

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**NANOAKIŞKANLARDA DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet DİRLİK

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ARALIK 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**NANOAKIŞKANLARDA DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmet DİRLİK
(301151001)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz BAYTAŞ

ARALIK 2018

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301151001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet DİRLİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “NANOAKIŞKANLARDA DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Filiz BAYTAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nilgün YAVUZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Kasım 2018**
Savunma Tarihi : **13 Aralık 2018**

Her konuda bana destek olan aileme ve arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen, değerli vaktini ayıran saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Filiz BAYTAŞ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Beni çalışmalarımnda cesaretlendiren, motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan ve tecrübelerini benimle paylaşarak doğru kararlar almamda etkin rol oynayan, her konudaki sabır ve anlayışlarından, hiçbir zaman esirgemedikleri maddi manevi desteklerinden dolayı aileme saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2018

Ahmet Dirlik
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Hipotez	5
2. NANOAKIŞKANLAR VE NANOPARÇACIKLAR	7
2.1 Nanoakışkanlar.....	7
2.1.1 Nanoakışkanların üretim yöntemleri.....	9
2.1.1.1 İki adım yöntemi	10
2.1.1.2 Tek adım yöntemi	10
2.2 Nanoparçacıklar	11
2.2.1 Nanoparçacık üretim yöntemleri.....	12
2.2.1.1 Yukarıdan aşağıya yöntemi.....	12
2.2.1.2 Aşağıdan yukarıya yöntemi.....	13
2.3 Nanoakışkanların Kullanım Alanları	13
3. NANOAKIŞKANLARDA ISI TRANSFERİ.....	15
3.1 Nanoakışkanların Isı Transfer Mekanizması.....	15
3.2 Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	17
3.2.1 Isıl iletkenlik	18
3.2.1.1 Parçacık boyutunun ve arayüzün ısı iletim üzerindeki etkisi.....	19
3.2.1.2 pH değerinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisi	21
3.2.1.3 Nanoparçacık yüzey ek maddesi kullanımının ısı iletkenlik üzerindeki etkisi	21
3.2.1.4 Sıcaklığın ısı iletkenlik üzerindeki etkisi	21
3.2.1.5 Temel akışkanın nanoakışkanın ısı iletimine etkisi	22
3.2.1.6 Hacimsel oranının ısı iletkenlik üzerindeki etkisi.....	22
3.2.1.7 Nanoparçacık şeklinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisi	23
3.2.2 Viskozite	26
3.2.3 Yoğunluk ve özgül ısı kapasitesi	29
3.3 Korunum Denklemleri.....	30
4. NANOAKIŞKANLARDA DOĞAL TAŞINIMIN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ	33
4.1 Matematik Model	33
4.2 Sayısal Analiz.....	34

4.3 Kafes Boyutunun Belirlenmesi.....	36
4.4 Çalışmanın Doğrulanması	36
4.5 Doğal Taşınımın Sayısal Olarak İncelenmesi	39
4.5.1 Hacimsel oranın etkisi.....	40
4.5.2 Rayleigh sayısının etkisi	44
4.5.3 Nanoparçacıkların cinsinin etkisi	48
4.5.4 Temel akışkanın etkisi.....	49
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	57

KISALTMALAR

CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CNT	: Karbon Nano Tüp
EG	: Etilen Glikol
Gr	: Grashof Sayısı
Nu	: Nusselt Sayısı
Nu_m	: Ortalama Nusselt Sayısı
Ra	: Rayleigh Sayısı
USP	: Ultrasonic Sprey Pirofiz
UDF	: Kullanıcı Tanımlı Fonksiyon
W	: Su

SEMBOLLER

A	: Alan (m^2)
C_p	: Özgül Isı (J/kgK)
C_{pnf}	: Nanoakışkanın Özgül Isısı (J/kgK)
C_{pbf}	: Temel Akışkanın Özgül Isısı (J/kgK)
C_{pp}	: Nanoparçacığın Özgül Isısı (J/kgK)
D, d	: Nanoparçacık Çapı (nm)
g	: Yerçekimi İvmesi (m/s^2)
h	: Isı Taşınım Katsayısı (W/m^2K)
k	: Isı İletim Katsayısı (W/mK)
k_{arayüzey}	: Arayüzey Isıl İletim Katsayısı (W/mK)
k_{eff}, k_{nf}	: Nanoakışkan Isı İletim Katsayısı (W/mK)
k_f, k_{bf}	: Temel Akışkan Isıl İletim Katsayısı (W/mK)
k_p	: Nanoparçacık Isı İletim Katsayısı (W/mK)
L, l	: Boy (m)
P	: Basınç (pa)
pH	: Asitlik Derecesi (pH)
Q	: Sıcak Duvar Isı Akısı (W/m^2)
r_p	: Nanoparçacık Yarıçapı (nm)
t	: Zaman (s)
T_H	: Sıcak Duvar (K)
T_C	: Soğuk Duvar (K)
x, x_h	: Yatay Konum (m)
y, y_p	: Dikey Konum (m)
α	: Isıl Yayılma Katsayısı (m^2/s)
β	: Isıl Genişleme Katsayısı ($1/K$)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
ρ_{nf}	: Nanoakışkanın Yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_f	: Temel akışkanın Yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_p	: Nanoparçacık Yoğunluğu (kg/m^3)
μ	: Dinamik Viskozite (Pa.s)
μ_f	: Temel Akışkanın Viskozitesi (Pa.s)
μ_{nf}	: Nanoakışkanın Viskozitesi (Pa.s)
η	: Kinematik Viskozite (m^2/s)
φ	: Hacim Oranı
ΔT	: Sıcaklık Farkı (K)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Literatürdeki bazı nanoparçacıklar (Çiloğlu ve diğ. 2015).	11
Çizelge 2.2 : Nanoparçacık üretim yöntemleri	12
Çizelge 3.1 : Literatürdeki başlıca ısı iletim modelleri (Aybar ve diğ. 2015).....	24
Çizelge 4.1 : Su ve EG'nin ortalama sıcaklıklara göre fiziksel değerleri (Rashmi ve diğ. 2011).	35
Çizelge 4.2 : Nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki değerleri (Öztop ve diğ. 2008).	35
Çizelge 4.3 : Temel akışkanın su olduğu durumda sabit % 7,5 hacimsel oranı için Ra sayısı artışının nanoakışkanların Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	47
Çizelge 4.4 : Temel akışkanın su olduğu durumda sabit % 2 hacimsel oranı için Ra sayısı artışının nanoakışkanların Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	48
Çizelge 4.5 : $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de temel akışkanın su olduğu durumda nanoparçacıkların Nusselt sayısı üzerine etkisi.	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 300K sıcaklığında bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları.	11
Şekil 3.1 : Nanoakışkanlarda Brownian hareketi (Murshed ve Nieto 2011).	16
Şekil 3.2 : Nanoparçacıkların kümelenmesinin şematik gösterimi (Babu ve diğ. 2013).	17
Şekil 3.3 : Nanoparçacık boyutunun ısı iletkenlik üzerindeki etkisi (Jang ve Choi 2007).	19
Şekil 3.4 : Parçacık boyut artışının ısı iletkenlik üzerindeki etkisi (Jang ve Choi 2007)	20
Şekil 3.5 : Arayüz boyutunun ısı iletkenlik üzerindeki etkisi (Kebllinski ve diğ. 2004)	20
Şekil 3.6 : Sıcaklığın ısı iletim üzerindeki etkisi (Jang ve Choi 2007).	21
Şekil 3.7 : Ana akışkan malzemesinin etkisi (Yu ve diğ. 2007).	22
Şekil 3.8 : Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için hacim oranının etkisi (Jang ve Choi 2007). ..	23
Şekil 3.9 : CuO-Eg nanoakışkanı için hacim oranının etkisi (Jang ve Choi 2007). ..	23
Şekil 3.10 : Nanoparçacık şekillerinin ısı iletim üzerindeki etkisi (Amin ve diğ. 2015).	24
Şekil 3.11 : Al_2O_3 - Su için farklı ısı iletim modellerinin karşılaştırılması (Aybar ve diğ. 2015).	25
Şekil 3.12 : CuO-Su için farklı ısı iletim modellerinin karşılaştırılması (Aybar ve diğ. 2015).	26
Şekil 3.13 : Parçacık boyutunun viskozite üzerindeki etkisi a) (He 2007)'nin sonuçları, b) (Prasher ve diğ. 2006)'ın sonuçları.	27
Şekil 3.14 : Nanoparçacık şeklinin ve sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisi (Ferrouillat ve diğ. 2011).	28
Şekil 3.15 : Hacim oranının viskozite üzerindeki etkisi (Mahbulbul ve diğ. 2012)..	28
Şekil 4.1 : Matematiksel model ve kafes yapısı.	33
Şekil 4.2 : 41x41, 61x61, 81x81 değerleri için kafes boyutunun belirlenmesi.	36
Şekil 4.3 : Referans makalede kabın orta kesitinde sıcaklık değerleri.	37
Şekil 4.4 : Tez çalışmasında kabın orta kesitinde sıcaklık değerleri	37
Şekil 4.5 : Rashmi ve diğ. (2011)'de farklı Ra sayısı değerlerine göre için Nu sayısı değişimi.	38
Şekil 4.6 : Tez çalışmasında farklı Ra sayısı değerlerine göre Nu sayısının değişimi ve sonuçların Nusselt Modeli sonuçlarıyla karşılaştırılması	38
Şekil 4.7 : $Ra = 7,6 \times 10^7$ referans çalışma a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri. ..	39
Şekil 4.8 : $Ra = 7,6 \times 10^7$ bu çalışma a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	39
Şekil 4.9 : Saf su a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri	41
Şekil 4.10 : CuO-Su, $\phi = \% 0,5$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	41
Şekil 4.11 : CuO-Su, $\phi = \% 1$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	41
Şekil 4.12 : CuO-Su, $\phi = \% 2$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	42
Şekil 4.13 : CuO-Su, $\phi = \% 5$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	42
Şekil 4.14 : CuO-Su, $\phi = \% 7,5$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	42

Şekil 4.15 : CuO-Su, $\phi = \% 10$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	43
Şekil 4.16 : Sabit Rayleigh sayısında hacim oranı artışının nanoakışkanların mutlak akış hızları üzerindeki etkisi.	43
Şekil 4.17 : $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de CuO - Su ve Cu - Su nanoakışkanları için hacim oranı değişiminin Nu sayısı üzerindeki etkisi.	44
Şekil 4.18 : $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de Ti - Su TiO_2 - Su ve Al_2O_3 - Su nanoakışkanları için hacim oranı değişiminin Nu sayısı üzerindeki etkisi	44
Şekil 4.19 : $Ra = 2,39 \times 10^7$ 'de CuO-Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	45
Şekil 4.20 : $Ra = 4,8 \times 10^7$ 'de CuO-Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	46
Şekil 4.21 : $Ra = 9,8 \times 10^7$ 'de CuO-Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	46
Şekil 4.22 : $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de CuO-Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.	46
Şekil 4.23 : Sabit hacim oranında Rayleigh sayısının artışının nanoakışkanların mutlak akış hızları üzerindeki etkisi.	47
Şekil 4.24 : Temel akışkanın su olduğu durumda nanoparçacıkların Nusselt sayısı üzerindeki etkisi.	48
Şekil 4.25 : Temel akışkanın Nu sayısı üzerindeki etkisi.	49
Şekil 4.26 : Tüm Su bazlı nanoakışkanların $\% 7,5$ hacim oranında Ra sayısı değişiminin Nu sayısı üzerindeki etkisi.	50
Şekil 4.27 : Tüm Etilen Glikol bazlı nanoakışkanların $\% 7,5$ hacim oranında Ra sayısı değişiminin Nu sayısı üzerindeki etkisi.	50

NANOAKIŞKANLARDA DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi kullanılarak nanoakışkanlarda doğal taşınım yoluyla ısı transferi incelenmiştir. Tüm korunum denklemleri CFD programı Ansys-Fluent'te çözümlenmiştir ve yoğunluk için Boussinesq denklemi kullanılıp, hesaplamalar sonuçlar yakınsayına kadar tekrarlanmıştır. Çalışmada, temel akışkan olarak Su ve Etilen Glikol kullanılırken, nanoparçacık olarak Cu, CuO, Ti, TiO₂ ve Al₂O₃ kullanılmıştır.

Nanoakışkanlar, nano boyuttaki katı parçacıkların sıvı akışkan içerisine karıştırılmasıyla elde edilir, sıvı içerisine karıştırılan ısı iletkenliği yüksek parçacıklar, nano boyutta yaptıkları titreşim hareketiyle ve çevresindeki sıvı moleküllerinde oluşturduğu hareket sayesinde ısı transferini iyileştirebilir, ayrıca bir araya gelen parçacıklar ısı transferi için hızlı geçiş yolları oluşturabilir.

Nanoakışkanların (oluşturulan karışımların) fiziksel büyüklüklerini elde etmek için farklı hesaplama modelleri kullanılmıştır. Nanoakışkanın efektif ısı iletim katsayısı için dinamik model, viskozite için Einstein modeli, yoğunluk için Pak ve Cho modeli ve özgül ısı için Xuan ve Roetzel modeli kullanılıp farklı sıcaklık ve hacim oranı değerleri için tüm nanoakışkanların fiziksel büyüklükleri elde edilmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan nanoakışkanların tek fazda olduğu ve akışkanların içerisindeki parçacıkların sıvı içerisinde askıda olduğu düşünülmüştür. Karışımlar için hacimsel oran % 0,5, 1, 2, 5, 7,5 ve 10 ve Rayleigh Sayısı $2,39 \times 10^7$, $4,8 \times 10^7$, $9,8 \times 10^7$ ve $1,61 \times 10^8$ olarak seçilmiştir. Analizler en-boy oranı bire eşit iki boyutlu kare bir kap içerisinde gerçekleştirilmiştir. Sınır koşulları soğuk (sağ) duvar için sabit 285 K olurken, üst ve alt duvarlar adyabatik yani ısı geçirmez olarak düşünülmüştür; 310 K, 320 K, 330 K ve 345 K gibi farklı sıcaklıklardaki sıcak duvar için tüm nanoakışkanların analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonrasında sıcak duvarlardan çekilen ısı akısı yardımıyla önce akışkanların h taşınım katsayısı hesaplanmış sonrasında, her akışkanın ısı iletim ve taşınım katsayıları yardımıyla akışkanların Nusselt Sayıları elde edilmiştir.

Çalışmada sonuçlar Rayleigh Sayısının, hacimsel oranın, nanoparçacık türünün ve temel akışkan türünün Nusselt Sayısı üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Rayleigh Sayısının artışının, kullanılan tüm nanoparçacık türleri ve temel akışkan türleri için Nusselt Sayısını dolayısıyla ısı transferini iyileştirdiğini göstermiştir. Hacimsel oranın artışı, % 2 hacim oranına kadar oluşturulan bütün nanoakışkanlar için Nusselt sayısını arttırmıştır. Hacim oranı % 2'den fazla olduğu durumlarda Ti, TiO₂ ve Al₂O₃ ile oluşturulan nanoakışkanlarda Nusselt sayısı hacim oranının artışıyla azalmaya başlamıştır. Cu ve CuO ile oluşturulan nanoakışkanlarda ise hacim oranları % 2 - % 7,5 aralığında artış gösterdikçe Nusselt sayısı artmaya devam ederken, % 7,5 hacim oranından sonra bu iki nanoparçacıkla oluşturulan

nanoakışkanlar için de hacim oranının artışı Nusselt sayısını azaltmaya başlamıştır. 345 K sıcak duvar 285 K soğuk duvar sıcaklığında CuO - Su nanoakışkanı için ısı transferi saf su kullanıldığı duruma kıyasla % 4 artmıştır. Tüm nanoparçacıkların kıyaslaması yapıldığında, her durumda CuO diğer bütün parçacıklardan daha iyi sonuç verirken, Cu genelde CuO'ya çok yakın sonuçlar vermiştir. Ti, TiO₂ ve Al₂O₃ genelde birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. Temel akışkanlar kıyaslandığında her koşulda Su, Etilen Glikol'den daha iyi sonuçlar vermiştir.

NUMERICAL INVESTIGATION OF NATURAL HEAT CONVECTION IN NANOFLUIDS

SUMMARY

The fact that the heat transfer coefficient of metals and nonmetals is higher than that of liquids has revealed the need to use metal and nonmetal suspensions in heat transfer systems instead of conventional heat transfer fluids in the scientific world. However, in the first studies, the solid particles used in macro meter size began to subside after a period of time and the flow channels blocked some disadvantages and adversely affected the system performance. The reduction of the particles to the nanometric dimensions eliminated this sedimentation problem. The suspension of solid particles in nanometric dimensions with liquids having a high thermal conductivity coefficient is called nanofluid. Metals, oxides, carbides or nanocarbon tubes can be used as nanoparticles. Water, ethylene glycol or motor oil can be used as the base fluid.

The production of nanofluids is carried out in two basic ways: the ‘One Step Method’ and the ‘Two Step Method’. One-step Method is based on producing a combination of nanoparticle and nanofluid. The Two Step Method is based on producing the nanoparticle first and then mixing it into the liquid with various physical and chemical methods to produce nano-liquid. In these two production methods, the Two-Step Method is used more frequently because of the low cost and shorter production time, but the nanofluids produced by the One-Step Method are more stable although they are produced in a much longer time and are very expensive.

Nanofluids nowadays can be used in tissue processing in the medical industry, as surface fluid and coating material, clean environmental pollution and in the pharmaceutical industry. Besides these, they can also be used in heat transfer applications in heat transfer applications in nanofluids, heat pumps, nuclear reactor cooling, cooling in electronic devices, transport of heat in solar power plants and system efficiency in heat exchangers. Last but not least, they can also reduce the size of the radiators in the automotive industry, improve system efficiency in the HVAC industry and can be used to cool the heated vehicles in the mining industry.

Heat transfer mechanism in nanofluids can be classified as static and dynamic. The static mechanism evaluates the effects of the particles on the heat transfer when they are steady in the nanofluid and the dynamic mechanism evaluates the effects of these particles on the heat transfer when they are in motion. Heat transfer in the static mechanism takes place through the clustering of the particles, forming a rapid heat conduction line, increasing the thermal conduction of the liquid interfaces around the particles and thermal conduction of the nanoparticles. The heat transfer in the dynamic mechanism is based on the Brownian motion of the nanoparticles due to the pull-push forces of the nanoparticles and the thermal transport in the nanoscale caused by the liquid molecules around the nanoparticles during this vibration movement.

Experimental studies show that the thermal conductivity of the nanofluids depends on many factors such as particle volume ratio, particle material, particle size, particle shape, basic fluid type and temperature. Studies have shown that as well as thermal conductivity, the viscosity also increases with the use of nanofluid compared to the basic fluid. So far, several theoretical and experimental studies have been conducted and various correlations have been proposed for the thermal conductivity and dynamic viscosity of nanofluids, but a general correlation has not been established due to the lack of a common understanding of the thermal conduction and viscosity mechanism of nanofluids.

In this thesis, heat transfer via natural convection in nanofluids was investigated by using computational fluid dynamics. All conservation equations were analyzed in the CFD program Ansys-Fluent and the Boussinesq equation was used for density and the calculations were repeated until the results were approximated. Conservation equations were solved numerically using the Pressure Based Solver. Steady-state solvent is used for all simulations. For the simulation of the natural convection flow Laminar Model, for the pressure - velocity coupling Simple Model and for the pressure - velocity coupling Presto solutions were used. While Water and Ethylene Glycol were used as the base fluid, Cu, CuO, Ti, TiO₂ and Al₂O₃ were used as nanoparticles.

