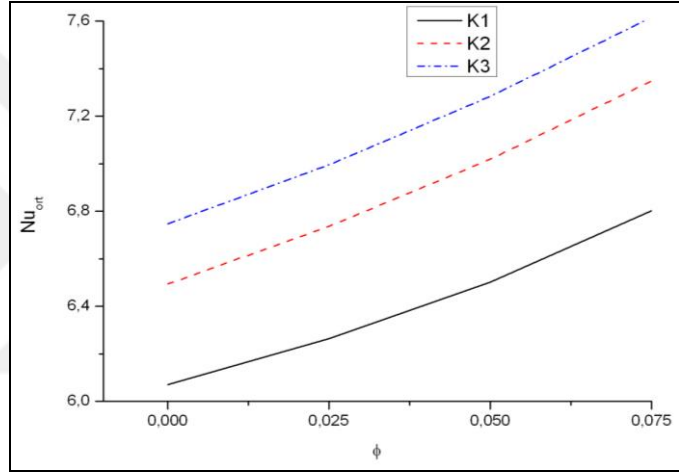
Şekil 4.8. K1, K2 ve K3 konumlarında  $Gr=10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $\phi=0,05$  için eş sıcaklık eğrileri

Şekil 4.8’de K1, K2 ve K3 konumlarında  $\phi=0,05$  için Grashof sayısının artışına bağlı olarak eş sıcaklık eğrilerindeki değişiklikler görülmektedir. Bütün konumlarda, Grashof sayısının artırılmasıyla eş sıcaklık eğrileri genişleyerek kenarlara yaklaşmakta, ısıl sınır tabakalar incelmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla sirkülasyonun arttığı ve böylece konveksiyonla ısı transferinin arttığı açıkça görülmektedir.

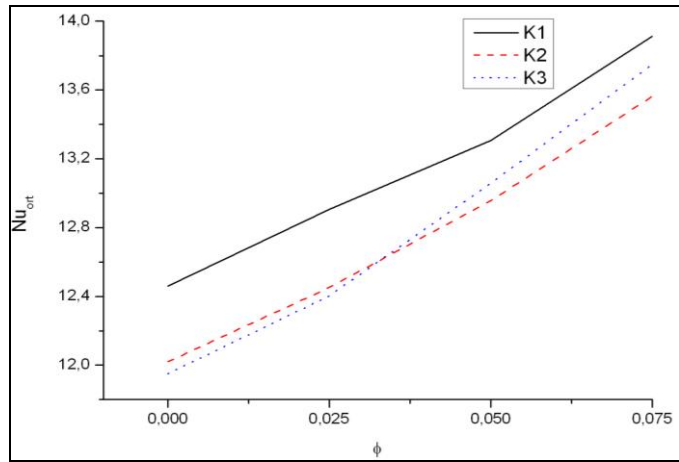
Şekil 4.9’da; K1, K2 ve K3 konumlarındaki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında sol kenar için ortalama Nusselt sayısının değişimi grafiği görülmektedir.



a)  $Gr=10^4$



b)  $Gr=10^5$

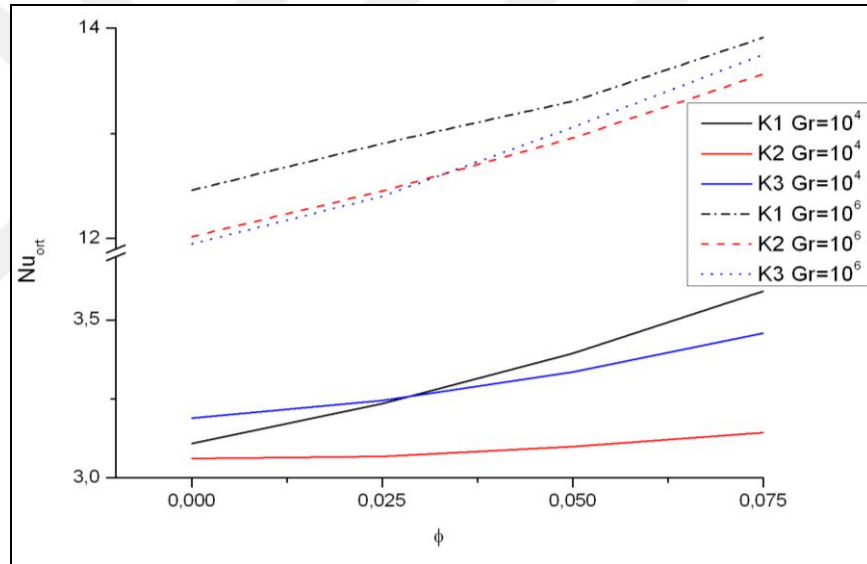


c)  $Gr=10^6$

Şekil 4.9. Sol kenar için K1, K2, K3 konumlarında a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi



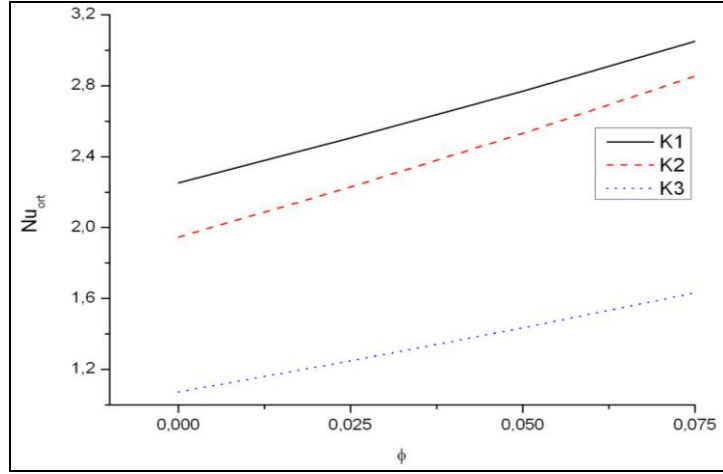
$Gr=10^4$  değerinde;  $\phi=0$  için K3 konumunda en yüksek ortalama Nusselt değeri elde edilmiş ancak, nanopartikül eklenmesiyle ve konsantrasyonun artırılmasıyla en yüksek değerlerin K1 konumunda elde edildiği görülmüştür. Sol kenara en uzak olan K2 konumunda ise en düşük ortalama Nusselt değerleri elde edilmiştir.  $Gr=10^5$  değerinde en yüksek ortalama Nusselt değerleri K3 konumunda en düşük değerler K1 konumunda elde edilmiştir.  $Gr=10^6$  değerinde; sirkülasyonun artmasıyla K2 konumunda elde edilen ortalama Nusselt değerleri K3 konumuna çok yaklaşmış olup, en yüksek değerler K1 konumunda elde edilmiştir. Katı hacim fraksiyonu arttıkça sol kenarın ortalama Nusselt değeri artmıştır. Sonuçların Şekil 4.5-4.8'de gösterilen akım çizgilerinden ve eş sıcaklık eğrilerinden elde edilen verilerle uyduğu görülmektedir.



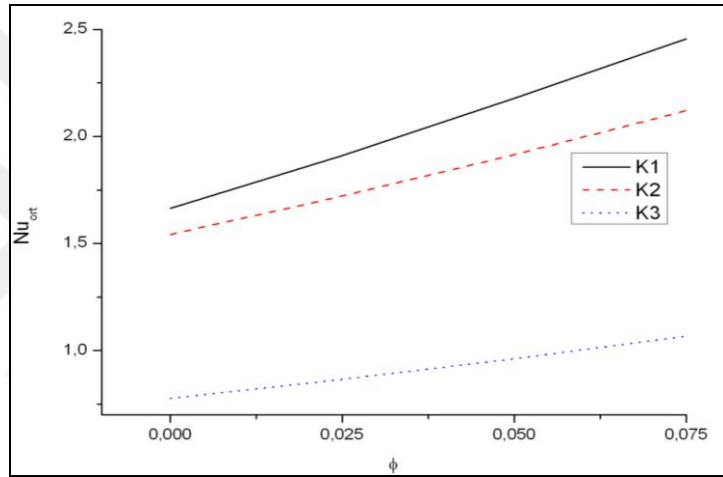
Şekil 4.10. Sol kenar için K1, K2, K3 konumlarında,  $Gr=10^4, 10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

Şekil 4.10'da; sol kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm konumlarda ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir.

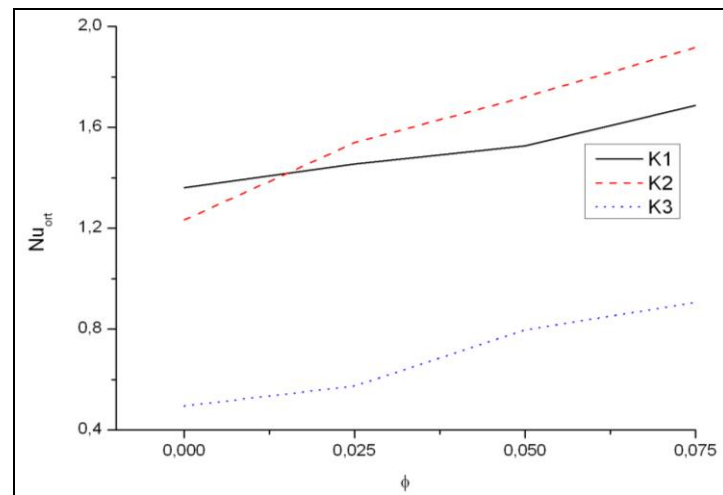
Şekil 4.11'de; K1, K2 ve K3 konumlarındaki, Grashof sayısının  $10^4, 10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında alt kenar ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir.  $Gr=10^4$  değerinde; en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin K1 konumunda elde edildiği, K2 konumunda da buna yakın değerlerin olduğu, alt kenara en uzak olan K3 konumunda ise en düşük değerlerin elde edildiği görülmektedir.



a) Gr=10<sup>4</sup>



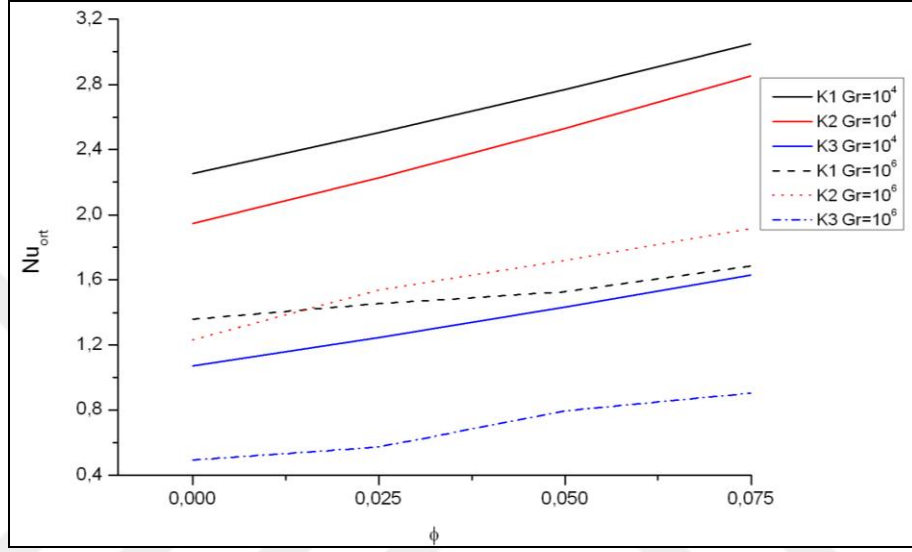
b) Gr=10<sup>5</sup>



c) Gr=10<sup>6</sup>

Şekil 4.11. Alt kenar için K1, K2, K3 konumlarında a) Gr=10<sup>4</sup>, b) Gr=10<sup>5</sup>, c) Gr=10<sup>6</sup> için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

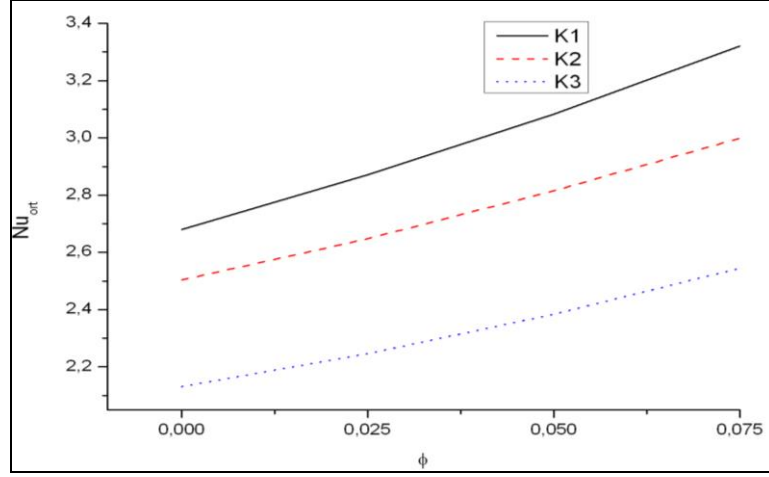
$Gr=10^5$  değerinde de  $Gr=10^4$  ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.  $Gr=10^6$  değerinde;  $\phi=0$  için K1 konumunda en yüksek ortalama Nusselt değeri elde edilmiş ancak, nanopartikül eklenmesiyle ve konsantrasyonun artırılmasıyla en yüksek değerlerin K2 konumunda, en düşük değerlerin K3 konumunda elde edildiği görülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.5.-4.8’de gösterilen akım çizgilerinden ve eş sıcaklık eğrilerinden elde edilen verilerle uyumaktadır.



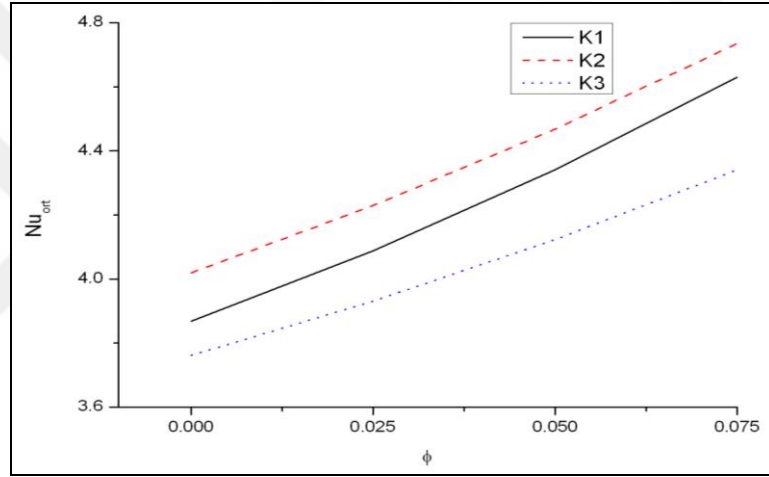
Şekil 4.12. Alt kenar için K1, K2, K3 konumlarında,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değışimi

Şekil 4.12’de; alt kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm konumlarda ortalama Nusselt değeri azaldığı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla, kavitenin üst tarafında gerçekleşen sirkülasyon ve ısı transferi artmakta, bu sebeple alt taraftaki konveksiyon azalmakta ve ortalama Nusselt değeri düşmektedir.

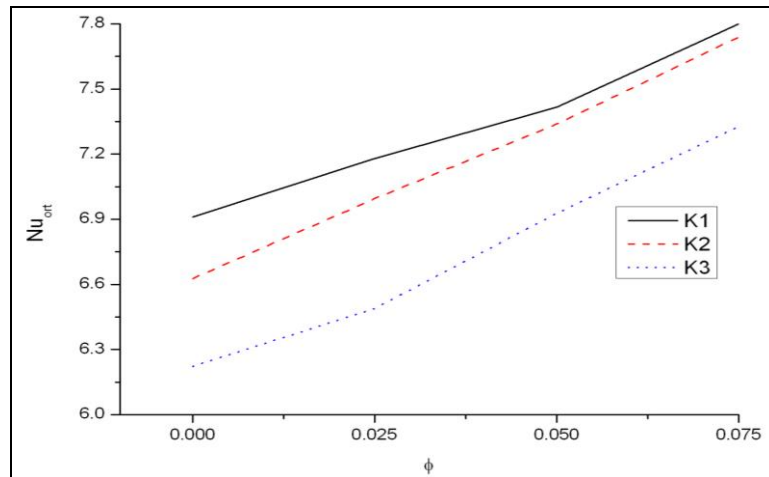
Şekil 4.13’de; K1, K2 ve K3 konumlarındaki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değeri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında kavitenin ortalama Nusselt (alt ve sol kenarların ortalaması) değeri görülmektedir.  $Gr=10^4$  ve  $Gr=10^6$  değeri için her ikisinde de K1 konumunda en yüksek, K3 konumunda en düşük ortalama Nusselt değeri elde edilmiştir.  $Gr=10^5$  değeri için ise; en yüksek ortalama Nusselt değeri K2 konumunda, en düşük değeri yine K3 konumunda elde edilmiştir.



a) Gr=10<sup>4</sup>

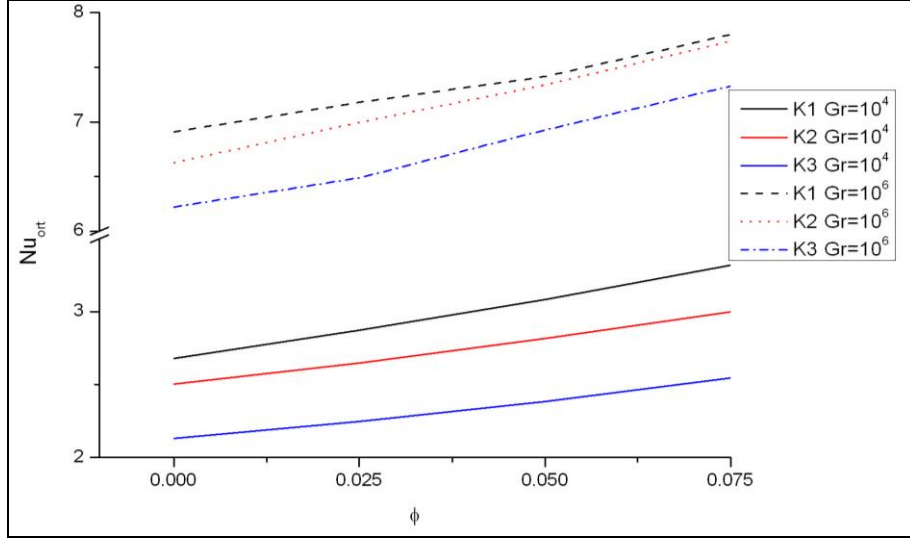


b) Gr=10<sup>5</sup>



c) Gr=10<sup>6</sup>

Şekil 4.13. K1, K2, K3 konumlarında, a)Gr=10<sup>4</sup>,b) Gr=10<sup>5</sup> c) Gr=10<sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değışimi

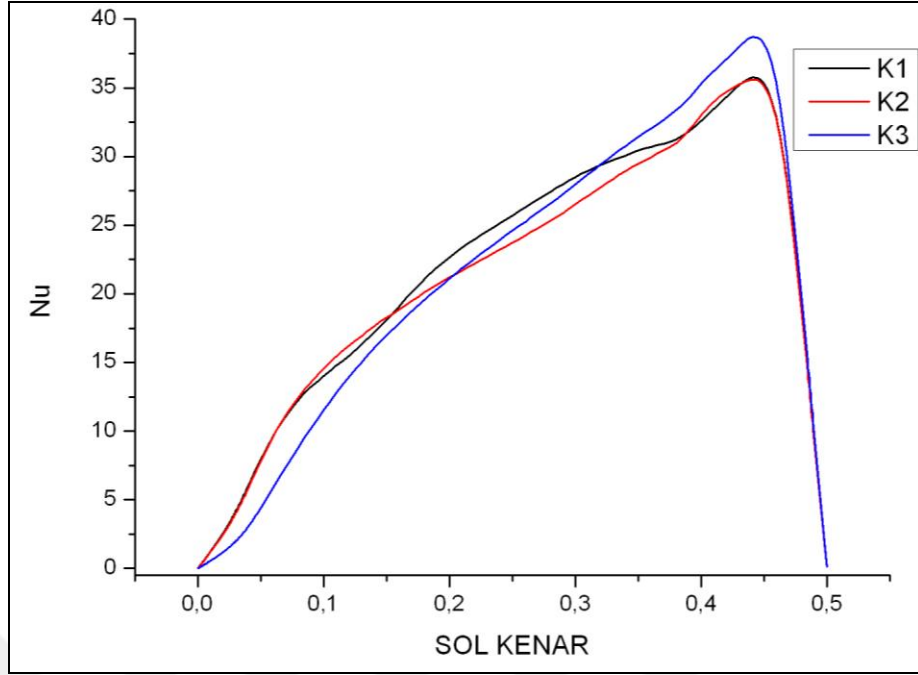


Şekil 4.14. K1, K2, K3 konumlarında,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi

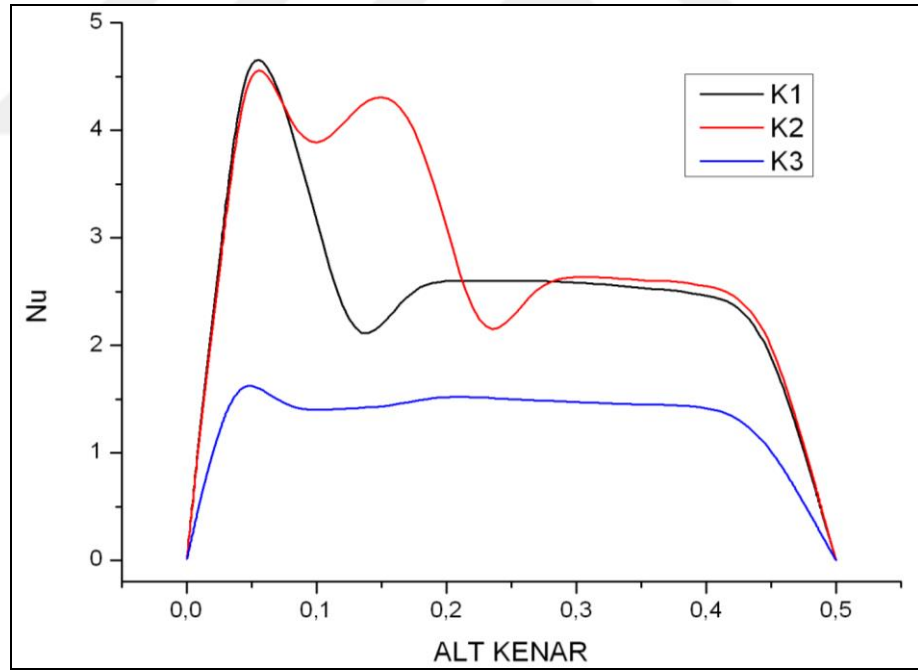
Şekil 4.14'de; Grashof sayısının artırılmasıyla tüm konumlarda kavitenin ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 4.15'de; K1, K2 ve K3 konumlarındaki, Grashof sayısının  $10^6$  değeri için,  $\phi=0,05$  nanopartikül konsantrasyonunda sol kenardaki yerel Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Şekil 4.5'te gösterilen akım çizgileri ve Şekil 4.6'da gösterilen eş sıcaklık eğrilerine paralel olarak; K1 konumunda sol kenara yakın kısımda değerlerin yükseldiği, K2 ve K3 konumları için sol kenarın üst kısımlarında yüksek yerel Nusselt değerleri elde edildiği görülmektedir.

Şekil 4.16'da; K1, K2 ve K3 konumlarındaki, Grashof sayısının  $10^6$  değeri için,  $\phi=0,05$  nanopartikül konsantrasyonunda alt kenardaki yerel Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Şekil 4.5'te gösterilen akım çizgileri ve Şekil 4.6'da gösterilen eş sıcaklık eğrilerine paralel olarak; yerel Nusselt değerlerinin K1 ve K2 konumlarında alt kenara yakın kısımda yükseldiği, sol kenar ve sıcak silindir arasındaki aşağı yönlü akımın alt kenardaki konveksiyonu artırdığı, her üç konumda da alt ve adyabatik kenarlar arasındaki bölgede gerçekleşen zayıf konveksiyon akımına bağlı olarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.15. Sol kenar için K1, K2, K3 konumlarında,  $Gr=10^6$  ve  $\phi=0,05$  için yerel Nusselt sayısının değişimi

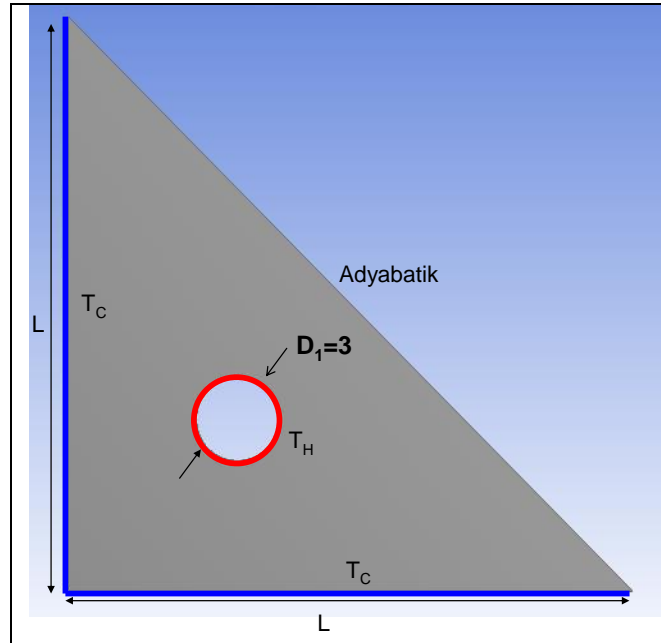


Şekil 4.16. Alt kenar için K1, K2, K3 konumlarında,  $Gr=10^6$  ve  $\phi=0,05$  için yerel Nusselt sayısının değişimi

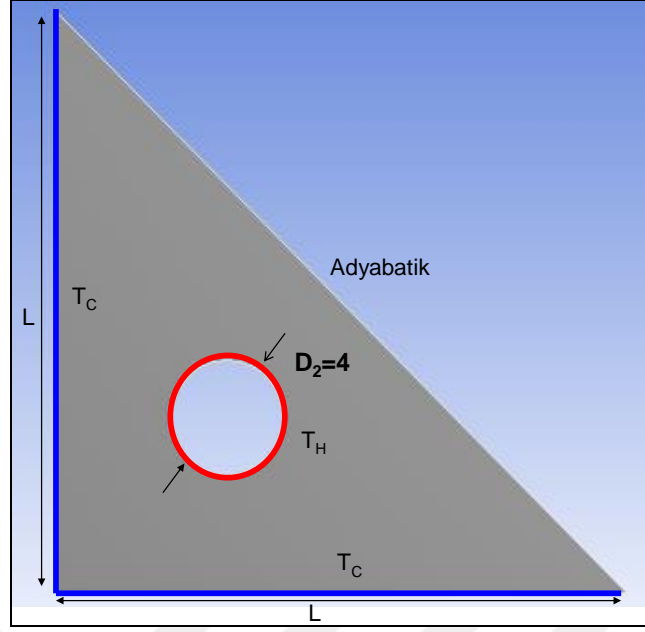
#### 4.4. Isı Kaynağı Çapının Etkisi

Isı kaynağının çap değişiminin etkisinin görülebilmesi için 3 farklı çapta analizler yapılmıştır. Silindirler çaplarına göre D1, D2 ve D3 boyutsuz uzunlukları ile tanımlanmıştır. Üçgenin sol ve alt kenarları eş sıcaklıkta ve soğuk olup sağ kenarı yalıtılmıştır. Yapılan analizlerde K3 konumu ve Cu nanopartikülü kullanılmış olup nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini tanımlamak için hesaplamalarda ısı iletkenlik modeli olarak Yu ve Choi, viskozite için Brinkman modellerinden yararlanılmıştır. Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişiklikler gözlenmiştir. D1, D2, ve D3 çaplı silindir ısı kaynakları Şekil 4.17-4.19'da sunulmuştur.

