

Nanosıvılar Dolu Dikdörtgensel Kapalı Kutularda Doğal Konveksiyon

Abada Usuman Hassan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2014

Natural Convection In Rectangular Enclosures Filled With Nanofluids

Abada Usuman Hassan

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Mechanical Engineering

June 2014

# Nanosıvılar Dolu Dikdörtgensel Kapalı Kutularda Doğal Konveksiyon

Abada Usuman Hassan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji – Termodinamik Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

Haziran 2014

## ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Abada Usuman Hassan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Nanosıvılar dolu dikdörtgensel kapalı kutularda doğal konveksiyonu" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

**Üye** : Prof. Dr. Neşe ÖZTÜRK

**Üye** : Doç. Dr. Mesut TEKKALMAZ

**Üye** : Doç. Dr. Necati MAHİR

**Üye** : Doç. Dr. Nevzat KİRAÇ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada laminar akış şartlarında bir dikdörtgenel kapalı kutu içerisindeki nano akışkanın sabit duvar sıcaklığında doğal taşınım ile ısı transferi incelenmiştir. Nano parçacıkların bir sıvı içerisindeki süspansiyonları nano akışkan olarak adlandırılır. Nano akışkanlar yüksek ısı iletim katsayıları sebebiyle ısı transferi artırımı için gelecek vaat etmektedirler. An itibarıyla, literatürde nano akışkanların ısı iletim katsayıları ile ilgili çelişkili sonuçlar mevcuttur. Öte yandan söz konusu ısı iletim katsayısı artışına sebep olan mekanizmalar henüz tam olarak anlaşılabilen değildir. Bu çalışmada, %1 ile %9 arasında değişen hacimsel oranlarda suya katılan  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $CuO$  nanopartiküllerden oluşan nanosıvıların doğal taşınım ısı geçişine etkisi FLUENT yazılımı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Son dönemde yapılan deneysel çalışmalar, nano akışkanlarla elde edilen ısı transferi artırımının, ilgili ısı iletim katsayısı artırımından yüksek olduğunu göstermiştir. Bu ilave artışın, nano parçacıkların akış içerisindeki rastlantısal hareketleri sonucu oluşan ısı dağılım olayı ile açıklanabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanosıvılar, dikdörtgenel kapalı kutu, doğal konveksiyon.

## SUMMARY

In this study, natural convection heat transfer in laminar flow conditions within a rectangular enclosure filled with nano particles with constant wall temperatures has been investigated. A Nanofluid is a fluid containing nanometer sized particles called nanoparticles. Nanofluids are promisingly to levy due to high heat transfer coefficients they posses. Mean while, literatures are at chaos due to the results related to nanofluid heat transfer coefficient. On the other side, the mechanism that makes an increment to thermal conductivity is not fully understood. In this study, the volumetric ratio ranging from 1% to 9% water based  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{CuO}$  nanoparticles in natural convection heat transfer comprised of nanofluids was investigated numerically using FLUENT software. In recent experimental studies, an increament heat transfer coefficient obtained from nanofluid seems to be so high. This extra increase in heat transfer is suggested to be a result of thermal distribution due to random movement phenomena of nanoparticles within a flow.

**Key Words:** Nanofluids, Rectangular Enclosure, Natural Convection

## TEŞEKKÜR

Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım a teşekkür ederim. 13.06.2014

Arş. Gör. Zerrin SERT Fluent dersinde yaptığı katkılardan dolayı müteşekkirim.

Sevgili aileme manevi hiç bir yardımı esirgemedi özellikle Siraj abim ve Umar abim uzaklarda olsa da tüm kalbimle teşekkür ederim. Canım annem ve babam rüyalarınız gerçek oldu bakın. En önemliside dayım Daud Kara. Kalbimdesin dayı.

Bana maddi ve manevi her türlü desteği veren Demirdöğen ailesi kendi ailem olarak sayılır, en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. (Alperen Demirdöğen kahramanımsın dostum).

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET.....</b>	<b>v</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLERİN DİZİNİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELERİN DİZİNİ.....</b>	<b>xv</b>
<b>SIMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORİ.....</b>	<b>4</b>
2.1. Nanoakışkanlar İle Isı Transferinin.....	4
2.2. Nanoakışkanlar Türleri.....	7
2.2.1. CuO ve Cu <sub>2</sub> O baz nanosıvılar.....	8
2.2.2. Al ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Bazlı anosıvılar.....	10
2.2.3. TiO <sub>2</sub> Asıl Nanosıvılar.....	12
2.3. Nanosıvılar Termofiziksel Özellikleri.....	13
2.3.1. Isıl iletkenlik.....	13
2.3.2. Isıl iletkenliğin ölçümü.....	14
2.3.3. Isı Kapasitesi.....	14
2.3.4. Nanoakışkanların Yoğunluğu ( $\rho_{nf}$ ).....	16
2.3.5. Nanoakışkanların Viskozite ( $\mu_{eff}$ ).....	16
2.3.6. Nanoakışkanların termal iletkenlik ( $k_{eff}$ ) <i>stagnant</i> .....	20
2.3.7. Nanoakışkanların termal difüzyon ( $\alpha_{nf}$ ).....	21



2.4. Nanosıvılar Uygulamaları.....	22
2.4.1. Potansiyel Faydaları.....	22
2.4.2. Nanosıvıla Tıbbi Uygulamalar.....	23
2.4.3. Endüstriyel Uygulamaları.....	24
2.5. Nano Akışkanlarda Isı Transferi Değişkenlikleri.....	26
2.5.1. Parçacık Topaklanması (Yığılması).....	27
2.5.2. Hacim oranı (kesri).....	28
2.5.3. Termoforez.....	29
2.5.4. Nano parçacık boyutu.....	29
2.5.5. Parçacık şekli / yüzey alanı.....	29
2.5.6. Nano parçacık-sıvı ara yüzünde sıvı tabakalanması.....	30
2.5.7. Sıcaklık.....	31
2.5.8. Termal sınır tabaka kalınlığında azalma.....	32
<b>3. NANOSIVILAR DOĞAL TAŞINIM.....</b>	<b>33</b>
3.1.Deneysel Çalışmalar.....	33
3.2.Sayısal Çalışmaları.....	35
<b>4. MATEMATİK MODEL.....</b>	<b>39</b>
<b>5. DENEY TASARIMI VE SAYISAL ÇÖZÜM (SAD) YÖNTEMİ).....</b>	<b>44</b>
5.1.Deneysel Ekipmanları ve Tasarım.....	44
5.2.Sayısal Çözüm (Sayısal Akışkanlar Dinamiği(Sad) Yöntemi.....	45
5.3.Fluent Bilgisayar Programı.....	45
5.3.1. Gambit modülü.....	46
5.3.2. Xserver ( Hummingbird Connectivy) modülü.....	47
5.3.3. Tgrid modülü.....	47
5.3.4. Fluent modülü.....	47
5.4. Çalışma Programı.....	48
5.4.1. Uygun grid (kafes) yapısının oluşturulması ve seçilmesi.....	48
5.4.2. Ayrık çözüm yöntemi.....	48
5.4.3. Denklemlerin lineer hale getirilmesi.....	50
5.4.4. Denklemlerin ayrıklaştırılması.....	51

5.4.5. Denklemlerin linerize edilmiş yapıları.....	53
5.4.6. Relaksasyon.....	53
5.5.Deneysel Çalışmanın Sayısal Olarak Modellenmesi.....	54
5.5.1. GAMBİT Aşamaları.....	54
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....</b>	<b>82</b>
<b>7. SONUÇLAR.....</b>	<b>92</b>
<b>8. KAYNAKLAR.....</b>	<b>93</b>
Ek-1 Deneyin Sonuçları (Nusselt Numaraları) .....	98
Ek-2 Deneyin Sonuçları (Rayleigh Numaraları) .....	100

## ŞEKİLLERİN DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Termal İletkenliğin Nanopartiküllerin Hacimsel Oranına Bağlı Değişimi.....	7
Şekil 2.2: Cu ( Ac) fotoliz farklı çözücüler içinde.....	8
Şekil 2.3: Sekizyüzlü - Cu <sub>2</sub> O nanosivılar.....	9
Şekil 2.4: Küresel Cu <sub>2</sub> O nanopartiküllerin SEM görüntüsü.....	9
Şekil 2.5: Küre - Cu <sub>2</sub> O nanosivılar 24 saat hazırlanmasında sonrası.....	10
Şekil 2.6: TEM mikrografını - püskürtülür alümina nano – parçacıkların.....	11
Şekil 2.7 : TiO <sub>2</sub> 'nin XRD desenleri.....	12
Şekil 2.8. Isı kapasitesi formüllerinin kıyası (mavi boş yuvarlaklar.....	15
Şekil 2.9. Isı kapasitesi formüllerinin kıyası.....	15
Şekil 2.10. Nano akışkanın viskozitesinin hacimsel orana bağımlılığı.....	17
Şekil 2.11. Etilen glikol nano akışkanındaki bakırın viskozitesi.....	18
Şekil 2.12. Farklı kayma gerilmelerinde nano parçacığın bağıl viskozitesi.....	19
Şekil 2.13. Alüminyum parçacıklı nano akışkanın viskozitesinin sıcaklıkla değişimi...	19
Şekil 2.14. Etilen glikol içerisindeki bakır nano-parçacıkların boyutları.....	26
Şekil 2.15. Bakır oksit içerikli nano akışkanın ısıl iletkenliğinin zaman içerisinde değişimi.....	27
Şekil 2.16. Su içerisindeki konsantarasyon oran.....	28
Şekil 2.17. Nano parçacık yarıçapının tersi üzerinde Isıl iletkenliği artışının Etkisi.....	30

Şekil 2.18. Nano akışkanların ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişiminin deneysel sonuçları.....	31
Şekil 3.1. Wen ve Ding deneysel sonuçları.....	34
Şekil 3.2 :Fiziksel modeli için şematik.....	35
Şekil 3.3: Katı hacim fraksiyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	36
Şekil 4.1: Bu çalışmada ele dikdörtgenel muhafaza şematik görünümü.....	39
Şekil 5.1: Çalışma Fiziksel modeli için şematik.....	44
Şekil 5.2. Ayrık çözüm yönteminin adımları.....	49
Şekil 5.3. Skaler transport denkleminin ayrıklaştırmanın yapıldığı kontrol hacmi.....	52
Şekil 5.4 Gambit'in açılması.....	55
Şekil 5.5 Koordinat sisteminin merkezini dikdörtgenin.....	56
Şekil 5.6 Create Real Vertex penceresi.....	56
Şekil 5.7 vertex List (Multiple.....	57
Şekil 5.8 Dikdörtgen şekil.....	58
Şekil 5.9 Edge List penceresi.....	59
Şekil 5.10 yüzeyi meshleme işlem.....	60
Şekil 5.11. Hacme mesh atılması.....	61
Şekil 5.12 Duvar Sınırlama.....	61
Şekil 5.13 Specify Boundary Types penceresi.....	62
Şekil 5.14 Name/Type liste penceresi.....	63
Şekil 5.15: FLUENT mesh istatistikler penceresi.....	65

Şekil 5.16: Solver penceresi.....	68
Şekil 5.17: Viskoöz model ayarlama penceresi.....	68
Şekil 5.18: Enerji penceresi.....	69
Şekil 5.19: Malzeme penceresi.....	70
Şekil 5.20: Özellikleri penceresi.....	71
Şekil 5.21: Operating Conditions penceresi.....	72
Şekil 5.22: Sınır Koşulların paneli.....	72
Şekil 5.23 a,b: Sol Wall penceresi.....	73
Şekil 5.23c,d: Alt ve üst Wall pencereleri.....	74
Şekil 5.24: Akışınkanın penceresi.....	75
Şekil 5.25a: Çözüm kontrolü penceresi.....	76
Şekil 5.25b: Çözüm Başlatma penceresi.....	77
Şekil 5.26: Artık ekran penceresi.....	78
Şekil 5.27: Yüzey ekran penceresi.....	78
Şekil 5.28: Yüzey tanımlama penceresi.....	79
Şekil 5.29: iterasyon penceresi.....	80
Şekil 5.2: Yakınsama Penceresi.....	80
Şekil 5.17: Referans Değer penceresi.....	81
Şekil 6.1: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Su içeren nanosıvı partiküller için Rayleigh ile Nusselt sayıların değişimi.....	83
Şekil 6.2: 3cmx3cm geometri için % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeriği ile (a) akım fonksiyonları (b) eş sıcaklık eğrilerinin değişimi .....	84

Şekil 6.3: 5cmx5cm geometri için % $Al_2O_3$ içeriği ile (a) akım fonksyonları (b) eş sıcaklık eğrilerinin değişimi .....	85
Şekil 6.4: CuO-Su içeren nanosıvı partiküller için Rayleigh ile Nusselt sayılarının değişimi.....	86
Şekil 6.5: 3cmx3cm geometri için % CuO içeriği ile (a) akım fonksyonları (b) eş sıcaklık eğrilerinin değişimi .....	87
Şekil 6.6: 5cmx5cm geometri için % CuO içeriği ile (a) akım fonksyonları (b) eş sıcaklık eğrilerinin değişimi .....	88
Şekil 6.7: TiO-Su içeren nanosıvı partiküller için Rayleigh ile Nusselt sayılarının değişimi.....	89
Şekil 6.8: 3cmx3cm geometri için % TiO içeriği ile (a) akım fonksyonları (b) eş sıcaklık eğrilerinin değişimi .....	90
Şekil 6.9: 5cmx5cm geometri için % TiO içeriği ile (a) akım fonksyonları (b) eş sıcaklık eğrilerinin değişimi .....	91

## ÇİZELGELERİN DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1: katsayısı C ve üsteller m, n değerleri farklı modeller için Ho et al. sayısal sonuçlarına göre.....	37
Çizelge 6.1. Nano-particle malzemeler ve termofiziksel özellikler.....	82
Çizelge E.1 – E.10 Nusselt Ve Rayleigh Numaraları.....	98-103

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$c_{pnf}$	Nanoakışkanın özgül ısısı (kJ/kg·K)
$c_{ps}$	Nanopartikülün özgül ısısı (kJ/kg·K)
$c_{pw}$	Sabit basınçta suyun özgül ısısı, (kJ/kg·K)
$H$	Taşıma ısı transferi katsayısı, (W/m <sup>2</sup> ·K)
$\rho_{nf}$	Nano akışkan yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_s$	Nano partikül yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_w$	Suyun yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )
$k_B$	Boltzmann sabitini
$k_{nf}$	Nanoakışkanın ısı iletim katsayısı, (W/m·K)
$k_s$	Nanopartikülün ısı iletim katsayısı, (W/m·K)
$k_w$	Suyun ısı iletim katsayısı, (W/m·K)
$L$	Kutun uzunluğu, (m)
$W$	Kutun genişliği, (m)
$\mu_{nf}$	Nano akışkanın dinamik viskozitesi, (kg/m·s)
$\mu_w$	Suyun dinamik viskozitesi, (kg/m·s)
$\mu_{Wnf}$	Kutun duvar sıcaklığındaki nano akışkanın dinamik viskozitesi, (Pas)
$Nu_{nf(deney)}$	Nano akışkanın deneysel ortalama Nusselt sayısı
$Nu_{nf(teorik)}$	Seider-Tate korelasyonu ortalama Nusselt sayısı



$Nu_{nf}$	Sayısal olarak hesaplanan ortalama Nusselt sayısı
$P$	Basınç, (Pa)
$q_w$	Isı akısı, ( $W/m^2$ )
$Pr$	Su için Prandtl sayısı, ( $Pr = c_p\mu/k$ )
$Re$	Su için Reynolds sayısı, ( $Re = \rho u D_H/\mu$ )
$Re_{nf}$	Nano akışkanın Reynolds sayısı ( $Re_{nf} = \rho_{nf} u D_H/\mu_{nf}$ )
$Pr_{nf}$	Nano akışkanın Prandtl sayısı ( $Pr_{nf} = c_{p,nf}\mu_{nf}/k_{nf}$ )
$Pe_{nf}$	Nano akışkanın Peclet sayısı ( $Pe = Pr_{nf} \cdot Re_{nf}$ )
$S_c$	Kaynak katsayısı
$S_e$	Enerji transferini ifade eden kaynak terimi
$S_m$	Momentum transferini ifade eden kaynak terimi
$T_b$	Ortalama akışkan sıcaklığı, (K)
$T_{\check{c}}$	Nano akışkanın kutuya çıkış sıcaklığı (K)
$T_o$	Akışkanın kutuya giriş sıcaklığı (K)
$T_w$	Kutu Duvar sıcaklığı, (K)
$\bar{u}$	Nano akışkana ait ortalama hız (m/s)
$\nu$	Akışkana ait kinematik viskoziteyi
$\phi$	Akışkan içerisindeki nano parçacık hacimsel oranı
$\lambda$	Ortalama serbest yol
$\alpha$	Isıl yayınılabirlik katsayısı

**Kısaltma****Açıklama**

SAD

Sayısal akışkanlar mekaniği

CDF

Computational fluid dynamics

SE

Sonlu Elemanlar

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Nanometre boyutlarındaki malzemelerin temel karakteristiği mikroskopik yapılarının makroskopik termodinamik özellikleri üzerine etkisi ile birçok yeni fiziksel olayın ortaya çıkmasıdır. Bunlar taşınım ısı transferinde önemli rol oynamaktadır.

Genellikle ısı transfer akışkanları olarak su, yağ ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılır. Bununla birlikte bu akışkanlar düşük ısı transfer performansına sahiptirler. Bu akışkanlarının ısı transfer karakteristiklerinin artırılması için kullanılan tekniklerden birisi de akışkan içerisine ısıl iletkenlikleri akışkanlara göre çok daha yüksek olan katı partiküllerin ilave edilmesidir (Lee vd., 1999). Günümüze kadar bu tür sıvı ve katı partiküllerden oluşan süspansiyonlar da milimetre büyüklüğünde katı partiküllerin kullanımı söz konusuydu. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda içerisinde 10-50 nanometre büyüklükte katı partiküllerin söz konusu olduğu yeni bir süspansiyon tipi olan nanoakışkanların keşfi, ısı transfer akışkanları konusunda yeni bir alan açmıştır. Bunun en önemli nedeni çok küçük nanopartikül konsantrasyonlarında dahi nanoakışkanların şaşırtıcı mertebede yüksek ısıl iletkenlik değerlerine sahip olmasıdır (Choi, 1995; Eastman vd., 2001; Das vd., 2003). Nanopartikül olarak genellikle bakır, gümüş, bakır oksit ve alüminyum oksit kullanılmaktadır.

Keblinski vd. (2002) nanoakışkanlarda söz konusu olan ısı iletim kabiliyetindeki önemli artışın, katı partiküllerin Brownian hareketine, sıvı katı ortak yüzeyinde söz konusu olan moleküler seviyedeki sıvı tabakalaşması, ısı transfer mekanizmasının doğası ve nanopartikül yığılmaları etkisi gibi faktörlere bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Nanoakışkanlarda ısı transferi ile ilgili en önemli parametre ısı iletim kabiliyetidir. Bununla birlikte nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmek üzere önerilmiş ileri teoriler söz konusu değildir. Bu nedenle bir kısım araştırmacı iki fazlı karışımlara ait ısı iletim kabiliyeti için önerilen değişik modellerin nanoakışkanlar için kullanılması yoluna gitmiştir. Bu modellerden en çok bilinenleri olan Maxwell-Garnett (1904), Hamilton ve Crosser (1962), Wasp (1977) ve Hwang vd. (2003) tarafından önerilen modellerin nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmede başarısız olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçlar daima bu modellerden daha yüksek ısı iletkenlik katsayıları üretmişlerdir. Nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmek üzere alternatif bir model Yu ve Choi (2003) tarafından önerilmiştir. Yu ve Choi (2003) nanoakışkanlarda katı sıvı yüzeyinde oluşan sıvı tabakanın sıvı ve katı arasında bir termal köprü görevini gördüğünü ifade etmiş ve ısı iletim kabiliyetindeki önemli artışları bu etkiye bağlamıştır. Yu ve Choi (2003) model sonuçlarını nanoakışkanlar için yapılmış pek çok deneysel sonuçla karşılaştırmışlar ve modellerinin nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetini ifade etmede oldukça başarılı olduğunu görmüşlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada da ısı iletim kabiliyeti için Yu ve Choi (2003) tarafından önerilen bu model kullanılmıştır.

Son yıllarda nanoakışkanlara ait konveksiyonla ısı transferi üzerine çeşitli çalışmalarda yapılmıştır. Kanafer vd. (2003) kapalı ortamlarda nanoakışkanların doğal konveksiyonla ısı transferini inceleyen ilk kişi olmuştur. Jou ve Tzeng (2006) kapalı dikdörtgen bir ortamda doğal konveksiyon için yaptıkları sayısal çalışma sonucunda nanoakışkan kullanımının ortalama Nusselt sayısında önemli artışlara söz konusu olduğunu görmüşlerdir. Son zamanlarda Ogut (2009) su bazlı nanoakışkanların, yan duvardan sabit ısı akısıyla kısmen ısıtılmış, eğik kare bir kapalı ortam içindeki doğal konveksiyonunu incelemiş ve ısıtıcı uzunluğu arttıkça ısı transfer miktarının düştüğünü gözlemlemiştir. Anilkumar and Kuzhivelı (2009) merkeze yerleştirilmiş ince bölmeli bir dikdörtgen kavite içindeki benzin alüminyum karışımli nanoakışkanın doğal konvektif ısı transferini sonlu farklar yöntemi kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Son zamanlarda yapılan çalışmalardan örnek vermek gerekirse Mostafa (2011), içinde ince

bir ısıtıcıya sahip kare bir kavite içindeki su bazlı nano akışkanların serbest konveksiyon akışını sayısal olarak incelemiştir. Üst ve alt duvarları yalıtılmış olup, sol ve sağ duvarları sabit bir  $T_c$  sıcaklığında tutulmuştur. Yönetici denklemler sonlu hacimler metodu ve Simpler algoritması kullanılarak ayrıklaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düşük Rayleigh sayılarında yatay pozisyondaki ısıtıcı yüksek Nusselt sayılarına sahip iken, yüksek Rayleigh sayılarında, ısıtıcının pozisyonunun ısı transfer miktarını etkilemediğini belirtmiştir. Rashmi vd. (2011)  $Al_2O_3$ -su esaslı nano-akışkanların doğal taşınım ile ısı transferinin sayısal simülasyonlarını FLUENT v6.3 kullanarak su bazlı nanoakışkanı tek faz olarak düşünerek simüle ederek çözmüşlerdir. Parçacık hacim oranı arttıkça ısı transferinde azalma olduğunu görmüşler. Abu-Nada (2011) Rayleigh-Benard taşınım problemini ele alarak,  $CuO$ -su esaslı nanoakışkanların doğal taşınımındaki ısı transfer artışını incelemiştir. Sonuçlar  $Ra=10^3$  için nanoparçacıkların hacim oranının artışıyla ortalama Nu sayısı artmakta olduğunu göstermiştir. Guet vd. (2011) alttan çıkıntılı olarak yerleştirilmiş bir ısıtıcıya sahip kare oyuk içindeki bakır su-bazlı nanoakışkanın doğal konveksiyonunu sayısal olarak incelemiştir. Oyuğun dikey duvarları eşsıcaklık olarak soğutulmuş, yatay duvarlarından biri adyabatik ve alt duvara ısıtıcı eklenmiştir. Isı kaynağı ya sabit ısı akısı ya da eş sıcak olarak kabul edilmiştir. Yönetici denklemlerin sayısal çözümünde Lattice Boltzmann methodu kullanılmıştır. Çalışmada seçim aralığı verilen Rayleigh sayısı ile, ısıtıcı üzerine uygulanan ısıl sınır şartlarından bağımsız olarak, artan hacim oranı ile ısı transferinin arttığını gözlemlemiştir.

Bu çalışmanın amacı ise, dikdörtgenel kapalı kutularda (oyuklarda) %1 ile %9 arasında değişen hacimsel oranlarda  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $CuO$  nanopartiküllerden oluşan su-bazlı nanosıvıların doğal taşınım ısı geçişine etkisi FLUENT yazılımı kullanılarak sayısal olarak araştırılmasıdır.

## BÖLÜM 2

### TEORİ

Nanoparçacıkların bir sıvı içerisindeki süspansiyonları nanoakışkan olarak adlandırılır. Nanoakışkanlar yüksek ısı iletim katsayılarıyla, sıvılarla oluşturulacak karışımlarını ile sıvıların ısı transferi kapasitesini arttırmada gelecek vaat etmektedir. An itibarıyla, literatürde nanoakışkanların ısı iletim katsayılarıyla ilgili sonuçlar çelişkilidir. Öte yandan ısı iletim katsayısı artışına sebep olan mekanizmalar henüz tam olarak anlaşılamamıştır.

#### 2.1.Nanoakışkanlar İle Isı Transferi

Nanopartiküllerin katılması ile iş yapan akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi Xuan vd (2000) sıralanabilir:

1. Akışkan içerisine asılı-partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür;
2. Partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır;
3. Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçitinin yüzeyinin artmasına neden olur;
4. Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar;

5. Nanopartiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık eğiminin düzleşmesine neden olur.

Nanoakışkan üretebilmek için kullanılan nanopartiküller alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş (Ag) ve silisyum dioksit ( $SiO_2$ )dir. Nanopartiküller gaz yoğuşturulması, mekanik aşındırma ve kimyasal çöktürme yöntemlerinden biriyle üretilmektedir Wen D (2004). Gaz yoğuşturma işlemi diğer yöntemlere göre daha avantajlı bir yöntemdir. Zira partiküller daha temiz bir ortamda üretilmekte ve yüzeyleri istenmeyen maddelerle kaplanmamaktadır. Ancak düşük bir enerji uygulanması durumunda parçacıklar küçük demetçiklere ayrılarak topaklanmalar meydana gelmektedir.

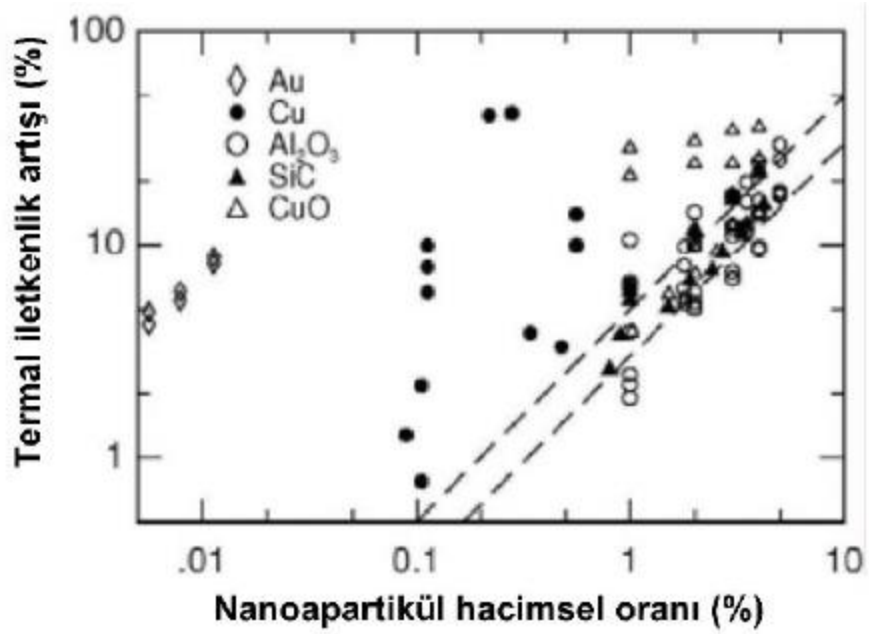
Geleneksel akışkanların konveksyon ısı transferi performanslarını nanopartiküllerin akışkan içerisine katılması, başka deyişle nanoakışkanların hazırlanması özen gösterilmesi gereken önemli bir işlemdir. Zira nanoakışkan kavramı basit bir şekilde sıvı-katı karışımı anlamına gelmemektedir. Hazırlanan akışkanın tam, kararlı ve uzun ömürlü bir süspansiyon olması, partiküllerin çok küçük miktarda topaklanması ve akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekmektedir. Literatürde nanoakışkan hazırlanmasına yönelik en kapsamlı çalışma Xuan and Li (2000) tarafından verilmiştir. Nanoakışkanları hazırlama yönteminin uygulamaya göre belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Nanoakışkanların mühendislik sistemlerinde kullanımıyla ilgili literatür çok zengin değildir. Son yıllarda özellikle ısı transferi akışkanı olarak kullanılan yeni süspansiyonların taşınım karakteristiklerini belirlemeye ve süspansiyonların ısı iletkenliklerinin belirlenmesi üzerine modeller geliştirmeye yönelik çalışmaların yoğunluk kazandığı görülmektedir.

