



**HİBRİT NANOAKIŞKAN İÇEREN KARE
ŞEKLİNDEKİ KAPALI BİR ORTAMDA
DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Abdullah DAĞDEVİREN

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

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

**HİBRİT NANOAKIŞKAN İÇEREN KAPALI BİR ORTAMDA DOĞAL
TAŞINIMLA ISI TRANFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Abdullah DAĞDEVİREN

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

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

**KARABÜK
Aralık 2020**

Abdullah DAĞDEVİREN tarafından hazırlanan “HİBRİT NANOAKIŞKAN İÇEREN KARE ŞEKLİNDEKİ KAPALI BİR ORTAMDA DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Engin GEDİK

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/12/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Ali KEÇEBAŞ (MÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim”

Abdullah DAĞDEVİREN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİBRİT NANOAKIŞKAN İÇEREN KARE ŞEKLİNDEKİ KAPALI BİR ORTAMDA DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Abdullah DAĞDEVİREN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Engin GEDİK

Aralık 2020, 68 sayfa

Bu çalışmada, tekil (Al_2O_3/su) ve hibrit ($Al_2O_3-SiO_2/su$) nanoakışkanları ile doldurulan kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınım ile ısı transferi olayı sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal hesaplamalar nanoakışkanların tek faz (homojen) yaklaşımı ile sonlu elamanlar yöntemine dayalı çözümlene yapabilen COMSOL MULTIPHYSICS programında gerçekleştirilmiştir. Kapalı ortamın sol ve sağ dikey duvarları sırasıyla sıcak (T_h) ve soğuk (T_c) olacak şekilde sabit sıcaklıkta tutulurken yatay alt ve üst duvarları adyabatik olarak kabul edilmiştir. Çalışmada Rayleigh sayısının ($10^3 \leq Ra \leq 10^6$), nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının ($0.00 \leq \phi \leq 0.04$) tekil ve hibrit nanoakışkan kullanımının doğal taşınım ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar ilgili parametreler dikkate alınarak akım çizgileri, izoterm, ortalama ve yerel Nusselt sayılarının değişimleri grafiksel olarak sunulmuş ve detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Elde edilen

sonuçlara göre; tüm Rayleigh sayısı değerlerinde nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının artışı ısı transferini arttırmaktadır. Rayleigh sayısının artması durumunda hem Al_2O_3/su nanoakışkanı hemde $Al_2O_3-SiO_2 /su$ hibrit nanoakışkanı için yerel Nusselt sayılarının arttığı görülmüştür. Nu sayısındaki maksimum artış miktarı Al_2O_3/su ve $Al_2O_3-SiO_2 /su$ nanoakışkanları için sırasıyla %17,39 ve %7,2 olarak elde edilmiştir. Bu oranlar nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının sırasıyla %2,0 ve %4,0 değerlerinde ve düşük Ra sayılarında ($<10^4$) gerçekleşmiştir. Düşük Rayleigh sayılarında her iki nanoakışkanda ortalama Nu sayısının artış eğiliminde olduğu bulunmuştur. Yüksek Rayleigh sayılarında ise Al_2O_3/su nanoakışkan kullanıldığı durumda %2 konsantrasyon değerinden sonra azalış eğiliminde iken $Al_2O_3-SiO_2 /su$ nanoakışkanı kullanıldığı durumda ortalama Nu sayısının devamlı artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Doğal taşınım, Nanoakışkan, COMSOL, Sayısal Analiz, Kapalı kare ortam, hibrit nanoakışkan.

Bilim Kodu : 92807

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER IN A SQUARE CLOSED ENCLOSURE CONTAINING HYBRID NANOFLUID

Abdullah DAĞDEVİREN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Engin GEDİK

December 2020, 68 pages

In this study, the effects of mono ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$) and hybrid ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{water}$) nanofluids in a square cavity on natural convection have been investigated numerically. Numerical calculations were performed in COMSOL MULTIPHYSICS program, which can perform analysis based on finite element method with single phase (homogeneous) approach of nanofluids. The left and right vertical walls of the square are kept at a constant temperature such as hot (T_h) and cold (T_c), respectively, while the horizontal lower and upper walls are considered adiabatic. In this study, the effects of Rayleigh number ($10^3 \leq Ra \leq 10^6$) and nanoparticle volumetric fractions ratio ($0.00 \leq \phi \leq 0.04$) and hybrid nanofluid use on natural convection heat transfer were investigated. The results obtained from the numerical study were presented graphically and the changes of streamlines, isotherm, average and local Nusselt numbers were presented in detail, taking into account the relevant parameters. According to the

results obtained; Increasing the nanoparticle volumetric concentration ratio at all Rayleigh number values increases the heat transfer. It was seen that the local Nusselt numbers increased for both $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ nanofluid and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{water}$ hybrid nanofluid when the Rayleigh number increased. The maximum increase in Nu number was obtained as 17.39% and 7.2% for $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{water}$ nanofluids, respectively. These ratios were realized at 2.0% and 4.0% values of nanoparticle volumetric concentration, respectively in low Ra numbers ($<10^4$). It has been found that the average Nu number in both nanofluids tends to increase at low Rayleigh numbers. In high Rayleigh numbers, ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$) nanofluid tends to decrease after 2% concentration value, while hybrid ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{water}$) nanofluid tends to increase continuously. It has been observed that the results obtained are in agreement with similar studies in the literature.

Key Word : Natural Convection, Nanofluid, COMSOL, Numerical Investigation, Square closed enclosure, Hybrid nanofluid.

Science Code : 92807

TEŞEKKÜR

Bizleri yeryüzünün halifesi ve kemal sahibi bir mevcud olarak yaratan, hadsiz kuvvet ve istidatlarda hâlkeden, varlık aleminin sayısız nimetlerini önümüze seren, bizlere iman, ilim ve sağlık nimetlerini bahşeden Allah'a hamd ve sena olsun. Salat ve selam Allah'ın habibi Hz. Muhammed (s.a.v)'e onun al ve ashabının üzerine olsun.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Engin GEDİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında yardımlarının esirgemeyen Universiti Kebangsaan Malaysia'dan Dr. Ammar I. ALSABERY'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında sabırla yanımda olan, maddi ve manevi her türlü desteği veren ilk öğretmenlerim olan anneme ve babama, her zaman yanımda olan kardeşlerim Abdülkadir ve Abdürrahim'e, özellikle abim Ecz. Mehmet Sinan DAĞDEVİREN'e tüm kalbimle teşekkür ederim. Manevi olarak yanımda hissettiğim Abdülkadir YERDİNLEYEN ve Öğr. Gör. Zübeyir Taner YILDIZ hocalarıma da teşekkür ederim.

Başta Müh. Hakan EREN, Müh. Ali Osman KORUCU ve Müh. Murat EKER olmak üzere manevi olarak yanımda hissettiğim bütün lise ve lisans arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	11
NANOAKIŞKANLAR	11
3.1. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	12
3.1.1. Yoğunluk	13
3.1.2. Özgül Isı	13
3.1.3. Viskozite	14
3.1.4. Isıl İletkenlik.....	15
3.1.4.1. Konsantrasyon Etkisi	17
3.1.4.2. Partikül Boyutunun Etkisi.....	18
3.1.4.3. Sıcaklığın Etkisi.....	18
3.1.4.4. Baz Akışkanın Etkisi.....	19
3.1.4.5. Partikülün Termofiziksel Özelliklerinin Etkisi.....	19
3.2. NANOAKIŞKANLAR	20

	<u>Sayfa</u>
3.2.1. Yüksek Isı İletimi	20
3.2.2. Kararlılık.....	21
3.3. NANOAKIŞKAN TİPLERİ.....	21
3.3.1. Tekil Nanoakışkanlar.....	22
3.3.2. Hibrit Nanoakışkanlar.....	23
3.4. NANOAKIŞKANLARI HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ.....	23
3.4.1. Tek Adım Metodu	23
3.4.2. İki Adım Metodu	24
3.5. NANOAKIŞKANLARIN UYGULAMA ALANLARI	25
3.5.1. Elektronik Uygulamalar	25
3.5.2. Ulaşım.....	26
3.5.3. Nükleer Reaktörlerin Soğutulması	26
3.5.4. Tıbbi Uygulamalar.....	26
3.5.5. Uzay ve Savunma	27
3.5.6. Enerji Uygulamaları	27
BÖLÜM 4	28
DOĞAL TAŞINIM.....	28
4.1. DOĞAL TAŞINIMIN ÖZELLİKLERİ	29
BÖLÜM 5	32
MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
5.1. SAYISAL YÖNTEM.....	32
5.1.1. Sonlu Hacimler Yöntemi	32
5.1.2. COMSOL Programının Çalışma Prensipleri	33
5.2. PROBLEM GEOMETRİSİ.....	34
5.3. MESH YAPISININ OLUŞTURULMASI.....	37
BÖLÜM 6	39
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	39
6.1. Al ₂ O ₃ /SU İÇİN ANALİZ SONUÇLARI.....	40
6.1.1. Rayleigh Sayısının Etkisi.....	40

	<u>Sayfa</u>
6.1.2. Hacimsel Konsantrasyon Oranının Etkisi.....	43
6.2. Al ₂ O ₃ / SiO ₂ HİBRİT NANOAKIŞKAN İÇİN ANALİZ SONUÇLARI.....	47
6.2.1. Rayleigh Sayısının Etkisi.....	47
6.2.2. Konsantrasyon oranının etkisi	50
BÖLÜM 7	58
SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1.	Konsantrasyon oranının nanoakışkan yoğunluğuna etkisi	13
Şekil 3.2.	Konsantrasyon oranının nanoakışkanın özgül ısısına etkisi.....	14
Şekil 3.3.	Konsantrasyon oranının nanoakışkanın viskozitesine etkisi.....	15
Şekil 3.4.	Konsantrasyon oranının nanoakışkanın ısı iletkenliğine etkisi.....	16
Şekil 3.5.	Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin bağlı olduğu parametreler	17
Şekil 3.6.	Baz akışkanların termal iletkenlik katsayıları	19
Şekil 3.7.	Bazı akışkanların ve nanopartiküllerin ısı iletkenlik değerleri (MY: Makina Yağı, EG: Etilen Glikol)	21
Şekil 3.8.	Tekil (mono) nanoakışkanların oluşumu	22
Şekil 3.9.	Hibrit nanoakışkanların oluşumu	23
Şekil 3.10.	Tek adım metodu şematik gösterim	24
Şekil 3.11.	İki adım metodu şematik gösterim	25
Şekil 4.1.	Doğal taşınımında oluşan hava hareketleri	28
Şekil 4.2.	Doğal taşınımında kararlı ve kararsız oluşumlar.....	29
Şekil 4.3.	Farklı yan yüzey sıcaklıklarına sahip kapalı bir ortamda hücresel akış..	31
Şekil 5.1.	Problem geometrisi.	34
Şekil 5.2.	Mesh yapıları.....	37
Şekil 5.3.	Mesh ‘ten bağımsız çalışma.	38
Şekil 6.1.	Literatür ile karşılaştırılması.	39
Şekil 6.2.	Ra sayısının akım çizgilerine (sol) ve eş sıcaklıklara (sağ) etkisi ($\phi = 0.02$).	41
Şekil 6.3.	Farklı Ra sayılarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının değişimi ($\phi=0.02$).....	42
Şekil 6.4.	Farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında Ra sayısının ortalama Nu sayılarına etkisi.....	43
Şekil 6.5.	Hacimsel konsantrasyon oranının yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik oranlarına etkileri.	43
Şekil 6.6.	Hacimsel konsantrasyon oranının akım çizgileri (sol) ve eş sıcaklıklara (sağ) etkisi ($Ra:10^5$).....	44
Şekil 6.7.	Farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının değişimi ($Ra:10^5$).	45

Şekil 6.8. Farklı Ra sayılarında hacimsel konsantrasyon oranının ortalama Nu sayısına etkisi.	46
Şekil 6.9. Ra sayısının akım (sol) ve eş sıcaklık çizgilerine (sağ) etkisi ($\phi_{hyb} = 0.02$).	48
Şekil 6.10. Farklı Ra sayılarının sıcak duvar boyunca lokal Nu sayılarının değişimi ($\phi_{hyb}=0.02$).....	49
Şekil 6.11. Farklı hibrit hacimsel konsantrasyon oranlarında Ra sayısının ortalama Nu sayısına etkisi ($Ra:10^5$).....	50
Şekil 6.12. Hacimsel konsantrasyon oranının akım çizgileri (sol) ve eş sıcaklıklara (sağ) etkisi ($Ra:10^5$).....	51
Şekil 6.13. Hacimsel konsantrasyon oranının yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik oranlarına etkileri.	52
Şekil 6.14. Farklı hibrit hacimsel konsantrasyon oranlarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının değişimi ($Ra:10^5$)	53
Şekil 6.15. Farklı Ra sayılarında hacimsel konsantrasyon oranının ortalama Nu sayısına etkisi.	54
Şekil 6.16. Literatürdeki çalışmayla karşılaştırma grafiği.....	55
Şekil 6.17. Farklı Ra sayılarında Al_2O_3/su ve $Al_2O_3-SiO_2/su$ nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyon oranlarına göre ortalama Nu sayılarındaki değişim.	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Su, Al₂O₃, SiO₂ partiküllerinin termofiziksel özellikleri 35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C_p	: Özgül ısı (J/kgK)
$C_{p_{nf}}$: Nanoakışkan özgül ısısı (J/kgK)
$C_{p_{hnf}}$: Hibrit nanoakışkan özgül ısısı (J/kgK)
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
k_{nf}	: Nanoakışkan ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{hnf}	: Hibrit nanoakışkan ısı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Uzunluk, (m)
Ra	: Rayleigh sayısı
Re	: Reynold sayısı
T_b	: Ortalama akışkan sıcaklığı, (K)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
ρ_{nf}	: Nanoakışkan yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_{hnf}	: Hibrit nanoakışkan yoğunluğu (kg/m ³)
μ	: Dinamik viskozite (kg/ms)
ϕ	: Akışkan içerisindeki nano partikül oranı (%)
ϕ_{hyb}	: Akışkan içerisindeki Hibrit nano partikül oranı (%)
Nu	: Nusselt sayısı

KISALTMALAR

CFD	: Computational Fluid Dynamics
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
SHY	: Sonlu Hacimler Yöntemi
HVAC	: Isıtma Soğutma ve Havalandırma

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sürdürülebilir yeni dünyada verimli enerji kullanımı ülkelerin vazgeçilmez bir politikası olmuştur. Gerek evsel gerek endüstriyel enerjinin ihtiyaç duyulduğu tüm uygulama alanlarında verimlilik artışı ve daha düşük enerji tüketimi yönündeki çalışmalar gelişen teknolojiye paralel olarak günden güne artmaktadır. Isı transferinin iyileştirilmesi de yapılan bu çalışmalar içerisinde yer almakta olup, enerjiyi verimli bir şekilde kullanmanın yollarından birisidir. Isı transferi uygulamalarında araştırmacıların en büyük hedefi, cisimler arasındaki ısı transferini verimli bir şekilde gerçekleştirmektir. Bu doğrultuda, ısı transfer yüzey alanını arttırmak, ısı transferinin gerçekleştiği yüzeyde kanatçıklar kullanmak, ısı transfer yüzeyinin üzerine yapay pürüzler eklemek [1] gibi pek çok uygulamalar yapılabilmektedir. Ancak bu uygulamalar ile ısı transferi iyileşmesi sınırlı kalabilmektedir. Sistemin yüzey alanının artırılması, boyutunun büyümesi anlamına gelmektedir. Bu durum sistemin maliyetini arttırmaktadır. Diğer taraftan, birçok ısıtma ve soğutma uygulamalarında su, yağ, etilen glikol gibi geleneksel ısı transfer akışkanları kullanılmaktadır. Bu sıvılar sayesinde ısı sisteme aktarılmakta ve akışkanların özelliklerine bağlı olarak ısı transfer hızı ve dolayısıyla da ısı transferi verimliliği farklılık gösterebilmektedir. Bu durumdan yola çıkarak, ısı transferinin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amacıyla, endüstride kullanılan baz akışkanlarına, termofiziksel özellikler bakımından daha üstün olan metal ya da metal olmayan partiküllerin eklenmesi ile daha verimli ısı transfer özelliklerine sahip bir karışım elde edilmesi düşünülmüştür. Bu amaçla, mikrometre ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$) ya da daha büyük boyutta partiküllerin baz akışkanlara ilave edilmesi denenmiş, ancak baz akışkana ilave edilen mikro partiküller, akışın gerçekleştiği kanallarda tıkanma ve aşınma gibi olumsuz durumlara neden olmuştur [2]. Mikro partiküllerin hedeflenen ısı transferi iyileşmesini sağlayamaması sonucunda, bu konu üzerindeki çalışmalar devam etmiş ve nanometre ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) boyutundaki partiküllerin baz akışkanlarına ilavesi gündeme gelmiştir. Nanoakışkan

terimi, ilk olarak Stephen U. S. Choi ve arkadaşları tarafından Argonne Ulusal Laboratuvarı, ABD’de yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Choi ve Eastman’ın çalışmasında nanoakışkanlar; “nano boyutta metalik partiküllerin, su, etilen glikol (EG) veya motor yağı (EO) gibi endüstriyel baz akışkanları içerisinde homojen olarak karıştırılarak oluşturulmuş, yaklaşık 10 nm çapında metalik partiküller içeren ve günümüzde kullanılan, yüksek ısı transfer özelliğine sahip yeni akışkanlar” olarak adlandırılmışlardır [3].

Nanoakışkan ile ilgili gerek deneysel gerekse teorik olarak yapılan birçok çalışmada akışkanın termofiziksel özelliklerinde iyileşme ve dolayısıyla ısı transferinde önemli miktarlarda artışlar elde edilebildiği görülebilmektedir [4-6]. Nanoakışkanlar ile ısı iletkenlikte elde edilen artış konularında yapılan çalışmalar kapsamlı bir derleme makalesinde [4] incelenmiştir.

Üstün ısı transferi özellikleri sayesinde nanoakışkanların doğal taşınım ile ısı transferi üzerindeki etkileri de önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bir akışkan, farklı sıcaklıktaki bir yüzey ile temasa geçtiğinde, akışkan içerisinde sıcaklık farkları meydana gelir. Sıcaklığı fazla olan akışkan zerreleri yoğunluğu azaldığından yukarıya doğru, sıcaklığı az olan akışkan zerreleri ise yoğunluğu arttığından dolayı aşağıya doğru hareket etmeye başlar. Akışkan içerisindeki sıcaklık farklarının sonucu olarak, akışkanın yoğunluğundaki değişimin meydana getirdiği bu hareket doğal taşınım olarak ifade edilir. Doğal taşınım; güneş enerjisi sistemleri, kapalı ortamlarda ısı konforun sağlanması, HVAC sistemleri, elektronik cihazların ve nükleer reaktörlerin soğutulması gibi birçok uygulama alanlarında kullanım potansiyeline sahip önemli bir konu niteliği taşımaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Maxwell' in öncülünde 1881 yılında ilk adımı atılan ve ısı transfer özelliklerini iyileştirmek için geleneksel ısı transferi akışkanlarına küçük boyutlarda katı partiküllerin eklenmesi yenilikçi bir fikir olarak ortaya çıkmıştır. Başlangıçta, mikrometre hatta milimetre boyutlu katı partiküller süspansiyon oluşturmak için baz akışkanlarına ilave edilmiştir. Böyle olunca, bu büyük boyutlu katı partiküller, mikro kanalların tıkanması, boru hatlarının aşınması ve pratik uygulamaları kısıtlayan basınç düşüşünün artması gibi istenmeyen sorunlara yol açmıştır. Aslında, sıvı süspansiyonlar başlarda yalnızca teorik bir ilgi alanı iken birtakım araştırmacılar tarafından yapılan uygulamalarda küçük iyileştirmeler göstermiştir. Partiküllerin boyutunun büyük olması ve küçük boyutlu partiküllerin imalatındaki zorluklar diğer sınırlayıcı faktörler olmuştur. Teknolojinin gelişmesi ile bu partiküllerin nano boyutlarda üretimi de mümkün hale gelmiştir. Üretilen bu nanopartiküllerin baz akışkanlar ile süspansiyonları oluşturularak birçok ısı transferi uygulama alanlarında kullanılma potansiyeli için deneysel ve teorik çalışmalar devam ettirilmektedir. Yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Nassan vd. [5] yaptıkları çalışmada kare kanal içindeki Al_2O_3/su ve CuO/su nanoakışkanların laminer akış koşullarındaki akış ve ısı transfer karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada nanoakışkanların suya göre ısı transferinin iyileştirildiği belirtilmiştir.

Öğüt vd. [6] kare kapalı ortamda Cu/su , CuO/su , Al_2O_3/su nanoakışkanlarını kullanarak yaptıkları doğal taşınım ile ilgili çalışmalarında Rayleigh sayısının artmasıyla ısı transfer oranının arttığını ve ayrıca, dalga sayısındaki artışla beraber ısı transfer miktarının önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir.

Rahmati ve Tahery [7] %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip TiO_2/su nanoakışkanı ile doldurulan engelli kare kapalı ortamda doğal taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal çalışmada Lattice Boltzmann Metodu 'nu kullanmışlar ve ısı transferinde engel genişliğini arttırmanın engeli tekrarlamaktan daha iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır.

Boualit vd. [8] farklı hacimsel konsantrasyon oranına ve farklı nanopartikül boyutuna sahip Cu/su nanoakışkan içeren kare kapalı ortamda doğal taşınım ile ısı transferini incelemişlerdir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı, nanopartikül boyutları ve fiziksel özelliklerini dikkate alarak ısı transfer performansı için teorik bir model önermişlerdir.

Sheremet ve Ioan [9] yaptıkları çalışmada Cu/su nanoakışkanı çeşitli konsantrasyonlarda kare kapalı ortamlara belirli açılar vererek laminar akışta doğal taşınımını incelemişlerdir. Çalışmada nanoakışkanın eğik gözenekli boşlukta doğal taşınım olayı sayısal olarak incelenmiş, sıcak ve soğuk yüzey arasındaki mesafe arttığında ısı transferinde iyileşmenin olduğu gözlemlenmiştir.

Solomon [10] yaptığı çalışmada Al_3O_2/su nanoakışkanını çeşitli konsantrasyon oranlarında kullanarak dikdörtgen şeklindeki kapalı ortamın en boy oranının (AR) ısı transferine ve Nusselt sayısına etkisini deneysel olarak incelemiş ve AR'nin Nusselt sayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Sheremet vd. [11] yaptıkları çalışmada farklı hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip Cu/su nanoakışkanı ile doldurulmuş bir kenarı dalgalı kare kapalı ortamda doğal taşınım problemini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında dalgalanma sayısının akışkan akışını etkilemediği, ısı transfer hızını ise önemli ölçüde değiştirdiğini gözlemlemişlerdir.

Sharifpur vd. [12] yaptıkları çalışmada, TiO_2/su nanoakışkanını 50 nm partikül boyutunda %0 ile %0,9 arasında değişen nanopartikül konsantrasyon oranlarında kare şeklinde kapalı bir hacimde doğal taşınımını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda

optimum hacimsel konsantrasyon oranının, maksimum %8,2'lik bir ısı transferi artışı ile %0,05 olduğunu tespit etmişlerdir.