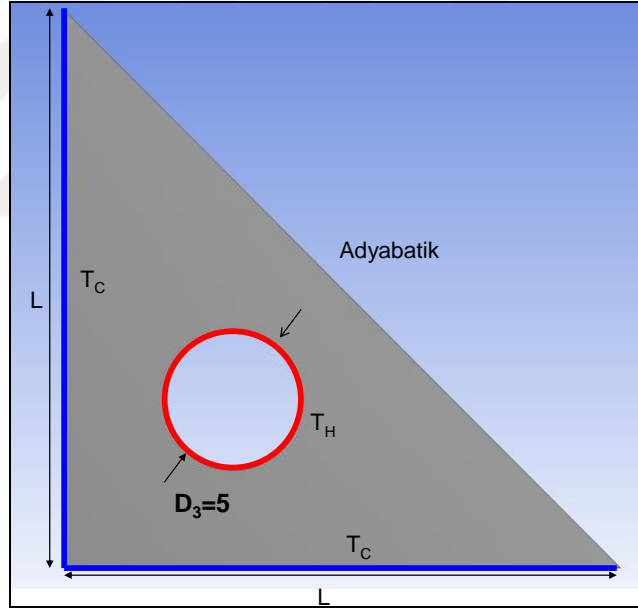
Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri, ortalama ve yerel Nusselt değerleri kullanılmaktadır. Çap değişiminin etkisinin görülebilmesi amacıyla  $Gr=10^5$  değeri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri D1, D2 ve D3 çapları için karşılaştırmalı olarak Şekil 4.20'de, eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.21'de sunulmuştur.



Şekil 4.17. D1 çaplı silindir ısı kaynağı



Şekil 4.18. D2 çaplı silindir ısı kaynağı

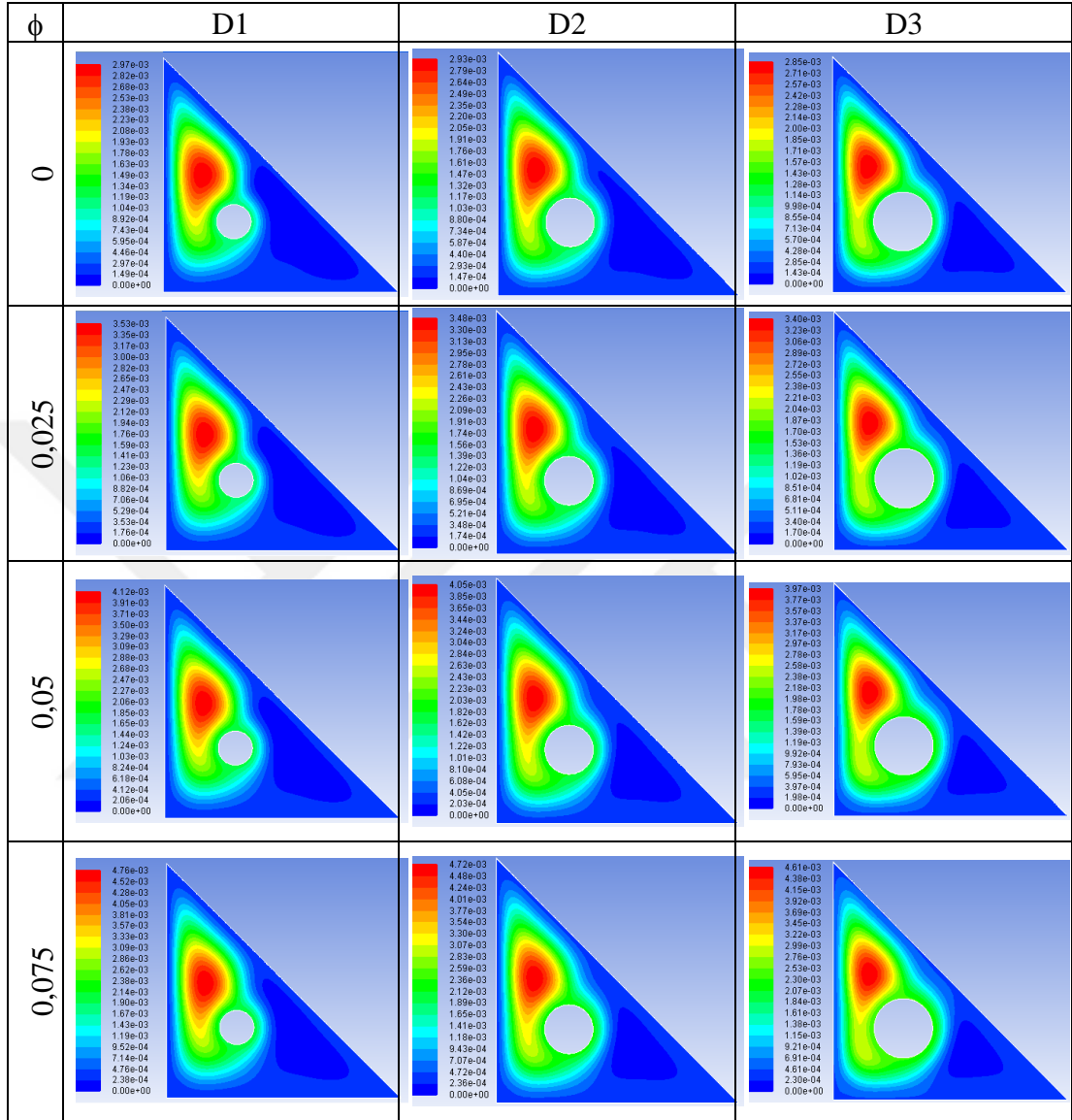


Şekil 4.19. D3 çaplı silindir ısı kaynağı

Şekil 4.20'de D1, D2 ve D3 çaplarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için akım çizgileri gösterilmiştir. D1 çapında; sıcak silindir üzerinde, sol ve adyabatik kenarlar arasında kuvvetli bir girdap oluştuğu görülmektedir. Akım çizgileri sol kenara yakın bölgede saat ibresinin tersi yönünde dönen hücre görünümündedir. Sol kenar boyunca kuvvetli bir konveksiyon akışı mevcuttur. Yukarıdan gelen akım sıcak borunun altından geçerek tekrar yukarı çıkmakta, bu şekilde alt kenarda dar bir alanda konveksiyonu arttırmaktadır. Alt kenar ile adyabatik kenar arasında saat ibresi



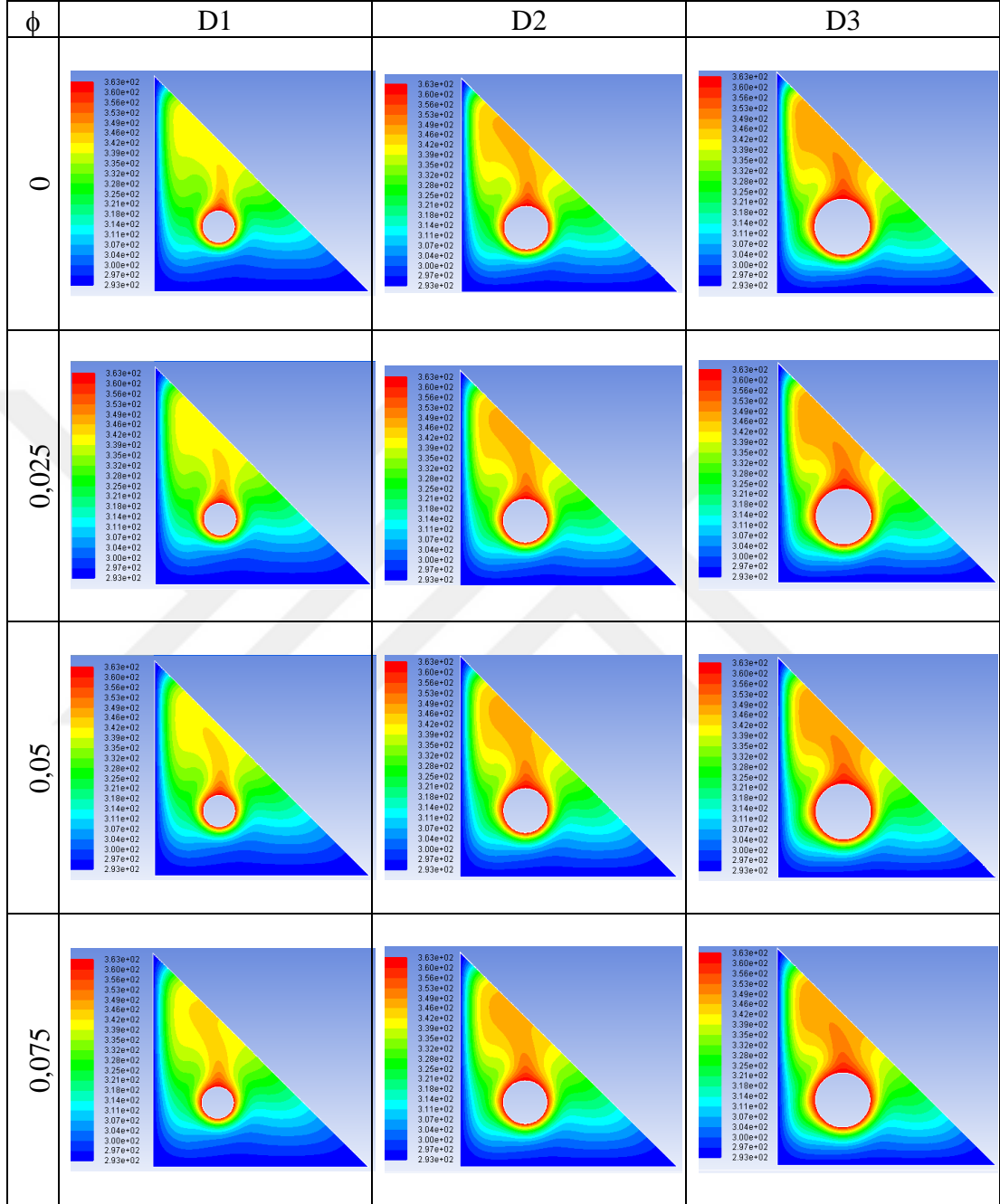
yönünde dönen bir hücre görünümündeki akım çizgileri, zayıf bir konveksiyon akımı gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.20. D1, D2 ve D3 çaplarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için akım çizgileri

D2 ve D3 çaplarında; çapın artırılması sonucu ısı kaynağının soğuk kenarlara yaklaşmasıyla, sıcak silindir üzerinde oluşan girdabın sol kenar boyunca aşağıya doğru uzadığı, akım çizgilerinin sıklaştığı ve köşelere doğru genişlemeye başladığı böylece konveksiyonun arttığı görülmektedir. Sıcak boru etrafında oluşan akımın da arttığı gözlenmiştir. Çapın artırılmasıyla, saat ibresinin tersi yönünde dönen hücrenin, soğuk duvarlara doğru genişleyerek büyüdüğü ve sirkülasyonun arttığı dolayısıyla konveksiyonun arttığı görülmektedir. Alt ve adyabatik kenarlar

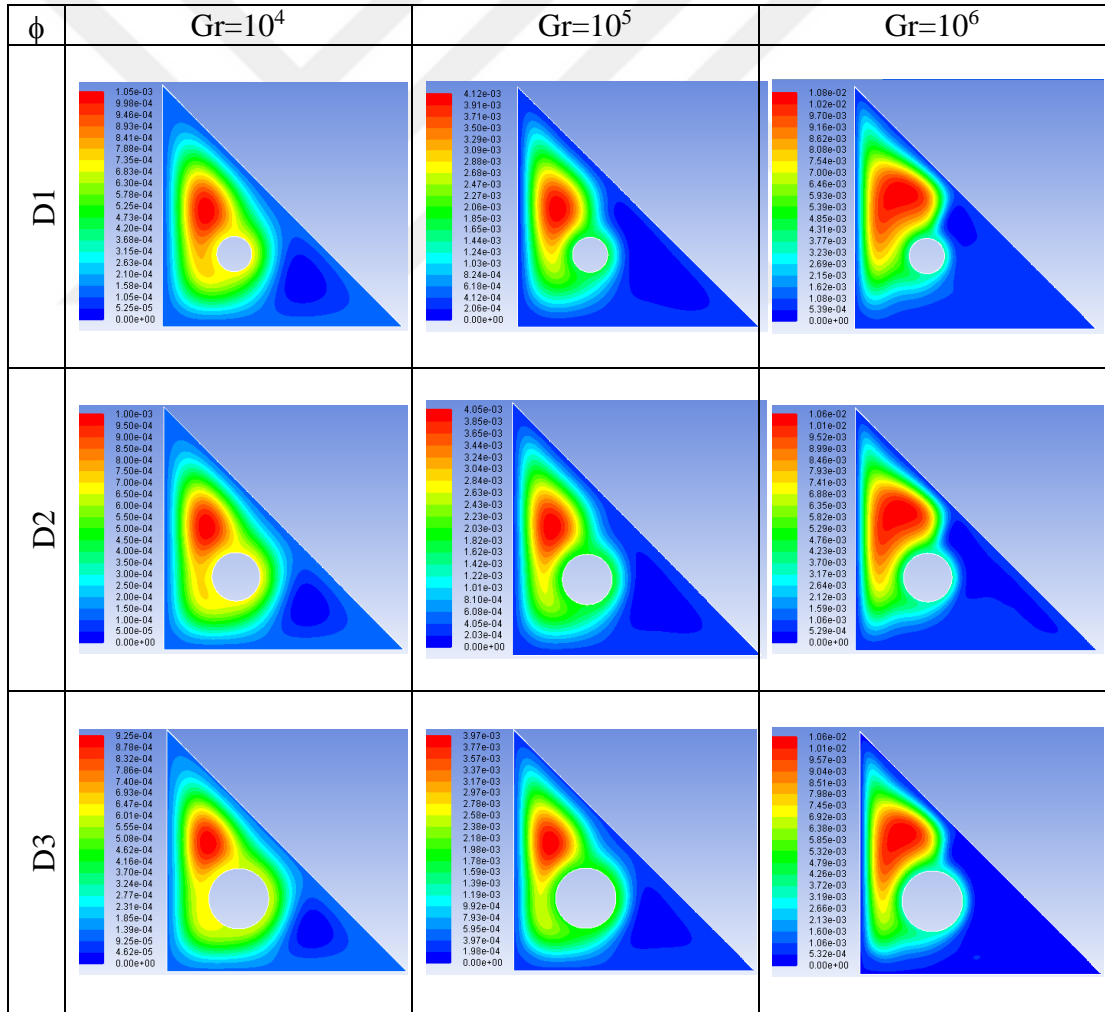
arasındaki saat ibresi yönünde dönen hücrenin zayıf sirkülasyonla küçüldüğü görülmektedir.



Şekil 4.21. D1, D2 ve D3 çaplarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için eş sıcaklık eğrileri

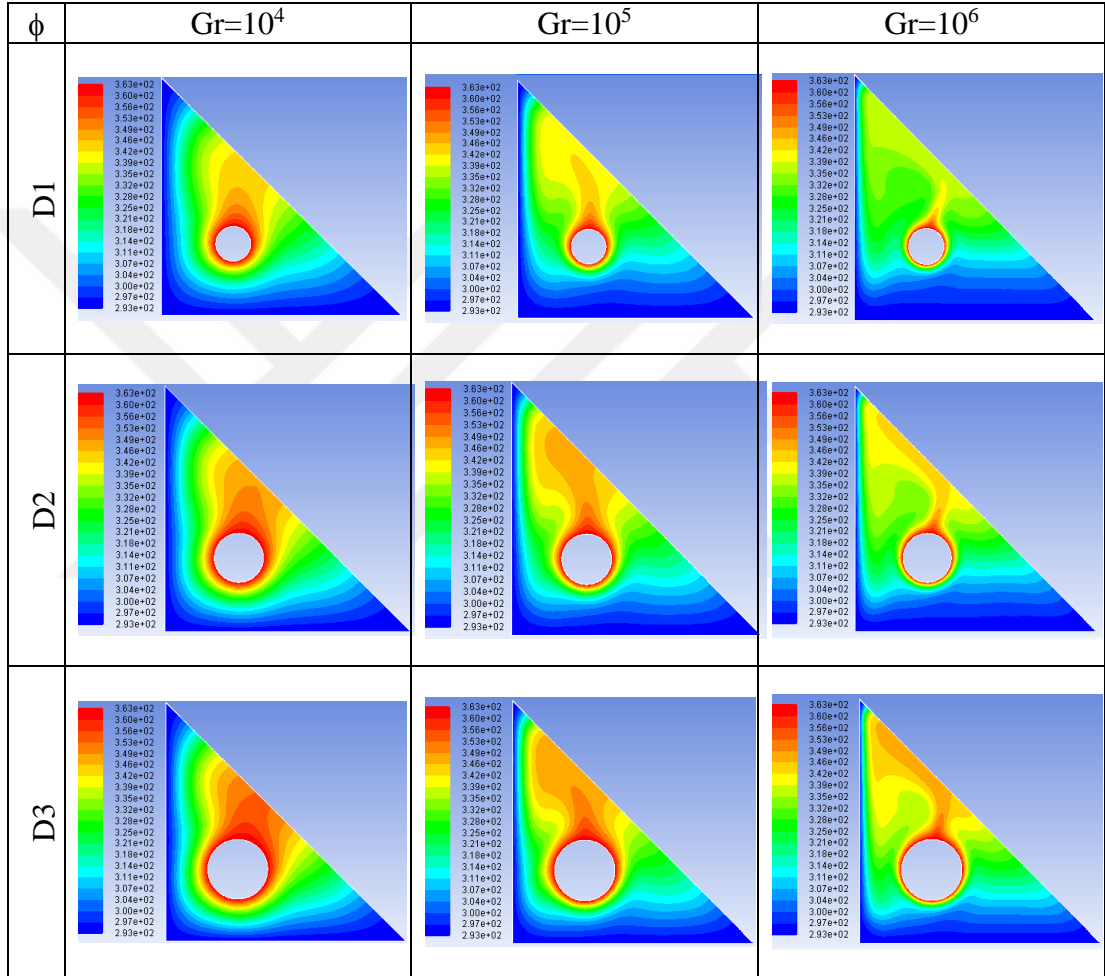
Bütün çaplarda, nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla; akım çizgilerinin yayılmaya başladığı, köşelere doğru genişlediği, kenarlara yaklaştığı, sıcak silindir etrafındaki sirkülasyonun arttığı bunlara bağlı olarak konveksiyonun kuvvetlendiği gözlenmiştir.

Şekil 4.21’de D1, D2 ve D3 çaplarında  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için eş sıcaklık eğrileri görülmektedir. Isınan akışkan tanecikleri adyabatik kenar boyunca yükselmekte, sol kenara yaklaşırken soğuyarak tekrar aşağıya inmekte, bunun sonucu olarak sol kenarın orta ve üst bölümlerinde konveksiyonla ısı transferi gerçekleşmektedir. Çapın artırılmasıyla; eş sıcaklık eğrilerinin soğuk duvarlara doğru yayılmaya başladığı, köşelere doğru genişlediği görülmektedir. Isı kaynağının çapının artırılması sonucunda ısıl sınır tabakanın incilmesiyle konveksiyon artmakta ve ısı transfer miktarı artmaktadır. Sıcak silindirin üst tarafında sirkülasyonun artmasıyla sol kenarın özellikle üst bölümlerinde ısı transferi yükselmektedir. Nanopartikül eklenmesiyle eş sıcaklık eğrilerinin kenarlara doğru genişlemeye başladığı ve ısı transferinin arttığı görülmektedir.



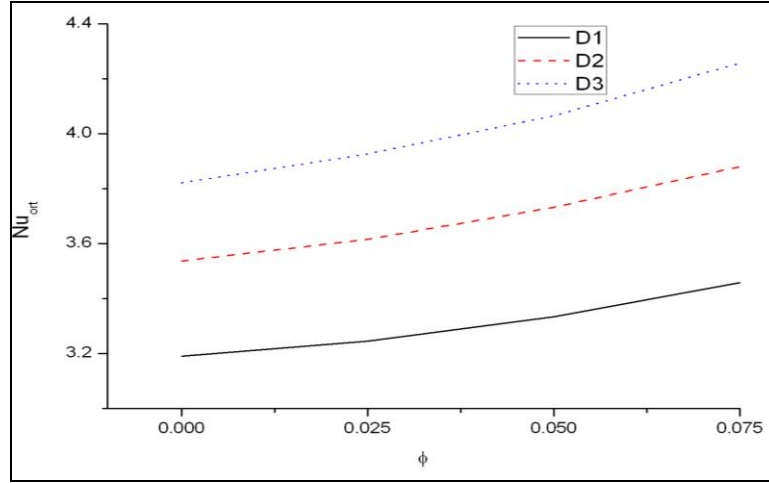
Şekil 4.22. D1, D2 ve D3 çaplarında  $Gr=10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $\phi=0,05$  için akım çizgileri

Şekil 4.22’de D1, D2 ve D3 çaplarında  $\phi=0,05$  için Grashof sayısının artışına bağlı olarak akım çizgilerindeki değişiklikler görülmektedir. Bütün çaplarda, Grashof sayısının arttırılmasıyla akım çizgileri genişleyerek kenar ve köşelere doğru yayılmakta, hücresel yapıları bozulmaya başlamaktadır. Grashof sayısının arttırılmasıyla sirkülasyonun arttığı ve böylece konveksiyonun kuvvetlendiği açıkça görülmektedir.

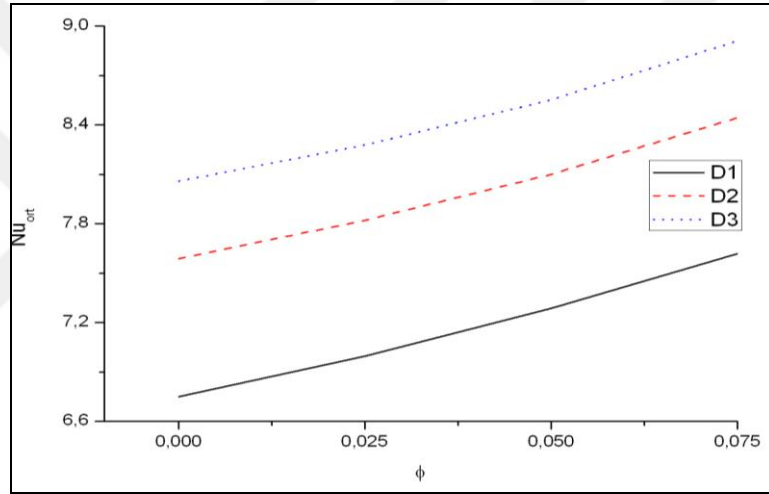


Şekil 4.23. D1, D2 ve D3 çaplarında  $Gr=10^4, 10^5, 10^6$ ,  $\phi=0,05$  için eş sıcaklık eğrileri

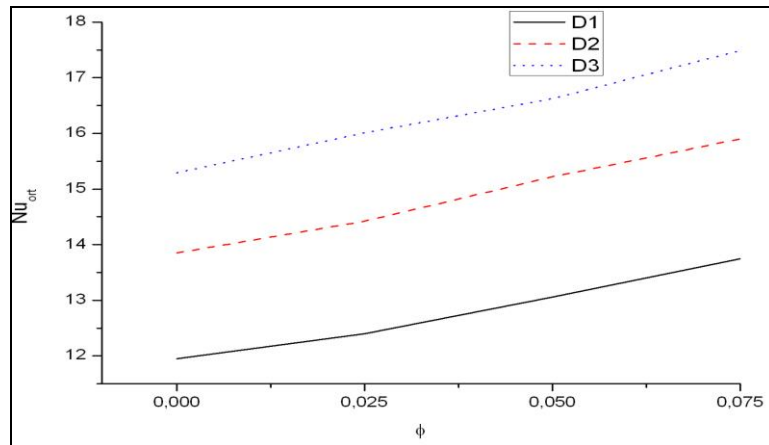
Şekil 4.23’de D1, D2 ve D3 çaplarında  $\phi=0,05$  için Grashof sayısının artışına bağlı eş sıcaklık eğrilerindeki değişiklikler görülmektedir. Bütün çaplarda, Grashof sayısının arttırılmasıyla akış sirkülasyonu güçlenmektedir.  $Gr=10^4$  ‘te iletimle ısı transferi gerçekleşirken, eş sıcaklık eğrileri soğuk kenarlara paralel görünümündedir. Grashof sayısının artmasıyla, sirkülasyonun çoğalması nedeniyle eş sıcaklık eğrilerinin formu bozularak konveksiyonla ısı transferi gerçekleşmektedir.



a)  $Gr=10^4$



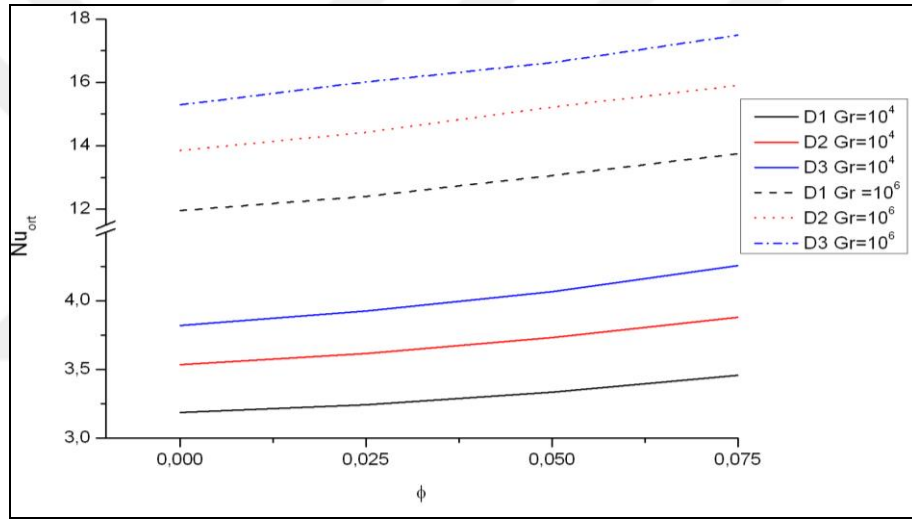
b)  $Gr=10^5$



c)  $Gr=10^6$

Şekil 4.24. Sol kenar D1, D2 ve D3 çaplarında, a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

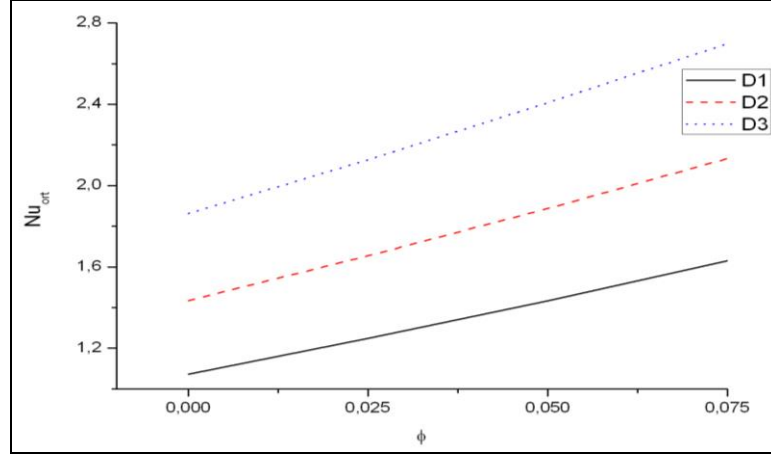
Şekil 4.24'te; D1, D2 ve D3 çaplarındaki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında sol kenar ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının bütün değerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin D3 çapında, en düşük değerlerin D1 çapında elde edildiği görülmektedir. Elde edilen sonuçların Şekil 4.20-4.23'de gösterilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinden elde edilen verilerle uyduğu görülmektedir. Isı kaynağının çapının artırılmasıyla, soğuk kenarlara doğru yaklaşması nedeniyle ısı sınır tabakalar incelmekte ve ısı transfer miktarı dolayısıyla ortalama Nusselt sayısı artmaktadır. Ayrıca nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artırılmasıyla da sol kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.