Wen and Ding (2004) alümina ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve deiyonize edilmiş su kullanarak nanoakışkanların taşınımıyla ısı transferini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlar, ısı transferinde dikkate değer bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Isı transferi davranışını karakterize etmede literatürde bilinen klasik Shah denkleminin başarısız olduğunu, bunun nedeninin ise partiküllerin taşınımı nedeniyle sınır tabakanın bozulması olduğunu iddia etmişlerdir.

Putra ve diğerleri (2003) farklı iki (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO) nanopartikül-su bazlı süspansiyonun bir ucundan ısıtılan diğer ucundan soğutulan yatay bir boru içindeki doğal taşınım karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Partikül konsantrasyonu, partikülün malzemesi ve akışanın aktığı silindirin geometrik özellikleri gibi parametrelerin değişimlerini ve birbirleri ile ilişkisini kararlıhalde araştırmışlardır. Partikül hacim oranının artması ile ısı transferi miktarının azaldığını belirtmişlerdir. Özellikle nanoakışkanların doğal taşınımıyla ilgili deneysel verilerinin az olması nedeniyle Khanafer et al. (2003) analitik bir model geliştirmiştir. Modelde nanoakışkanın tek fazda olduğu, yani akışkan ve partiküllerin termal olarak dengede olduğu ve aynı hızda aktığı kabul edilmiştir. Yine Kim vd (2004), nanoakışkanın ısı iletkenliğinin temel akışkanın ısı iletkenliğine oranı, nanoakışkanın yoğunluğunun temel akışkanın yoğunluğuna oranı, nanoakışkanın ısı kapasitesinin temel akışkanın ısı kapasitesine oranı, şekil faktörü ve hacimsel oran gibi etkenleri içeren yeni bir faktör ( $\phi$ ) tanımlamış ve analitik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İki çalışmada da partiküllerin hacimsel oranı arttıkça ısı transferi miktarının arttığı görülmüştür. Putra vd (2003) tarafından yapılan deneysel çalışma ile bu iki analitik çalışmanın sonuçları arasında bir uyumsuzluk söz konusudur. Trisaksri ve Wongwises (2005) çalışmasında bu uyumsuzluğa dikkat çekmiş ve konunun bundan sonraki çalışmalarda netleşeceğini şekil 2.1 gibi ifade etmiştir.





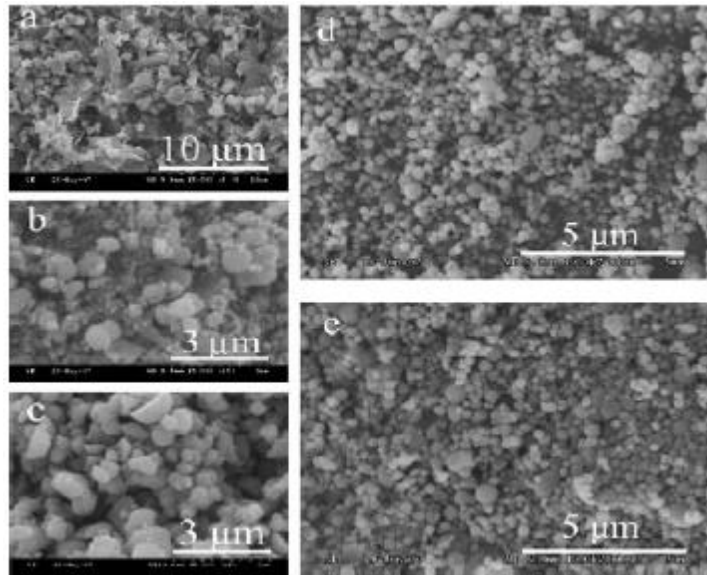
Şekil 2.1: Isıl iletkenliğin nanopartiküllerin hacimsel oranına bağlı değişimi

## 2.2.Nanoakışkanlar Türleri

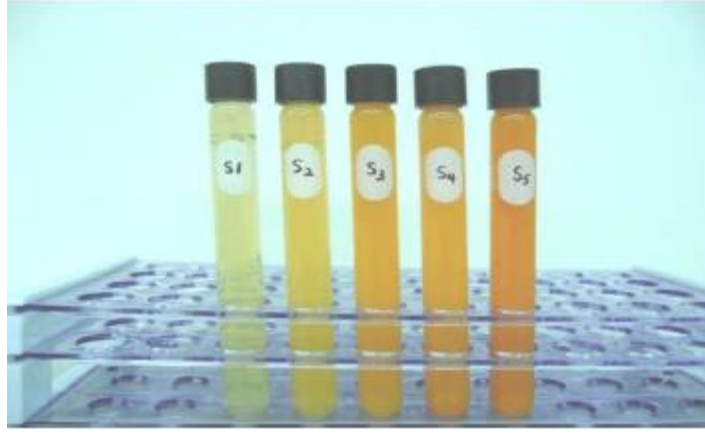
Nanoakışkanların kullanılan bazı nanoparçacık malzemeler oksit seramikler (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, Cu<sub>2</sub>O), nitrür seramik ( AlN, SiN ) , karbür seramik (SiC, TiC), metaller (Ag, Au, Cu, Fe), yarı iletkenler, tek, çift veya çok duvarlı karbon (SWCNT, DWCNT, NWCNT) ve nanoparçacık çekirdek-kabuk polimer kompozitler gibi kompozit malzemeler. Buna ek olarak, yeni malzemeler ve yapılar, parçacık nano sıvı parçacıkları arayüzü çeşitli moleküller ile sertleştirilmektedir nanoakışkanların kullanım için caziptir.

### 2.2.1. CuO ve Cu<sub>2</sub>O bazlı nanosivilar :

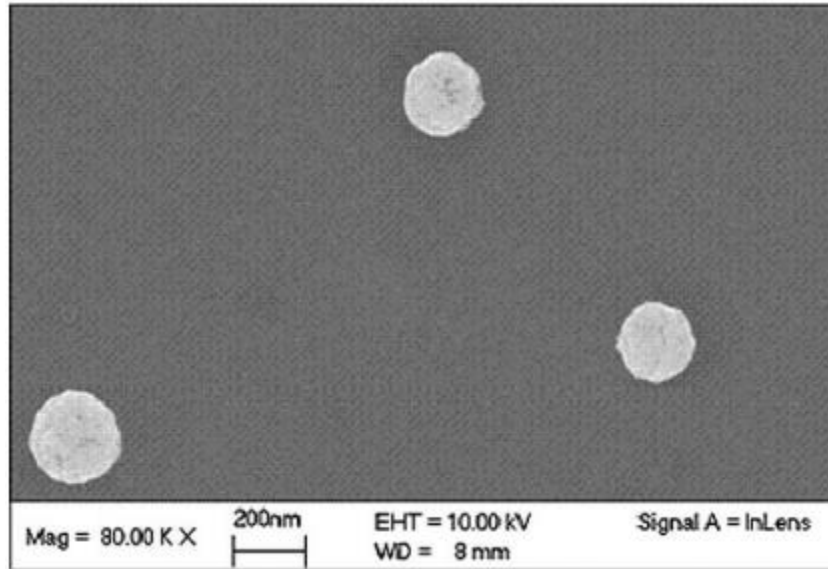
Cu<sub>2</sub>O p-tipi yarı iletken olması nedeniyle bu tür güneş hücreleri, pigmentler ve katalizörler gibi alanlarda potansiyel uygulamalara son zamanlarda kayda değer dikkat alan birdir. Nano Cu<sub>2</sub>O özellikleri sayesinde daha gelişmiş sahip olduğu tahmin edilmektedir. Cu<sub>2</sub>O nanokristaller başarılı bir şekilde farklı yöntemlerle sentez edilmiştir; ancak hafif koşullar altında şekil kontrollü Cu<sub>2</sub>O nanokristaller sentezlenmesi için birkaç yaklaşım bildirilmiştir. Xiaohao Wei et al. (2009) Cu<sub>2</sub>O nanosivilar kimyasal çözüm yöntemi (CSM) kullanılarak sentezlenebilir olduğunu göstermiştir. Nano-parçacık bazı sentez parametrelerini ayarlayarak bir oktahedral şekiline küresel şekilden değişebilir. Nanosivı ısı iletkenliği, aynı zamanda sentez parametreleri ya da sıcaklıktan kontrol edilebilir. Bakır-sülfat (CuSO<sub>4</sub>) ve sodyum-hidrat (NaOH) arasındaki reaksiyon, bakır- hidroksit (Cu (OH)<sub>2</sub>) ve sodyum - sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) elde edilir. Şekil 2.2, 2.3 ve 2.4 gösterildiği gibi.



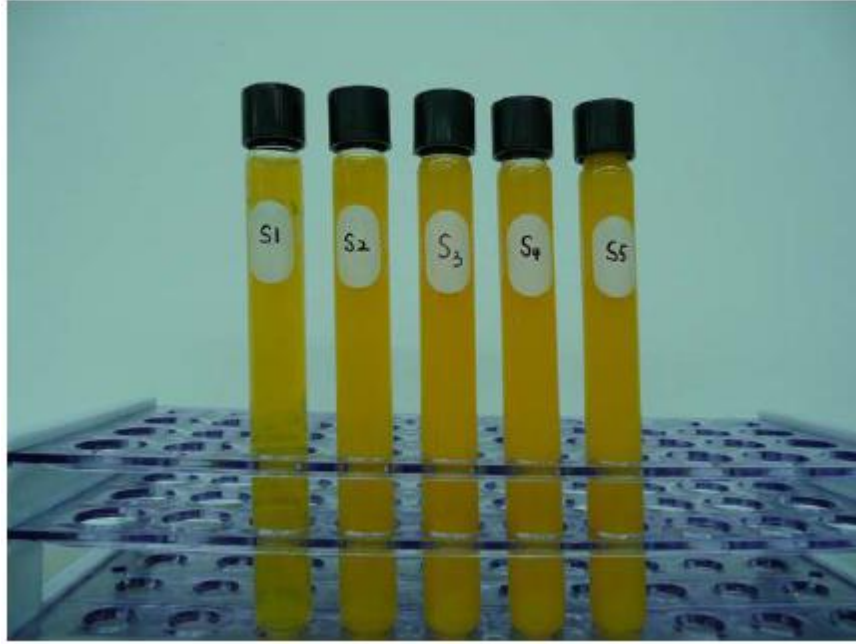
Şekil 2.2: Cu<sub>2</sub>O'nun nanopartiküllerinin SEM görüntüleri Cu(Ac)<sub>2</sub> fotoliz farklı çözücülerinde elde ettikten sonra: (a) su, (b) metanol, (c) etanol, (d) etilen glikol, (e) dodekanol.



Şekil 2.3: Sekizyüzlü - Cu<sub>2</sub>O nanosivilar hazırlanmasından 24 saat sonrası (0.002mol/L'ye0.0025 mol / L' den CuSO<sub>4</sub> molar konsantrasyon).



Şekil 2.4: Küresel Cu<sub>2</sub>O nanopartiküllerin SEM görüntüsü (CuSO<sub>4</sub> molar konsantrasyon: 0.01 mol / L; ortam sıcaklığında).

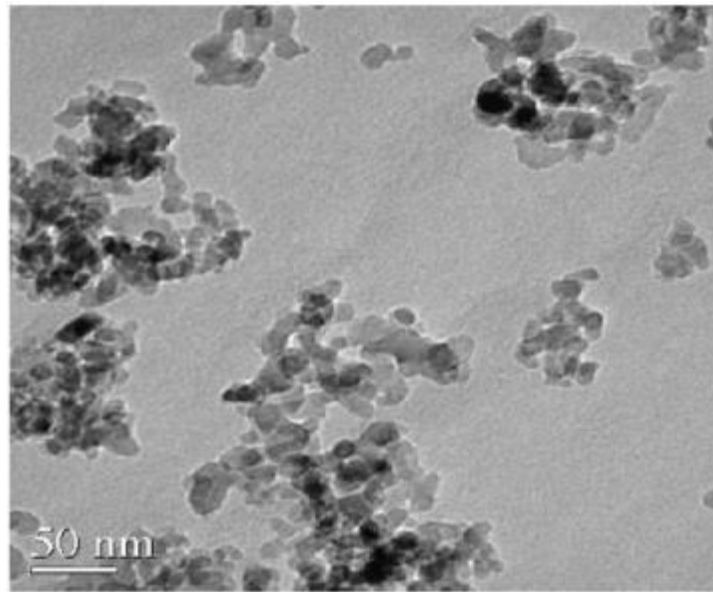


Şekil 2.5: Küre -  $\text{Cu}_2\text{O}$  nanosivilar hazırlanmasında 24 saat sonrası (0.05 mol / L 0.01 mol / L 'den  $\text{CuSO}_4$  molar konsantrasyon).

### 2.2.2. Al ve $\text{Al}_2\text{O}_3$ Bazlı nanosivilar :

Mikron ve nano-boyutlu alüminyum parçacıkları karşılaştırsak, nano alüminyum oksit birçok avantajı vardır. Daha küçük parçacık boyutlu moleküler çarpışmalar için daha büyük bir yüzey alanı sağlar ve bu nedenle daha iyi bir katalizör ve reaktan yapma, reaksiyon oranını artıracaktır. İnce aşındırıcı taneleri ince parlatma sağlayacak ve bu da nano-işleme ve nano-sondalar gibi yeni uygulama alanları ortaya çıkmasına neden olacaktır. Kaplamalar açısından, alüminyum oksit nano ölçekli parçacıkların kullanılması önemli ölçüde, bu kaplamaların kalitesini ve tekrarlanabilirlik artmaktadır.

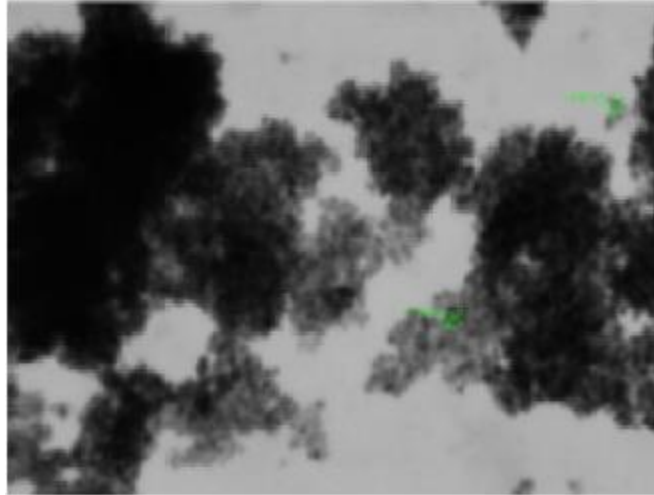
Nano alüminyum sentezlemek için çeşitli yöntemler vardır, fiziksel ve kimyasal yöntemler olarak kategorize edilmektedir. *Fiziksel* yöntemler mekanik freze, lazer ablasyonu, alev sprej ve plazma termal ayrışma içerir. *Kimyasal* yöntemler arasında sol-jel işlemleri, çözelti, yanma ayrışmasını ve buhar birikimi bulunmaktadır. Kimyasal yöntemlerin çoğu son derece düşük verim oranları ile sonuçlanmıştır ve bu nedenle kitle üretime adapte edilemez. Mekanik öğütme gibi fiziksel yöntemler, kolaylıkla kontrol edilemeyen nanopartiküllerin büyüklüğü kadar etkili değildir ve bu yöntemler sadece bazı malzemeler ile sınırlıdır. Diğer yöntemleri lazerle kesim ve çıkartma, buhar birikimi ve sol- jel gibi çok maliyetlidir çünkü özel ekipman, yüksek enerji lazer hem de pahalı ön-madde kimyasal olarak gerekmektedir. Son olarak, birçok sistem malzeme belirli bir aralık için mümkündür Jinlin (2009). (Şekil 2.6 TEM görüntüsü)



Şekil 2.6: TEM mikrografını - püskürtülür alümina nano - parçacıkların

### 2.2.3. TiO<sub>2</sub> Bazlı Nanosivilar:

Titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) çok kullanışlı bir yarı iletken geçiş metal oksit malzemedir ve düşük maliyet, kolay kullanılan, oksitlenmeyen, fotokimyasal ve kimyasal erozyona karşı direnç gibi benzersiz özellikler sergilemektedir. TiO<sub>2</sub> özellikleri kristalin fazın (anataz, rutil ya da brokit gibi) özelliklerine önemli ölçüde bağlıdır. (Şekil 2.7 XRD görüntüsü)



Şekil 2.7 : TiO<sub>2</sub>'nin XRD desenleri.

## 2.3. Nanosıvılar Termofiziksel Özellikleri

### 2.3.1. Isıl iletkenlik

Nano akışkan araştırmalarının büyük çoğunluğu, Bölüm 2.2. de belirtilen nano akışkanların ısı transfer değişkenleri üzerine daha geniş olarak tartışılmış bulunan nano akışkanların ısı iletkenliğini belirleme üzerine olmuştur Koblinski (2005). Bazı araştırmacılar ısı iletkenlikte orta düzey artışlar bulmuşlar, fakat çoğunluğu büyük artışlar gözlemlemiştir. Örneğin, Garg, Poudel, Chiesa vd, bakır/etilen glikol nano akışkanı ile yaptıkları testte, Maxwell'in etkin ortam teorisinde tahmin edilenin iki katı miktarda ısı iletkenlik bulmuşlardır.

### 2.3.2. Isıl iletkenliğin ölçümü

Nano akışkanlarda ısı iletkenliğin ölçümünde en yaygın yöntem, geçici sıcak kablo yöntemidir. İnce bir platin kablo, elektriksel yalıtım katmanıyla kaplanır. Kablo nano akışkana daldırılır ve üzerinden sabit akım geçirilir. Kablodaki sıcaklık artışı zamana bağımlı olarak ölçülür. Isıl iletkenlik,  $k$ 'nin nanoakışkanın ısı iletkenliği,  $Q$ 'nun kabloda yayılan toplam güç,  $L$ 'nin kablonun uzunluğu ve  $T$ 'nin kablonun sıcaklığı olduğu Eş. 2.1 den hesaplanabilir.

$$k = \frac{Q}{4\pi L} \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Sıcaklık artışını ölçmek için, sıcak kablo Wheatstone köprüsünün bir parçasını oluşturur. Kablo sıcaklığındaki değişim, köprünün dengesinin bozulmasına yol açar,

kablo direnci değişikliğine sebep olur. Kablo direncindeki değişim, köprüdeki voltaj dengesizliğinden hesaplanır. Kablo direncindeki değişim, kablo direncindeki değişimi kablo sıcaklığındaki değişimle bağıntılıyan veri ile karşılaştırılır ve sıcaklık farklılığı elde edilir. Geçici sıcak kablo tekniği kullanımı sıcaklık düşüşüne bir katsayı bağıntılar ve bu katsayının, iletim olsun, nanotaşınım olsun veya herhangi bir başka ısı aktarım yoluyla meydana gelebilecek tüm ısı transfer şekillerini kapsayacağı belirtilmelidir.

### 2.3.3. Isı Kapasitesi

Kesin olarak hesaplanabilmesi önemli olduğu için, enerji denkleminde nano akışkanın ısı kapasitesi dâhil edilmiştir. Birçok araştırmacı, Eş.2.2 de yer alan 2 bağıntıdan birini kullanır.

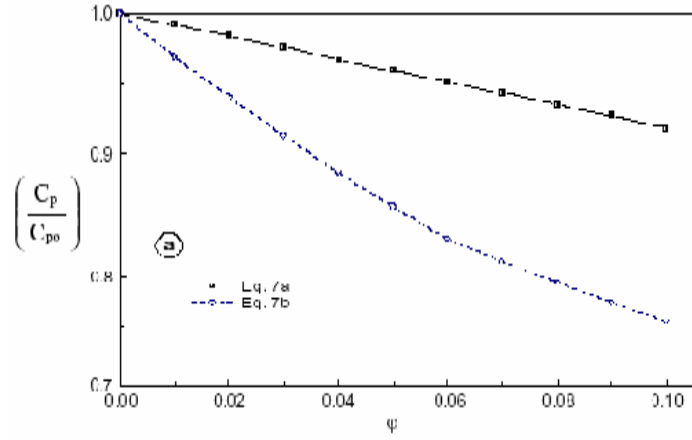
$$c_{nf} = (1 - \phi)c_{bf} + \phi c_p \quad (2.2a)$$

$$c_{nf} = [(1 - \phi)(\rho c)_{bf} + \phi(\rho c)_p]/\rho \quad (2.2b)$$

Burada,  $c$  ısı kapasitesini,  $\phi$  nanoparçacıkların hacimsel oranını,  $\rho$  ise yoğunluğu belirtmektedir. “bf” indisi baz akışkanın özelliklerine, “p” indisi ise nano parçacıkların özelliklerine atıfta bulunmaktadır. Eş.2.2a basitçe ısı kapasitesiyle ilgili olan karışımların eşitliği iken, Eş. 2.2b eşitliği ise bunun değiştirilmiş şeklidir. Mansour, Galanis, ve Nguyen (2007), her iki fonksiyonu da nano akışkandaki nano parçacık konsantrasyonuna bağlı olarak ana akışkanın belirli ısısının oranı olarak çizdiler.

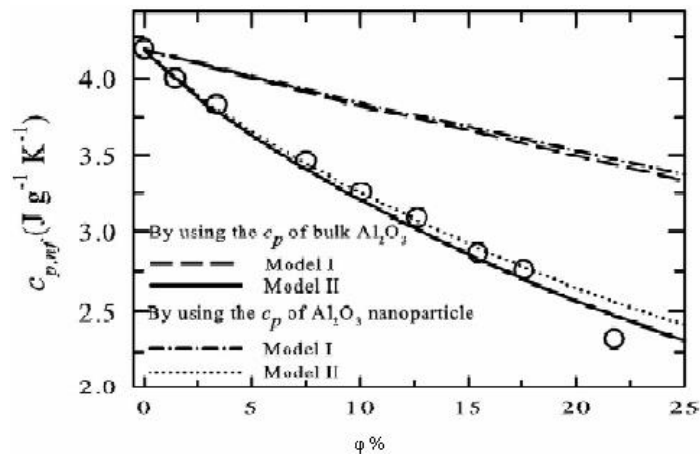
Alumina nano parçacıklar ve su için buldukları sonuçlar, Şekil 2.8. de gösterilmiştir.





Şekil 2.8. Isı kapasitesi formüllerinin kıyası (mavi boş yuvarlaklar: Eş. 2.2a, siyah dolu yuvarlaklar: Eş.2.2b)

Şekil 2.8. de Eş. 2.2a'nın, Eş.2.2b'den daha düşük olduğu görülebilir. Mansour, Galanis ve Nguyen, hangi bağıntının doğru olduğundan emin değillerdi, dolayısıyla her ikisini de geçerli kabul ettiler. Fakat Zhou ve Ni (2008) her iki bağıntıyı daha derinlemesine incelediler ve Eş. 2.2b'nin geçerli olduğunu buldular. Mansour, Galanis, ve Nguyen'inkilerin benzeri olan su ana akışkanındaki alumina nano parçacıkları için Zhou ve Ni'nin sonuçları Şekil 2.9. da gösterilmiştir. Şekil 2.9. da Model I Eş. 2.2a'yı ve Model II ise Eş. 2.2b'yi göstermektedir.



Şekil 2.9. Isı kapasitesi formüllerinin kıyası Eş. 2a, Eş. 2b Model I ve Model II

Yuvarlaklar, Zhou ve Ni'nin elde ettiği deneysel verilerdir ve onlar nano-akışkanların davranışını tahmin etmede kullanmak için Eş. 2.2b nin en iyi belirli ısı bağıntısı olduğunu ispatlayarak Eş. 2.2b nin üzerine çalışmışlardır.

#### 2.3.4. Nanoakışkanların Yoğunluğu ( $\rho_{nf}$ ):

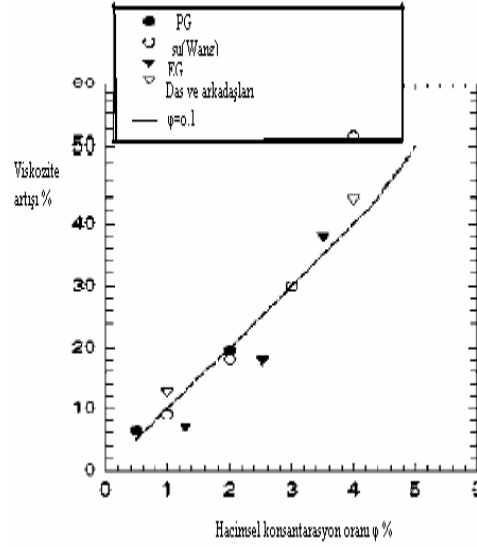
Bir sıvı etkin yoğunluğu asılı parçacıklar ihtiva eden referans sıcaklıkta aşağıdaki denklemde verilir:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_s \quad (2.3)$$

burada  $\rho_f$ ,  $\rho_s$  ve  $\phi$  sırasıyla, akışkan sıvı ve partiküllerin yoğunluğu ve nano partiküllerin hacimsel oranıdır.

#### 2.3.5. Nanoakışkanların Viskozite ( $\mu_{eff}$ ):

Prasher (2006), Song, Wang (1999) ve arkadaşları, propilen glikol'deki alumina parçacıkların viskozitesi ve bunun parçacık çapına, nano parçacık hacimsel oranına ve sıcaklığa bağımlılığının sadece deneysel sonuçları üzerine bir makale yayımladılar. Nano akışkanların viskozitesinin, nano parçacık hacimsel oranına had safhada bağımlı, fakat kesme oranından, nano parçacık çapından ve sıcaklıktan bağımsız olduğunu buldular. Nano akışkanın viskozitesinin, kesme oranından ve nano parçacık çapından bağımsız olması gerçeği, nano akışkanın Newtonian davranışına uyduğunu (bağlı kaldığını) göstermektedir. Şekil 2.10. viskozitenin nano parçacık hacimsel oranına bağımlılığını göstermektedir.