Bondarenko vd. [13] yaptıkları çalışmada Al_3O_2 /su nanoakışkan ile doldurulan kare kapalı ortamda doğal taşınım ile ısı transferini incelemişlerdir. Çalışmada nanopartikül konsantrasyonunun, ısı kaynağı konumunun ve iç ısı üretim akısının doğal taşınım üzerine etkileri incelenen parametreler arasında yer almıştır. Nanopartiküller, dikey soğuk duvarın yanına yönlendirildiğinde soğutma işleminin daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Ghodsinezhad vd. [14] farklı hacimsel konsantrasyonlara sahip Al_2O_3 /su nanoakışkanının dikdörtgen kapalı bir ortamda ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Nanopartiküllerin artan konsantrasyonun, optimum %15 oranında bir değere kadar ısı transfer katsayısını arttırdığını, %0,1 hacimsel konsantrasyondan sonra nanopartiküllerin konsantrasyonunun daha da artması doğal taşınım ile ısı transferini katsayısını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.

Ho vd. [15] 33 nm partikül boyutunda olan Al_2O_3 /su nanoakışkanını dikdörtgen kapalı ortamda çeşitli konsantrasyonlarda laminer akışta nanoakışkanın doğal taşınım üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. %100 saf su ile karşılaştırıldığında ısı transferine %18 oranında iyileşme sağladığını gözlemlemişlerdir.

Solomon vd. [16] %60 Etilen glikol %40 su baz akışkanına 30 nm partikül boyutundaki Al_2O_3 'i çeşitli hacimsel konsantrasyon oranlarında doldurulan kare kapalı ortamda doğal taşınımı incelemişlerdir. %0,05'lik konsantrasyon hariç diğer konsantrasyon oranlarında ısı transfer özelliği bozulurken, %0,05 konsantrasyonda ısı transfer özelliğinin arttığını ve bu artışın baz akışkana kıyasla maksimum %10 yükseldiğini gözlemlemişlerdir.

Hashim vd. [17] Al_2O_3 /su nanoakışkanı kullanarak iki kenarı dalgalı olan kare kapalı ortamda doğal taşınım ile ısı transferini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre; kapalı ortam içindeki ısı transferini en üst düzeyde artırma yolunun nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyon oranlarının yanı

sıra en uygun seçimin dalga sayısının dahil edilmesiyle elde edilebileceğini önermişlerdir.

Siavashi vd. [18] Cu/su nanoakışkanını farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında gözenekli yüzgeçler dizisi olan bir kare şeklindeki kapalı ortamda yüzgeçlerin doğal taşınım üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Gözenekli yüzgeçlerin iletimi iyileştirildiğini, akış geçerken konveksiyon üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Nu üzerinde ise düşük nanopartikül konsantrasyon oranının ısı transferini yüksek hızdan daha fazla arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Fontes vd. [19] kare şeklindeki kapalı bir ortamda baz akışkan yağ kullanılarak elmas ve Cu nanopartikülleriyle yaptıkları sayısal çalışmada doğal taşınımı incelemişlerdir. Aynı Gr sayısında Cu-yağ nanoakışkanı saf yağ ile karşılaştırdıklarında nanoakışkanın sadece Nu sayısında artış sağladığını gözlemlemişlerdir. Aynı Gr sayısında yağ ile nanoakışkan arasındaki taşınım verimliliği karşılaştırıldığında nanoakışkanın daha iyi karakterlere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Alsabery vd. [20] 33 nm boyutunda olan Al_2O_3 nanopartiküllerini suyu baz akışkan kullanarak ortasında katı blok bulunan kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı, Rayleigh sayısı, katı bloğun ısı iletkenliği, (epoksi: 0.28, tuğla işi: 0.76, granit: 1.95, katı kaya: 7, paslanmaz çelik: 16) ve boyutsuz katı blok kalınlığı gibi parametrelerin doğal taşınım üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Rashidi vd. [21] yaptıkları çalışmada 47 nm boyunda olan Al_2O_3 partikülleri kullanarak Al_2O_3 /su nanoakışkanını oluşturmuşlar, farklı hacimsel konsantrasyonlarda dikdörtgen şeklindeki kapalı bir ortamda sayısal olarak doğal taşınımı incelemişlerdir. Farklı Rayleigh sayılarında, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarında ve en boy oranlarında Nusselt sayısının maksimize edildiği ısı akısı profilini belirlemişlerdir.

Garoosi vd. [22] 25 nm boyutunda olan Cu, 85 nm boyutunda olan Al_2O_3 ve 145 nm boyunda olan TiO_2 nanopartiküllerini farklı hacimsel konsantrasyonlarda kullanarak kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir.

Yaptıkları çalışmada her Rayleigh sayısı için nanopartiküllerin optimal hacim konsantrasyon oranının olduğunu ifade etmişler ve maksimum ısı transfer hızının düşük Rayleigh sayılarında gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Wen vd. [23] 40 nm boyutundaki nanopartikülleri su baz akışkanına ilave ederek %1-%7 arasında konsantrasyon oranlarında 2 alüminyum plaka arasında doğal taşınımı incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, artan nanopartikül konsantrasyon oranı ile ısı transferinde de sistematik bir artış olduğunu belirtmişlerdir.

Peterson vd. [24] Al₂O₃ nanopartiküllerini farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında baz akışkan su ile oluşturdukları nanoakışkanları kullanarak dikdörtgen şeklinde kapalı bir ortamda doğal taşınımı incelemişlerdir. Çalışmalarında nanopartikül konsantrasyon oranının artmasıyla ısı transfer katsayısında iyileşme olduğunu ifade etmişlerdir.

Akçaoğlu vd. [25] Cu/su ve Al₂O₃/su nanoakışkanlarını kullanarak %0-%1 arasında farklı nanopartikül konsantrasyon oranlarında bölmeli kare şeklindeki kapalı bir ortamda laminar akışta doğal taşınımı incelemişlerdir. Rayleigh sayısındaki artışın ortam içerisindeki devridaimi şiddetlendirerek doğal taşınımı etkin kılmakta olduğunu ifade etmişlerdir.

Tang vd. [26] 20 nm boyutundaki Ag, CuO, TiO₂, Al₂O₃ nanopartiküllerini %0-%1 arasında çeşitli hacimsel konsantrasyon oranlarında bir kenarı dalgalı kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Dış duvarın sinüzoidal genliği, iç ve dış duvarlar arasındaki faz sapması yüzey ısı transfer katsayısı üzerinde önemli etkilere sahip olduğu gözlemlemişlerdir. Nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranları arttıkça ısı transfer katsayısının da arttığını ve Rayleigh sayısının artmasıyla da kütle akış hızı büyük ölçüde arttığını belirtmişlerdir.

Armaghani vd. [27] Al₂O₃ nanopartikülünü su baz akışkanında kullanarak %0-%1 arasında çeşitli konsantrasyonlarda bölme uzunluğu uzatılmış L şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı incelemişlerdir. Artan en boy oranının ısı transferini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Nanoakışkanın konsantrasyon oranı arttıkça, Nusselt sayısının da

arttığını ve bölme uzunluğunun artırılması nanoakışkanın soğutma boşluğu üzerinde daha az etkiye neden olduğunu, bunun sonucunda ısı transferini yükselttiğini gözlemlemişlerdir.

Meng vd. [28] Al_2O_3/su nanoakışkanını %0,64 hacimsel konsantrasyon oranında kare şeklindeki kapalı bir ortamda laminer akışta doğal taşınımı incelemişlerdir. Çalışmalarında %0,64 Al_2O_3/su nanoakışkanının saf sudan daha yüksek ortalama Nusselt sayısına sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Izadi vd. [29] MWCNT- Fe_3O_4/su hibrit nanoakışkanını %0 ve %0,03 hacimsel konsantrasyon oranlarında \perp şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı incelemişlerdir. Çalışmalarında nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranının artırılması, ısı kaynağının en boy oranının artırılması ve sınır tabaka kalınlığının azaltılması gibi işlemlerle daha iyi bir soğutma ile gerçekleştiğini gözlemişlerdir.

Soltanipour vd. [30] 33 nm boyutundaki nanopartiküllerini %0 ile %0,04 arasında farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı eğim açıları, değişen Rayleigh sayısı ve nanopartikül hacimsel konsantrasyonunun oranı gibi parametreleri değerlendirmişlerdir. Eğim açısı arttıkça, ortalama Nusselt sayısında ve ısı transferi geliştirme yüzdesinde bir iyileşme olmayıp sabit kaldığını gözlemlemişlerdir.

Siavashi vd. [31] 25 nm boyutundaki Al_2O_3 nanopartiküllerini %0,00 ile %0,05 hacimsel konsantrasyonları arasında daire şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında ısı iletkenlik oranının 16 olduğu durum için gözenekli boşluk tavsiye edilmiş ve ısı iletkenlik oranının 4 olduğu durum içinde uygun gözenekli tabaka kalınlığının seçilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Bhuiyana vd. [32] Cu/su , Ag/su , Al_2O_3/su ve TiO_2/su nanoakışkanlarını %0 ile %0,25 hacimsel konsantrasyon oranlarında kullanarak kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınımı incelemişlerdir. Çalışmada bütün Rayleigh sayılarında nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyon oranlarının artması ile ısı transferinde iyileşme gerçekleşmiştir.

Moghadassi vd. [33] yaptıkları çalışmada Al_2O_3/su ve Al_2O_3-Cu/su hibrit nanoakışkanlarını %0,1 hacimsel konsantrasyon oranında kullanarak dairesel bir tüpte nanoakışkan ve hibrit nanoakışkanın ısı transferine etkisini incelemişleridir. Çalışmalarında ortalama Nusselt sayısında tekil ve hibrit nanoakışkan su ile karşılaştırıldığında sırasıyla %4,73 ve %13,46'lık bir artış gerçekleştiği görülmüştür.

Giwa vd. [34] yaptıkları çalışmada $Al_2O_3/MWCNT$ nanopartiküllerini %1 hacimsel konsantrasyonda çeşitli yüzde ağırlık oranlarında (80:20, 60:40, 40:60, 20:80) kullanarak hibrit nanoakışkanın doğal taşınım etkilerini kare şeklindeki kapalı bir ortamda sayısal olarak incelemişlerdir. Hibrit nanoakışkan yüzde ağırlık oranının 60:40 olduğu durumda en yüksek ortalama Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısının elde edildiği ve hibrit nanoakışkanın ısı transferine katkı sağladığını gözlemlemişlerdir.

Çağatay vd. [35] yaptıkları kare şeklindeki kapalı bir ortamda Al_2O_3/su , SiO_2/su nanoakışkanlarını kullanarak doğal taşınımı sayısal olarak incelemiş ve hibrit nanoakışkanlarının tekil nanoakışkanlara kıyasla ısı transferinde daha etkili olabileceklerini ifade etmişlerdir.

Zufar vd. [36] yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmada ısı borusunda ağırlıkça %1 hacimsel konsantrasyon oranında SiO_2/CuO ve %1 Al_2O_3/CuO hibrit nanoakışkanlarını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, SiO_2/CuO hibrit nanoakışkanında ısıl direncin en düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sahu vd. [37] yaptıkları çalışmada sol dik kenarı ısıtılan üst yatay kenarı soğutulan kare şeklindeki kapalı bir ortamda %1 hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip Al_2O_3-Ag/su , Al_2O_3-Cu/su , $Al_2O_3-TiO_2/su$, Al_2O_3-CNT/su , $Al_2O_3-Graphene/su$ hibrit nanoakışkanlarını kullanarak nanoakışkanların enerji-ekserji performansını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda hibrit nanoakışkanlarının enerji-ekserji performansının sudan daha yüksek olduğunu, akış hızındaki maksimum artışın Al_2O_3-Ag/su hibrit nanoakışkanın kullanıldığı durumda gerçekleştiğini, $Al_2O_3-Graphene/su$ hibrit nanoakışkanın ise ısı transferi etkinliğinde en yüksek artışa (%25,4) sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Jin vd. [38] yaptıkları çalışmada Fe_3O_4 , Cu ve Au nanopartiküllerini farklı konsantrasyon oranlarında kullanarak hibrit nanoakışkanlar hazırlamışlar ve doğrudan emilime dayalı güneş foto termal dönüşüm performansını arttırmak için nanoakışkanları karakterize etmeye çalışmışlardır. Çalışmada foto termal dönüşüm verimliliğini tahmin etmek için sayısal bir yöntem önerilmiş, hibrit nanoakışkanlar ile güneş foto termal dönüşümünün arttırılabileceği ileri sürmüştür.

Yapılan bu çalışmada tekil (Al_2O_3/su) ve hibrit nanoakışkan ($Al_2O_3-SiO_2/su$) içeren kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınım ile ısı transferi problemi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlene yapabilen COMSOL MULTIPHYSIC yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada; nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı, Rayleigh sayısı ve hibrit nanoakışkan kullanımı gibi parametrelerin kapalı ortamdaki akım çizgileri, sıcaklık dağılımı, ortalama ve yerel Nusselt sayıları gibi akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 3

NANOAKIŞKANLAR

Isı transferinin iyileşmesi yönünde yapılan çalışmaların temel nedeni enerjinin ve enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasıdır. Son yıllarda araştırmacılar ısı transferi iyileştirmesi konusunda yeni yöntemler geliştirmektedir. Bu yeni yöntemlerin en iyi örneği su, yağ ve etilen glikol gibi geleneksel ısı transferi akışkanlarının içerisine nano boyutta (<100 nm) metal ve metal oksit partiküllerin ilave edilmesidir. Bu iyileştirme, metal partiküllerin ısı iletim katsayısının temel akışkanın ısı iletim katsayısından daha fazla olması sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Oksit seramik, nitrür seramik, karbür seramik, metal, yarı iletkenler ve karbon nanotüpler veya nanopartikül çekirdekli-polimer kabuklu kompozitler gibi birçok değişik nanopartikül türleri kullanılmaktadır. Günümüzde, nanoakışkanların kullanımı baz akışkanların ısıl özellikleri üzerinde gözle görülebilir iyileştirmeler sağlamaktadır [39]. Nanoakışkanlar, baz akışkan ve nanopartiküllerin homojen dağılımından oluşan akışkanlardır. Uygulanan nanopartiküller, saf metaller (Au, Ag, Cu, Fe), metal oksitler (CuO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, Fe₃O₄), karbürler (SiC, TiC) ve nitrürler (AlN, SiN) şeklinde sınıflandırılabilir. Baz akışkan olarak da genellikle su, etilen glikol ve yağ gibi geleneksel ısı transfer akışkanları kullanılır. Genellikle nanopartiküller 1 ile 100 nm çap aralığındaki partiküllerdir. Etkin bir ısı transfer iyileştirmesi elde edebilmek için, nanoakışkanlar yaygın olarak hacimce %5'e kadar nanopartikül içerirler. Üstün ısı transfer özellikleri sayesinde mühendislik uygulamalarında nanoakışkanlarla ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Isıl iletkenliği ve baz akışkanın özellikleri üzerinden taşınım özelliklerini iyileştirirler. Nanoakışkanlar, sergiledikleri bu üstün ısı transfer özellikleri ile araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Deneysel çalışmalar bu üstün özelliklerin temel akışkanın ve nanopartikülün ısı iletim katsayısına, partikül hacimsel konsantrasyonuna, partikül boyutuna ve şekline ve nanoakışkan sıcaklığına bağlı olduğunu göstermiştir.

Artan ısı transferinin temel sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Asılı haldeki nanopartiküller akışkanın yüzey alanını artırır.
- Asılı haldeki nanopartiküller akışkanın ısı iletim katsayısını artırır.
- Partiküller arası etkileşim güçlenir.
- Akışkanın türbülansı ve karışım etkileri yoğunlaşır.
- Asılı haldeki nano partiküller akışkanın enine sıcaklık gradyanını düzleştirir.

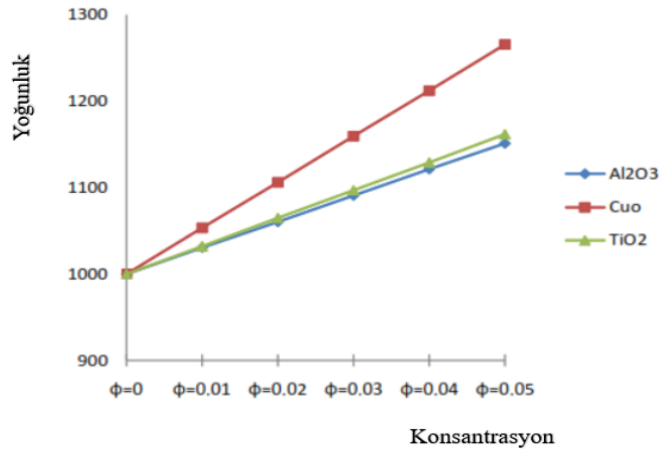
Araştırmacılar tarafından nanoakışkanların ısı transfer davranışlarını belirlemek için yapılan teorik çalışmalarda iki temel yaklaşım kullanılmıştır. Birincisi “iki-faz yaklaşımı”dır ve bu yaklaşımla ısı transferi analizinde sıvı ve katı fazı ayrı olarak hesaba katılır. İkincisi ise “tek-faz yaklaşımı”dır ve sıvı ve katı partiküllerinin ısı dengede olduğu ve aynı hızla hareket ettikleri varsayımına dayanır. Nanoakışkanlar iki-faz karışımı olmalarına rağmen, nanopartiküllerin ultra küçük olmaları nedeniyle bir katı-sıvı karışımından ziyade daha çok bir akışkan gibi davranırlar. Bu nedenle, katı partiküllerin ultra küçük ve düşük konsantrasyonları dikkate alınarak, nanoakışkanlar belirli şartlarda tek fazlı akışkan olarak değerlendirilebilir. Tek-faz yaklaşımı daha basittir ve daha az hesaplama gerektirir.

3.1. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Isıl sistemlerin akış ve ısı transferi performansına göre akışkanların en önemli termofiziksel özellikleri; yoğunluk, özgül ısı, ısı iletkenlik ve viskozitedir. Bu nedenle, baz akışkan ile karşılaştırıldığında nanoakışkanların termofiziksel özelliklerindeki değişimlerin nanoakışkanların ısı transferi sistemlerinde kullanılmadan önce belirlenmesine ihtiyaç vardır. Nanoakışkanların yoğunluk ve özgül ısı, geleneksel katı-sıvı karışımlarına uygulanabilen karışım modeline göre elde edilebilir. Ancak, nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozitesindeki değişimler karmaşıktır ve üzerinde çalışılması gereklidir.

3.1.1. Yoğunluk

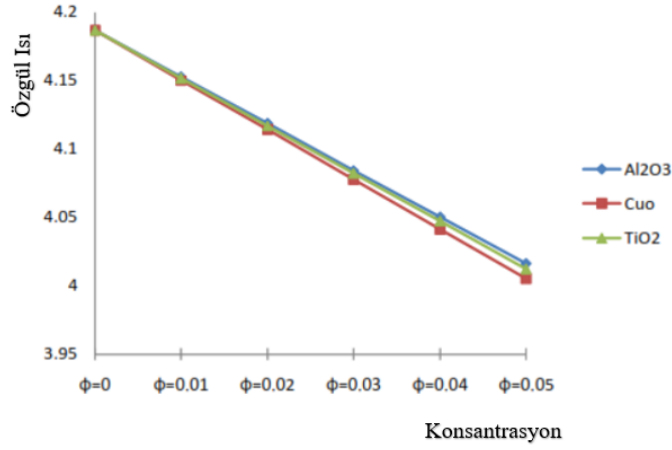
Nanoakışkanların yoğunluğu, geleneksel katı-sıvı karışımlarına uygulanabilen karışım modeline göre elde edilebilir. Örneğin, baz akışkana eklenen nanopartikül Şekil 3.1’de görüldüğü gibi nanoakışkanların yoğunluğunu arttırma eğilimindedir. Nanoakışkanın yoğunluğu eklenen partikülün yoğunluğuna göre değişim göstermektedir.



Şekil 3.1. Konsantrasyon oranının nanoakışkan yoğunluğuna etkisi [39].

3.1.2. Özgül Isı

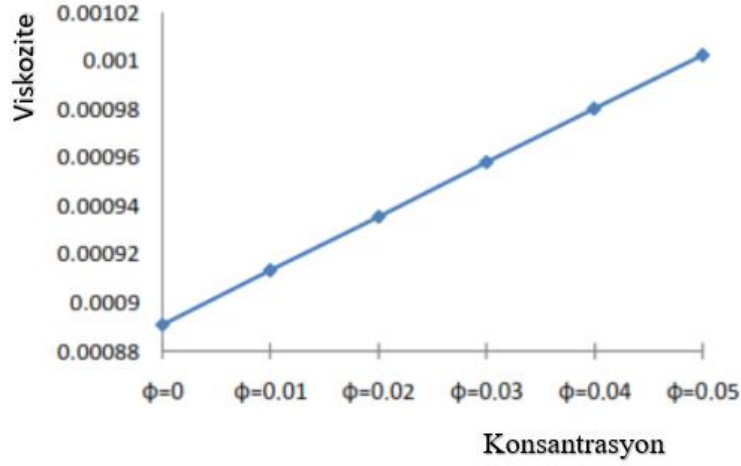
Özgül ısı, bir maddenin bir birim kütesinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gereken enerji olarak ifade edilebilir. Bu açıklamaya göre, kütlelerin sıcaklıklarını bir derece yükseltmek için farklı miktarda ısı enerjisine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Nanoakışkanlar için daha düşük özgül ısı değeri için, sıcaklığını yükselterek daha az enerji tüketmesi anlamına gelmektedir [40]. Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi özgül ısı değerinin, nanopartiküllerin artan hacimsel konsantrasyonlarıyla birlikte düştüğü ve artan sıcaklık değeriyle yükseldiği yapılan deneylerde gözlenmektedir.



Şekil 3.2. Konsantrasyon oranının nanoakışkanın özgül ısısına etkisi [39].

3.1.3. Viskozite

Kıvamlılık, akarlık ya da viskozite, bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Akışkanların viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişir. Sıcaklık arttıkça viskozite değeri azalır, sıcaklık azaldıkça ise viskozite değeri artar. Viskozite terimi, sıvıdaki iç sürtünmenin büyüklüğünü karakterize etmek için sıvı akışında sıkça kullanılır. Bu iç sürtünme ya da viskoz kuvveti, birbirine göre hareket eden iki komşu sıvı tabakasının karşılaştığı dirençle ortaya çıkar. Viskozluk sebebiyle sıvının kinetik enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Laminer akışta, basınç düşüşü doğrudan viskozite ile orantılıdır. Taşınım ile ısı transfer katsayısı viskoziteden etkilenmektedir. Viskozite nanoakışkanlarda taşınım ile ısı transferini iyileştirmekte kullanılan en önemli faktördür. Partiküller ve akışkanlar ile oluşturulan karışımların viskozitesini elde etmek için yapılan araştırmalar, aynı karışımların ısı iletkenlik katsayılarını bulmak için yapılan araştırmalardan daha eskiye dayanmaktadır. Nanoakışkanların viskozitesi, zorlanmış taşınım da basınç düşüşünü doğrudan etkilemesi nedeniyle pratikteki uygulamalarda önemli bir parametredir. Nanoakışkanlarda da hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça viskozitenin arttığı yapılan çalışmalarda görülmektedir (Şekil 3.3).