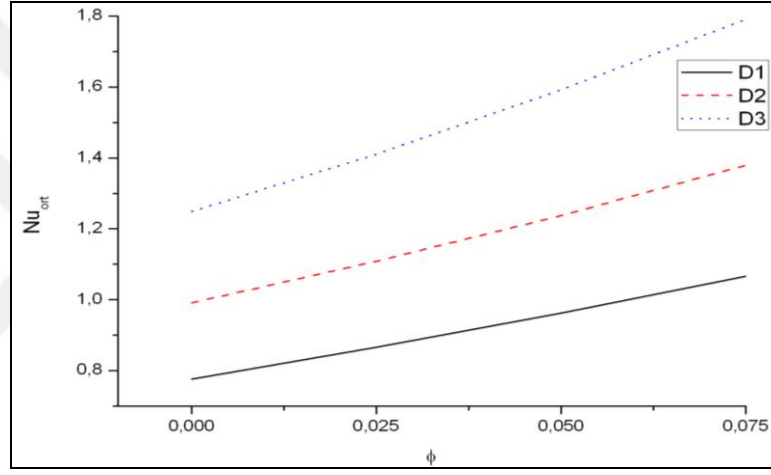
Şekil 4.25. Sol kenar D1, D2 ve D3 çaplarında,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

Şekil 4.25'de; sol kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm çaplarda ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir.

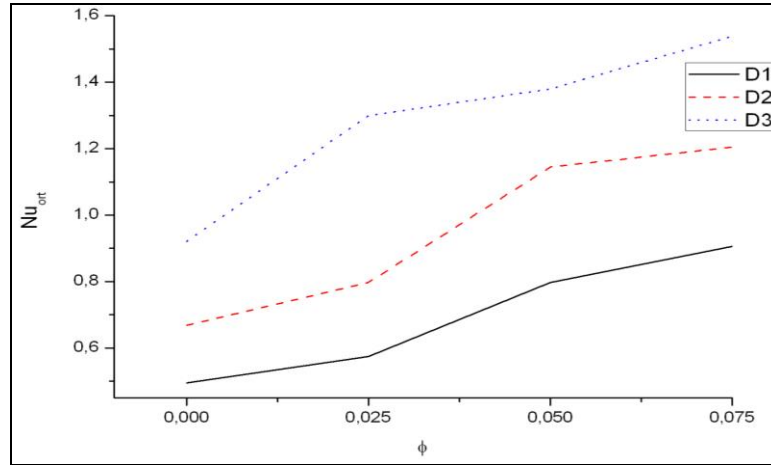
Şekil 4.26'da; D1, D2 ve D3 çaplarındaki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında alt kenar ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının bütün değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin D3 çapında, en düşük değerlerin D1 çapında elde edildiği görülmektedir. Elde edilen sonuçların Şekil 4.20-4.23'de gösterilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinden elde edilen verilerle uyduğu görülmektedir. Isıtıcı çapının ve nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla alt kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.



a) Gr=10<sup>4</sup>

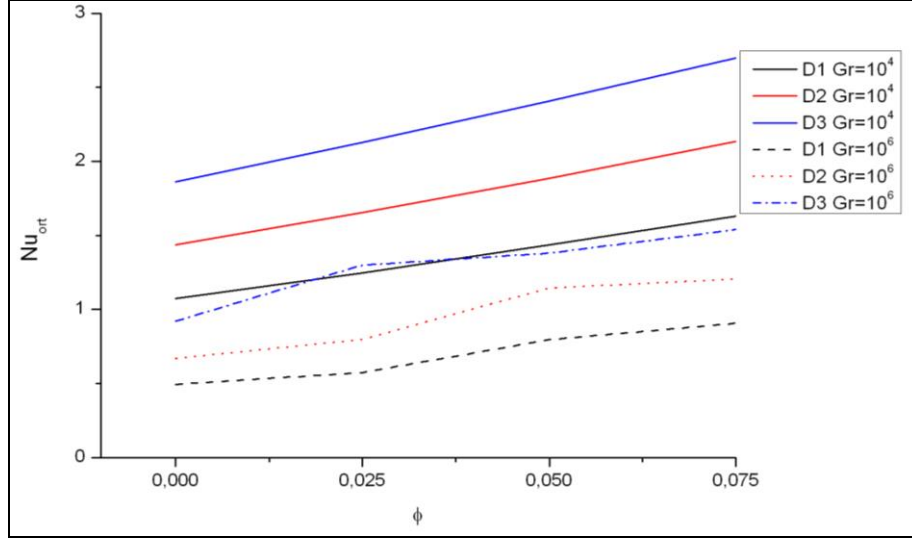


b) Gr=10<sup>5</sup>



c) Gr=10<sup>6</sup>

Şekil 4.26. Alt kenar D1, D2 ve D3 çaplarında, a) Gr=10<sup>4</sup> b)Gr=10<sup>5</sup>, c)Gr=10<sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

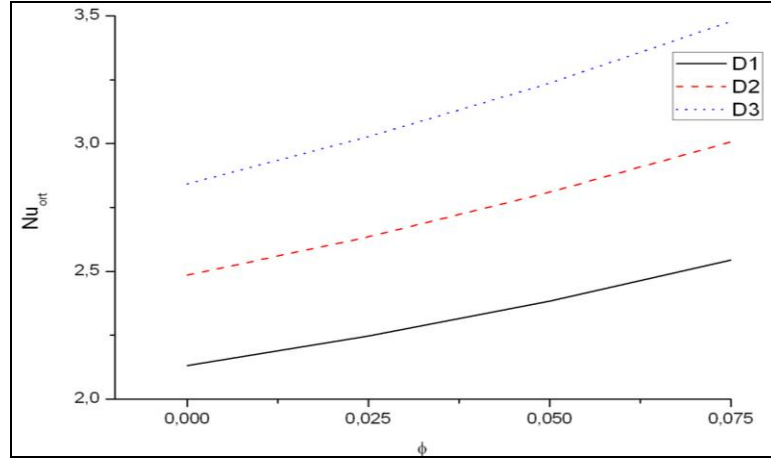


Şekil 4.27. Alt kenar D1, D2 ve D3 çaplarında,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

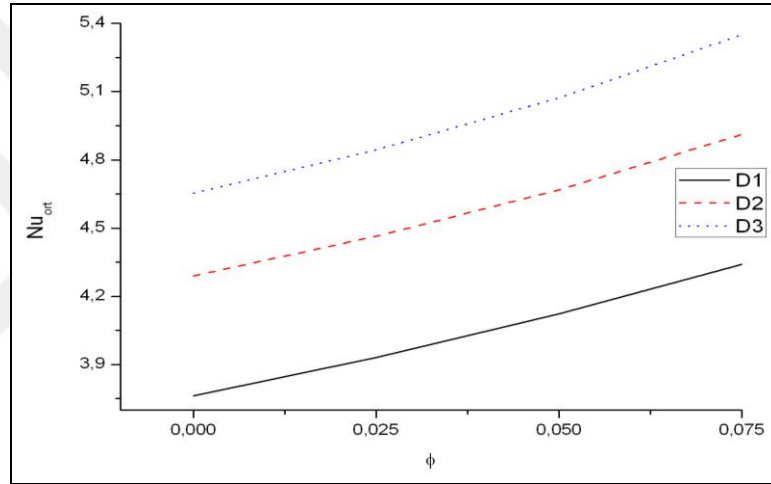
Şekil 4.27'de alt kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm çaplarda; kavitenin üst tarafında gerçekleşen ana akış sirkülasyonunun artması sonucu alt taraftaki akış sirkülasyonu baskılanarak zayıflamakta ve konveksiyon azalmaktadır. Sonuç olarak Grashof sayısının artmasıyla ortalama Nusselt değerleri düşmektedir.

Şekil 4.28'de; D1, D2 ve D3 çaplarındaki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında kavitenin ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının bütün değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin D3 çapında, en düşük değerlerin D1 çapında elde edildiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.20-4.23'de gösterilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinden elde edilen verilerle uyuşmaktadır. Isıtıcı çapının, nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artırılmasıyla kavitenin ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.

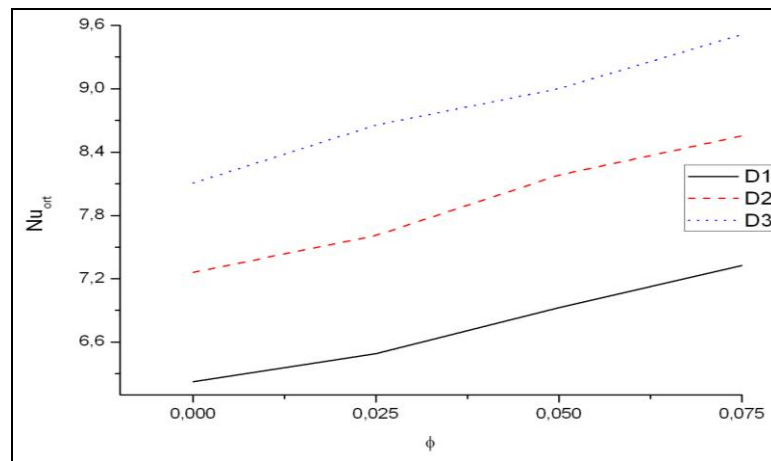




a) Gr=10<sup>4</sup>

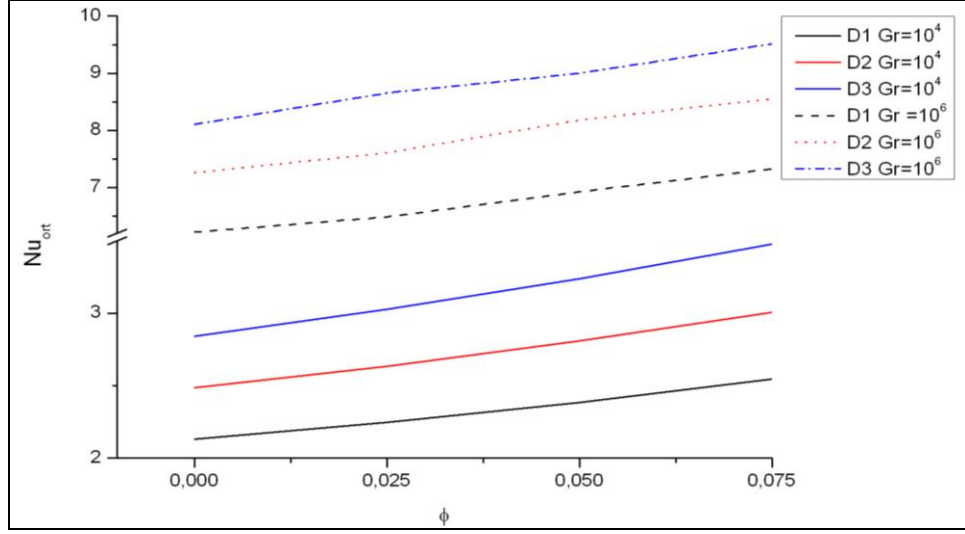


b) Gr=10<sup>5</sup>



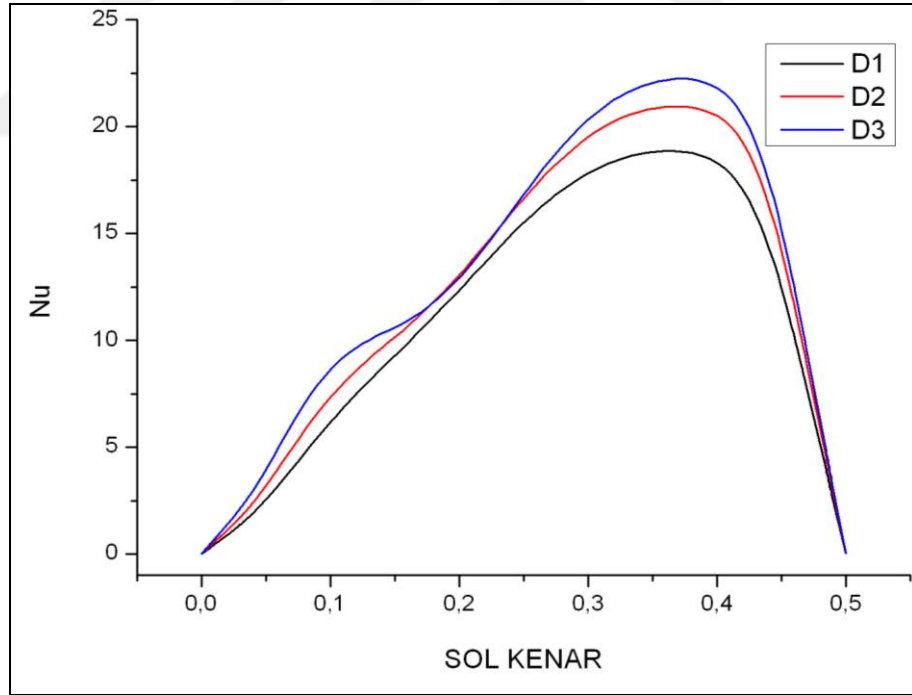
c) Gr=10<sup>6</sup>

Şekil 4.28. D1, D2 ve D3 çaplarında, a) Gr=10<sup>4</sup>, b) Gr=10<sup>5</sup> c)Gr=10<sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değişimi



Şekil 4.29. Kavite ortalaması için D1, D2 ve D3 çaplarında,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

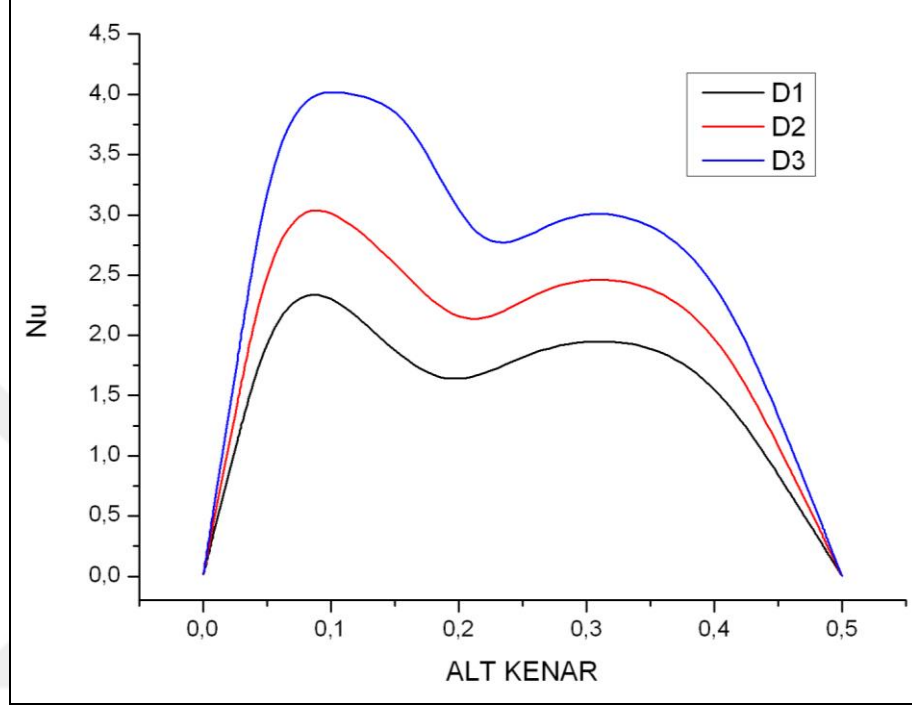
Şekil 4.29'da; Grashof sayısının ve katı hacim fraksiyonunun artırılmasıyla, tüm çaplarda kavitenin ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.30. Sol kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında,  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0,075$ , yerel Nusselt sayısının değişimi

Şekil 4.30'da; D1, D2 ve D3 çaplarındaki, Grashof sayısının  $10^5$  değeri için,  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonunda sol kenardaki yerel Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Şekil 4.20'de gösterilen akım çizgileri ve Şekil 4.21'de

gösterilen eş sıcaklık eğrilerine paralel olarak; her üç çapta da en yüksek ısı transferinin sirkülasyonun etkisiyle sol kenarın üst tarafında gerçekleştiği, en yüksek yerel Nusselt değerlerinin D3 çapında, en düşük değerlerin D1 çapında elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.31. Alt kenar için D1, D2 ve D3 çaplarında,  $Gr=10^5$ ,  $\phi=0,075$ , yerel Nusselt sayısının değişimi

Şekil 4.31'de; D1, D2 ve D3 çaplarındaki, Grashof sayısının  $10^5$  değeri için,  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonunda alt kenardaki yerel Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Şekil 4.20'de gösterilen akım çizgileri ve Şekil 4.21'de gösterilen eş sıcaklık eğrilerine paralel olarak; her üç çapta da en yüksek ısı transferinin sol kenar ve sıcak silindir arasındaki aşağı yönlü akım sebebiyle alt ve sol kenarlar arasında bulunan bölgedeki konveksiyonla gerçekleştiği, alt ve adyabatik kenarlar arasındaki bölgede gerçekleşen zayıf konveksiyon akımla ilişkili olarak azalarak devam ettiği, en yüksek yerel Nusselt değerlerinin D3 çapında, en düşük değerlerin D1 çapında elde edildiği görülmektedir.

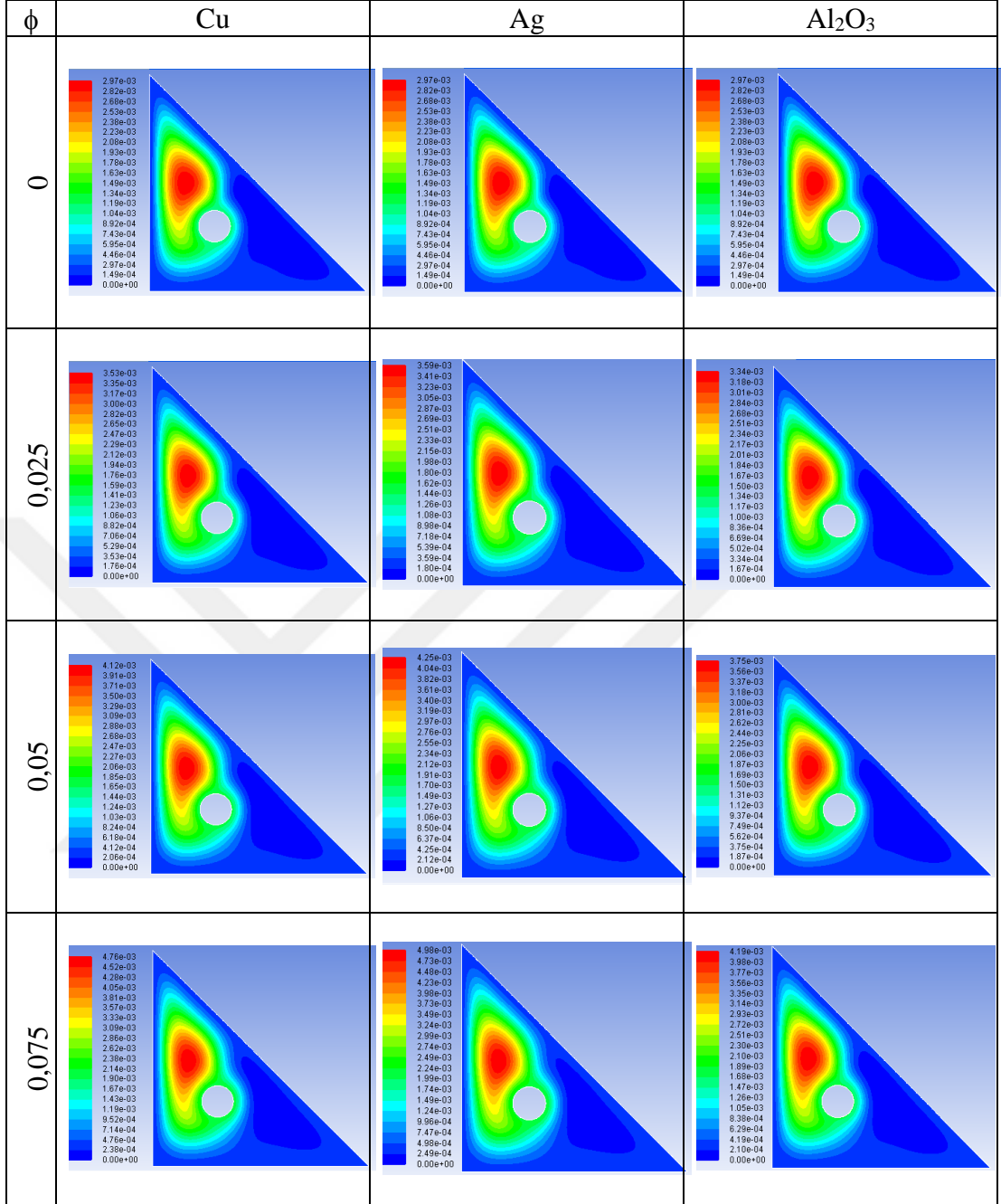
#### 4.5. Nanopartikül Etkisi

Nanopartikül etkilerinin incelenmesi için, farklı termofiziksel özelliklere sahip olan Cu, Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ile analizler yapılmıştır. Üçgenin sol ve alt kenarları eş sıcaklıkta ve soğuk olup sağ kenarı yalıtılmıştır. Yapılan analizlerde silindir ısı kaynağı için D1 çapı ve K3 konumu kullanılmış olup hesaplamalarda ısıl iletkenlik için Yu ve Choi, viskozite için Brinkman modellerinden yararlanılmıştır. Grashof sayısının 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup> ve 10<sup>6</sup> değerleri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişiklikler gözlenmiştir.

Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri, ortalama ve yerel Nusselt değerleri kullanılacaktır. Nanopartikül değişiminin etkisinin görülebilmesi amacıyla Gr=10<sup>5</sup> değeri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanları için karşılaştırmalı olarak Şekil 4.32'de, eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.33'te sunulmuştur.

Şekil 4.32'de Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının Gr=10<sup>5</sup>,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için akım çizgileri gösterilmiştir. Farklı nanoakışkan kullanımında akım çizgilerinde belirgin bir fark görülmemiş olup, akım fonksiyonu değerlerinde ihmal edilebilecek derecede küçük farklar mevcuttur. Katı hacim oranının arttığı durumda daha belirgin olmaktadır. Kavite genelinde akım fonksiyonunun değeri en yüksekte düşüğe doğru sırasıyla Ag, Cu ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile oluşturulan nanoakışkanlarda görüldüğü gibi, en kuvvetli akım Ag-su, en zayıf akım Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanında görülmektedir.

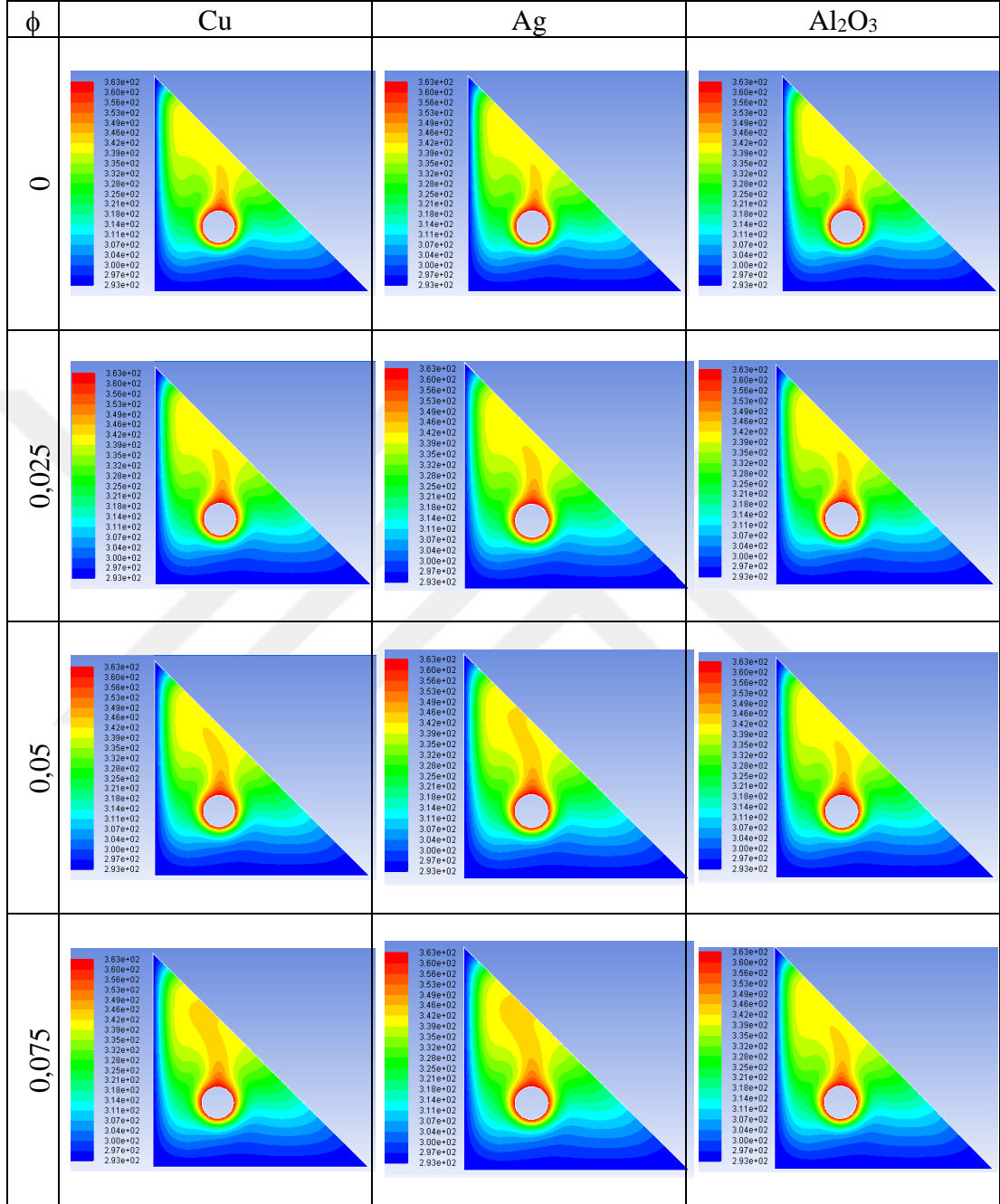
Bütün nanoakışkanlarda, nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla; akım çizgilerinin yayılmaya başladığı, köşelere doğru genişlediği, kenarlara yaklaştığı, sıcak silindir etrafındaki sirkülasyonun arttığı bunlara bağlı olarak konveksiyonun kuvvetlendiği gözlenmiştir.



Şekil 4.32. Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının Gr=10<sup>5</sup>,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için akım çizgileri

Şekil 4.33’de Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının Gr=10<sup>5</sup>,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için eş sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanına ait eş sıcaklık eğrilerinin sol kenara daha yakın ve ısıl sınır tabakanın daha incelmış olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ısı transferi de diğer nanoakışkanlardan daha yüksektir. Ayrıca yoğunluğu en düşük olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile oluşturulan nanoakışkanın ısı transferi en yüksek olup, yoğunluğu en yüksek olan Ag nanopartikülleriyle oluşturulan

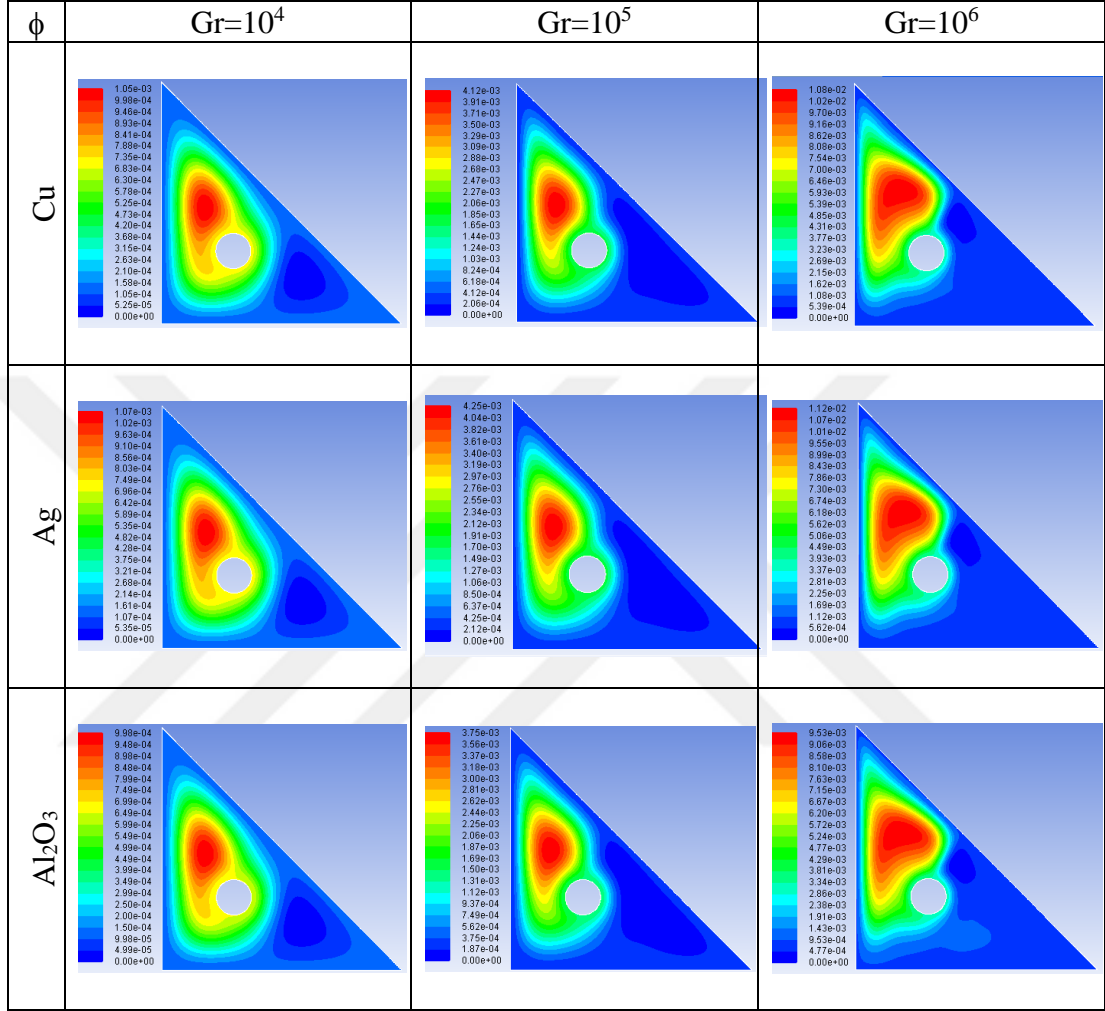
nanoakışkanın ısı transferi en düşüktür. Kavitenin alt tarafında eş sıcaklık eğrilerinde belirgin bir fark görülmemektedir.