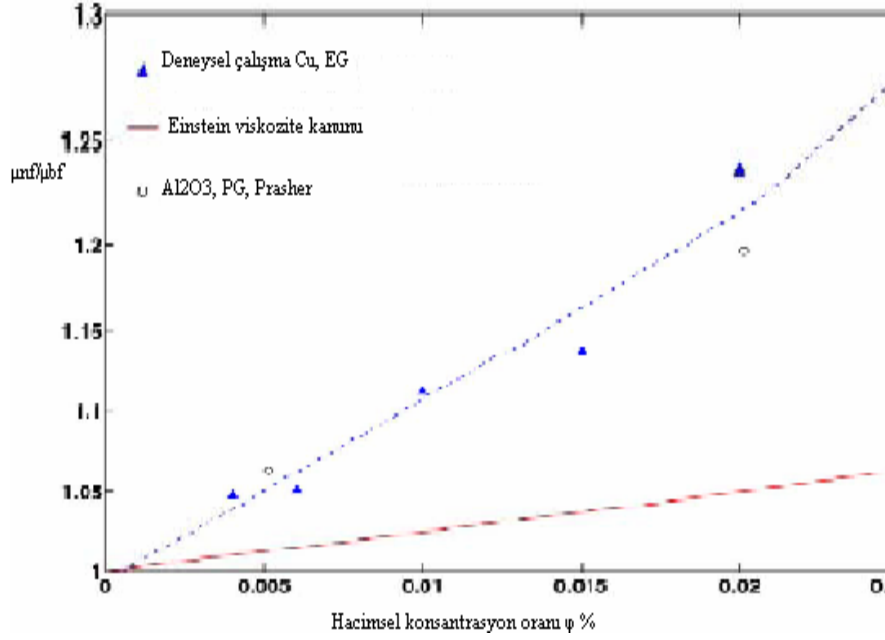


Şekil 2.10. Nano akışkanın viskozitesinin hacimsel orana bağlılığı

Şekil 2.10. de, y-ekseni üzerinde viskozitedeki yüzde artış, nano akışkanın viskozitesini ana akışkanın viskozitesiyle kıyaslamaktadır. Görülebileceği gibi, viskozite nano parçacıkların hacimsel oranına oldukça bağlıdır ve Prasher, Song, Wang ve arkadaşları nano akışkanların, düşük nano parçacık hacimsel oranları için Einstein'ın Viskozite Kanununa uyduklarını fakat nano parçacıkların nano akışkan içerisinde yığılması yüzünden, yüksek hacimsel oranlarda bu kanuna uymadığını öne sürmüşlerdir. Şekil 2.10. aynı zamanda diğer araştırmacılardan da veriler içermektedir. Bu verilerden, viskozitedeki artışın, ısı iletkenlikteki artıştan daha büyük olabileceğinin mümkün olduğu ortaya çıkmaktadır. Garg, Poudel, Chiesa ve arkadaşları (2008), etilen glikol içerisinde bakır nano parçacıkların viskozitesini test etmek için bir deney yürüttüler ve viskozitedeki artışın, Eş. 2.4 de verilen Einstein'ın Viskozite Kanunuyla tahmin edilenin yaklaşık 4 katı viskozite artışı tespit ettiler.

$$\frac{\mu}{\mu_{bf}} = 1 + 2,5\phi \quad (2.4)$$

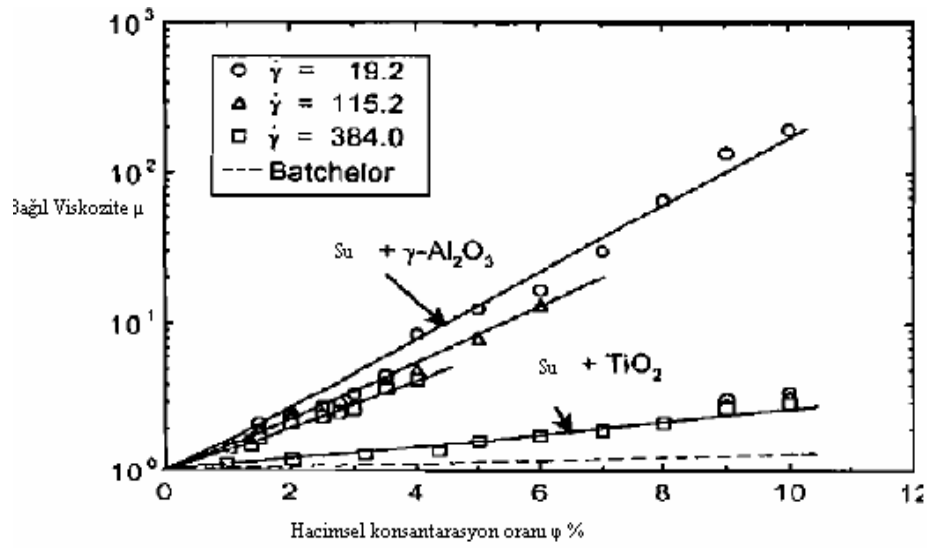
Eş. 2.4 de,  $\mu$  nano akışkanın viskozitesi,  $\mu_{bf}$  temel akışkanın viskozitesi,  $\phi$  nano parçacık hacimsel oranıdır. Şekil 2.11. çalışmanın sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 2.11. Etilen glikol nano akışkanındaki bakırın viskozitesi

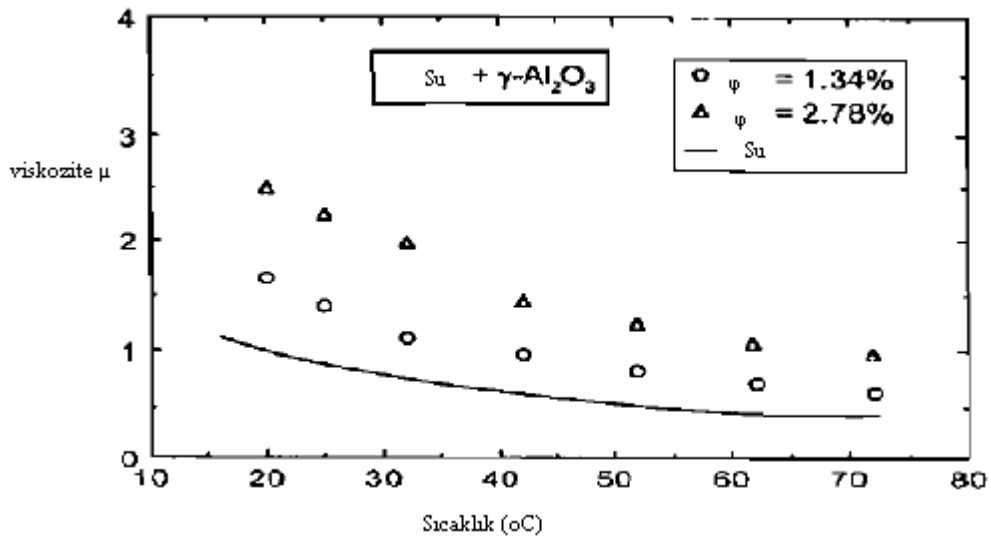
Şekil 2.11. dan görüldüğü gibi, Einstein'in Viskozite Kanunu, deneysel sonuçları şiddetle küçümsemektedir. Garg, Poudel, Chiesa ve arkadaşları, Eş. 2.4. deki 2.5 değerinin, kendi verileriyle bağdaştırdıklarında 11 civarında olması gerektiğini buldular. Onlar aynı zamanda böylesine yüksek bir viskoziteyle, çok küçük borularda (tüplerde) akışın ısı transferinde etkili olmayacağını, daha büyük boruların (tüplerin) daha etkili olacağını belgelediler.

Pak ve Cho'nun (1998), yuvarlak bir boruda alümina/su ve titanyum oksit/su nanoakışkanlarda türbülans üzerine yaptıkları deneysel çalışmada, %10'luk alumina/su nano akışkanının viskozitesinin 200 kat, hacimce %10'luk titanyum oksit/su nano akışkanın viskozitesinin ise 3 kat arttığını tespit ettiler. Sonuçlar Şekil 2.12. da gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Farklı kayma gerilmelerinde nano parçacığın bağıl viskozitesi

Bağıl viskozite, nano akışkanın viskozitesinin ana akışkanın viskozitesine oranıdır. Pak ve Cho, Şekil 2.13. de görüleceği gibi, sıcaklık arttıkça viskozitenin azaldığını bulmuşlardır.



Şekil 2.13. Alüminyum parçacıklı nano akışkanın viskozitesinin sıcaklıkla değişimi

Pak ve Cho, nano parçacıkların hacimsel oranı arttıkça viskozitenin azalma hızının daha büyüdüğünü gözlemlədiler. Pak ve Cho, etkin parçacık boyutunun parçacığın yarıçapından büyük ve Debye uzunluğuna (elektronların, elektriksel alan oluşturma ölçeği) eşit olması gerçeğinden kaynaklanan, viskoelektrik etki yüzünden viskozitede artış olabileceğini öne sürdüler. Pak ve Cho, aynı zamanda küre boyutunun ve şeklinin viskozite üzerinde etkiye sahip olduğunu buldular. Küre çapı azaldıkça ve küre şekli düzensizleştikçe viskozite artmaktadır. Yüzey alanının, hacmine oranı arttığı için, düzensiz şekilli nano parçacıkların viskoziteyi artırdığı düşünülmektedir

### 2.3.6. Nanoakışkanların Isıl iletkenlik $(k_{eff})_{stagnant}$ :

Başka sonuçlardan, süspansiyon nanopartiküllerin konsantrasyonu çok düşüktür ve nanopartikül hacim bölümü ile önemli ölçüde artış bile nanosıvılar baz-sıvılar çok daha yüksek bir ısıl iletkenlik sergiledikleridir açıktır Maxwell (1904)

Küresel nano patikülerin bulunduğu seyreltik numunelerle ( $\phi < 5\%$ ) ile yapılan deneylerde karışımın durgun etkin ısıl iletkenliği bağı olarak Maxwell denklemi ile verilmektedir.

$$\frac{(k_{eff})_{stagnant}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2\phi(k_f - k_s)}{k_s + 2k_f + \phi(k_f - k_s)} \quad (2.5)$$

### 2.3.7. Nanoakışkanların Isıl Yayınım Katsayısı ( $\alpha_{nf}$ ):

Nanoakışkanların etkin ısı iletkenliğinin belirlenmesi ve/veya tahmin edilmesi son yıllarda çok ilgi toplamıştır. Xuan ve Roetzel (2000) laminer ve türbülanslı akış koşulları altında hem akışkanlar için etkin ısıl yayınım katsayısı hesaplarını çalışmıştır. Fakat nanoakışkanların etkin ısıl yayınım için ne deneysel ne de teorik bir sonuçla sonuçlanmadı. Wang et al. (1999) bir nanoakışkanların ısıl iletkenliği ve ısı kapasitesini kullanarak etkin ısıl yayınımı hesaplanmıştır. Bu hesaplanan sonuçlar, hacim oranı ile ciddi dalgalanma bulunmuştur. Murshed et al. (2006) titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) farklı hacim oranları (% 1-5) ile hazırlanan nanoakışkanların birkaç tip etkin ısıl yayınımı incelenmiştir. Nanoakışkanların ısıl yayınımının baz-sıvılarında nanopartiküllerin hacimsel oranının artırılmasıyla büyük ölçüde arttırdığı bulunmuştur. Örneğin, nanopartiküllerin en fazla %5 hacim yükleme 15 nm ve 10-40nm  $\text{TiO}_2$  ve etilen glikol, etkin ısıl yayınımdaki artış sırasıyla, % 25 ve % 29 olduğu tespit edilmiştir. Etilen glikol ve motor yağı alüminyum nanopartiküller ile nanosıvılar baz-sıvılar ile karşılaştırıldığında, en fazla %49 ve %36, yani ısıl yayınımda önemli bir artış göstermiştir. Partikül şekli ve asıl sıvının etkisi aynı zamanda çalışma gözlenmiştir. Genellikle  $\alpha_{nf}$  aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\alpha_{nf} = \frac{(k_{eff})_{stagnant}}{(\rho c_p)_{nf}} \quad (2.6)$$

## 2.4. Nanosıvılar Uygulamaları

### 2.4.1. Potansiyel Faydaları

Nanopartiküller düzgün dağılım sağlandığında, nanosıvıların ısı iletkenliği artırmakla beraber sayısız faydalar sağladığı rapor edilmiştir. Bu özellik ve faydalar şunlardır:

1. Isı iletimi ve kararlılık: Isı transferi, parçacıkların yüzeyinde gerçekleştiği için büyük bir yüzey alana sahip parçacıklar kullanılması arzu edilir. Nanopartiküllerin mikro partiküllere kıyasla nispeten daha büyük bir yüzey alana sahip olması, ısı transfer özelliklerinde önemli ölçüde gelişim sağlar. Ultra-ince partiküller ile nanosıvılar örneğin mini ya da mikro kanallar gibi, sorunsuz akıcılığa geçit verir. Nanopartiküller küçük olduğundan, yerçekimi daha önemsiz hale gelir ve çökme olasılığı ile nanosıvılarda kararsızlık azalır.
2. Mikro kanallar da tıkanma olmadan soğutma: nanosıvılar sadece genel ısı transferi için daha iyi bir ortam olacak değil, aynı zamanda yüksek ısı yükleri karşılaşılan mikrokanallı uygulamalar için ideal olacaktır. Mikrokanallar ve nanoakışkanların kombinasyonu hem çok iletken sıvı ve büyük bir ısı transfer alanı sağlayacaktır.
3. Minyatür sistemler: Nanosıvı teknoloji kullanarak daha küçük ve hafif ısı değiştirici sistemlerinin tasarımını sağlayacaktır.



4. Pompalama gücünde azalma: Sıvının taşınım ısı transferini iki misli artırmak için, pompalama gücünü yaklaşık 10 kat artırmak gerekir. Isı iletkenliği üç faktörü ile çarparak, aynı aparat içerisindeki ısı aktarımı iki katına çıkarıldı. Viskozitesine keskin bir artış olmadıkça pompalama gücündeki artış vasat olur. Isıl iletkenlikteki büyük bir artış ancak nanopartiküllerin küçük bir hacim oranı ile elde edilebilir. Az miktarda nano partikül kullanımı, nanoakışkanın daha kararlı olmasını, hızla çökmesini önlemeye ve ısı transfer cihazlarının iç duvarlarında tıkanma azaltmaya katkıda bulunmaktadır. Nanoakışkanların yüksek ısı iletkenliği yüksek enerji verimliliği, daha iyi performans ve daha düşük işletim maliyetleri içine gerektirir. Minyatür sistemleri nanosıvılar kullanılabilir ve bu sıvıları için çok az stok gerektirir. Isıl sistemler daha küçük ve daha hafif olabilir. Araçlarda, küçük parçalar daha iyi benzin kilometre, yakıt tasarrufu, düşük emisyon ve daha temiz bir çevre sonuçlanabilir. Weerapun (2008)

#### 2.4.2. Nanosıvılarla Tıbbi Uygulamalar

5. Vücut sıvıları (biofluids) manyetik nanopartiküller, yeni kanser tedavi yöntemleri sağlamaktadır. İlaç ya da ışınlayıcı maddeler olarak kullanır. Nanopartiküller, normal hücrelere göre, tümör hücrelerine karşı daha yapışkandır. Bu yüzden, gelecekte nanoakışkanları gelişmiş ilaç dağıtım sıvıları olarak da kullanılabilir Weerapun (2008).

Nanoteknolojinin uç uygulamalar özellikle biyomedikal için uygundur: Tanı teknikleri, ilaç ve protezler ve implantlar. Birçok şirket antikanser ilaç, implante insülin pompaları ve gen tedavisi için nanoteknoloji uygulamaları geliştirmeye çalışmaktadır. Diğer araştırmacılar protezler ve nanoyapısal malzemeler implantları üzerinde çalışmaktadır. Biyosensörler bileşenler olarak kullanılacak nanopartiküllerinin

birçok türü vardır. Çoğu problemleri tanı ve tarama amaçları için ilgilenilen bir analit tanıma ve ayırt olarak çalışır. Bu gibi uygulamalarda biyolojik moleküller tür özel bir modifikasyonu prosedürü ile nanopartiküllerle bağlanırlar. Problemlerin rengine, kütle, ya da diğer fiziksel özellikler ile bir numunede bir hedef varlığını bağlamak ve sinyal daha sonra kullanılır.

### 2.4.3. Endüstriyel Uygulamaları

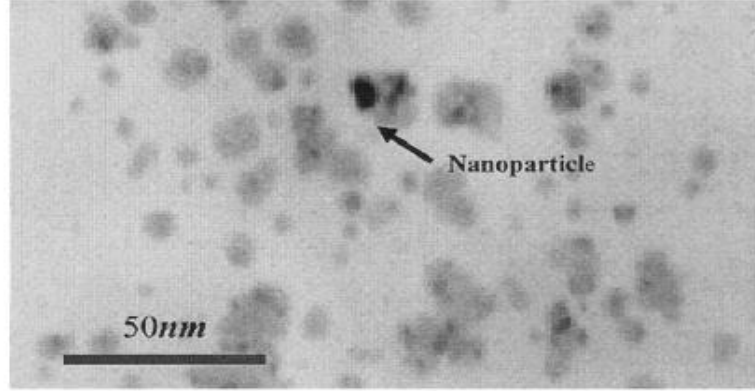
Endüstride kullanılan ısı değiştiricilerde ısı performansını artırmaya yönelik değişik konfigürasyonlar denenmektedir. Bu uygulamalarda malzeme tasarrufu, ısı değiştirici boyutları, pompalama gücü vb. etkenler verimli sistemler üretebilmek için önemli kısıtlayıcılardır

Otomobil, kamyon, uçak gibi taşıma endüstrisi performansları yüksek araçlar üretmeye devam ettikçe, performansa paralel olarak artan efektif soğutma ihtiyaçları gereği malzeme, boyut, hacim, ağırlık ve ekonomiklik kısıtlarını da dikkate alarak ısı atabilecekleri etkili akışkanlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bugün soğutma sistemlerinde kullanılan antifriz/su karışımları, motor yağları, sentetik yüksek sıcaklık ısı transferi akışkanları doğaları gereği çok yüksek ısı transferi kapasitelerine sahip değildir ve bu akışkanların ısı kapasiteleri nanoakışkanlar kullanılarak daha etkili hale gelebilecektir. Nanoakışkanlar kullanılarak tasarlanmış ısı değiştiricilere sahip motorlar daha uygun sıcaklıklarda çalışabileceklerdir. Böylece, daha küçük pompa, motor, radyatör ve diğer bileşenler üretilebilecek, bunun sonucunda ise aynı miktarda yakıtla daha fazla yol alınabilecektir. Daha az yakıt ise daha az emisyon ve daha temiz çevre anlamına gelmektedir. Bilim ve teknolojiye 1960'lardan beri minyatürleşme yükselen bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikroelektromekanik sistemler (MEMS) çalışırken çok büyükdeğerlerde ısı akışı ortaya çıkmaktadır. Mevcut soğutucular yeterli soğutma kapasitesine sahip olmadığı için MEMS teknolojisinde kullanılmamaktadır. Geleneksel

katıpartiküllerin katıldığı soğutucular kullanıldığında ise, kullanılan bu partiküller oldukça dar olan MEMS mikro kanallarında düzgün olarak akamayacağı için sistem çalışmayacaktır. Nanoakışkanlar bu kanalları tıkamadan, çökmeden, aşındırmadan akabilecek özellikte olduğu için çok yüksek ısı akısı şartlarında MEMS soğutulması için oldukça uygun olacaktır.

Her geçen gün hızları, performansları artan elektronik cihazlar ve bu cihazların bileşenleri oldukça yüksek değerlerde ısı üretmekte ve üretilen bu ısı, sistemden uzaklaştırılmadığı durumda sistem ömrü azalmaktadır. Yarı iletkenlerin ömürleri mutlak sıcaklıkla logaritmik olarak değişmektedir. Yarı iletkenin bulunduğu cihazın ömrü sıcaklıktaki her 20°C artışla yarıya inmektedir Gonçalves vd (2009). Kristiansen'in bildirdiğine göre elektronik cihazlarda bozulmaya etki eden faktörlerin başında %55'lik bir etki ile eklem sıcaklığı gelmektedir Brinkman (1952). Geleneksel artırılmış yüzeyler kullanan soğutma sistemleri yeni nesil elektronik cihazlarda limitlerine ulaşmıştır. Nanoakışkanların kullanıldığı sıvı tipli soğutma yöntemleri, elektronik cihazların performansını ve ömürlerindeki mevcut limitleri artırmaya neden olacaktır. Ayrıca nanoakışkanların havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde (HVAC) ve soğutma sistemlerinde uygulanması enerjinin daha verimli ve daha ucuz olarak kullanılabilmesi için yeni tasarımların gerçekleştirilmesine imkân verecektir.

Nano boyutlu metal veya metal oksit parçacıkların üretilmesi için üretim yöntemi geliştirmeden önce, akışkan içerisine milimetre ve mikrometre boyutunda nano parçacıklar eklenmesinin etkileri üzerine bazı araştırmalar yapılmıştır. Bu parçacıklar, akışkanın ısı iletkenliğini geliştirmeye yardımcı olmalarına rağmen, uyum sağlama, şiddetli basınç düşüşlerine meydan verme, kanalı tıkama ve kanallarda veya bileşenlerde zamansız yıpranma (aşınma) gibi diğer problemler meydana getirmişlerdir. Nano-boyutlu parçacıkların, mikron boyutlu parçacıkların üzerinde avantajları vardır. Çünkü onlar akışkanın molekül boyutlarına yakın boyutlardadırlar. Şekil 2.14. de Etilen glikol içerisindeki bakır nano-parçacıkların boyutları gösterilmiştir



Şekil 2.14: Etilen glikol içerisindeki bakır nano-parçacıkların boyutları

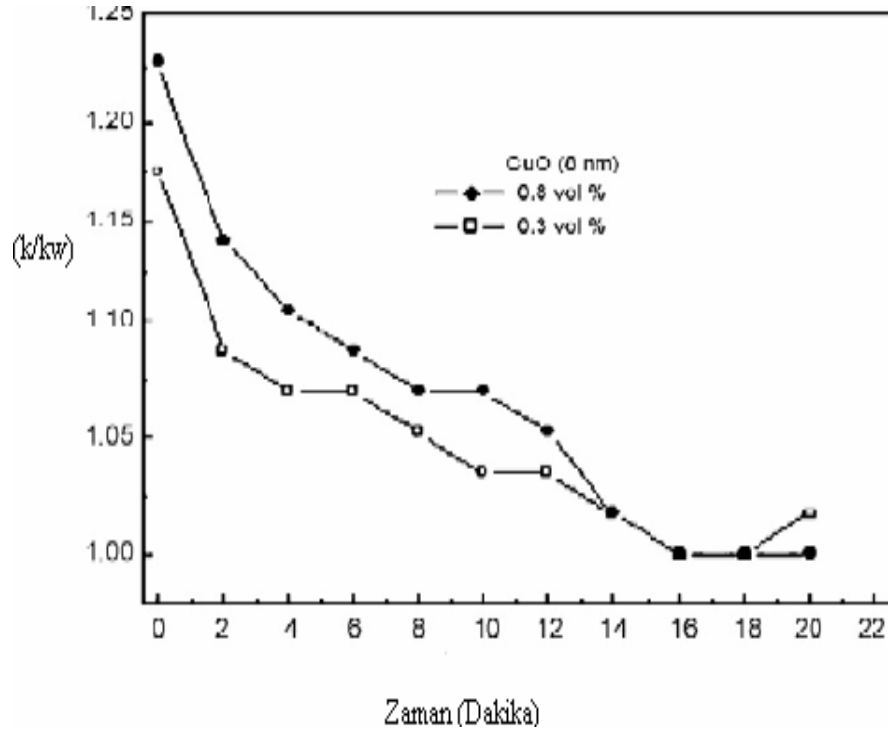
Akışkanın ısı transfer özelliklerini artırmak maksadıyla içerisine küçük metal parçacıklar eklemek fikri 1904'te Maxwell tarafından belgelendiği için, yeni değildir. Maxwell ve Hamilton ile Crosser (1892) tarafından mikro veya daha büyük parçacık boyutlu akışkanların ısıl iletkenliklerini hesaplamayı amaçlamışlardır. Fakat ikisi de akışkan ısıl iletkenliği üzerinde parçacık boyutunun etkisini tahmin edememiştir.

## 2.5.Nano Akışkanlarda Isı Transferi Değişkenlikleri

Nano akışkanlarda ısı transferinin artırılması birçok mekanizmayla bağlantılıdır ve her biri ayrı ayrı ele alınmalıdır. Isıl iletiminin artırılması konusunda sadece ısı iletim katsayısı üzerine değil, değişkenlerin etkin ısıl iletkenliğini nasıl etkilediği üzerine birçok araştırma yapılmıştır.

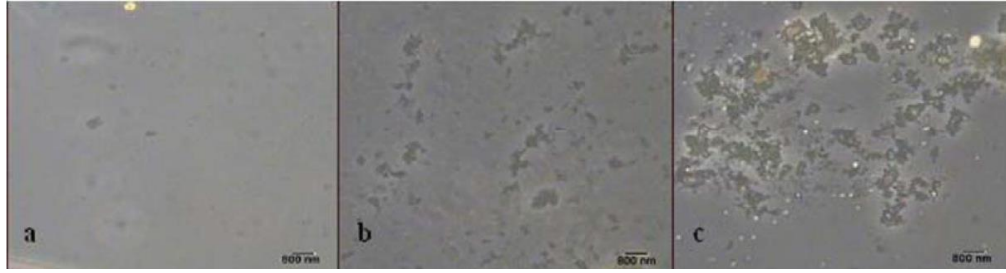
### 2.5.1. Parçacık Topaklanması (Yığılması)

Nano akışkanlarla ilgili dikkat çeken bir durum, nano parçacıkların Van Der Waals kuvveti Prakash vd (2007) gibi moleküler kuvvetler yüzünden topaklanma eğiliminde olmasıdır. Karthikeyan, Philip, ve Raj (2008), CuO-Su nano akışkanıyla gerçekleştirdikleri deneylerinde nano parçacık ve topak boyutunun ısı iletkenlik üzerinde önemli bir etkisi olduğunu buldular. Aynı zamanda, topaklanmanın zamana bağımlı olduğunu da buldular. Deneyleri esnasında zaman ilerledikçe ısı iletkenliğinin azalmasına sebep olan topaklanmanın arttığını tespit ettiler. Şekil 2.15. ısı iletkenliğinin zamanla nasıl azaldığını göstermektedir



Şekil 2.15: Bakır oksit içerikli nano akışkanın ısı iletkenliğinin zaman içerisinde değişimi

Şekil 2.15. de, nano akışkanın ısı iletkenliğinin parçacık topaklanmasına bağı olduğu gibi, zamanın ilerlemesiyle de çarpıcı bir şekilde düştüğü görülebilmektedir. Bu teori Şekil 2.16. da görüldüğü gibi, mikroskop görüntüsüyle de doğrulanmıştır.



Şekil 2.16. Su içerisindeki %0,1 konsantrasyon oranındaki Bakır oksit içerikli nano parçacıkların zaman içindeki değişimi a)20 dakika b)60 dakika c) 70 dakika

Şekilde görüleceği gibi, nano parçacıkların yığın oluşturması zaman içerisinde aşırı biçimde artmakta ve 60 dakika sonra belirgin bir hale gelmektedir. Karthikeyan, Philip ve Raj fotoğraf çektikleri esnada çökme olmadığını gözlemlemişlerdir. Topaklanma, nano parçacıkların etkin yüzey alanından hacim oranına kadar azalmaya, dolayısıyla akışkanın ısı iletkenliğinin düşmesine sebep olmaktadır. Grup aynı zamanda, parçacıklar birbirine daha çok yaklaştığı ve daha fazla Van Der Waals kuvvetine maruz kaldığı için, nanoparçacık konsantrasyonundaki artışla, topaklanmanın arttığını yorumladılar. Wang (1999) ise, alumina-su nano akışkanının viskozitesini ölçmüş ve viskozitenin nano parçacık topaklanmasıyla arttığını bulmuştur. Bu artış aynı zamanda, topaklanma arttığında daha düşük bir ısı iletkenlik oluşumuna katkıda bulunmaktadır.

### 2.5.2. Parçacık hacim oranı

Nano parçacıkların hacimsel oranı arttıkça nanoakışkanın etkin ısı iletkenliği artmaktadır Beck, (2007). Fakat nano parçacıkların hacimsel oranının artışıyla birlikte

nano parçacıkların askıda kalacağı farzı, geçerli olmayacaktır. Nano akışkanlarda çok küçük hacimsel oranda nano parçacık kullanımının daha etkin olmasının sebebinin bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir Jang (2007)

### **2.5.3. Termoforez**

Sıvının daha sıcak bölgesindeki yüksek enerjili moleküllerin, sıvının soğuk bölgesindeki moleküllerden daha büyük momentumlu moleküller üzerinde etkili olduğu kinetik teori yüzünden “Termoforez” meydana gelmektedir. Bu durum, sıcaklık değişiminin tersi yönde yani sıcak bölgelerden soğuk bölgelere doğru bir parçacık göçüne öncülük ettiğini göstermektedir.

### **2.5.4. Nano parçacık boyutu**

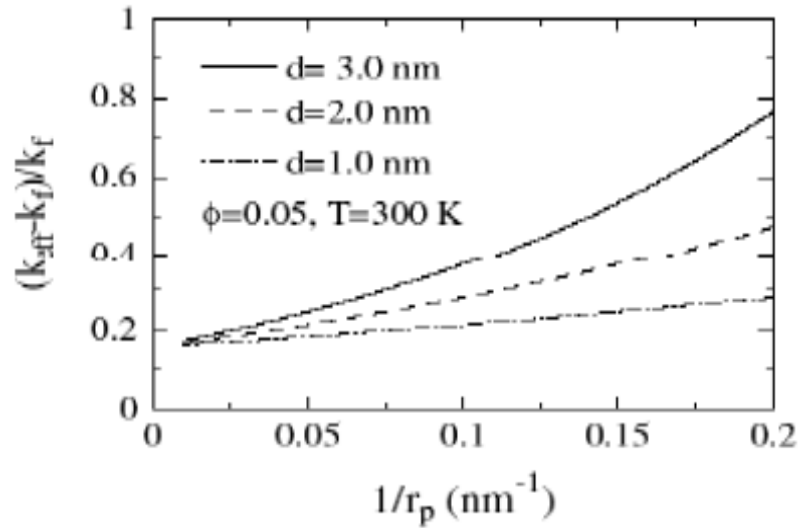
Birçok çalışmalar göstermiştir ki, nano parçacıkların boyutları küçüldükçe nano akışkanın etkin ısı iletkenliği artmıştır Chon (2005). Bunun iki sebebi vardır. Nano parçacık boyutu küçüldükçe Brownian devinimi tetiklenir. Aynı zamanda nano akışkanlarla deney yapmada en büyük teknik dürtülerden biri, daha hafif ve daha küçük nano parçacıkların çökelmeye direncinin daha iyi olmasıdır Prasher (2006).

### **2.5.5. Parçacık şekli / yüzey alanı**

Birçok çalışma, karbon nano tüpler gibi çubuk şekilli nano parçacıkların, küresel nano parçacıklardan daha fazla ısı iletmediğini göstermiştir Yu vd (2008). Bu belki de, çubuk şekilli parçacıkların küresel nano parçacıklara göre daha büyük en-boy oranına (parçacığın yüzey alanı ile hacmi arasındaki oran) sahip olması gerçeğinden kaynaklanmaktadır.