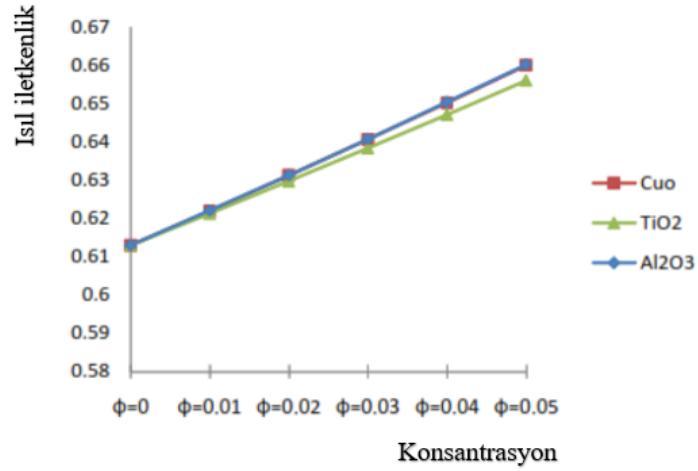


Şekil 3.3. Konsantrasyon oranının nanoakışkanın viskozitesine etkisi [39].

Ferrouillat vd. tarafından yapılan çalışmada nanopartikül şeklinin ve sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada sıcaklığın her durumda viskoziteyi düşürdüğü gözlemlenmiştir [41]. Farklı temel akışkanlar ve farklı boyutlardaki Al_2O_3 nanopartikülleri kullanılarak oluşturulan nanoakışkanların hacimsel konsantrasyon oranı arttığında viskozite üzerinde nasıl bir etki yaptığı Mahbulbul vd. [42] tarafından araştırılmıştır. Çalışmada tüm nanopartikül boyutlarında ve tüm baz akışkan türlerinde hacim oranının artışı viskoziteyi arttırdığını gözlemlenmiştir.

3.1.4. Isıl İletkenlik

Isıl iletkenlik, akışkanın ısı transfer performansının iyileştirilmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Katı metallerin geleneksel ısı transferi akışkanlarından daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu bilinmektedir. Akışkanların ısı iletim ve ısı transfer katsayılarını arttırmak için bu akışkanlardan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan, bu partiküllerin belirli oranda ilave edilmesiyle sağlanmaktadır. Nanoakışkanların ısı iletkenliği birden fazla değişkene bağlıdır. Bunlar; Şekil 3.5'te görüldüğü gibi baz akışkanın ısı iletkenliği, nanopartiküllerin ısı iletkenliği, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı, nanopartiküllerin boyutu, nanopartiküllerin şekli, pH 'ın etkisi ve sıcaklık olarak sayılabilir. Şekil 3.4'te de görüldüğü gibi ilave edilen partikülün termofiziksel özelliklerine göre nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır.



Şekil 3.4. Konsantrasyon oranının nanoakışkanın ısıl iletkenliğine etkisi [39].

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri arasında, ısıl iletkenlik birçok uygulama için en önemlilerinden biridir. Isı transferi akışkanlarına nanopartiküllerin homojen olarak ilave edilmesiyle baz akışkanın ısı transferi performansında önemli ölçüde iyileşme görülebilir. Böyle bir artışın ana nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [43];

- Eklenen nanopartiküller ısı transferi yüzey alanını artırır.
- Akışkanın ısıl iletkenliği artar.
- Partikül ve akışkan arası çarpışma sonucu etkileşim yoğunlaşır.
- Karışma miktarı ve akışkanın türbülansı artar.
- Nanopartiküllerin dağılımı, akışkanın enine doğru olan sıcaklık değişimini düzleştirerek akışkan ve yüzey arasındaki sıcaklığın birbirine yaklaşmasını sağlar.



Şekil 3.5. Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin bağılı olduğu parametreler [44].

Nanoteknolojideki gelişmeler minyatürleşmeye yol açmış yeni ve yenilikçiye olan ihtiyacı garanti eden işletme hızları, gelişmiş performansa sahip soğutma konseptlerini arttırmıştır. Geleneksel ısı transfer akışkanlarının düşük ısı iletkenliği (k) mühendislik performansının ve kompaktlığın geliştirilmesinde sınırlı kalmıştır. Metalik katıların daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu gerçeğini göz önüne alarak oluşturulan nanoakışkanlardan daha verimli ısı transferi sağlaması beklenmektedir [45]. Son yıllarda nanoteknolojideki gelişmeler istenilen boyuttaki nanopartikülleri sentezlemek, morfoloji ve fonksiyonlandırma gibi işlemleri mümkün kılmıştır. Bakırın ilk olarak düşük konsantrasyonda geleneksel baz akışkanlarına katılarak elde edilen nanoakışkanın ısı transferini iyileştirmesinin ardından nanoakışkanlar yoğun bir ilgi çekmiştir [46]. Bu konuda yapılan araştırmalara bakıldığında nanoakışkanın ısı iletkenliğini, konsantrasyon oranına, nanopartikül boyutuna, nanopartikülün şekline, nanopartikülün ısı iletimine, baz akışkana, nanoakışkan sıcaklığına ve hazırlık tekniğine bağılı olduğunu göstermektedir.

3.1.4.1. Konsantrasyon Etkisi

Literatürdeki çalışmalar artan nanopartikül konsantrasyon oranının ısı transferinde iyileştirme gerçekleştirdiğini göstermektedir. Artan konsantrasyon oranı nanoakışkanın ısı iletkenliğini arttırdığından baz akışkana göre ortalama Nusselt sayısına bir katkı sağlamaktadır. Ögüt vd. [6] tarafından yapılan çalışmada Cu, CuO ve Al₂O₃ nanopartikülleri için %0, %5 ve %10 konsantrasyon oranları için ortalama

Nusselt sayılarında iyileşme gözlemlenmiştir. Benzer bir olgu Rahmati vd. [7] tarafından yapılan çalışmada TiO_2 için $Ra = 10^6$ değerinde %1-%6'ya kadar artan konsantrasyon değerleri için ortalama Nusselt sayılarının arttığını ifade edilmiştir. Boualit vd. [8] yaptıkları çalışmada Cu nanopartiküllerini kullanarak %1, %2 ve %3 hacimsel konsantrasyon oranlarında yerel ve ortalama Nusselt sayılarının arttığı gözlemlenmiştir.

3.1.4.2. Partikül Boyutunun Etkisi

Partikül boyutunun nanoakışkanların ısı iletkenliğe etkisi konusunda bazı farklı bulgular bulunmaktadır. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda nanopartikülün boyutu azaldığında ısı iletkenlik oranının arttığını [54-58] diğer çalışmalarda ise partikül boyutunun azalması durumunda ısı iletkenliğinin azaldığı [59-63] gözlemlenmiştir. Teng vd. tarafından yapılan bir çalışmada su baz akışkanına farklı üç partikül boyutlarında (20, 50 ve 100 nm) Al_2O_3 ilave edilmiş ve partikül boyutundaki azalmanın ısı iletkenlik oranına olumlu bir katkı sağladığı ifade edilmiştir [47]. Bir diğer çalışmada Al_2O_3 nanopartiküllerinin boyutundaki bir azalmada ısı iletkenlik oranlarında bir artış gözlemlenmiştir [48]. Baz akışkan olarak su ve etilen glikol kullanılan çalışmalarda Al_2Cu ve Ag_2Al nanopartiküllerinin boyutlarındaki azalma ısı iletkenlik oranlarında bir artışa neden olduğu ifade edilmiştir [66-67]. Son zamanlarda yapılan başka bir çalışmada SiC nanopartikülünün su baz akışkanına 16, 29, 66 ve 90 nm boyutlarında ilave edildiğinde partikül boyutundaki artışın ısı iletkenlik oranlarında iyileşme meydana getirdiğini ifade edilmiştir [49].

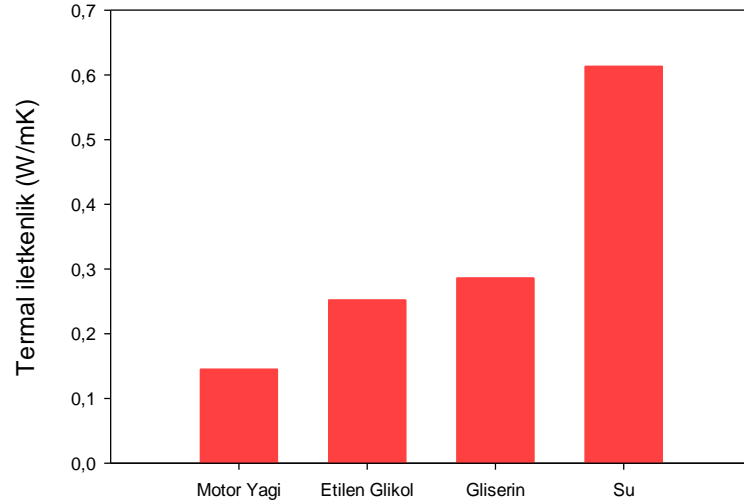
3.1.4.3. Sıcaklığın Etkisi

Baz akışkan olarak su ve etilen glikol, partikül olarak 80 nm boyutunda Cu kullanılan bir çalışmada sıcaklık arttırıldığında ısı iletkenlik oranında bir gelişme gözlemlenmiştir [48]. Yu vd. tarafından yapılan çalışmada etilen glikol baz akışkanına Cu nanopartikülü kullanılarak %0.5 konsantrasyon oranında sıcaklığı 10 °C 'den 50 °C'ye çıkartıldığında ısı iletkenlik oranında %8'den %46'ya kadar bir artış gözlemlenmiştir [50]. Nanopartikül olarak 80 nm boyutunda Al, baz akışkanı olarak da motor yağ kullanılan bir çalışmada sıcaklık artışı ile ısı iletkenlik oranlarında bir

artış meydana gelmiştir [51]. Baz akışkan olarak su kullanılan bir çalışmada %1.5 Al_2O_3 konsantrasyon oranında deney sıcaklığı 20 °C'den 40 °C'ye çıkartıldığında ısı iletkenlik oranında %4.6'lık bir gelişme gözlemlenmiştir [52].

3.1.4.4. Baz Akışkanın Etkisi

Literatürdeki çalışmalar Şekil 3.6'da gösterilen baz akışkanlarından ısı iletkenliğini yüksek bir baz akışkanı seçmenin nanoakışkan ısı iletkenlik oranında bir azalma meydana getirdiğini göstermektedir [53], [54], [55], [56]. Son yıllarda yapılan bir çalışmada Al_2O_3 nanopartikülünü ısı iletkenliği düşük olan baz akışkanda daha iyi bir ısı iletkenlik oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir [53]. Aynı konsantrasyon oranlarında Al_2O_3 için yapılan başka bir çalışmada da baz akışkan olarak su ve etilen glikol kullanıldığında etilen glikol- Al_2O_3 nanoakışkanının daha yüksek ısı iletkenlik oranına sahip olduğunu gözlemlenmiştir [54].



Şekil 3.6. Baz akışkanların termal iletkenlik katsayıları [55].

3.1.4.5. Partikülün Termofiziksel Özelliklerinin Etkisi

Literatürdeki çalışmalar nanopartikülün ısı iletkenliğindeki artışın nanoakışkan ısı iletkenlik oranında da bir iyileşme sağladığını göstermektedir [54], [55], [56], [57], [58]. Baz akışkanı olarak su, partikül olarak da Cu, CuO ve Al_2O_3 kullanılan bir çalışmada metalik partikül kullanılarak oluşturulan nanoakışkanların oksit partikül

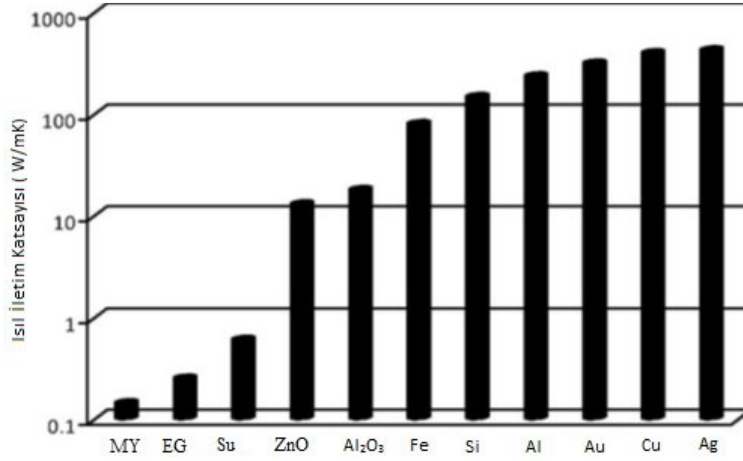
kullanılarak oluşturulan nanoakışkanlardan daha iyi ısı iletkenlik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir [48]. Al_2O_3 ve Cu nanopartikülleri kullanılan bir çalışmada daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olan Cu nanopartikülünün kullanıldığı nanoakışkanın daha yüksek bir ısı iletkenliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir [59]. Bazı akışkan olarak su, partikül olarak da CuO ve SiO_2 kullanılan bir çalışmada CuO kullanılan nanoakışkanda SiO_2 kullanılan nanoakışkandan daha iyi bir ısı iletkenlik oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir [58].

3.2. NANOAKIŞKANLAR

Nanoakışkanlar, eklenen nanopartiküllerin konsantrasyon oranına ve özelliklerine bağlı olarak şeffaf, yarı şeffaf veya opak olabilir. Nanoakışkanlar, kararlılıklarının artırılabilmesi için belli miktarlarda yüzey katkı maddeleri veya seyrelticiler içerebilirler. Nanopartiküller, hacim oranına göre büyük yüzey alanı, boyuta bağlı fiziksel özellikler, daha düşük parçacık momentumu, yüksek hareketlilik gibi eşsiz özelliklere sahiptirler. Aynı zamanda, büyük yüzey alanı nanopartikülleri bazı akışkanında daha iyi ve daha kararlı dağıtılmış bir süspansiyon oluşturmaktadır. Partiküller uygun şekilde karıştırıldıklarında aşağıdaki şu özelliklere sahip olmaktadır [60].

3.2.1. Yüksek Isı İletimi

Birim hacim başına nanopartiküllerin büyük yüzey alanı, katı parçacıklarla bazı akışkanları arasında daha fazla ısı transferinin meydana gelmesini sağlamaktadır. Nanopartiküllerin bir diğer avantajı, partiküllerin hareketliliğidir. Bu durum akışkanın mikro hareketliliğini oluşturan küçük boyuta bağlanabilir ki böylece ısı transferinde artış sağlanabilmektedir. Şekil 3.7’de bazı bazı akışkanlarının ve nanopartiküllerin ısı iletkenliklerini verilmiştir.



Şekil 3.7. Bazı akışkanların ve nanopartiküllerin ısıl iletkenlik değerleri (MY: Makina Yağı, EG: Etilen Glikol) [61].

3.2.2. Kararlılık

Partiküller küçük oldukları için hafiftirler ve çökelme şansları daha azdır. Bu azalan çökelme olasılığı, nanoakışkanı daha kararlı yapabilmektedir. Ayrıca, Brownian hareketi (bir sıvı içinde süspansiyon haline getirilmiş partiküllerin rastgele hareketi) nanoakışkanın kararlılığını artırabilmektedir.

3.3. NANOAKIŞKAN TİPLERİ

Nanoakışkanların oluşumunda kullanılan nanopartikül malzemeleri;

- Oksit seramikler (Al₂O₃, CuO, Cu₂O)
- Nitrür seramikler (AlN, SiN)
- Karbür seramikler (SiC, TiC)
- Metaller (Ag, Au, Cu, Fe)
- Yarı iletkenler (TiO₂)
- Tek, çift ve çok duvarlı karbonlar (SWCNT, DWCNT, NWCNT)
- Kompozit malzemeler (çekirdek-kabuk polimer nanopartikül kompozitler)

olarak sayılabilir. Buna ek olarak, sıvı parçacık ara yüzü çeşitli moleküller ile sertleştirilerek oluşturulan yeni malzemeler ve yapılar nano akışkan oluşumunda kullanılmaktadır.

Nano akışkan oluşumunda kullanılan bazı sıvılar yaygın olarak kullanılan ısı transferi sıvılarıdır. Bunlar; su, makine yağı, etilen glikol ve etanol benzeri sıvılardır.

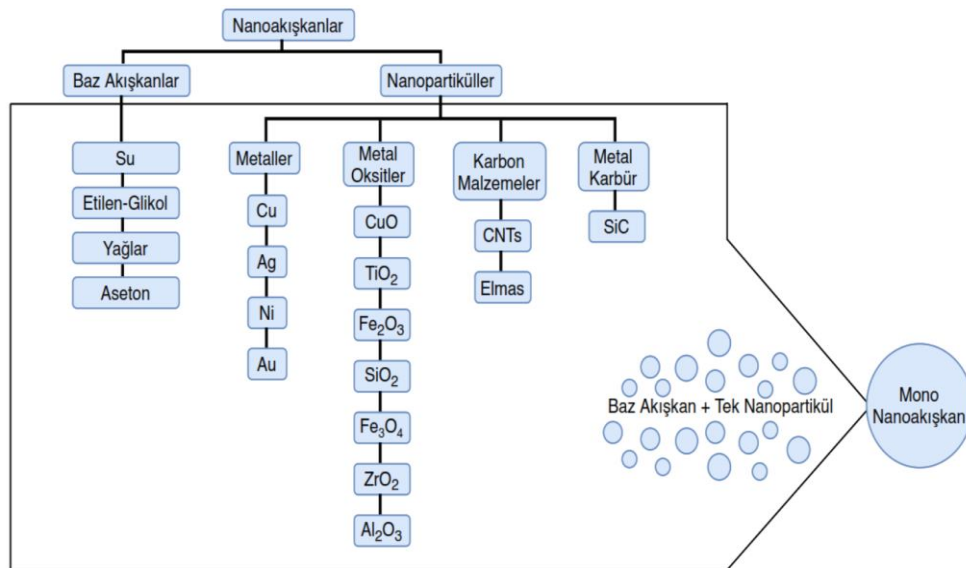
Genel olarak nanoakışkanları;

- Tekil nanoakışkanlar
- Hibrit nanoakışkanlar

olmak üzere iki grup altında inceleyebiliriz.

3.3.1. Tekil Nanoakışkanlar

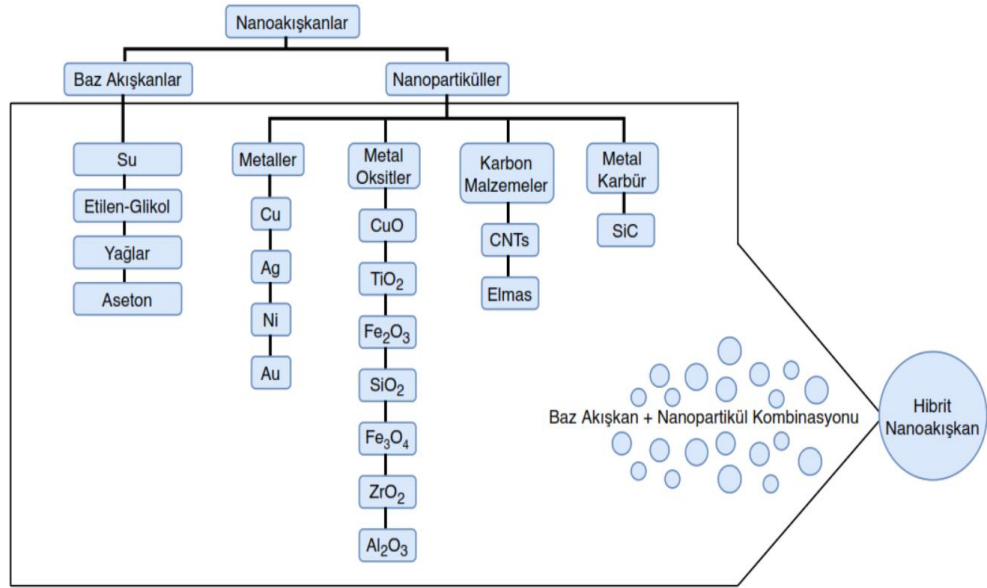
Tekil nanoakışkanlar herhangi bir baz akışkanına bir çeşit nanopartikülün ilave edilerek tek adım veya iki adım metotlarından birini kullanarak hazırlanan nanoakışkanlardır. Şekil 3.8’de gösterilen baz akışkanlardan biri ile nanopartiküllerden birinin birleşmesi ile oluşan nanoakışkanlar tekil nanoakışkan olarak adlandırılabilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Tekil (mono) nanoakışkanların oluşumu [62].

3.3.2. Hibrit Nanoakışkanlar

Hibrit nanoakışkanlar herhangi bir baz akışkanına birkaç çeşit nanopartikül kombinasyonunun ilave edilerek tek adım veya iki adım metotlarından birini kullanarak hazırlanan nanoakışkanlardır. Şekil 3.9’de gösterilen baz akışkanlardan biri ile nanopartikül kombinasyonlarından birkaçı ile birleşmesi sonucu oluşan nanoakışkanlara hibrit nanoakışkan olarak adlandırılabilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.9. Hibrit nanoakışkanların oluşumu [62].

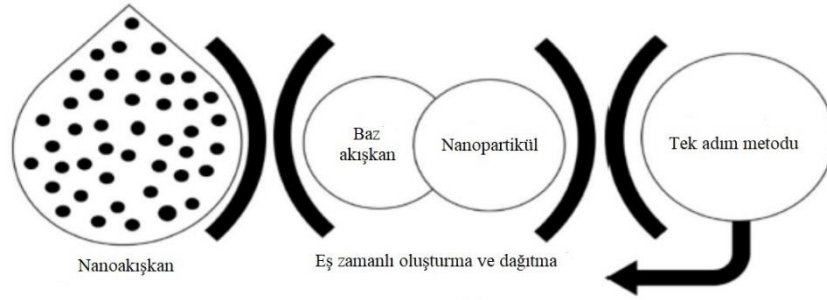
3.4. NANOAKIŞKANLARI HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ

Günümüzde nanoakışkanları üretebilmek için tek adım metodu ve iki adım metodu olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

3.4.1. Tek Adım Metodu

Tek adım metodu baz akışkan içerisinde nanopartiküllerin dağıtılması ile hazırlanan bir işlemdir [63]. Tek adımlı metot yönteminde nanopartiküller fiziksel buhar çöktürme tekniği (PVD) ile veya sıvı kimyasal yöntemi ile direkt hazırlandığı için nanoakışkanların sentezi ile nanopartiküllerin hazırlanmasını birleştiren bir prosestir.

Tek adımda, bu nanopartiküller, nanofiberlerden veya nanotüpler gibi nano malzemeler kuru toz formunda üretilmektedir [64]. Şekil 3.10'da tek adım metoduna ait şematik gösterim verilmiştir. Bu yöntemin dezavantajı sadece düşük buhar basınçlı akışkanlar ile uyumlu olması ve baz akışkan içinde hazırlandığından sadece küçük miktarlarda yığın halinde üretilmesidir.

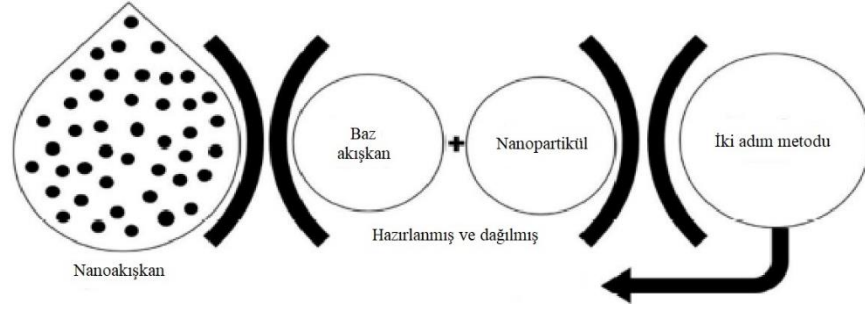


Şekil 3.10. Tek adım metodu şematik gösterim [65].

Diğer bir dezavantajı ise nano süspansiyonda, nanoakışkanların saflık ve özelliklerini etkileyen tamamlanmamış reaksiyondan dolayı reaktanın bir kısmının mevcut olmasıdır. Avantajı ise nanopartiküllerin saf ve daha düzgün boyutlara sahip olmasıdır.