There are many models for obtaining physical data of nanofluids in the literature, but no approved model is available for any physical value. In this thesis, the dynamic model for the effective thermal conduction coefficient, the Einstein model for the viscosity, the Pak and Cho model for the density and the Xuan and Roetzel model for the specific heat were used and the physical data of all nanofluids for different temperature and volume ratio values were obtained.

It is assumed that the nanofluids used in this master's thesis are in single phase and the particles inside the fluids are suspended in the liquid. The volumetric ratio for the suspensions is chosen as 0,5, 1, 2, 5, 7,5 and 10 %, and the Rayleigh number is chosen as $2,39 \times 10^7$, $4,8 \times 10^7$, $9,8 \times 10^7$ and $1,61 \times 10^8$. The analyzes were performed in a two-dimensional square container (surface) with a single aspect ratio equal to one. The boundary conditions were fixed at 285 K for the cold (right) wall, while the upper and lower walls were considered adiabatic ie heat-proof; All nanofluids were analyzed at hot wall temperatures of 310 K, 320 K, 330 K and 345 K. After the analysis, first the thermal convection coefficient is calculated with the help of heat flux from hot wall and thermal convection coefficients of the fluids were used to obtain the Nusselt numbers of the fluids.

The results of the study were investigated by considering the effects of Rayleigh Number, volumetric ratio, nanoparticle type and base fluid type on Nusselt Number. It has been shown that the increase of Rayleigh Number improves the Nusselt Number and accordingly the heat transfer for all types of nanoparticles and base fluid types used. The increase in the volumetric ratio increased the Nusselt number for all nanofluids generated up to a volume ratio of 2 %. In cases where the volume ratio is more than 2%, the Nusselt number in the nanofluids generated by Ti, TiO₂ and Al₂O₃ has started to decrease with the increase in volume ratio. As the volume ratios of Cu and CuO increased in the range of 2 % - 7,5 % in the nanofluids, the Nusselt number continued to increase, whereas above 7,5 % volume ratio the Nusselt number started to decrease for nanofluids obtained with these two nanoparticles. Heat transfer for CuO - Water nanofluids increased by 4 % compared to the use of pure water under 345 K

hot wall and 285 K cold wall temperatures. When all nanoparticles were compared, CuO gave better results than all other particles in every condition, whereas Cu gave very close results to CuO. Ti, TiO₂ and Al₂O₃ generally gave close results to each other. While comparing to the base fluids, in all conditions, Water gave better results than Ethylene Glycol.

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte birçok mühendislik uygulamalarında, yüksek ısı transferi ihtiyacı artış göstermektedir. Gün geçtikçe geliştirilen elektronik ekipmanlar oldukça yüksek ısı akısı oluşturmaktadır. Bu sistemlerin yeterli bir şekilde soğutulması performansları açısından önemli olduğu kadar, kullanılan soğutma sistemlerinin az yer kaplaması da önemli bir durumdur. Elektrik üretim sistemleri, HVAC, ulaşım gibi mühendislik uygulamalarında ise ısı transfer sistemlerinin geliştirilmesi hem enerjinin daha verimli kullanılması hem de bu sistemlerdeki maliyetlerin azaltılması için günümüzde büyük önem arz etmektedir.

Mühendislik uygulamalarında yüksek akıllı ısı transferi sistemlerinin çoğunda sıvı akışkan kullanılmaktadır. Bu sistemlerde ısı transferini iyileştirmede birçok yöntem kullanılmasına rağmen bu akışkanların düşük ısı iletim katsayıları yüksek ısı transferini kısıtlamaktadır ve sistemde soğutma için kullanılan alan artmaktadır. Bu bakımdan kullanılan akışkanların ısı iletim katsayılarını artırmak, ısı transferini artırmada ve soğutma ünitelerinin boyutunu küçültmekte etkili olacaktır.

Bununla beraber metaller ve ametaller sıvılara oranla daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptirler. Bu bilgiden hareketle metal veya ametal parçacıkların sıvıya eklenmesiyle tipik ısı transferi akışkanlarının ısı iletim katsayısının artırılması düşünülebilir.

1.1 Tezin Amacı

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, gelişen teknolojiler ve beraberinde getirdiği ihtiyaçlar da göz önünde tutularak, nano boyutta metal ve metal oksit parçacıkların tipik ısı transferi akışkanlarına karıştırılması ile elde edilen nanoakışkanların özellikleri ve ısı transferi potansiyeleri incelenmiştir.

Çalışmada, literatürde yer alan temel bir matematiksel model kullanılarak, nanoakışkanlarda doğal taşınım ile ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Katı parçacık olarak Cu, CuO, Ti, TiO₂, Al₂O₃ ve baz akışkan olarak su ve etilen glikol

seçilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar, Nusselt sayısı, Rayleigh sayısı, hacim oranı, katı parçacık çeşidi ve ana akışkan çeşidi değişkenlerine göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Sharma ve Gupta (2009) sağ duvardan ısıtılan, sol duvardan soğutulan, üst ve alt duvarları yalıtılmış olan kapalı kare bir kapta nanoakışkanlar ile ısı transferini incelemişlerdir. Çalışmada, Cu, Al_2O_3 ve TiO_3 nanoparçacıklarının, temel akışkan olarak kullanılan su ile karıştırılmasıyla elde edilen nanoakışkanların farklı hacimsel oranlarda ve Grashof numarası değerlerinde davranışı incelenmiştir. Hacimsel oranın artışı ile nanoparçacık miktarı ve ısı transferi artmaktadır ve bu durum kabın merkezinde akışın hızlanmasına neden olmaktadır. Çalışmada, Grashof sayısının ve hacimsel oranın artışının Nusselt sayısını arttırdığı, buna karşılık nanoparçacıkların çapları arttıkça Nusselt sayısının değerinin düştüğü gösterilmiştir.

Lin ve Violi (2010), literatürde neredeyse standart olarak kullanılan sağdan ısıtılmalı, soldan soğutılmalı, üst ve alt duvarın yalıtımlı olduğu kapalı kare bir kapta nanoakışkanlar ile ısı transferinde, düzgün dağılı olmayan parçacık boyutunun ve sıcaklığın ısı iletkenlik katsayısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Al_2O_3 nanoparçacıkların temel akışkan olarak kullanılan su ile karıştırılmasıyla elde edilen nanoakışkanın, $Ga = 10^3 - 10^6$, $Pr = 2.66 - 6$, ve hacimsel oranın 0-0,05 değerleri için ısı transferi performansı incelenmiştir. Çalışmada, nanoparçacıkların düzgün dağılı olmadan temel akışkana karıştırılarak elde edildiği durumda minimum çaplı parçacık ile maksimum çaplı parçacık arasındaki oranın artışı veya ortalama nano parçacık boyutunun 250 nm den 50 nm ye azalması durumunda taşınım ile ısı transferinden kaynaklanan Brownian hareketinin baskın olduğu anlaşıyor. Sıcaklığın artması yani Grashof numarasının artışı ısı transferinin verimliliği konusunda çok büyük değişiklik yapmamıştır, çünkü nanoakışkanın yüksek ısı iletkenliği nedeni ile ısı iletimi baskın olmaktadır.

Wang ve diğ. (2017) Al_2O_3 -Su nanoakışkanı içeren kübik bir kap içinde doğal taşınım ile ısı transferi için üç boyutlu sayısal simülasyonları, nanoparçacıkların şeklini dikkate alarak gerçekleştirmiştir. Al_2O_3 -Su nanoakışkanının doğal taşınım ile ısı transferi üzerinde nanoparçacık şeklinin, hacimsel oranın ve Rayleigh sayısının etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, nanoakışkanın ısı iletkenliğinin, Al_2O_3 çubuk

şekilli nanoparçacıkların eklenmesiyle arttığını ve nanoakışkanın artan viskozite derecesinin, ısı iletkenlikten daha yüksek olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda Al_2O_3 küresel nanoparçacıklar suda dağıldığında, artan hacimsel oran ile akış ve ısı transferinin gücü artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı, küresel şekilli Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için $Ra = 10^3$ değerinde hacimsel oranın artmasıyla artmaktadır. Çalışmada sonuçlar, $Ra \geq 10^4$ olduğunda Al_2O_3 çubuk şekilli nanoparçacıkların artan hacimsel oranı ile ortalama Nusselt sayısının azaldığı ve küresel nanoparçacıklar için ise hacimsel oranın artışı ile ortalama Nusselt sayısının arttığını göstermiştir. Isı transfer oranı, her iki nanoparçacık şekli için de Rayleigh sayısı arttıkça artar.

Ben-Cheikh ve diğ. (2013), farklı tiplerde nanoparçacıklar kullanarak, nanoakışkanlarla doldurulmuş ve taban duvarında muntazam olmayan sıcaklık dağılımına sahip kare bir kap içindeki doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Kapın kalan duvarları daha düşük bir sıcaklıkta tutulmaktadır. Hesaplamalar, $Ra = 5 \times 10^3 - 10^6$ aralığında ve nanoakışkanlar için hacimsel oran 0-0.2 aralığında farklı değerler için yapılmıştır. Tüm Rayleigh sayılarında nanoparçacıkların hacimsel oranının artmasıyla ısı iletim hızında da bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, ısı transfer iyileştirmesinin nanoakışkanların türüne bağlı olduğu da gözlenmiştir. Çalışmada, normal şartlar altında $Ra = 10^6$ değeri için akışkan su olduğu zaman akışın kararsız olduğu, oysa nanoakışkanda hacimsel oranın artışı ile akışın kararlı hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Öztop ve Eiyad (2008), farklı nanoparçacıklar kullanarak içerisinde nanoakışkan bulunan kısmen ısıtılmış dikdörtgen bir kapta yüzdürme kuvveti nedeniyle ısı transferi ve sıvı akışını incelemişlerdir. Sol düşey duvarda belli uzunlukta bir ısıtıcı bulunmaktadır. Diğer duvarlar yalıtıldığında sağ düşey duvarın sıcaklığı, ısıtıcıdan daha düşük sıcaklıkta tutulmuştur. Korunum denklemlerinin çözümü için sonlu hacimler tekniği kullanılmıştır. Hesaplamalarda, Rayleigh sayısı $6 \times 10^3 - 5 \times 10^5$, boyutsuz ısıtıcı yüksekliği 0,1 - 0,75, boyutsuz ısıtıcı konumu 0.25- 0.75), en boy oranı 0.5 - 2 ve nanoparçacıkların hacimsel oranı 0 – 0,2 arasındaki değerler kullanılmıştır. Çalışmada Cu, Al_2O_3 , TiO_3 nanoparçacıkları test edilmiştir. Rayleigh sayısının tüm değerlerinde nanoparçacıkların hacimsel oranının artışı için ortalama Nusselt sayısında artış bulunmuştur. Isı transferi ayrıca ısıtıcı yüksekliğinin artmasıyla da artmıştır. Nanoakışkanlar kullanılırken ısıtıcı konumunun akış ve sıcaklık eğrilerini

etkilediği bulunmuştur. Ayrıca ısı transferi iyileştirmesinin daha düşük en / boy oranlarında belirginleştiği görülmüştür.

Santra ve diğ. (2008), bakır-su nanoakışkanı dolu kare bir kapta doğal taşınımı incelemişlerdir. Newtonyan olmayan bir akışkan için sonlu hacim yaklasimiyla SIMPLER algoritması kullanılarak denklemler çözülmüştür. Sıkıştırılmaz Newtonyan olmayan bir akışkan için kayma gerilmeleri Ostwald – de Waele modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Nanoakışkanın ısıl iletkenliği, Patel ve arkadaşları tarafından önerilen modelden hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Rayleigh sayısı $10^4 - 10^7$ aralığında, sudaki bakır parçacıkların katı hacimsel oranı 0.05 - 5 arasında seçilmiştir. Belirli bir Ra değerinde bakır parçacıkların katı hacimsel oranı artarken ısı transferinin azaldığı gözlemlenmiştir. Belirli bir hacimsel oranda ise Ra arttıkça ısı transferi de artmıştır.

Yin ve diğ. (2017)'de nanoakışkanların laminar boru akışını modellemişlerdir. Cu-Su ile düşük hacimsel oranlarda (% 0 – 2,5) karışımlar elde etmişlerdir ve bu karışımın ısı iletimi arttırdığını gözlemlemişlerdir, fakat grafikler incelendiğinde hacimsel oranın artışının bir süre sonra ısıl iletimini çok az arttırdığı gözlemlenmiştir, ve hatta % 2,5 hacimsel oranından sonra azalan bir eğilime başladığı gözlemlenmiştir.

Öğüt (2010) çalışmasında, komşu duvarları farklı şekilde ısıtılmış, diğer duvarları yalıtılmış eğik kare bir kap içinde su bazlı nanoakışkanlar için doğal taşınımı sayısal olarak incelemiştir. Boussinesq yaklaşımı kullanılarak korunum denklemleri polinoma dayalı diferansiyel kuadratur (PDQ) yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Hesaplamalarda Rayleigh sayısı 10^4-10^6 aralığında alınmış olup, kapalı bölgenin eğim açısı ise $0^\circ-120^\circ$ arasında seçilmiştir. Çalışmada katı parçacıkların hacimsel oranının 0-0.20 aralığındaki değerleri göz önüne alınmıştır. Nanoparçacık olarak Cu, Ag ve Al_2O_3 seçilmiştir. Sonuçlar Rayleigh sayısı, eğim açısı ve katı hacimsel oranın akış ve ısı transferi üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Nanoparçacıkların hacimsel oranının artırılmasıyla ısı transferinde önemli artışlar söz konusu olmaktadır. Rayleigh sayısının artmasıyla taşınım artmakta ve ısı transferi miktarının artmasına sebep olmaktadır. Kapın yatayla yaptığı eğim açısı da ısı transfer miktarını önemli oranlarda etkilemektedir.

1.3 Hipotez

Nanoakışkanların, ısı transferi üzerindeki etkisi sayısal olarak incelenebilir. Bu inceleme, farklı malzemelerden yapılmış katı nano parçacıklar, farklı temel akışkanlar, her nanoakışkan için farklı hacimsel oran değerleri ve Rayleigh sayısına bağlı olarak gerçekleştirilir.

2. NANOAKIŞKANLAR VE NANOPARÇACIKLAR

Metal ve ametallerin ısı iletim katsayısının sıvılara göre daha yüksek olması bilim dünyasında ısı transfer sistemlerinde sıvı akışkan yerine metal ve ametal süspansiyonlarının kullanılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Ancak yapılan çalışmalar sonucu katı parçacıkların bir süre sonra çökelmeye başlaması bir takım dezavantajlar ortaya çıkarmış ve sistem performansını olumsuz yönde etkilemiştir. Bununla birlikte parçacıkların nanometrik boyutlara indirgenmesi çökme sorununu ortadan kaldırmıştır. Nanometrik boyutlardaki katı parçacıkların ısı iletim katsayısı yüksek olan sıvılarla oluşturduğu süspansiyona nanoakışkan denir. Nanoparçacık olarak metaller, oksitler, karpitler ya da nanokarbon tüpler kullanılabilir. Temel akışkan olarak su, etilen glikol veya motor yağı kullanılabilir.

2.1 Nanoakışkanlar

Isı transferi verimliliğini arttırmak için bir çok yöntem vardır. Bunların en çok kullanılanları, ısı tranferi yüzeyinin arttırılması, yüzeye titreşim uygulanması ve mikro kanal kullanımıdır. Ayrıca ısı transferi verimi, tipik ısı transferi akışkanlarının ısıl iletkenliğinin arttırılması yöntemiyle de geliştirilebilir. Su, etilen glikol ve motor yağı gibi yaygın olarak kullanılan akışkanlar, katıların ısıl iletkenliğine kıyasla nispeten daha düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Akışkanların ısıl iletkenliği, akışkanın içine küçük boyutlarda katı parçacıklar karıştırılarak arttırılabilir. milimetre ve makrometre boyutundaki parçacıkların süspansiyonu çok uzun süreden beri bilinen ve kullanılan bir yöntemdir, fakat bu karışımlar bazı ısıtma ve soğutma sistemlerinde bazı dezavantajlar doğurmuştur. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Milimetre ve makrometre boyutundaki parçacıklar karışım oluşturulduktan bir süre sonra ağırlıklarından ötürü akışkanın alt yüzeyinde bir çökelti tabakası oluşturup akışkanın ısı transfer kapasitesini azaltır.
2. Akışkanın akış hızı artarsa, çökme azalır, ancak ısı transfer cihazlarının ve boruların erozyonu hızla artar.

3. Büyük boyutlardaki parçacıklar, özellikle soğutma kanalları dar olduğunda akış kanallarını tıkama eğilimindedirler.

4. Karışım sonrasında akışkandaki basınç düşüşü önemli ölçüde artmaktadır ve dolayısıyla sistemin çalışması için gerekli pompa gücü artmaktadır.

Tüm bu sebepler yüzünden, akışkanların içerisine parçacık karıştırma yolu yıllarca bilinmesine rağmen tercih edilmemiştir. Fakat, modern malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ana malzemeden farklı mekanik, ısı ve elektiriksel özelliklere sahip nanoparçacık üretimi fırsatını doğurmuş ve bu da taşınım ile ısı transferinde akışkanların katı parçacıklarla karıştırılması yöntemini olağan hale getirmiştir.

Bilindiği gibi ısı transfer akışkanları olarak genelde su, motor yağı ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılır. Bu akışkanların düşük ısı transfer performansı, performans geliştirmeyi engeller ve ısı transfer sisteminde verimsiz çalışmaya neden olur. 100 nanometreden daha küçük boyutta nanoparçacıkların üretilmeye başlanmasıyla katı parçacıkların ısı transfer akışkanlarına eklenerek kullanılması fikri sistem performansını artırmak adına önemli bir adım olmuştur. Nanoakışkanların ısı sistemlerine katkıları aşağıdaki gibidir;

1. Isı transfer sistemlerinde nanoakışkanların kullanım ihtiyacının doğmasının temel sebebi sistem performansını ve ısı transferi hızını artırmaktır, nanoakışkanların ısıl iletkenliklerinin ve yüzey alanlarının tipik ısı transferi akışkanlarından daha yüksek olması sistemin ısı transferini ve akışkanın ısıl iletim katsayısını önemli ölçüde artırır.

2. Sistemin ısı transferinin ve ısıl iletiminin artması sistemin daha küçük boyutlarda tasarlanabilmesini mümkün kılmaktadır, bu da ısıya daha düşük maliyetlerle daha verimli bir şekilde transfer edilmesine olanak sağlamış olur.

3. Nanoboyuttaki parçacıkların ağırlıklarının küçük olması akışkan içerisinde çökmeyi en aza indirmiştir.

4. Yine parçacıkların nano boyutta olması akış esnasında yüzeylere uyguladığı kuvveti ve yüzey aşınma miktarını azaltıp, sistemin ömrünü uzatır.

5. Parçacıkların nano boyutta olması mikro kanallarda oluşabilecek olası tıkanıklıkların oluşumunu da engeller.

Bunlarla birlikte kullanılan nanoakışkan yoğunluğu da sistem performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Nanoakışkan yoğunluğu arttıkça viskozitesi de artar ve bu da sistem için gerekli pompa gücünün artmasına sebep olur (Menlik ve diğ. 2015).