### 2.5.6. Nano parçacık-sıvı ara yüzünde sıvı tabakalanması

Bazı araştırmacılar, nano parçacıklar üzerinde, nano akışkanın ısı transfer özelliklerini artırmaya yardımcı olan bir sıvı tabakalanma olduğunu öne sürmektedirler. Bu nano tabakanın kalınlığı ve ısıl iletkenliği henüz bilinmemektedir Fakat katı yüzeye yakın olan sıvı moleküllerin tabakaları şekillendirdiği Yu, Richter, Datta ve arkadaşları (1999) tarafından ispatlanmıştır. Ren, Xie ve Cai (2005), nano parçacıklara sıvı tabakalanma eklemekle elde edilen ısıl iletkenlik değişimi üzerinde çalışmak için bir teorik model oluşturmuşlardır. Tabakanın ısıl iletkenliğinin, ana akışkanın ve nano parçacıkların ısıl iletkenlikleri arasında bir yerde olacağını farz etmişlerdir. Tabaka kalınlığındaki bir artışın, büyük bir ısıl iletkenlik artışına öncülük ettiğini bulmuşlardır. Sonuçlar Şekil 2.17. de görülmektedir.



Şekil 2.17. Nano parçacık yarıçapının tersi üzerinde ısıl iletkenliği artışının etkisi

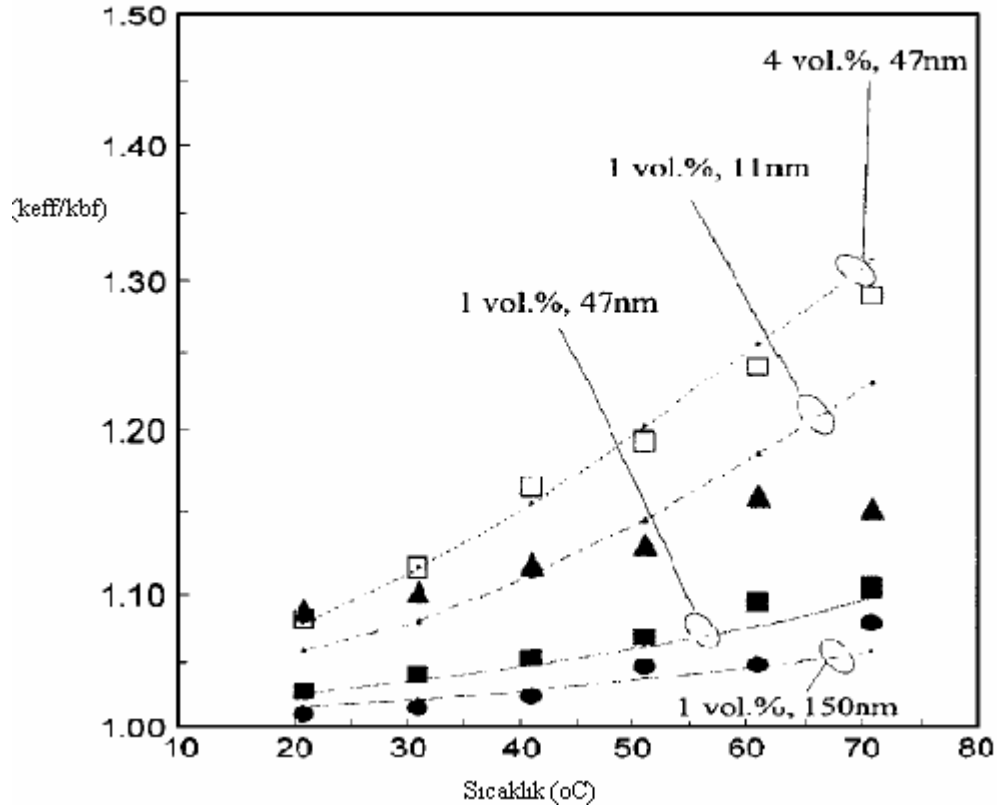
Şekilde, “d” sıvı tabakalanmanın kalınlığı,  $r_p$  ise nano parçacığın yarıçapıdır. Görülebileceği üzere yüzey tabakalanmasının artışıyla, nano akışkanın ısıl iletkenliği



yükselmektedir. Ren, Xie ve Cai, aynı zamanda nano parçacıkların boyutları arttığında, sıvı tabakalanmanın etkisinin zayıfladığını bulmuşlardır.

### 2.5.7. Sıcaklık

Nano akışkanların etkin ısı iletkenliği ve Brownian devinimi, sıcaklıkla artmaktadır. Chon, Kihm, Lee ve Choi (2005). Alumina nano akışkanlarının ve bunların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla nasıl değiştiğine dair deneysel bir araştırma yaptılar. Şekil 2.18. de yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.



Şekil 2.18. Nano akışkanların ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişiminin deneysel sonuçları

Şekil 2.18. de, normalleştirilmiş ısı iletkenliğin, ya da nano akışkanın ısı iletkenliğinin ana akışkanın ısı iletkenliğine oranının, nano parçacıkların hacimsel oranına bağlı olduğu kadar sıcaklıkla da oldukça bağıntılı olduğu aşikârdır. Nano parçacıkların sıcaklıklarının ve hacimsel kesirlerinin artmasıyla ısı iletkenlik de artar.

### **2.5.8. Termal sınır tabaka kalınlığında azalma**

Birçok araştırmacı, termal sınır tabaka kalınlığında bir azalmanın, nano akışkanlarda ısı transferi artışına sebep olabilecek bir mekanizma olabileceğinden bahsetmişlerdir. Fakat bunu kesinleştirmek için bu alanda çok az araştırma bulunmaktadır. Nano akışkanlarla yapılan araştırmalar halen oldukça yenidir, dolayısıyla nano akışkanlarda ısı taşınımı üzerine etki eden bazı mekanizmaların derinlemesine araştırılmasına henüz devam edilmektedir. Buna ilaveten, ısı iletkenliğe etki eden mekanizmalar üzerinde birçok araştırma yapılmış, fakat taşınım ısı transfer katsayısına etki eden mekanizmalar üzerine çok fazla araştırma yapılmamıştır. Isı transfer mekanizmalarının iyice anlaşılabilmesi için, Bölüm 1.2’de listelenen tüm alanlarda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

## BÖLÜM 3

### 3. NANOSIVILAR DOĞAL TAŞINIM

Sıvılarda doğal taşınım deneysel ve sayısal olmak üzere iki kategoride incelenmiştir:

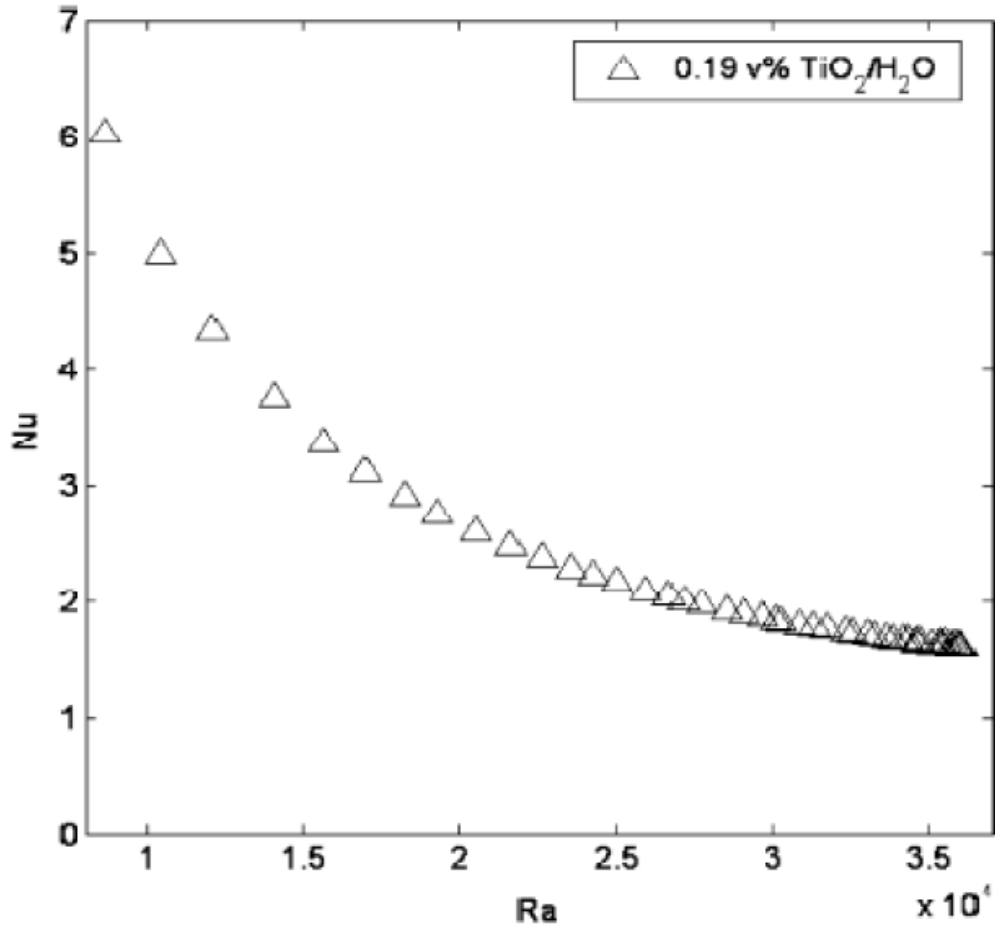
#### 3.1. Deneysel Çalışmalar

En yaygın deneysel çalışmalardan biri oyuk (kapalı kutu) içinde doğal taşınım olayının incelenmesidir. Bir oyuk boşluğunda doğal taşınımın incelenmesi, güneş enerji sistemi, elektronik devrelerin soğutulması, soğutma ve iklimlendirme gibi mühendislik uygulamaları gibi mühendislik alanlarında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu uygulama alanlarında araştırmaya ihtiyaç vardır Prakash (2007). Oyuk duvarın şekli, akış ve muhafazanın içinde ısı transferi problemleri vb güneş kollektörleri, çift duvar yalıtımı, elektrikli makine, elektronik cihazların soğutma sistemi, atmosferde doğal dolaşımı, gibi çok sayıda mühendislik uygulamalarını incelemeye gereksinim vardır.

Doğal taşınım işlemlerde, sıvı termo özellikleri, sıcaklık farklılıkları ve sistem geometrisi termal ve hidrodinamik bağlanmış olan ve her ikisi de güçlü bir şekilde etkilenmektedir Prakash (2007).

Diferansiyel ısıtım muhafazaları yoğun nanosiviler kullanan sistemler içinde doğal taşınım ısı transferi simüle etmek için kullanılır. Taban sıvısı içinde nanopartikül dispersiyonunun ısı transferinde önemli bir azalmaya neden olabileceğini literatürde

deneysel sonuçlarla bildirilmiştir. Putra et al ve Wen ve Ding Rayleigh sayısı ve nanopartiküllerin yoğunluğu ve konsantrasyon aralığı için belirli bir ısı transferine sistematik ve kesin bir azalmaya sebep olduğu anlaşılmıştır. Benzer sonuçlar, ayrıca Santra ve arkadaşları tarafından elde edilmiştir. Junwu Zhu vd (2008) Newtonyen olmayan sıvılardan yapılmış nanosıvı modelinde Nusselt sayısının geçici rejimde Rayleigh sayısı ile azaldığı tespit edilmiştir. Wen ve Ding deneysel sonuçları Şekil 3.1 de görülmektedir.

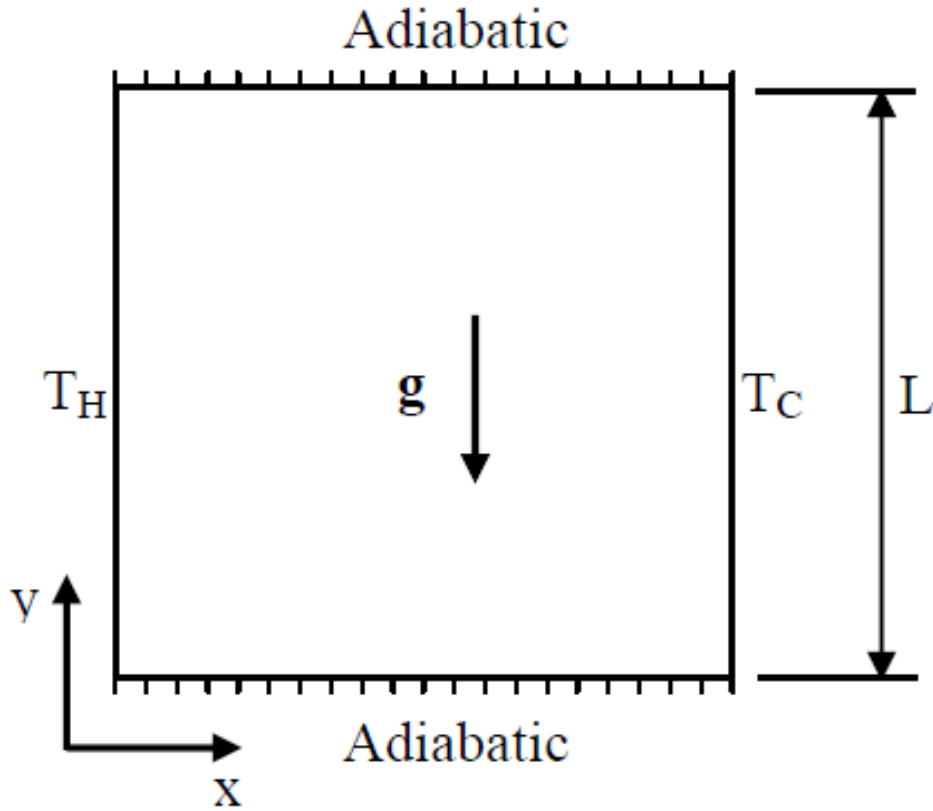


Şekil 3.1. Wen ve Ding deneysel sonuçları.

Benzer bir fenomen ayrıca Tso ve arkadaşları tarafından gözlenmiştir Tso (2004). Bhowmik ve Tou (2005), dikey, dikdörtgen kanal doğal taşınım yoluyla elektronik çipler soğutulması için yaptıkları araştırmada Nusselt sayısının azaldığını tespit etmiştir.

### 3.2. Sayısal Çalışmalar

Çalışmanın en yaygın çalışılan nanosıvı doğal taşınım referanslarından biri Khanafer ve ark. (2003) çalışmasıdır. Araştırma çalışmaları, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi bir nanosıvı dolu H yüksekliği ve genişliği L, iki boyutlu bir kapalı kutu (oyuk) göz önünde alınmaktadır. Yatay duvarlar, iletken ve geçirgen olmayan yalıtılmış duvarlardır. Oyukdaki nanosıvının, Newtoniyan sıkıştırılmaz ve akışın laminar olduğu kabul edilmiştir. Nanopartiküllerin tek yapılı bir şekle ve boyuta sahip olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, sıvı faz ve nanopartiküller hem ısı denge durumunda olan ve aynı hızda akış varsayılmıştır. Sağ dikey duvar, düşük bir sıcaklıkta ( $T_L$ ) muhafaza edilirken sol dikey duvarı, yüksek sıcaklıkta ( $T_H$ ) muhafaza edilmektedir.

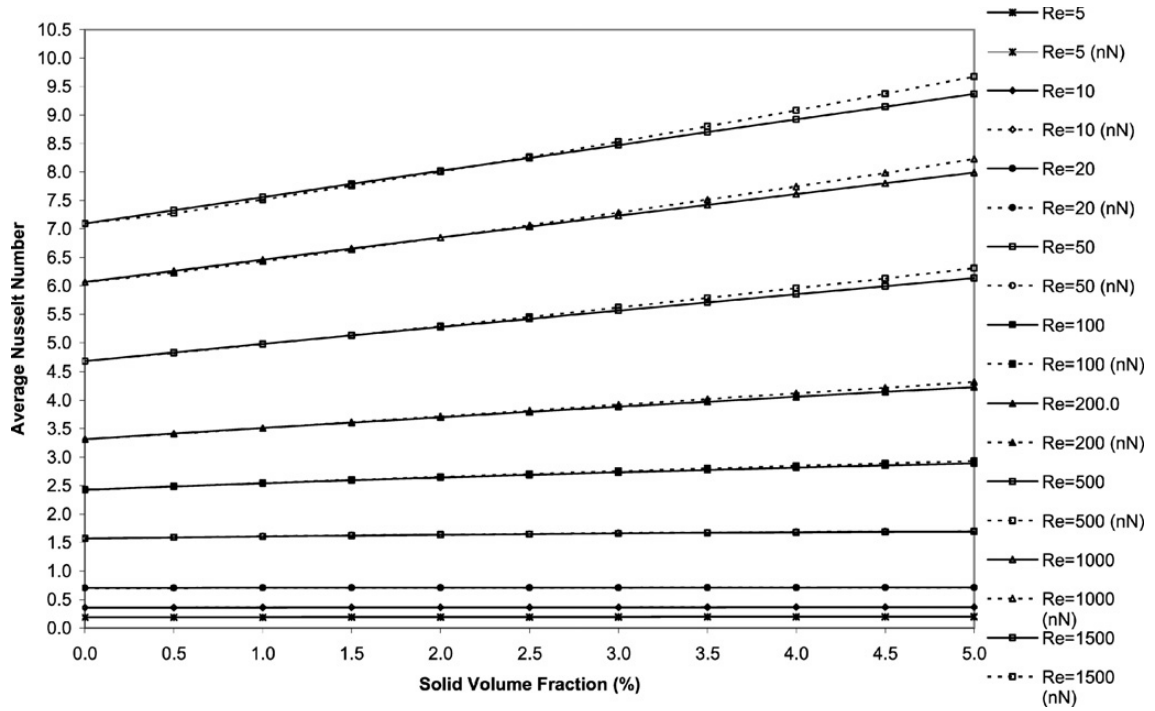


Şekil 3.2: Fiziksel modeli için şematik

Khanafer et al göre (2003) Sayısal sonuçlar sıcak dikey duvar boyunca ortalama Nusselt sayısı Grashof sayısı ve parçacıkların hacim oranı ile ilişkilidir. Khanafer et al. ifadesi aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\overline{Nu} = 0,5163(0,4436 + \phi^{1,0809})Gr^{0,3123} \text{ for } 10^3 \leq Gr \leq 10^5 \text{ and } 0 \leq \phi \leq 0,25 \text{ (3.1)}$$

Santra et al. (2009) Şekil 3.3 gibi: Cu-Su nanosıvı kullanarak bir diferansiyel ısıtılmış kare boşluğunda doğal konveksiyon simülasyonun sayısal sonuçlarını sunulmuştur



Şekil 3.3: Katı hacim fraksiyonu ile ortalama Nusselt sayısının değişimi farklı  $Re$  da (Santra et al.).

Ho et al. (2008) ayrıca alümina-Su nanosıvı dolu muhafaza doğal bir simülasyon yapmış ve başka bir korelasyon geliştirmiştir:

$$\overline{Nu} = C(1 + \phi^m)Ra^n \quad (10^4 \leq Ra \leq 10^6 \text{ ve } 0 \leq \phi \leq 0.04)$$

$C$ ,  $m$  ve  $n$  katsayıları, Tablo 3.1’de verilmiştir.

Model	$C$	$m$	$N$
1	0,149	1,624	0,297
2	0,148	-0,561	0,298
3	0,148	2,067	0,300
4	0,145	-0,261	0,300

Çizelge 3.1: katsayısı  $C$  ve üsteller  $m$ ,  $n$  listelerinin değerleri farklı modeller için Ho et al. sayısal sonuçlarına göre..

Nano akışkanların doğal taşınım ısı transferi üzerine az sayıda sayısal çalışma yapılmıştır. Khanafer et al. (2003 ) sayısal olarak iki boyutlu bir yatay muhafaza içinde nano akışkanların ısı transfer davranışını araştırmıştır. Sayısal simülasyonlar nanopartiküllerin Grashof sayısının artışı ile ısı transferini arttırdığını göstermiştir. Bu geliştirmenin parçacıkların gelişmiş düzensiz ve rasgele hareketlerinden artan enerji değişim olduğu düşünülmüştür. Bununla birlikte, farklı deneysel sonuçlar Putra ve arkadaşları tarafından gözlenmiştir. Su içeren CuO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanların doğal taşınım ısı transfer ve Wen ve Ding (2004 ) tarafından sulu TiO<sub>2</sub> nanosıvı doğal taşınım ısı transfer için. Isıl iletim ve zorlanmış taşınım sonuçlarının aksine, 10<sup>6</sup>-10<sup>9</sup> Rayleigh sayısı aralığındaki deneysel doğal taşınım ısı transferi sistematik ve anlamlı bir bozulma

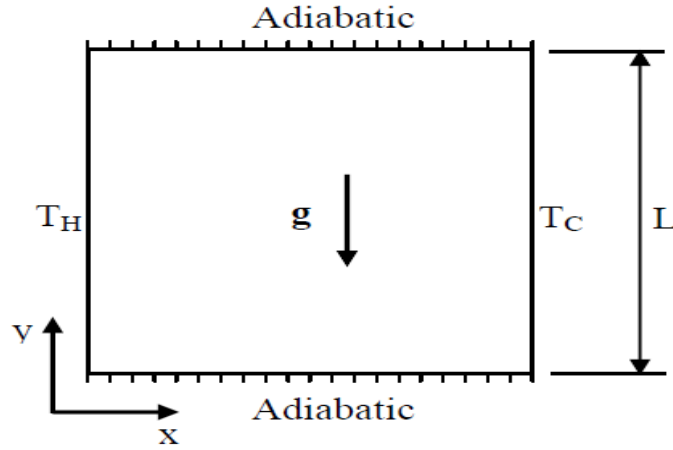
göstermiştir. Bozulma parçacık konsantrasyonu ile artmıştır ve daha CuO nanoakışkanların için telaffuz edildi. Yukarıdaki kısa incelemesi nanoakışkanların ısı transferi davranış, yalnızca etkin termal iletkenliği ile karar edilmemelidir çok karmaşık ve ısı transferi yoğunlaştırılması için nanoakışkanların uygulama olduğunu göstermektedir. Bu tür partikül boyutu, morfoloji ve sıvıların parçacıklarının dağılımı gibi pek çok faktör nanoakışkanların akış ve ısı transfer davranışını önemli ölçüde etkileyebilir. Nanoakışkanların doğal konveksiyon alanında sayısal araştırmacıların simülasyonları bazı varsayıma dayandırılmıştır. Bunlar nanosıvı sıkıştırılmaz, Newtonıyan ve akışın laminer rejiminde olduğudur. Nanopartiküller şekil ve boyut olarak uniform kabul edilmiştir.



## BÖLÜM 4

### 4. MATEMATİK MODEL

Analizlerde incelenen geometri ve koordinat sistemi şematik olarak Şekil 4.1’de verilmiştir. Yüksekliği  $H$  ve uzunluğu  $L$  ile sınırlanmış olan dikdörtgen kapalı kutu, yan duvarları  $T_c$  sıcaklığında, öte yanda ise  $T_h$  sıcaklığında olup, diğer duvarları adyabatiktir. Nanoparçacık ve akışkanın aynı hızla aktığı ve termodinamik dengede olduğu kabul edilmiştir. Yoğunluk dışındaki tüm fiziksel özellikler sabit olarak alınmış, yoğunluk ise Boussinesq yaklaşımı ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.1: Bu çalışmada ele dikdörtgensel muhafaza şematik görünümü

Bu bölümde, dikdörtgensel kapalı kutularda içindeki doğal konveksiyonu, sıvı akışı ve ısı transferini yöneten denklemler boyutsuz bir formda sunulmaktadır.

Aşağıdaki boyutsuz değişkenler, bu amaç için sunulmaktadır:

$$X = \frac{x}{W}, Y = \frac{y}{W}, U = \frac{u}{u_b}, V = \frac{v}{u_b}, \theta = \frac{T-T_c}{T_h-T_c}, P = \frac{p}{\rho_n f u_b^2} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki boyutsuz değişkenleri, x-, y-momentum denklemleri Boussinesq yaklaşımı kullanımıyla nanosiviler için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri, olarak şöyle yazılır:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (4.2)$$

x-momentum denklemleri:

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\mu_{\text{eff}}}{V_f \rho_{\text{nf}}} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (4.3)$$

y-momentum equation:

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\mu_{\text{eff}}}{V_f \rho_{\text{nf}}} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \frac{(\rho\beta)_{\text{nf}}}{\rho_{\text{nf}} \beta_f} \text{Ri}\theta \quad (4.4)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\alpha_{\text{nf}}}{\alpha_f} \frac{1}{\text{PrRe}} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (4.5)$$

burada Re, Reynolds numarası; Ri, Richardson numarası, Pr Prandtl numarasını temsil etmekte olup aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\text{Re} = \frac{u_b W}{V_f}, \text{Ri} = \frac{g\beta_f(T_h - T_c)W}{u_b^2}, \text{Pr} = \frac{V_f}{\alpha_f} \quad (4.6)$$

Ayrıca,  $Ri = Gr/Re^2$  Grashof sayı  $Gr$ , olarak tanımlanır.

$$Gr = \frac{g\beta_f(T_h - T_c)W^3}{\nu_f^2} \quad (4.7)$$

Sınır şartları:

$$U = V = 0, \quad \theta = 0 \quad \text{sağ, sol ve üst duvarlarda} \quad (4.8a)$$

$$U = 1, \quad V = 0, \quad \theta = 1 \quad \text{altı duvarlarda} \quad (4.8b)$$

Nanosıvılar için etkin dinamik viskozite, literatürde bulunan çeşitli formüller yardımıyla elde edilebilir. Bu çalışmada, korelasyon Maiga *et al* tarafından önerilen Wang et al (1999) deney sonuçlarına göre aşağıdaki  $Al_2O_3$  su nanosıvı viskozitesini tahmin etmek için kullanılmıştır:

$$\mu_{eff} = \mu_f(1 + 7.3\phi + 123\phi^2) \quad (4.9)$$

Nanosıvı yoğunluğu  $\rho_{nf}$ , ısı kapasitesi,  $(\rho C_p)_{nf}$  ve termal genleşme katsayısı,  $(\rho\beta)_{nf}$ , formüllerden aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_s \quad (4.10)$$

Küresel nanopartikülleri için nanosıvı, Keff etkin ısı iletkenliği, Maxwell modeli'den elde edilir.

$$(\rho\beta)_{nf} = (1 - \phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_s \quad (4.11)$$

Nanosıvı termal difüzyon şöyle ifade edilir:

$$k_{nf} = k_f \frac{(k_s + 2k_f - 2\phi(k_f - k_s))}{(k_s + 2k_f + \phi(k_f - k_s))} \quad (4.12)$$

Muhafazanın genişliğine göre Nusselt sayısı göre şöyle değerlendirilir.

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \quad (4.13)$$

Isı transfer katsayısı,  $h_{nf}$ , şöyle elde edilir

$$Nu = \frac{h_{nf}W}{k_f} \quad (4.14)$$

Birim alan başına duvar ısı akısı  $q$ , aşağıdaki gibi yazılabilir

$$h_{nf} = \frac{q}{A(T_h - T_c)} \quad (4.15)$$

Denklem (4.13) ve (4.14), (4.15) denkleminde yerine yazarsak Nusselt sayısı için aşağıdaki bağıntı bulunur:

$$q = -k_{nf} \frac{A(T_h - T_c)}{W} \frac{\partial \theta}{\partial Y} \Big|_{wall} \quad (4.16)$$

Sıcak duvar üzerinden ortalama Nusselt sayısı, duvar boyunca yerel Nusselt sayısının integrali ile elde edilebilir:

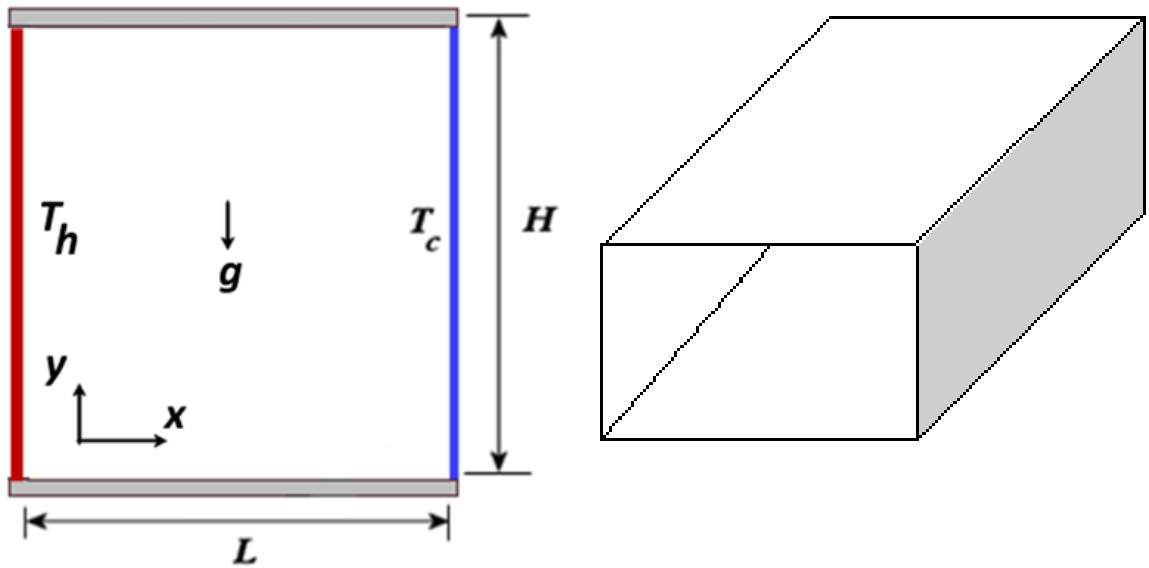
$$Nu = - \frac{h_{nf} W}{k_f} \frac{\partial \theta}{\partial Y} \Big|_{wall} \quad (4.17)$$

## BÖLÜM 5

### 5. SAYISAL AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (SAD) İLE SAYISAL ÇÖZÜM)

#### 5.1.Fiziksel model

Şekil 5.1 görüldüğü gibi  $H$  yüksekliği ve  $L$  uzunluğu bir kapalı dikdörtgenel ( $A = H/L$  incelik oranı olarak tanımlanır) kutu (oyuk) olarak ele alınmaktadır. Üst ve alt yüzeyler yalıtılmıştır. Sol ve sağ duvarlar izotermal ve sırasıyla  $T_h$  ve  $T_c$  sabit sıcaklıklarında tutulmaktadır. Oyuk su veya su-bazlı nono akışkan ile doludur.