Şekil 4.33. Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının Gr=10<sup>5</sup>,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  için eş sıcaklık eğrileri

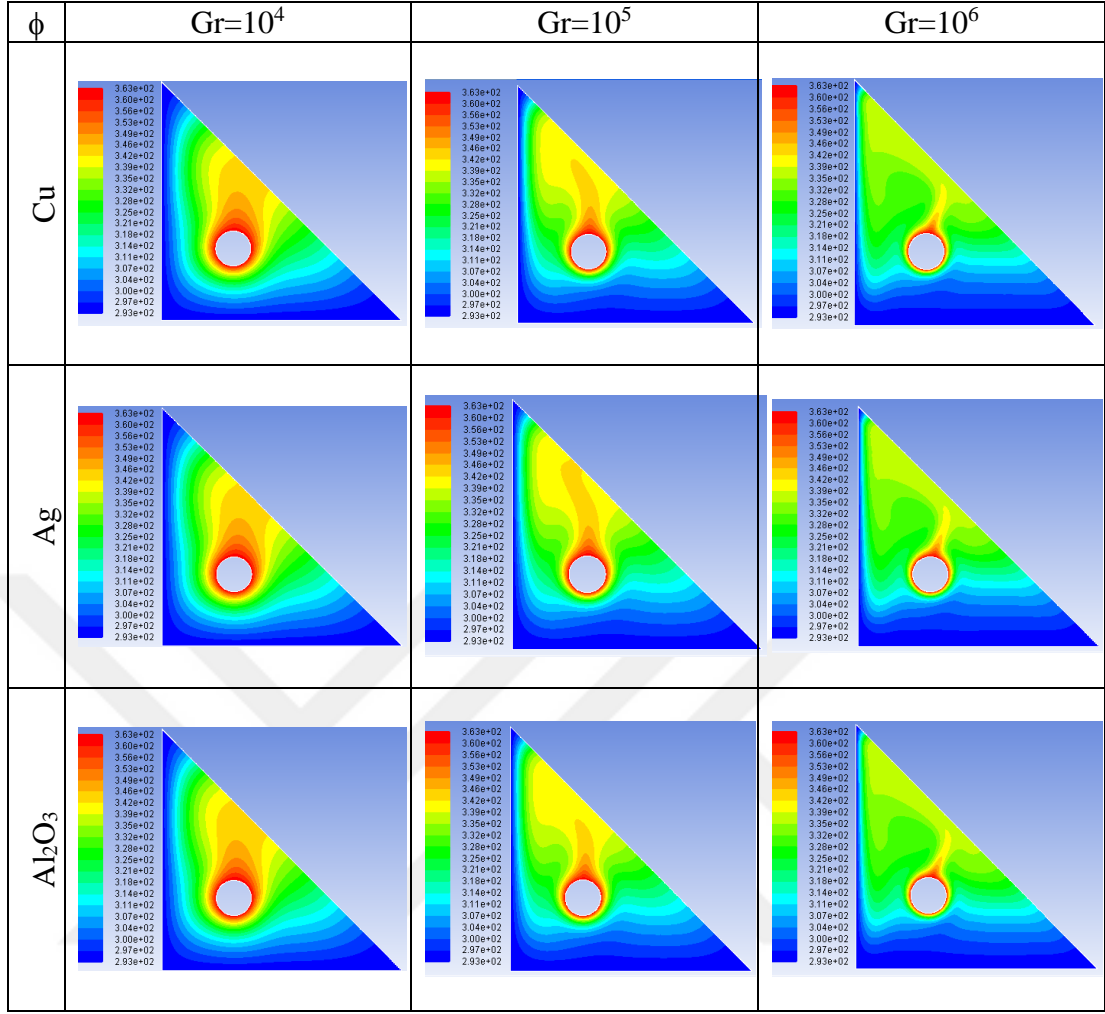
Şekil 4.34'de Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarında  $\phi=0,05$  için Grashof sayısının artışına bağlı olarak akım çizgilerindeki değişiklikler görülmektedir. Bütün nanoakışkanlarda, Grashof sayısının arttırılmasıyla akım çizgileri genişleyerek kenar ve köşelere doğru yayılmakta, hücresel yapıları bozulmaya başlamakta ve akım

fonksiyonun yüksek değerlerindeki artışla da, sirkülasyonun çoğaldığı ve konvektif akımların arttığı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla sirkülasyonun arttığı ve böylece konveksiyonun kuvvetlendiği açıkça görülmektedir.



Şekil 4.34. Cu-su, Ag-su ve  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının  $Gr=10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $\phi=0,05$  için akım çizgileri

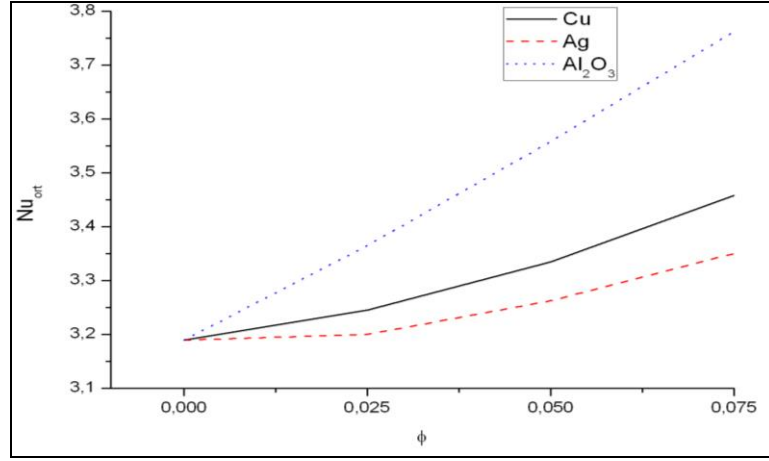
Şekil 4.35'de Cu-su, Ag-su ve  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarında  $\phi=0,05$  için Grashof sayısının artışına bağlı olarak eş sıcaklık eğrilerindeki değişiklikler görülmektedir. Bütün nanoakışkanlarda, Grashof sayısının artırılmasıyla eş sıcaklık eğrileri genişleyerek kenarlara yaklaşmakta, ısıl sınır tabakalar incelmekte ve taşınımla ısı transferi gerçekleşmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla sirkülasyonun arttığı ve böylece gerçekleşen ısı transferinin arttığı açıkça görülmektedir.



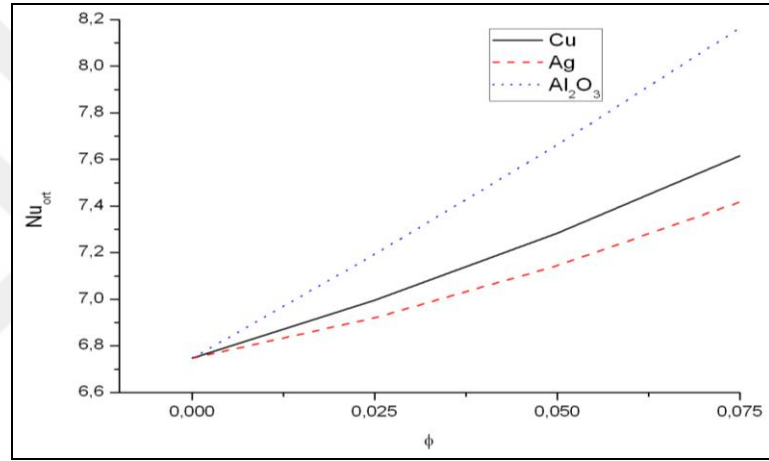
Şekil 4.35. Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının  $Gr=10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $\phi=0,05$  için eş sıcaklık eğrileri

Şekil 4.36'da; Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarında, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında sol kenarın ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının tüm değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanında, en düşük değerlerin Ag-su nanoakışkanında elde edildiği görülmektedir. Sıralama, nanopartikül özgül ısılarına göre, yoğunluk, ısıl iletkenlik ve ısıl yayılım katsayılarının tersine gerçekleşmiştir.

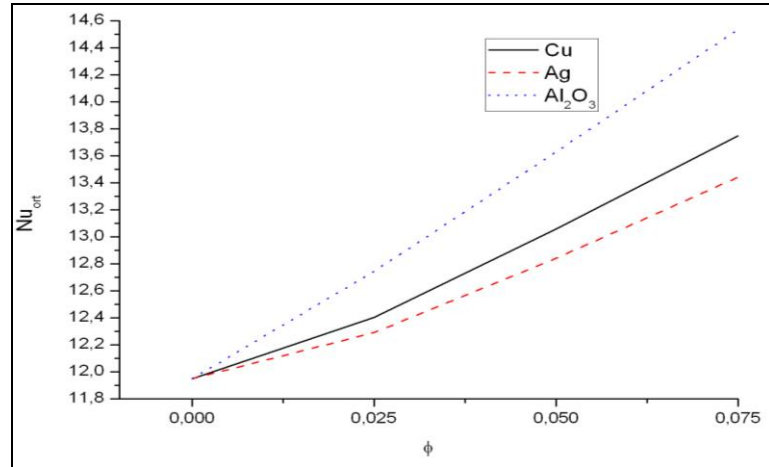




a)  $Gr=10^4$



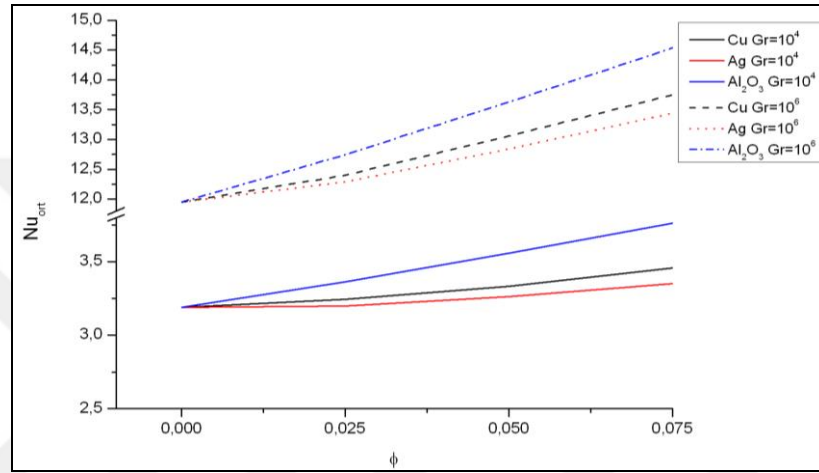
b)  $Gr=10^5$



c)  $Gr=10^6$

Şekil 4.36. Sol kenar için Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının, a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

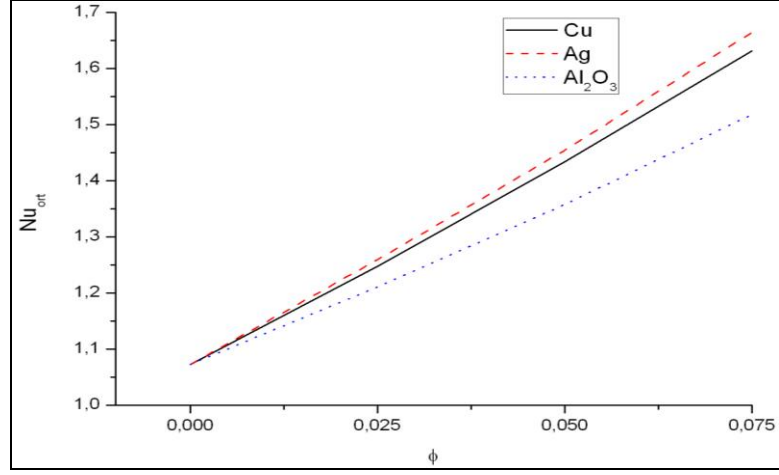
Düşük ısı yayılım değerleri daha yüksek sıcaklık gradyanları oluşturmakta ve ısı transferini artırmaktadır. Cu ve Ag nanopartiküllerinin daha yüksek ısı yayılıma sahip olmaları sıcaklık gradyanlarını azaltmaktadır. Şekil 4.33'de  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanına ait eş sıcaklık eğrilerinin sol kenara daha yakın ve yayılmış olduğu görülmüş olup elde edilen sonuçlar bu verilerle uyumaktadır. Nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artırılmasıyla sol kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.



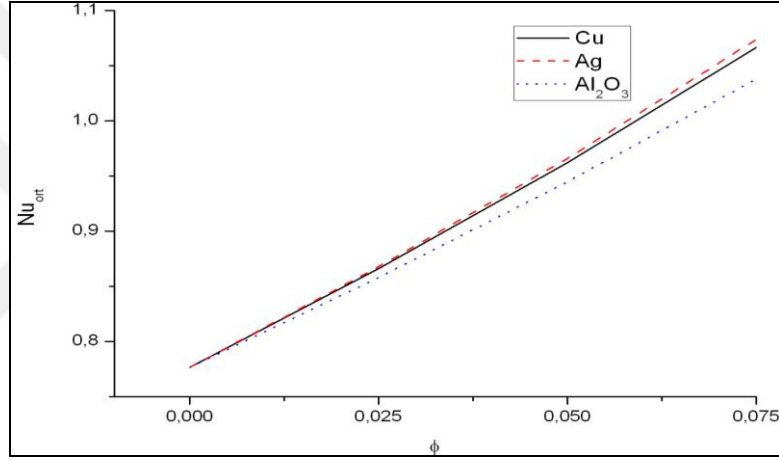
Şekil 4.37. Sol kenar Cu-su, Ag-su,  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

Şekil 4.37'de; sol kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm nanoakışkanlarda ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir. Katı kaciim oranının artışıyla da sol kenar için ortalama Nusselt değerleri artmaktadır.

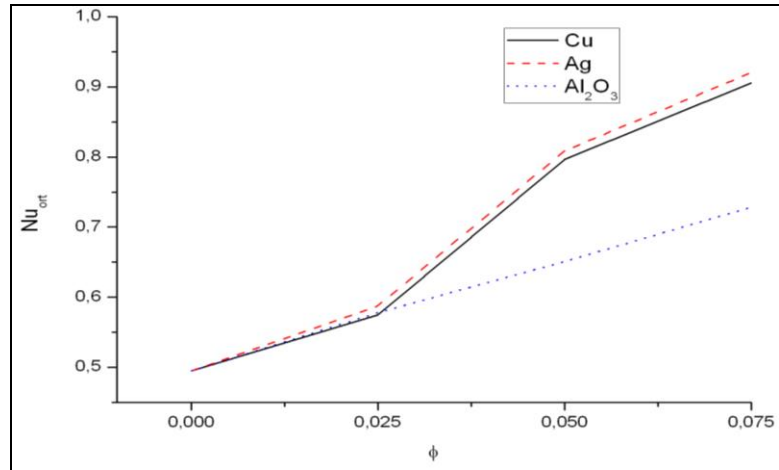
Şekil 4.38'de; Cu-su, Ag-su ve  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarında, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında alt kenar ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının tüm değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Ag-su nanoakışkanında, en düşük değerlerin  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanında elde edildiği görülmektedir. Kavitenin alt bölümünde sirkülasyonun azalmasıyla, nanopartiküllerin yoğunluk ve ısı iletkenlikleri ön plana çıkmaktadır. Sıralama ısı iletkenlik katsayısı ve yoğunluğa göre gerçekleşmektedir. Yani yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip nanoakışkanların ısı transfer oranı daha yüksektir. Nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla da alt kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.



a)  $Gr=10^4$

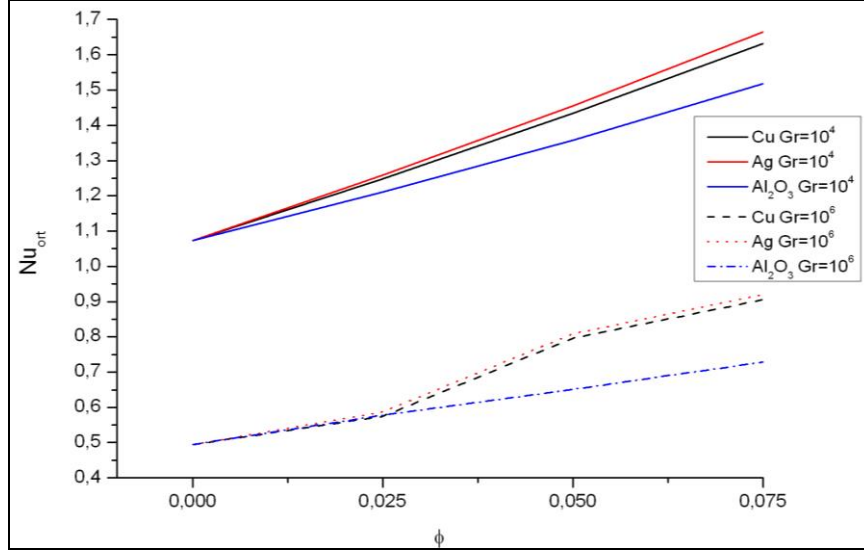


b)  $Gr=10^5$



c)  $Gr=10^6$

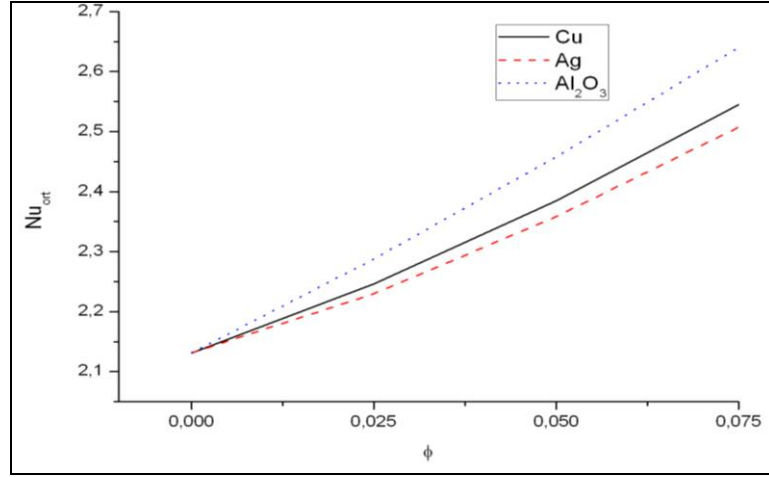
Şekil 4.38. Alt kenar için Cu-su, Ag-su ve  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının, a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi



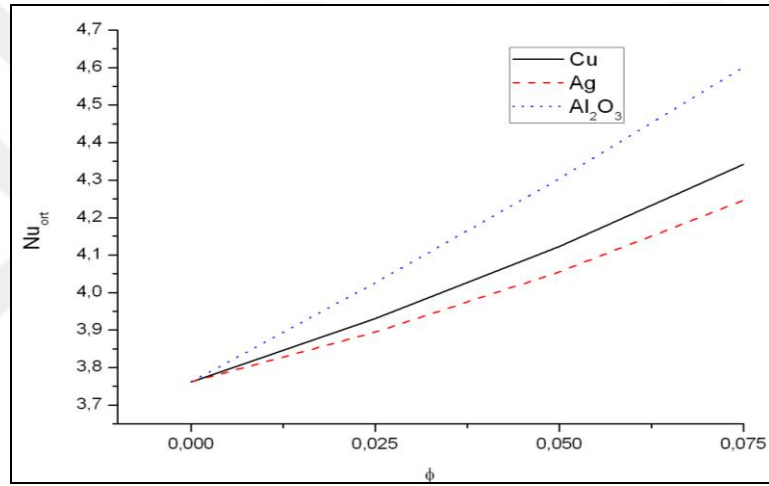
Şekil 4.39. Alt kenar Cu-su, Ag-su,  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarının,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

Şekil 4.39'da; alt kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm nanoakışkanlarda ortalama Nusselt değerlerinin azaldığı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla, kavitenin üst tarafında gerçekleşen sirkülasyon ve ısı transferi artmış, alt taraftaki konveksiyon azalmış ve sonuç olarak ortalama Nusselt değerleri düşmüştür.

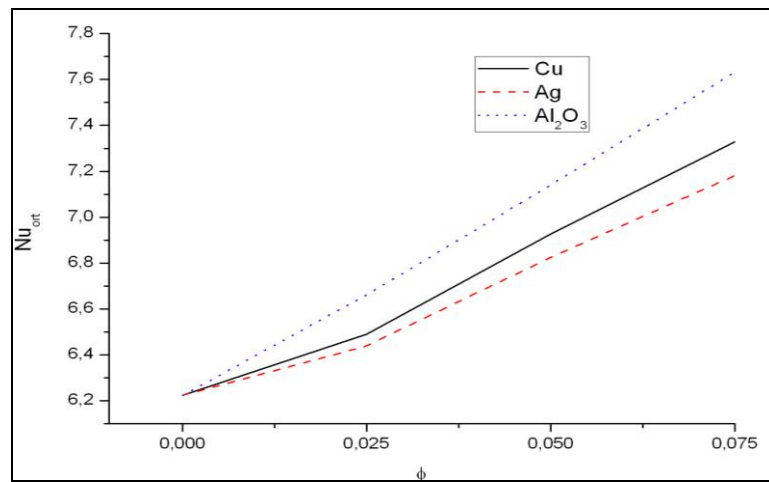
Şekil 4.40'da; Cu-su, Ag-su ve  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarında, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında kavitenin ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının tüm değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanında, en düşük değerlerin Ag-su nanoakışkanında elde edildiği görülmektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun ve Grashof sayısının artırılmasıyla kavite için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.



a) Gr=10<sup>4</sup>

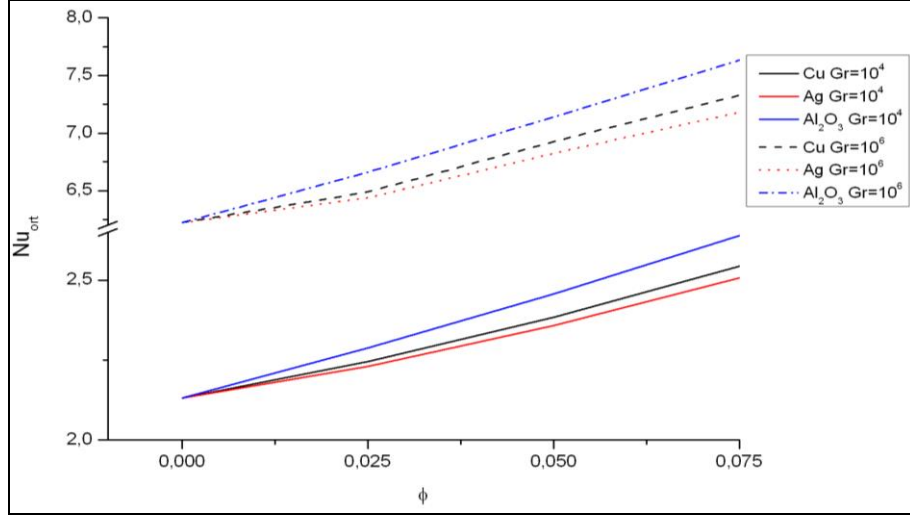


b) Gr=10<sup>5</sup>



c) Gr=10<sup>6</sup>

Şekil 4.40. Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının, a)Gr=10<sup>4</sup>,b)Gr=10<sup>5</sup>, c)Gr=10<sup>6</sup> değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değişimi

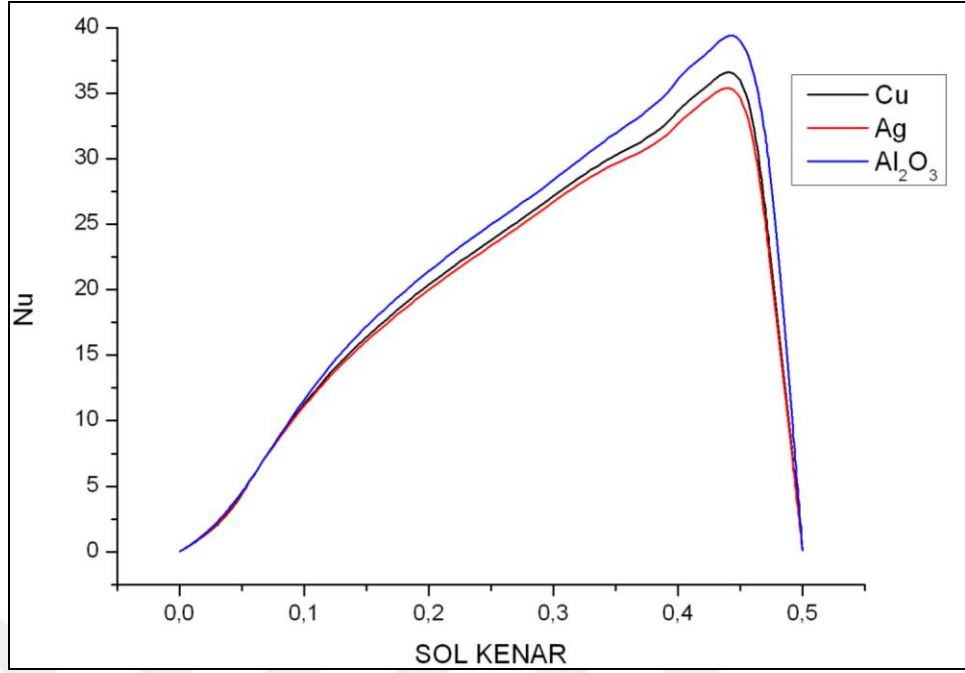


Şekil 4.41. Cu-su, Ag-su,  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarında,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değişimi

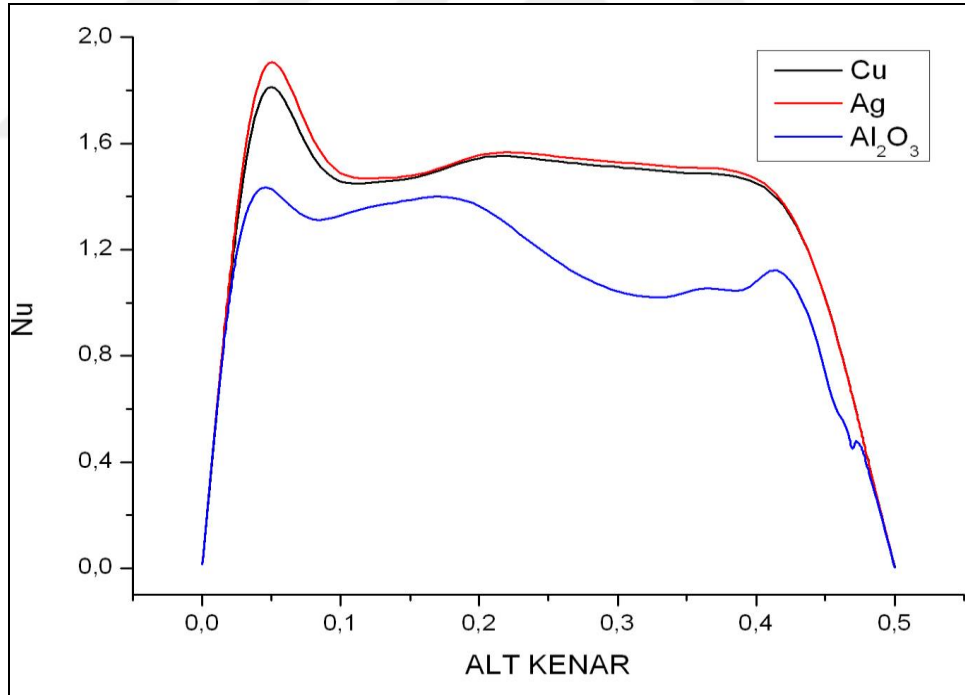
Şekil 4.41'de; Grashof sayısının artırılmasıyla tüm nanoakışkanlarda kavitenin ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir. Nanopartikül konsantrasyon oranı arttıkça da ısı transfer miktarı artmaktadır.