2.1.1 Nanoakışkanların üretim yöntemleri

Teknolojik gelişmelerle birlikte artan enerji ihtiyacı ve hızla tükenmekte olan enerji kaynakları bilim insanlarını yeni alternatif enerji kaynaklarını bulmaya ve var olan enerjiyi daha verimli kullanmaya sürüklemiştir. Bununla ilgili yöntemlerden biri; bir takım yöntemlerle ısı transferini iyileştirme çalışmalarıdır. Isı transfer mekanizmalarının temelini oluşturan sıvı akışkanların (su, sentetik yağlar, etilen glikol) ısı iletkenlik performanslarının düşük olması bilim dünyasını harekete geçirmiş ve ısı transfer performansını artırmaya yönelik çalışmalara yönlendirmiştir. Bununla ilgili bilinen ilk çalışmalar Maxwell tarafından 1800'lü yılların sonlarında ısı iletkenliği sıvı akışkanlara göre çok daha yüksek olan metal ve ametal partikülleri sıvı akışkan içine eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Fakat bu yöntem partiküllerin boyutunun büyük olması nedeniyle bir takım olumsuzluklara (partiküllerin çökmesi, kanalların tıkanması) neden olmuş ve sistem performansını olumsuz etkilemiştir (Sivashanmugam 2011).

Nanoteknolojinin bulunması ile üretilen nanoparçacıklar Maxwell'in çalışmalarının devamının getirilebileceği fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu alanda nanoakışkan terimini çalışmalarında ilk kez kullanan Choi küçük hacimsel oranlarda sıvı akışkana eklenen nanoparçacıkların ısı iletkenliğinin iki katına çıktığını göstermiştir (Choi ve Eastman 1995).

Nanoakışkanlarla ilgili yapılan bu çalışmalar ısı transfer sistemlerinin ihtiyaçlarına göre üretim yöntemlerinde de çeşitliliğe gidilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Nanoakışkanlar üretilirken iki temel yönteme başvurulur; bunlardan biri tek adım (single step) diğeri ise iki adım (two step) yöntemidir. Tek adım yönteminin prensibi üretilcek nanoparçacığın temel sıvı akışkan içerisinde üretilmesine dayanır. Tek adım metodu Akoh ve diğ. (1978) tarafından geliştirilmiştir.

İki adım yöntemi ise, önceden farklı yöntemlerle (kimyasal buhar yoğunlaştırma, hidrojen redüksiyonu yöntemi.. gibi) hazırlanmış nanoparçacıkların uygun yöntemler kullanılarak temel akışkanla süspansiyon oluşturması temeline dayanır (Gürmen ve Ebin 2015).

2.1.1.1 İki adım yöntemi

İki adım yöntemi nanoakışkanların üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde nanoparçacıklar, fiziksel veya kimyasal yollarla toz halde üretilir. Daha sonra nanoboyuttaki bu parçacıkların; manyetik kuvvette çalkalanma, ultrasonik çalkalanma, yüksek kesmeli karıştırma, homojenizasyon, bilyeli öğütme gibi metodlar yardımıyla sıvı akışkanla karışımı sağlanır. İki adım yöntemi nanoakışkanların büyük ölçekte hazırlanmasında kullanılabilecek en ekonomik yöntemdir. Çünkü nanoparçacık üretim yöntemleri mevcut durumda zaten endüstriyel üretim seviyelerinde üretime imkan vermektedir ve ek bir üretim masrafı gerekmemektedir.

Yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi nanoparçacıklarda kümelenme eğilimi gösterir. Bunun önüne geçmek için sürfaktanlar kullanılır. Fakat özellikle sürfaktanların yüksek sıcaklıklı uygulamalarda kullanımı nanoakışkan üretiminde olumsuzluklara neden olabilir. Bununla beraber iki adım yönteminde kararlı akışkan eldesi zor olduğundan farklı hazırlama yöntemlerine ihtiyaç duyulmuş ve bir kaç teknik daha geliştirilmiştir. Bu ihtiyacın sonucu olarak tek adım yöntemi geliştirilmiştir (Yu ve Xie 2011).

2.1.1.2 Tek adım yöntemi

Tek adım yöntemi; iki adım yönteminde oluşan kararsız yapıyı daha kararlı hale getirmek ve oluşan çökelmeyi en aza indirmek üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Tek adım yönteminde nanoparçacıkların üretimi esnasında temel akışkanında üretim sürecine eklenerek, çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılması sonucunda nanoakışkanın elde edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu yöntemin kendi içerisinde avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajları, akışkanın kararlılığı ve parçacıkların topaklanması önlendiği için artmıştır. Dezavantajları, sadece düşük hacim oranları için kullanılabilmektedir, ayrıca üretimin karmaşıklığı, yavaşlığı ve zorluğundan ötürü çok maliyetli olmaktadır. Literatürde tek adım yönteminde kullanılan bazı metodlar; doğrudan buhar yoğunlaştırması, kimyasal buhar yoğunlaştırması ve tek adımlı kimyasal sentezdir (Yu ve Xie 2011).

Tek adım yöntemiyle karşılaştırıldığında iki adım yöntemi oksit nanoparçacıklar için metalik parçacıklara göre daha uygun bir yöntemdir. Tek adım yöntemi iki adım yöntemine göre daha homojen nanoakışkan eldesine imkan vermekle beraber daha pahalı olması sebebiyle iki adım yöntemi günümüzde daha çok tercih edilen nanoakışkan üretim yöntemidir (Wang ve diğ. 2004).

2.2 Nanoparçacıklar

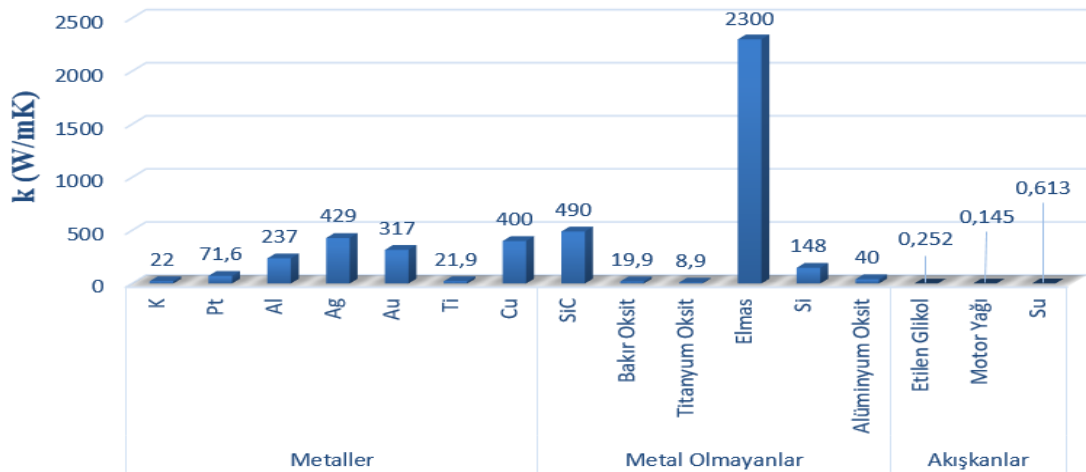
Nanoparçacıklar, parçacıkların nanometrik boyutlara indirgendiğinde değişen kimyasal özelliklerinden dolayı günümüzde bir çok sektörde kullanılmakta ve gün geçtikçe kullanım alanı artış göstermektedir. Nanoparçacıklar kullandıkları sektöre ve bu sektörlerin ihtiyaçlarına göre çeşitlilik göstermektedir. Bir malzemenin her bir molekül ve atomuna ait özellikleri, parçacık için tanımlanan boyut aralığında, nanoparçacıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişmesi ile belirlenir.

Nanoparçacıklar kimyasal yapıları farklı olan malzemeler kullanılarak üretilirler. Bunlara genellikle; metaller, seramikler, silikatlar, metal oksitler, organik ve karbon malzemeler olarak verilebilir. Özelliklerine göre nanoparçacık üretiminde kullanılan bazı malzemeler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Literatürdeki bazı nanoparçacıklar (Çiloğlu ve diğ. 2015).

Metaller	Oksitler ve Seramikler	Alaşımlar	Karbon bazlı parçacıklar
Cu	CuO	Ag-Cu	CNT
Ag	CuO ₂	Al-Cu	Elmas
Fe	Al ₂ O ₃	Ag-Al	Grafit
Ti	TiO ₂		Grafen

Nanoparçacıklardaki bu çeşitlilik nanoakışkanların ısı transfer katsayılarını doğrudan etkilemektedir. Kullanılan nanoparçacık ve nanoakışkan çeşidi ısı transfer performansını etkileyen; sıcaklık gradyeni, akışkan içerisindeki türbülans, ısı iletim katsayısı, yüzey alanı gibi parametrelere göre belirlenir. Şekil 2.1’de bazı malzemelerin farklı sıcaklıklardaki ısı iletim katsayıları verilmiştir (Choi ve diğ. 1997).



Şekil 2.1: 300 K sıcaklığında bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları.

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi akışkanların ısı iletim katsayıları nanoparçacıkların ısı iletkenliğinden oldukça düşüktür. Bu da ısı transfer sistemlerinde nanoakışkanların kullanılmasının sistem performansını arttırabileceğinin bir göstergesidir.

2.2.1 Nanoparçacık üretim yöntemleri

Nanoparçacık üretim tekniklerinde temel olarak iki yöntem uygulanır. Bu yöntemlerden ilki yukarıdan aşağıya yöntemidir. Diğer yöntem ise aşağıdan-yukarıya yöntemidir. Çizelge 2.2’de yukarıdan-aşağıya ve aşağıdan-yukarıya yöntemlerinde kullanılan başlıca teknikler görülmektedir.

Çizelge 2.2: Nanoparçacık üretim yöntemleri.

Yukarıdan-aşağıya	Aşağıdan-yukarıya
Mekanik aşındırma	Asal gaz yoğunlaştırma
Elektro patlama	Alev sentezi
Dağlama	Kimyasal buhar yoğunlaştırma
Isıl yöntem	Moleküler hüzme
Gaz atomizörü	Atom tabaka çökmesi
Yüksek enerji	Yanma
Litografi (EUV)	Ultrasonik sprey piroliz (USP)

2.2.1.1 Yukarıdan aşağıya yöntemi

Yukarıdan aşağıya yöntemi makineler, asitler ve benzeri mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılarak nano parçacıkların fabrikasyonu ve imal edilmesi yöntemlerine dayanır. Kullanılan farklı yöntemlerde kütle malzeme ele alınır, ardından şekillendirilerek, yapısı oluşturularak ve yeniden düzenlenerek istenilen ürüne dönüştürülür (Ateş ve Bahçeci 2015). Bu tekniklerde klasik öğütme işlemleri esnasında çok daha fazla enerji tüketimi gerçekleştiği için yüksek enerjili öğütme veya yüksek hız değirmenleri olarak da adlandırılır (Gürmen ve Ebin 2015).

Bu yöntem mekanik-fiziksel yöntem olarak da değerlendirilebilir. Mekanik-fiziksel yöntemde mikroparçacıklar değirmenler ile öğütülüp ezilerek nanomalzemeleri oluşturur. Daha çok seramik ve metalik malzemelerin üretiminde kullanılır. Örneğin

metalik malzemeler yüksek enerjili bilyalı değirmenlerle öğütülerek metalik nanoparçacıkların eldesi sağlanır. Bu bilyalı değirmenler wolfram karbür yada çelikten yapılmış öğütücülerden oluşur.

2.2.1.2 Aşağıdan yukarıya yöntemi

Aşağıdan yukarıya yöntemi ise atomik veya moleküler boyuttaki yapıları kimyasal tepkimeler yolu ile büyütürken nanoparçacıklar oluşumunun gerçekleştiği süreç olarak tanımlanabilir.

Aşağıdan yukarıya yöntemi kimyasal-fiziksel yöntem olarak da düşünülebilir. Bu yöntemde gaz fazı yöntemi ve sıvı fazı yöntemi olarak iki üretim metodu vardır. Gaz fazı, toz veya film formundaki nanomalzemelerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan endüstriyel yöntemdir. Bu yöntemde oluşturulacak olan nanoparçacığın kullanılacağı malzeme fiziksel veya kimyasal yollarla gaz fazında üretilir. Sıvı veya katı halde kalacak olan nanoparçacıklar homojen çekirdeklenme ile üretilir. Kimyasal reaksiyonlar, yoğunlaşma, parçacık yüzeyindeki iki yada daha fazla parçacığın yapışması gibi etkilerle parçacıkların büyümesi gerçekleşir (Gürmen ve Ebin 2015).

Sıvı faz yöntemi genelde gaz faz yönteminden daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu yöntemde çökeltme, sol-jel ve hidrotermal sentez metodları kullanılır (Ateş ve Bahçeci 2015).

2.3 Nanoakışkan Kullanım Alanları

Nanoakışkanların yeni ve gelişmiş kavramları, geleneksel ısı transfer akışkanlarına kıyasla büyüleyici ısı transferi özellikleri sunar. Nanoakışkanlar günümüzde: Yüzey akışkanı ve kaplama materyali olarak, çevresel kirliliği temizlemek için, ilaç sektöründe, tıp alanında doku hücre etkileşiminde kullanılabilir. Bunların yanında nanoakışkanlarda ısı transferi uygulamalarında yüksek ısı çekimi gereken alanlarda, ısı pompalarında, nükleer reaktör soğutmada, elektronik araçlarında soğutulmasında, güneş santrallerinde ısıнын taşınmasında ve ısı değiştiricilerde sistem verimliliğini arttırmak adına kullanılabilir. Otomotiv sektöründe radyatörlerin boyutunu azaltmak için, HVAC sektöründe sistem verimliliğini arttırmak için, Madencilik sektöründe derinde yapılan çalışmalarda ısınan araçları soğutmak için kullanılabilir (Wong 2009).

3. NANOAKIŞKANLARDA ISI TRANSFERİ

Termodinamiğin 2. Yasasına göre, iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa, ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama geçer. Isının geçişi ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar, ortam ve yüzeylerin özelliklerine de bağlıdır. Nanoakışkanlarda ısı transferi, ısıl iletim ve taşınım esaslarına dayanmaktadır. Nanoakışkanların, temel akışkan ve nanoparçacık karışımıyla üretilmesi sırasında ısıl iletimi ve taşınımı etkileyen birçok faktör mevcuttur. Isıl iletim nanoparçacıkların akışkan içerisindeki hacimsel oranı, sıcaklık, akışkanın pH değeri, temel akışkan, nanoparçacığın malzemesi, şekli ve boyutu gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Nanoakışkanlarda taşınım ile ısı transferi için ısı transfer katsayısı sadece ısıl iletkenliğe bağlı değildir, ısıl taşınım aynı zamanda yoğunluk, özgül ısı kapasitesi ve viskozite gibi nanoakışkanların diğer özelliklerine de bağlıdır.

3.1 Nanoakışkanların Isı Transfer Mekanizması

Nanoakışkanlarda ısı transfer mekanizması statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik mekanizmada nanoakışkan içindeki parçacıkların hareketsiz oldukları durumdaki ısı transferi üzerindeki etkileri, dinamik mekanizmada ise bu parçacıkların hareketleri sonucunda ısı transferi üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Statik mekanizmayı etkileyen faktörler;

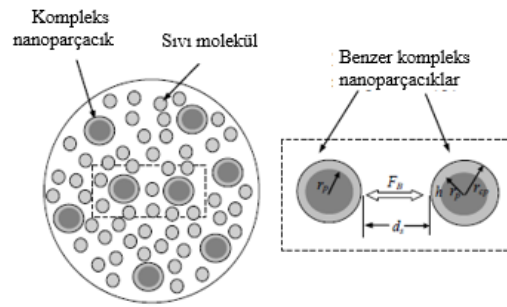
- Parçacıkların toplanarak akışkan içerisinde oluşturduğu rastgele şekiller
- Arayüz oluşumu
- Nanoparçacıkların ısıl direnci

Dinamik mekanizmayı etkileyen faktörler;

- Parçacıkların Brownian hareketi
- Nano boyutta gerçekleşen ısıl taşınım

şeklindedir. Nanoakışkanların sıvı akışkanlara göre daha iyi ısı transferi performansı göstermesinin başlıca nedenleri;

Nanoparçacıkların Brownian hareketi; nanoparçacıkların sıvı içerisindeki titreşim ve çarpışma hareketi olarak tanımlanabilir. Bu hareket esnasında nanoparçacıkların bir birleriyle temas etmeleri yoluyla ısı transferi sağlanır ve bu da akışkanın ısıl iletiminin artmasına sebep olur. Geleneksel yaklaşıma göre, parçacıkların Brownian hareketinin etkisi, büyük parçacık boyutlarında ihmal edilmektedir ancak parçacık boyutu nanometre ölçeğine yaklaştıkça, Brownian hareketi ve onu çevreleyen sıvı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Isıl iletimi arttırmak için nanoparçacıkların Brownian hareketinin katkısı iki farklı şekilde olabilir: Birincisi, ısıyı aktaran nanoparçacıkların hareketi ve ikinci yol, sıvının nanoparçacıklar etrafında mikro-taşınımıdır. Şekil 3.1’de nanoparçacıkların Brownian hareket mekanizmasını ve bu mekanizmanın parçacıkları çevreleyen sıvı moleküllere uyguladığı etkiyi görebiliriz. Akışkan içerisinde parçacıkların birbirlerine uyguladığı çekme ve itme kuvvetleri nano boyutta ısıl iletimin ve taşınımın gerçekleşmesine sebep olur.



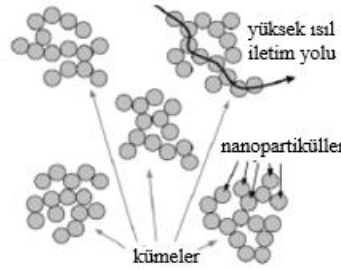
Şekil 3.1: Nanoakışkanlarda Brownian Hareketi (Murshed ve Nieto 2011).

Aratabaka (nanolayer) oluşumu; temel akışkanın nanoparçacıklar etrafında molekül düzeyinde yüzey oluşturmaları; katı yüzeyler üzerinde sıvının katman oluşturmaları atomik seviyede düzensiz olan sıvının daha düzenli hale gelmesini sağlar ve böylece ısı transferinin iyileşmesini sağlar. Karışımların farklı bileşenlerinin arayüzlerinde, Kapitza direnci olarak bilinen arayüzey ısıl direnci bulunur. Katı bir yüzeye yakın sıvı moleküllerin tabakalı bir katı benzeri yapı oluşturduğu uzun zamandır bilinmektedir, ancak bu nano tabakanın ısıl özellikleri ve bu katmanın temel sıvı ve katı ile bağlantısı hakkında çok az şey bilinmektedir. Yine Şekil3.1’de nanoparçacıkların çevresinde oluşan sıvı arayüzü görülmektedir (Jang ve Choi 2007).

Nanoparçacıkların kümelenmesi; nanoakışkanları üretmek için iki yöntem vardır: bunlardan birincisi tek adımlı yöntemdir ve doğrudan buharlaştırma yöntemi temel akışkanlar içindeki nanoparçacıkların doğrudan oluşumunu temsil eder, bu yöntemle oluşturulan nanoakışkanlar homojene yakın özellikler göstermektedir.