Şekil 5.1: Çalışma fiziksel modeli için şema

Bu kapalı sistemde doğal taşınım ile ısı geçişi ve akışkan akışı sayısal olarak incelenecektir. Rayleigh sayısı  $Ra_H = g \beta \Delta T H^3 / (\nu \alpha)$  olarak tanımlanmış olup,  $T_h$  ısı

yayan plaka sıcaklığı,  $T_c$  soğutmanın gerçekleştiği soğuk duvar sıcaklığı alındığına göre sıcaklık farkı  $\Delta T = T_h - T_c$  olmaktadır.

Sıcak yüzey  $T_h = 300$  K, soğuk yüzey  $T_c = 290$  K sıcaklığında tutulmaktadır.

Termofiziksel özellikler su için şu şekilde alınmıştır:  $Pr=6,538$ ,  $T_f = (T_h + T_c)/2 = 295$

K için  $\beta = 23 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ,  $\rho = 997,1 \text{ kg/m}^3$ ,  $k = 0.613 \text{ W/m.K}$ ,  $\mu = 959 \times 10^{-6}$ ,

$\nu = 9,618 \times 10^{-7}$ ,  $\alpha = 1,47112 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  ve  $c = 4179 \text{ J/(kg.K)}$ .

Sayısal simülasyonlar  $H=L=1, 2, 3, 4$  ve  $5 \text{ cm}$  için yapılmıştır.

## 5.2. Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) Yöntemi

Bu bölümde çalışmada kullanılan sayısal akışkanlar dinamiği paket programı FLUENT 6.1.22.e ilişkin bilgiler ve sayısal çözümleme kriterleri hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

## 5.3. FLUENT Bilgisayar Programı

FLUENT, ısı transferi, kütle transferi, akışkanlar dinamiği, kimyasal reaksiyon ve bunun gibi olayların simülasyonunu yapan, kütle korunumu, momentum korunumu, enerji korunumu, türbülans transport ve karışım denklemlerini kontrol hacmi tekniği kullanarak ayırık veya birleşik çözüm yöntemi ile sayısal olarak çözebilen mühendislik uygulamalarında kullanılan genel amaçlı bir bilgisayar programıdır. Denklemleri çözerken normal olarak Basınç Bağlantılı Denklemler için Yarı İmplicit Yöntem (SIMPLE), kullanıcı seçimine bağlı olarak Basınç Bağlantılı Denklemler için Tutarlı Yarı İmplicit Yöntem (SIMPLEC) veya Ayırma Operatörlü İmplicit Basınç Çözüm

Yöntemi (PISO) algoritmasını kullanır. Bu tezdeki çözümlerde ayırık çözüm yöntemi kullanılmış olup FLUENT'e ilişkin bilgi verilirken sadece ayırık çözüm yöntemi ile bağlantılı olarak bilgi verilmektedir.

FLUENT sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Matematiksel denklemleri sayısal bir işlemle dönüştürerek, yani matematik modelde tanımlanan kısmi diferansiyel denklemleri ayırıklaştırmak suretiyle lineer cebirsel denklemlere dönüştürür. Problemin çözümü için önce problemin geometrisi GAMBIT programında oluşturulup, oluşturulan geometri istenilen sayıda hücelere (grid) ayrılarak ve FLUENT ile sayısal olarak çözüme hazır hale getirmektedir. FLUENT yazılımı; GAMBIT, XSERVER, TGRID, FLUENT modüllerden oluşmaktadır.

### **5.3.1. GAMBIT modülü**

Problem alanının, cismin veya geometrinin oluşturulacağı, bu modelin hücelere (mesh) bölüneceği ve sınır şartlarını FLUENT programında detaylandırmadan önce bu sınırların tanımlanacağı yüzeylerin belirleneceği modüldür. GAMBIT'te model hazırlanabileceği gibi, programa CAD programlarında hazırlanmış model de aktarılabilir. İki veya üç boyutlu modelleme yapılabilen programda, uzantısı DBS olan bir katı model dosyası oluşturulur, daha sonra bu DBS uzantılı dosyadan MSH uzantılı bir dosya export edilerek oluşturulur. MSH uzantılı dosya FLUENT modülünün okuyacağı formattaki dosyadır.



### **5.3.2. XSERVER ( Hummingbird Connectivity) modülü**

GAMBIT' in Windows ortamında çalışmasını sağlayan arayüz modülüdür. Bu modül olmadan GAMBIT Windows ortamında çalışmaz.

### **5.3.3. TGRID modülü**

Katı modele mesh atılabilen ve mesh yapısının tadil edildiği programdır. Mesh yapısı tadil edilerek daha kolay ve hassas sonuç elde edilebilecek meshler oluşturularak problemler çözülür.

### **5.3.4. FLUENT modülü**

GAMBIT modülünde oluşturulan MSH uzantılı dosya FLUENT modülünde okutulur. FLUENT modülünde sınır şartlarının düzenlenmesi, girilmesi, malzemenin termofiziksel özelliklerinin girilmesi, çözümlemeyle ilgili kriterlerin girilerek problemin çözülemeye hazır hale getirilmesi sağlanır. FLUENT modülü MSH uzantılı dosyanın CAS uzantılı dosyasının elde edildiği ve bu CAS uzantılı dosya kullanılarak iterasyonlar yapıp yakınsama sağlanarak sayısal çözümün elde edildiği modüldür. Çözüm DAT uzantılı dosya olarak saklanır. FLUENT modülünde çözüme ilişkin grafikler ve kesitler alınabilir.

## 5.4. Çalışma Programı

### 5.4.1. Uygun grid (kafes) yapısının oluşturulması ve seçilmesi

Sayısal hesaplama sonucunun doğru elde edilmesi için uygun grid yapısının oluşturulması çok önemlidir. Uygun oluşturulmayan grid yapısı, sonucun ıraksamasına veya hatalı sonuç elde edilmesine neden olur. Dolayısıyla kullanılan grid yapısının doğru sonuç verip vermediğinin incelenmesi gerekmektedir.

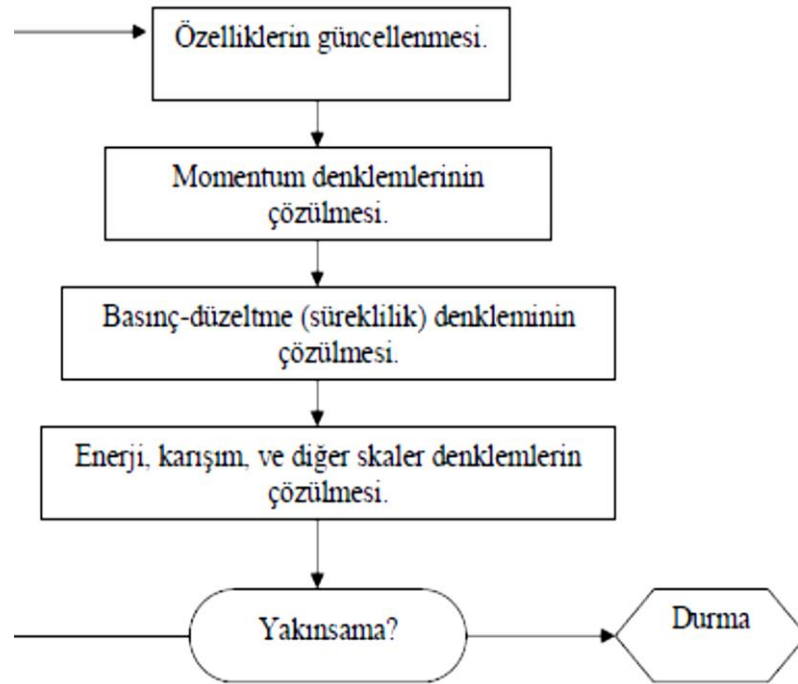
### 5.4.2. Ayrık çözüm yöntemi

Ayrık çözüm yöntemi kullanılırken denklemler ayrı ayrı çözülür, bir denklem çözüldükten sonra elde edilen sonuç sırasıyla diğer denklemlerde kullanılır. Denklemler non-lineerdir ve set halindedir, yakınsamış sonucu elde edene kadar çok sayıda çözüm döngüsü yapan iterasyon işlemi uygulanır.

Her bir iterasyon şekil 5.2 de yer alan adımlardan oluşur ve bu iterasyon adımlarını açıklayıcı bilgi aşağıda yer almaktadır:

1. Elde edilen sonuca bağlı olarak akışkan özellikleri güncellenir (eğer hesaplama yeni başlatıldı ise başlangıç değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen çözümler bir sonraki hesaplamada kullanılır (güncellenir));
2. Hız bilgilerini güncellemek için basınç ve yüzeydeki kütle akısı değerleri kullanılarak momentum denklemleri çözülür;

3. Adım 2'de elde edilen hızlar yerel olarak süreklilik denklemini sağlamamaktadır, bu nedenle süreklilik denkleminin ve lineerize edilmiş momentum denklemlerinden Poisson tipi denklem (basınç düzeltme için) türetilir. Basınç alanına, hız alanına ve yüzey kütle akısına gerekli düzeltmeler sürekliliği sağlamak için yapılarak basınç düzeltme denklemi çözülür;
4. Enerji, karışım ve ışıma ile ilgili skaler denklemler önceki adımlarda güncellenerek elde edilen sonuçlar (değişken değerleri) kullanılarak çözülür;
5. Fazlar arası ilişkilendirmeyi sağlayan birleştirme yapılırken ayrı faz hesaplaması ile süreklilik faz denklemlerindeki kaynak terimleri güncellenebilir;
6. Denklem setinin yakınsayıp yakınsamadığı kontrol edilir;
7. Yakınsama elde edilinceye kadar 1'den 6'ya kadar olan adımlar tekrar uygulanır.



Şekil 5.2. Ayrık çözüm yönteminin adımları

### 5.4.3. Denklemlerin lineer hale getirilmesi

Çözülecek denklemler her bir hücrede bağımlı değişkene bağlı denklem sistemi oluşturmak için linerize edilir. Elde edilen lineer sistem, akış alanını belirlemek için çözülür.

Bağımlı değişkenlere veya değişken setlerine bağlı olarak linerizasyon implisit veya eksplisit formda yapılır. İmplicit ve eksplisit şu anlamlardadır:

*İmplicit:* Her bir hücredeki değişkenler komşu hücrelerdeki bilinen ve bilinmeyen değerlerin kullanılmasıyla hesaplanır. Bir bilinmeyen sistemdeki denklemlerden birkaçında aynı anda olabilir, ve bu denklemlerin aynı anda çözülmesi ile bilinmeyen hesaplanır.

*Eksplisit:* Her bir hücredeki değişkenler komşu hücrelerdeki bilinen değerlerin kullanılmasıyla hesaplanır. Bir bilinmeyen, denklem setindeki sadece bir denklemde bulunur ve bilinen değerlerin denklemlerde yerine konulması ile bilinmeyenler çözülür.

Ayrık çözüm yönteminde denklemler implisit olarak linerize edilir. Her bir hücre için çözülmesi gereken bir denklem seti elde edilir. İmplicit (Gauss-Siedel) lineer denklem çözücü kullanılarak her bir hücre için çözüm elde edilir. Ayrık çözüm yöntemi her bir hücreyi dikkate alarak aynı anda sadece bir değişkeni çözer. Bir sonraki değişkeni her bir hücreyi dikkate alarak çözer ve bu diğer değişkenler içinde devam eder. Ayrık çözüm yöntemi için eksplisit çözüm uygulanabilir olmadığından mevcut değildir.

#### 5.4.4. Denklemlerin ayrıklaştırılması

FLUENT, kontrol hacmi tekniği ile denklemleri cebirsel denklemlere dönüştürür ve sayısal olarak çözer. Kontrol hacmi tekniğinde denklemlerin her birinin kontrol hacminde integralleri alınarak her bir bilinmeyen büyüklük için ayrı denklemler elde edilir. Denklemlerin integrallerinin alınması skaler  $\phi$  büyüklüğü için sürekli şartlarda aşağıdaki korunum denklemi ile gösterilir:

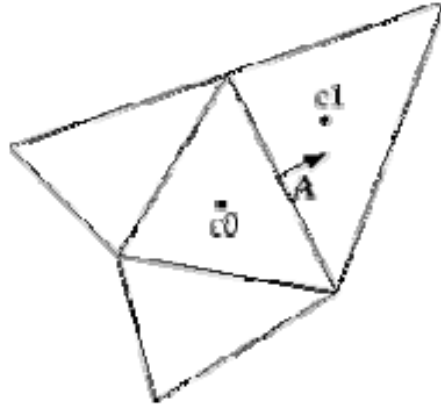
$$\oint \rho \phi \vec{v} \cdot d\vec{A} = \Gamma_{\phi} \nabla \phi \cdot d\vec{A} + \int_V S_{\phi} dV \quad (5.1)$$

burada;  $\phi$ : skaler değişken;  $\rho$  yoğunluk;  $\vec{v}$  hız vektörü;  $\vec{A}$  yüzey alan vektörü;  $\Gamma_{\phi}$ : difüzyon katsayısı;  $\nabla \phi$ :  $\phi$ 'nin gradyanı;  $S_{\phi}$ : birim hacim başına  $\phi$  kaynağıdır.

Yukarıda verilen Eş. 5.1 hesaplama alanındaki her bir kontrol hacmine (veya hücreye) uygulanır. Şekil 5.2.'de iki boyutta örnek kontrol hacminin şekli verilmektedir. Eş. 5.1 in ayrıklaştırılması ile aşağıda yer alan Eş. 5.2 elde edilir.

$$\sum_f^{N_{face}} \rho_f \vec{V}_f \phi_f \cdot \vec{A}_f = \sum_f^{N_{face}} \Gamma_{\phi} (\nabla \phi)_n \cdot \vec{A}_f + S_{\phi} \quad (5.2)$$

burada; f: yüzey;  $N_{face}$ : Hücreyi çevreleyen yüzeylerin sayısı;  $\phi_f$ :  $\phi$ 'nin f yüzeyinde değiştirilmiş değeri;  $\rho_f \vec{V}_f \cdot \vec{A}_f$  Yüzeydeki kütle akısı;  $\vec{A}_f$ : Yüzey f'nin alanı;  $(\nabla \phi)_n$ :  $\nabla \phi$ 'nin f yüzeyindeki büyüklüğü V: Hücre hacmidir



Şekil 5.3. Skaler transport denkleminin ayrıklaştırmanın yapıldığı kontrol hacmi FLUENT tarafından çözülen denklemler yukarıda genel formülasyonu verilen yapıda olup, çok boyutlu, yapılandırılmış gridlere (polyhedral) uygulanır.

FLUENT otomatik olarak hücre merkezinde (Şekil 5.3. de  $c_0$  ve  $c_1$ ) skaler  $\phi$  değerlerini yerleştirir. Buna karşın  $f \phi$ 'nin yüzeydeki değeri Eş. 5.2 deki taşınım terimi için gereklidir ve hücre merkezindeki değerlerden interpolate edilir. Upwind metodu kullanılarak bu interpolasyon gerçekleştirilir.

Upwind şu anlama gelir:  $\phi_f$ 'nin yüzeydeki değeri hücredeki akım büyüklüğünden elde edilir. Birinci mertebe upwind, ikinci mertebe upwind, power law ve QUICK gibi upwind modelleri FLUENT'de seçilebilir.

Eş. 5.2 deki difüzyon terimi merkezi fark ve daima ikinci mertebe doğruluktur.

#### 5.4.5. Denklemlerin linerize edilmiş yapıları

Ayrıklaştırılmış skaler transport denklemi Eş. 5.2 hücre merkezinde bilinmeyen skaler  $\phi$  değişkeni ve çevreleyen komşu hücrelerde bilinmeyen değerleri içerir. Eş. 5.2 linerize edilirse aşağıdaki hali alır:

$$a_p \phi_p = \sum^{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (5.3)$$

Burada  $nb$  komşu hücreleri temsil eder,  $a_p$ ,  $a_{nb}$  sırasıyla  $\phi$  için lineer katsayılarıdır. Her bir hücreye komşu olan hücre sayısı grid yapısına bağlıdır, fakat bu bir hücrenin yüzey sayısına eşittir (sınır hücreler hariç).

Benzer denklemler gridlerdeki her bir hücre için yazılabilir ve seyrek katsayılar matrisinden oluşan cebirsel denklem seti halini alır. Skaler denklemler için FLUENT İmplicit (Gause-Siedel) lineer denklem çözüm yöntemi ile birlikte Cebirsel ÇokluGrid Metodunu (AMG) kullanarak bu lineer sistemi çözer.

#### 5.4.6. Relaksasyon

FLUENT tarafından çözülen denklemlerin Lineer olmaması  $\phi$  değişkenindeki değişimin kontrol edilmesini gerektirir. Bu gereksinim relaksasyon ile giderilir, relaksasyon ile  $\phi$ 'deki değişim her bir iterasyonla azaltılır. Her bir hücredeki  $\phi$ 'nin yeni değeri eski değeri kullanılarak elde edilmiştir,  $\phi_{\text{eski}}$ . Relaksasyon faktörü ( $\alpha_r$ ) ile  $\phi$ 'deki hesaplanan değişim ( $\Delta\phi$ ) aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$\phi_p = (\phi_p)_{eski} + \alpha \Delta\phi \quad (5.4)$$

Hesaplamaların yakınsama davranışları üzerinde çalışmak ve tatmin edici yeterlilikteki yakınsama elde etmek amacıyla relaksasyon faktörlerinin belirlemek ve hesaplamayı başlatma prosedürünü oluşturmak için pek çok örnek durum üzerinde çalışılmıştır. Tüm değişkenler için iyi bir sonuç elde edebilmek amacıyla bu tezde yapılan hesaplamalarda Bölüm 5.3.3 de tespit edilen relaksasyon parametreleri kullanılmıştır.

## 5.5. Deneysel Çalışmanın Sayısal Olarak Modellenmesi

Heris ve arkadaşları tarafından yapılmış olan deneysel çalışmanın sayısal olarak çözülebilmesi için iki farklı program (GAMBIT ve FLUENT) kullanılarak bir modelleme gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada fiziksel modelleme GAMBIT ile tasarlanmış ve ikinci aşamada ise FLUENT ile sayısal olarak çözülmüştür.

### 5.5.1. GAMBIT Aşamaları

Deneysel düzeneğin ve ilave edilen 1 santim kutu fiziksel şeklinin oluşturulmasında bu program kullanılmıştır. GAMBIT ile ilk olarak 1cmuzunluğunda ve 1 cm genişliği ise bir kutunun koordinat sistemi belirlenmiştir. Daha sonra iki boyutlu olarak modellemesi yapıldıktan sonra oluşturulan bu şeklin sayısal ağ oluşturma (mesh) işlemleri gerçekleştirilmiştir.

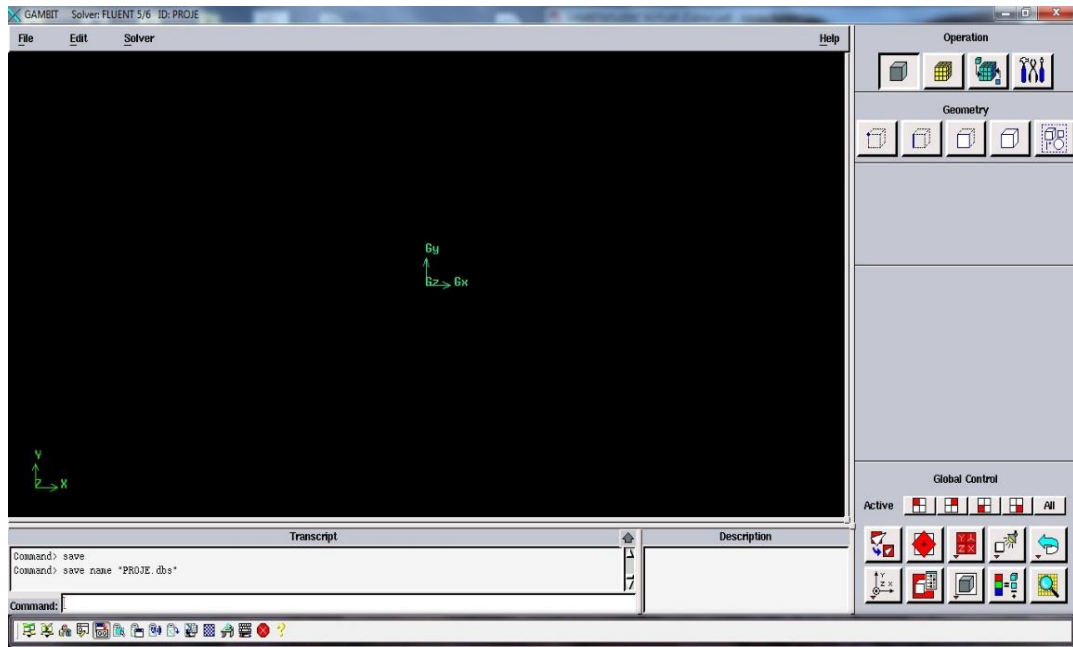


## Adım 1. GAMBIT’de MODELLEME

Yapılan meshlemenin FLUENT 6 için olduğunu belirtmek gereklidir:

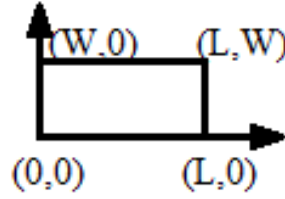
**Ana Menü → Solver → FLUENT 5/6**

komutu ile ayarlama yapılır. Ekran görüntüsü şekil 5.4’tedir.



Şekil 5.4: GAMBIT’in açılması

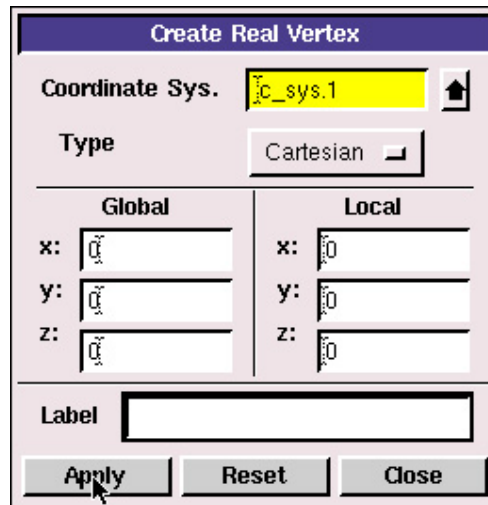
Üçüncü adımda seçeceğimiz sınır koşulları tipleri çözücü seçiminize bağlıdır. Akışın *axisymmetric* olduğunu kabul edebiliriz. Problemin çözüm bölgesi:  $0 \leq x \leq L$  olarak yazılabilir; burada  $x$  eksene koordinatlarıdır. Koordinat sisteminin merkezini dikdörtgenin sol alt köşesine gelen şekilde yerleştir. Köşelerin koordinatları şekil 5.5’te görülmektedir:



Şekil 5.5 Koordinat sisteminin merkezini dikdörtgenin

### Operation → Geometry → Vertex → Create Real Vertex

Dikdörtgenin sol alt kenarına bir vertex oluşturduktan sonra aşağıdaki pencereden x, y ve z için koordinatlar girilerek 4 adet vertex oluşturulur. **Apply** butonuna tıklayınca bu işlem (0,0,0) da bir nokta (vertex) oluşturur ve grafik penceresinde Şekil 5.6 gibi görüntülenir.



Şekil 5.6 Create Real Vertex penceresi

Üç adet nokta daha oluşturmak için bu işlemi tekrarlandı: *Vertex 2*: (0,0.01,0), *Vertex 3*: (0.01,0.1,0), *Vertex 4*: (0.01,0,0). İki boyutlu problemlerde z'nin default değeri her zaman sıfır olmalıdır.

## Global Control →Fit to Window

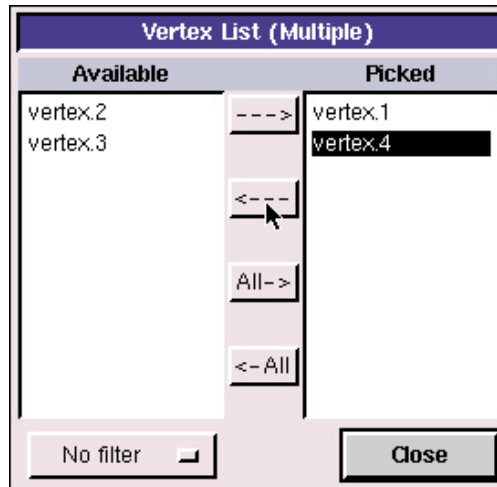
Bu işlem her dört noktayı grafik penceresine sığdıracak şekilde görüntüler.

## Operation →Geometry →Edge →Create Edge

*Shift* tuşuna basılı tutarak ve dikdörtgenin bir kenarını oluşturan noktalara karşılık gelen noktalara tıklayarak seçimi yapıldı. Her vertex seçildiğinde grafik penceresinde “kırmızı” renge görünür.

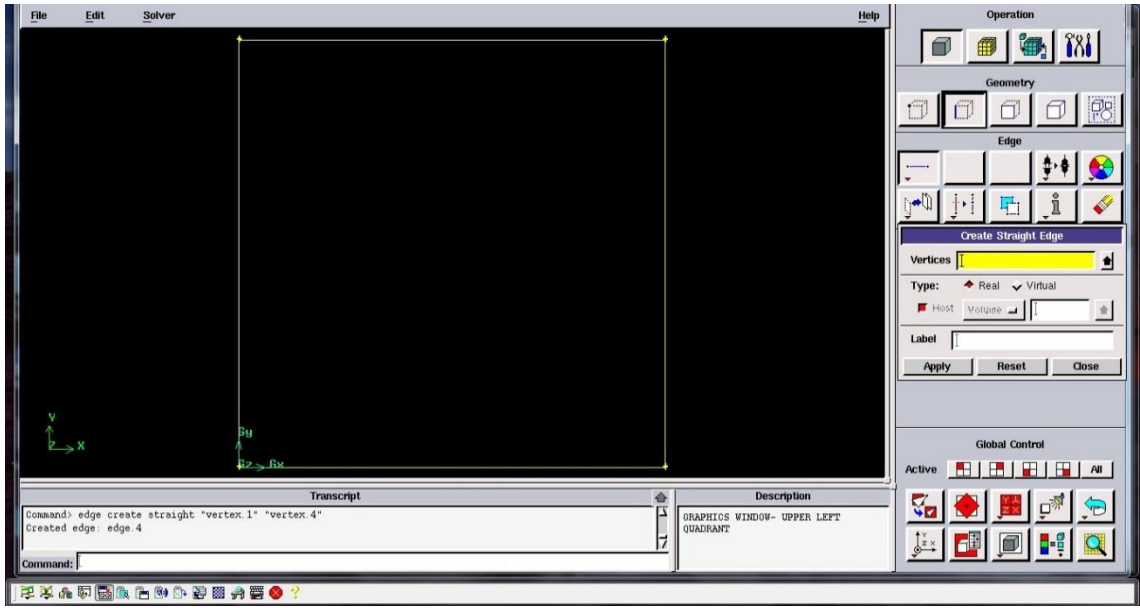


Bu işlem seçili vertice’leri içeren bir pencere açacaktır. Vertice’ler **Available** (müsait) ve **Picked** (seçili) listeleri verir ve istenen vertexler → veya ← ok butonları ile pencereler arasında taşınabilirler. (Şekil 5.7)



Şekil 5.7 vertex List (Multiple)

Doğru noktalar seçildikten sonra **Close** butonuna ve *Create Straight Edge* penceresinden **Apply** butonuna basılır. Bu işlemi dikkörtgen oluşuncaya kadar tekrarlanır. Şekil 5.8 gibi oluşmaktadır.