Şekil 4.42'de; Cu-su, Ag-su ve  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarında, Grashof sayısının  $10^6$  değeri için,  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonunda sol kenardaki yerel Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Şekil 4.33 ve Şekil 4.35'te gösterilen eş sıcaklık eğrilerine ve Şekil 4.36'da gösterilen sol kenar için ortalama Nusselt değişimi grafiğine paralel olarak; her üç nanoakışkanda da en yüksek ısı transferinin sol kenarın üst bölümlerinde gerçekleştiği, en yüksek yerel Nusselt değerlerinin  $Al_2O_3$ -su, en düşük değerlerin Ag-su nanoakışkanında elde edildiği görülmektedir.

Şekil 4.43'te; Cu-su, Ag-su ve  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanlarında, Grashof sayısının  $10^6$  değeri için,  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonunda alt kenardaki yerel Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Şekil 4.32-4.35'te gösterilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerine, Şekil 4.36'da gösterilen sol kenar için ortalama Nusselt değişimi grafiğine paralel olarak; her üç nanoakışkanda da en yüksek ısı transferinin sol kenar ve sıcak silindir arasındaki aşağı yönlü akım sebebiyle alt ve sol kenarlar arasında bulunan bölgedeki konveksiyonla gerçekleştiği, alt ve adyabatik kenarlar arasındaki bölgede gerçekleşen konveksiyonun akımla ilişkili olarak azalarak devam ettiği, en yüksek yerel Nusselt değerlerinin Ag-su, en düşük değerlerin  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanında elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.42. Sol kenar için Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının, Gr=10<sup>6</sup>,  $\phi=0,075$ , yerel Nusselt sayısının değişimi



Şekil 4.43. Alt kenar için Cu-su, Ag-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanlarının, Gr=10<sup>6</sup>,  $\phi=0,075$ , yerel Nusselt sayısının değişimi

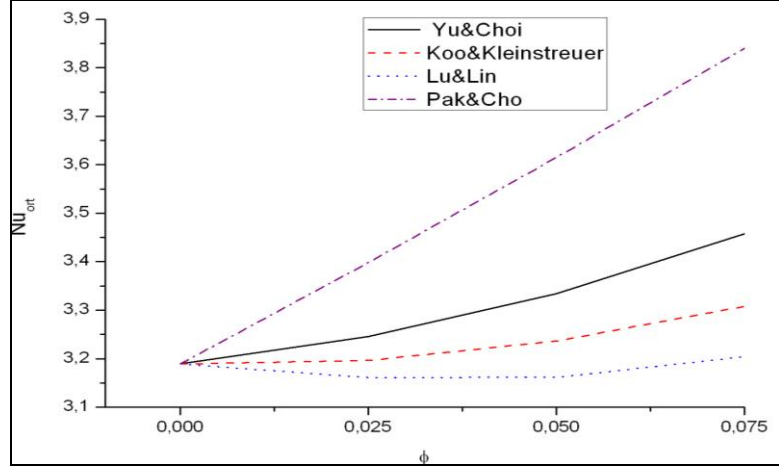
#### 4.6. Farklı Isıl İletkenlik Modellerinin Etkisi

Isıl iletkenlik modellerinin sonuçlara etkisinin görülebilmesi için, efektif ısı transfer katsayısının hesaplanmasında literatürde kabul görmüş Yu ve Choi, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modellerinden yararlanılmıştır. Üçgenin sol ve alt kenarları eş sıcaklıkta ve soğuk olup sağ kenarı yalıtılmıştır. Yapılan analizlerde nanopartikül olarak Cu, silindir ısı kaynağı için D1 çapı ve K3 konumu kullanılmış olup hesaplamalarda viskozite için Brinkman modelinden yararlanılmıştır. Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişimler gözlenmiştir.

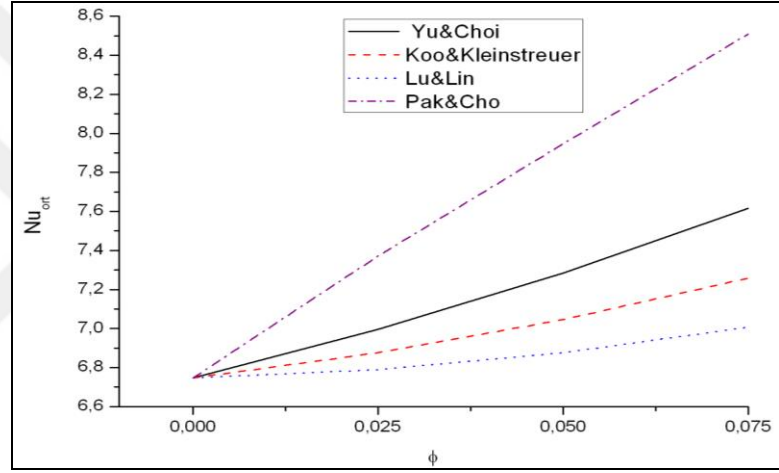
Şekil 4.44'de; Yu ve Choi, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında sol kenar ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının tüm değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho ısı iletkenlik modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Yu ve Choi, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla sol kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır. Sadece Lu ve Lin modelinde;  $Gr=10^4$  değerinde suya nanopartikül eklenmesiyle ortalama Nusselt değerinde çok az bir düşüş olmuş, nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla değerler artmaya başlamıştır.

Şekil 4.45'de; sol kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm ısı iletkenlik modellerinde ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir.

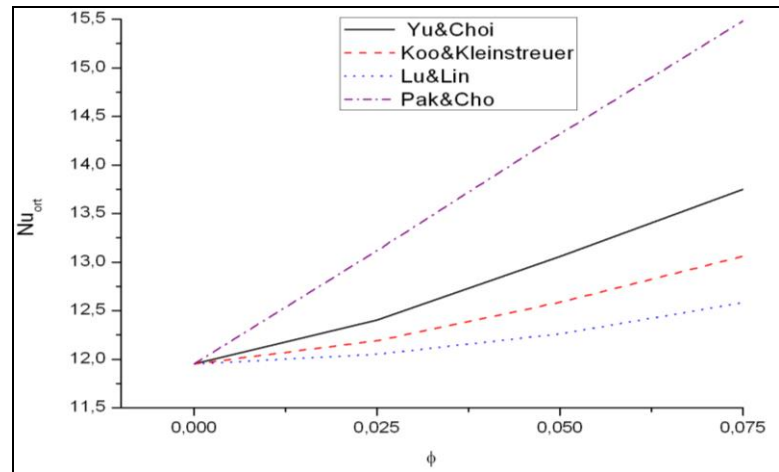




a)  $Gr=10^4$

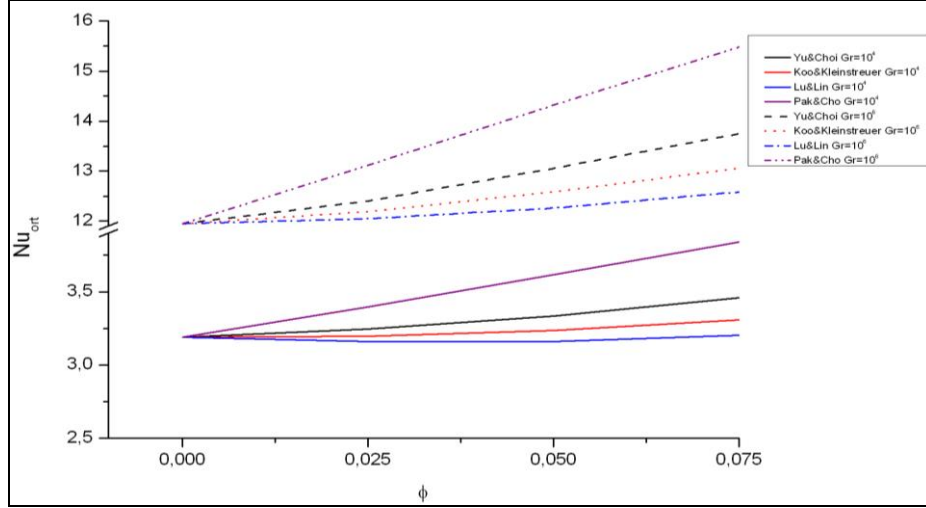


b)  $Gr=10^5$



c)  $Gr=10^6$

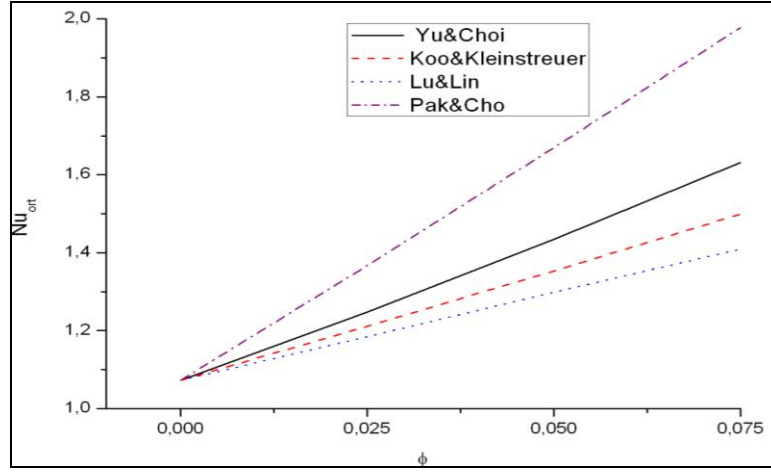
Şekil 4.44. Sol kenar için farklı ısıl iletkenlik modellerinde, a) $Gr=10^4$ , b) $Gr=10^5$ , c) $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi



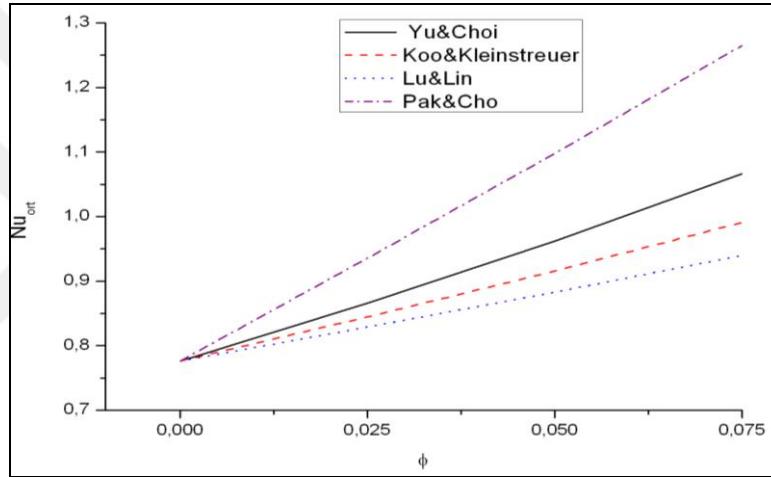
Şekil 4.45. Sol kenar için farklı ısı iletkenlik modellerinde,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değışimi grafiği

Şekil 4.46'da; Yu ve Choi, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değeri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında alt kenar ortalama Nusselt değışimi grafiği görölmektedir. Grashof sayısının tüm değeriinde en yüksek ortalama Nusselt değeriinin Pak ve Cho ısı iletkenlik modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Yu ve Choi, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görölmektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun arttırılmasıyla alt kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.

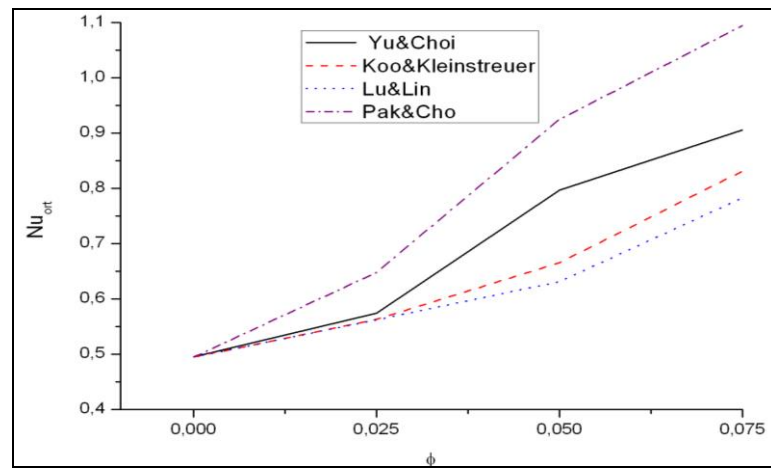
Şekil 4.47'de; alt kenar için, Grashof sayısının arttırılmasıyla tüm ısı iletkenlik modellerinde ortalama Nusselt değeriinin azaldığı görölmektedir. Grashof sayısının arttırılmasıyla, kavitenin üst tarafında gerçekteşen sirkölasyon ve ısı transferi artmış, alt taraftaki konveksiyon azalmış ve sonuç olarak ortalama Nusselt değeri düşmüştür.



a)  $Gr=10^4$

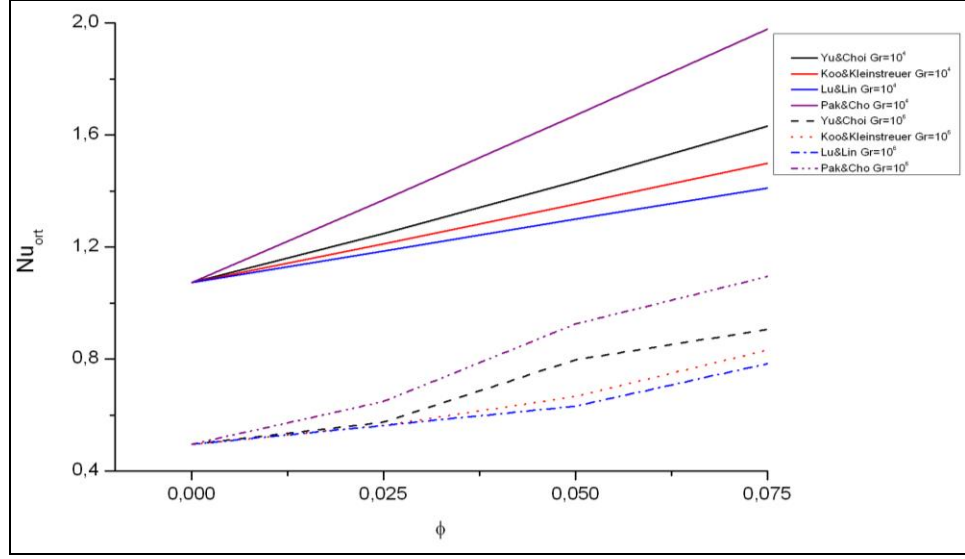


b)  $Gr=10^5$



c)  $Gr=10^6$

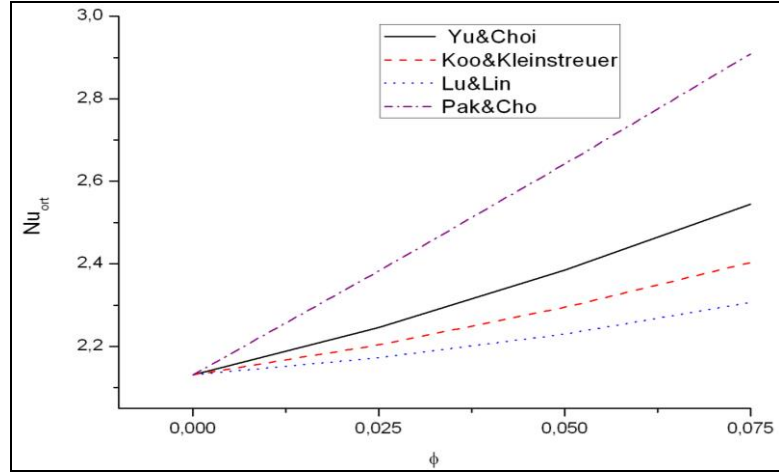
Şekil 4.46. Alt kenar için farklı ısı iletkenlik modellerinde, a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değışimi



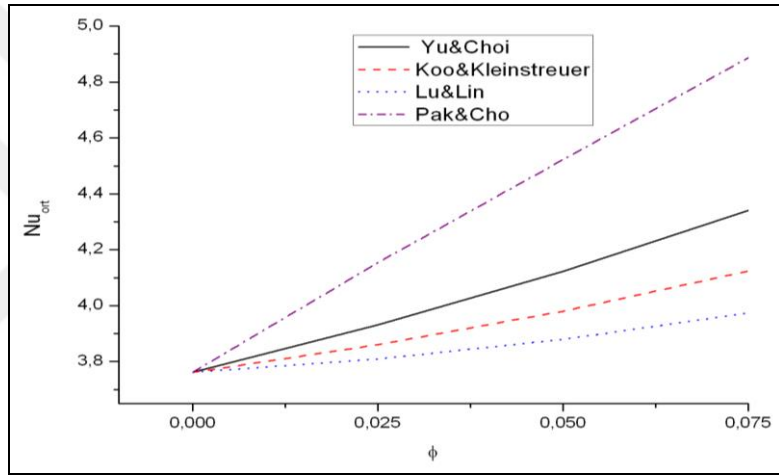
Şekil 4.47. Alt Kenar için farklı ısı iletkenlik modellerinde,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

Şekil 4.48'de; Yu ve Choi, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında kavitenin ortalama Nusselt değişimi grafiği görölmektedir. Grashof sayısının tüm değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho ısı iletkenlik modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Yu ve Choi, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görölmektedir. Grashof sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun arttırılmasıyla ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.

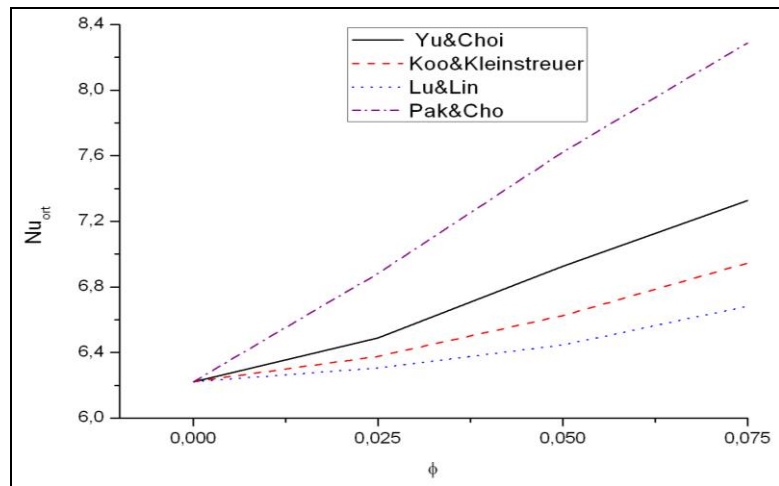
Şekil 4.49'da; Grashof sayısının arttırılmasıyla tüm ısı iletkenlik modellerinde kavitenin ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görölmektedir.



a)  $Gr=10^4$

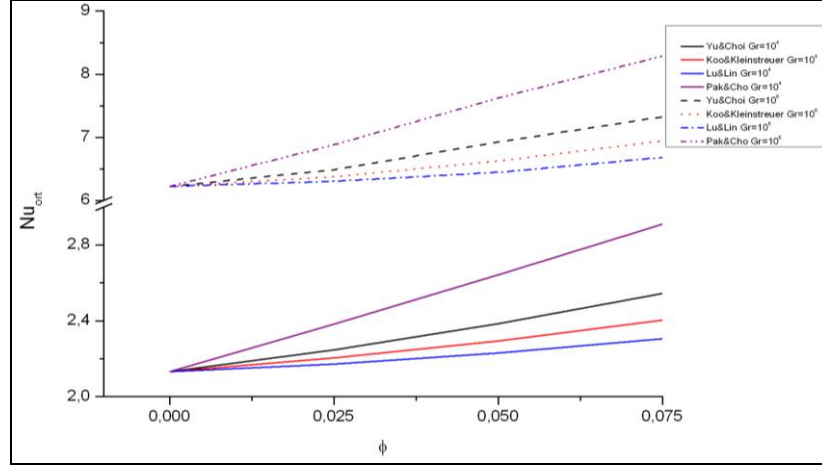


b)  $Gr=10^5$

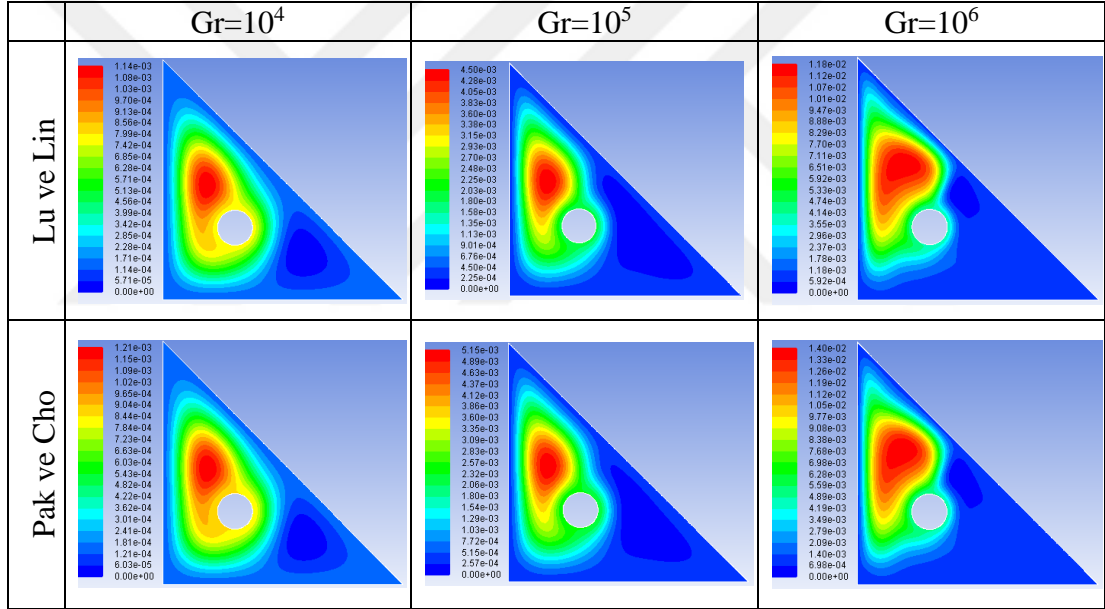


c)  $Gr=10^6$

Şekil 4.48. Farklı ısı iletkenlik modellerinde, a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değışimi

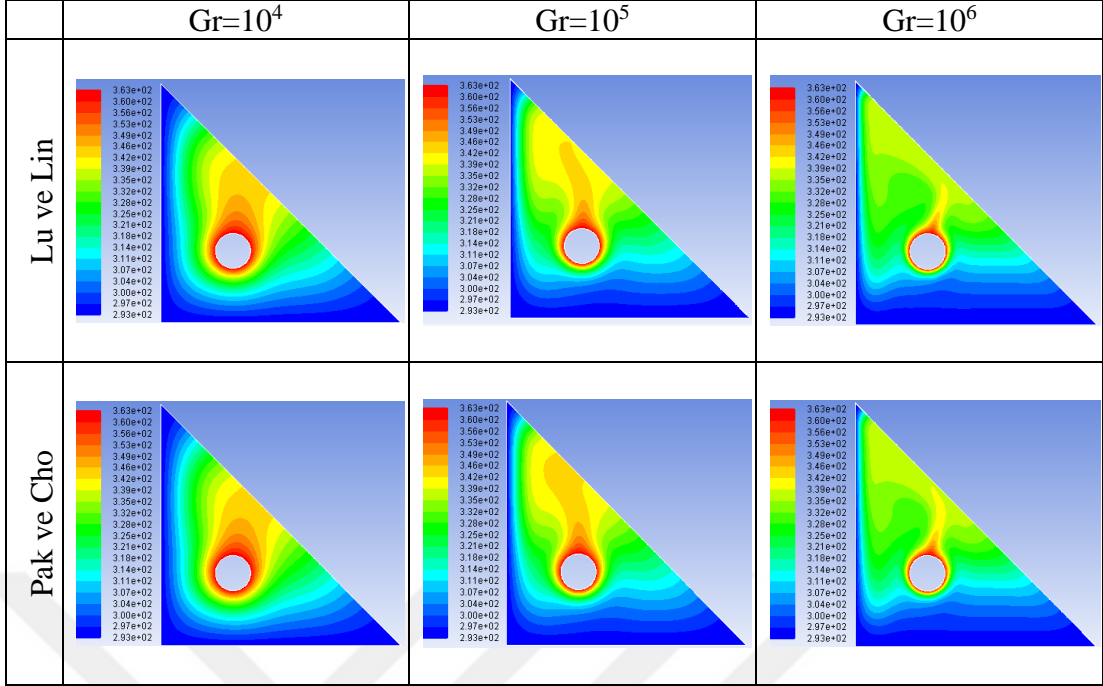


Şekil 4.49. Farklı ısı iletkenlik modellerinde,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt sayısının değışimi



Şekil 4.50. Lu ve Lin, Pak ve Cho modelleri için  $Gr=10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki akım çizgileri

Şekil 4.50'de; en yüksek ve en düşük ortalama Nusselt değeri hesaplandığı Lu ve Lin ile Pak ve Cho modelleri için, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değeri ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki akım çizgileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Efektif ısı transfer katsayısının daha yüksek hesaplanmasıyla, akım çizgilerinde önemli bir değışiklik olmadığı, ancak akım fonksiyonun yüksek değeri de anlaşıldığı gibi sirkülasyonun çoğaldığı ve konvektif akımın arttığı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla sirkülasyon artmaktadır.



Şekil 4.51. Lu ve Lin, Pak ve Cho modelleri için Gr=10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup>, 10<sup>6</sup> ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki eş sıcaklık eğrileri

Şekil 4.51’de; en yüksek ve en düşük ortalama Nusselt değerlerinin hesaplandığı Lu ve Lin ile Pak ve Cho modelleri için, Grashof sayısının 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup> ve 10<sup>6</sup> değerlerinde ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki eş sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Efektif ısı transfer katsayısının daha yüksek hesaplandığı Pak ve Cho modelinde; Lu ve Lin modeline göre, eş sıcaklık eğrilerinin sol ve alt kenarlara biraz daha yakın olduğu ve kaviteyi daha çok kapladığı, gerçekleşen ısı transferinin daha yüksek olacağı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla eş sıcaklık eğrileri genişleyerek kenarlara yaklaşmakta, sıklaşmakta ve formları bozulmaktadır. Sonuçlar Şekil 4.44-4.49’daki verilerle örtüşmektedir. Bu da düşük Grashof sayılarında iletimle ısı transferinin, yüksek Grashof sayılarında taşınım ile ısı transferinin gerçekleştiğini göstermektedir.