İki adımlı yöntem ise nanoparçacıkların oluşumunu ve temel akışkan içindeki daha sonraki dağılımını temsil eder. İki adımlı yöntemde, nanoparçacıklar ayrı ayrı üretilmiştir, bu yüzden nanoparçacıklar temel sıvıya dağıtıldığında homojen bir dağılım sağlamak için çeşitli fiziksel arıtma uygulamalarından geçirilmektedir. Bu yöntemler nanoparçacıkların nanoakışkanın içinde ilk adımında kümelenmesini önlemek için kullanılır, çünkü toz halinde bulunan nanoparçacıklar herhangi bir uygulamadan geçmedikleri takdirde çok kısa zaman içerisinde büyük oranda kümelenme eğilimi göstermektedir. Küçük oranlarda oluşan kümelenmeler birbirlerine temas ettikleri için ve aynı zamanda Brownian hareketi gösterdikleri için nanoakışkan ısı iletimi arttırırken, bu oran arttıkça kümelenen nanoakışkanlar ağırlaşır dibe çöktükleri için akışkanın ısı iletimi azalmakta ve akışkanının akış performansını da düşürmektedir.

Şekil 3.2’de nanoparçacıkların nasıl kümelendiklerini ve bu kümelenmenin ısı transferine nasıl yardımcı olduğunu şematik olarak gösterilmiştir. Kümelenen nanoparçacıklar aralarında bir ısı iletim yolu oluşturup, ısı ının hızla transferini sağlarlar.



Şekil 3.2: Nanoparçacıkların kümelenmesinin şematik gösterimi (Babu ve diğ. 2013).

3.2 Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkanlar sıvı ve katı karışımından ziyade tek fazlı akışkan olarak düşünülebilir. Temel akışkanın içerisine katılan parçacıklar akışkanın bir çok termofiziksel değerini iyileştirmektedir ve bu değerlerin doğru bir şekilde tespit edilmesi sistemin ısı transferi ve akış davranışlarını tahmin etmek için oldukça önemlidir. Parçacıklar karışım sonucunda akışkanın yoğunluk, özgül ısı, viskozite ve ısı iletim değerlerini

değiştirmekte ve bu değişimleri nasıl olabileceği konusunda literatürde her biri için ayrı ayrı hesaplama modelleri bulunmaktadır.

Deneyisel çalışmalar nanoakışkanların ısı iletkenliğinin parçacık hacim oranı, parçacık malzemesi, parçacık büyüklüğü, parçacık şekli, temel akışkan türü ve sıcaklık gibi birçok faktöre bağlı olduğunu göstermektedir. Çalışmalar, ısı iletkenliğinin yanı sıra viskozitenin de temel akışkana kıyasla nanoakışkan kullanımı ile arttığını göstermiştir. Şimdiye kadar, çeşitli teorik ve deneyisel çalışmalar yapılmış ve nanoakışkanların ısı iletkenliği ve dinamik viskozitesi için çeşitli korelasyonlar önerilmiştir, fakat nanoakışkanın ısı iletim ve viskozite mekanizması üzerine ortak anlayış eksikliği nedeniyle genel bir korelasyon kurulmamıştır.

3.2.1 Isı İletkenlik

Isı iletkenlik kısaca bir akışkan veya parçacığın ısıyı sıcak taraftan soğuk tarafa doğru iletebilme kapasitesi olarak açıklanabilir. Nanoakışkanlarda ısı iletkenlik en önemli unsurdur, çünkü nanoakışkanın oluşturulmasının başlıca sebebi ısı iletkenliği daha iyi olan ısı transfer akışkanı ihtiyacıdır. Literatürde nanoakışkanların ısı iletkenlik modeli için geniş bir yelpazede deneyisel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Mevcut sonuçlar genellikle iki bileşenli bir karışımın etkin ısı iletkenliğinin tanımına dayanmaktadır. Maxwell'in 1881 yılında oluşturduğu ısı iletim modeli, nispeten büyük parçacıklara sahip katı-sıvı karışımı için önerilen ilk modellerden biridir. Maxwell'in ısı iletimi denklemini küre şeklindeki nano parçacıkların temel akışkan içerisindeki süspansiyonu için çözümlenmiştir. Denlem 3.3'de, k_p , parçacıkların ısı iletkenliğini, k_{eff} nanoakışkanın etkin ısı iletkenliğini, k_{bf} temel akışkanın ısı iletkenliğini ve ϕ katı parçacıkların hacim oranını göstermektedir.

$$k_{eff} = \frac{k_p + 2k_{bf} + 2(k_p - k_{bf})}{k_p + 2k_{bf} - (k_p - k_{bf})} k_{bf} \quad (3.1)$$

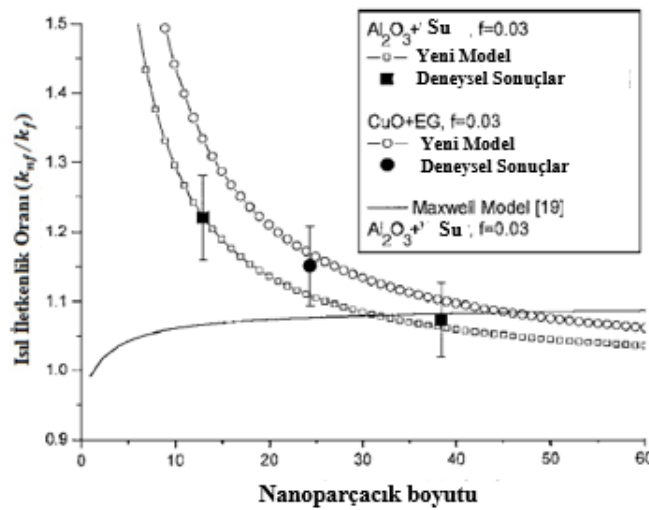
Deneyisel verilerdeki genel eğilim, nanoakışkanların ısı iletkenliğinin parçacık büyüklüğünün azalmasıyla arttığını göstermektedir. Bu eğilim teorik olarak iki ısı iletkenlik iyileştirmesi mekanizması tarafından desteklenmektedir; nanoparçacıkların Brownian hareketi ve nanoparçacıkların etrafında sıvı tabakalaşma. Bununla birlikte, literatürde azalan parçacık büyüklüğü ile azalan ısı iletkenliği gösteren önemli miktarda çelişkili veri bulunmaktadır. Yine yayınlanan sonuçlar incelendiğinde, ortak

bir ısı iletim hesaplama modeli bulunamamıştır, hatta bazı araştırmalarda aynı temel akışkan ve nanoparçacık boyutu için bile sonuçlarda büyük farklılıklar gözlemlenmiştir.

Isıl iletim, ısı transferi uygulamaları için bu yeni tasarlanmış süspansiyonların kapasitesini göstermek amacıyla nanoakışkanların en önemli termo-fiziksel özelliğidir. Bu özellik Nusselt ve Rayleigh sayılarını etkiler; her ikisi de akan bir akışın ısı transfer özelliklerini gösterir. Isı transferi uygulamalarında bir nanoakışkanın verimliliğini değerlendirmek için, ısı iletim, viskozite, yoğunluk, özgül ısı ve akışkanın akış rejimi de dahil olmak üzere nanoakışkanın termo-fiziksel özelliklerini değerlendirmek gerekir. Nanoakışkanlar karmaşık süspansiyonlardır ve ısı iletim, viskozite gibi termo-fiziksel ve taşıma özellikleri çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Farklı parametrelerin nanoakışkanların ısı iletimi üzerindeki etkileri, literatürdeki raporlara dayanarak gözden geçirilmiştir.

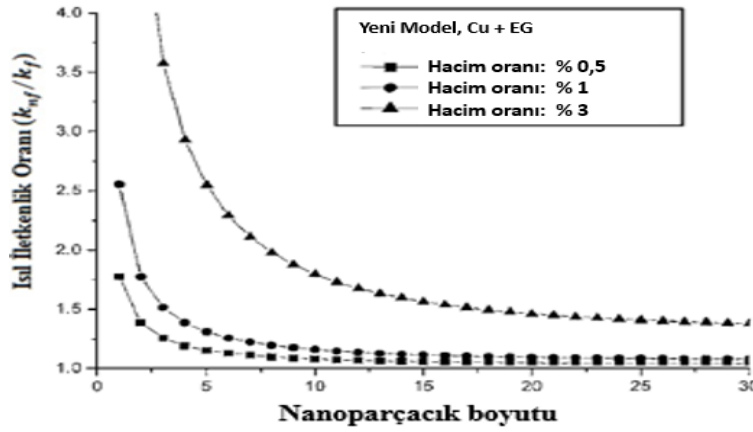
3.2.1.1 Parçacık boyutunun ve arayüzün ısı iletim üzerindeki etkisi

Nanoparçacık büyüklüğünün nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerindeki etkisi üzerine sistematik araştırmalar malesef henüz mevcut değildir. Şekil 3.3'te Jang ve Choi (2007)'nin yaptığı araştırmada göreceğimiz gibi, nanoparçacık çapı azaldıkça, nanoakışkanın ısı iletkenliği artar. Parçacık boyutu azaldıkça, nanoparçacıkların Brownian hareketi artar, parçacıklar ve su molekülleri arasında nano taşıma oluşur. Bunun sonucu olarak da nanoakışkanların ısı iletkenliği ve taşınımı artar.



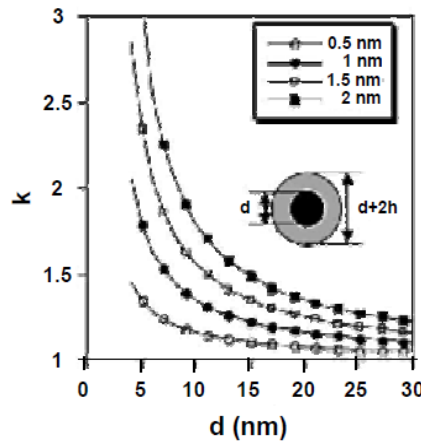
Şekil 3.3: Nanoparçacık boyutunun ısı iletkenlik üzerindeki etkisi (Jang ve Choi 2007).

Şekil 3.4’de 5 nm’den daha küçük nanoparçacıkların nanoakışkanların ısı iletkenliğini ciddi derecede arttırdığını gözlemleyebiliriz. Ancak, parçacıklar mikrometre boyutuna yaklaştıkça, ağırlıkları arttığı için temel akışkan içerisinde asılı kalmazlar. Böylece büyük mikroparçacıklarda Brownian hareketi daha fazla gözlemlenmez, aksine kümelenme ve çökelme başlar ve bu yüzden nanotaşınım yoluyla oluşan ısı iletkenlik gelişimi olmaz.



Şekil 3.4: Parçacıkların boyut artışının ısı iletkenlik üzerindeki etkisi (Jang ve Choi 2007).

Nanoakışkanlarda nanoparçacık boyutunun yanı sıra parçacıkların etrafında oluşan su katmanı arayüzünün de komşu katmanlar arasında temasla ısı iletkenliği arttırdığı bilinmektedir. Şekil 3.5’te görüldüğü gibi arayüzün miktarı arttıkça ısı iletkenlik artmıştır, aynı zamanda nanoparçacık boyutunun azalması her arayüz çapında ısı iletkenliği arttırmıştır. Tüm bu veriler incelendiğinde küçülen parçacık boyutunun nanoakışkanlarda ısı iletkenliği arttıracağını söyleyebiliriz.



Şekil 3.5: Arayüz boyutunun ısı iletkenlik üzerindeki etkisi (Kebllinski ve diğ. 2004).

3.2.1.2 pH değerinin ısı iletim üzerindeki etkisi

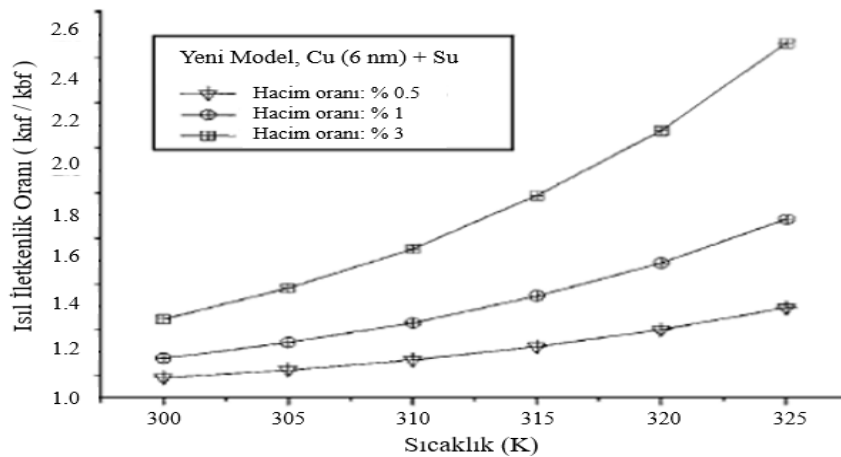
Nanoakışkanların ısı iletiminde pH'ın rolü hakkında birkaç çalışma vardır. Xie ve diğ. (2002) ve Lee ve diğ. (2006) sırasıyla su bazlı Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanları üzerinde pH değışiminin nasıl bir değışim gerçekteştirdiğini incelemişlerdir. Her iki çalışma sonucunda da oluşan karışımların pH'ının azalmasının akışkanın ısı iletimi arttırdığı göstermiştir.

3.2.1.3 Nanoparçacık yüzey ek maddesi kullanımının ısı iletim üzerindeki etkisi

Nanoakışkanlarda, sıvı ortamdaki nanoparçacıkların kümelenmesini önlemek için akışkanın yapısına uygun ek madde (surfactant) ile nanoparçacıklar kaplanıp akışkanın ısı iletkenliği artırılabilir. Bununla birlikte, yüzey ek maddesinin kullanımı nanoparçacıkların kümelenmesini önleyebilmesine rağmen, nanoparçacıkların termofiziksel özelliklerini etkileyebilir (Goharshadi ve diğ. 2014).

3.2.1.4 Sıcaklığın ısı iletim üzerindeki etkisi

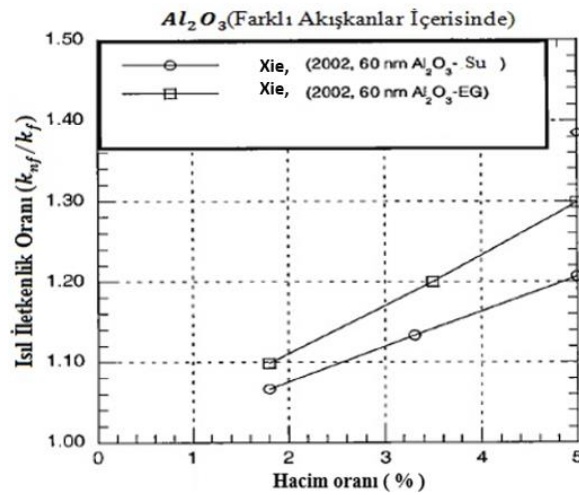
Şekil 3.6'da Jang ve Choi (2007)'in yaptığı araştırmada, Cu-Su nanoakışkanı için ısı iletkenliğin sıcaklık arttıkça sıvının dinamik viskozitesinin azalmasından ve nanoparçacıkların Brownian hareketinin artmasından dolayı arttığı belirtilmiştir. Dinamik viskozitenin azalması ve aynı zamanda Brownian hareketinin artmasından dolayı, nano taşınım süresi dikkat çekici şekilde artmıştır. Bu nedenle, ısı iletkenlik nanoakışkanlarda sıcaklıkla birlikte dramatik olarak artar diyebiliriz.. TiO_2 nanoparçacıkları içeren su bazlı nanoakışkanlar üzerinde yapılan bir çalışma ısı iletim artışının yüksek sıcaklıklarda, düşük sıcaklıklardan daha fazla olduğunu göstermiştir (Fedele ve diğ. 2012).



Şekil 3.6: Sıcaklığın ısı iletim üzerindeki etkisi (Jang ve Choi 2007).

3.2.1.5 Temel akışkanın nanoakışkanın ısıl iletimine etkisi

Temel akışkanın, nanoakışkanın ısıl iletimi üzerindeki etkisi literatürde çok geniş bir araştırma alanı bulmasa da, genel olarak daha düşük ısıl iletim katsayısına sahip olan temel akışkanların nanoparçacık karışımı sonrasında ısıl iletimlerinde daha fazla artış gözlenmiştir. Ana akışkanın, nanoakışkanların ısıl iletkenlik artışı üzerine etkisi şekil 3.7’de gösterilmektedir. Sonuçlar, daha düşük ısıl iletkenliğe sahip akışkanlar için yükselen ısıl iletkenlik artışı göstermektedir. Şekil 3.7’nin sonuçları, karşılaştırılan akışkanlar arasında en yüksek ısıl iletkenliğe sahip en iyi ısı geçişi akışkanı olan su için en az artışı göstermektedir. Tek başına etilen glikol su ile karşılaştırıldığında, nispeten zayıf bir ısı transferi akışkanıdır ve su ile etilen glikol karışımları ısı transfer etkililiği bakımından ikisinin arasına denk gelir. Bu nedenle, bu iki akışkanın karışımıyla oluşturulan akışkanlar sistemlerin soğutma uygulamaları için daha verimli sonuçlar vermektedir.

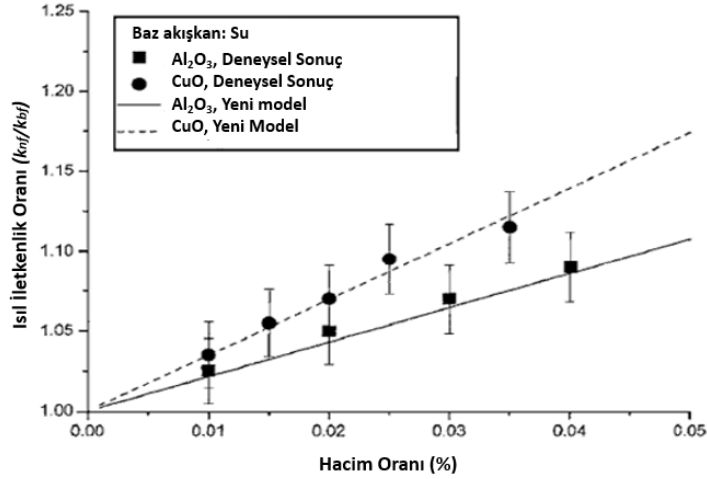


Şekil 3.7 : Ana akışkan malzemesinin etkisi (Yu ve diğ. 2007).

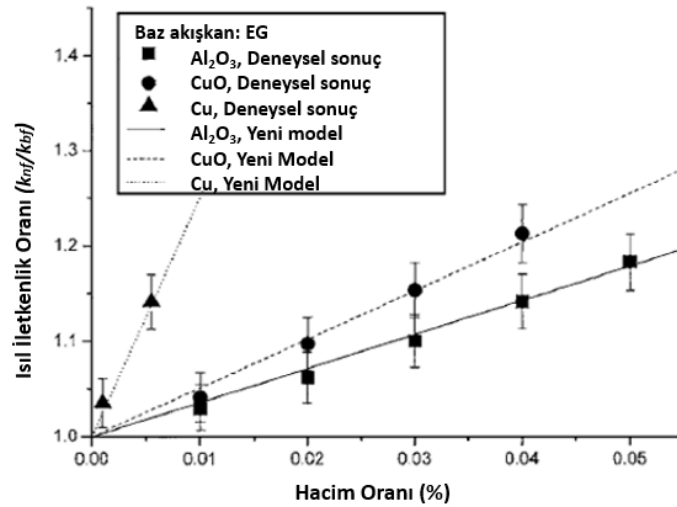
3.2.1.6 Hacimsel oranının ısıl iletkenlik üzerindeki etkisi

Nanoakışkanların ısıl iletimi, nanoparçacıkların akışkan içerisindeki miktarının artışıyla büyük ölçüde etkilenir. Literatürde, farklı parçacık kompozisyonları için nanoakışkanların ısıl iletimi geliştirmeleri hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Aynı parçacık bileşimi için, değişik hacimsel oranlarda genel olarak şu eğilim görülmektedir: nanoparçacık oranı arttığında ısıl iletim artmaktadır. Bu eğilim, Su, EG, Su - EG temel akışkanları ve farklı parçacık bileşimleri ile oluşturulan nanoakışkanlar için gözlenmiştir.

Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin nanoparçacık oranıyla arttığı Şekil 3.8 ve 3.9’da görülmektedir. Ancak, oran arttıkça, nanoparçacıkların baz akışkan içerisinde askıda kaldığı varsayımı da geçersiz olur. Bu nedenle, bu olgu sadece düşük oranlarda gözlemlenir diyebiliriz (Jang ve Choi 2007).



Şekil 3.8: Al₂O₃ – Su nanoakışkanı için hacimsel oranın etkisi (Jang ve Choi 2007).

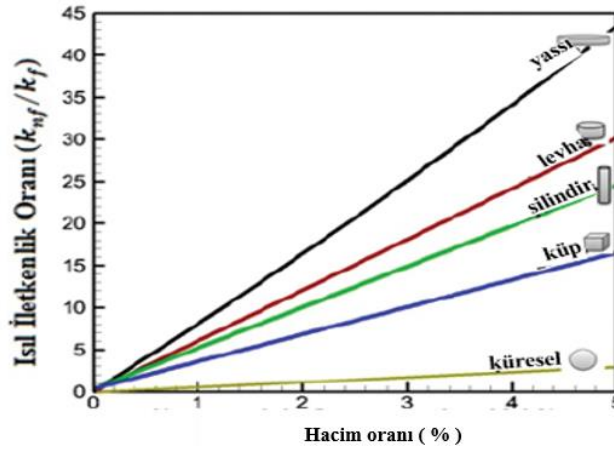


Şekil 3.9: CuO – EG nanoakışkanı için hacim oranının etkisi (Jang ve Choi 2007).

3.2.1.7 Nanoparçacık şeklinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisi

Literatürde nanoparçacık şekillerinin ısı iletkenlik üzerindeki etkisi incelenmiştir ve araştırmaların çoğunluğu aynı akışkan içine karıştırılan farklı şekildeki nanoparçacıkların ısı iletimi farklı şekilde etkilediğini göstermiştir. Şekil 3.10’da Al₂O₃ nanoparçacıkların şeklinin su içerisindeki karışımları için ısı iletimi iyileştirme üzerindeki etkisi Amin ve diğ. (2015) tarafından incelenmiştir. Şekil 3.10’da görüleceği üzere en yaygın olarak piyasada bulunmalarına rağmen, küresel şekilli parçacıkların ısı iletimi iyileştirmelerinin diğer şekillerle kıyaslandığında düşük

olduğu fark edilmektedir. Literatürde bunun sebebi, boyuna uzun parçacıkların birbirleriyle daha iyi etkileştikleri ve ısı iletimi arttırdıkları şeklinde açıklanmaktadır.



Şekil 3.10: Nanoparçacık şekillerinin ısı iletim üzerindeki etkisi (Amin ve diğ. 2015).

Nanoakışkan katı ve sıvıdan oluşan bir karışımdır ve bu karışımın ısı iletkenlik değeri içerisinde bulunan iki farklı maddenin arasında bir değer almaktadır. Nanoakışkanların ısı iletim değerleri karışım hacim oranları, parçacık boyutu, parçacık şekli, parçacık dağılımı, parçacık hareketi ve sıvı-parçacık arayüzü gibi etkilere bağlıdır. Yapılarının bütün detayları tam olarak bilinmedikçe nanoakışkanların efektif özelliklerini hesaplamak imkansızdır. Bu sorunu çözebilmek amacıyla araştırmacılar genellikle karışımların mikro yapıları konusunda bazı varsayımlara dayanarak efektif özellikleri hesaplamışlardır. Çizelge 3.1’de nanoakışkanların ısı iletkenliği ile ilgili literatürde yer alan klasik modeller sunulmuştur.

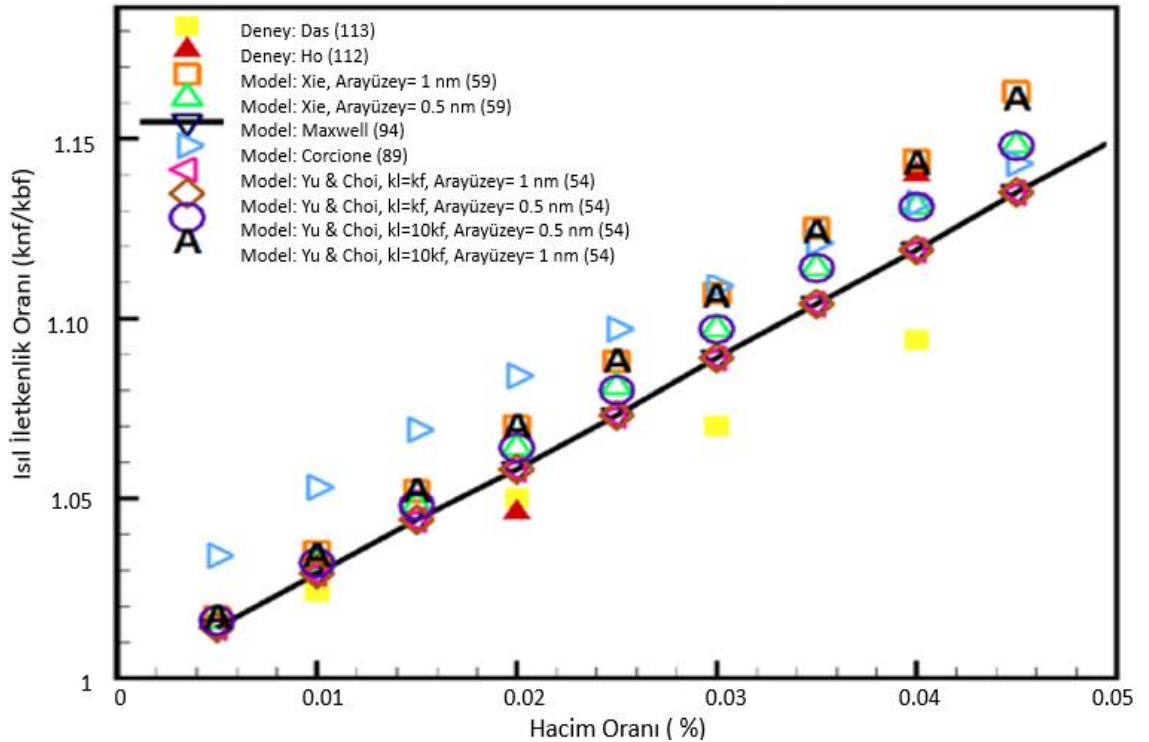
Çizelge 3.1: Literatürdeki başlıca ısı iletim modelleri (Aybar ve diğ. 2015).

Model Adı	Model	Uygulama Alanı
Maxwell 1881	$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = 1 + \frac{3 \left(\frac{k_{np}}{k_{bf}} - 1 \right) \varphi}{\left(\frac{k_{np}}{k_{bf}} + 2 \right) - \left(\frac{k_p}{k_{bf}} - 1 \right) \varphi}$	Küresel nanoparçacıklar
Bruggemann 1935	$\left(\frac{1}{\varphi + 1} - 1 \right) \left(\frac{k_p - k_{eff}}{k_p + 2k_{eff}} \right) = \left(\frac{k_{bf} - k_{eff}}{k_{bf} + 2k_{eff}} \right)$	Küresel nanoparçacıklar/yüksek hacim oranları
Wasp	$k_{eff} = \frac{k_{np} + 2k_{bf} + 2\varphi(k_{np} - k_{bf})}{k_{np} + 2k_{bf} - \varphi(k_{np} - k_{bf})}$	Küresel nanoparçacıklar

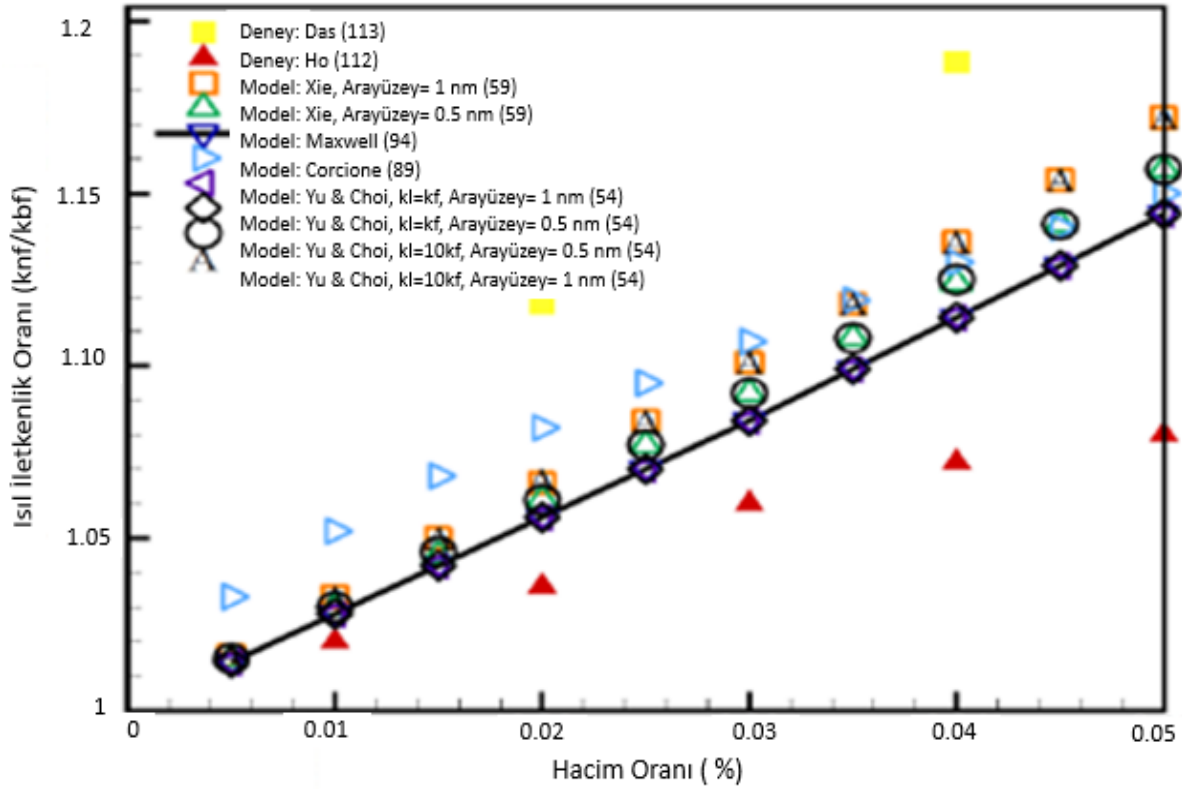
Çizelge 3.1 (devam): Literatürdeki başlıca ısı iletim modelleri.

Model Adı	Model	Uygulama Alanı
		Sıvı arayüz
Yu and Choi 2003	$\frac{k_{eff}}{k_{bf}} = \frac{k_{np} + 2k_{bf} + 2\phi(k_{np} - k_{bf})(1 - \beta)^2}{k_{np} - 2k_{bf} - \phi(k_{np} - k_{bf})(1 - \beta)^2}$	$k_{layer} = k_{np}$ ve $\beta = \frac{h}{r}$
		Küresel
Hamilton ve Crosser 1962	$\frac{k_{eff}}{k_{bf}} = \frac{k_{np} + (n-1)k_{bf} - (n-1)\phi(k_{bf} - k_{np})}{k_{np} + (n-1)k_{bf} + \phi(k_{bf} - k_{np})}$	nanoparçacıklar $n = \frac{3}{\omega} \frac{k_{np}}{k_{bf}} > 100$
Dinamik Model	$k_{eff} = k_f \left[1 + \frac{k_p \phi r_f}{k_f (1 - \phi) r_p} \right]$	Parçacıkların sıvı içerisinde askıda olduğu

Şekil 3.11 ve 3.12’de Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nanoakışkanlarının literatürde yer alan farklı ısı iletim hesaplama modelleri yardımıyla hesaplanan efektif ısı iletim katsayılarının ısı iletkenliği nasıl değıştirdiğı incelenmiştir. Her iki şekilde de görebileceğimiz gibi sabit bir hacimsel oran göz önünde bulundurulduğunda, aynı nanoakışkan için farklı ısı iletim modelleriyle yapılan analizlerde farklı fakat birbirleriyle uyumlu ısı iletim değęerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda düşük hacim oranlarında, hacimsel oranın artışı tüm iletim modelleri için ısı iletimi iyileştirmiştir.



Şekil 3.11: Al_2O_3 -Su için farklı ısı iletim modellerinin karşılaştırılması (Aybar ve diğ. 2015).

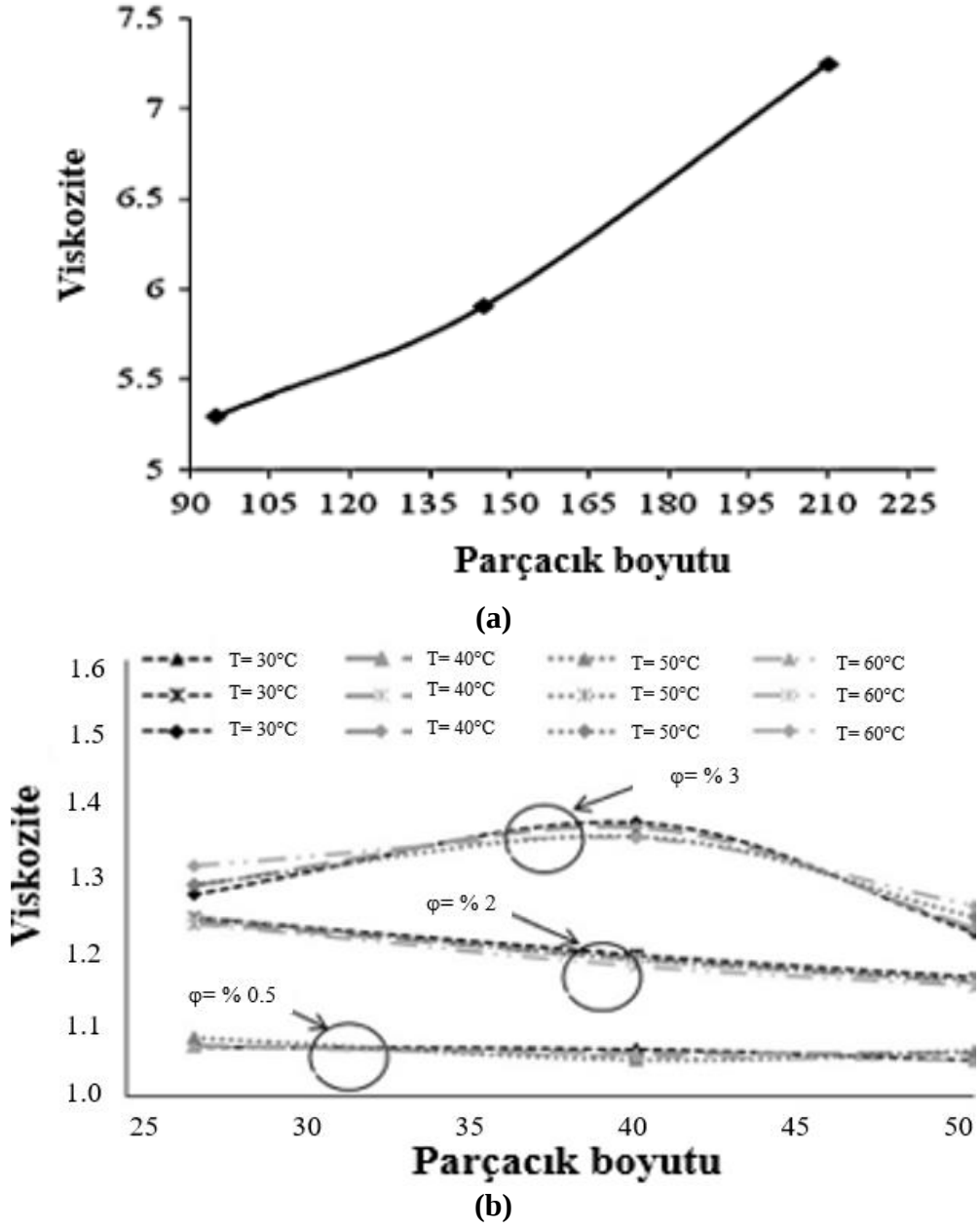


Şekil 3.12: CuO-Su için farklı ısı iletim modellerinin karşılaştırılması (Aybar ve diğ. 2015).

3.2.2 Viskozite

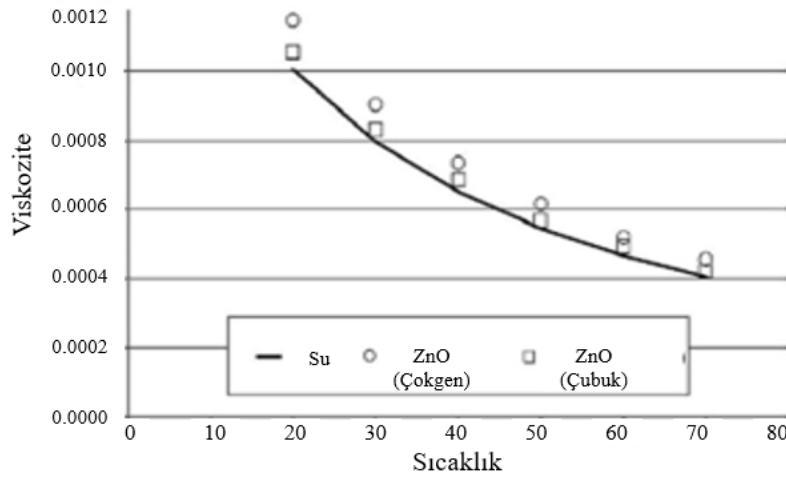
Viskozite akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanabilir. Genellikle herhangi bir akış esnasında akışkanın tabakaları farklı hızlarda hareket ederler ve akışkanın akmazlığı, uygulanan kuvvete karşı direnç gösteren tabakalar arasındaki yüzey gerilimlerinden dolayı ortaya çıkar. Viskozite nanoakışkanlarda taşınım ile ısı transferini iyileştirmekte kullanılan en önemli faktördür. Parçacıklar ve akışkanlar ile oluşturulan karışımların viskozitesini elde etmek için yapılan araştırmalar, aynı karışımların ısı iletkenlik katsayılarını bulmak için yapılan araştırmalardan daha eskiye dayanmaktadır. Nanoakışkanların viskozitesi, zorlanmış taşınımında basınç düşüşünü doğrudan etkilemesi nedeniyle pratikteki uygulamalarda önemli bir parametredir.

He (2007), TiO_2 -Su nanoakışkanının farklı nanoparçacık boyutları için yaptığı çalışmada 95-210 nm boyutunda parçacıklar kullanmıştır. Şekil 3.13 a'da nanoparçacık boyutunun artışının viskoziteyi arttıracak gözlemlenmiştir. Şekil 3.13 b'de Prasher ve diğ. (2006)'ın yaptığı çalışmanın sonucu verilmiştir ve genel bilginin aksine bu çalışmada viskozitenin nanoparçacık boyutunun bir fonksiyonu olmadığını ve hatta boyut artışının viskoziteyi çok küçük oranda arttırdığını belirtmiştir.