Şekil 5.8 dikkörtgen şekil

## Yüzey (Face) oluşturma

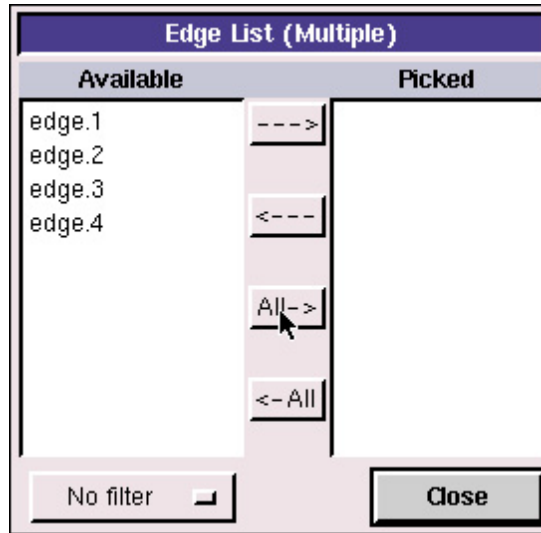
### Operation → Geometry → Face → Form Face

Dört doğru ile sınırlı kapalı bir alandan yüzey oluşturmak için, bu alanı sınırlayan dört kenarı seçilmesi gerekir. Bu işlem Shift tuşu basılı iken her dört kenarın seçilmesi (seçili kenarların kırmızı olarak gözüktüğüne dikkat edilir) ile gerçekleştirildi.

Buna daha kolay bir alternatifte kenarların yanındaki yukarı oka tıklayarak seçim yapılır.



Bu işlem *Edge List* penceresi açar. **All →** ile tüm kenarlar bir kerede seçilebilir. **Close**'a tıklanır. (Şekil 5.9)

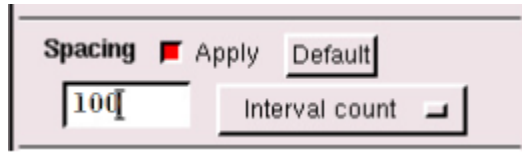


Şekil 5.9 *Edge List* penceresi

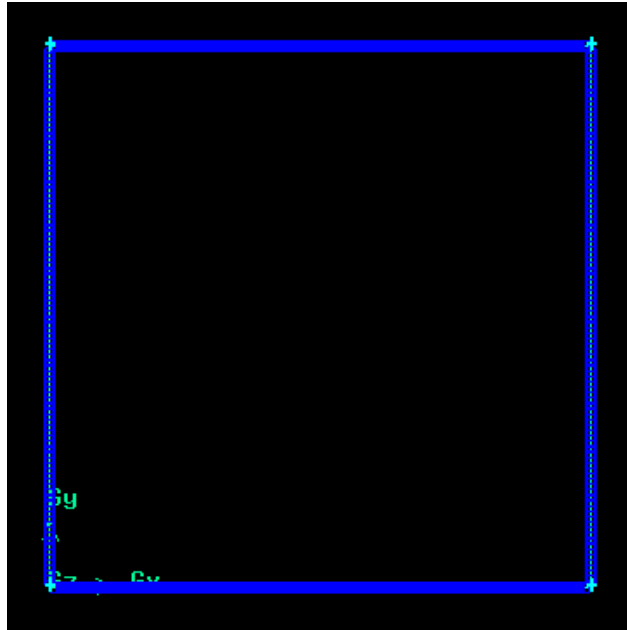
Sonra **Apply**'a tıklayarak yüzeyi oluşturun. Şimdi x-eksenini 100 ve r-ekseni 5 parçaya bölelim. Önce kenarlara daha sonra yüzeye mesh uygulayacağız. Arzulanan grid aralıkları “*edge mesh*” ile belirlenir.

**Operation → Mesh → Edge → Mesh Edges**

Shift-Enter veya *Edge List* penceresini çağırarak her iki kenarı seçilir. Ana görüntüye geri dönmek için *Global Control Toolpad*→*Fit toWindow* butonunu kullanılır. Dikey kenar oluşturulduktan sonra, **Mesh Edges** penceresinden aralık sayısını (**Interval Count**) 100 olarak girildi.



**Apply**'ı uygulayınca kenar üzerinde 5 parçaya bölündüğünün anlaşıldığı node'lar gözükür. (Şekil 5.10)

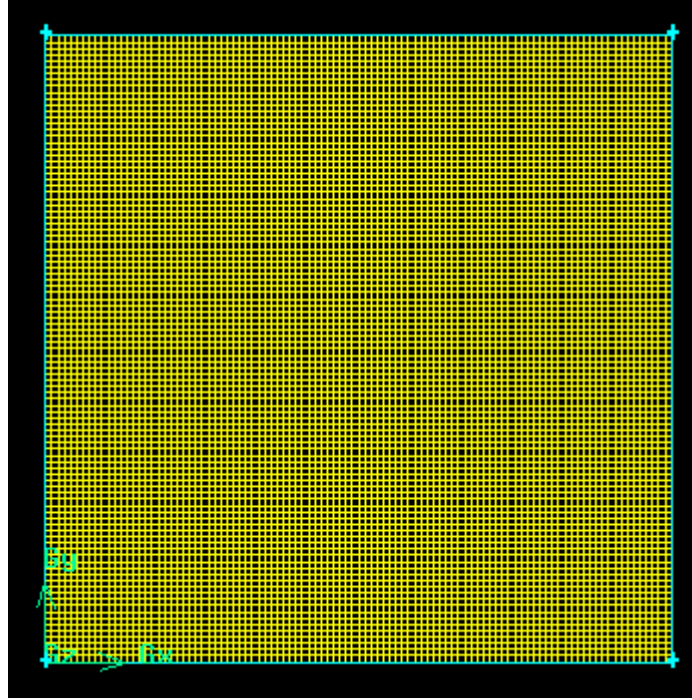


Şekil 5.10 yüzeyi meshleme işlem

Aynı işlemi yatay kenarlar için tekrarlayarak 100 aralığa bölünür. Artık yüzeyi meshleme işlemine geçebilir.

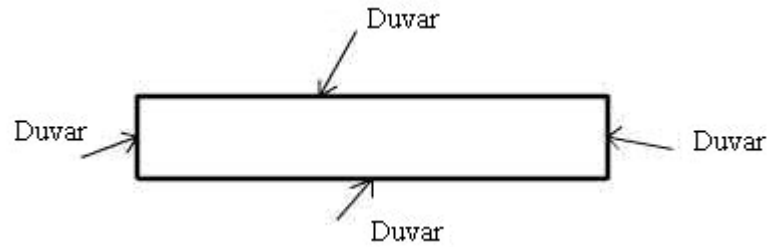
**Operation → Mesh → Face → Mesh Faces**

Yüzey üzerinde Shift sol-klik veya Faces bitişigindeki yukarı ok'u kullanarak Apply'a basın. (Şekil 5.11)



Şekil 5.11 Hacme mesh atılması

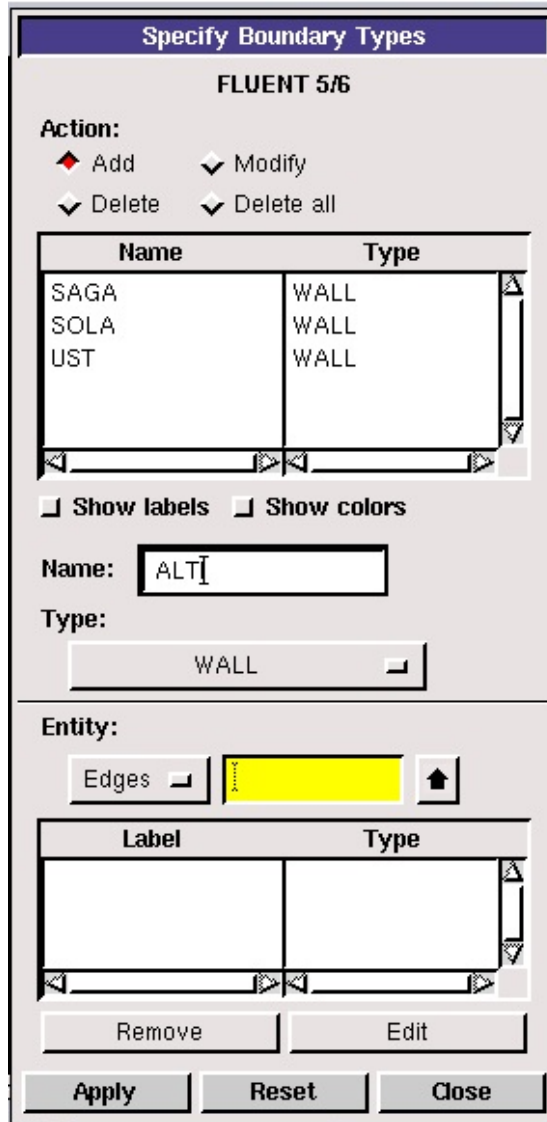
**Sınır Tiplerinin Belirlenmesi** (Şekil 5.12)



Şekil 5.12 Duvar Sınırlama

Yukarıdaki şekilden görüleceği üzere sol, sağ, üst ve alt kenarları duvar olarak belirlenir.

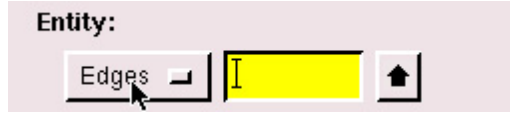
Operation → Zones → Specify Boundary Types (Şekil 5.13)



Şekil 5.13 *Specify Boundary Types* penceresi



Operasyon panelinde *Specify Boundary Types* penceresi açılır. Önce sol kenarı (sağa sınır koşulunu) tanımlarız. Entity başlığı altında, kenarları (Edges'ı) seçilir.



Şimdi Shift-tıklama ile sol kenarı seçilir. Seçilen kenar “kırmızı” renkte gözükecektir. **Name** kutusuna “SAGA” yazılır. Tip (**Type**) için WALL’i seçilir. **Apply** tuşuna bas. Bu girilen değeri **Name/Type** kutusunda aşağıdaki gibi görünür. Bu işlem diğer üç kenar için aşağıdaki tablodaki tanımlamaları yaparak tekrar edildiğinde **Name/Type** listesinde aşağıdaki görüntüyü Şekil 5.14 gibi elde edilir:

Name	Type
SAGA	WALL
SOLA	WALL
UST	WALL
ALTI	WALL

Şekil 5.14 Name/Type liste penceresi

### Save ve Export

**File → Save**

**File → Export → Mesh...**

Dosya ismi için “*isim-dosya.MSH*” yazın. İki boyutlu mesh olduğu için “**Export 2d Mesh**” seçilip **Accept** ile kabul edilir. Artık Çalışma klasöründe \*.msh uzantılı mesh dosyası yaratılmıştır.

## **Adım 2. FLUENT ile ÇÖZÜMLEME**

### **FLUENT 6.1.22’i başlat**

**Start → Programs → FLUENT Inc → FLUENT 6.1.22**

“2ddp” seçeneğini kullanarak “2ddp” opsiyonu ile 2-boyutlu, double-precision çözücü seçilmiş olur.

### **Import Grid (Grid ve diğer bilgilerin FLUENT ortamına aktarılması)**

**File → Read → Case...**

Çalışma klasörüne giderek “Experiment.msh” dosyasını bulun ve bu dosyayı seçin. Bu mesh dosyası daha önce

GAMBIT kullanılarak hazırlanmıştı. FLUENT mesh istatistikleri okudukça Şekil 5.15 gibi bir pencerede rapor eder.



```

FLUENT [2d, dp, segregated, lam]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help

Welcome to Fluent 6.1.22

Copyright 2003 Fluent Inc.
All Rights Reserved

Loading "C:\Fluent.Inc\fluent6.1.22\lib\fl_s117.dmp"
Done.

> Reading "E:\FLUENT\Experiment.cas"...
  10000 quadrilateral cells, zone 2, binary.
   100 2D wall faces, zone 3, binary.
   100 2D wall faces, zone 4, binary.
   100 2D wall faces, zone 5, binary.
   100 2D wall faces, zone 6, binary.
 19800 2D interior faces, zone 8, binary.
 10201 nodes, binary.
 10201 node flags, binary.

Building...
  grid,
  materials,
  interface,
  domains,
  mixture
  zones,
  default-interior
  sol
  sag
  ust
  alt
  akiskan
  shell conduction zones,
Done.
Reading "E:\FLUENT\Experiment.dat"...
Done.

```

Şekil 5.15: FLUENT mesh istatistikler penceresi

Node, yüzey (farklı yüzeyler) ve hücrelerin sayısını kontrol ediniz. Bu örnekte  $100 \times 100 = 10000$  dörtgen hücre ve  $101 \times 101 = 10201$  node olmalıdır.

### Grid'i Görüntüle ve Kontrol Et

Önce grid'i kontrol ederek, hata olmadığından emin olmalıyız.

**Grid → Check**

Grid'te herhangi bir hata varsa bu esnada rapor edilir.

**Grid → Info → Size**

Aşağıdaki istatistiki bilgi görülmelidir:

Grid Size				
Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	10000	20200	10201	1
1 cell zone, 5 face zones.				

**File : Mesh, Case, Data** dosyalarını okuma (Read), kaydetme (write) işlemlerinin yapıldığı menüdür.

**Grid:** Meshlenmiş gridin istenirse ebadlarının yeniden ölçeklendirildiği, grid dosyasındaki verilerin doğruluklarının kontrol edildiği menüdür.

**Define:** Model, Çalışma Koşulları, Sınır Koşullarının tanımlandığı Menüdür.

**Solve:** Oluşturulan modelin çözdürülmesi koşullarının tanımlandığı menüdür.

**Display:** Grid, Kontur grafikleri vs'nin görüntülenmesinde kullanılır.

**Report:** Kütleli debi, ısı transferi vb miktarların yüzey integralleri alınarak hesaplandığı kısımdır.

**MESH, CASE ve DATA dosyalarının okutulması**

GAMBIT'te bir geometri ve grid/mesh oluşturulmuş ve ilk kez FLUENT ile çözdürülecekse, sadece *mesh* dosyası **isim.msh** okutulur. Bu dosya FLUENT'te koşulları ve çözdürme ayarları yapıldıktan sonra kaydedilmesi gerekir. FLUENT bunu

kaydederken *case* dosyası olarak kaydeder; yani **isim.cas**. Problem FLUENT’te çözdürüldükten sonra çözüm ve çözüme ait verilerinin kaybolma-masını istiyorsak **File→Write→Case&Data** kombinasyonu olarak kaydederiz. Okutma işlemlerinde daha önce üzerinde çalışılmış ama henüz çözdürme yapılmamış bir FLUENT CASE dosyası için (**File → Read → Case**) işlemini yapılır.

**isim.MSH**→ GAMBITte oluşturulan mesh (model) dosyasıdır

**isim.JOU**→ GAMBIT Journal dosyasıdır

**isim.DBS**→ GAMBIT database dosyasıdır

**isim.LOK**→ GAMBIT lock dosyasıdır.

**isim.TRN**→ GAMBIT transcript dosyasıdır.

**isim.CAS**→ FLUENT case dosyasıdır.

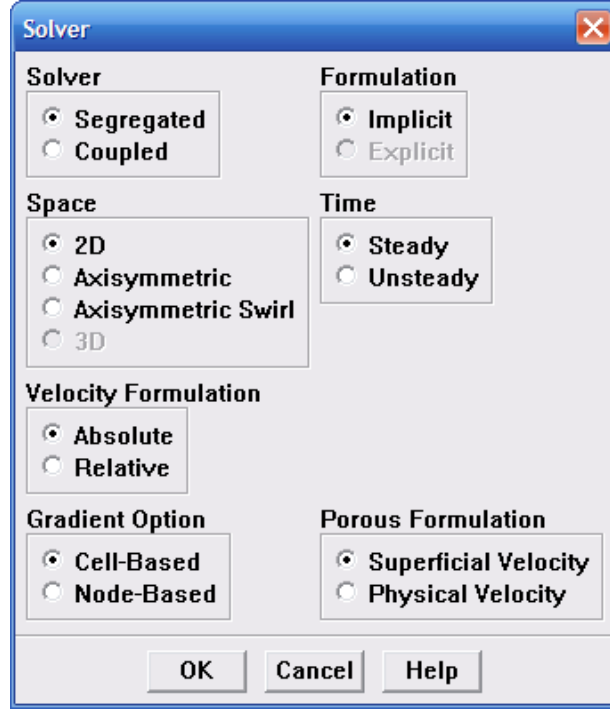
**isim.DAT**→ FLUENT data dosyasıdır. (Çözümü yapılmış problemin çözümlerinin saklandığı dosya)

**Grid → Check**

**Grid → Smooth/Swap** (önce **Smooth** sonra **Swap** yapılır. Hata vermeyinceye kadar bu işlem tekrarlanır.)

**Define → Models → Solver**

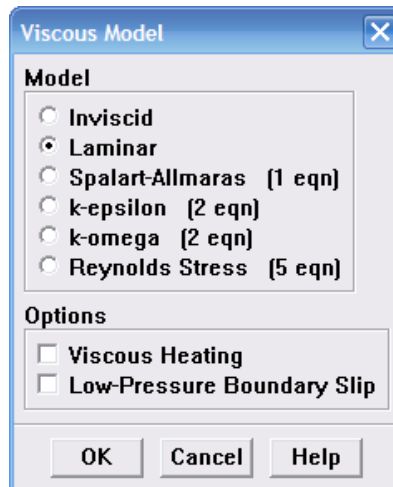
İşlemi neticesinde yandaki menüler seçili olsun. Bu pencere ile **STEADY** (yani sürekli rejimde problem çözümü) yapılması öngörülmektedir. Bu durumda Solver menüsü Şekil 5.16 şekilde doldurulur:



Şekil 5.16: Solver penceresi

**Define → Models → Viscous**

Şekil 5.17’de, bu menü ile akışın laminar veya türbülanslı mı olduğu belirtilir. Akış türbülanslı ise olayın fiziğine uygun türbülans modeli seçilir.

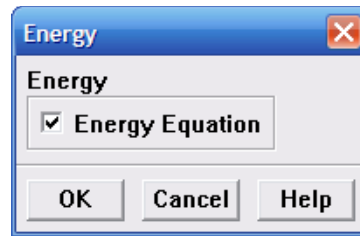


Şekil 5.17: Viskoz model ayarlama penceresi

Sıcaklık dağılımını bulmak için enerji denklemini çözdürmemiz gerekir. Bu işlem

**Define → Models → Energy**

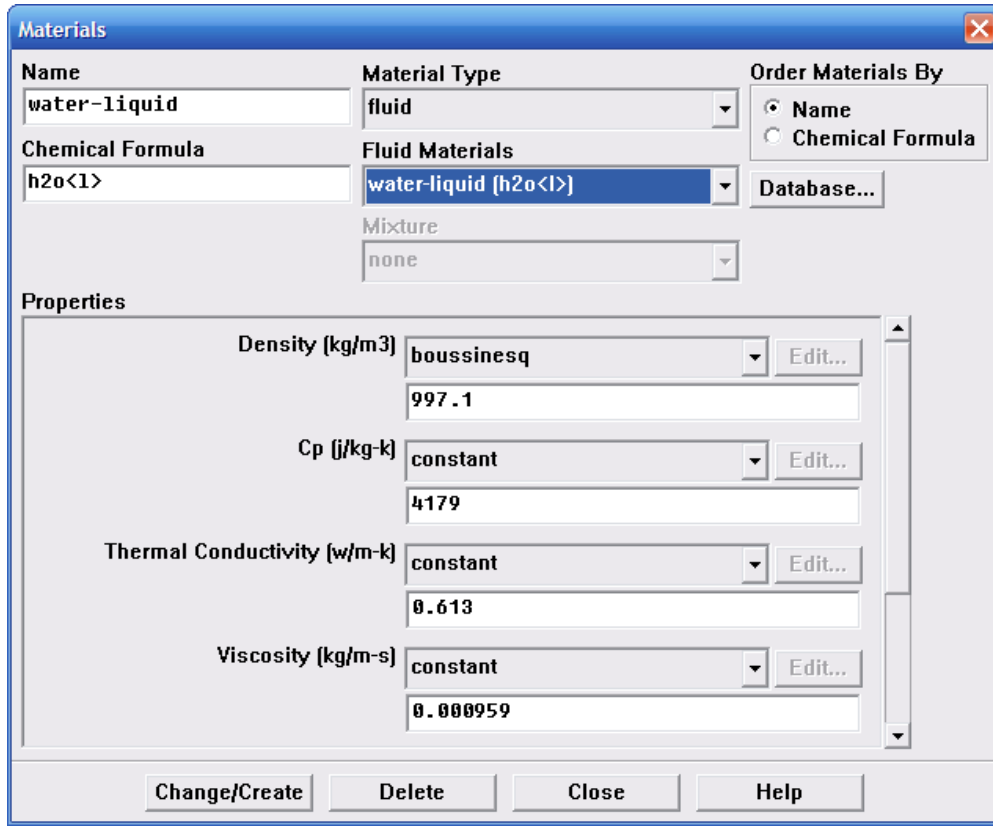
ile aşağıdaki pencerede Şekil 5.18 gibi yapılır. OK tuşuna tıklanır.



Şekil 5.18: Enerji penceresi

**Define → Materials**

Komutu ile **Materials** penceresi açılır. Malzeme termofiziksel özellikleri Şekil 5.19 pencereden tanımlanır. İlk açılışta **Air**'nın termofiziksel özellikleri **Default** değer olarak yüklüdür.



Şekil 5.19: Malzeme penceresi

**Properties** penceresinin yanındaki *slide-bar*'ı aşağı kaydırarak diğer özelliklere erişebilirsiniz. Slide bar aşağıya doğru çekince Şekil 5.20'de görülmektedir. Hava'ya ait termofiziksel özellikler suyunki ile düzeltilerek girilmelidir.



Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...
	0.613	
Viscosity (kg/m-s)	constant	Edit...
	0.000959	
Molecular Weight (kg/kgmol)	constant	Edit...
	18.0152	
Thermal Expansion Coefficient (1/k)	constant	Edit...
	0.00023	

Şekil 5.20: Özellikleri penceresi

### Define → Operating Conditions

Şekil 5.21deki pencereden yerçekimi (negatif y-ekseni yönünde olduğundan) ivmesi aşağıdaki şekilde girilir. **Operation Temperature** ortalama sıcaklık olan **295 K**'de kalacaktır.

**Operating Conditions** ✖

<p><b>Pressure</b></p> <p>Operating Pressure (pascal) 101325</p> <p>Reference Pressure Location</p> <p>X (m) 0</p> <p>Y (m) 0</p>	<p><b>Gravity</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Gravity</p> <p>Gravitational Acceleration</p> <p>X (m/s<sup>2</sup>) 0</p> <p>Y (m/s<sup>2</sup>) -9.81</p> <p><b>Boussinesq Parameters</b></p> <p>Operating Temperature (k) 295</p> <p><b>Variable-Density Parameters</b></p> <p><input type="checkbox"/> Specified Operating Density</p>
---	---

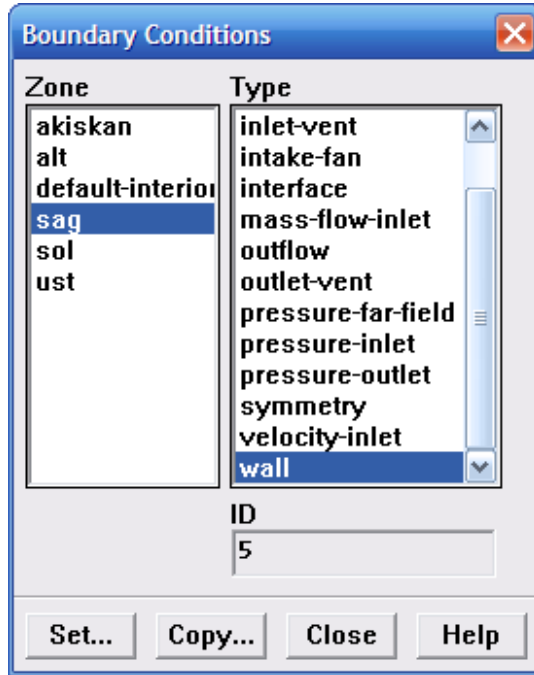
OK   Cancel   Help

Şekil 5.21: Operating Conditions penceresi

Sınır koşulları tanımlamak için aşağıdaki komuttan

### Define → Boundary Conditions

**Boundary Conditions** paneli açıldığında bu menüden *ust*, *alt*, *sag* ve *sol* yüzeyler için sınır türlerinin **wall** olarak girilmiş olması Şekil 5.22 gibi gerekir.



Şekil 5.22: Sınır Koşulların paneli

Şekil 5.23a da sınır koşulu ayarlanacak yüzeyin üzerine gelip yüzey seçimini yapılır. **Set** butonuna tıklayınca **sol** yüzeyini seçip **Set**'e tıklayınca, aşağıdaki sınır koşulu penceresi açılır. **Sabit sıcaklık** sınır koşulunu uygulayıp, sıcaklığı **300 K** olarak atayacağız). **OK** butonuna tıklayıp kaydederek çıkarız.

Wall

Zone Name  
sol

Adjacent Cell Zone  
akiskan

Thermal | DPM | Momentum | Species | Radiation | UDS

Thermal Conditions

Heat Flux  
 Temperature  
 Convection  
 Radiation  
 Mixed

Temperature (k) 300 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name  
aluminum Edit...

OK Cancel Help

Şekil 5.23a: Sol Duvarın penceresi

Şekil 5.23b **sag** yüzey için de aynı yukarıdaki şekilde sınır koşulunu (**Temperature=290**) girilir.

Wall

Zone Name  
sag

Adjacent Cell Zone  
akiskan

Thermal | DPM | Momentum | Species | Radiation | UDS

Thermal Conditions

Heat Flux  
 Temperature  
 Convection  
 Radiation  
 Mixed

Temperature (k) 290 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name  
aluminum Edit...

OK Cancel Help

Şekil 5.23b: Sağ Duvarın penceresi

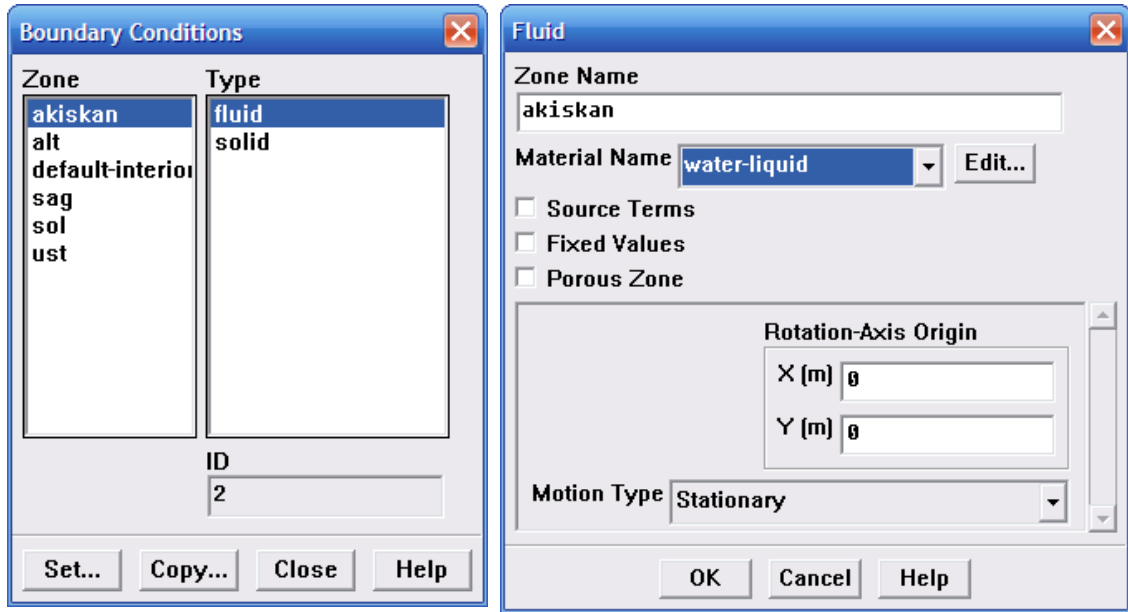
Şekil 5.23c ve Şekil 5.23d alt ve ust yüzey için

The screenshot shows the 'Wall' dialog box for the bottom wall. The 'Zone Name' is 'alt' and the 'Adjacent Cell Zone' is 'akiskan'. The 'Thermal' tab is selected. Under 'Thermal Conditions', 'Heat Flux' is selected. The 'Heat Flux (w/m2)' is set to 0 and the type is 'constant'. The 'Wall Thickness (m)' is set to 0. The 'Heat Generation Rate (w/m3)' is set to 0 and the type is 'constant'. The 'Material Name' is 'aluminum'.