3.4.2. İki Adım Metodu

İki adım metodunda önceden hazırlanmış olan nano partiküller baz akışkan içerisine uygun yöntemlerle karıştırılarak süspansiyon oluşturulur. Yoğun partiküllerin dağılmasını ve parçacıkların topaklaşmasını önlemek için ultrasonik ekipmanlar kullanılır. Şekil 3.11'da iki adım metoduna ait şematik gösterim verilmiştir. İki adımlı metodun en büyük avantajı, nanopartiküllerin büyük ve ucuz üretimlerini sağlayan endüstriyel bir yöntemle ayrı ayrı üretilmesidir. Tek adım metodu ile karşılaştırıldığında iki adım metodu metalik partiküller için daha az uygun olmasına karşın oksit nanopartiküller için iyi sonuç vermektedir. İki adımlı yöntem de oksit nanopartikülleri için uyumlu olsa da bakır gibi metal nanopartiküllerde olduğu kadar etkili değildir.



Şekil 3.11. İki adım metodu şematik gösterim [65].

Nanoakışkan hazırlama yöntemlerinin her ikisinde de nanopartiküllerin stabilizasyonu yüzey aktif maddelerinin kullanımına bağlıdır. Genellikle kullanılan yüzey aktif maddeler 60°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda önemli derecede bozulurlar ve bu olay ısı transfer ortamında nanoakışkanların kullanımına ciddi bir sınırlama getirmektedir [66].

3.5. NANOAKIŞKANLARIN UYGULAMA ALANLARI

Nanoakışkanların oluşturdukları üstün ısı transferi özellikleri sayesinde günümüzde kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Nanoakışkanların başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibi verilebilir;

3.5.1. Elektronik Uygulamalar

Günümüzde yüksek performansa sahip elektronik ekipmanlarda yüksek seviyede ısı akıları sorunlarıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu sistemlerin dizaynı ve geometrisi ısı transfer alanını kısıtlamaktadır. Bu durumu önlemek için nanoakışkanlı mikro kanal bir soğutucu tasarlanabilmektedir. Düzeneklerin soğutma sistemlerinde nanoakışkanlı mikro-kanal kullanımıyla, ısı transfer miktarı artmakta ve ekipman yüzey alanları küçülerek yeterli soğutma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Kılıç [67] tarafından yapılan çalışmada elektronik sistemlerin soğutulmasında nanoakışkan ve çarpan jetlerin ortak etkisini araştırmışlar ve elektronik sistemlerin soğutulmasında hacimsel konsantrasyon oranının %2 'den %8'e çıkartılmasında Nusselt sayısında %15,2'lik bir iyileşme tespit etmişlerdir. Kılınç vd. [68] tarafından yapılan çalışmada grafen tabanlı nanoakışkanı ile araç radyatörü soğutma performansını incelemişler ve hacimsel konsantrasyon

oranının %0,01 olduğu durumda soğutma performansında %6,9'lik bir iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir.

3.5.2. Ulaşım

Nanoakışkanlar yüksek ısı transferler kabiliyetleri sayesinde araçlarda bulunan motor soğutma sistemlerinde kullanılarak daha küçük ve daha hafif radyatör kullanımı sağlamaktadır. Araçlarda nanoakışkan kullanımı ekipmanların küçülmesine neden olur ve bu sayede araç ağırlığı azalarak, daha az yakıt tüketiminin gerçekleşmesine neden olur. Aynı soğutma kapasitesine sahip sistemlerde, nanoakışkan kullanımı ile yüksek beygir güçlü motorlardan daha fazla ısı atımı sağlamak için kullanılır. Argon Ulusal Laboratuvarında yapılan çalışmada, ulaşım için yüksek ısı iletim katsayısına sahip nanoakışkanların kullanılmasıyla radyatörün ön yüzey alanında küçülme meydana gelmektedir. Buna göre, radyatörlerde yüksek ısı iletim katsayılı nanoakışkanların kullanılması radyatörün ön yüzey alanı % 10' azaltılarak, aerodinamik sürtünmedeki azalma nedeniyle de yakıtta % 5 tasarruf sağlanmıştır [69].

3.5.3. Nükleer Reaktörlerin Soğutulması

Nanoakışkanlar nükleer reaktörlerin soğutulmasında büyük bir öneme sahiptir. Basınçlı su reaktörleri için temel reaktör soğutucusu olarak kullanılmaktadır ve ayrıca acil durum nükleer çekirdek soğutma sistemi olarak yedek güvenlik sistemi konusunda en iyi adaydır [70]. Uzun vd. [71] tarafından yapılan bir çalışmada VVER-100 nükleer reaktörünün soğutulmasında ve nükleer reaktörün ısıl verimini arttırmak amacıyla Al_2O_3 / su nanoakışkanını çeşitli hacimsel konsantrasyon oranlarında kullanarak reaktörün ısı iletiminde en verimli soğutucunun %0.1 hacimsel konsantrasyon oranındaki nanoakışkan olduğunu belirtmişlerdir.

3.5.4. Tıbbi Uygulamalar

Nanopartiküller gen ve kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Hastaların tedavi için gen taşıyan nanopartikül sistemleri kanserli hücrelere hedeflenmektedir. Nanoteknolojinin kanserde kullanımı, yarı iletken kuantum dotlar, altın nanopartikülleri ve demir oksit

nanopartikülleri gibi partiküller, diğer moleküllerde mevcut olmayan optik, manyetik ve yapısal özelliklere sahiptir. Monoklonal antikolar, peptidler ve küçük moleküller gibi tümöre hedeflendirilmiş ligandlarla bağlandığında, nanopartiküller kullanabilmektedir. Oylar ve Tekin [72] tarafından yapılan çalışmada kanser hastalığının teşhis ve tedavisinde nanoteknolojinin kullanım şekli ve yapılan uygulamalardan bahsedilmiştir.

3.5.5. Uzay ve Savunma

Uzay ve savunma alanlarında, güç gereksinimleri çok yoğun, elemanları ise küçük ve hafif olması istenir. Bu gibi durumlarda nanoakışkanların kullanımı oldukça elverişlidir. Askeri cihazlar çok yüksek seviyelerde soğutma akısı gerektirmektedir. Geleneksel akışkanlar bu sistemler için yetersiz kaldığından nanoakışkan kullanımı ile elverişli soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir.

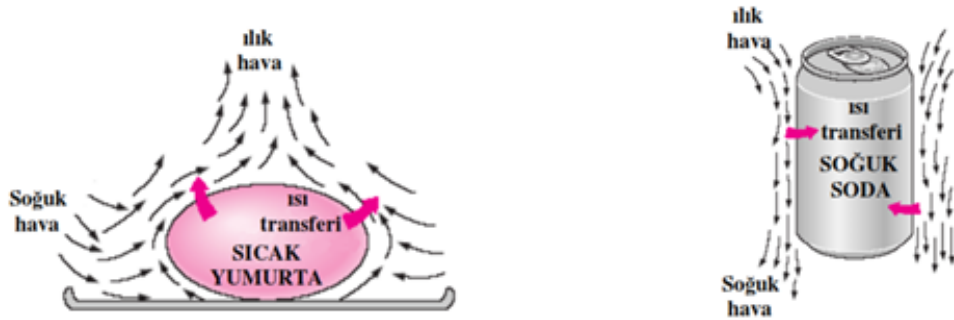
3.5.6. Enerji Uygulamaları

Enerji uygulamalarında nanoakışkan kullanımının nedeni; yüksek ısı iletkenliği ile ısı taşınımını artırması ve emicilik özelliğidir. Ayrıca yenilenebilir enerji alanında; güneş kolektörleri ve jeotermal enerji uygulamalarında nanoakışkan kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır [73]. Bununla birlikte; nanoakışkanlar, ısıtma ve soğutma uygulamalarının olduğu birçok mühendislik sistemlerinde kullanılarak ısı transferinde iyileştirme elde edilebilmektedir. Ayrıca ekipman boyutlarında önemli kazanımlar elde edilerek sistemlere ekonomik kazanç sağlamak ve yatırım maliyetleri düşürülmektedir. Örneğin bina ısıtma sistemlerindeki kullanılmaları ile küçülen ısıtma üniteleri daha az güç harcamakta, çalışma ömürleri boyunca daha az sıvı kullanarak daha az atık madde oluşturmakta ve böylece daha çevreci bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır.

BÖLÜM 4

DOĞAL TAŞINIM

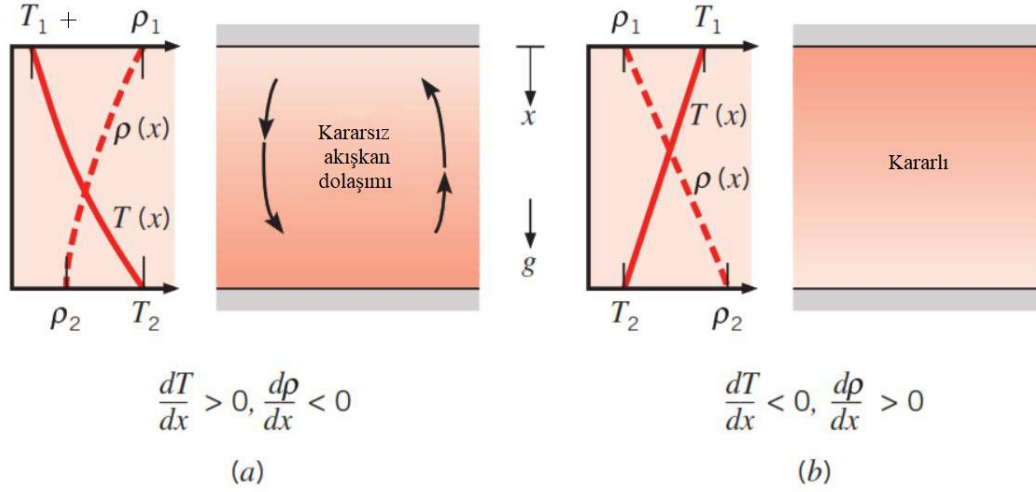
Doğal taşınım akışkan içindeki sıcaklık değişimlerinin neden olduğu yoğunluk farklarından dolayı meydana gelen kaldırma kuvvetleri ile oluşur ve herhangi bir dış etki söz konusu değildir. Kaldırma, akışkan içerisindeki yoğunluk gradyanı ile, yoğunlukla doğru orantılı bir gövde kuvvetinin birlikte olmalarının sonucu ortaya çıkar. Sıcaklığı artan akışkanın yoğunluğu azalacağından dolayı yer çekiminin tersi yönünde hareket eder, böylece bir kaldırma kuvveti meydana gelir. Genelde akışkanlar hem sıcak hem de soğuk yüzeylerle temasta buldukları için, sınır şartlarına bağlı olarak yer çekimi yönünde veya buna ters yönde akışkan hareketleri eş zamanlı olarak oluşur. Şekil 4.1’de bu durum basit olarak gösterilmiştir. Doğal taşınım ile ısı transferi, Rayleigh sayısına bağlı olarak laminar ve türbülanslı doğal taşınım olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 4.1. Doğal taşınımında oluşan hava hareketleri [74].

Bir akışkan Şekil 4.2’de görüldüğü gibi farklı sıcaklıklarda ($T_1 \neq T_2$) iki büyük yatay levha arasında bulunmaktadır. Burada, (a) durumunda alt levhanın sıcaklığı üsttekinden daha yüksektir ve bu nedenle yoğunluk yer çekimi kuvvetinin yönünde azalmaktadır. Eğer sıcaklık farkı kritik bir değeri geçerse, koşullar kararsız olur ve kaldırma kuvvetleri sürtünme kuvvetlerinin engelleyici etkisini yenmeye başlar. Üst tabakalardaki daha yoğun akışkan üzerine etkiyen yerçekimi kuvveti, alt tabakalardaki

daha hafif akışkan üzerine etkiyen kuvvete baskın gelir ve şekilde görülen dolaşım hareketini yapmaya başlar, bu sırada hafif akışkan yükselir ve soğur.



Şekil 4.2. Doğal taşınımında kararlı ve kararsız oluşumlar [74].

Ancak, (b) durumunda $T_1 > T_2$ 'dir ve yoğunluk yerçekimi kuvveti yönünde azalmamaktadır. Bu koşullarda akış kararlı olup akışkan hareketi söz konusu değildir ve (a) durumunda ısı geçişi alt yüzeyden üst yüzeye doğru doğal taşınım ile, (b) durumunda ise üstten aşağıya doğru iletim ile meydana gelir.

4.1. DOĞAL TAŞINIMIN ÖZELLİKLERİ

Doğal taşınım ile ısı transferi akışkan akımlarının kuvvetine bağlıdır. Akışkan hızının artmasıyla taşınım ile gerçekleşen ısı transferi de artar. Doğal taşınım ile gerçekleşen ısı transferlerinde akışkan hızları küçük olduğundan (1m/s'den azdır), taşınım ile gerçekleşen ısı transferi de yavaştır ve bu nedenle, doğal taşınım ile ısı transferi az önemsenir. Oysa farklı şekillerde gerçekleşen ısı transferinin olduğu birçok uygulamada, doğal taşınım ısı transferine en büyük direnci oluşturur ve bu nedenle sistemin tasarımında ve performansında önemli bir yere sahiptir. Doğal taşınım ile ısı transferi zorlanmış taşınım ile yapılandırıldığında daha azdır. Bazı uygulamaların ısı transfer mekanizmasının zorlanmış taşınım yerine doğal taşınım ile yapılmasının birçok nedeni vardır. Doğal taşınım ile gerçekleşen ısı transferinde, akışkana hareket verecek ayrı bir ekipmana gerek yoktur. Akışkan, sistemde oluşan sıcaklık farklarından dolayı hareket

kabiliyeti kazanır. Sıcak olan akışkanın yoğunluğu az olduğu için yukarı doğru, sıcaklığı düşük olan akışkanında yoğunluğu diğerine göre yüksek olduğu için aşağı doğru hareket etme eğilimindedir. Bu durum ise taşınım akımlarının oluşmasını sağlayarak kapalı ortamda akışkanı hareket ettirir. Doğal taşınımın sağladığı diğer avantajlar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sistemde hareketli ekipman (fan, pompa vb.) olmadığı için rahatsız edici seslerin olmaması
- Çalışan ekipman olmadığından fazla enerji tüketilmemesi
- Çok çabuk tozlanmaması
- İyi tasarım yapıldığında servis ömrünün uzun olması
- Bakım maliyetlerinin düşük olması
- Güvenilirliğinin yüksek olması

gibi mühendislik uygulamaları açısından birçok önemli etmenlerden bahsedebiliriz. Doğal taşınımınla ısı transferi uygulama alanları olarak, elektronik sistemlerin soğutulması (güç transistörleri, TV'ler, elektronik devre elemanları), radyatörler, termosifonlar, buz dolaplarının soğutucu akışkan boruları, güç transfer hatları, nükleer alanda enerji elde etmek için kullanılmış ve daha sonra fakirleşmiş uranyum yakıtın su havuzunda soğutulması ve doğal olarak insan ve hayvanların vücutlarından yayılan ısı örnek olarak verilebilir.

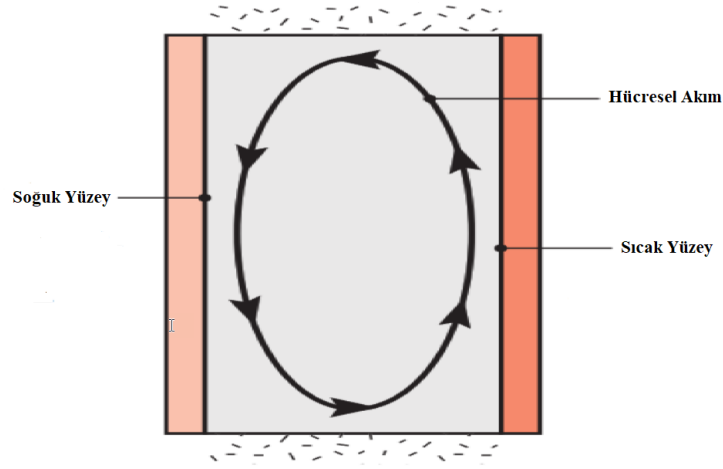
Kapalı ortamlarda Rayleigh sayısının kritik bir değerden ($Ra_{kr} = 1708$) küçük olduğu durumlarda kaldırma kuvvetleri sürtünme kuvvetleri tarafından yaratılan direnci yenemez ve bu nedenle kapalı ortam içinde taşınım olmaz. Bu nedenle alt yüzeyden üst yüzeye ısı geçişi sadece iletim ile gerçekleşir. Koşullar düz bir akışkan tabakası boyunca bir boyutlu ilettime karşılık geldiğinden, taşınım katsayısı 1'dir. Ancak,

$$Ra = \frac{g\beta(T_1 - T_2)L^3}{\alpha\nu} > 1708$$

olması durumunda koşullar ısıl olarak kararsızdır ve kapalı ortam içinde hareketlilik başlar. Rayleigh sayısının 1708 değerini geçmesi durumunda akışkan hareketi, belli bir

bölgede düzenli olarak dönen hücreler şeklindedir (Şekil 4.3), daha büyük Rayleigh sayılarında ise bu hücreyel yapı bozulur ve akışkan hareketi türbülanslı olur.

Kapalı ortamlarda, dikey yüzeyler ısıtma ve soğutma işlemlerine tabii tutulabilir. Bu durum Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, akışkan hareketi, akışkanın sıcak yüzey boyunca yükseldiği ve soğuk yüzey boyunca alçaldığı bir hücreyel dolaşım hareketi ile tanımlanabilir.



Şekil 4.3. Farklı yan yüzey sıcaklıklarına sahip kapalı bir ortamda hücreyel akış [74].

Küçük Rayleigh sayıları için, $Ra_L = 10^3$, kaldırma kuvvetinin yarattığı akış zayıftır ve ısı geçişi akışkan boyunca daha çok iletim ile gerçekleşir. Bu nedenle Fourier yasası uyarınca Nusselt sayısı, $Nu_L = 1$ ' dir. Rayleigh sayısı arttıkça, hücreyel akış artar ve yan yüzeylerde ince sınır tabakalar biçiminde yoğunlaşır. Orta bölge hemen hemen durgun kalır ancak köşelerde ek hücreler oluşabilir ve yan yüzeylerdeki sınır tabakalar sonunda türbülanslı olur.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlene yapabilen COMSOL MULTIPHYSICS programında tekil (Al_2O_3/su) ve hibrit ($Al_2O_3-SiO_2/su$) nanoakışkan içeren kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınım olayı sayısal olarak incelenmiştir. Kare şeklindeki kapalı ortamın dikey sol ve sağ kenarları sırasıyla ($T_h = 274.15$ K) ve soğuk ($T_c = 273.15$ K) sabit sıcaklıklarda tutulurken alt ve üst yatay kenarlar adyabatik olarak kabul edilmiştir. Sayısal çalışmada; nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı, hibrit nanoakışkan kullanımı ve Rayleigh sayısı gibi parametrelerin kapalı ortam içindeki sıcaklık dağılımı, akım çizgileri, ortalama ve yerel Nusselt sayıları gibi akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

5.1. SAYISAL YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) paket programı COMSOL 5.4 koduna ait bilgiler ve sayısal çözümlene kriterleri hakkında bilgiler verilmiştir.

5.1.1. Sonlu Hacimler Yöntemi

Sonlu Hacimler Yönteminde (SHY), çözümlene gerçekleştirilecek olan geometri sonlu elemanlar yöntemindeki gibi parçalara bölünür ve her bir parça için çözümlene işlemi yapılır ve çözümlene yapılan bu parçalar birleştirilerek problemin genel çözümlene bulunmuş olur. SHY, temel olarak sonlu farklar metodu esas alınmasına rağmen sonlu farklar metoduna kıyasla daha hassas çözümlene üretebilmektedir. Sonlu elemanlardan farklı olarak bahsedilen bu yöntem, akış denklemlene sayısal olarak çözümlenebilecek bir dizi eşitliklere dönüştürmek için kontrol hacmi yaklaşımını

kullanır. Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntem olan sonlu hacimler yöntemi HAD kodlarında en çok kullanılan yöntemdir. Bu metotta denklemler her bir kontrol hacmi için ayrıklaştırılarak interaktif olarak çözülür.

5.1.2. COMSOL Programının Çalışma Prensibi

Sonlu hacimler yöntemi ile çalışan programlardan biri olan COMSOL, Gambit veya diğer modelleme programlarından aldığı mesh dosyalarını okuyarak koşulları uygulamak için dizayn edilmiştir ve bu sayede problemin çözümünü elde etmeye çalışır. Temel olarak bir akışın incelenebilmesi için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Süreklilik denklemi toplam kütle korunumunun genel bir ifadesidir. Bu denklem hız sınır tabakasının her noktasında sağlanmak zorundadır. Momentum denkleminin çözümüyle sınır tabaka içinde hız dağılımı bulunabilir. Bir akışkan ısıtıldığı zaman veya akışkan yoğunluğu sıcaklıkla değiştiğinde, yoğunluk değişimleri üzerinde etkili olan yerçekimi kuvveti nedeniyle bir akış gerçekleşebilir. Bu tür yüzdürme odaklı akışlara doğal taşınım akışı denir. Kapalı bir alan içinde doğal taşınımı modellendiğinde, çözüm alan içindeki kütleyle bağlı olacaktır. Yoğunluk bilinmediği sürece bu kütle bilinmeyeceği için, akış için bir model belirlenmesi gerekir ve Boussinesq modelini kullanarak kararlı durum hesaplaması yapılabilir. Bu yaklaşımda akışkanın yoğunluğu sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ele alınıp, sabit bir yoğunluk belirlenecek, böylece kütle uygun bir şekilde belirtilebilecektir fakat bu yalnızca alandaki sıcaklık farklılıkları küçükse geçerlidir. Birçok doğal taşınım akışı için, Boussinesq modeliyle daha hızlı bir yakınsama elde edilebilir. Bu model, Eşitlik 5.0'da görüldüğü gibi momentum denklemindeki kaldırma kuvveti hariç, tüm çözülmüş denklemlerde yoğunluğu sabit bir değer olarak ele alır:

$$(\rho - \rho_0) \approx \rho_0 \beta (T - T_0) \rho \quad (5.1)$$

COMSOL programında doğal taşınım hesaplamaları yapılırken aşağıda Eşitlik 5.1-5.3 ile verilen genel korunum denklemleri kullanılmıştır. Sırasıyla süreklilik, momentum ve enerji denklemleri;

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0, \quad (5.2)$$

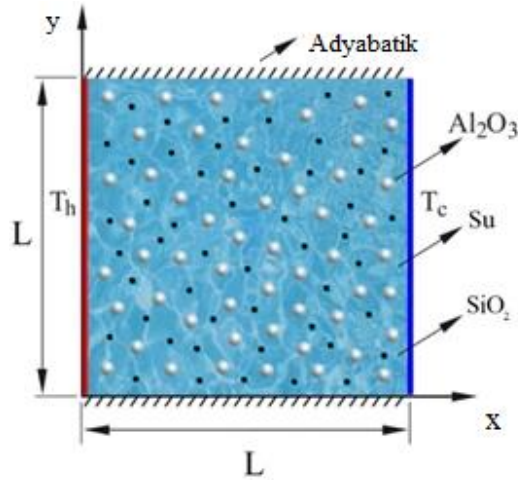
$$\rho_{nf} \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\nabla p + \nabla(\mu_{nf} \nabla \mathbf{v}) + (\rho\beta)_{nf} (T - T_c) \vec{g} \quad (5.3)$$

$$(\rho C_p)_{nf} \mathbf{v} \cdot \nabla T_{nf} = \nabla \cdot (k_{nf} \nabla T_{nf}) - C_{p,p} J_p \cdot \nabla T_{nf} \quad (5.4)$$

Denklemlerdeki, β ısıl genişleme katsayısını, ρ_{nf} , k_{nf} ve μ_{nf} sırasıyla nanoakışkanın yoğunluğunu, ısı iletim katsayısını ve viskozitesini göstermektedir.