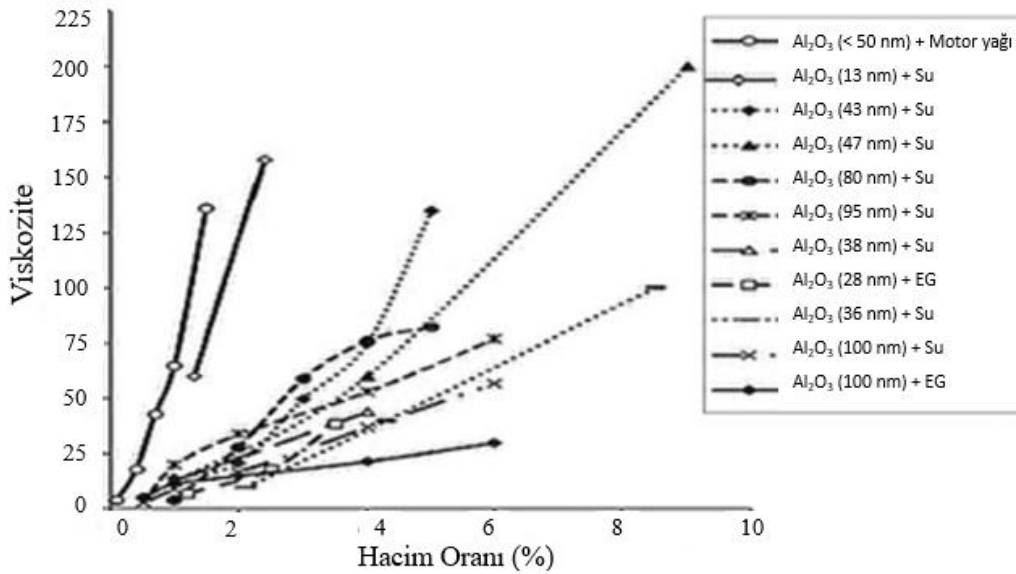
Şekil 3.13: Parçacık boyutunun viskozite üzerindeki etkisi (a) (He 2007)'nin sonuçları, (b) (Prasher ve diğ. 2006)'ın sonuçları.

Ferrouillat ve diğ. (2008) yaptığı çalışmada nanoparçacık şeklinin ve sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Şekil 3.14'te ZnO-Su nanoakışkanının çokgen ve çubuk şekilli türlerinin sıcaklık arttıkça performanslarını görebiliriz. Çalışmada çubuk şekilli nanoparçacıklarla oluşturulan akışkanların biraz daha az viskozitesi olduğu belirtilmiş ve sıcaklığın her durumda viskoziteyi düşürdüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14: Nanoparçacık şeklinin ve sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisi (Ferrouillat ve diğ. 2011).

Şekil 3.15’de farklı temel akışkanlar ve farklı boyutlardaki Al_2O_3 nanoparçacıklar kullanılarak oluşturulan nanoakışkanların hacim oranı arttığında viskozite üzerinde nasıl bir etki yaptığı Mahbulbul ve diğ. (2012) tarafından araştırılmıştır. Şekilde de görebileceğimiz üzere tüm nanoparçacık boyutlarında ve tüm baz akışkan türlerinde hacim oranının artışı viskoziteyi arttırmıştır.



Şekil 3.15: Hacimsel oranın viskozite üzerindeki etkisi (Mahbulbul ve diğ. 2012).

Nanoakışkanların viskozitesini hesaplamak için farklı viskozite modelleri araştırmacılar tarafından nanoakışkanın hacimsel oranının bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Bu modellerden ilki Einstein tarafından 1956 yılında önerilmiştir ve bu modelde hacim oranı % 5’ten düşük küresel katıların süspansiyonunun efektif viskozitesi belirtilmiştir. Sırasıyla μ_{eff} nanoakışkanın efektif viskozitesi, μ_{bf} akışkan viskozitesi, ϕ süspansiyon halindeki partiküllerin hacimsel oranıdır.

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = 1 + 2,5\varphi \quad (3.2)$$

Daha sonra, 1952 yılında Brinkman , Einstein'ın denklemini, tipik olarak % 4'ten daha az olan orta parçacık hacimsel oranı ile süspansiyonlara genişleten bir viskozite korelasyonunu sundu.

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{(1-\varphi)^{2,5}} \quad (3.3)$$

Brownian hareketinin sert küresel parçacıkların bir süspansiyonundaki etkin viskozite üzerindeki etkisi 1977 yılında Batchelor tarafından incelenmiştir. Süspansiyonun izotropik yapısı için etkili viskozite denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{1-2,5\varphi} \quad (3.4)$$

Daha sonra, 1951 yılında Mooney yüksek hacim oranında oluşturulan karışımların etkin viskozitesini hesaplamak için denklem 3.5'i sunmuştur. Bu denklemde $1,35 < k < 1,91$ ve $\xi=2,5$ 'dir (Mishra ve diğ. 2014).

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = e^{\left(\frac{\xi\varphi}{1-k\varphi}\right)} \quad (3.5)$$

3.2.3 Yoğunluk ve ısı kapasitesi

Yoğunluk ve özgül ısı kapasitesi nanoakışkanlarda taşınım ile ısı transferini iyileştirmekte etkili önemli faktörlerdir. Bir nanoakışkanın yoğunluğu Pak ve Cho'nun önerdiği (ρ_{nf}) denklem 3.6 ile verilen eşitliklerle bulunur. Burada ρ_{nf} , ρ_f , ρ_p sırasıyla nanoakışkan, ana akışkan ve parçacık yoğunluğunu temsil etmektedir.

$$\rho_{nf} = (1-\varphi)\rho_f + \varphi\rho_p \quad (3.6)$$

Nanoakışkanların ısı kapasitesi Xuan ve Roetzel'in önerdiği denklem 3.7 ile verilmiştir. Burada C_p , C_{pf} , C_{pp} sırasıyla nanoakışkan, ana akışkan ve parçacık ısı kapasitesini temsil etmektedir.

$$C_{p_{nf}} = \frac{(1-\varphi)\rho_f C_{p_f} + \varphi \rho_p C_{p_p}}{\rho_{nf}} \quad (3.7)$$

3.3 Korunum Denklemleri

Temel olarak bir akışın incelenebilmesi için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Süreklilik denklemi toplam kütle korunumunun genel bir ifadesidir. Bu denklem hız sınır tabakasının her noktasında sağlanmak zorundadır. Momentum denkleminin çözümüyle sınır tabaka içinde hız dağılımı bulunabilir.

Bir akışkan ısıtıldığı zaman veya akışkan yoğunluğu sıcaklıkla değiştiğinde, yoğunluk değişimleri üzerinde etkili olan yerçekimi kuvveti nedeniyle bir akış gerçekleşebilir. Bu tür yüzdürme odaklı akışlara doğal taşınım akışı denir. Kapalı bir alan içinde doğal taşınımı modellediğinizde, çözüm alan içindeki kütleye bağlı olacaktır. Yoğunluk bilinmediği sürece bu kütle bilinmeyeceği için, akış için bir model belirlememiz gerekir ve Boussinesq modelini kullanarak kararlı durum hesaplaması yapılabilir. Bu yaklaşımda akışkanın yoğunluğu sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ele alınıp, sabit bir yoğunluk belirlenecek, böylece kütle uygun bir şekilde belirtilebilecektir fakat bu yalnızca alandaki sıcaklık farklılıkları küçükse geçerlidir. Birçok doğal taşınım akışı için, Boussinesq modeliyle daha hızlı bir yakınsama elde edebiliriz. Bu model, momentum denklemindeki kaldırma kuvveti hariç, tüm çözülmüş denklemlerde yoğunluğu sabit bir değer olarak ele alır:

$$(\rho - \rho_0) \approx \rho_0 \beta (T - T_0) \rho \quad (3.8)$$

Bu çalışmada, katı ve akışkan fazlar tek faz olarak kabul edilmiştir. Doğal taşınım hesaplamalarında aşağıdaki korunum denklemleri kullanılmıştır. Sırasıyla süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ;

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.9)$$

Momentum denklemi;

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{d^2 u}{dy^2} \right) \quad (3.10)$$

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{d^2 v}{dx^2} + \frac{d^2 v}{dy^2} \right) + (\rho\beta)_{nf} g(T - T_c) \quad (3.11)$$

Enerji Denklemi;

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k_{nf}}{(\rho C)_{nf}} \left(\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} \right) \quad (3.12)$$

Denklemlerdeki, β ısıl genişleme katsayısını, ρ_{nf} , k_{nf} ve μ_{nf} sırasıyla nanoakışkanın yoğunluğunu, ısı iletim katsayısını ve viskozitesini göstermektedir. t zamanı, u yatay yöndeki hızı, v düşey yöndeki hızı ifade etmektedir.

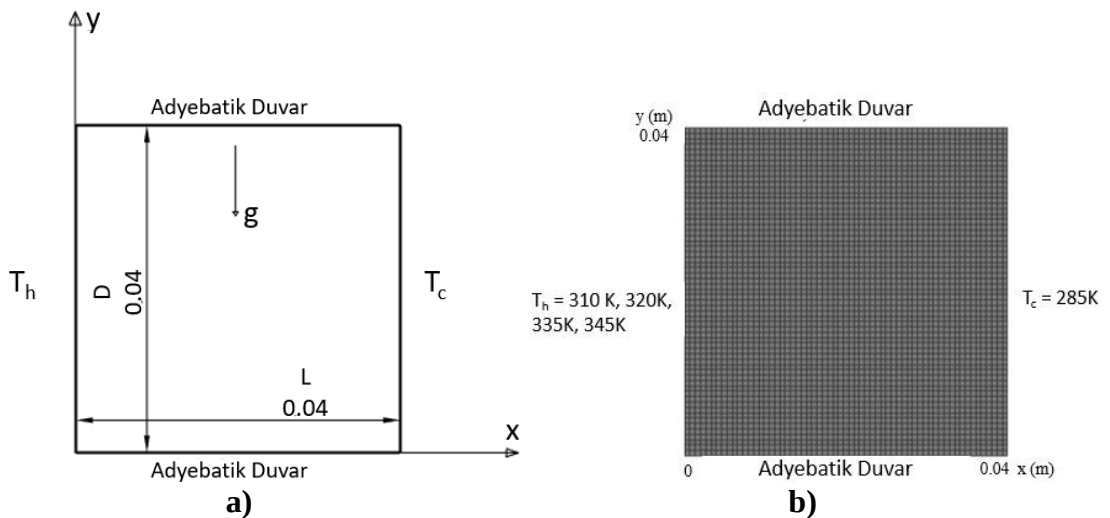
4. NANOAKISKANLARDA DOĞAL TAŞINIMIN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Bu çalışma, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımı kullanılarak Cu-CuO-Ti-TiO₂-Al₂O₃ nanoparçacıkları, su ve Etilen Glikol temel akışkanları kullanılarak oluşturulan nanoakışkanların doğal taşınım için ısı transfer potansiyelleri incelenmiştir. Sayısal çalışma hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ANSYS-Fluent'te gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanların termo-fiziksel özellikleri hacim oranı, nanoparçacıkların büyüklüğü, baz sıvı moleküllerinin büyüklüğü ve sıcaklığa göre çeşitli modeller yardımıyla hesaplanmıştır.

Putra ve diğ. (2003) deney düzeneğinde kullanıldığı gibi $L / D = 1.0$ geometrisinde simülasyonlar yapılmıştır. Çalışmada hacimsel oran değerleri: % 0,5, 1, 2, 5, 7,5, 10 Rayleigh sayısı değerleri: $2,39 \times 10^7$, $4,8 \times 10^7$, $9,8 \times 10^7$ ve $1,6 \times 10^8$ için analizler yapılmıştır.

4.1 Matematik Model

Çalışmada kullanılan matematik model, Şekil 4.1(a)'da görüldüğü gibi, sol duvarı sıcak (T_h), sağ duvarı soğuk (T_c), alt ve üst duvarları yalıtılmış içerisinde nanoakışkan içeren bir kare kap olarak seçilmiştir.



Şekil 4.1: Matematiksel model ve kafes yapısı

Geometri ve ızgara, ANSYS-FLUENT programı kullanılarak elde edilmiştir. ANSYS bir analiz programı olup FLUENT programının içerisinde CFD analizi yapmak için kullanılan bir işlemcidir. Şekil 4.1 (b) modelde kullanılan kafes (mesh) yapısını göstermektedir.

Programda ilk etapta Geometry bölümünde model 2 boyutlu çizildikten sonra Desing Modeler yardımıyla modelin geometrik yapısı tanımlanır, kullanılan akışkan seçilir. Bir sonraki adımda kafes yapısı belirlendikten sonra model CFD analizine hazır hale gelir ve Fluent'e aktarılır.

4.2 Sayısal Analiz

Varsayımlar; temel akışkan içerisindeki nanoparçacıklar homojen bir şekilde sıvının içerisine dağılır ve akışkan durumuna gelir ve böylece nanoakışkan karışımı tek faz olarak kabul edilir. Ayrıca, nanoparçacıkların ve temel akışkanın birbirleriyle ısı dengede olduğu ve parçacıkların akışkan içerisinde durgun olduğu düşünülür ve bu yüzden başlangıç hızı ihmal edilip, sıfıra eşit olduğu varsayılmaktadır. Etkili fiziksel özellikler, nanoparçacıkların sıcaklık ve hacim oranına ve hem temel akışkanın hem de süspansiyon halindeki parçacıkların özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla, tek fazlı akışın iyi bilinen denklemleri yani kütle, momentum ve enerjinin korunum denklemleri kolayca genişletilebilir ve nano-akışkanlar için kullanılabilir.

Korunum denklemleri, ayrıştırılmış çözücü (Pressure Based Solver) kullanılarak sayısal olarak çözüldü. Tüm simülasyonlar için zamandan bağımsız (kararlı durum) çözücü kullanılmıştır. Doğal taşınım akışının simülasyonu için Laminar model, basınç – hız ikilisi (pressure – velocity coupling) için SIMPLE şeması ve basınç için Presto çözümleri kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de temel akışkan olarak kullanılan su ve etilen glikolün ortalama sıcaklıklara göre termo fiziksel özellikleri verilmiştir. Çizelge 4.2'de verilen nanoparçacıkların verileri ile değişik hacim oranlarında oluşturulan tüm malzeme özellikleri kullanıcı tanımlı fonksiyon (UDF) kullanılarak sisteme girilmiştir. Tüm simülasyonlar için ikinci dereceden karar verme şeması (Second order discretization scheme) kullanıldı. İterasyonlar tüm değerler için hata 10^{-6} olana kadar Gauss - Siedal metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm malzeme özellikleri, başlangıç sıcaklık değerleri ve hacim oranları Fluent'deki simülasyonları çalıştırmak için kullanılmıştır.

Çizelge 4.1: Su ve Etilen Glikol'un ortalama sıcaklıklara göre termo fiziksel değerleri (Rashmi ve diğ. 2011)

Temel akışkan	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl Kapasite (J/kg K)	Isıl İletkenlik (W/m K)	Viskozite (Pa s)	Isıl Genleşme (1/K)
Su					
T _{ort} = 297,5 K	997,13	4180	0,613	0,000891	0,0002
T _{ort} = 302,5 K	995,12	4178,65	0,613	0,000809	0,000266
T _{ort} = 310 K	994,42	4178	0,613	0,000724	0,000333
T _{ort} = 315 K	991,46	4179	0,613	0,000629	0,0004
Etilen Glikol					
T _{ort} = 297,5 K	1114,2	2415	0,255	0,01572	0,0002
T _{ort} = 302,5 K	1109,1	2440,7	0,255	0,01337	0,000266
T _{ort} = 310 K	1101,3	2479,3	0,255	0,00989	0,000333
T _{ort} = 315 K	1096,2	2505	0,255	0,00757	0,0004

Çizelge 4.2: Nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki termo fiziksel değerleri (Öztıp ve diğ. 2008).

Nanoparçacık	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl Kapasite (J/kg K)	Isıl İletkenlik (W/m K)
Cu	8933	385	400
CuO	6500	536	19,991
Ti	4500	522	21,9
TiO ₂	4250	686,2	8,9538
Al ₂ O ₃	3970	765	40

Çizelge 4.1'deki temel akışkan verileri ve Çizelge 4.2'deki nanoparçacık verileri kullanılarak, denklem 4.1'deki ısı iletkenlik, denklem 4.2'deki yoğunluk, denklem 4.3'deki ısı iletkenlik ve denklem 4.4'deki viskozite modelleri uygulanarak nanoakışkanların termo fiziksel özellikleri elde edilmiştir.

$$k_{eff} = k_f \left[1 + \frac{k_p \phi r_f}{k_f (1 - \phi) r_p} \right] \quad (4.1)$$

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_f + \phi \rho_p \quad (4.2)$$

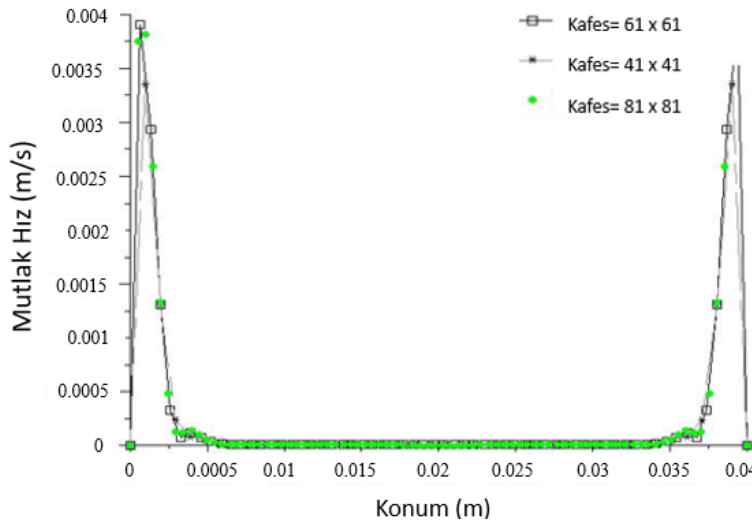
$$Cp_{nf} = \frac{(1 - \phi) \rho_f Cp_f + \phi \rho_p Cp_p}{\rho_{nf}} \quad (4.3)$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{1 - 2,5\phi} \quad (4.4)$$

Denklem (4.1)'de, r_f akışkan parçacığının çapını (3.2×10^{-10} m) ve r_p nanoparçacığın çapını (131×10^{-9} m) ifade etmektedir (Rashmi ve diğ. 2011).

4.3 Kafes Boyutunun Belirlenmesi

CFD analizlerine Fluent'te başlamadan önce matematik modele uygun, çözümü rahatlatarak kafes boyutu seçilmesi ve bunun geometriye uygulanması gerekir. Yapılan çalışmada iki boyutlu kapalı kare yüzey için 41x41, 61x61 ve 81x81 kafes boyutları geometriye uygulanmıştır. Sınır koşulları, sıcak ve soğuk duvarlar sırasıyla 310 ve 285 K, üst ve alt duvarların adyabatik olduğu durumda saf su için belirtilen üç kafes boyutu için analizler gerçekleştirilmiş ve geometri orta kesiti için hız profilleri Şekil 4.2'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Şekil 4.2'de 61 x 61 ve 81 x 81 nolu kafes boyutlarının hız profillerinin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür ve bu yüzden tüm çalışmalar analizlerin daha hızlı sonuçlanması için 61x61 kafes boyutuyla yapılmıştır.