Şekil 5.23c: Altı Duvarın penceresi

The screenshot shows the 'Wall' dialog box for the top wall. The 'Zone Name' is 'üst' and the 'Adjacent Cell Zone' is 'akiskan'. The 'Thermal' tab is selected. Under 'Thermal Conditions', 'Heat Flux' is selected. The 'Heat Flux (w/m2)' is set to 0 and the type is 'constant'. The 'Wall Thickness (m)' is set to 0. The 'Heat Generation Rate (w/m3)' is set to 0 and the type is 'constant'. The 'Material Name' is 'aluminum'.

Şekil 5.23d: Üst Duvarın penceresi



Şekil 5.24a: Sınır koşulları penceresi    Şekil 5.24b: Akışkanın penceresi

Şekil 5.24 akışkan belirlemek içindir. Akışkanın SU ile dolduğunu belirtmeliyiz.

**Define → Boundary Conditions → Akışkan (Fluid) → SET**

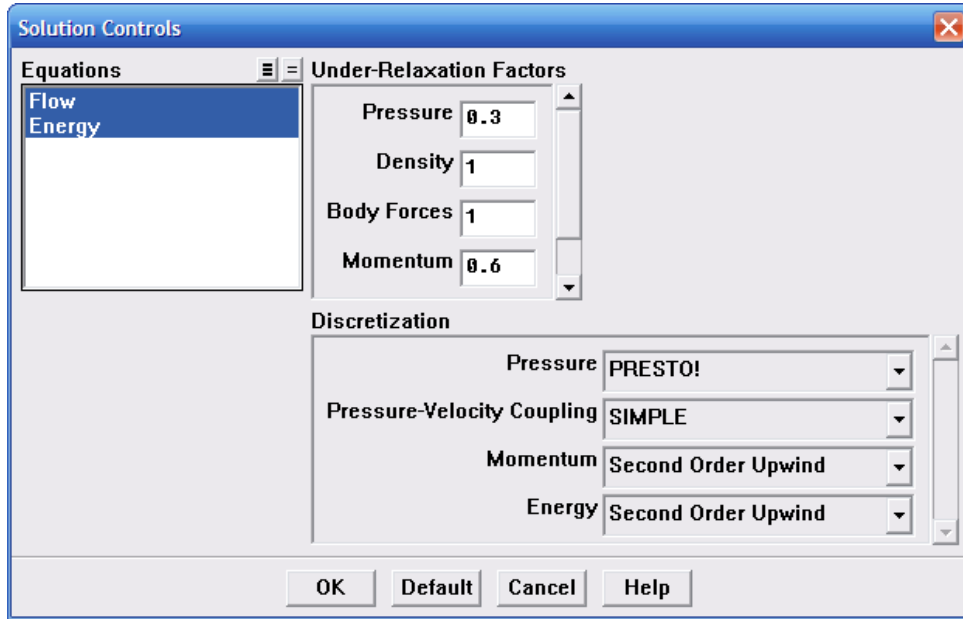
Şekil 5.24b pencereden **Material Names → Water-liquid** seçilir

### **Çözdürme Ayarları**

Bunun için Ana Menü'den

**Solve → Controls → Solution**

Şekil 5.25a'ya Girince **Solution Controls** penceresi açılır. **Pressure** ayarını **Presto!**, **Momentum** ve **Energy** ayarlarını da **Second Order Upwind** olarak alınır.

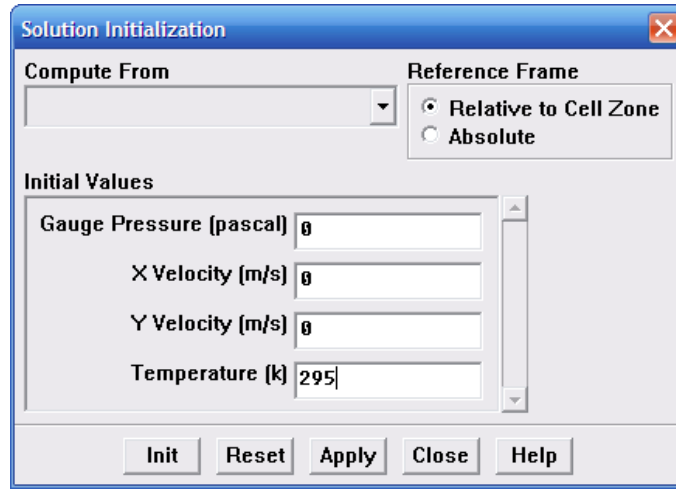


Şekil 5.25a: Çözüm kontrolü penceresi

Başlangıç değerleri atanmadan çözdürme işlemi yapılamaz.

**Solve → Initialize**

İlk kez çözüm yapılacaksa, bu menüyü kullanmak gerekir. Aksi takdirde çözüm yapılmaz. İlk kez çözümde ayarlar aşağıda verilen Solution initialization penceresindeki gibi olmalıdır.

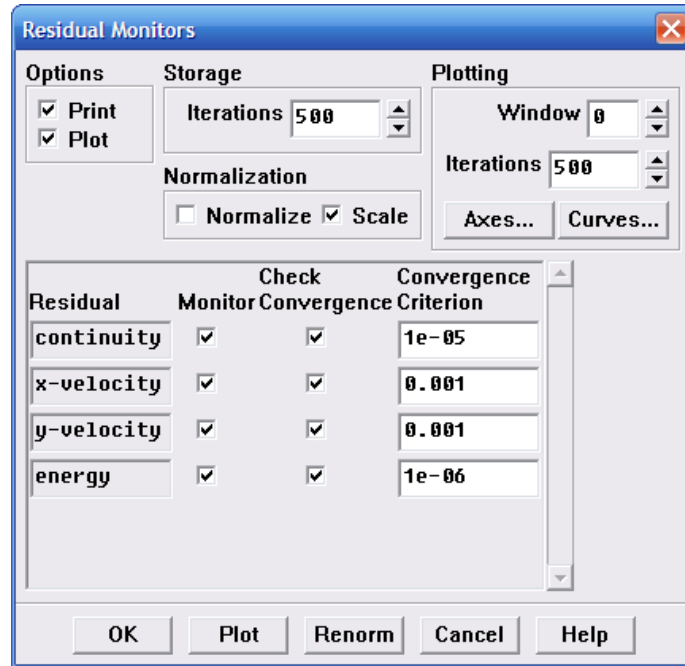


Şekil 5.25b: Çözüm Başlatma penceresi

Şekil 5.25b Yakınsama kriteriterleri ile yakınsama grafiğinin izlendiği monitor (izleme) panelinden ayarlanır.

**Solve → Monitors → Residuals**

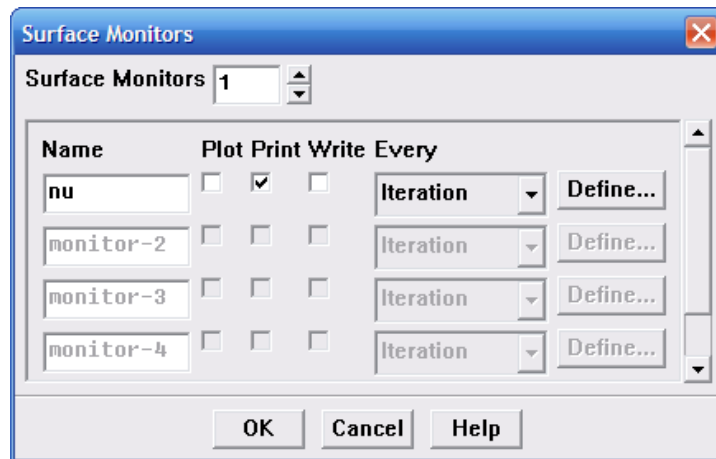
Bu panel ve girilmesi gereken değerler ile ayarların alt sınırları **Residual Monitors** Şekil 5.26'deki gibi olmalıdır.



Şekil 5.26: Artık ekran penceresi

### Solve → Monitors → Surface Monitors

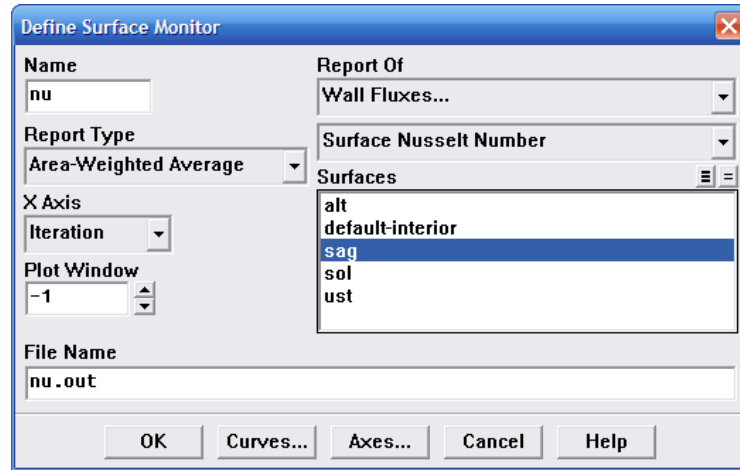
Aşağıdaki menü açılacaktır. (**Surface Monitors=1** yaptıktan sonra) pencereyi Şekil 5.27'deki gibi düzenlenerek Nusselt sayısı her iterasyonla takip edilir.



Şekil 5.27: Yüzey ekran penceresi



Daha sonra **Define** → **Surface Monitors** butonuna tıklayınca, açılan pencereyi Şekil 5.28'deki gibi düzenlendi.

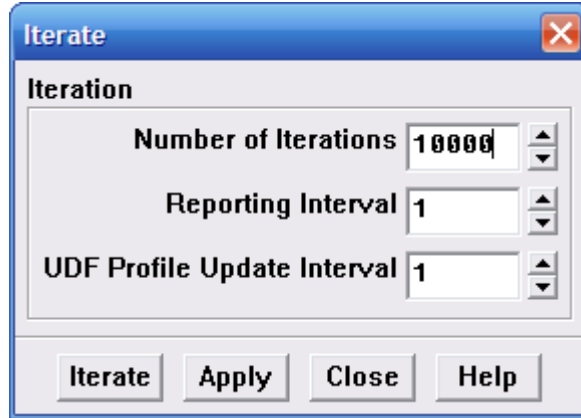


Şekil 5.28: Yüzey tanımlama penceresi

Çözümün yapılması,

### Solve → Iterate

komutu ile çözdürme işlemi yapılır. Bu esnada **STEADY** olarak problem çözümünde yandaki monitör penceresi açılır ve iterasyon sayısı ile yakınsama durumu aşağıda görülen grafikli şekilde görülür. Şekil 5.29'daki pencereden **Number of Iterations** (iterasyon sayısı) yüksek bir değer olarak seçilebilir. **Iterate** butonuna basınız.



Şekil 5.29: iterasyon penceresi

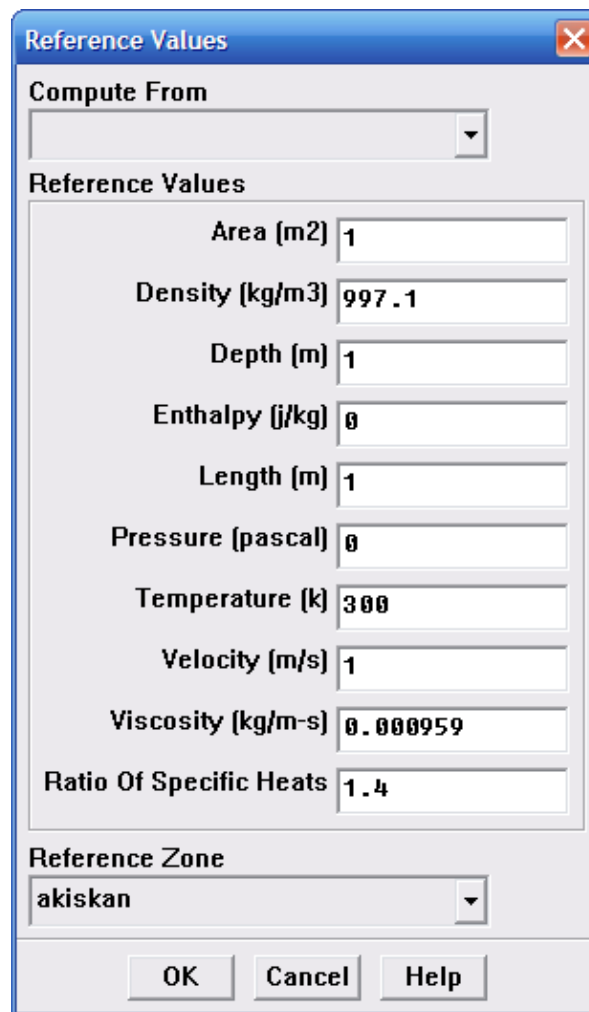
Çözüm yakınsadığında (STEADY için) FLUENT komut penceresinde şekilde yakınsadığını belirtir.

1756	3.0198e-03	3.2818e-05	1.0070e-04	3.3056e-09	1.0253e-04	1.6130e-04	6.0433e+01	2:00:27	9539
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	energy	k	epsilon	nu-soguk	time/iter	
1757	3.0330e-03	3.2808e-05	1.0063e-04	3.3020e-09	1.0252e-04	1.6127e-04	6.0422e+01	2:00:08	9538
1758	3.0138e-03	3.2793e-05	1.0056e-04	3.2995e-09	1.0250e-04	1.6125e-04	6.0412e+01	2:14:17	9537
1759	3.0271e-03	3.2783e-05	1.0049e-04	3.2965e-09	1.0249e-04	1.6122e-04	6.0402e+01	2:19:13	9536
1760	3.0271e-03	3.2771e-05	1.0041e-04	3.2933e-09	1.0247e-04	1.6120e-04	6.0391e+01	2:23:08	9535
1761	3.0058e-03	3.2754e-05	1.0034e-04	3.2909e-09	1.0246e-04	1.6117e-04	6.0381e+01	2:26:17	9534
1762	3.0183e-03	3.2744e-05	1.0027e-04	3.2878e-09	1.0244e-04	1.6114e-04	6.0371e+01	2:28:47	9533
1763	2.9945e-03	3.2727e-05	1.0020e-04	3.2855e-09	1.0243e-04	1.6112e-04	6.0360e+01	2:30:47	9532

Şekil 5.2: Yakınsama Penceresi

### Report → Reference Values

Şekil 5.30'daki gibi menüsünden yeşil zemin ile belirginleştirilmiş kısımlar, akışkanın yoğunluğu **Density**, **Temperature**, **Viscosity** değerlerinin doğru olup olmadığını kontrol edilir.



The image shows a software dialog box titled "Reference Values". It contains a "Compute From" dropdown menu, a "Reference Values" section with ten input fields, a "Reference Zone" dropdown menu, and three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Parameter	Value
Area (m <sup>2</sup> )	1
Density (kg/m <sup>3</sup> )	997.1
Depth (m)	1
Enthalpy (J/kg)	0
Length (m)	1
Pressure (pascal)	0
Temperature (K)	300
Velocity (m/s)	1
Viscosity (kg/m-s)	0.000959
Ratio Of Specific Heats	1.4

Şekil 5.30: Referans Değer penceresi

## BÖLÜM 6

### 6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

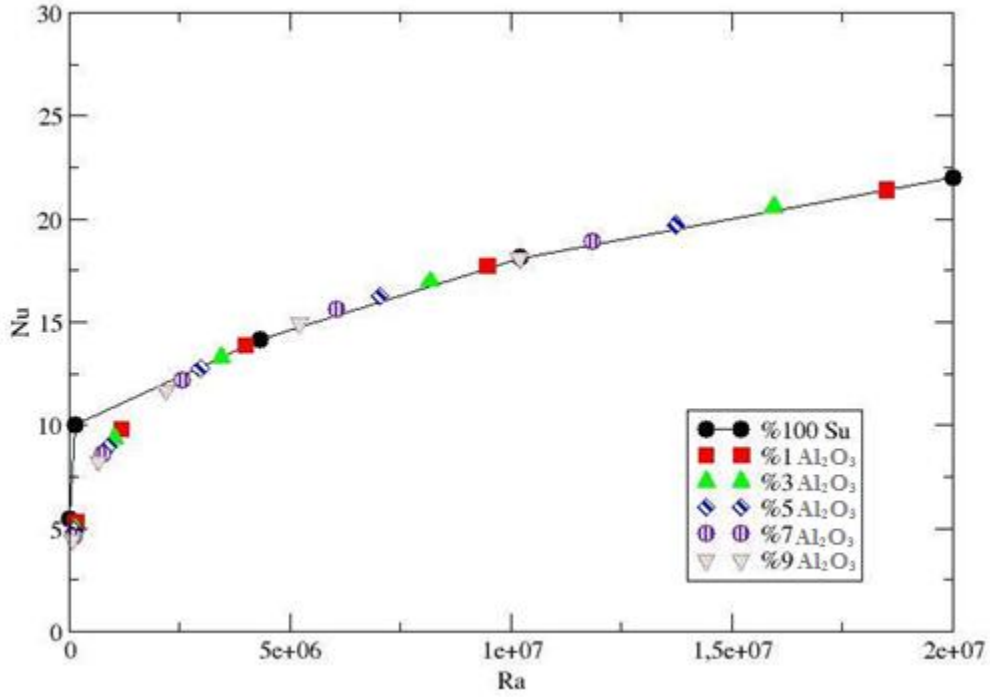
Bu çalışmada sabit duvar sıcaklığındaki bir dik dörtgenel kutu içerisinde laminar koşullarda farklı konsantrasyon oranlarındaki nano partiküller içeren nano akışkanın ısı transferi artırılması üzerindeki etkileri incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla akışkan içinde farklı konsantrasyon olarak karıştırıldığı oranlarındaki nano partiküllerin akışkan içinde homojen olarak dağıldığı kabul edilerek, ısı transferinin incelenmesi sabit duvar sıcaklığında sayısal çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ele alınan sayısal şartlar parameter değerlerine göre Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Property	Water	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	SiO <sub>2</sub>
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	997,1	765	4250	6500	2200
$c_p$ (J/kg.K)	4179	3970	686,2	535,6	703
$k$ (W/m.K)	0,613	25	8,9538	20	1,2
$\beta$ (K <sup>-1</sup> )	$23 \times 10^{-5}$	$8,5 \times 10^{-6}$	$9 \times 10^{-6}$	$5,1 \times 10^{-5}$	

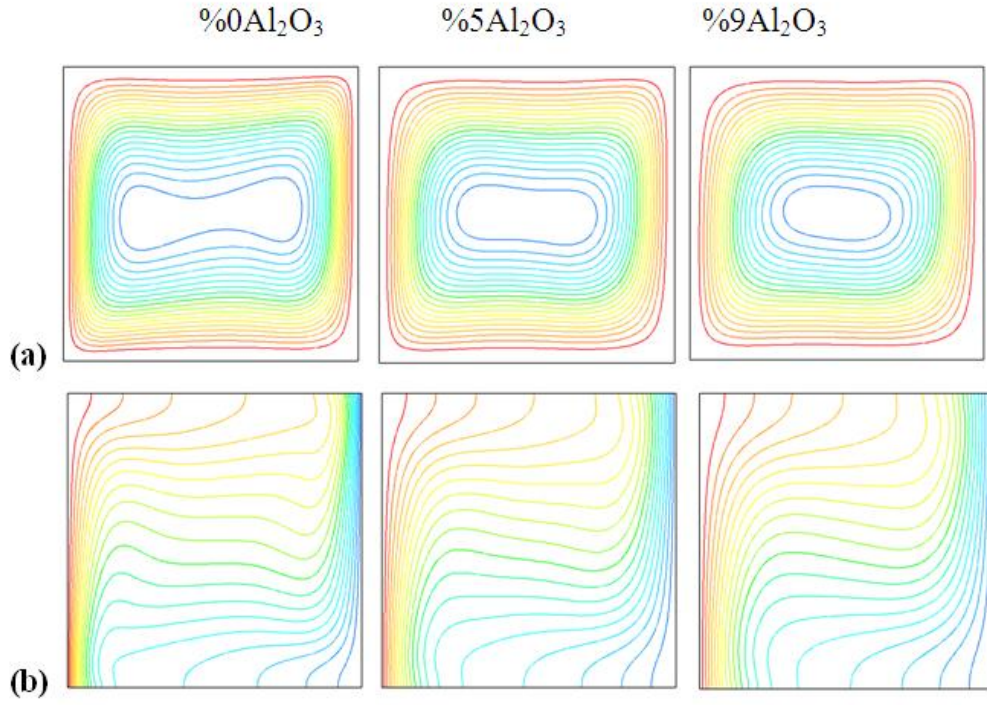
Çizelge 6.1 Nano-particle malzemeler ve termofiziksel özellikler.

Nanofluid termofiziksel özellikleri %1, %3, %5, %7 ve %9 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve CuO hacimsel oranda ( $\phi$ ) ile için hesaplanarak nano akışkan termofiziksel özellikleri hesaplanmıştır.

$Al_2O_3$ -Su içeren nanosıvı çeşitli partiküller için Rayleigh sayısı ile Nusselt sayısının değişimi Şekil 6.1’da verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere  $Ra=4 \times 10^6$ ’dan düşük Rayleigh sayıları için Nusselt sayısı saf su’yun Nusselt sayısından düşük gerçekleşmektedir. Bunun anlamı da ısı geçişinde bir kazanç görülmemektedir.  $Al_2O_3$ -hacimsel oranı arttıkça Nusselt sayısında bir artış gözlenirse de bu artış çok büyük değerlere ulaşmaktadır.

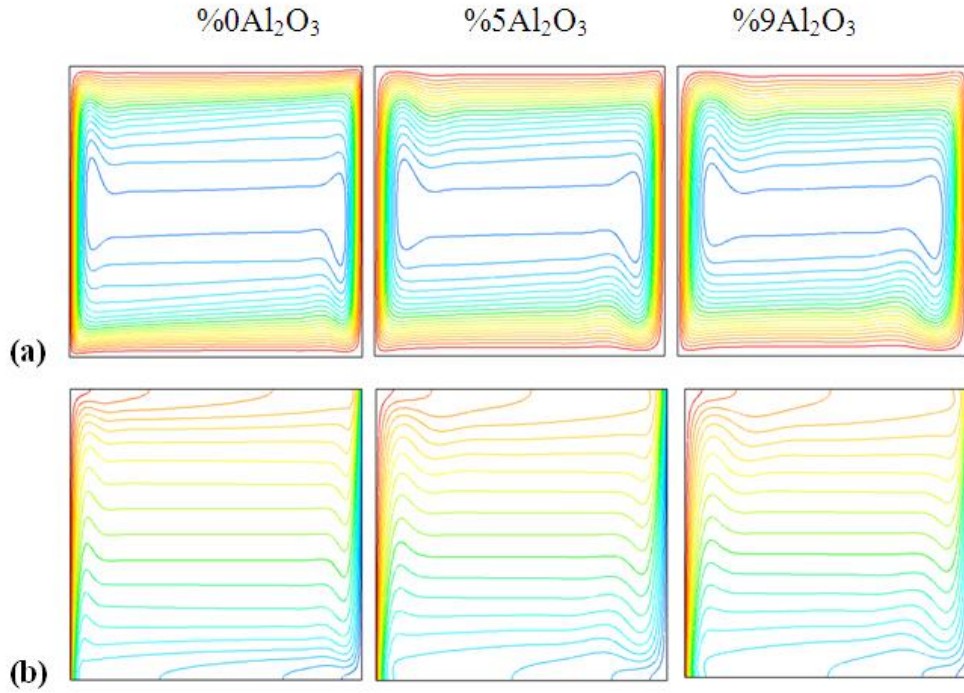


Şekil 6.1:  $Al_2O_3$ -Su içeren nanosıvı partiküller için Rayleigh ile Nusselt sayılarının değişimi.



Şekil 6.2: 3cmx3cm Kutuda %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile nanoakışkanın (a) akım çizgileri ve (b) eş sıcaklık eğrilerindeki değişim.

%0, %5, %9 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Su içeren nanosıvıların akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 6.2'de verilmiştir. %0 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Su içeriği (saf su) ile akışın merkezde yatay-8 gibi olduğu, akışın saat yönünde gerçekleştiği görülmektedir. Nanopartikül oranı %5 ve %9 değerlerine arttıkça akışkan sirkülasyonunun oval şekle büründüğü gözlenmektedir. Soldaki sıcak duvarda ısıl sınır tabaka aşağıdan yukarıya doğru, sağ soğuk duvarda da yukarıdan aşağıya doğru gelişmektedir. Bu esnada, izotermlerde gözle görülebilen çok az bir değişim meydana gelmektedir. Bu nedenle ki Nusselt sayısında çok büyük bir artış sağlanmamıştır.

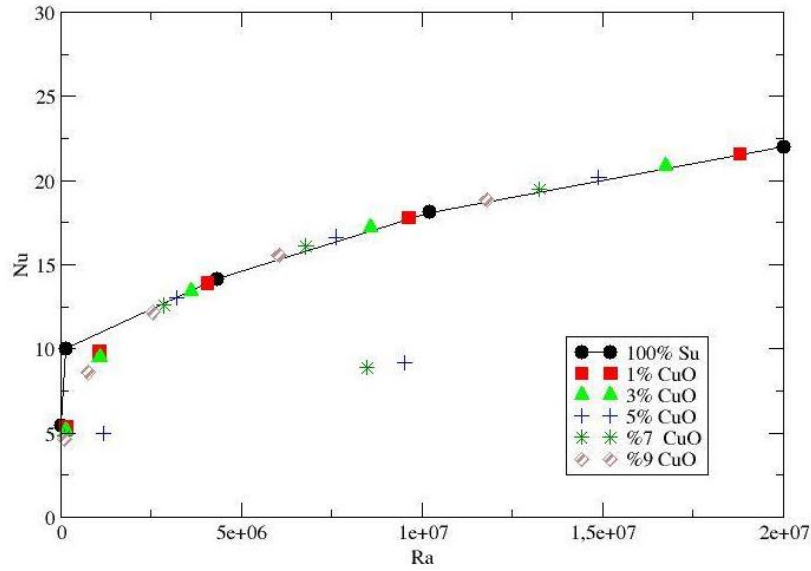


Şekil 6.3: 5cmx5cm Kutuda  $\%Al_2O_3$  içeriği ile nanoakışkanın (a) akım çizgileri ve (b) eş sıcaklık eğrilerindeki değişim

$\%0$ ,  $\%5$ ,  $\%9$   $Al_2O_3$ -Su içeren nanosıvıların akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil **6.3'de** verilmiştir. Kutu (oyuk) ebadı değiştiğinden Rayleigh sayısının değiştiği, diğer bir değişle Ra sayısının arttığı anlamına gelmektedir. Aynı şekilde,  $\%0$   $Al_2O_3$ -Su içeriği (saf su) ile akışın merkezde dikdörtgen-şekle yaklaştığı, akışın yine saat yönünde gerçekleştiği görülmektedir. Nanopartikül oranı  $\%5$  ve  $\%9$  değerlerine arttıkça hız ve sıcaklık profillerinde büyük bir farklılık gözlenmemektedir. Ancak sol ve sağ duvarlarda oluşan ısıl sınır tabaka kalınlığının daha da incelmesi ve bütün yüzeyi kapsadığı görülmektedir. Bu durum, Rayleigh sayısının artışına bağlıdır. Bu nedenle Nusselt sayısında bir artış sağlanmaktadır.

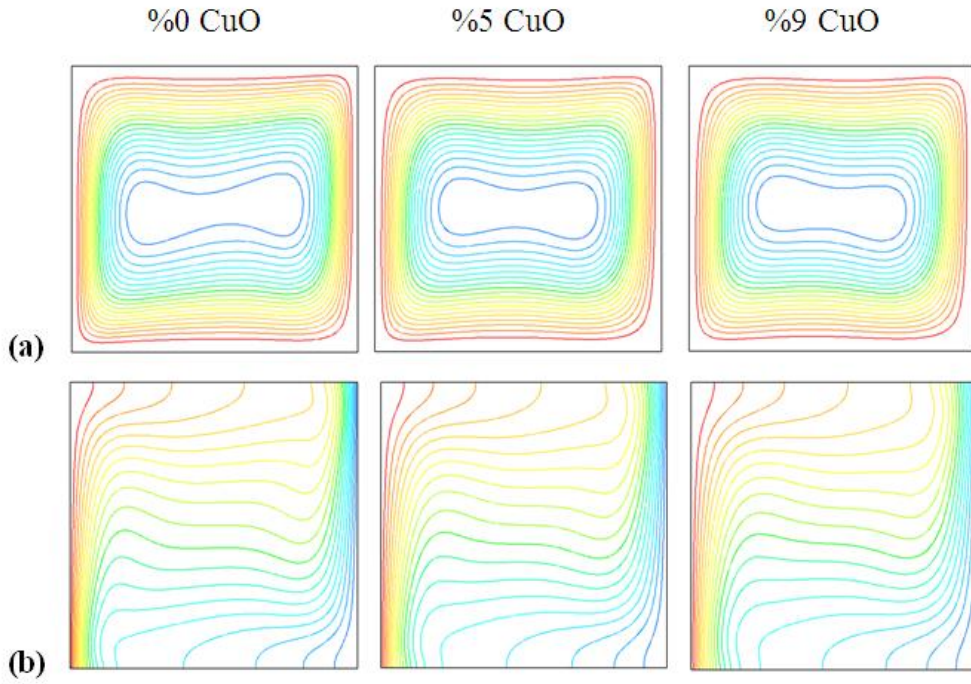
CuO-Su içeren nanosıvı çeşitli partiküller için Rayleigh sayısı ile Nusselt sayısının değişimi Şekil 6.1’da verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere  $Ra=4 \times 10^6$ ’dan düşük Rayleigh sayıları için Nusselt sayısı saf su’nun Nusselt sayısından düşük gerçekleşmektedir. Bunun anlamı da ısı geçişinde bir kazanç görülmemektedir. CuO -hacimsel oranı arttıkça Nusselt sayısında bir artış gözlenirse de bu artış çok büyük değerlere ulaşmaktadır.