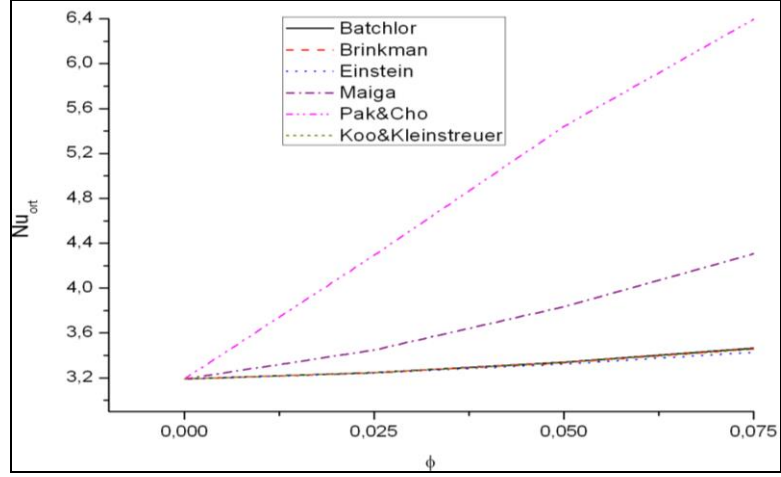
#### 4.7. Farklı Viskozite Modellerinin Etkisi

Nanoakışkan viskozite modellerinin sonuçlara etkisinin görülebilmesi için, dinamik viskozitenin hesaplanmasında literatürde kabul görmüş Batchlor, Brinkman, Einstein, Maiga, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer modellerinden yararlanılmıştır. Üçgenin sol ve alt kenarları eş sıcaklıkta ve soğuk olup sağ kenarı yalıtılmıştır. Yapılan analizlerde nanopartikül olarak Cu, silindir ısı kaynağı için D1 çapı ve K3 konumu kullanılmış olup hesaplamalarda ısıl iletkenlik için Yu ve Choi modelinden yararlanılmıştır. Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişimler gözlenmiştir.

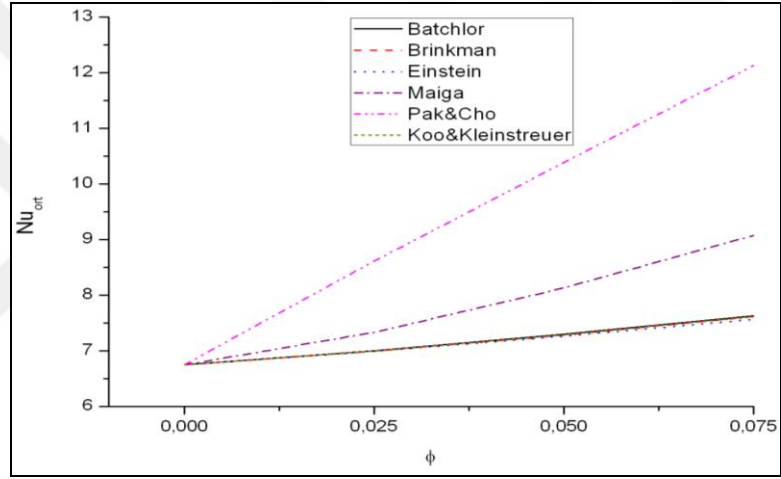
Şekil 4.52'de; farklı viskozite modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında sol kenar ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının tüm değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho viskozite modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Maiga, Batchlor, Brinkman, Koo ve Kleinstreuer ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmektedir. Batchlor, Brinkman, Koo ve Kleinstreuer ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır. Sıralama efektif viskoziteye paralel olarak gerçekleşmiştir. Kavitenin üst bölümünde sirkülasyonun kuvvetli olması sebebiyle yüksek viskozitelere yüksek Nusselt değerleri elde edilmiştir. Grashof sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla sol kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.

Şekil 4.53'de; sol kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm viskozite modellerinde ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca katı hacim oranının artışıyla da ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir.

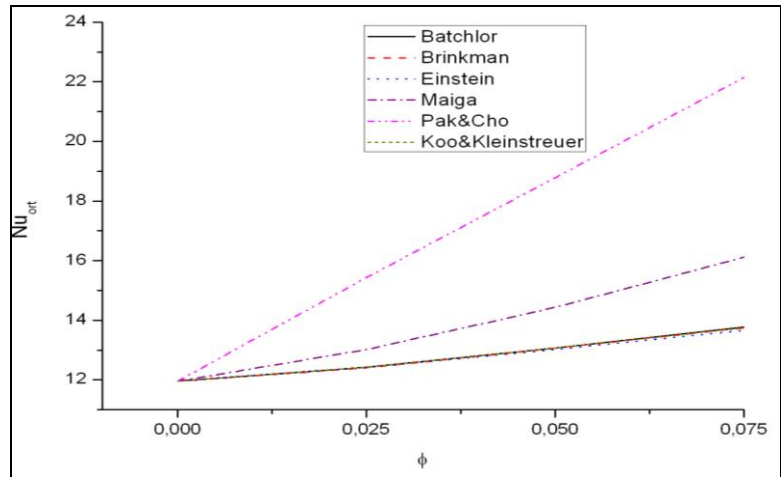




a)  $Gr=10^4$

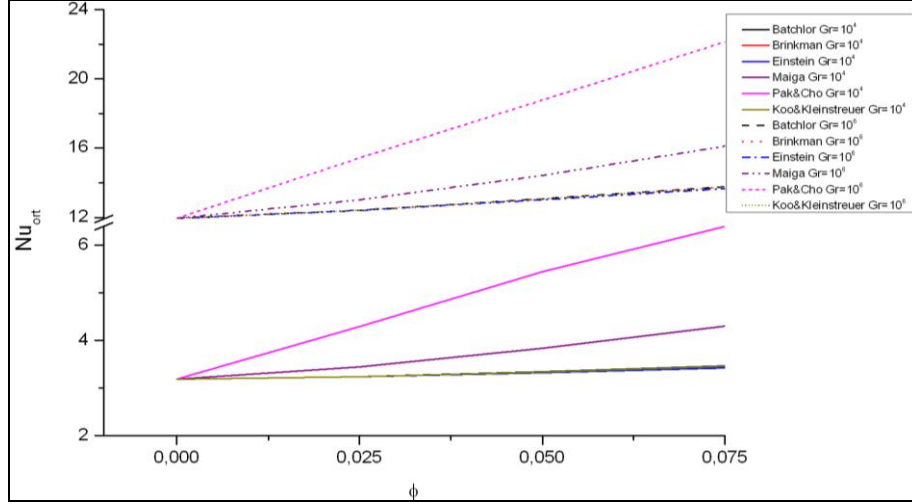


b)  $Gr=10^5$



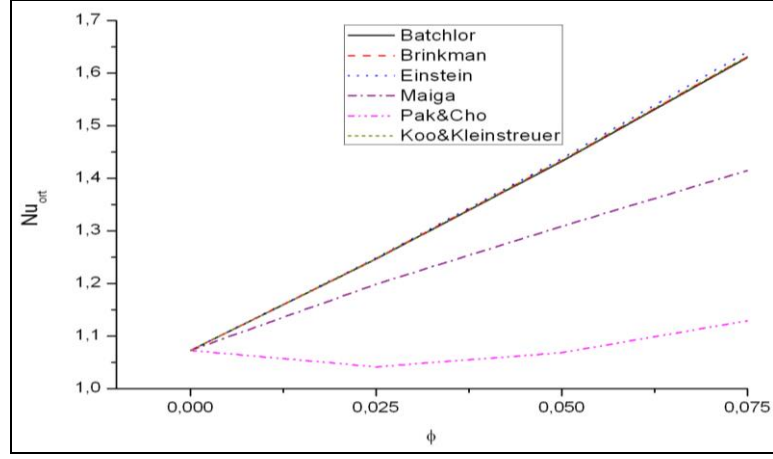
c)  $Gr=10^6$

Şekil 4.52. Sol kenar için farklı viskozite modellerinde, a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

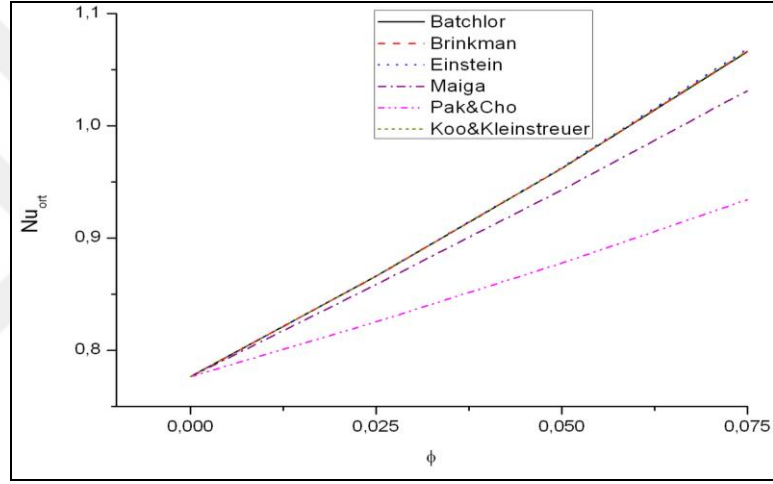


Şekil 4.53. Sol Kenar için farklı viskozite modellerinde,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

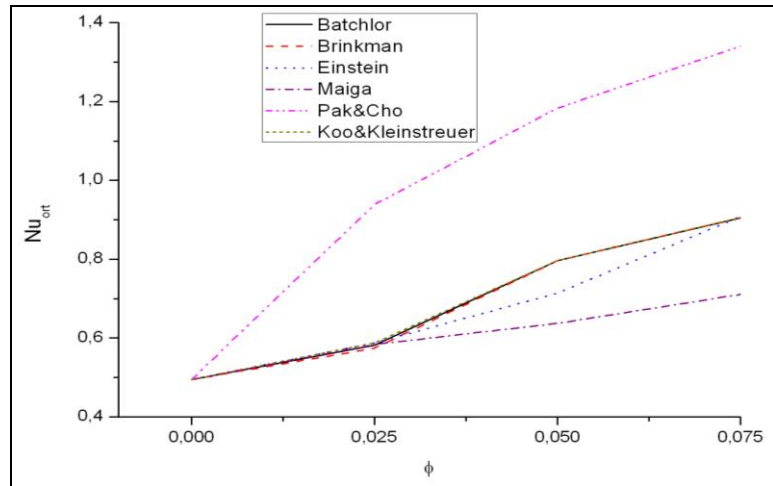
Şekil 4.54'de; farklı viskozite modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında alt kenar ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir.  $Gr=10^4$  ve  $Gr=10^5$  değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Einstein viskozite modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Koo ve Kleinstreuer, Brinkman, Batchlor, Maiga ve Pak ve Cho modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmektedir. Kavitenin alt bölümünde sirkülasyonun zayıf olması sebebiyle, yüksek viskozitelere düşük Nusselt değerleri elde edilmiştir.  $Gr=10^6$  değerinde sirkülasyonun artmasıyla en yüksek viskozite değerine sahip Pak ve Cho modeliyle en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin hesaplandığı, onu sırasıyla Koo ve Kleinstreuer, Batchlor, Brinkman, Einstein ve Maiga modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmektedir. Batchlor, Brinkman, Koo ve Kleinstreuer ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır. Nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla alt kenar için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır. Sadece Pak ve Cho modeli için  $Gr=10^4$  değerinde saf suya nanopartikül eklenmesiyle ortalama Nusselt sayısı düşme eğilimi göstermiş sonrasında yükselmeye başlamıştır. Bu hareketin viskozite ve akım dengesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



a)  $Gr=10^4$

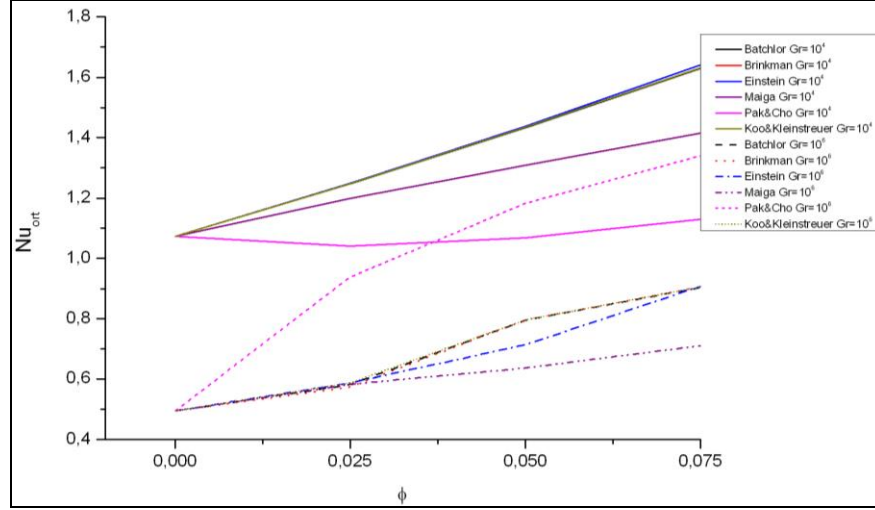


b)  $Gr=10^5$



c)  $Gr=10^6$

Şekil 4.54. Alt kenar için farklı viskozite modellerinde a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

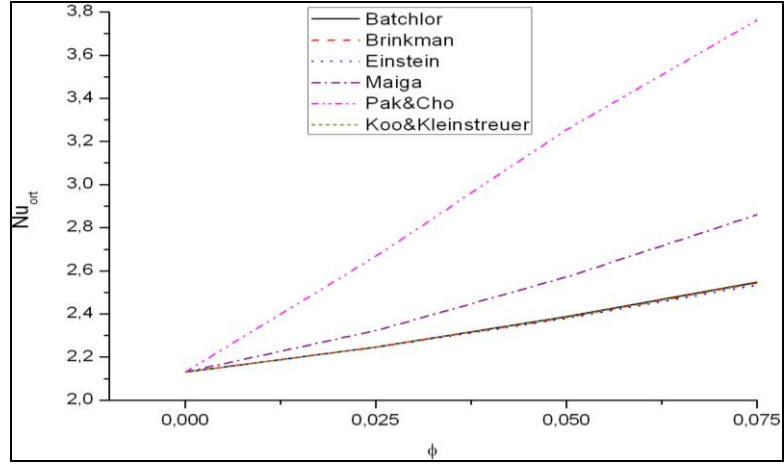


Şekil 4.55. Alt Kenar için farklı viskozite modellerinde,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

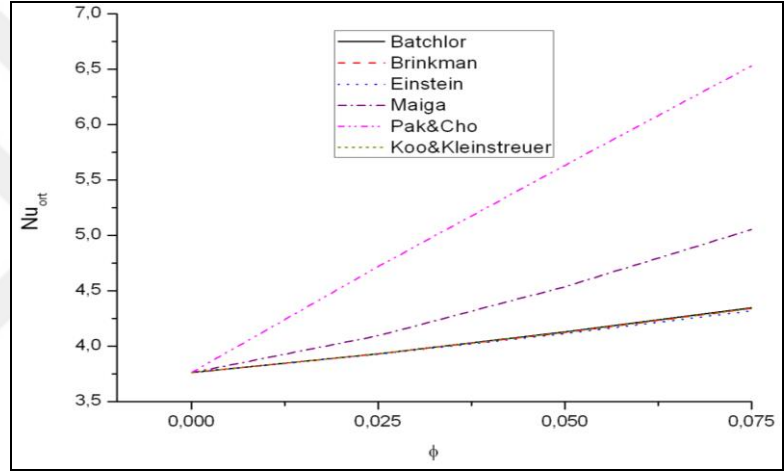
Şekil 4.55’de alt kenar için, Grashof sayısının artırılmasıyla tüm viskozite modellerinde ortalama Nusselt değerlerinin azaldığı ancak, Pak ve Cho modelinde nanopartikül eklenmesi ve konsantrasyonunun artırılmasıyla ortalama Nusselt değerlerinin artarak  $Gr=10^4$  ve  $Gr=10^5$  değerlerini geçtiği görülmektedir. Bu hareketin viskozite ve akım dengesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Şekil 4.56’da; farklı viskozite modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarında kavitenin ortalama Nusselt değişimi grafiği görülmektedir. Grashof sayısının tüm değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho viskozite modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Maiga, Batchlor, Brinkman, Koo ve Kleinstreuer ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmektedir. Batchlor, Brinkman, Koo ve Kleinstreuer ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır. Grashof sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla ortalama Nusselt sayısı artmaktadır.

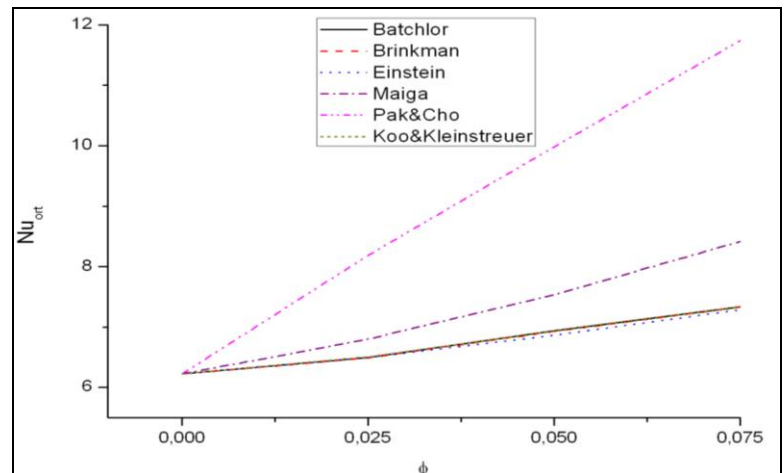
Şekil 4.57’de Grashof sayısının artırılmasıyla tüm viskozite modellerinde kavitenin ortalama Nusselt değerlerinin arttığı görülmektedir.



a)  $Gr=10^4$

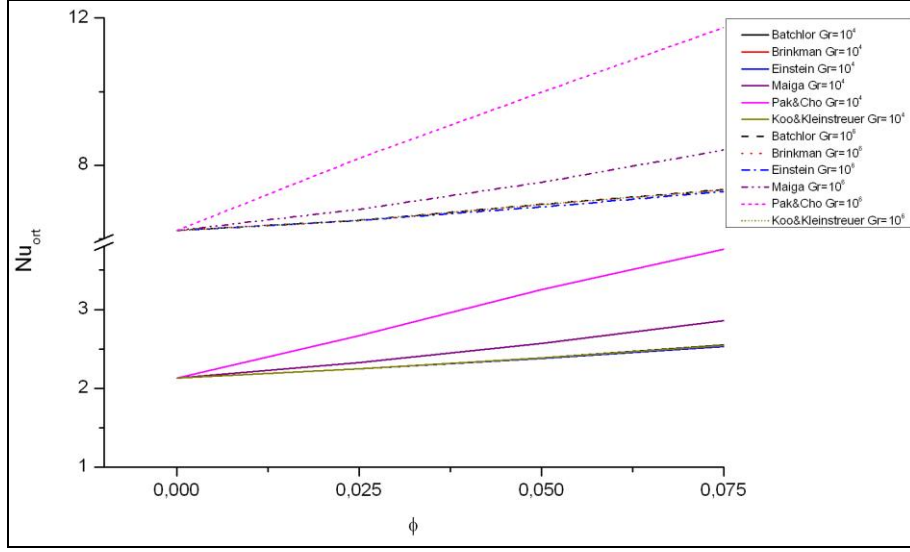


b)  $Gr=10^5$

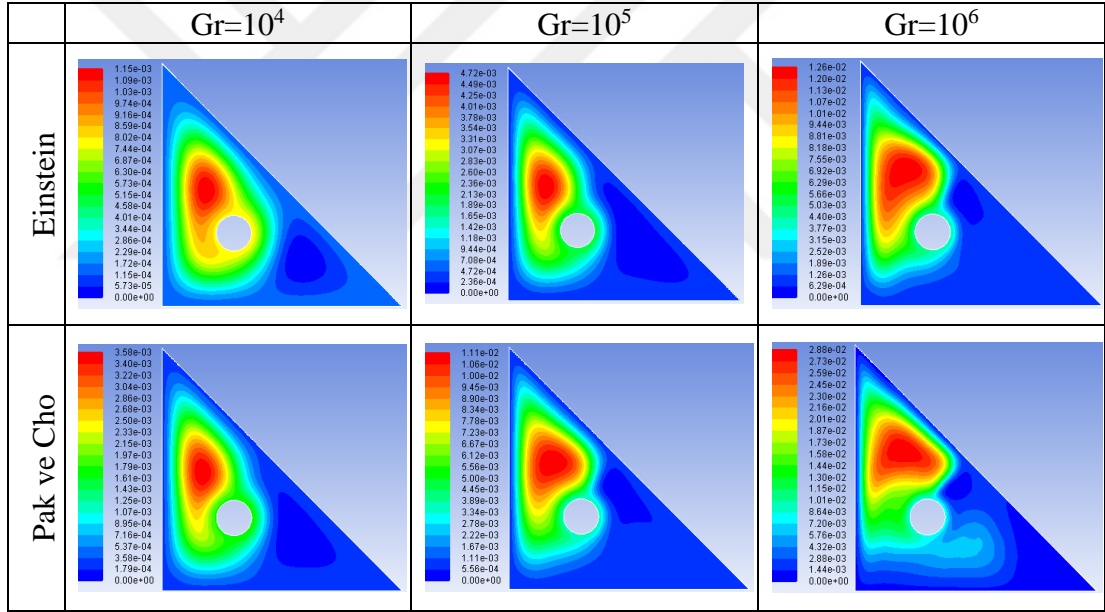


c)  $Gr=10^6$

Şekil 4.56. Farklı viskozite modellerinde, a)  $Gr=10^4$ , b)  $Gr=10^5$ , c)  $Gr=10^6$  değerlerindeki nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değışimi



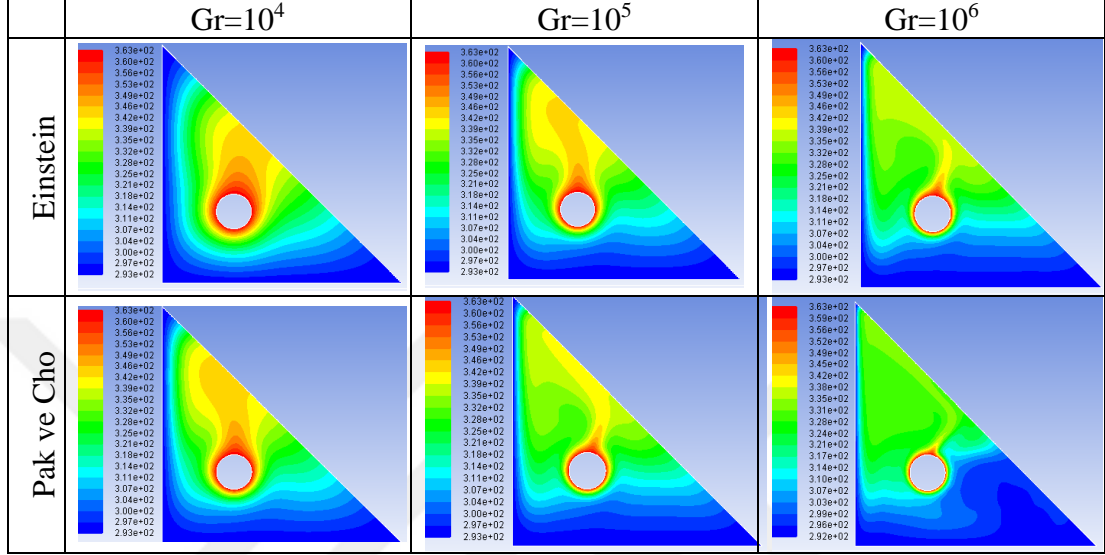
Şekil 4.57. Farklı viskozite modellerinde,  $Gr=10^4$ ,  $10^6$  için nanopartikül konsantrasyonu ile kavitenin ortalama Nusselt değışimi



Şekil 4.58. Einstein, Pak ve Cho modelleri için  $Gr=10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki akım çizgileri

Şekil 4.58'de; en yüksek ve en düşük ortalama Nusselt değerlerinin hesaplandığı Einstein ile Pak ve Cho modelleri için, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerlerinde ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki akım çizgileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Viskozitenin daha yüksek hesaplanmasıyla kavite genelinde akım artmakta, akım çizgileri kenarlara yaklaşmakta ve köşelere doğru yayılmakta böylece konveksiyon artmaktadır. Grashof sayısının artırılmasıyla kavite genelinde akım artmaktadır. En yüksek viskozitenin hesaplandığı Pak ve Cho modeli için  $Gr=10^6$

değerine çıktığında ısı kaynağı ile alt kenar arasındaki bölgede akım şiddetlenmekte ve alt kenar boyunca yayılmaktadır. Bu durumun viskozite-akım dengesinden kaynaklandığı, sirkülasyonun artmasıyla yüksek viskoziteli nanoakışkanın hareketlendiği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.59. Einstein, Pak ve Cho modelleri için Gr=10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup>, 10<sup>6</sup> ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki eş sıcaklık eğrileri

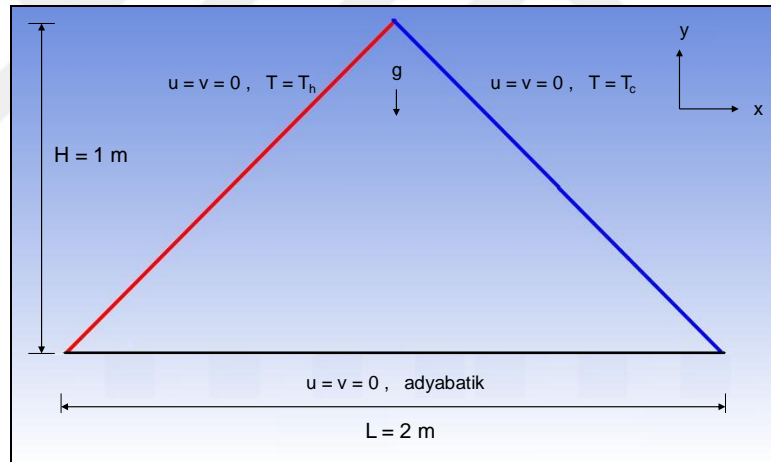
Şekil 4.59'da; en yüksek ve en düşük ortalama Nusselt değerlerinin hesaplandığı Einstein ile Pak ve Cho modelleri için, Grashof sayısının 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup> ve 10<sup>6</sup> değerlerinde ve  $\phi=0,075$  nanopartikül konsantrasyonundaki eş sıcaklık eğrileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Viskozitenin daha yüksek hesaplanmasıyla Pak ve Cho modelinde; Einstein modeline göre, eş sıcaklık eğrilerinin sol kenara daha yakın olduğu, kaviteyi kapladığı, ısıl sınır tabakanın incelendiği, alt kenara daha uzak olduğu görülmektedir. Gerçekleşen ısı transferinin sol kenar için artacağı, alt kenar için azalacağı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla eş sıcaklık eğrileri sol kenara yaklaşmakta ve kenar boyunca yayılmaya başlamakta, alt kenardan uzaklaşmaktadır. İstisna olarak; en yüksek viskozitenin hesaplandığı Pak ve Cho modeli için Gr=10<sup>6</sup> değerine çıktığında, Şekil 4.58'de gösterilen akım çizgilerine bağlı olarak ısı kaynağı ile alt kenar arasındaki bölgede eş sıcaklık eğrileri alt kenara yaklaşması konveksiyonun arttığını göstermektedir. Sonuçlar Şekil 4.52-4.56'daki verilerle örtüşmektedir.

## 5. YAPILAN DİĞER ÇALIŞMALAR

Bu bölümde; analiz bölümünde incelenen ikizkenar dik üçgen kaviteye ilave olarak, üçgen kavitede yapılan diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar sunularak sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi amaçlanmaktadır.