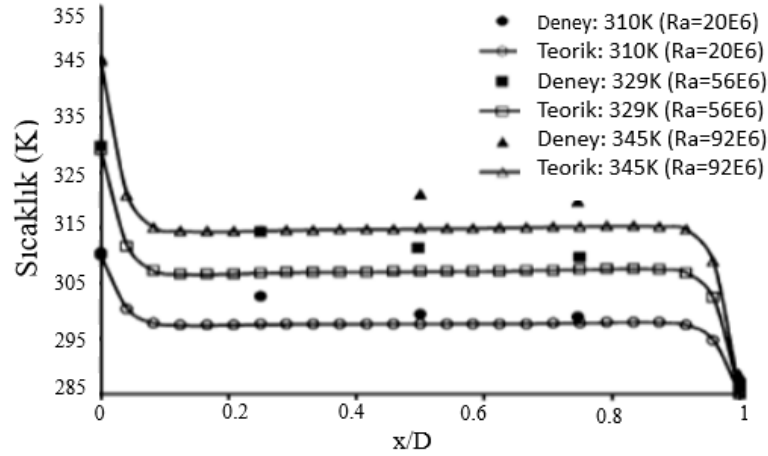
Şekil 4.2: 41 x 41, 61 x 61 ve 81 x 81 değerleri için kafes boyutunun belirlenmesi.

4.4 Çalışmanın Doğrulanması

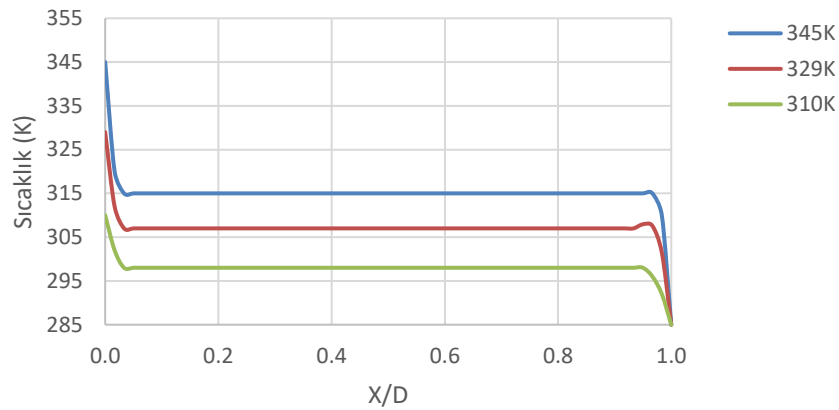
Analizlere başlamadan önce yapılan çalışmanın doğruluğunu göstermek adına saf su için sayısal simülasyonlar yapıp, bu sonuçlar referans alınan Rashmi ve diğ. (2011)'in sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Nusselt sayısı, üç farklı Rayleigh numarası için sıcak duvarda 310 K, 329 K ve 345 K sıcaklıklarına ve soğuk duvarda 285 K sabit sıcaklığına göre hesaplanmıştır. Şekil 4.3 referans makalede ve Şekil 4.4 tez çalışmasında, saf su için üç farklı sıcak duvar

sıcaklığında kare kabın orta kesitindeki sıcaklık profillerini göstermektedir. Rashmi ve diğ. (2011)'de deneysel çalışma ile de karşılaştırma mevcuttur. Şekillerde de görüldüğü üzere referans makale ve tez çalışması için sıcaklık profilleri uyum içindedir.



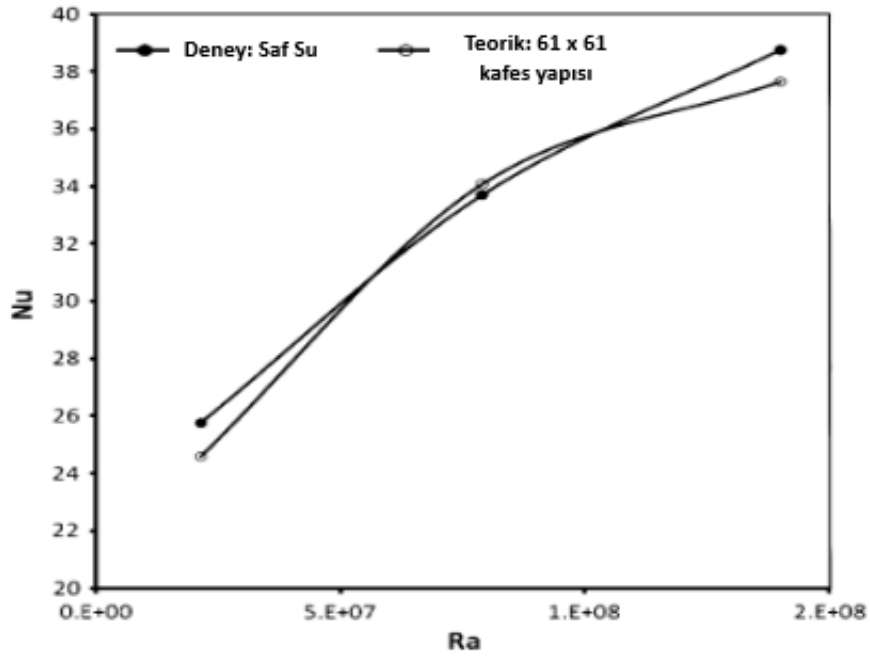
Şekil 4.3: Referans makalede kabın orta kesitinde sıcaklık değerleri.



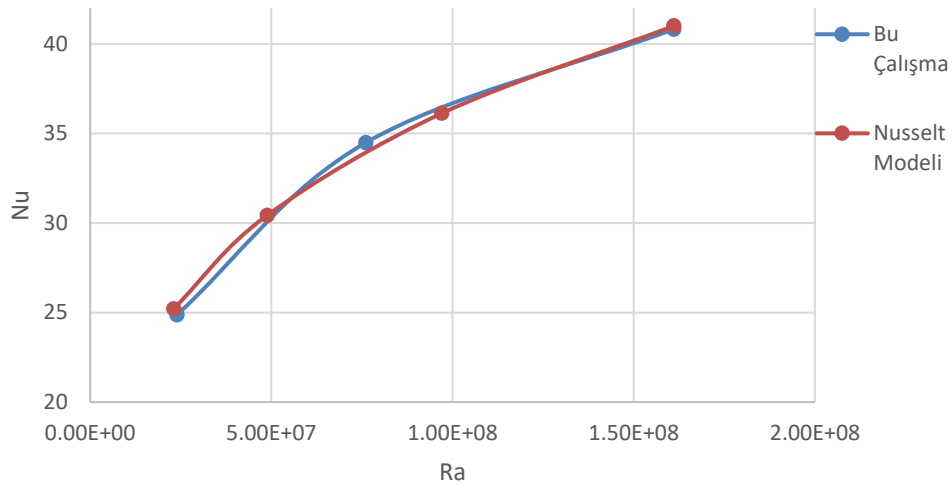
Şekil 4.4: Tez çalışmasında kabın orta kesitinde sıcaklık değerleri.

Şekil 4.5 referans makale ve Şekil 4.6 tez çalışması için Ra sayısının $2,39 \times 10^7$, $7,6 \times 10^7$ ve $1,61 \times 10^8$ değerlerinde elde edilen Nu sayısı göstermektedir. Grafiklere bakıldığında beklendiği gibi, hem bu tez hem de makale sonuçlarında, Rayleigh sayısında artış olduğunda Nusselt sayısı da artış göstermektedir ve artışlar benzer bir davranış göstermektedir. Ayrıca literatürde paylaşılan Nusselt modelleri yardımıyla Rayleigh sayısı ve sabit sayılar kullanılarak Nusselt verileri çalışma verileriyle karşılaştırılmış ve yine benzer bir eğilim gösterdiği gözlemlenmiştir (Faghri 2010).

$$Nu = 0,346 \frac{H}{L} Ra^{1/4} \quad (4.5)$$

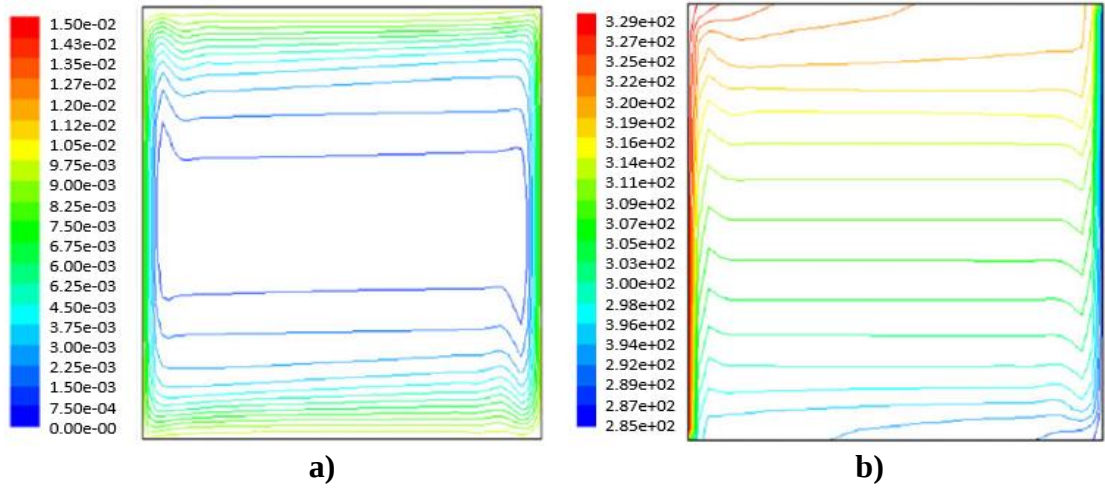


Şekil 4.5: Rashmi ve diğ. (2011)'de farklı Ra sayısı değerlerine göre Nu sayısının değişimi.

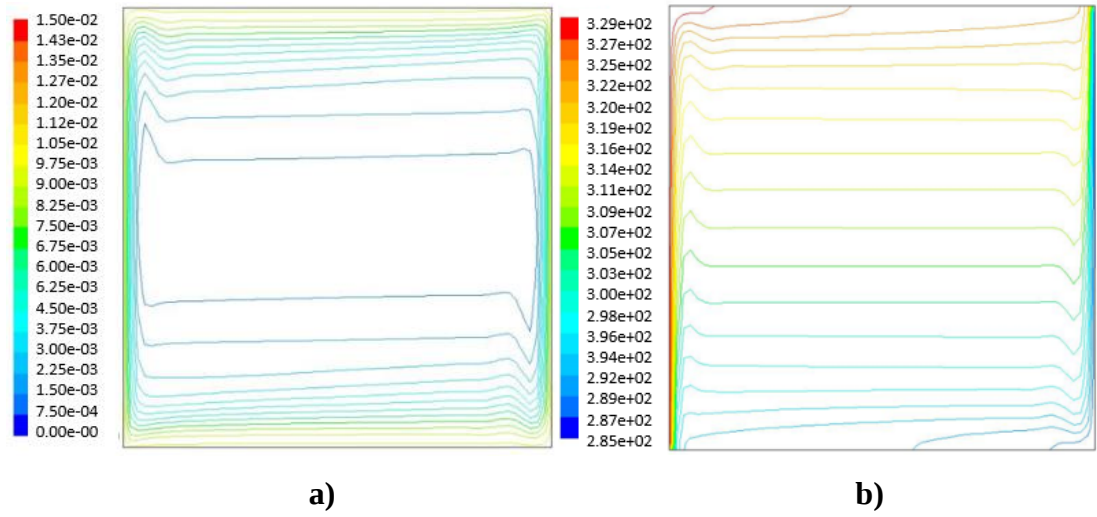


Şekil 4.6: Tez çalışmasında farklı Ra sayısı değerlerine göre Nu sayısının değişimi ve sonuçların Nusselt Modeli sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 4.7, $Ra = 7,6 \times 10^7$ için Rashmi ve diğ. (2011)'e ait akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerini, Şekil 4.8, aynı Ra sayısı için tez çalışmasında elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerini göstermektedir. Şekillerden de görülebildiği gibi, iki çalışmaya ait sonuçlar birbirleriyle uyum içerisindedir.



Şekil 4.7: $Ra = 7,6 \times 10^7$ için referans çalışma a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



Şekil 4.8: $Ra = 7,6 \times 10^7$ için tez çalışması a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.

4.5 Doğal Taşımının Sayısal Olarak İncelenmesi

Tüm nanoakışkanlar Ansys Fluent programında analiz edildikten sonra toplam yüzey ısı akısı (Q), yüzey integralleri kullanılarak her durumda sıcak duvardan hesaplanmıştır. Isı transfer katsayıları daha sonra denklem 4.5'te verilen toplam yüzey ısı akısı değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Nusselt sayısı ve Rayleigh sayısı denklem 4.6 - 4.7 ve UDF'lerden elde edilen nanoakışkanların malzeme özellikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Cu, CuO, Ti, TiO₂, Al₂O₃ – Su ve Cu, CuO, Ti, TiO₂, Al₂O₃ – Etilen Glikol nanoakışkanları için % 0,5, 1, 2, 5, 7,5, 10 hacim oranları için ve en-boy oranı $L / D = 1$ için Nusselt sayısı ile Rayleigh sayısı aşağıdaki deklemler yardımıyla elde edilmiştir. Denklem 4.6'te A alanı, T_h sıcak duvar sıcaklığını, T_c soğuk duvar sıcaklığını, Q sıcak

duvardan çekilen ısı miktarını, denklem 4.7’de L kap uzunluğunu, k ısıl iletim katsayısını, h ısıl taşınım katsayısını, denklem 4.8’de β_n ısıl genleşme katsayısını, g yerçekimi ivmesini, η_n kinematik viskoziteyi, α_n termal yayılma katsayısını göstermektedir.

$$h = \frac{Q}{A(T_h - T_c)} \quad (4.6)$$

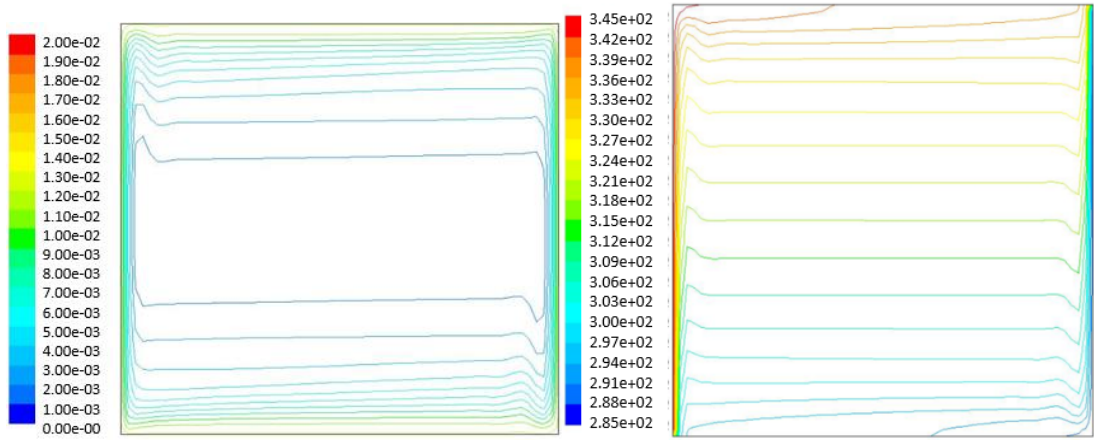
$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (4.7)$$

$$Ra = \frac{g\beta_n\Delta TL^3}{\eta_n\alpha_n} \quad (4.8)$$

4.5.1 Hacimsel oranın etkisi

Bu çalışmada hacimsel oranın etkisi incelenirken, kabın sıcak duvarın sıcaklığının 345 K ve soğuk duvar sıcaklığının 285 K olduğu durum yani $Ra = 1,61 \times 10^8$ olduğu durum sabit sıcaklık aralığı olarak seçilmiştir. Her nanoparçacık temel akışkanların içerisine 6 farklı hacim oranında karıştırılmış ve bu hacim oranın artışının akışkanın akış hızını ve ısı transferini nasıl etkilediği incelenmiştir. Şekil 4.9’de akışkan olarak sadece suyun olduğu nanoparçacık hacimsel oranın sıfır olduğu hal için akım ve eş sıcaklık eğrileri görülmektedir. Şekil 4.10- 4.15, CuO – Su nanoakışkanının % 0,5, % 1, % 2, % 5, % 7,5 ve % 10 hacimsel oranlarında akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerini göstermektedir. Şekillerdeki akım çizgileri incelendiğinde, kabın orta bölgesinde büyük bir akım hücresi olduğu görülmektedir. Aynı tür nanoakışkan için hacim oranının arttığı durumda grafikler karşılaştırıldığında kabın ortasında oluşan hücre daralmaya başlamakta ve kabın kenarlarına yakın kısımlarında akışkanın akış hızı artmaktadır. Kabın merkezindeki hücrenin içerisinde akışkanın durgun olduğu ve bu durgun bölgenin hacimsel oranın artışıyla küçüldüğü, aynı zamanda hacimsel oranın artışıyla kabın kenarlarına yakın bölgelerdeki akış hızının artması bize hacimsel oranın artışının akışkan hızını da arttırdığını göstermektedir.