CuO-Su içeren nanosıvı çeşitli partiküller için Rayleigh sayısı ile Nusselt sayısının değişimi.



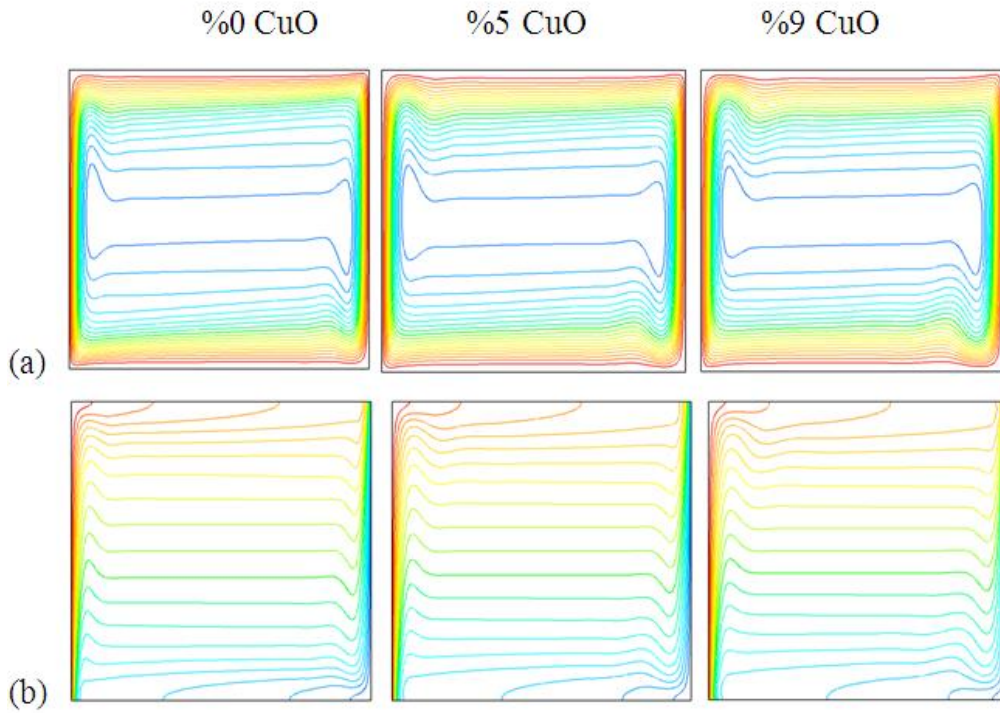
Şekil 6.4: CuO-Su içeren nanosıvı partiküller için Rayleigh ile Nusselt sayılarının değişimi.





Şekil 6.5: 3cmx3cm Kutuda CuO içeriği ile nanoakışkanın (a) akım çizgileri ve (b) eş sıcaklık eğrilerindeki değişim

%0, %5, %9 CuO-Su içeren nanosıvıların akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 6.5'de verilmiştir. %0 CuO-Su içeriği (saf su) ile akışın merkezde yatay-8 gibi olduğu, akışın saat yönünde gerçekleştiği görülmektedir. Nanopartikül oranı %5 ve %9 değerlerine arttıkça akışkan sirkülasyonunun oval şekle büründüğü gözlenmektedir. Soldaki sıcak duvarda ısıl sınır tabaka aşağıdan yukarıya doğru, sağ soğuk duvarda da yukarıdan aşağıya doğru gelişmektedir. Bu esnada, izotermlerde gözle görülebilen çok az bir değişim meydana gelmektedir. Bu nedenledir ki Nusselt sayısında çok büyük bir artış sağlanmamıştır.

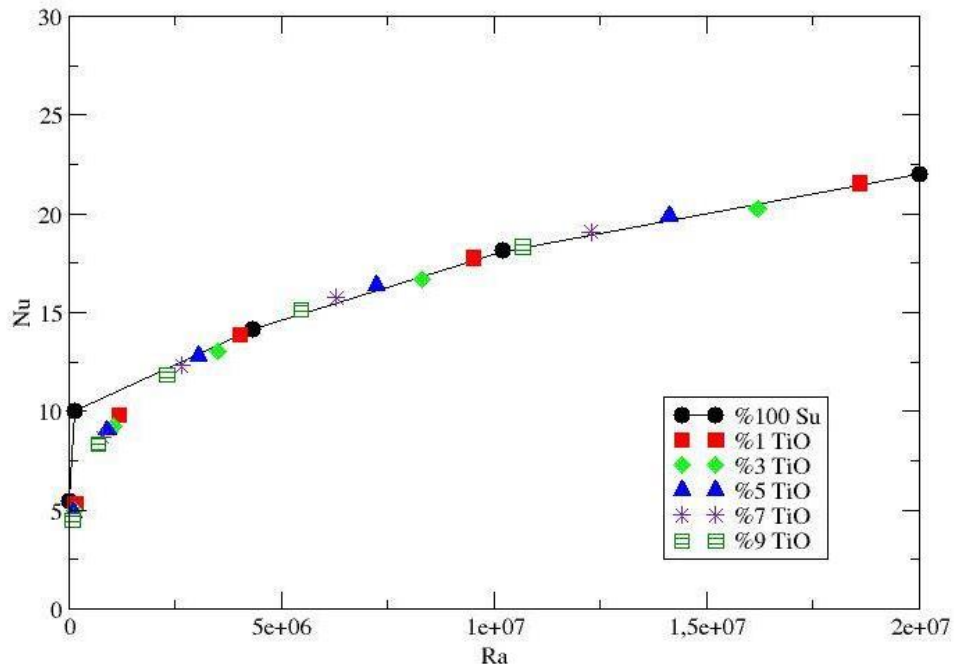


Şekil 6.6: 5cmx5cm Kutuda CuO içeriği ile nanoakışkanın (a) akım çizgileri ve (b) eş sıcaklık eğrilerindeki değişim

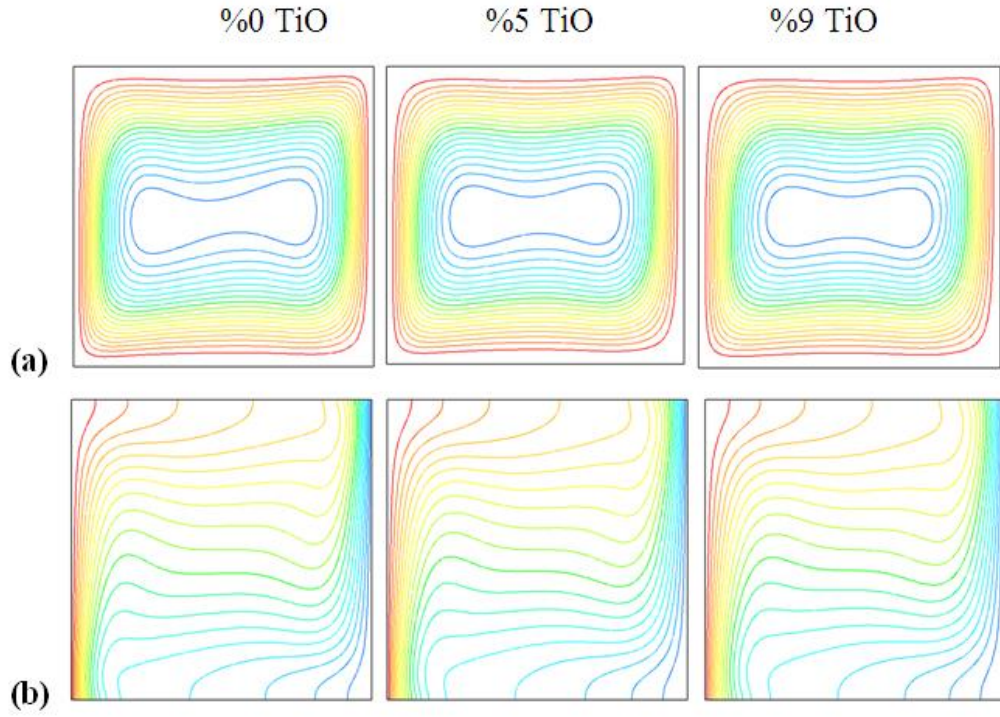
%0, %5, %9 CuO-Su içeren nanosıvıların akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 6.6'de verilmiştir. Kutu (oyuk) ebadı değiştiğinden Rayleigh sayısının değiştiği, diğer bir değişle Ra sayısının arttığı anlamına gelmektedir. Aynı şekilde, %0 CuO-Su içeriği (saf su) ile akışın merkezde dikdörtgen-şekle yaklaştığı, akışın yine saat yönünde gerçekleştiği görülmektedir. Nanopartikül oranı %5 ve %9 değerlerine arttıkça hız ve sıcaklık profillerinde büyük bir farklılık gözlenmemektedir. Ancak sol ve sağ duvarlarda oluşan ısıl sınır tabaka kalınlığının daha da incelmesi ve bütün yüzeyi kapsadığı görülmektedir. Bu durum, Rayleigh sayısının artışına bağlıdır. Bu nedenle Nusselt sayısında bir artış sağlanmaktadır.

TiO-Su içeren nanosıvı çeşitli partiküller için Rayleigh sayısı ile Nusselt sayısının değişimi Şekil 6.1’da verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere  $Ra=4 \times 10^6$ ’dan düşük Rayleigh sayıları için Nusselt sayısı saf su’yun Nusselt sayısından düşük gerçekleşmektedir. Bunun anlamı da ısı geçişinde bir kazanç görülmemektedir. TiO-hacimsel oranı arttıkça Nusselt sayısında bir artış gözlenebilir de bu artış çok büyük değerlere ulaşmaktadır.

TiO-Su içeren nanosıvı çeşitli partiküller için Rayleigh sayısı ile Nusselt sayısının değişimi.

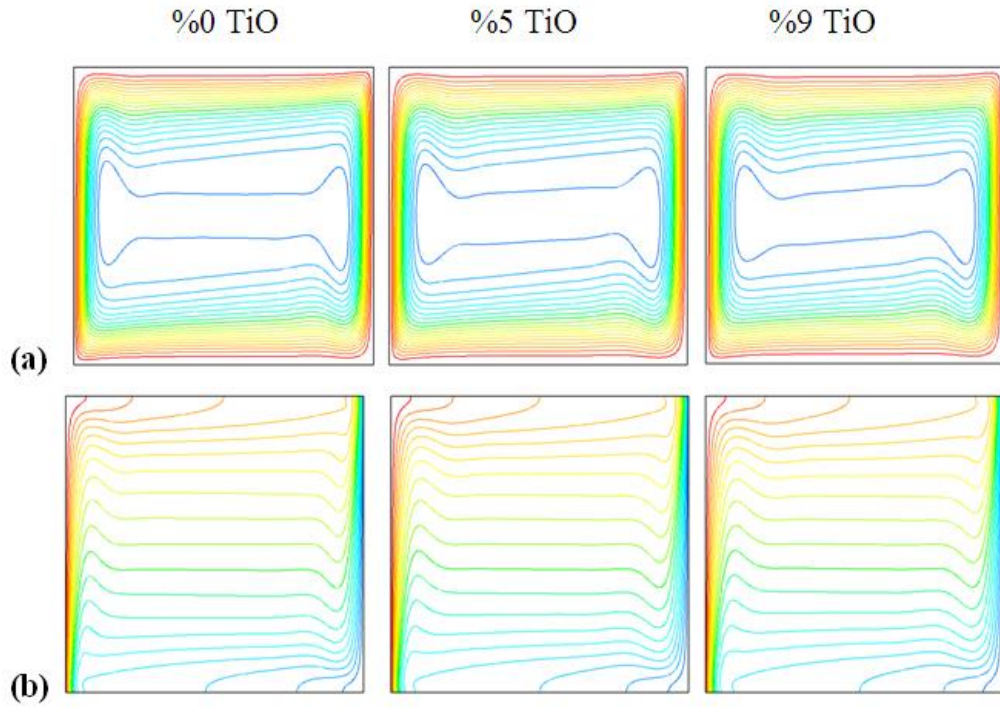


Şekil 6.7: TiO-Su içeren nanosıvı partiküller için Rayleigh ile Nusselt sayılarının değişimi.



Şekil 6.8: 3cmx3cm Kutuda TiO içeriği ile nanoakışkanın (a) akım çizgileri ve (b) eş sıcaklık eğrilerindeki değişim

%0, %5, %9 TiO-Su içeren nanosıvıların akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 6.8'de verilmiştir. %0 TiO-Su içeriği (saf su) ile akışın merkezde yatay-8 gibi olduğu, akışın saat yönünde gerçekleştiği görülmektedir. Nanopartikül oranı %5 ve %9 değerlerine arttıkça akışkan sirkülasyonunun oval şekle büründüğü gözlenmektedir. Soldaki sıcak duvarda ısıl sınır tabaka aşağıdan yukarıya doğru, sağ soğuk duvarda da yukarıdan aşağıya doğru gelişmektedir. Bu esnada, izotermlerde gözle görülebilen çok az bir değişim meydana gelmektedir. Bu nedenle ki Nusselt sayısında çok büyük bir artış sağlanmamıştır.



Şekil 6.9: 5cmx5cm Kutuda TiO içeriği ile nanoakışkanın (a) akım çizgileri ve (b) eş sıcaklık eğrilerindeki değişim

%0, %5, %9 TiO-Su içeren nanosıvıların akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 6.9'de verilmiştir. Kutu (oyuk) ebadı değiştiğinden Rayleigh sayısının değiştiği, diğer bir değişle Ra sayısının arttığı anlamına gelmektedir. Aynı şekilde, %0 TiO-Su içeriği (saf su) ile akışın merkezde dikdörtgen-şekle yaklaştığı, akışın yine saat yönünde gerçekleştiği görülmektedir. Nanopartikül oranı %5 ve %9 değerlerine arttıkça hız ve sıcaklık profillerinde büyük bir farklılık gözlenmemektedir. Ancak sol ve sağ duvarlarda oluşan ısı sınır tabaka kalınlığının daha da incelmesi ve bütün yüzeyi kapsadığı görülmektedir. Bu durum, Rayleigh sayısının artışına bağlıdır. Bu nedenle Nusselt sayısında bir artış sağlanmaktadır.

## BÖLÜM 7

### 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada nanosıvılar dolu dikdörtgensel kapalı kutularda doğal taşınım ile ısı geçişi incelenmiştir. Hacimsel oran olarak %1, %3, %5, %7 ve %9  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $CuO$  nano partiküllerden oluşan nano akışkanlar ısı transferinde, nano parçacıkların bulunmadığı duruma (saf su) göre ısı transferinde belirgin oranda yüksek ısı aktarımı ile sonuçlanmadığını göstermektedir. Ayrıca ısı transferindeki artışın akışkan içerisindeki nano partiküllerin hacimsel oranlarındaki artışla paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abu-Nada, E., Rayleigh-Benard convection in nanofluids: Effect of temperature dependent properties, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1720-1730, 2011.
- Anilkumar, S.H. and Kuzhiveli B.T., Numerical Study of Natural Convective Heat Transfer in a Two-dimensional Cavity With Centrally Located Partition Utilizing Nanofluids , *Transactions of the ASME*, Vol. 1 / 031004-1-7
- Brinkman H.C., and solutions, The viscosity of concentrated suspensions, *Journal Chem. Phys*, 20 (1952) 571–581.
- Bhowmik H., Tou K.W, Experimental study of transient natural convection heat transfer from simulated electronic chips , *Experimental Thermal and Fluid Science*, 29 (2005) 485–492.
- Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A., Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *ASME J. Heat Transfer* 121, 280–289,
- Choi, S.U.S. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *Develop. Appl. Non Newtonian Flows*, 99–106, 1995.
- Chon,C. H., Kihm, K. D., Lee, S. P., Choi, S.U. S., “Empirical Correlation Finding the role of Temperature and Particle Size for Nanofluid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Thermal Conductivity Enhancement”, *Applied Physics Letters*, 87: 153-167 (2005).
- Das, S.K., Putra, N. Thiesen, P. Roetzel, W., Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *ASME J. Heat Transfer* 125, 567–574, 2003.
- Eastman, J.A. Choi, S.U.S., Yu, W., Thompson, L.J., Anomalously increased effective thermal conductivity of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Appl. Phys. Lett.* 78, 718–720, 2001.



- Garg, J., Poudel, B., Chiesa, M. et. Al, "Enhanced Thermal Conductivity and Viscosity of Copper Nanoparticles in Ethylene Glycol Nanofluid", *Journal of Applied Physics*, 103: 074-101 (2008).
- Gonçalves J. S., Santos V., Leal S. H, Santos L. S. Junior<sup>1</sup>, M. R. M. C. Santos<sup>1</sup>, Longo E. and J. M. E. Matos, Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO<sub>2</sub> nanoparticles, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro Brazil (2009).
- Guét, J., Reggio, M., Vasseur, P., Natural convection of nanofluids in a square enclosure with a protruding heater, *Advances in Mechanical Engineering*, 2012, 1-11, 2011.
- Hamilton, R.L. and Crosser, O.K., Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems, *I & EC Fundamentals*, 1, 182–191, 1962.
- Ho C.J., Chen M.W., Li, Z.W. Numerical simulation of natural convection of nanofluid in a square enclosure: Effects due to uncertainties of viscosity and thermal conductivity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51 (2008) 4506–4516.
- Hwang, K. S., Lee, J.H. and Jang, S.P., Buoyancy-driven Heat Transfer of Water-based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids in a Rectangular Cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 4003–4010, 2007.
- Jang, S. P., Choi, S. U. S., "Effects of Various Parameters on Nanofluid Thermal Conductivity", *Journal of Heat Transfer*, 129: 617-623 (2007).
- Jinlin Long, Jingguo Dong, Xuxu Wang, Zhengxin Ding, Zizhong Zhang, Ling Wu, Zhaohui Li, Xianzhi Fu, Photochemical synthesis of submicron and nano-scale Cu<sub>2</sub>O particles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 333 (2009) 791–799.
- Junwu Zhu, Yanping Wang, Xin Wang, Xujie Yang, Lude Lu, A convenient method for preparing shape-controlled nanocrystalline Cu<sub>2</sub>O in a polyol or water/polyol system, *Powder Technology*, 181 (2008) 249–254.



- Karthikeyan, N. R., Philip, J., Raj, B., “Effect of Clustering on the Thermal Conductivity of Nanofluids.”, *Materials Chemistry and Physics.*, 109: 50-55 (2008).
- Keblinski, P., Eastman, J. A., Cahill, D. G., “Nanofluids for Thermal Transport”, *Materials Today*, June: 36-44 (2005).
- Keblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S. and Eastman, J.A., Mechanisms of Heat Flow in Suspensions of Nano-sized Particles (nanofluids), *Int. J. Heat Mass Transfer*, 45, 855–863, 2002.
- Khanafer, K., Vafai K. and Lightstone, M., Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46, 3639–3653, 2003.
- Kim J., Kang Y.T. and Choi C.K. Analysis of Convective Instability and Heat Transfer Characteristics of Nanofluids, *Phys Fluids* 16 (2004), pp. 2395-2401.
- Mansour, R. B., Galanis, N., Nguyen, C.T., “Effect of Uncertainties in Physical Properties on Forced Convection Heat Transfer with Nanofluids”, *Applied Thermal Engineering*, 27: 240-249 (2007).
- Maxwell-Garnett, J.C., Colours in Metal Glasses and in Metallic Films, *Philos. Trans. Roy. Soc. A* 203, 385–420, 1904.
- Maxwell, J. C., “A Treatise on Electricity and Magnetism, third ed.”, Oxford University Press, London, (1892).
- Moftafa, M., Numerical Simulation of free convection of nanofluid in a square cavity with an inside heater, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 2161-2175, 2011.
- Murshed S.M.S., Leong K.C., C. Yang, Determination of the effective thermal diffusivity of nanofluids by the double hot-wires technique, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39 (2006) 5316–5322.

- Ogut E. B., Natural convection of water-based nanofluids in an inclined enclosure with a heat source, *International Journal of Thermal Sciences*, 48, 2063-2073, 2009.
- Pak, B. C., Cho, Y.I., "Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles", *Experimental Heat Transfer*, 11(2): 151-170 (1998).
- Prakash, M., Giannelis, E.P., "Mechanism of Heat Transport in Nanofluids", *Journal of Computer-Aided Material Design*, 14: 109-117 (2007).
- Prasher, R., Bhattacharya, P., Phelan, P.E., "Brownian-Motion-Based Convective-Conductive Model or the Effective Thermal Conductivity of Nanofluids", *Journal of Heat Transfer*, 128: 588-595 (2006).
- Putra N., Roetzel W. and Das S.K, Natural Convection of Nano-fluids, *Heat Mass Transfer* 39 (2003), pp. 775-784.
- Rashmi, W., Ismail, A.F., Khalid M., Faridah, Y., CFD studies on natural convection heat transfer of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluids, *Heat and Mass Transfer*, 47, 1301-1310, 2011.
- Ren, Y., Xie, H., Cai, A., "Effective Thermal Conductivity of Nanofluids Containing Spherical Nanoparticles", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38: 3958-3961 (2005).
- Santra A.K., Swarnendu S., Niladri C., Study of heat transfer due to laminar flow of copper-water nanofluid through two isothermally heated parallel plates, *International Journal of Thermal Sciences*, 48 (2009) 391-400.
- Tso C.P., Tou K.W and Bhowmik H, 2004. Experimental and numerical thermal transient behavior of chips in a liquid channel during loss of pumping power. *Journal of Electronic Packaging*, 126 (2004) 546-554.

- Wang, X., Xu, X., Choi, S. U. S., “Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture”, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13(4): 474-480 (1999).
- Wen D. and Ding Y. Experimental Investigation Into Convective Heat Transfer of Nanofluids at the Entrance Region Under Laminar Flow Conditions, *Int J Heat Mass Transfer* 47 (2004), pp. 5181-5188
- Weerapun Duangthongsuk, Somchai Wongwises, Effect of thermophysical properties models on the predicting of the convective heat transfer coefficient for low concentration nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35 (2008) 1320–1326.
- Xiaohao Wei, Haitao Zhu, Tiantian Kong, Liqiu Wang, Synthesis and thermal conductivity of Cu<sub>2</sub>O nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Printing 2009.
- Xuan Y. and Li Q. Heat Transfer Enhancement of Nanofluids, *Int J Heat Fluid Flow* 21 (2000), pp. 58-64.
- Xuan Y., Roetzel W., Conceptions for heat transfer correlation of nanofluid, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43 (2000) 3701–3707.
- Yu, C. J., Richter, A. G., Datta, A., Durbin, M. K., Dutta, P., “Observation of Molecular Layering in Thin Liquid Films Using X-Ray Reflectivity”, *Physical Review Letters*, 82: 2326-2329 (1999).
- Yu, W., France, D. M., Routbort, J. L., Choi, S. U. S., “Review and Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements”, *Heat Transfer Engineering*, 29(5): 432-460 (2008).
- Zhou, S. Q., Rui, N., “Measurement of the Specific Heat Capacity of Waterbased Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluid”, *Applied Physics Letters*, 92: 093-123 (2008).

**Ek 1: Deneyin Sonuçları (NUSSELT NUMARALARI)**

Çizelge E.1: 1cm×1cm kutu için (Nu = 5,4553)

Hacimsel oran	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO
0			
0,01	5,335	5,343	5,360
0,03	5,010	5,010	5,173
0,05	4,876	4,915	4,994
0,07	4,659	4,710	4,818
0,09	4,451	4,513	4,648

Çizelge E.2: 2cm×2cm kutu için (Nu = 10,009)

Hacimsel oran	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO
0			
0,01	9,798	9,812	9,845
0,03	9,388	9,229	9,514
0,05	8,995	9,061	9,198
0,07	8,615	8,703	8,891
0,09	8,250	8,358	8,594

Çizelge E.3: 3cm×3cm kutu için (Nu = 14,157)

Hacimsel oran	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO
0			
0,01	13,859	13,879	13,920
0,03	13,284	13,060	13,460
0,05	12,733	12,825	13,017
0,07	12,202	12,324	12,586
0,09	11,693	11,841	12,169

Çizelge E.4. 4cm×4cm kutu için (Nu = 18,112)

Hacimsel oran	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO
0			
0,01	17,729	17,755	17,807
0,03	16,988	16,700	17,213
0,05	16,280	16,398	16,643
0,07	15,599	15,755	16,089
0,09	14,948	15,136	15,555

Çizelge E.5 5cm×5cm kutu için (Nu = 21.973)

Hacimsel oran	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO
0			
0,01	21,409	21,534	21,598
0,03	20,594	20,240	20,869
0,05	19,726	19,869	20,169
0,07	18,893	19,082	19,490
0,09	18,099	18,327	18,837

## Ek 2: RAYLEIGH NUMARALARI

Çizelge E.6: 1cm×1cm kutu için ( $Ra=1.59\times 10^5$ )

Hacimsel oran	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO
0			
0,01	$1,480 \times 10^5$	$1,488 \times 10^5$	$1,504 \times 10^5$
0,03	$1,275 \times 10^5$	$1,296 \times 10^5$	$1,338 \times 10^5$
0,05	$1,099 \times 10^5$	$1,129 \times 10^5$	$1,191 \times 10^5$
0,07	$9,467 \times 10^4$	$9,826 \times 10^4$	$1,060 \times 10^5$
0,09	$8,150 \times 10^4$	$8,547 \times 10^4$	$9,432 \times 10^4$

Çizelge E.7: 2cm×2cm kutu için ( $Ra=1.27\times 10^6$ )

Hacimsel oran	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO
0			
0,01	$1,184 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,203 \times 10^6$
0,03	$1,020 \times 10^6$	$1,037 \times 10^6$	$1,071 \times 10^6$
0,05	$8,792 \times 10^5$	$9,031 \times 10^5$	$9,528 \times 10^5$
0,07	$7,573 \times 10^5$	$7,861 \times 10^5$	$8,480 \times 10^5$
0,09	$6,520 \times 10^5$	$6,838 \times 10^5$	$7,546 \times 10^5$

Çizelge E.8: 3cm×3cm kutu için ( $Ra=4.31\times 10^6$ )

Hacimsel oran	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$CuO$
0			
0,01	$3,996\times 10^6$	$4,018\times 10^6$	$4,061\times 10^6$
0,03	$3,444\times 10^6$	$3,500\times 10^6$	$3,613\times 10^6$
0,05	$2,967\times 10^6$	$3,048\times 10^6$	$3,216\times 10^6$
0,07	$2,556\times 10^6$	$2,653\times 10^6$	$2,862\times 10^6$
0,09	$2,201\times 10^6$	$2,308\times 10^6$	$2,547\times 10^6$

Çizelge E.9: 4cm×4cm kutu için ( $Ra=1.02\times 10^7$ )

Hacimsel oran	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$CuO$
0			
0,01	$9,473\times 10^6$	$9,525\times 10^6$	$9,625\times 10^6$
0,03	$8,163\times 10^6$	$8,296\times 10^6$	$8,564\times 10^6$
0,05	$7,034\times 10^6$	$7,225\times 10^6$	$7,622\times 10^6$
0,07	$6,059\times 10^6$	$6,289\times 10^6$	$6,784\times 10^6$
0,09	$5,216\times 10^6$	$5,470\times 10^6$	$6,036\times 10^6$

Çizelge E.10: 5cm×5cm kutu için ( $Ra=2.0\times 10^7$ )

Hacimsel oran	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$CuO$
0			
0,01	$1,850\times 10^7$	$1,860\times 10^7$	$1,880\times 10^7$
0,03	$1,594\times 10^7$	$1,620\times 10^7$	$1,673\times 10^7$
0,05	$1,374\times 10^7$	$1,411\times 10^7$	$1,489\times 10^7$
0,07	$1,183\times 10^7$	$1,228\times 10^7$	$1,325\times 10^7$
0,09	$1,019\times 10^7$	$1,068\times 10^7$	$1,179\times 10^7$

Çizelge E1 – E.10 Nusselt Ve Rayleigh Numaraları hacim fraksiyonu ile değişimini