### 5.1. Üçgen Kavite İçerisindeki Bakır-Su Nanoakışkanının Doğal Konveksiyonu Üzerinde Viskozite Modellerinin Etkisi

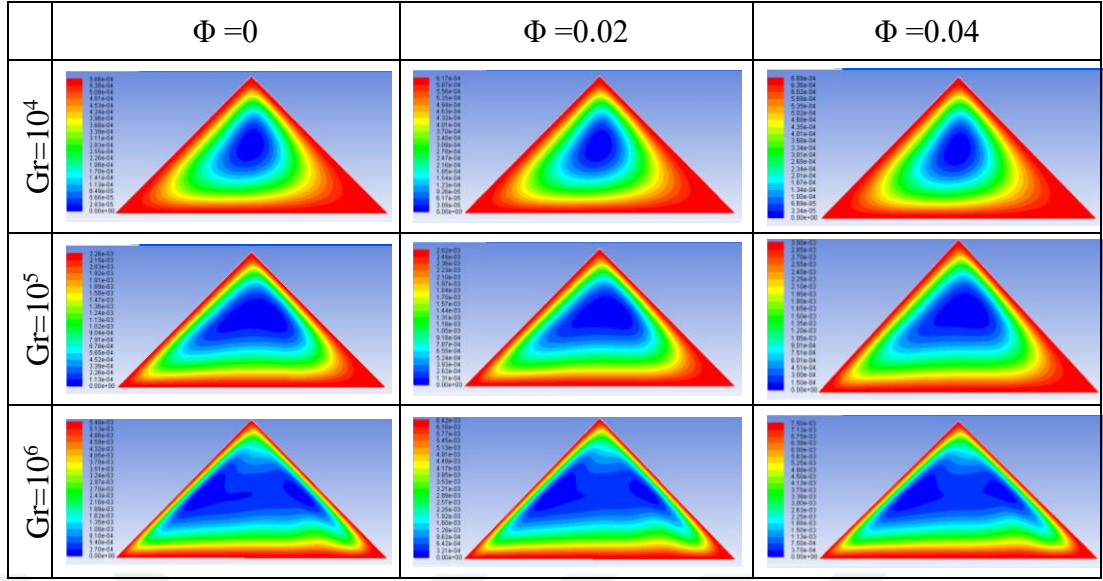
Öğüt ve diğ. [60] tarafından, farklı viskozite modellerinin üçgen bir kavite içindeki bakır-su nanoakışkanının doğal konveksiyonu üzerindeki etkisinin incelendiği nümerik çalışmaya ait geometri ve sınır şartları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Geometri ve sınır şartları

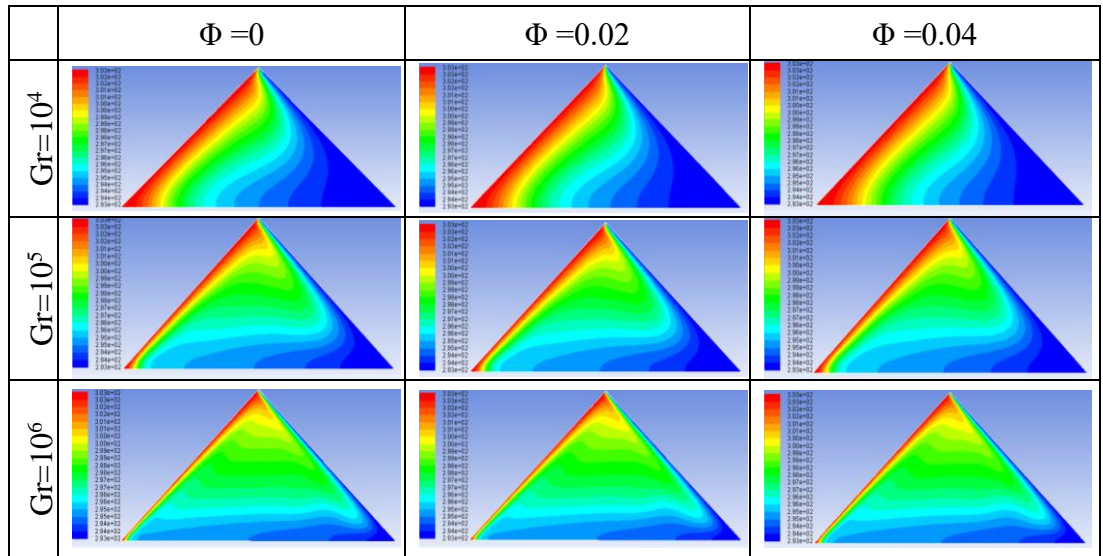
Kavitenin sol duvarı sıcak, sağ duvarı soğuk olup alt duvarı yalıtılmıştır. Yapılan çalışmada; viskozitenin hesaplanmasında Batchlor, Brinkman, Einstein, Maiga, Pak ve Cho modelleri kullanılarak, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,02-0,04$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişiklikler incelenmiştir. Elde edilen akım çizgileri Şekil 5.2’de, eş sıcaklık eğrileri Şekil 5.3’de sunulmuştur.





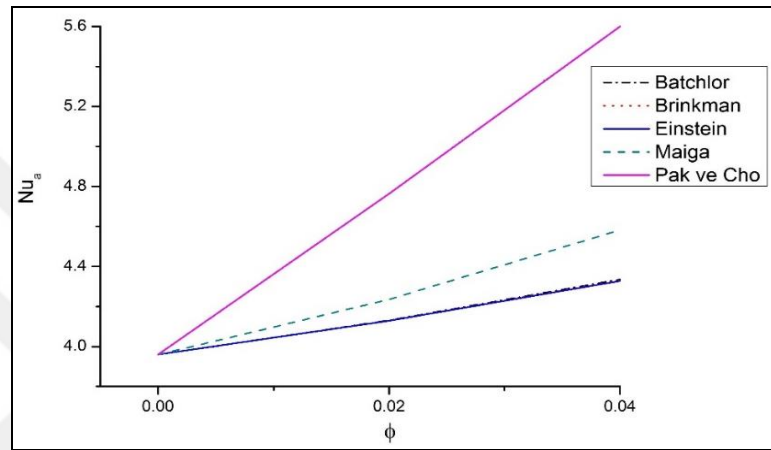
Şekil 5.2. Farklı Grashof sayıları, nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri

Şekil 5.2’de Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,02-0,04$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri gösterilmiştir.  $Gr=10^4$  değerinde kavitenin orta bölümünde saat yönünde dönen bir hücresel yapı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla akım artmakta ve hücresel yapı kenarlara doğru yayılmaya başlamakta,  $Gr=10^6$  değerinde ise sirkülasyon daha da şiddetlenmekte ve 2 hücreli bir yapı meydana gelmektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla akım artmakta ancak Grashof sayısına göre akıma daha az etki etmektedir.

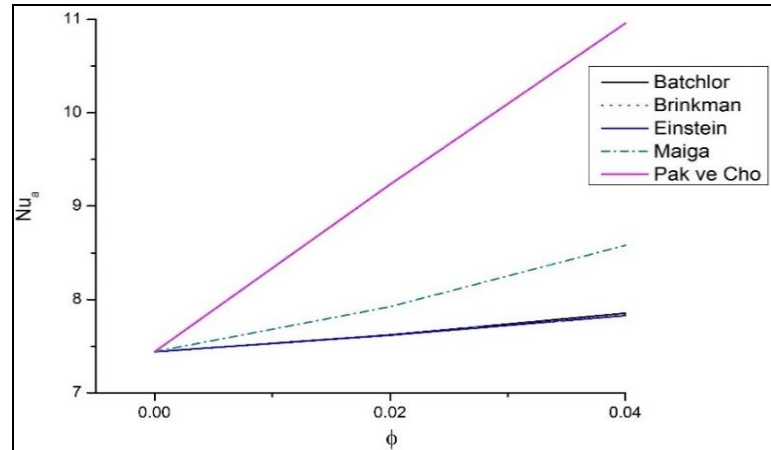


Şekil 5.3. Farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri

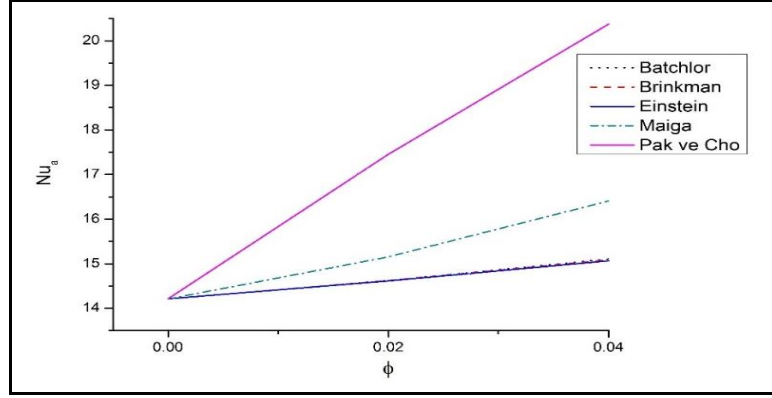
Şekil 5.3’de Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,02-0,04$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Grashof sayısının artırılmasıyla eş sıcaklık eğrilerinin sıcak kenardan soğuk kenara doğru yayıldığı, birbirine yaklaştığı, ısı sınır tabakanın incelmesi ve bozulmaların başladığı yani konveksiyonun arttığı açıkça görülmektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla ısı transferi artmakta ancak Grashof sayısına göre daha az etki etmektedir.



Şekil 5.4.  $Gr=10^4$  için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi



Şekil 5.5.  $Gr=10^5$  için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

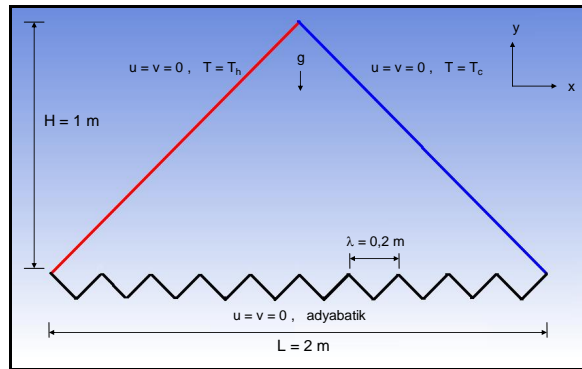


Şekil 5.6.  $Gr=10^6$  için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

Şekil 5.4-5.6'da; farklı viskozite modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,02-0,04$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki ortalama Nusselt değişimi grafikleri görülmektedir. Grashof sayısının bütün değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho viskozite modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Maiga, Batchlor, Brinkman ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmektedir. Batchlor, Brinkman ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır. Grashof sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla ortalama Nusselt sayıları artmaktadır.

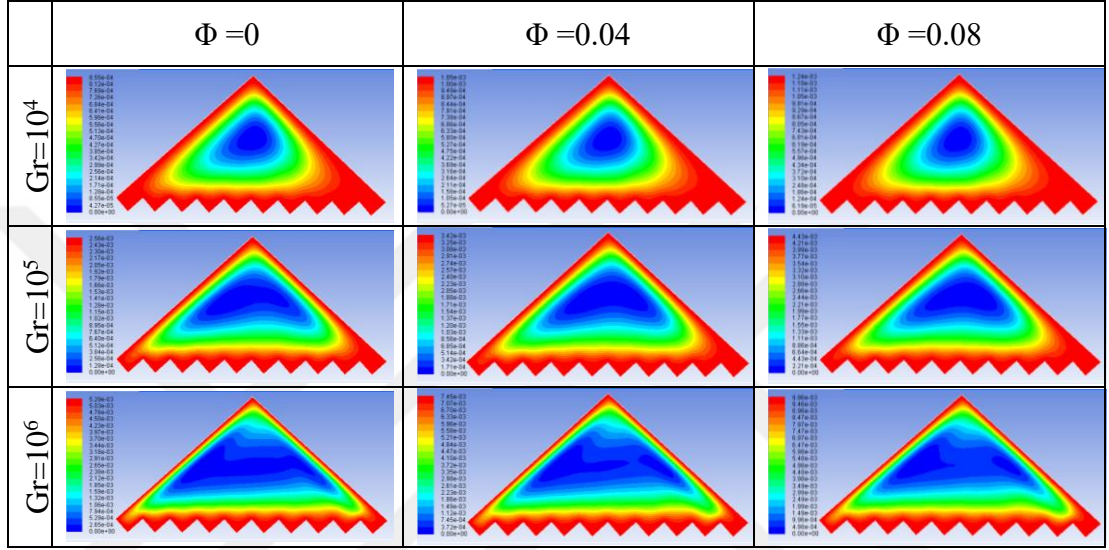
## 5.2. Alt Duvarı Dalgalı Üçgen Şeklinde Bir Kavite İçerisindeki Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonu Üzerinde Viskozite Modellerinin Etkisi

Öğüt ve diğ. [58] tarafından, farklı viskozite modellerinin alt duvarı dalgalı üçgen bir kavite içindeki bakır-su nanoakışkanının doğal konveksiyonu üzerindeki etkisinin incelendiği nümerik çalışmaya ait geometri ve sınır şartları Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

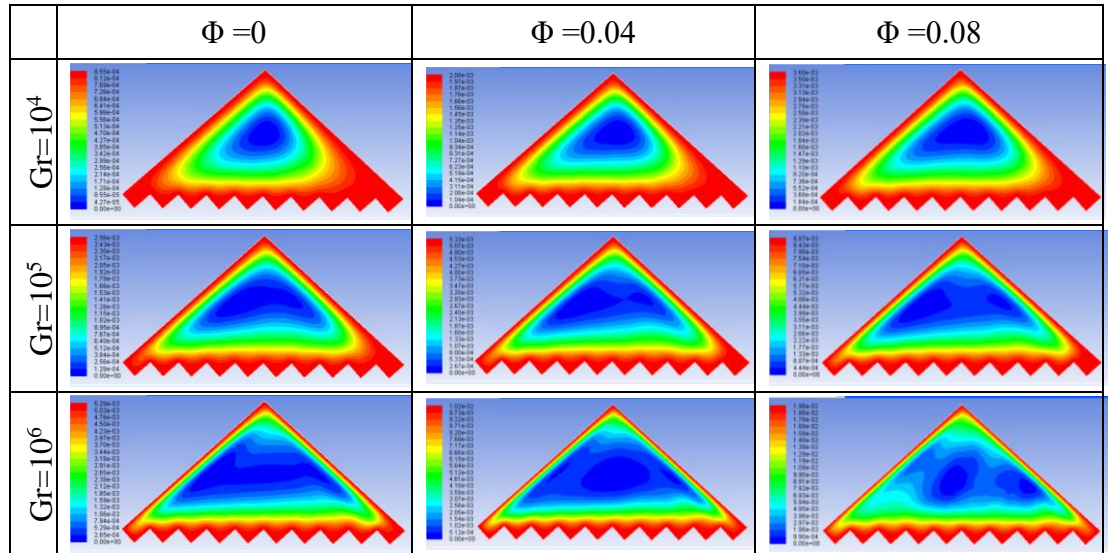


Şekil 5.7. Geometri ve sınır şartları

Kavitenin sol duvarı sıcak, sağ duvarı soğuk olup alt duvarı dalgali ve yalıtılmıştır. Yapılan çalışmada; viskozitenin hesaplanmasında Batchlor, Brinkman, Einstein, Maiga, Pak ve Cho modelleri kullanılarak, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,04-0,08$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişiklikler incelenmiştir. Einstein, Pak ve Cho modelleri için akım çizgileri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da, eş sıcaklık eğrileri Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de sunulmuştur.



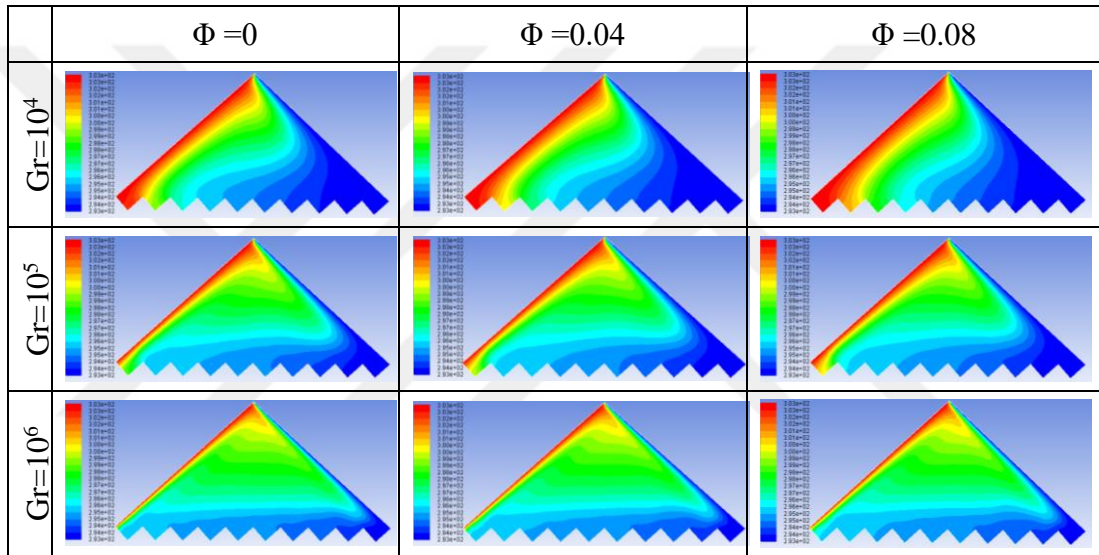
Şekil 5.8. Einstein modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri



Şekil 5.9. Pak ve Cho modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri

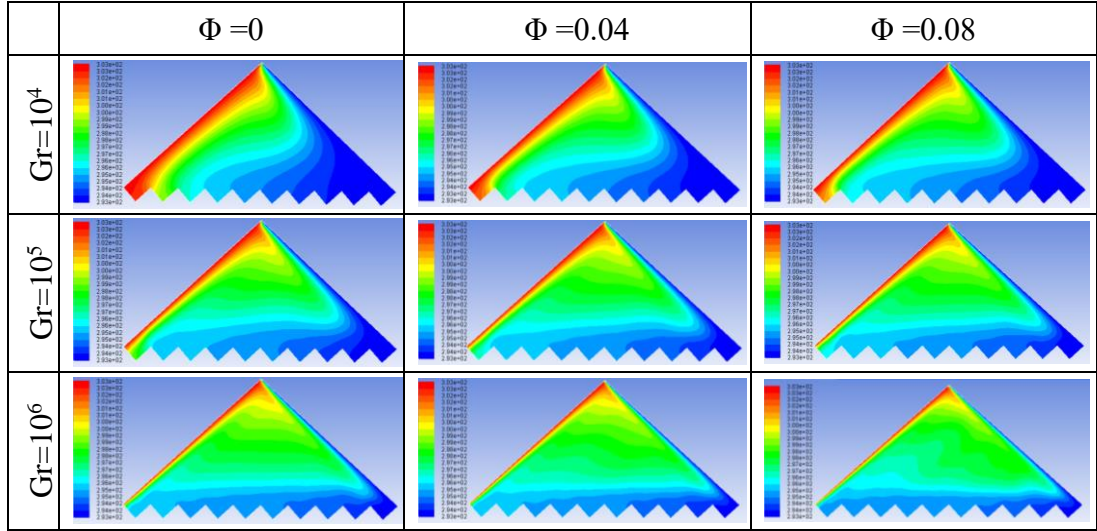


Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da Einstein, Pak ve Cho modelleri için Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  değerlerinde ve  $\phi=0-0,04-0,08$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri gösterilmiştir.  $Gr=10^4$  değerinde kavitenin orta bölümünde saat yönünde dönen bir hücresel yapı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla akım artmakta ve hücresel yapı kenarlara doğru yayılmaya başlamakta,  $Gr=10^6$  değerinde ise sirkülasyon daha da şiddetlenmekte ve 2 hücreli bir yapı meydana gelmektedir. Viskozitedeki artış ile akımın arttığı görülmektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla akım artmakta ancak Grashof sayısına göre akıma daha az etki etmektedir.



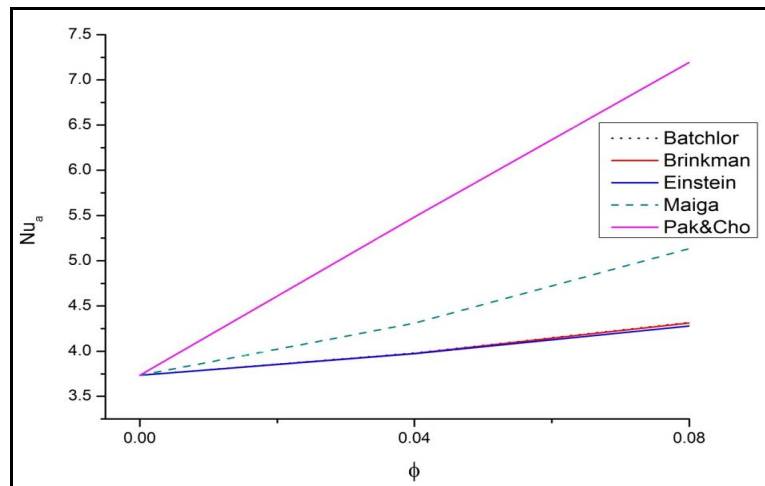
Şekil 5.10. Einstein modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de Einstein, Pak ve Cho modelleri için Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  değerlerinde ve  $\phi=0-0,04-0,08$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Grashof sayısının artırılmasıyla eş sıcaklık eğrilerinin sıcak kenardan soğuk kenara doğru yayıldığı, birbirine yaklaştığı, ısıl sınır tabakanın incelmesi ve konveksiyonun arttığı açıkça görülmektedir. Küçük Grashof sayılarında eş sıcaklık eğrilerinin neredeyse birbirine paralel formda olduğu ve iletimle ısı transferinin gerçekleştiği, büyük Grashof sayılarında bu formun bozularak sirkülasyonun arttığı ve konveksiyonla ısı transferinin gerçekleştiği ifade edilebilir. Viskozitenin artırılması ile; Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da görülen akım artışına paralel olarak eş sıcaklık eğrilerinin kenarlara daha da yaklaştığı ve gerçekleşen ısı transferinin arttığı görülmektedir.

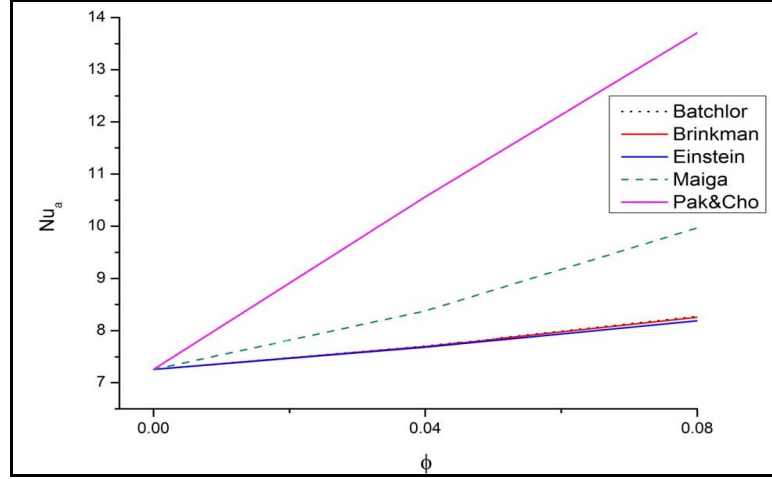


Şekil 5.11. Pak ve Cho modeli için farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri

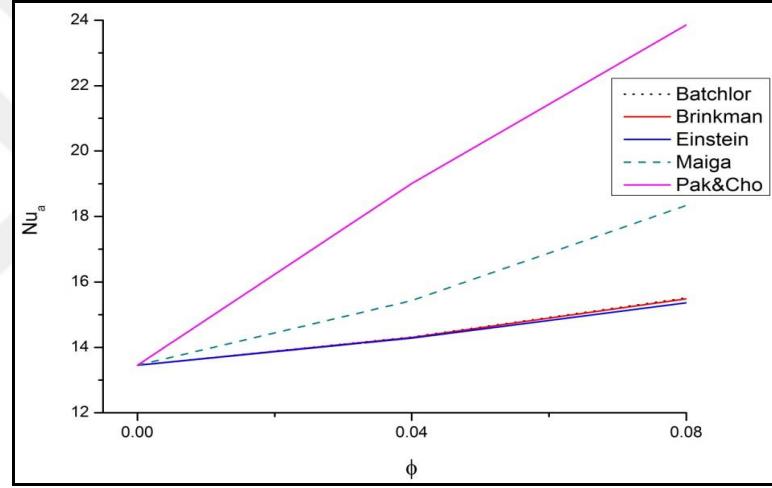
Şekil 5.12-5.14'de; farklı viskozite modellerindeki, Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için,  $\phi=0-0,04-0,08$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki ortalama Nusselt değişimi grafikleri görülmektedir. Grashof sayısının bütün değerlerinde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho viskozite modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Maiga, Batchlor, Brinkman ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmektedir. Batchlor, Brinkman ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır. Grashof sayısının ve nanopartikül konsantrasyonunun arttırılmasıyla ortalama Nusselt sayıları artmaktadır.



Şekil 5.12.  $Gr=10^4$  için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi



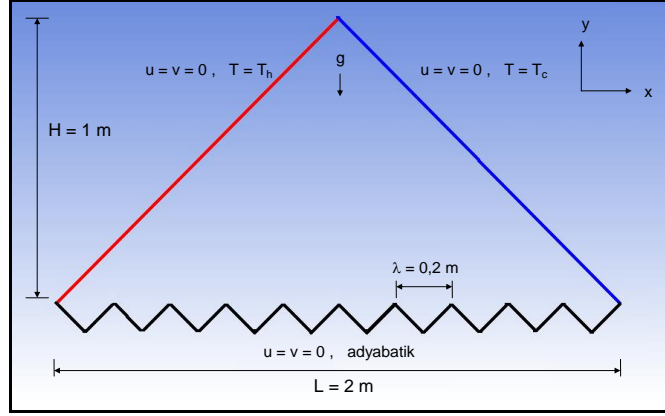
Şekil 5.13.  $Gr=10^5$  için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi



Şekil 5.14.  $Gr=10^6$  için farklı viskozite modellerinde nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Nusselt değişimi

### 5.3. Alt Duvarı Dalgalı Üçgen Şeklinde Bir Kavite İçerisindeki Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonu

Öğüt ve Kılıçtepe [57] tarafından, Cu, Ag ve  $TiO_2$  nanopartikülleri ile hazırlanmış nanoakışkanların, alt duvarı dalgalı üçgen bir kavite içindeki doğal konveksiyonunun incelendiği nümerik çalışmaya ait geometri ve sınır şartları Şekil 5.15'de gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Geometri ve sınır şartları

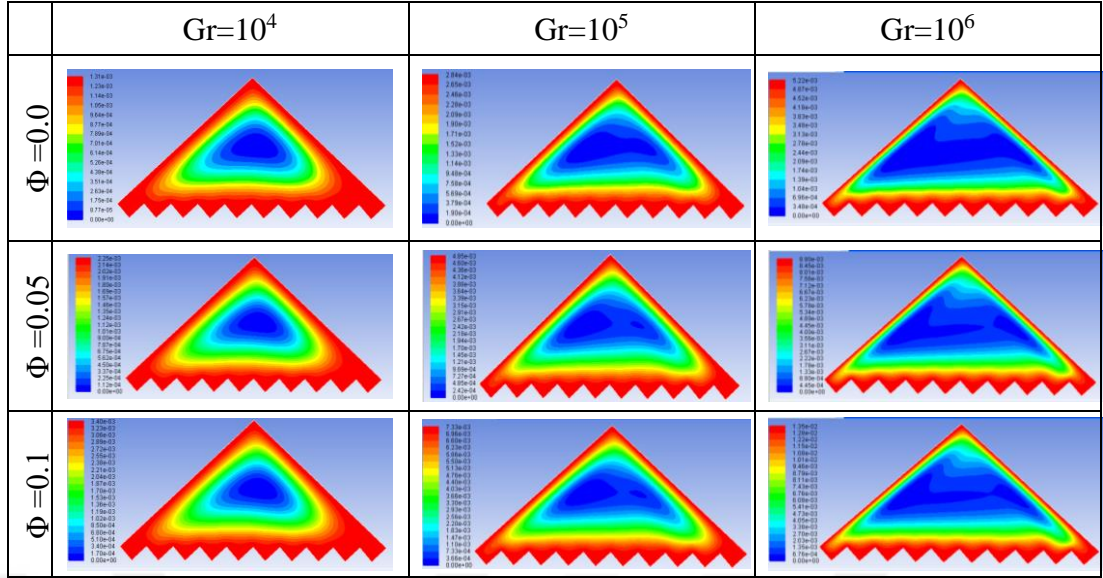
Kavitenin sol duvarı sıcak, sağ duvarı soğuk olup alt duvarı dalgalı ve yalıtılmıştır. Yapılan çalışmada Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,05-0,1$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişiklikler incelenmiştir. Cu, Ag ve  $\text{TiO}_2$  nanopartikülleri ve suyun termofiziksel özellikleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Cu-su nanoakışkanı için akım çizgileri Şekil 5.16’da, eş sıcaklık eğrileri Şekil 5.17’de sunulmuştur.