5.2. PROBLEM GEOMETRİSİ

Sayısal çalışmada incelenen probleme ait geometrik model Şekil 5.1'den görülebileceği gibi iki boyutlu xy düzleminde L kenar uzunluğuna sahip kare şeklinde kapalı bir ortamdır.



Şekil 5.1. Problem geometrisi.

Probleme ilgili olan denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı çözümleme yapabilen COMSOL 5.4 kodu yardımıyla, ilgili başlangıç ve sınır koşullarına bağlı olarak sayısal olarak çözülmüştür. Şekilde sınır şartları sıcak duvarda $T_h = 274.15$ K soğuk duvarda $T_c = 274.15$ K ve tüm katı sınırlarda ise $U = V = 0$ şeklindedir.

Baz akışkan olan suyun, partikül olarak kullanılan Al_2O_3 ve SiO_2 partiküllerinin termofiziksel özellikleri çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Su, Al_2O_3 , SiO_2 partiküllerinin termofiziksel özellikleri [35].

Fiziksel Özellikleri	Su	Al_2O_3	SiO_2
C_p (J/kg K)	4178	765	703
ρ (kg/m ³)	993	3970	2200
k (W/mK)	0,628	40	1.2
$\beta \times 10^{-6}$ (1/K)	-	5,8	5,5
Pr	6,2	-	-

Sayısal analizler için gerekli olan tekil ve hibrit nanoakışkanın termofiziksel özellikleri aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

Yoğunluk;

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi \rho_{np} \quad (5.5)$$

$$\rho_{hnf} = \phi_{p1}\rho_{p1} + \phi_{p2}\rho_{p2} + (1 - \phi_{top})\rho_{bf} \quad (5.6)$$

$$\phi_{top} = \phi_{p1} + \phi_{p2} \quad (5.7)$$

Özgül Isı;

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_{bf} + \phi(\rho C_p)_p \quad (5.8)$$

$$(\rho C_p)_{hnf} = \phi_{p1}(\rho C_p)_{p1} + \phi_{p2}(\rho C_p)_{p2} + (1 - \phi_{top})(\rho C_p)_{bf} \quad (5.9)$$

Maxwell modeline göre nanoakışkanların ısı iletim katsayısı [35];

$$k_{nf} = k_{bf} \left(\frac{k_p + 2k_{bf} - 2\phi(k_{bf} - k_p)}{k_p + 2k_{bf} + 2\phi(k_{bf} - k_p)} \right) \quad (5.10)$$

$$k_{hnf} = k_{bf} \left(\frac{(\phi_{p1}k_{p1} + \phi_{p2}k_{p2}) + 2k_{bf} + 2(\phi_{p1}k_{p1} + \phi_{p2}k_{p2}) - 2\phi_{top}k_{bf}}{\phi_{top}} \right) \quad (5.11)$$

Brinkman modeline göre nanoakışkanların viskozitesi;

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_{bf}}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (5.12)$$

$$\mu_{hnf} = \frac{\mu_{bf}}{(1-(\phi_{p1} + \phi_{p2}))^{2.5}} \quad (5.13)$$

Nanoakışkanın genleşme katsayısı;

$$(\rho\beta)_{nf} = (1 - \phi)(\rho\beta)_{bf} + \phi(\rho\beta)_p \quad (5.14)$$

$$(\rho\beta)_{hnf} = \phi_{p1}(\rho\beta)_{p1} + \phi_{p2}(\beta C_p)_{p2} + (1 - \phi_{top})(\rho\beta)_{bf} \quad (5.15)$$

Yukarıdaki eşitliklerde ρ , μ , k ve ϕ sırasıyla nano akışkanın yoğunluğu, dinamik viskozitesi, ısıl iletkenliği ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranıdır, alt indisler nf, np ve bf ise sırasıyla nanoakışkanı, nanopartikülü ve baz akışkanı ifade etmektedir.

Lokal Nusselt sayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır;

$$Nu_{lokal} = \int - \frac{k_{nf}}{k_f} \left(\frac{\partial \theta_{nf}}{\partial X} \right)_{X=0} \quad (5.16)$$

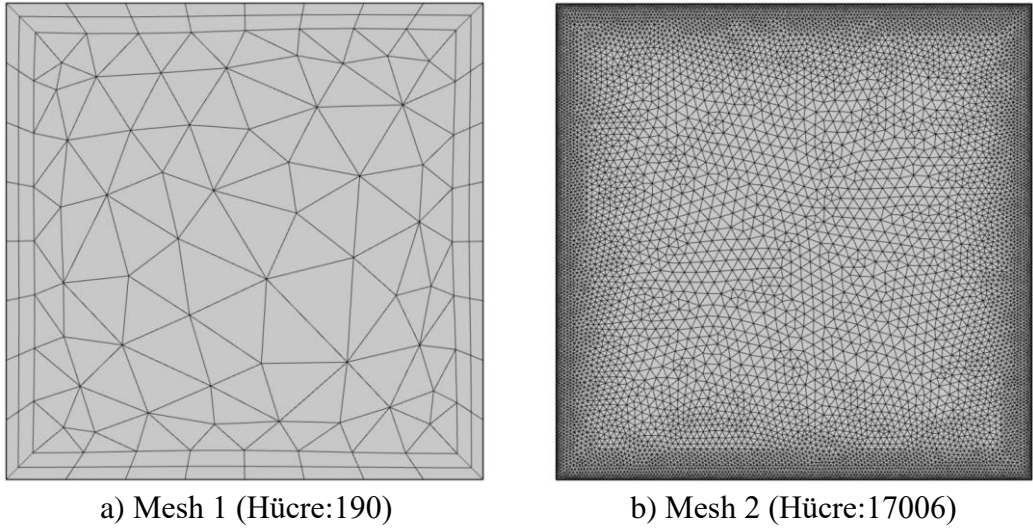
Ortalama Nusselt sayısı ise

$$Nu_{ort} = \int_0^L Nu_{lokal} dY \quad (5.17)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

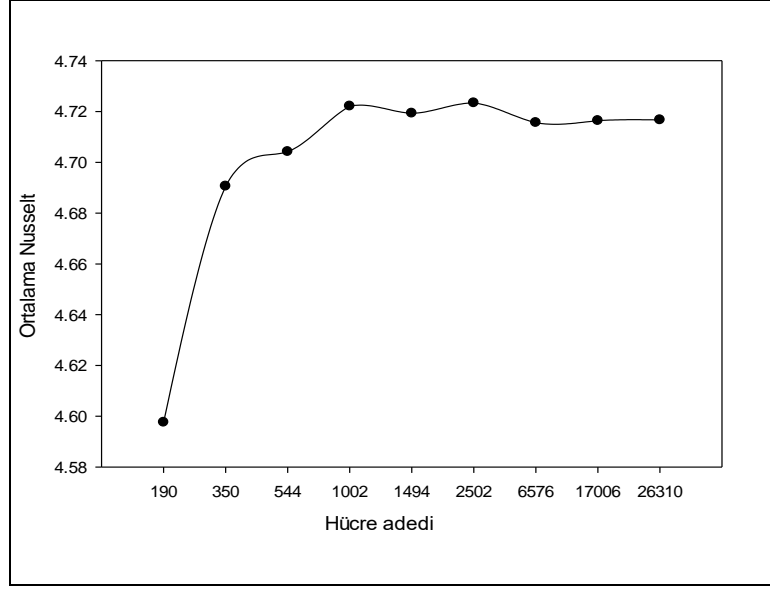
5.3. MESH YAPISININ OLUŞTURULMASI

Yapılan analiz sonuçlarının doğruluğunu etkileyen temel faktör oluşturulan meshin kalitesi ve hücre sayısıdır. Düşük kalitede veya az sayıda hücre sayısına sahip ağ yapısı, sonuçların hatalı çıkmasına neden olabilecektir, daha yüksek hücre sayısı ise analizlerin hesaplama süresini arttıracaktır. Bu nedenle sayısal analizlerde uygun sayısal ağ yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Probleme ait oluşturulan model geometride uygun sayısal ağ yapısının belirlenmesi için farklı hücre sayılarına bölünerek farklı mesh yapıları oluşturulmuş ve bunlar için analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2’de oluşturulan mesh yapılarından hücre sayısının 190 ve 17006 olduğu durumlar için iki örnek verilmiştir.



Şekil 5.2. Mesh yapıları.

Optimum mesh yapısının belirlenmesi için farklı hücre sayılarında analizler yapılmış ve ortalama Nusselt sayıları hesaplanmıştır. Yapılan mesh 'den bağımsız çalışmaya göre hücre sayısı 190 olan mesh yapısında ortalama Nu sayısı yaklaşık 4,60 olarak hesaplanırken, hücre sayısı 17006 olan mesh yapısında ortalama Nu sayısı 4,72 olarak hesaplanmıştır. Hücre sayılarına göre ortalama Nusselt sayıları Şekil 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.3. Mesh ‘ten bağımsız çalışma.

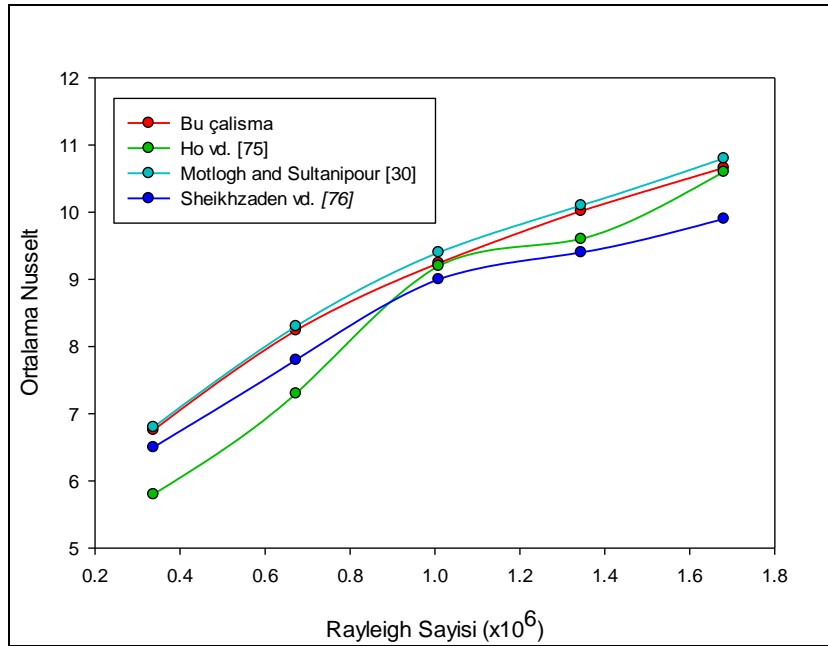
Şekil 5.3’te görüldüğü gibi ağ sayısı arttıkça hata oranı azalır, ancak artan ağ sayısı hesaplama süresini önemli ölçüde artırabilir. Bu nedenle 17006 hücre numaralı mevcut çalışma, yapılacak tüm analizler için temel olarak kullanılmıştır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan sayısal çalışma farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip hem tekil (Al_2O_3/su) hem de hibrit ($Al_2O_3-SiO_2/su$) nanoakışkanlar için gerçekleştirilmiş olup bunlara yönelik elde edilen sonuçlar aşağıda incelenmiştir.

Tezde öncelikle yapılan çalışmanın doğruluğunu gösterebilmek adına çalışma akışkanı olarak saf su ile sayısal analizler yapıp, bu sonuçlar referans alınan deneysel bir çalışma olan Ho et al.[75], ve sayısal çalışmalar olan Sheikhzadeh et al.[76] ve Motlagh ve Soltanipour [30] 'ın ile sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Literatür ile karşılaştırılması.

(Deneysel çalışma Ho [75], sayısal çalışmalar ise Sheikhzadeh [76] ve Motlagh [30])

Şekil 6.1’de farklı Ra sayıları için Nu sayısının değişimi görülmektedir. Şekil 6.1’den açık bir biçimde görülebileceği gibi bu çalışmada su için elde edilen ortalama Nu sonuçları ilgili referans çalışmaları ile uyum içerisindedir.

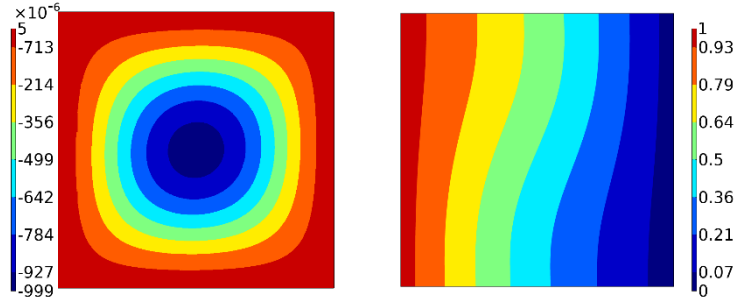
6.1. Al₂O₃/SU İÇİN ANALİZ SONUÇLARI

Tekil (Al₂O₃/su) nanoakışkanı ile doldurulan kare şeklindeki kapalı ortamda doğal taşınım ile ısı transferine Ra sayısının ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının etkileri aşağıda ele alınmıştır.

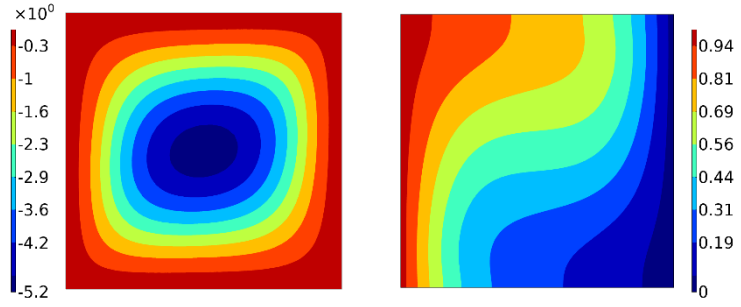
6.1.1. Rayleigh Sayısının Etkisi

Akışkanlar mekaniğinde Rayleigh sayısı akışkanın yüzdürülmesi esasına dayanan doğal taşınım ile ilgili boyutsuz bir sayıdır. Ra sayısının 1708 değerine kadar akışkan ısı transferini ısı iletim ile gerçekleştirirken, bu değer 1708’i aştığında ısı transferi iletimle ve taşınım ile gerçekleşmeye başlar. Ra sayısı yerçekimi ivmesi, kullanılan akışkanın ısı genleşme katsayısı, kinematik viskozite, ısı yayılma katsayısı, kullanılan kabın boyutları ve analizlerde kullanılan soğuk ve sıcak duvar sıcaklıklarından etkilenmektedir.

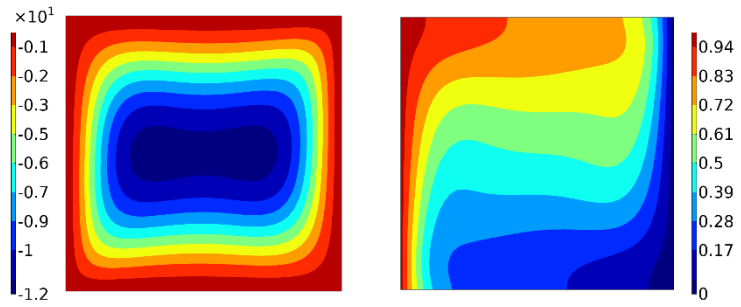
Şekil 6.2’de hacimsel konsantrasyon oranı %2 için ($\phi = 0.02$) Al₂O₃-su nanoakışkanının ($10^3 \leq Ra \leq 10^6$) olduğu değerlerde akım çizgilerini ve eş sıcaklık eğrileri gösterilmektedir. Şekil 6.2’deki akım çizgileri incelendiğinde, 1 adet daire şeklinde hücre oluştuğu ve kapalı hacmin orta bölgesinde akışkanın durgun olduğu gözlemlenmektedir. Ra sayısının artması ile kapalı ortamın ortasında oluşan daire bozulmakta ve akım fonksiyonu değerleri artmaktadır. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, Ra sayısının artması ile kapalı ortam içerisindeki akışkan hızının arttığı sonucuna varılmıştır. Şekil 6.2’deki eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde, Ra sayısının artması akışın hızlanmasına ve akım fonksiyonunun değişimine bağlı olarak sıcaklığın kapalı ortam içerisinde daha çok yayılmasına yol açmaktadır. Akışın hızlanması eş sıcaklık eğrilerinin daha sık olmasını sağlamak ve kabın üst bölgesinde sıcaklık daha yüksek olmaktadır.



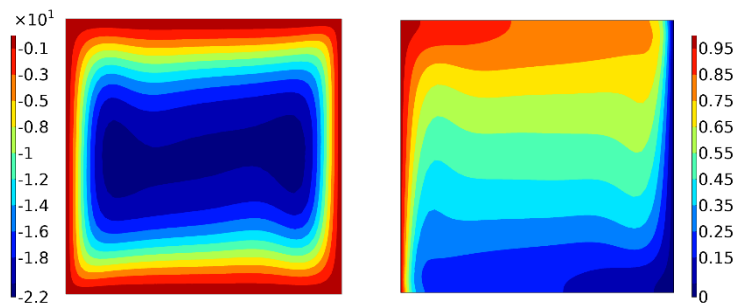
$Ra = 10^3$



$Ra = 10^4$



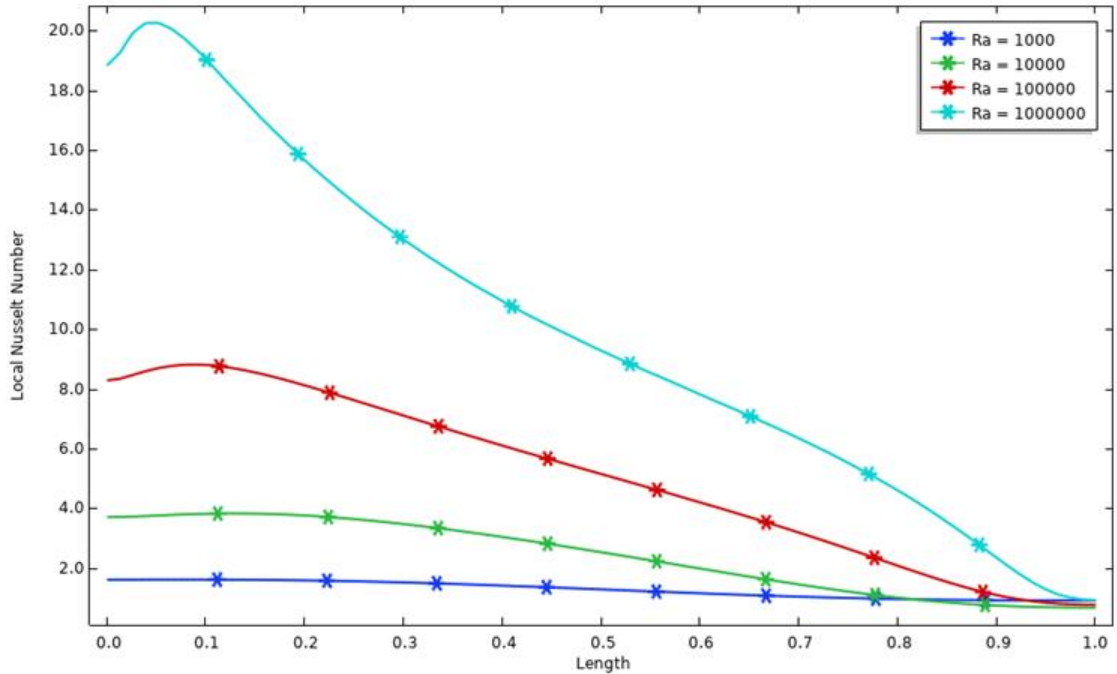
$Ra = 10^5$



$Ra = 10^6$

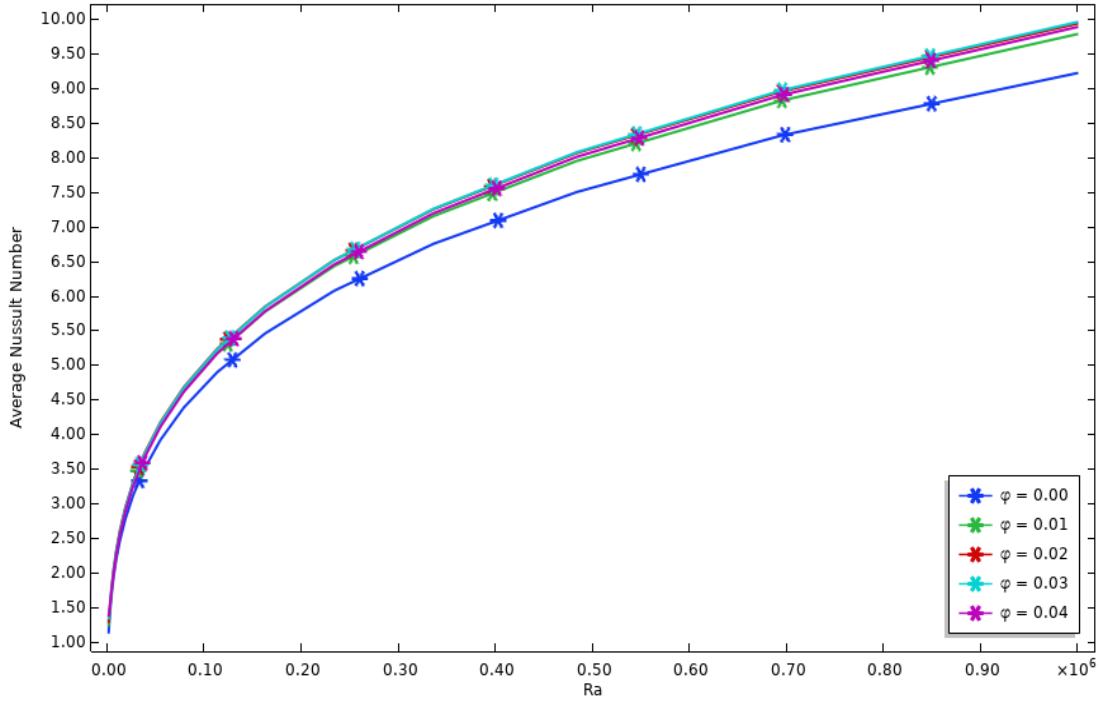
Şekil 6.2. Ra sayısının akım çizgilerine (sol) ve eş sıcaklıklara (sağ) etkisi ($\varphi = 0.02$).

Şekil 6.3'te %2 hacimsel konsantrasyon oranı için farklı Ra sayılarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının dağılımları verilmiştir. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak kenarının sahip olduğu lokal Nu değişimine bakıldığında, kenarın başlangıç kısımlarında en fazla Nu sayısına sahip olduğu ifade edilebilir. Sıcak kenarın başlangıç kısımlarında da en fazla lokal Nu sayısı Ra sayısının 10^6 olduğu durumda gözlemlenmiştir. Kare şeklindeki kapalı ortamın üst yatay kenarına yaklaştıkça farklı Ra sayılarındaki lokal Nu sayıları arasındaki fark azalmaktadır. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak duvarının en üst noktasında bütün Ra sayılarındaki lokal Nu sayıları hemen hemen birbirine eşit olduğunun gözlemlenmektedir.



Şekil 6.3. Farklı Ra sayılarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının değişimi ($\phi=0.02$).

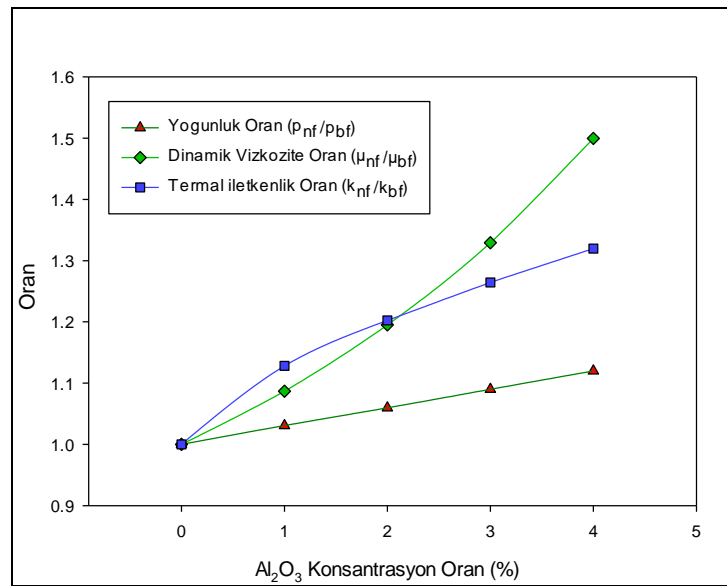
Şekil 6.4'te farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında Ra sayısının ortalama Nu sayılarına etkisi gösterilmiştir. Bütün hacimsel konsantrasyon oranları için Ra sayısının artması ile ortalama Nu sayıları artış göstermiştir. Ortalama Nu sayılarında en fazla artış %3 hacimsel konsantrasyon oranında olup saf suya göre yaklaşık olarak %8,51 artış tespit edilmiştir. Hesaplamalar neticesi elde edilen ortalama Nu sayılarına incelendiğinde saf suya ilave edilen herhangi bir konsantrasyon oranındaki Al_2O_3 nanopartikülü taşınım ile gerçekleşen ısı transferinde iyileştirme gerçekleştirmiştir.



Şekil 6.4. Farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında Ra sayısının ortalama Nu sayılarına etkisi.

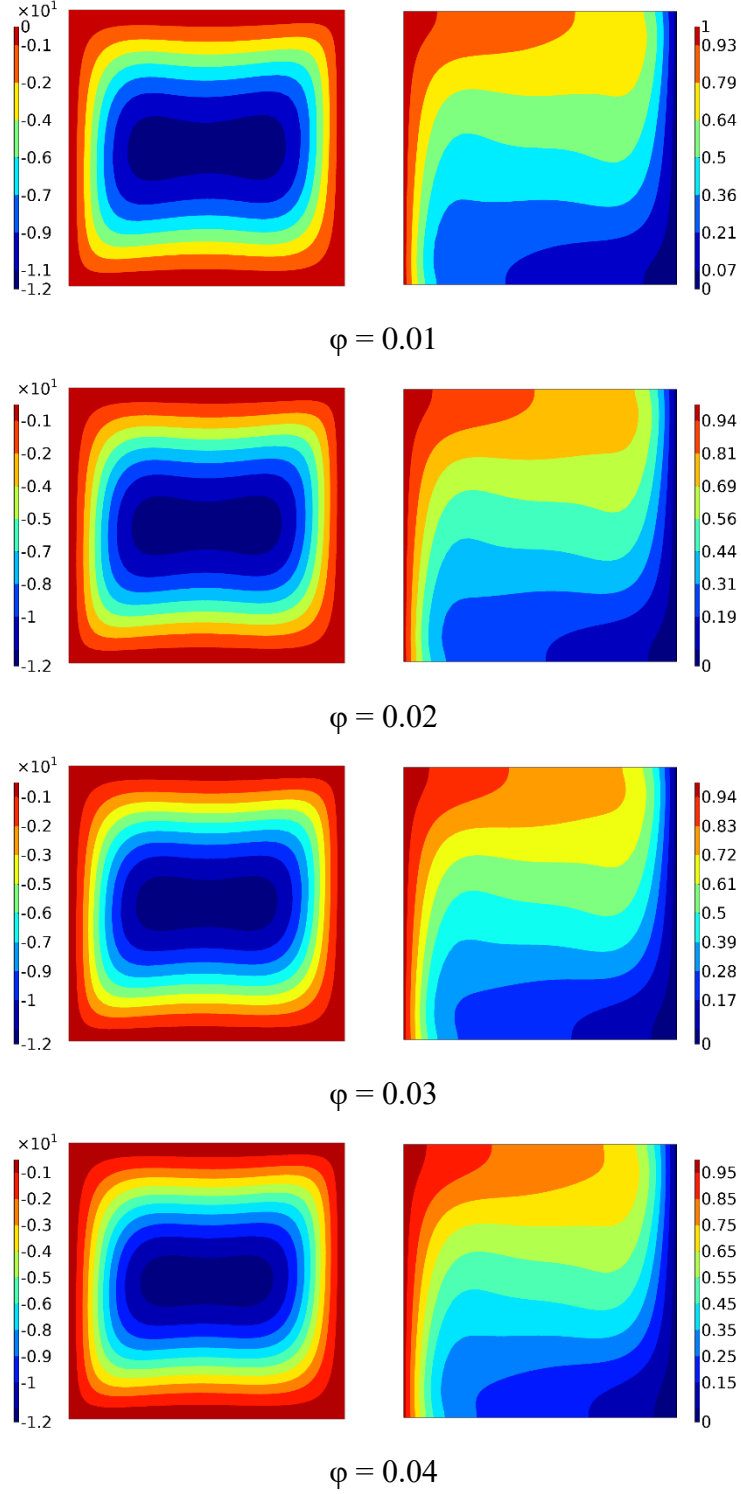
6.1.2. Hacimsel Konsantrasyon Oranının Etkisi

Literatürdeki birçok çalışmada hacimsel konsantrasyon oranının artması ısı transferinde iyileşmeler meydana getirdiğini Şekil 6.5'te göstermektedir.



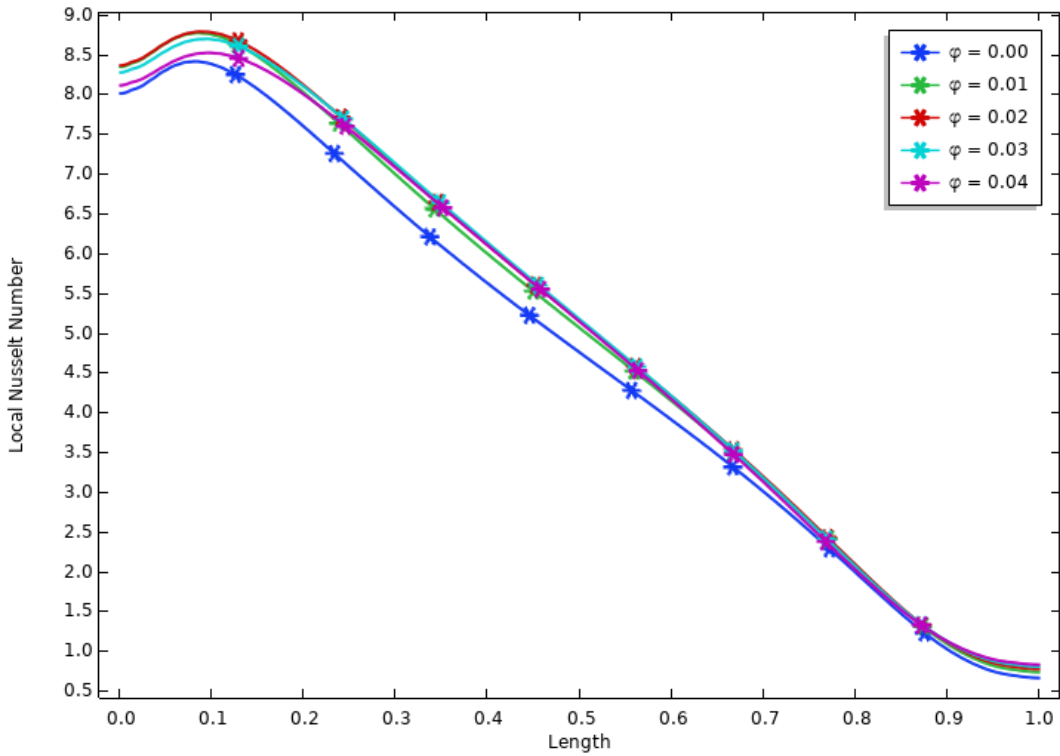
Şekil 6.5. Hacimsel konsantrasyon oranının yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik oranlarına etkileri.

Şekil 6.5'te yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik oranlarına konsantrasyon oranının etkilerini gösterilmiştir. Hacimsel konsantrasyon oranının artması ısı iletkenlik, yoğunluk ve viskozite oranlarında iyileşme meydana getirmektedir.



Şekil 6.6. Hacimsel konsantrasyon oranının akım çizgileri (sol) ve eş sıcaklıklara (sağ) etkisi ($Ra:10^5$).

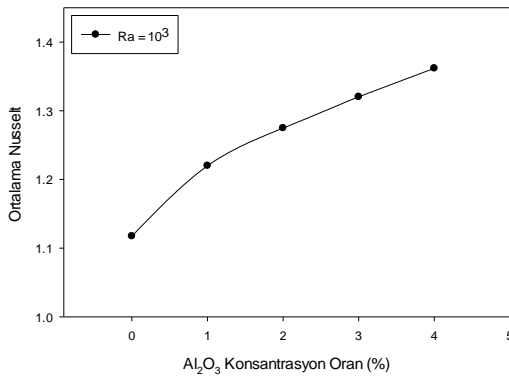
Şekil 6.6’te hacimsel konsantrasyon oranının ($0 \leq \varphi \leq 0.04$) akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerine etkisi gösterilmektedir. Şekil 6.6’teki akım çizgileri incelendiğinde, kapalı ortamın orta bölgesinde büyük bir akım hücresi oluştuğu görülmektedir. Aynı tür nanoakışkan için nanopartikül hacimsel oranının arttığı durumda grafikler karşılaştırıldığında kapalı ortamın ortasında oluşan hücre daralmaya başlamakta ve kenarlara yakın kısımlarında akışkanın akış hızı artmaktadır. Kapalı ortamın merkezindeki hücrenin içerisinde akışkanın durgun olduğu ve bu durgun bölgenin hacimsel oranın artışıyla küçüldüğü görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde, hacimsel konsantrasyon oranının artması sıcaklık eğrileri üzerinde gözle görülür bir değişim oluşturmamaktadır, fakat kap içerisindeki partiküllerin hızı arttığı için ısı transferinin iyileştiği bilinmektedir.



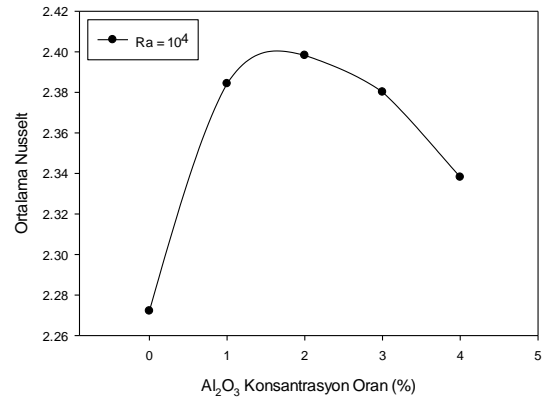
Şekil 6.7. Farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının değişimi ($Ra:10^5$).

Şekil 6.7 Farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının değişimini göstermektedir. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak kenarının sahip olduğu lokal Nu değişimine bakıldığında, kenarın başlangıç kısımlarında en fazla Nu sayısına sahip olduğu görülmektedir. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak

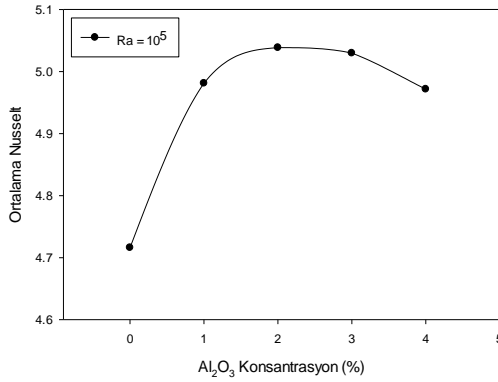
duvarının başlangıç noktasına yakın olan kısımlarında en fazla lokal Nu sayısı %2 hacimsel konsantrasyon oranında görülmektedir. Kare şeklindeki kapalı ortamın üst yatay kenarına yaklaştıkça bütün hacimsel konsantrasyon oranlarında lokal Nu sayısı azalmaktadır. Şekil 6.7’de kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak duvarının 0.8 ve 0.9 bölümleri arasında bütün hacimsel konsantrasyon oranlarındaki lokal Nu sayısı hemen hemen birbirine eşit olduğunu göstermektedir.



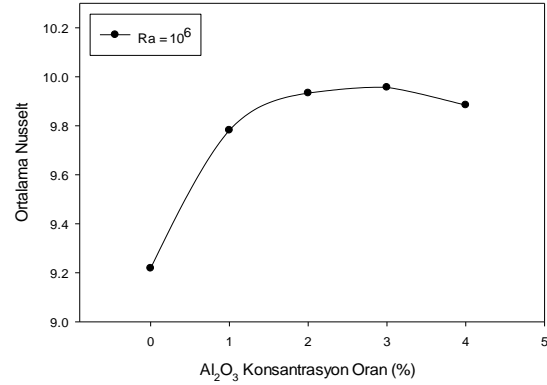
a) $Ra=10^3$



b) $Ra=10^4$



c) $Ra=10^5$



d) $Ra=10^6$

Şekil 6.8. Farklı Ra sayılarında hacimsel konsantrasyon oranının ortalama Nu sayısına etkisi.

Şekil 6.8’te farklı Ra sayılarındaki hacimsel konsantrasyon oranlarına göre ortalama Nu sayısının değişimi verilmiştir. Ra sayısının 10^3 olduğu durumda Şekil 6.8 (a)’de görüldüğü gibi bütün hacimsel konsantrasyon oranlarında ortalama Nu sayıları artış eğilimindedir. Ra sayısının 10^4 olduğu durumda Şekil 6.8 (b)’de görüldüğü gibi %2 hacimsel konsantrasyon oranına kadar ortalama Nu sayısında artış gözlemlenmiş (%5,72), %2 hacimsel konsantrasyon oranından sonra ise azalma meydana gelmiştir.

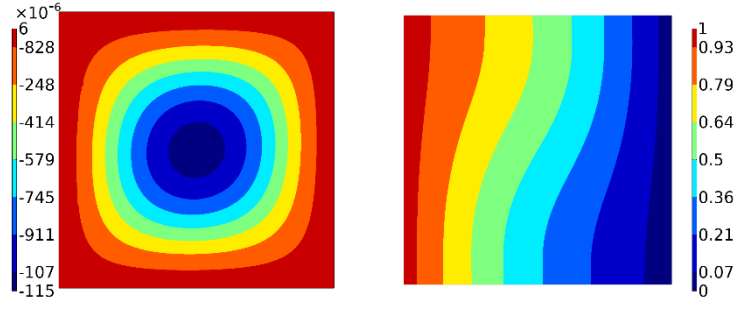
Ra sayısının 10^5 olduğu durumda Şekil 6.8 (c)'de görüldüğü gibi %2 hacimsel konsantrasyon oranına kadar ortalama Nu sayısında artış olurken (%7,21), %2 hacimsel konsantrasyon oranından sonra azalma meydana gelmiştir. Ra sayısının 10^6 olduğu durumda ise %3 konsantrasyon oranına kadar ortalama Nu sayısı artarken (%8,69), %4 konsantrasyon oranında ise ortalama Nu sayısında azalma meydana gelmektedir.

6.2. Al₂O₃ / SiO₂ HİBRİT NANOAKIŞKAN İÇİN ANALİZ SONUÇLARI

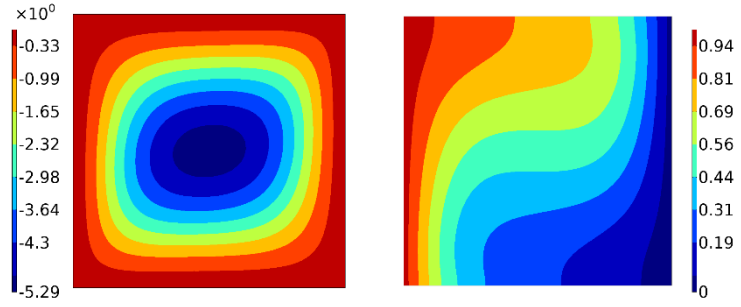
Hibrit (Al₂O₃-SiO₂/su) nanoakışkanı ile doldurulan kapalı kare ortamdaki doğal taşınım ile ısı transferine Ra sayısının ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının etkileri aşağıda ele alınmıştır.

6.2.1. Rayleigh Sayısının Etkisi

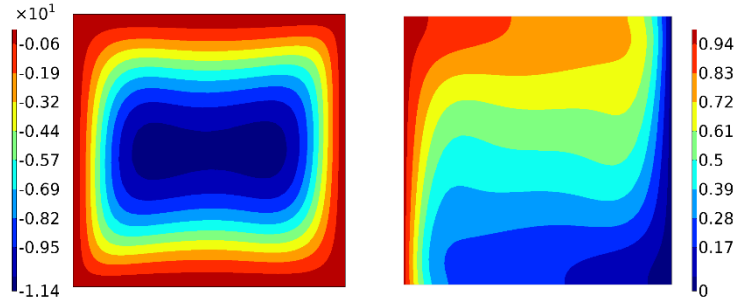
Şekil 6.9'ta Al₂O₃ – SiO₂/su nanoakışkanı ($10^3 \leq Ra \leq 10^6$) için akım çizgilerini ve eş sıcaklık eğrilerini göstermektedir. Ra sayısının artması ile kapalı ortamın ortasında olan daire bozulmakta ve akım fonksiyonu değerleri artmaktadır. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, Rayleigh sayısının artması ile kapalı ortam içerisindeki akışkan hızının arttığı sonucuna varılmıştır.



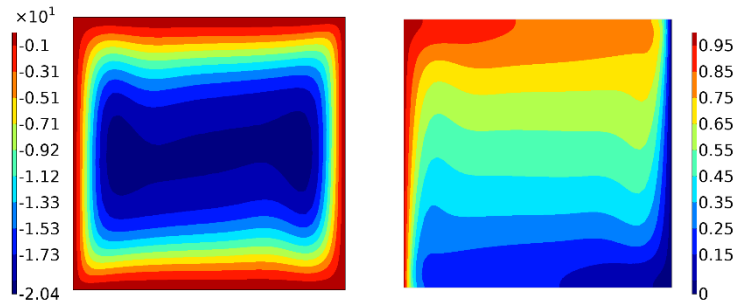
$Ra = 10^3$



$Ra = 10^4$

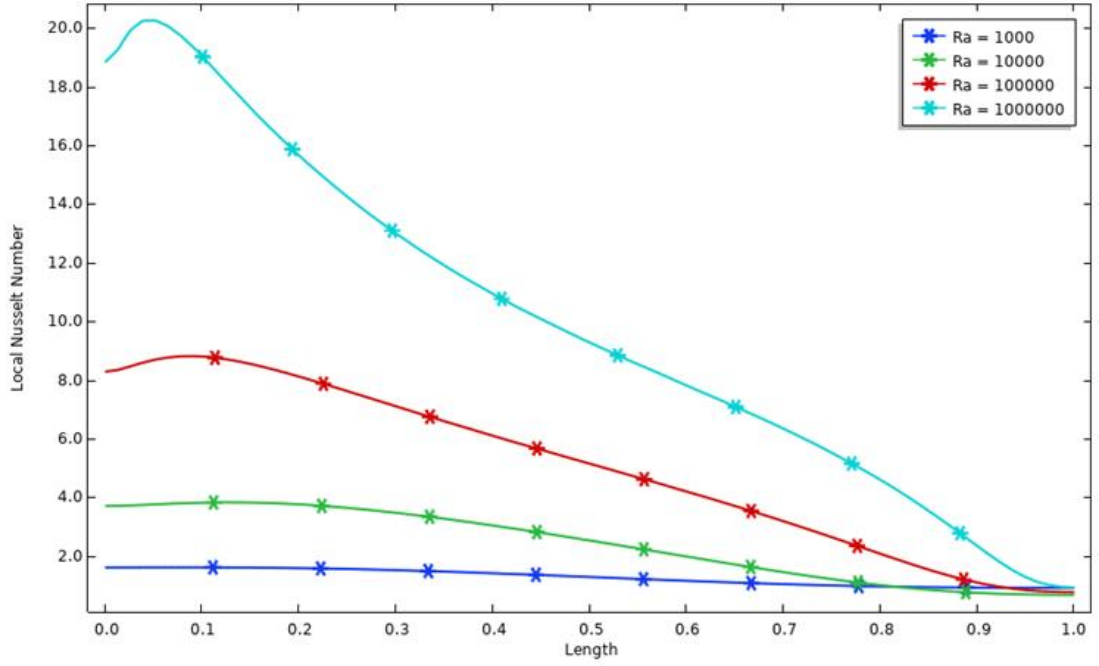


$Ra = 10^5$



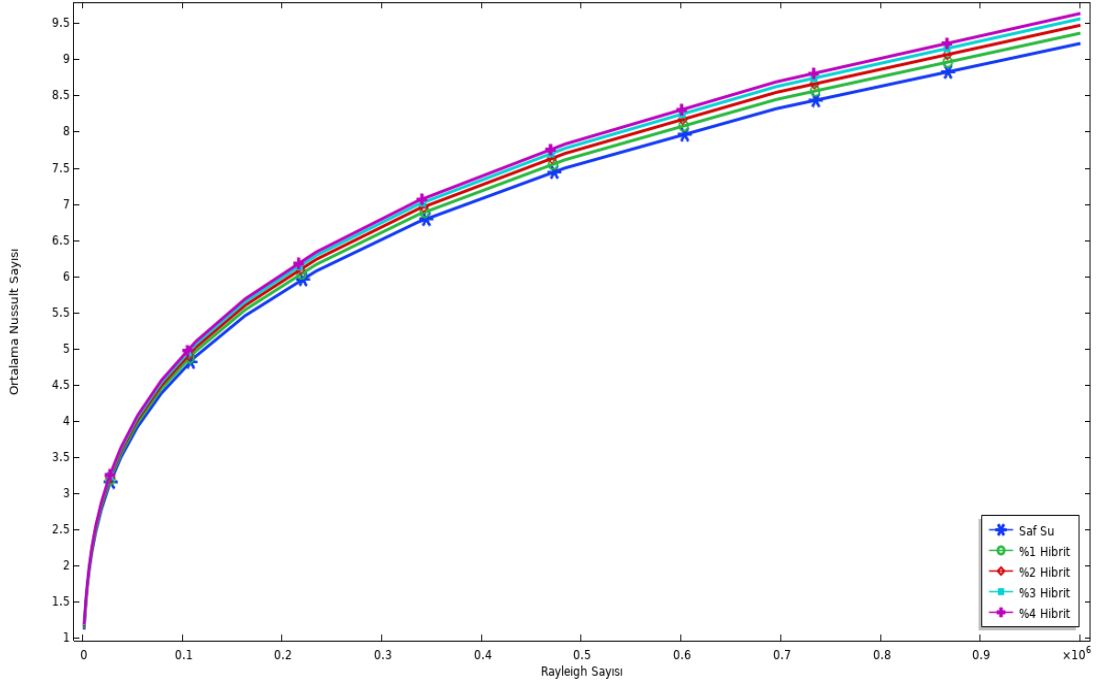
$Ra = 10^6$

Şekil 6.9. Ra sayısının akım (sol) ve eş sıcaklık çizgilerine (sağ) etkisi ($\varphi_{hyb} = 0.02$).