Tablo 5.1. Su, Cu, Ag,  $\text{TiO}_2$  nanopartiküllerinin termofiziksel özellikleri

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kgK)	k (W/mK)	$\alpha \times 10^7$ (m <sup>2</sup> /s)	$\beta_T \times 10^6$ (1/K)
Cu	8933	385	400	1163	16,7
Ag	10500	235	429	1739	18,9
$\text{TiO}_2$	4240	686	8,95	30,77	9
Su	997,1	4179	0,613	1,47	210

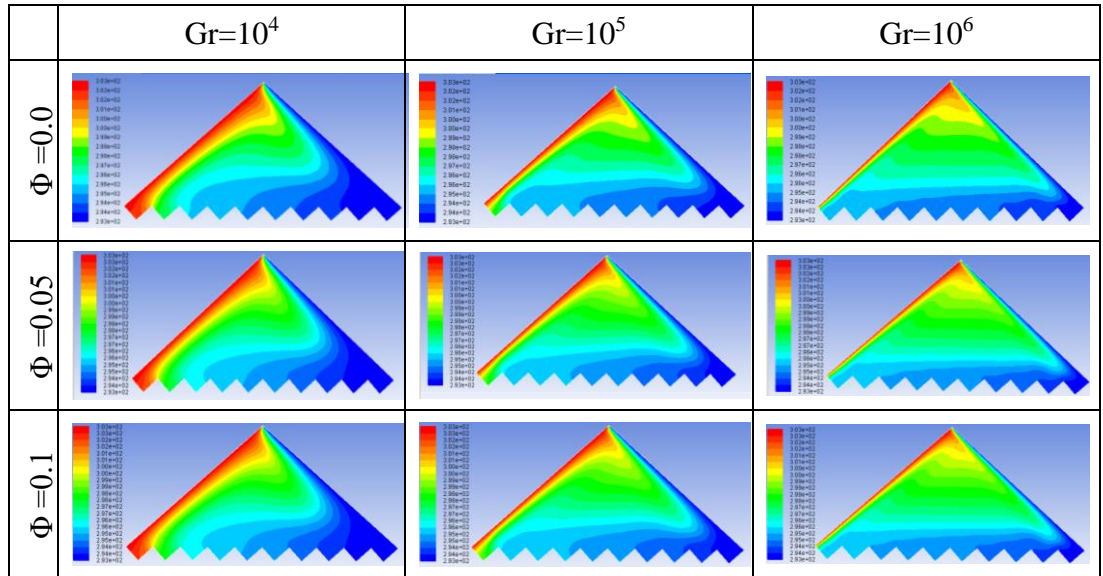
Şekil 5.16’da Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  değerleri için Cu-su nanoakışkanının  $\phi=0-0,05-0,1$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri gösterilmiştir.  $\text{Gr}=10^4$  değerinde kavitenin orta bölümünde saat yönünde dönen bir hücresel yapı görülmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla akım artmakta ve hücresel yapı kenarlara doğru yayılmaya başlamakta ve 2 hücreli bir yapı meydana gelmektedir.  $\text{Gr}=10^5$  ve  $\text{Gr}=10^6$  değerlerinde suya nanopartikül eklenmesiyle sirkülasyon artmakta ve 2 hücreli bir yapı meydana gelmektedir.



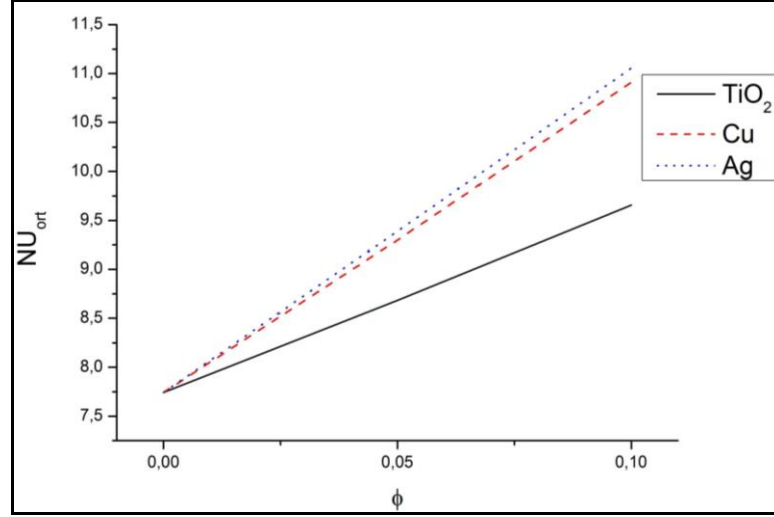


Şekil 5.16. Cu-su nanoakışkanının farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki akım çizgileri

Şekil 5.17’de Grashof sayısının 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup>, 10<sup>6</sup> değerleri için Cu-su nanoakışkanının  $\phi=0-0,05-0,1$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Grashof sayısının artırılmasıyla eş sıcaklık eğrilerinin sıcak kenardan soğuk kenara doğru yayıldığı, birbirine yaklaştığı, ısıl sınır tabakanın incelindiği ve konveksiyonun arttığı açıkça görülmektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun artırılmasıyla ısı transferi artmakta ancak Grashof sayısına göre daha az etki etmektedir.



Şekil 5.17. Cu-su nanoakışkanının farklı Grashof sayıları ve nanopartikül konsantrasyonlarındaki eş sıcaklık eğrileri



Şekil 5.18. Farklı nanoakışkanların  $Gr=10^5$ 'de partikül konsantrasyonuyla Ortalama Nusselt değerimleri

Şekil 5.18'de; Cu-su, Ag-su ve TiO<sub>2</sub>-su nanoakışkanlarının,  $Gr=10^5$  değeri için,  $\phi=0-0,05-0,1$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki ortalama Nusselt değışimi grafikleri görölmektedir. En yüksek ortalama Nusselt değeri Ag-su nanoakışkanında elde edilmiş, onu sırasıyla Cu-su ve TiO<sub>2</sub>-su nanoakışkanları takip etmiştir. Sıralama, kullanılan nanopartiküllerin ısı iletkenliklerine göre gerçekleşmiştir. Ag-su ve Cu-su nanoakışkanlarıyla elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır. TiO<sub>2</sub> nanopartikülünün ısı iletkenliğinin Ag ve Cu nanopartiküllerine oranı yaklaşık 1/45 olmasına rağmen, düşük ısı yayılım katsayısı sayesinde ortalama Nusselt değeri büyük bir fark görölmemektedir. Nanopartikül konsantrasyonunun arttırılmasıyla ortalama Nusselt sayıları lineer olarak artmaktadır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; içerisine silindirik bir ısı kaynağı yerleştirilmiş, ikizkenar dik üçgen kavite içerisinde, nanoakışkanların laminer akış ve doğal konveksiyonu nümerik olarak incelenmiştir. Isı kaynağının konumunun, çap değişiminin, farklı termofiziksel özelliklerdeki nanopartiküllerin, farklı ısı iletkenlik ve viskozite modellerine göre yapılan hesaplamaların ısı transferi ve akış özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan tüm analizlerde Grashof sayısının  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerleri için  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  nanopartikül konsantrasyonlarındaki değişiklikler gözlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri, ortalama ve yerel Nusselt değerleri kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada; kavite içerisinde oluşan akım ve girdapların ısı transferini etkileyen en önemli unsur olduğu görülmüştür. Grashof sayısının artırılmasıyla kavite genelinde sirkülasyon artmış ancak silindir ısı kaynağının altında ve üstünde ısı transferine etkileri farklı olmuştur. Isınan nanoakışkanın adyabatik sağ kenar boyunca yükselmesi, soğuk sol kenara yaklaşarak soğudukça aşağıya yönelmesiyle kavitenin üst bölümünde ve sol kenar boyunca kuvvetli bir sirkülasyon meydana gelmektedir. Grashof sayısının artırılmasıyla sirkülasyon artmakta ve bu bölgelerde konvektif ısı transferi artmaktadır. Kavitenin üst tarafında gerçekleşen sirkülasyonun artması sonucu alt taraftaki konveksiyon baskılanarak azalmakta ve sonuç olarak alt kenarda ortalama Nusselt değerleri düşmektedir.

Isı kaynağı üç farklı şekilde konumlandırılarak, ısı kaynağının aksel hareketlerinin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sol kenar için; silindir ısı kaynağının soğuk sol ve alt kenarlara en yakın konumunda en yüksek ısı transferinin gerçekleştiği görülmüştür. Kavitenin alt bölümünde sirkülasyonun zayıf olması sebebiyle, ısı kaynağının yükseltilmesiyle, alt kenarda gerçekleşen ısı transferinin azaldığı görülmektedir. Kavitenin ortalama Nusselt sayısının yüksek değerlerinin elde edilmesi için ısı kaynağı sol ve alt kenarlara yakın konumlandırılmalıdır.

Isı kaynağının çap değişiminin etkisinin görülebilmesi için üç farklı çaptaki silindir ısı kaynağı ile analizler yapılmıştır. Yapılan tüm analizlerde ısıtıcı çapının artırılmasıyla ısı transferinin arttığı görülmüştür. Silindir çapının artırılmasıyla ısıtma yüzeyi ve sirkülasyon artmaktadır. Ancak ısı kaynağının çap artışı optimize edilmelidir. Çapın aşırı genişletilmesinin akışa mani olacak şekilde ısı transferini olumsuz yönde etkileyebileceği dikkate alınmalıdır.

Nanopartikül etkilerinin incelenmesi için, farklı termofiziksel özelliklere sahip olan Cu, Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri seçilmiştir. Sol kenar için; ortalama Nusselt değerlerinin sıralaması, nanopartikül özgül ısılarına göre, yoğunluk, ısı iletkenlik ve ısı yayılım katsayılarının tersine gerçekleşmiştir. En yüksek değerlerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanında, en düşük değerlerin Ag-su nanoakışkanında elde edildiği görülmektedir. Düşük ısı yayılım değerleri daha yüksek sıcaklık gradyanları oluşturmakta ve ısı transferini artırmaktadır. Cu ve Ag nanopartiküllerinin daha yüksek ısı yayılımına sahip olmaları sıcaklık gradyanlarını azaltmaktadır. Kavitenin alt bölümünde sirkülasyonun azalmasıyla, nanopartiküllerin yoğunluk ve ısı iletkenlikleri ön plana çıkmaktadır. Sıralama ısı iletkenlik katsayısı ve yoğunluğa göre gerçekleşmektedir bu durumda en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Ag-su nanoakışkanında, en düşük değerlerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanında elde edildiği görülmektedir. İncelenen bu geometride, kavitenin ortalama Nusselt sayısının yüksek değerlerini elde etmek için, düşük ısı iletkenlik ile birlikte düşük ısı yayımlı nanopartiküller tercih edilmelidir.

Isı iletkenlik modellerinin sonuçlara etkisinin görülebilmesi için, efektif ısı transfer katsayısının hesaplanmasında literatürde kabul görmüş Yu ve Choi, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modellerinden yararlanılmıştır. Yapılan tüm analizlerde en yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho ısı iletim modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Yu ve Choi, Koo ve Kleinstreuer, Lu ve Lin modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmüştür. Isı iletkenlik modellerinin analiz sonuçlarına etkileri dikkate alınarak, uygun modelin seçilmesi için sıcaklık parametreleri, kullanılan nanopartikül tipi ve Brownian etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Nanoakışkan viskozite modellerinin sonuçlara etkisinin görülebilmesi için, dinamik viskozitenin hesaplanmasında literatürde kabul görmüş Batchlor, Brinkman, Einstein, Maiga, Pak ve Cho, Koo ve Kleinstreuer modellerinden yararlanılmıştır. Sol kenar için; ortalama Nusselt değerlerinin sıralaması efektif viskoziteye paralel olarak gerçekleşmiştir. Kavitenin üst bölümünde sirkülasyonun kuvvetli olması sebebiyle yüksek viskozitelere yüksek Nusselt değerleri elde edilmiştir. En yüksek ortalama Nusselt değerlerinin Pak ve Cho viskozite modeliyle hesaplandığı, onu sırasıyla Maiga, Batchlor, Brinkman, Koo ve Kleinstreuer ve Einstein modelleriyle elde edilen sonuçların takip ettiği görülmüştür. Kavitenin alt bölümünde sirkülasyonun zayıf olması sebebiyle, yüksek viskozitelere düşük Nusselt değerleri elde edilmiştir. Kavitenin ortalama Nusselt değeri, hesaplanan nanoakışkan viskozitelerinin artmasıyla artmaktadır.

Baz akışkan olarak seçilen suya,  $\phi=0-0,025-0,05-0,075$  konsantrasyonlarında nanopartikül eklenerek etkileri incelenmiştir. Nanopartikül eklenmesiyle ve katı hacim konsantrasyonunun artırılmasıyla ısı transferinin arttığı görülmüştür. Ancak, katı hacim konsantrasyonunun aşırı artırılmasıyla çökelme, korozyon, titreşim gibi sorunlar yaşanacağı, sirkülasyonun azalabileceği, ilave pompa gücü ihtiyacı oluşacağı gözönünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak üçgen kavite için; gemiler gibi alan darlığı yaşanan yerlerde, ısıtma veya soğutmanın artırılması amacıyla kullanılabileceği, Grashof sayısının artırılmasıyla ısı transferinin arttığı, nanopartiküllerin kullanımıyla ısı transferinin artırılabilmesi, ısı kaynağının çapının büyütülmesiyle ısı transferinin artacağı ve tabana yakın konumlandırılmasının daha verimli olacağı değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Lee S., Choi S.U.S., Li S., Eastman J.A., Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, *ASME J. Heat Transfer*, 1999, **121**, 280–289.
- [2] Wang X., Mujumdar A.S., Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: A Review; *International Journal of Thermal Sciences*, 2007, **46**(1), 1-9.
- [3] Choi S.U.S., Enhancing Thermal Conductivity of Fluids With Nanoparticles, *Appl. Non Newtonian Flows*, 1995, **66**, 99–106.
- [4] Eastman J.A., Choi S.U.S., Yu W., Thompson L.J., Anomalous Increase in Effective Thermal Conductivity of Ethylene Glycol-based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **78**, 718–720.
- [5] Das S.K., Putra N., Thiesen P., Roetzel W., Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids, *ASME J. Heat Transfer*, 2003, **125**, 567–574.
- [6] Maxwell J.C., *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, 1873.
- [7] Das S.K., Choi S.U.S., Yu W., Pradeep T., *Nanofluids Science and Technology*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.
- [8] Maxwell J.C., Colours in Metal Glasses and in Metallic Films, *Philosophical Trans.*, 1904, **203**, 385-420.
- [9] Bruggeman D.A.G., Berechnung Verschiedener Physikalischer Konstanten von Heterogenen Substanzen, I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus Isotropen Substanzen, *Annalen der Physik. Leipzig*, 1935, **24**, 636–679.
- [10] Hamilton R.L., Crosser O.K., Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems, *I & EC Fundamentals*, 1962, **1**, 182–191.
- [11] Wasp E.J., Kenny J.P., Gandhi R.L., *Solid-Liquid Flow Slurry Pipeline Transportation*, Trans. Tech. Publ., Berlin, 1977.
- [12] Wang B.X., Zhou L.P., Peng X.F., A Fractal Model for Predicting the Effective Thermal Conductivity of Liquid With Suspension of Nanoparticles, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2003, **46**, 2665–2672.
- [13] Yu W., Choi S.U.S., The Role of Interfacial Layer in the Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A Renovated Maxwell Model, *J. Nanoparticles Res.*, 2003, **5**, 167–171.

- [14] Gürmen S., Ebin B., Nanopartikül ve Üretim Yöntemleri-1, *İ.T.Ü. Metalurji*, 2008, **150**, 31-38.
- [15] Dilek E.F., Nanoakışkanların Hazırlanması ve Isıl İletkenliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2008, 232807.
- [16] Pak B., Cho Y.I., Hydrodynamic and Heat Transfer Study Of Dispersed Fluids With Submicron Metallic Oxide Particle, *Exp. Heat Transfer*, 1998, **11**, 151-170.
- [17] Koo J., Kleinstreuer C., A New Thermal Conductivity Model for Nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 2004, **6**, 577-588.
- [18] Lu S.Y., Lin H.C., Effective Conductivity of Composites Containing Aligned Spheroidal Inclusions of Finite Conductivity, *Journal of Applied Physics*, 1996, **79**, 6761-6769.
- [19] Lee S., Choi S.U.S., Li S., Eastman J.A., Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, *ASME J. Heat Transfer*, 1999, **121**, 280-289.
- [20] Xie H.Q., Wang J.C., Xi T.G., Liu Y., Ai F., Wu Q.R., Thermal Conductivity Enhancement Of Suspensions Containing Nanosized Alumina Particles, *Journal of Applied Physics*, 2002, **91**(7), 4568-4572.
- [21] Murshed S.M.S., Leong K.C., Yang C., Enhanced Thermal Conductivity Of TiO<sub>2</sub>-Water Based Nanofluids, *Int. Journal of Therm. Science*, 2005, **44**, 367-373.
- [22] Xuan Y., Li Q., Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids, *ASME J. Heat Transf.*, 2003, **125**, 151-155.
- [23] Das S.K., Putra N. Thiesen, P. Roetzel, W., Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *ASME J. Heat Transfer*, 2003, **125**, 567-574.
- [24] Chon C.H., Kihm K.D., Thermal Conductivity Enhancement of Nanofluids by Brownian Motion, *Journal of Heat Transfer*, 2005, **127**, 810.
- [25] Li C.H., Peterson G.P., Experimental Investigation of Temperature and Volume Fraction Variations on The Effective Thermal Conductivity of Nanoparticle Suspensions (Nanofluids), *Journal of Applied Physics*, 2006, **99**, 284-314.
- [26] Hong T.K., Yang H.S., Choi C.J., Study of The Enhanced Thermal Conductivity of Fe Nanofluids, *Journal of Applied Physics*, 2005, **97**, 064311.

- [27] Liu M.S., Lin C.C., Haung I.T., Wang C.C., Enhancement of Thermal Conductivity With Carbon Nanotube for Nanofluids, *Int. Commun. Heat and Mass Transfer*, 2005, **32**(9), 1202-1210.
- [28] Ding Y, Alias H., Wen D., Williams R.A., Heat Transfer of Aqueous Suspensions of Carbon Nanotubes (CNT Nanofluids), *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, 2006, **49**, 240-250.
- [29] Maiga S.E., Palm S.J., Nguyen C.T., Roy G., Galanis N., Heat Transfer Enhancement by Using Nanofluids in Forced Convection Flow, *Int. Journal of Heat Fluid Flow*, 2005, **26**, 530-546.
- [30] Khanafer K., Vafai K., Lightstone M., Buoyancy-driven Heat Transfer Enhancement in a Two-dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *Int. J. HeatMass Transf.*, 2003, **46**, 3639–3653.
- [31] Oğut E. B., Natural Convection of Water-based Nanofluids in an Inclined Enclosure With a Heat Source, *International Journal of Thermal Sciences*, 2009, **48**, 2063–2073.
- [32] Akçaoğlu E., Arıcı M., Öğüt E.B., Bölmeli Bir Kare Kapalı Ortam İçindeki Nanoakışkanın Doğal Konveksiyonla Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi, *Erciyes Ünv. Fen Bilimleri Ens. Dergisi*, 2012, **28**(5), 359-366.
- [33] Öğüt E.B., Eğik Kare Kapalı Bir Bölge İçindeki Su Bazlı Nanoakışkanların Doğal Taşınımınla Isı Transferi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2010, **30**(1), 23-33.
- [34] Arıcı M., Kaptan Ç., Karabay H., Mixed Convection Heat Transfer of Nanofluids in a Trapezoidal Cavity Having an Adiabatic Square Body at Its Center, *Research on Engineering Structures and Materials*, 2017, **3**(2), 155-162.
- [35] Susantez Ç., Kahveci K., Numerical Investigation of Buoyancy Driven Heat Transfer Of Water-Based CuO Nanofluids in a Rectangular Enclosure With an Offcentre Solid Conducting Body, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2017, **37**(2), 109-127.
- [36] Öğüt E.B., Akyol M., Arıcı M., Natural Convection of Nanofluids in an Inclined Square Cavity With Side Wavy Walls, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2017, **37**(2), 139-150.
- [37] Abu-Nada E., Ziyad K., Saleh M., Ali Y., Heat Transfer Enhancement in Combined Convection Around a Horizontal Cylinder Using Nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 2008, **130**, 084505-1-4.
- [38] Garoosi F., Hoseininejad F., Numerical Study of Natural and Mixed Convection Heat Transfer Between Differentially Heated Cylinders in an Adiabatic Enclosure Filled With Nanofluid, *Journal of Molecular Liquids*, 2016, **215**, 1-17.



- [39] Selimefendigil F., Öztop H.F., Estimation of The Mixed Convection Heat Transfer of a Rotating Cylinder in a Vented Cavity Subjected to Nanofluid By Using Generalized Neutral Networks, *Numerical Heat Transfer*, 2014, **65**, 165-185.
- [40] Parvin S., Alim M.A., Hossain N.F., Prandtl Number Effect on Cooling Performance of a Heated Cylinder in an Enclosure Filled With Nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2012, **39**, 1220-1225.
- [41] Ghasemi B. , Aminossadati S.M., Mixed Convection in a Lid-driven Triangular Enclosure Filled With Nanofluids, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 2010, **37**, 1142-1148.
- [42] Rahman M.M., Billah M.M., Rahman A.T.M.M., Kalam M.A., Ahsan A., Numerical Investigation of Heat Enhancement of Nanofluids In an Inclined Lid-driven Triangular Enclosure, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 2011, **38**, 1360-1367.
- [43] Billah M.M., Rahman M.M., Razzak M.A., Saidur R., Mekhilef S., Unsteady Buoyancy-driven Heat Transfer Enhancement of Nanofluids in an Inclined Triangular Enclosure, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2013, **49**, 115–127
- [44] Aminossadati S.M., Ghasemi B., Enhanced Natural Convection in an Isosceles Triangular Enclosure Filled With a Nanofluid, *Computers and Mathematics with Applications*, 2011, **61**, 1739–1753
- [45] Sun Q., Pop I., Free Convection in a Triangular Cavity Filled With Porous Medium Saturated With Flush Mounted Heater on The Wall, *International Journal of Thermal Sciences*, 2011, **50**, 2141-2153.
- [46] Billah M.M., Rahman M.M., Sharif U.M., Islam M.N., Numerical Simulation on Buoyancy-driven Heat Transfer Enhancement of Nanofluids in an Inclined Triangular Enclosure, *Science Direct*, 2014, **90**, 517-523.
- [47] Ouyahia S.E., Benkahla Y.K., Labsi N., Numerical Study of Hydrodynamic and Thermal Properties of Titanium Dioxide Nanofluids Trapped in a Triangular Geometry, *Arab Journal of Science Eng.*, 2016, **41**, 1995-2009.
- [48] Rahman M.M., Saha S., Mojumder S, Naim A.G., Saidur R, Ibrahim T.A., Effects of Sine-Squared Thermal Boundary Condition on Augmentation of Heat Transfer In a Triangular Solar Collector Filled With Different Nanofluids, *Numerical Heat Transfer*, 2015, **68**, 53-74.
- [49] Rahman M.M., Mojumder S., Saha S., Mekhilef S. , Saidur R., Augmentation of Natural Convection Heat Transfer in Triangular Shape Solar Collector by Utilizing Water Based Nanofluids Having a Corrugated Bottom Wall, *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, 2014, **50**, 117-127.

- [50] Mahian O., Kianifar A., Heris S.Z., Wongwises S., Natural Convection of Silica Nanofluids in Square and Triangular Enclosures: Theoretical and Experimental Study, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, **99**, 792-804.
- [51] Sourtiji E., Ganji D.D., Seyyedi S.M., Free Convection Heat Transfer and Fluid Flow of Cu-Water Nanofluids Inside a Triangular-Cylindrical Annulus, *Powder Technology*, 2015, **277**, 1-10.
- [52] Aminossadati S.M., Hydromagnetic Natural Cooling of a Triangular Heat Source in a Triangular Cavity With Water-CuO Nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2013, **43**, 22-29.
- [53] Selimefendigil F., Öztop H.F., MHD Mixed Convection of Nanofluid Filled Partially Heated Triangular Enclosure With a Rotating Adiabatic Cylinder, *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2014, **45**, 2150-2162.
- [54] Rahman M.M., Öztop H.F., Mekhilef S., Saidur R., Al-Salem K., Unsteady Natural Convection in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water Nanoliquid Filled in Isosceles Triangular Enclosure With Sinusoidal Thermal Boundary Condition on Bottom Wall, *Superlattices and Microstructures*, 2014, **67**, 181-196.
- [55] Billah M.M., Rahman M.M., Sharif U.M., Heat Transfer Enhancement of Nanofluids in a Lid-Driven Triangular Enclosure Having a Discrete Heater, *Procedia Engineering*, 2013, **56**, 330-336.
- [56] Basak T., Roy S., Krishna Babu S., Balakrishnan A.R., Finite Element Analysis of Natural Convection Flow in an Isosceles Triangular Enclosure Due to Uniform and Non-uniform Heating at The Side Walls, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 2008, **51**, 4496-4505.
- [57] Ogut E.B., Kilictepe M., Alt Duvarı Dalgalı Üçgen Şeklindeki Bir Kavite İçerisindeki Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonu, *20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2-5 Eylül 2015.
- [58] Ogut E.B., Öztop H.F., Kilictepe M., Natural Convection of Nanofluids in a Triangular Cavity With Corrugated Bottom Wall, *International Conference on Energy and Thermal Engineering: İstanbul 2017*, İstanbul, Türkiye, 25-28 Nisan 2017.
- [59] Ogut E.B., Kilictepe M., Üçgen Bir Isı Kaynağı İçeren Üçgen Kavite İçerisindeki Su Bazlı Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonla Isı Transferi, *4. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu*, Edirne, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.
- [60] Ogut E.B., Öztop H.F., Kilictepe M., Üçgen Bir Kavite İçerisindeki Bakır-Su Nanoakışkanların Doğal Konveksiyon Üzerinde Viskozite Modellerinin Etkisi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, **29**(1), 37-43.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Ogut E.B., **Kilictepe M.**, Alt Duvarı Dalgalı Üçgen Şeklindeki Bir Kavite İçerisindeki Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonu, *20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2-5 Eylül 2015.
- [2] Ogut E.B., Öztop H.F., **Kilictepe M.**, Natural Convection of Nanofluids in a Triangular Cavity With Corrugated Bottom Wall, *International Conference on Energy and Thermal Engineering: İstanbul 2017*, İstanbul, Türkiye, 25-28 Nisan 2017.
- [3] Ogut E.B., Öztop H.F., **Kilictepe M.**, Üçgen Bir Kavite İçerisindeki Bakır-Su Nanoakışkanların Doğal Konveksiyon Üzerinde Viskozite Modellerinin Etkisi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, **29**(1), 37-43.
- [4] Ogut E.B., **Kilictepe M.**, Üçgen Bir Isı Kaynağı İçeren Üçgen Kavite İçerisindeki Su Bazlı Nanoakışkanların Doğal Konveksiyonla Isı Transferi, *4. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu*, Edirne, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İstanbul'da doğdu. 1993-2000 yılları arasında orta ve lise öğrenimini Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında girdiği Deniz Harp Okulu Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2004 yılında teğmen rütbesiyle mezun oldu. 2004-2016 yılları arasında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bağlısı gemilerde ve kıyı birliklerinde branş subaylığı, başçarkçılık, komutanlık ve eğitim subaylığı görevlerini icra etti. 2016 yılından beri TCG YZB.İ.TULUNAY Komutanlığında Başçarkçı olarak görev yapmaktadır.