Şekil 6.10. Farklı Ra sayılarının sıcak duvar boyunca lokal Nu sayılarının değişimi ($\phi_{hyb}=0.02$).

Şekil 6.10'te %2 hacimsel konsantrasyon oranı için farklı Ra sayılarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının dağılımları verilmiştir. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak kenarının sahip olduğu lokal Nu değişimine bakıldığında, sıcak duvarın başlangıç kısımlarında en fazla Nu sayısına sahip olduğu ifade edilebilir. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak kenarının sahip olduğu lokal Nu değişimine bakıldığında en fazla artışın Ra sayısının 10^6 olduğu durumda gerçekleşmiştir. Kare şeklindeki kapalı ortamda sıcak duvarın üst kısmına yaklaştıkça farklı Ra sayılarındaki lokal Nu sayıları arasındaki fark azalmaktadır. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak duvarının en üst noktasında bütün Ra sayılarındaki lokal Nu sayıları hemen hemen birbirine eşit olduğu görülmektedir.

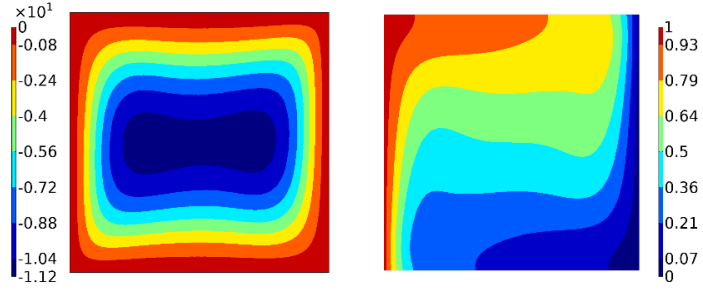


Şekil 6.11. Farklı hibrit hacimsel konsantrasyon oranlarında Ra sayısının ortalama Nu sayısına etkisi (Ra:10⁵).

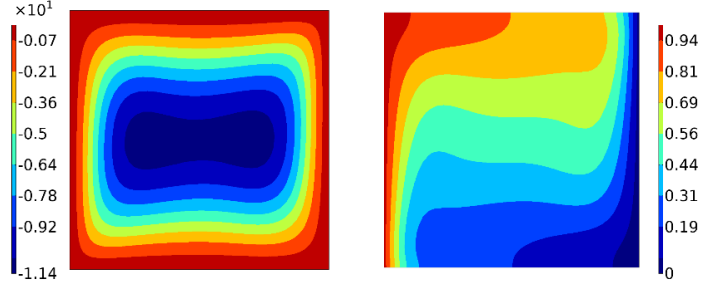
Şekil 6.11'te Farklı hibrit hacimsel konsantrasyon oranlarında Ra sayısının ortalama Nu sayısına etkisi gösterilmiştir. Şekil 6.11'te görüldüğü gibi Ra sayısındaki artış bütün hacimsel konsantrasyon oranlarında ortalama Nusselt sayıları artış göstermiştir. Ortalama Nu sayılarında en fazla artış %4 hacimsel konsantrasyon oranında olup saf suya göre yaklaşık olarak %5,43 artış tespit edilmiştir. Hesaplamalar neticesi elde edilen ortalama Nu sayılarına incelendiğinde saf suya ilave edilen herhangi bir konsantrasyon oranındaki Al₂O₃ nanopartikülü taşınım ile gerçekleşen ısı tranferinde iyileştirme gerçekleştirmiştir.

6.2.2. Hacimsel Konsantrasyon Oranının etkisi

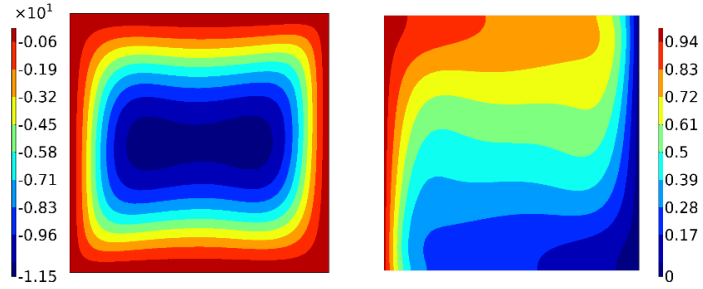
Hacimsel konsantrasyon oranının akım çizgilerinin ve eş sıcaklık eğrilerine etkileri Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



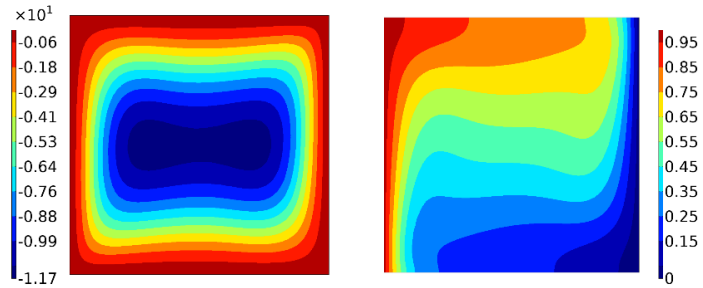
$$\phi_{\text{hyb}} = 0.01$$



$$\phi_{\text{hyb}} = 0.02$$



$$\phi_{\text{hyb}} = 0.03$$

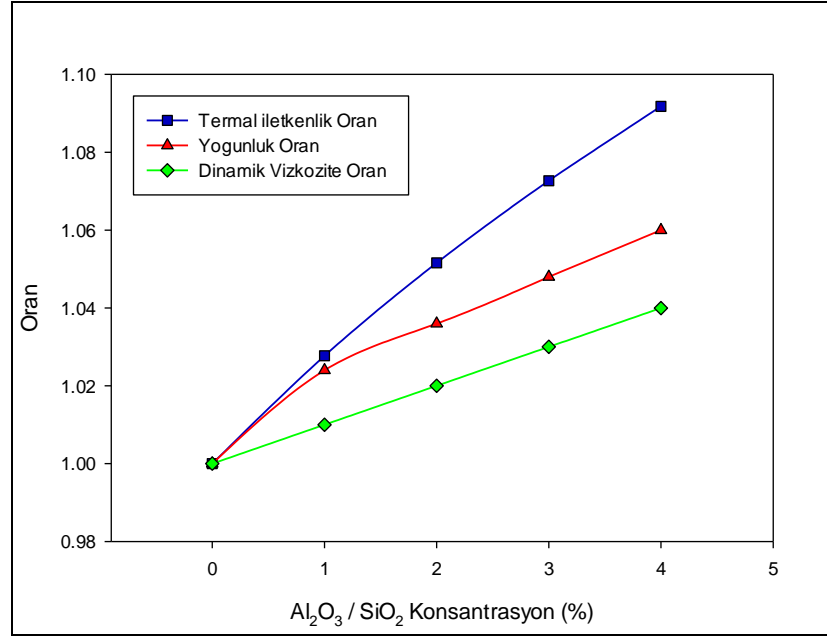


$$\phi_{\text{hyb}} = 0.04$$

Şekil 6.12. Hacimsel konsantrasyon oranının akım çizgileri (sol) ve eş sıcaklıklara (sağ) etkisi ($Ra:10^5$).

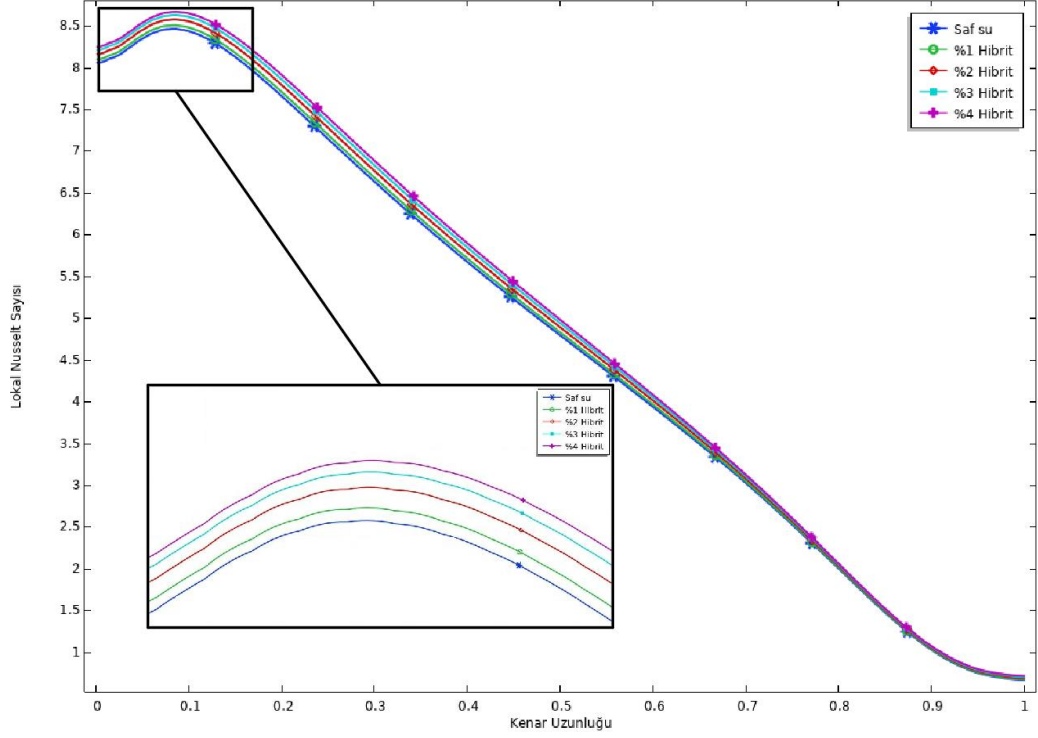
Sıcaklığı ifade eden kırmızı alanların hacimsel konsantrasyon oranının etkisi ile daha da büyüdüğü Şekil 6.12’de gözlemlenmiştir. Kapalı ortamın merkezindeki hücrenin içerisinde akışkanın durgun olduğu ve bu durgun bölgenin hacimsel oranın artışıyla küçüldüğü, aynı zamanda hacimsel oranın artışıyla kabın kenarlarına yakın

bölgelerdeki akış hızının artması bize hacimsel oranın artışının akışkan hızını da arttırdığını göstermektedir. Eş sıcaklık eğrilerinde ise hacimsel konsantrasyon oranının artması sıcaklık eğrileri üzerinde gözle görülür bir değişim oluşturmamaktadır, fakat kap içerisindeki partiküllerin hızı arttığı için ısı transferinin iyileştiği bilinmektedir.



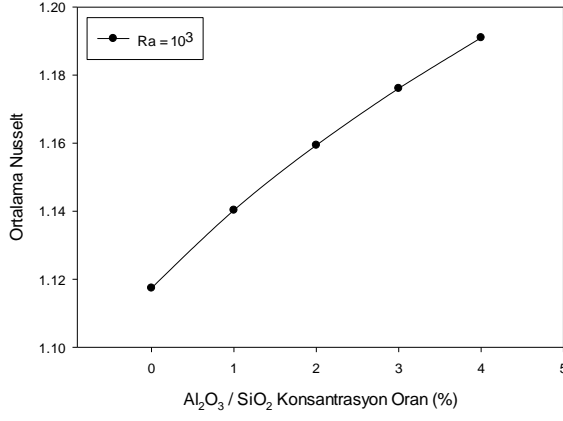
Şekil 6.13. Hacimsel konsantrasyon oranının yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik oranlarına etkileri.

Tekil nanoakışkan kullanımında olduğu gibi hibrit nanoakışkan kullanımında da yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik oranları hacimsel konsantrasyon oranı ile artmaktadır. Şekil 6.13'te görüldüğü gibi konsantrasyon oranının artması ile termal iletkenlik, yoğunluk ve viskozite oranlarının arttığı gözlemlenmiştir.

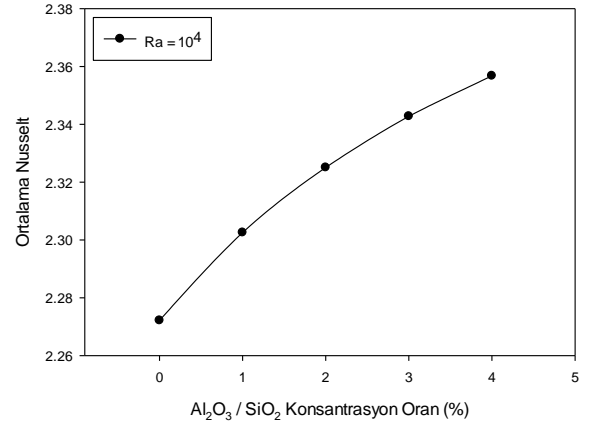


Şekil 6.14. Farklı hibrit hacimsel konsantrasyon oranlarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısının değişimi ($Ra:10^5$)

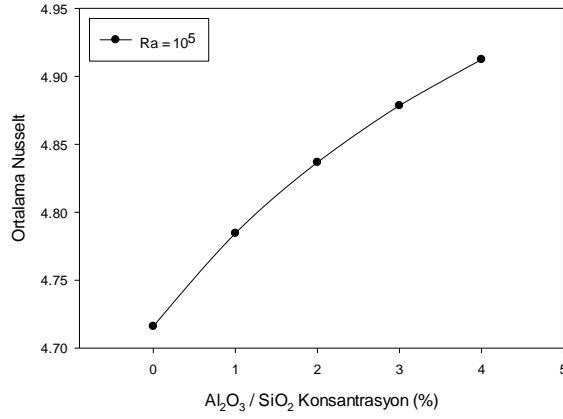
Şekil 6.14'te Farklı hibrit hacimsel konsantrasyon oranlarında sıcak duvar boyunca lokal Nu sayısındaki değişim gösterilmiştir. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak kenarının sahip olduğu lokal Nu değişimine bakıldığında, kenarın başlangıç kısımlarında en fazla Nu sayısına sahip olduğu görülmektedir. Kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak duvarının başlangıç noktasına yakın olan kısımlarında en fazla lokal Nu sayısı %4 hacimsel konsantrasyon oranında görülmektedir. Kare şeklindeki kapalı ortamda sıcak duvarın üst kısmına yaklaştıkça bütün hacimsel konsantrasyon oranlarında lokal Nu sayısı azalmaktadır. Şekil 6.14 kare şeklindeki kapalı ortamın sıcak duvarının 0.8 ve 0.9 bölümleri arasında bütün hacimsel konsantrasyon oranlarındaki lokal Nu sayısı hemen hemen birbirine eşit olduğunu göstermektedir.



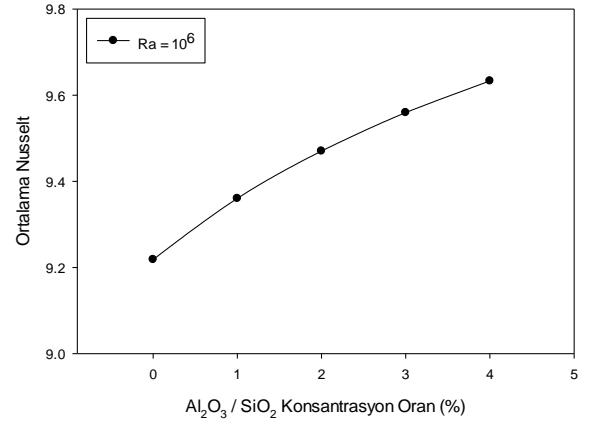
a) $Ra=10^3$



b) $Ra=10^4$



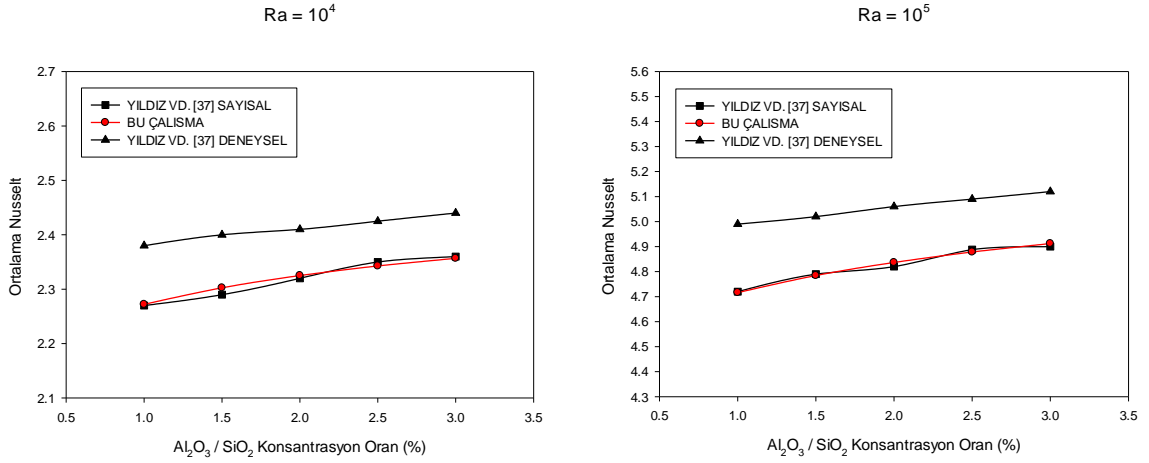
c) $Ra=10^5$



d) $Ra=10^6$

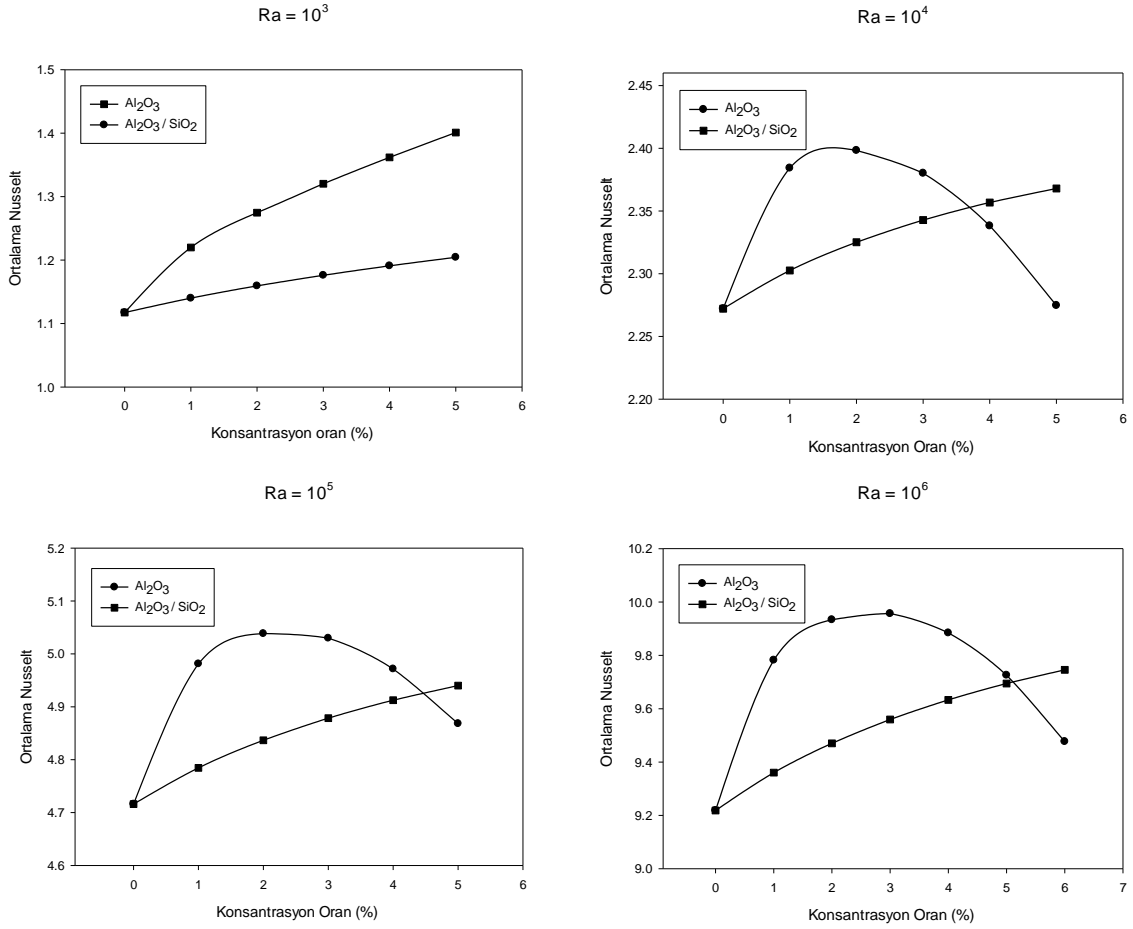
Şekil 6.15. Farklı Ra sayılarında hacimsel konsantrasyon oranının ortalama Nu sayısına etkisi.

Şekil 6.15'te farklı Ra sayılarında sayılarındaki hibrit konsantrasyon oranlarına göre ortalama Nu sayılarını gösteren grafikler bulunmaktadır. Tekil nanoakışkanın aksine hibrit nanoakışkanda artan hacimsel konsantrasyon oranı ile ortalama Nu sayılarında devamlı artış eğilimi görülmektedir.



Şekil 6.16. Literatürdeki çalışmayla [37] karşılaştırma grafiği.

Şekil 6.16'da Ra sayılarının 10^4 ve 10^5 olduğu durumlar için literatürdeki bir çalışmadan elde edilen deneysel ve sayısal veriler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmamızın sonuçları literatürdeki çalışmanın sayısal sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu Şekil 6.16'da görülmektedir. Ra sayısının 10^4 olduğu durumda sayısal ile deneysel arasındaki farkın en fazla %1 hacimsel konsantrasyon oranında %4,53 ve en düşük fark ise %2,5 hacimsel konsantrasyon oranında %3,39 olarak hesaplanmıştır. Ra sayısının 10^5 olduğu durumda sayısal veriler ile deneysel veriler arasındaki farkın en fazla %1 konsantrasyon oranında %5,49 ve en düşük fark ise %3 konsantrasyon oranında %4,05 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.16'de görüldüğü gibi yapılan sayısal karşılaştırmalar birbiri ile uyum içerisinde olup bu çalışmanın sayısal sonuçları deneysel sonuçlara daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.17. Farklı Ra sayılarında Al₂O₃/su ve Al₂O₃-SiO₂/su nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyon oranlarına göre ortalama Nu sayılarındaki değişim.

Şekil 6.17’de farklı Ra sayılarında Al₂O₃/su ve Al₂O₃-SiO₂/su nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyon oranlarına göre ortalama Nu sayılarındaki değişimi gösterilmiştir. Ra sayısının 10³ olduğu durumda Al₂O₃/su ve Al₂O₃-SiO₂/su nanoakışkanları için bütün hacimsel konsantrasyon oranlarında ortalama Nusselt sayılarında bir artış gözlemlenmiştir. Ra sayısının 10⁴ ve 10⁵ olduğu durumda Al₂O₃/su nanoakışkanı için %2’ye konsantrasyon oranına kadar ortalama Nu sayısında bir artış gözlemlenirken %2 konsantrasyon oranından sonra ilave edilen partikül miktarı için ortalama Nu sayısında bir azalma gözlenmiştir. Al₂O₃-SiO₂/su nanoakışkanı için bütün konsantrasyon oranları için ortalama Nu sayısında devamlı bir artış gözlemlenmiştir. Ra sayısının 10⁴ olduğu durumda %3-%4 hacimsel konsantrasyon oranı arasında tekil ve hibrit nanoakışkan için ortalama Nu sayısının eşitlendiği görülmektedir. Ra sayısının 10⁵ olduğu durumda ise %4-%5 hacimsel konsantrasyon oranları arasında

tekel ve hibrit nanoakışkan için ortalama Nu sayısının eşitlendiği görülmektedir. Ra sayısının 10^6 olduğu durumda Al_2O_3 /su nanoakışkan için %3 hacimsel konsantrasyon oranına kadar ortalama Nu sayısında bir artış gözlemlenirken %3 hacimsel konsantrasyon oranından sonra ilave edilen partikül miktarı için ortalama Nu sayısında bir azalma gözlenmiştir. Al_2O_3 - SiO_2 /su nanoakışkan için bütün hacimsel konsantrasyon oranları için ortalama Nu sayısında devamlı bir artış gözlemlenmiştir. %5 konsantrasyon oranında tekel ve hibrit nanoakışkanları için ortalama Nu sayısının eşitlendiği ve daha sonra Al_2O_3 / su nanoakışkanında ortalama Nu sayısının azaldığı Şekil 6.17’de görülmektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamasında sol yüzeyi ısıtılan sağ yüzeyi soğutulan kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınım ile olan ısı transferini sayısal olarak incelemek için tekil nanoakışkan olan Al_2O_3/su nanoakışkanı kullanılmıştır. İkinci aşamasında ise doğal taşınım ile olan ısı transferini sayısal olarak incelemek için hibrit nanoakışkan $Al_2O_3-SiO_2/su$ kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Tekil (Al_2O_3/Su) ve hibrit ($Al_2O_3-SiO_2/Su$) nanoakışkanlarının kullanıldığı bütün konsantrasyon oranlarında Ra sayısının artması hem lokal hemde ortalama Nu sayısını arttırmıştır.
- Tekil (Al_2O_3/Su) nanoakışkanı için %2 hacimsel konsantrasyon oranına kadar ortalama Nusselt sayısını artırırken %2 hacimsel konsantrasyon oranından sonra ortalama Nu sayısını azaltmaya başlamıştır.
- Tekil (Al_2O_3/Su) nanoakışkanı için ortalama Nu sayısındaki maksimum artış %17,39 ile Ray sayısının 10^3 olduğu durumda %4 hacimsel konsantrasyon oranında gerçekleşmiştir.
- Tekil (Al_2O_3/Su) nanoakışkanı için lokal Nu sayısındaki maksimum artış %6,25 ile %2 hacimsel konsantrasyon oranında gerçekleşmiştir.
- Hibrit ($Al_2O_3-SiO_2/Su$) nanoakışkanında bütün konsantrasyon oranlarında ortalama ve lokal Nu sayıları devamlı olarak iyileşme eğilimindedirler.
- Hibrit ($Al_2O_3-SiO_2/Su$) nanoakışkanı için ortalama Nu sayısındaki maksimum artış %7,2 ile Ra sayısının 10^3 olduğu durumda %4 hacimsel konsantrasyon oranında gerçekleşmiştir.
- Hibrit ($Al_2O_3-SiO_2/Su$) nanoakışkanı için lokal Nu sayısındaki maksimum artış %3,13 ile %4 hacimsel konsantrasyon oranında gerçekleşmiştir.

- Tekil ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}$) ve hibrit ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{Su}$) nanoakışkanlarının kullanıldığı bütün hacimsel konsantrasyon oranlarında lokal Nu sayısının en fazla olduğu konum ısıtılan duvarın başlangıç kısımlarıdır.
- Bu çalışmanın sonuçları, kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ısı transfer mekanizmasına indirgenecek birçok mühendislik uygulamasında (elektronik ekipmanların soğutulması, güneş kolektörleri, kurutma, bazı kimyasal prosesler vb.) kullanılabilir. Çalışmanın sonuçları bu sistemlerde etkili ısı transferini sağlamak için uygun parametrik kombinasyonların belirlenmesinde yardımcı olacaktır.
- Günümüz teknolojisinin artan öneminden dolayı yeni sistemler gelişmekte ve nanopartikül kullanımı vazgeçilmez bir unsur haline gelmektedir. Bu sistemleri ve cihazları tasarlarken maliyet önemli bir unsur olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan Al_2O_3 ve SiO_2 nanopartikülleri ucuzdur ve ticari olarak fazla öneme sahip nanopartiküllerdendir.
- Farklı türdeki nanoakışkanlar hazırlanarak, kullanılarak ve nanopartikül boyut, şekil vb. yönlerden de bu çalışmanın verimliliği artırılabilir.
- Nanoakışkanların kapalı ortamlardan başka ısı değiştiricilerinde kullanılmasıyla bu tür cihazların verimlerinin iyileştirilmesi araştırılabilir.
- Elde edilen sonuçlar deneysel yöntemler ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Incropera, F., P. DeWitt, D., L. Bergman, T., and S. Lavine, A., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", (2007).
2. Kashyap, D. and Dass, A. K., "Two-phase lattice Boltzmann simulation of natural convection in a Cu-water nanofluid-filled porous cavity: Effects of thermal boundary conditions on heat transfer and entropy generation", *Advanced Powder Technology*, 29 (11): 2707–2724 (2018).
3. Choi, S. U. S., Eastman, J. A., and Eastman, J. A., "BTI ENHANCING THERMAL CONDUCTIVITY OF FLUIDS WITH NANOPARTICLES* ENHANCING THERMAL CONDUCTIVITY OF FLUIDS WITH NANOPARTICLES", *Jam*, 1: 1 (1935).
4. Özerinç, S., Kakaç, S., and Yazıcıoğlu, A. G., "Enhanced thermal conductivity of nanofluids: A state-of-the-art review", *Microfluidics And Nanofluidics*, 8 (2): 145–170 (2010).
5. Nassan, T., Zeinali Heris, S., and Noie, S. H., "A comparison of experimental heat transfer characteristics for Al₂O₃/water and CuO/water nanofluid in square cross-section duct", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 37: 924–928 (2010).
6. Ogut, E. B., Akyol, M., and Arici, M., "Natural convection of nanofluids in an inclined square cavity with side wavy walls", *Isi Bilimi Ve Teknigi Dergisi/ Journal Of Thermal Science And Technology*, 37 (2): 139–150 (2017).
7. Rahmati, A. R. and Tahery, A. A., "Numerical study of nanofluid natural convection in a square cavity with a hot obstacle using lattice Boltzmann method", *Alexandria Engineering Journal*, 57 (3): 1271–1286 (2018).
8. Boualit, A., Zeraibi, N., Chergui, T., Lebbi, M., Boutina, L., and Laouar, S., "Natural convection investigation in square cavity filled with nanofluid using dispersion model", *International Journal Of Hydrogen Energy*, 42 (13): 8611–8623 (2017).
9. Sheremet, M. A. and Pop, I., "Effect of local heater size and position on natural convection in a tilted nanofluid porous cavity using LTNE and Buongiorno's models", *Journal Of Molecular Liquids*, 266: 19–28 (2018).
10. Brusly Solomon, A., van Rooyen, J., Rencken, M., Sharifpur, M., and Meyer, J. P., "Experimental study on the influence of the aspect ratio of square cavity on natural convection heat transfer with Al₂O₃/Water nanofluids", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 88 (October): 254–261 (2017).

11. SHEREMET, M. A., POP, I., ÖZTOP, H. F., and ABU-HAMDEH, N., "Natural convective heat transfer and nanofluid flow in a cavity with top wavy wall and corner heater", *Journal Of Hydrodynamics*, 28 (5): 873–885 (2016).
12. Sharifpur, M., Solomon, A. B., Ottermann, T. L., and Meyer, J. P., "Optimum concentration of nanofluids for heat transfer enhancement under cavity flow natural convection with TiO₂ – Water", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 98 (October): 297–303 (2018).
13. Bondarenko, D. S., Sheremet, M. A., Oztop, H. F., and Ali, M. E., "Natural convection of Al₂O₃/H₂O nanofluid in a cavity with a heat-generating element. Heatline visualization", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 130: 564–574 (2019).
14. Ghodsinezhad, H., Sharifpur, M., and Meyer, J. P., "Experimental investigation on cavity flow natural convection of Al₂O₃–water nanofluids", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 76: 316–324 (2016).
15. Ho, C. J., Chen, D. S., Yan, W. M., and Mahian, O., "Buoyancy-driven flow of nanofluids in a cavity considering the Ludwig-Soret effect and sedimentation: Numerical study and experimental validation", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 77: 684–694 (2014).
16. Brusly Solomon, A., Sharifpur, M., Ottermann, T., Grobler, C., Joubert, M., and Meyer, J. P., "Natural convection enhancement in a porous cavity with Al₂O₃-Ethylene glycol/water nanofluids", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 108: 1324–1334 (2017).
17. Hashim, I., Alsabery, A. I., Sheremet, M. A., and Chamkha, A. J., "Numerical investigation of natural convection of Al₂O₃-water nanofluid in a wavy cavity with conductive inner block using Buongiorno's two-phase model", *Advanced Powder Technology*, 30 (2): 399–414 (2019).
18. Siavashi, M., Yousofvand, R., and Rezanejad, S., "Nanofluid and porous fins effect on natural convection and entropy generation of flow inside a cavity", *Advanced Powder Technology*, 29 (1): 142–156 (2018).
19. Fontes, D. H., Padilla, E. L. M., dos Santos, D. D. O., and Bandarra Filho, E. P., "Numerical study of the natural convection of nanofluids based on mineral oil with properties evaluated experimentally", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 85 (May): 107–113 (2017).
20. Alsabery, A. I., Sheremet, M. A., Chamkha, A. J., and Hashim, I., "Conjugate natural convection of Al₂O₃–water nanofluid in a square cavity with a concentric solid insert using Buongiorno's two-phase model", *International Journal Of Mechanical Sciences*, 136 (August 2017): 200–219 (2018).

21. Rashidi, I., Mahian, O., Lorenzini, G., Biserni, C., and Wongwises, S., "Natural convection of Al₂O₃/water nanofluid in a square cavity: Effects of heterogeneous heating", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 74: 391–402 (2014).
22. Garoosi, F., Bagheri, G., and Rashidi, M. M., "Two phase simulation of natural convection and mixed convection of the nanofluid in a square cavity", *Powder Technology*, 275: 239–256 (2015).
23. Wen, D. and Ding, Y., "Formulation of nanofluids for natural convective heat transfer applications", *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, 26 (6): 855–864 (2005).
24. Li, C. H. and Peterson, G. P., "Experimental studies of natural convection heat transfer of Al₂O₃/DI water nanoparticle suspensions (Nanofluids)", *Advances In Mechanical Engineering*, 2010: (2010).
25. Akçaoğlu, E., Arici, M., Öğüt, E. B., Üniversitesi, K., Fakültesi, M., Bölümü, M. M., Üniversitesi, K., Yüksekokulu, G. M., and Bölümü, T. P., "Bölmeli bir kare kapalı ortam içindeki nanoakışkanın doğal konveksiyonla ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi Numerical investigation of natural convection heat transfer of nanofluids in a square enclosure", 28: 359–366 .
26. Tang, W., Hatami, M., Zhou, J., and Jing, D., "Natural convection heat transfer in a nanofluid-filled cavity with double sinusoidal wavy walls of various phase deviations", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 115: 430–440 (2017).
27. Armaghani, T., Kasaeipoor, A., Alavi, N., and Rashidi, M. M., "Numerical investigation of water-alumina nanofluid natural convection heat transfer and entropy generation in a baffled L-shaped cavity", *Journal Of Molecular Liquids*, 223: 243–251 (2016).
28. Meng, X., Zhang, X., and Li, Q., "Numerical investigation of nanofluid natural convection coupling with nanoparticles sedimentation", *Applied Thermal Engineering*, 95: 411–420 (2016).
29. Izadi, M., Mohebbi, R., Karimi, D., and Sheremet, M. A., "Numerical simulation of natural convection heat transfer inside a \perp shaped cavity filled by a MWCNT-Fe₃O₄/water hybrid nanofluids using LBM", *Chemical Engineering And Processing - Process Intensification*, 125 (October 2017): 56–66 (2018).
30. Motlagh, S. Y. and Soltanipour, H., "Natural convection of Al₂O₃-water nanofluid in an inclined cavity using Buongiorno's two-phase model", *International Journal Of Thermal Sciences*, 111: 310–320 (2017).

31. Siavashi, M. and Rostami, A., "Two-phase simulation of non-Newtonian nanofluid natural convection in a circular annulus partially or completely filled with porous media", *International Journal Of Mechanical Sciences*, 133 (August): 689–703 (2017).
32. Bhuiyana, A. H., Alam, M. S., and Alim, M. A., "Natural convection of water-based nanofluids in a square cavity with partially heated of the bottom wall", *Procedia Engineering*, 194: 435–441 (2017).
33. Moghadassi, A., Ghomi, E., and Parvizian, F., "A numerical study of water based Al₂O₃ and Al₂O₃-Cu hybrid nanofluid effect on forced convective heat transfer", *International Journal Of Thermal Sciences*, 92: 50–57 (2015).
34. Giwa, S. O., Sharifpur, M., and Meyer, J. P., "Experimental study of thermo-convection performance of hybrid nanofluids of Al₂O₃-MWCNT/water in a differentially heated square cavity", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, (xxxx): 119072 (2019).
35. Yıldız, Ç., Arıcı, M., and Karabay, H., "Comparison of a theoretical and experimental thermal conductivity model on the heat transfer performance of Al₂O₃-SiO₂/water hybrid-nanofluid", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 140: 598–605 (2019).
36. Zufar, M., Gunnasegaran, P., Kumar, H. M., and Ng, K. C., "Numerical and experimental investigations of hybrid nanofluids on pulsating heat pipe performance", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 146: (2020).
37. Sahu, M., Sarkar, J., and Chandra, L., "Transient thermo-hydraulics and performance characteristics of single-phase natural circulation loop using hybrid nanofluids", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 110: 104433 (2020).
38. Jin, X., Lin, G., Zeiny, A., Jin, H., Bai, L., and Wen, D., "Solar photothermal conversion characteristics of hybrid nanofluids: An experimental and numerical study", *Renewable Energy*, 141: 937–949 (2019).
39. Federación, D. oficial de la, "العربية اللغة تدریس طرق", *Экономика Пегуона*, 10 (9): 32 (2012).
40. Faizal, M., Saidur, R., Mekhilef, S., and Alim, M. A., "Energy, economic and environmental analysis of metal oxides nanofluid for flat-plate solar collector", *Energy Conversion And Management*, (2013).
41. Ferrouillat, S., Bontemps, A., Poncelet, O., Soriano, O., and Gruss, J. A., "Influence of nanoparticle shape factor on convective heat transfer and energetic performance of water-based SiO₂ and ZnO nanofluids", *Applied Thermal Engineering*, 51 (1–2): 839–851 (2013).

42. Mahbubul, I. M., Saidur, R., and Amalina, M. A., "Latest developments on the viscosity of nanofluids", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 55 (4): 874–885 (2012).
43. KARABULUT, K., BUYRUK, E., and KILINÇ, F., "Grafen Oksit (GO)-Su Nanoakışkanının Taşınım Isı Transferi ve Basınç Düşüşü Artışı Üzerinde Boru Çapı Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi", *Uluslararası Muhendislik Arastırma Ve Gelistirme Dergisi*, (2019).
44. Tawfik, M. M., "Experimental studies of nanofluid thermal conductivity enhancement and applications: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 75 (November 2016): 1239–1253 (2017).
45. Philip, J. and Shima, P. D., "Thermal properties of nanofluids", *Advances In Colloid And Interface Science*, 183–184: 30–45 (2012).
46. Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., and Thompson, L. J., "Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles", *Applied Physics Letters*, 78 (6): 718–720 (2001).
47. Teng, T. P., Hung, Y. H., Teng, T. C., Mo, H. E., and Hsu, H. G., "The effect of alumina/water nanofluid particle size on thermal conductivity", *Applied Thermal Engineering*, (2010).
48. Patel, H. E., Sundararajan, T., and Das, S. K., "An experimental investigation into the thermal conductivity enhancement in oxide and metallic nanofluids", *Journal Of Nanoparticle Research*, (2010).
49. Timofeeva, E. V., Smith, D. S., Yu, W., France, D. M., Singh, D., and Routbort, J. L., "Particle size and interfacial effects on thermo-physical and heat transfer characteristics of water-based α -SiC nanofluids", *Nanotechnology*, (2010).
50. Yu, W., Xie, H., Chen, L., and Li, Y., "Investigation on the thermal transport properties of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles", *Powder Technology*, (2010).
51. Murshed, S. M. S., Leong, K. C., and Yang, C., "Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids", *International Journal Of Thermal Sciences*, (2008).
52. Jwo, C. S., Jeng, L. Y., Chang, H., and Teng, T. P., "Experimental study on thermal conductivity of lubricant containing nanoparticles", *Reviews On Advanced Materials Science*, (2008).

53. Buongiorno, J., Venerus, D. C., Prabhat, N., McKrell, T., Townsend, J., Christianson, R., Tolmachev, Y. V., Keblinski, P., Hu, L. W., Alvarado, J. L., Bang, I. C., Bishnoi, S. W., Bonetti, M., Botz, F., Cecere, A., Chang, Y., Chen, G., Chen, H., Chung, S. J., Chyu, M. K., Das, S. K., Di Paola, R., Ding, Y., Dubois, F., Dzido, G., Eapen, J., Escher, W., Funfschilling, D., Galand, Q., Gao, J., Gharagozloo, P. E., Goodson, K. E., Gutierrez, J. G., Hong, H., Horton, M., Hwang, K. S., Iorio, C. S., Jang, S. P., Jarzebski, A. B., Jiang, Y., Jin, L., Kabelac, S., Kamath, A., Kedzierski, M. A., Kieng, L. G., Kim, C., Kim, J. H., Kim, S., Lee, S. H., Leong, K. C., Manna, I., Michel, B., Ni, R., Patel, H. E., Philip, J., Poulikakos, D., Reynaud, C., Savino, R., Singh, P. K., Song, P., Sundararajan, T., Timofeeva, E., Triticak, T., Turanov, A. N., Van Vaerenbergh, S., Wen, D., Witharana, S., Yang, C., Yeh, W. H., Zhao, X. Z., and Zhou, S. Q., "A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids", *Journal Of Applied Physics*, (2009).
54. Sun, H., Gowda, R., Wang, P., Charmchi, M., Gao, F., Gu, Z., and Budhlall, B., "Effects of particle surface charge, species, concentration, and dispersion method on the thermal conductivity of nanofluids", *Advances In Mechanical Engineering*, (2010).
55. Turgut, A., Sağlanmak, Ş., and Doğanay, S., "Nanoakışkanların Isıl İletkenlik ve Viskozitesinin Deneysel İncelenmesi: Tanecik Boyutu Etkisi", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 31 (1): 95–103 (2016).
56. Xie, H., Lee, H., Youn, W., and Choi, M., "Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities", *Journal Of Applied Physics*, (2003).
57. Yoo, D. H., Hong, K. S., and Yang, H. S., "Study of thermal conductivity of nanofluids for the application of heat transfer fluids", *Thermochimica Acta*, (2007).
58. Hwang, Y. J., Ahn, Y. C., Shin, H. S., Lee, C. G., Kim, G. T., Park, H. S., and Lee, J. K., "Investigation on characteristics of thermal conductivity enhancement of nanofluids", *Current Applied Physics*, (2006).
59. Wang, X. ju, Zhu, D. sheng, and yang, S., "Investigation of pH and SDBS on enhancement of thermal conductivity in nanofluids", *Chemical Physics Letters*, (2009).
60. Witharana, S., Chen, H., Musina, Z., Ding, Y., and Jin, Y., "Shear stability and thermophysical properties of titania nanofluids", *Proceedings Of The 2010 5th International Conference On Information And Automation For Sustainability, ICIAFS 2010*, (2010).
61. Paul, G., Chopkar, M., Manna, I., and Das, P. K., "Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, (2010).

62. Sajid, M. U. and Ali, H. M., "Thermal conductivity of hybrid nanofluids: A critical review", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 126: 211–234 (2018).
63. Akoh, H., Tsukasaki, Y., Yatsuya, S., and Tasaki, A., "Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate", *Journal Of Crystal Growth*, (1978).
64. Babita, Sharma, S. K., and Gupta, S. M., "Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: A review", *Experimental Thermal And Fluid Science*, 79: 202–212 (2016).
65. Siraj Ali Ahmed, "IMPROVING CAR RADIATOR PERFORMANCE BY USING TiO₂-WATER NANOFLUID", *Karabük University*, (2019).
66. Ghadimi, A., Saidur, R., and Metselaar, H. S. C., "A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, (2011).
67. Kilic, M. and Science, A., "Investigation of Combined Effect of Nanofluids and Impinging Jets on Cooling of Electronic Systems Elektronik Sistemlerin Soğutulmasında Nanoakışkanlar ve Çarpan Jetler in Müşterek Etkisinin İncelenmesi Investigation of Combined Effect of Nanofluids and I", 33 (October): 121–132 (2018).
68. KILINÇ, F., BUYRUK, E., and KARABULUT, K., "Experimental Analysis of Graphene Based Nanofluids on Vehicle Radiator Cooling Performance", *Journal Of The Institute Of Science And Technology*, 9 (2): 1046–1056 (2019).
69. Singh D, Toutbort J, and Chen G, "Heavy vehicle systems optimization merit review and peer evaluation", *Annual Report, Argonne National Laboratory*, (2006).
70. Buongiorno, J. and Hu, L. W., "Nanofluid coolants for advanced nuclear power plants", *Proceedings Of The American Nuclear Society - International Congress On Advances In Nuclear Power Plants 2005, ICAPP'05*, (2005).
71. UZUN, S., GENÇ, Y., and ACIR, A., "VVER-1000 Reaktöründe Alüminyum Nanoparçacıklı Soğutucunun Termal Performansının İncelenmesi", *Journal Of Polytechnic*, 0900: 0–2 (2020).
72. Oylar, Ö. and Tekin, İ., "KANSERİN TEŞHİS VE TEDAVİSİNDE NANOTEKNOLOJİNİN ÖNEMİ Nanotechnology in Cancer Diagnosis and Treatment", *Cilt*, 16: 147–154 (2011).
73. Singh, G., Bandhu Singh, D., Kumar, S., Bharti, K., and Chhabra, S., "A review of inclusion of nanofluids on the attainment of different types of solar collectors", *Materials Today: Proceedings*, (xxxx): 1–7 (2020).

74. Panesar, J. S., "The Numerical Study of Heat Transfer and Multiphase Flows in Sub-Atmospheric Industrial Evaporators", (September): (2016).
75. Ho, C. J., Liu, W. K., Chang, Y. S., and Lin, C. C., "Natural convection heat transfer of alumina-water nanofluid in vertical square enclosures: An experimental study", *International Journal Of Thermal Sciences*, (2010).
76. Sheikhzadeh, G. A., Dastmalchi, M., and Khorasanizadeh, H., "Effects of nanoparticles transport mechanisms on Al₂O₃-water nanofluid natural convection in a square enclosure", *International Journal Of Thermal Sciences*, 66: 51–62 (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah DAĞDEVİREN 1995 yılında Şanlıurfa’da doğdu; ilk ve orta aynı şehirde tamamladı. Şanlıurfa Endüstri Meslek Lisesi Otomasyon ATL programından mezun olduktan sonra 2013 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nde Lisans öğrenime başlayıp 2018 yılında bölüm birinciliği ile mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başladı. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi C Blok No:18
Balıklar kayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (543) 520 3080

E-posta : abduhahdagdeviren@karabuk.edu.tr