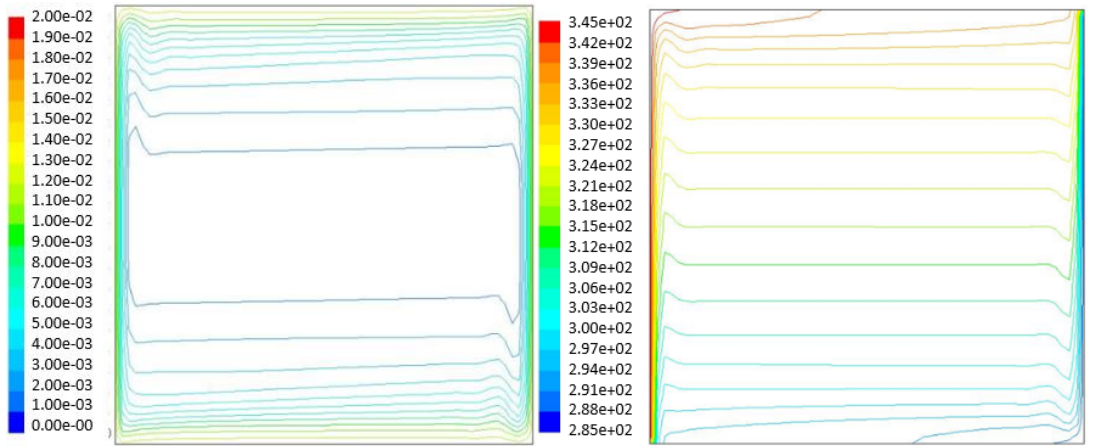
Eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde, hacim oranın artması sıcaklık eğrileri üzerinde gözle görülür bir değişim yaratmamaktadır, fakat kap içerisindeki parçacıkların hızı arttığı için ısı transferinin iyileştiği bilinmektedir.



a)

b)

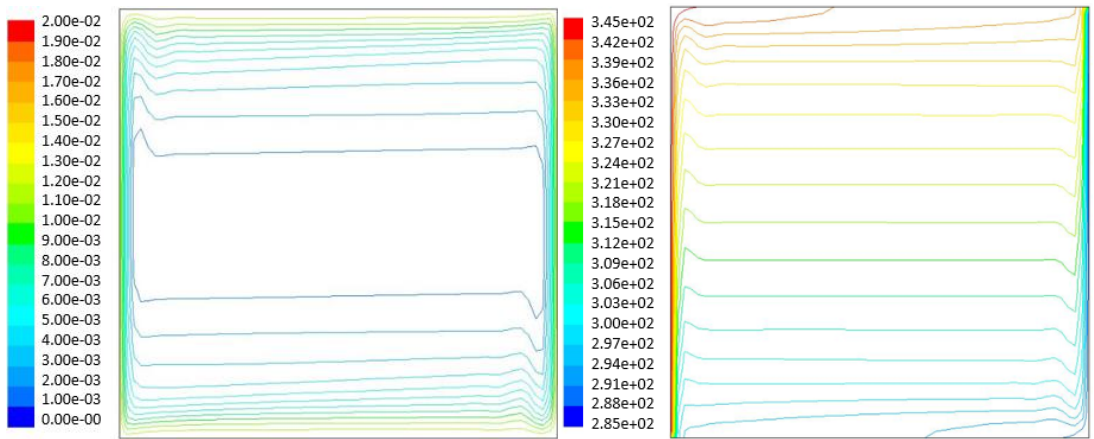
Şekil 4.9: Saf su a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



a)

b)

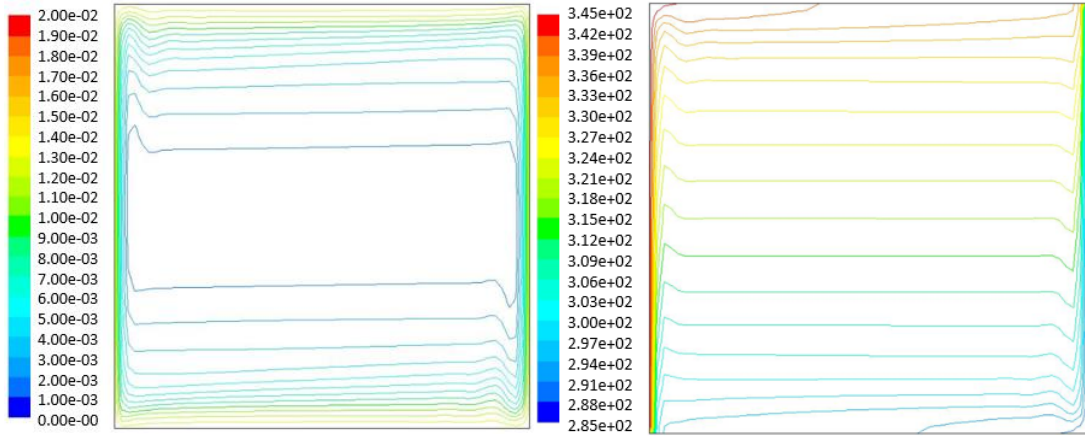
Şekil 4.10: CuO – Su, $\phi = \% 0,5$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



a)

b)

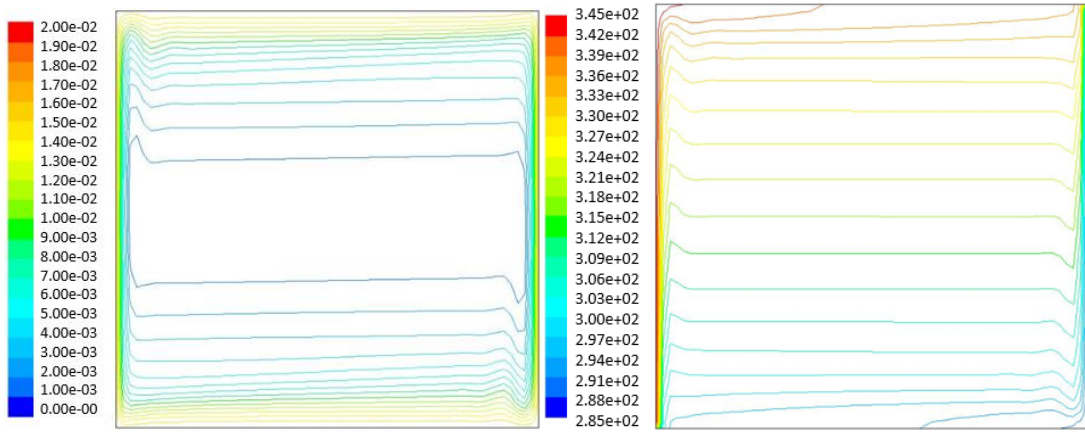
Şekil 4.11: CuO – Su, $\phi = \% 1$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



a)

b)

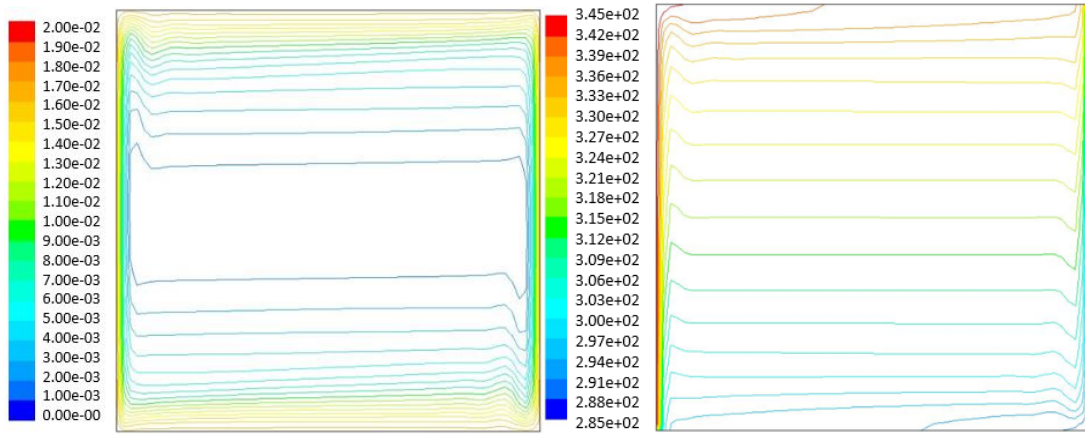
Şekil 4.12: CuO – Su, $\phi = \% 2$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



a)

b)

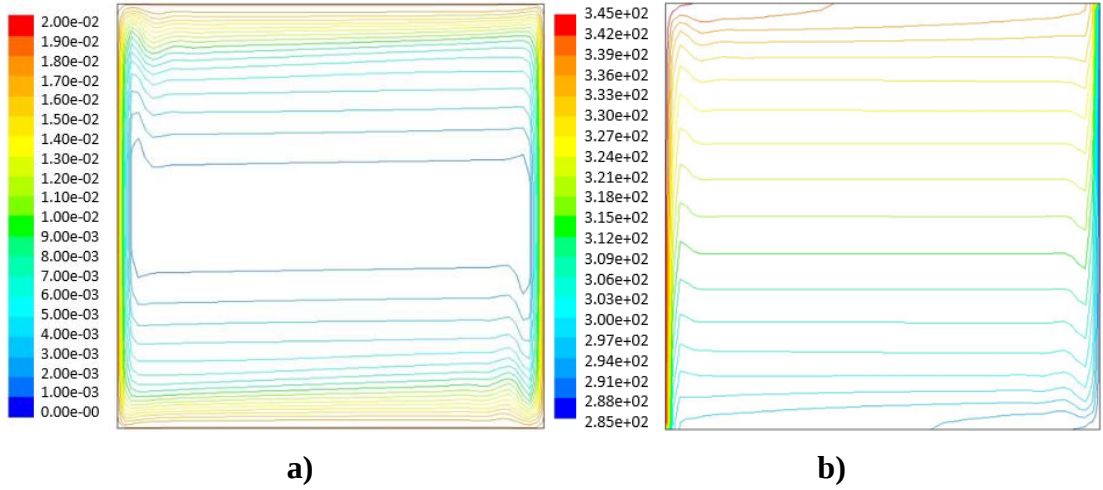
Şekil 4.13: CuO – Su, $\phi = \% 5$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



a)

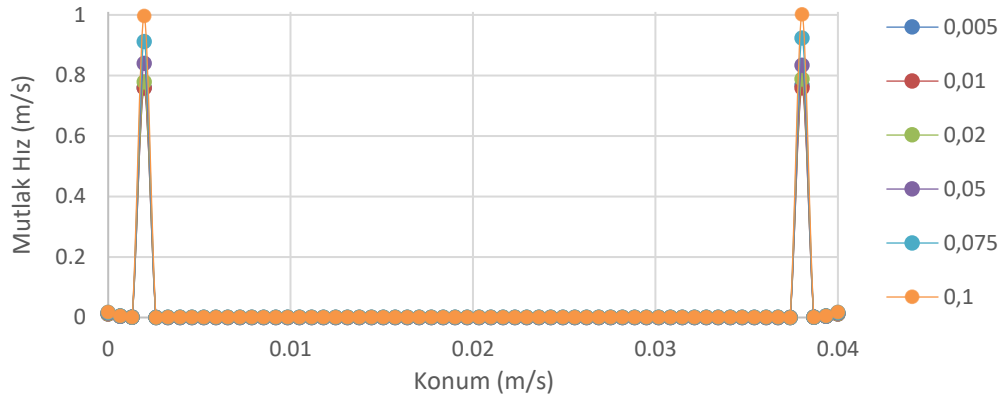
b)

Şekil 4.14: CuO – Su, $\phi = \% 7,5$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



Şekil 4.15: CuO – Su, $\phi = 10\%$ için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.

Şekil 4.16’da CuO –Su nanoakışkanı için sabit Rayleigh sayısında hacim oranı artışının geometri orta kesiti için akışkanın mutlak hızını (yani hızın yön bağımsız büyüklük değerini) nasıl değiştirdiği incelenmiştir ve yapılan incelemelerden sonra hacim oranının artışının akışkanın hızını arttırdığı gözlemlenmiştir.



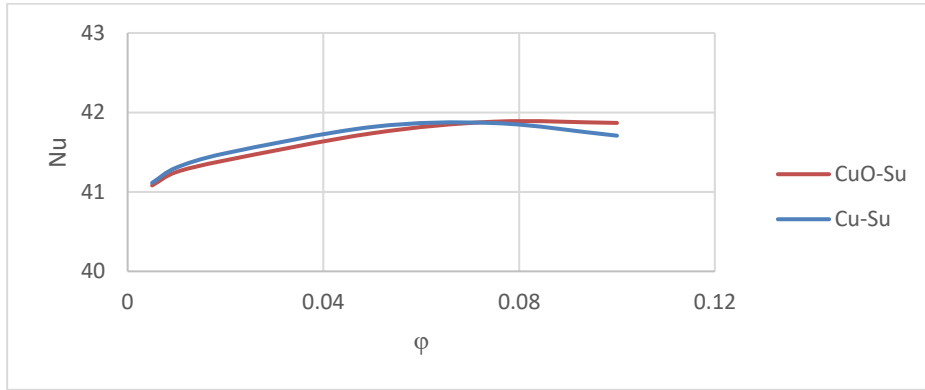
Şekil 4.16: Sabit Rayleigh sayısında hacim oranı artışının nanoakışkanların mutlak akış hızları üzerindeki etkisi.

Şekil 4.17, CuO – Su ve Cu – Su nanoakışkanlarının, $Ra = 1,61 \times 10^8$ ’de hacim oranı değişiminin Nusselt sayısı üzerine etkisini göstermektedir. Şekil 4.21 ise Ti – Su, TiO_2 – Su ve Al_2O_3 – Su nanoakışkanlarının $Ra = 1,61 \times 10^8$ için, hacim oranı değişiminin Nusselt sayısı üzerine etkisini göstermektedir. Analizler sonucunda yapılan incelemede literatürde bir çok makalede de belirtildiği gibi hacim oranının artışı bazı nanoakışkanların Nusselt sayısını arttırmış fakat aynı zamanda yüksek hacim oranlarında bazı nanoakışkanların Nusselt sayısını da azalttığı gözlemlenmiştir.

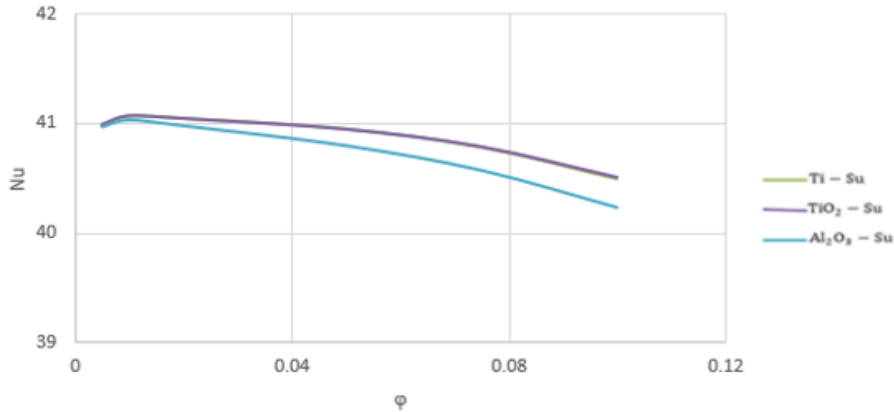
Şekil 4.17’de görebileceğimiz üzere hacim oranının artışı CuO – Su ve Cu – Su nanoakışkanları için % 7,5 hacim oranı değerine kadar Nusselt sayısını arttırmakta,

sonrasında ise azaltan bir eğilim göstermektedir. Örneğin, CuO – Su nanoakışkanı için $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de hacim oranı % 2 olduğunda Nu sayısının artışı yaklaşık % 1,5 kadardır. Aynı nanoakışkan için $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de hacim oranı % 7,5'a arttırıldığında Nu sayısının artışı yaklaşık % 4 olmaktadır.

Şekil 4.18'de görebileceğimiz gibi Ti – Su, TiO_2 – Su ve Al_2O_3 – Su nanoakışkanları için hacim oranının artışı % 2'lik hacim oranına kadar Nusselt sayısını arttırmakta, sonraki hacim oran değerleri Nusselt sayısını azaltmaktadır.



Şekil 4.17: $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de CuO – Su ve Cu – Su nanoakışkanları için hacim oranı değişiminin Nu sayısı üzerine etkisi.



Şekil 4.18: $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de Ti – Su, TiO_2 – Su ve Al_2O_3 – Su nanoakışkanları için hacim oranı değişiminin Nu sayısı üzerine etkisi.

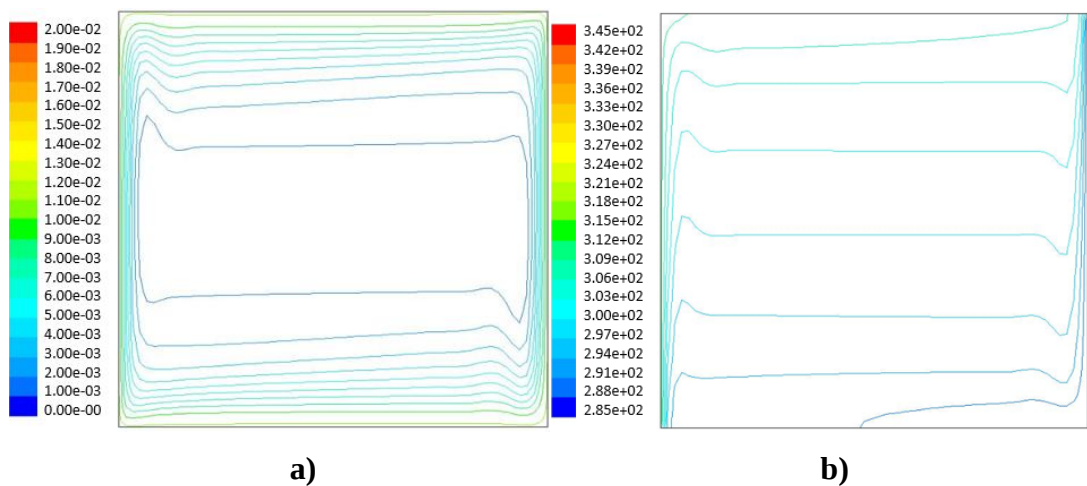
4.5.2 Rayleigh sayısının etkisi

Akışkanlar mekaniğinde Rayleigh sayısı akışkanın yüzdürülmesi esasına dayanan doğal taşınım akışıyla ilgili boyutsuz bir sayıdır. Rayleigh sayısının 1708 değerine kadar akışkan ısı transferini ısıl iletim ile gerçekleştirirken, bu değer 1708'i aştığında akışkan ısı transferini ısıl iletim ve ısıl taşınım ile gerçekleştirmeye başlar. Rayleigh sayısı yerçekimi ivmesi, kullanılan akışkanın ısıl genleşme katsayısı, kinematik

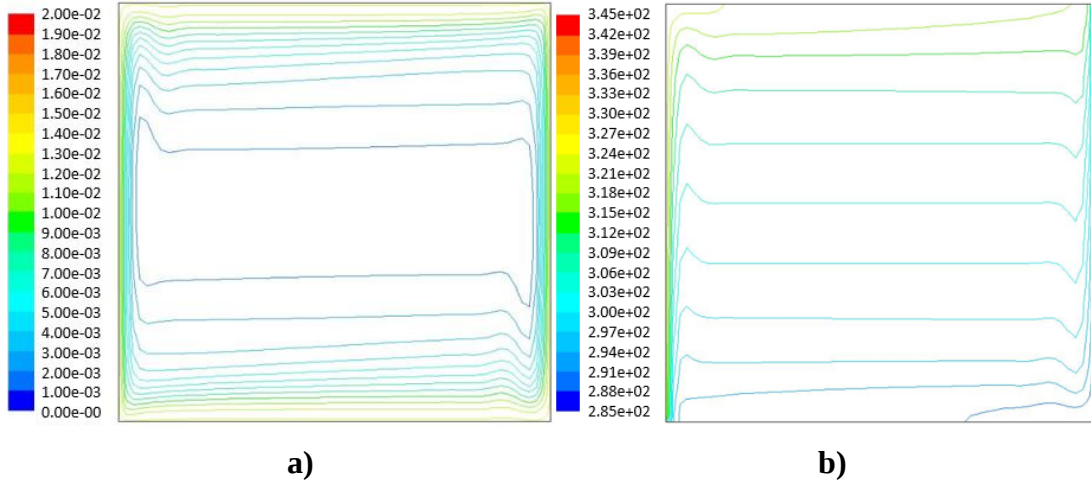
viskozite, ısıl yayılma katsayısı, kullanılan kabın boyutları ve analizlerde kullanılan soğuk ve sıcak duvar sıcaklıklarından etkilenmektedir. Bu çalışmada farklı sıcak duvar sıcaklıkları 310 K, 320 K, 335K, 345 K ve sabit bir soğuk duvar sıcaklığı 285 K kullanılarak, sırasıyla 4 farklı Rayleigh sayısı $2,39 \times 10^7$ (310 K - 285 K), $4,8 \times 10^7$ (320 K - 285 K), $9,8 \times 10^7$ (335 K - 285 K) ve $1,61 \times 10^8$ (345 K - 285 K) elde edilmiştir ve bu Rayleigh sayıları analiz sonuçlarını karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Şekil 4.19-22, hacim oranı % 7,5 olan CuO – Su nanoakışkanı için sırasıyla $Ra = 2,39 \times 10^7$, $Ra = 4,8 \times 10^7$, $Ra = 9,8 \times 10^7$ ve $Ra = 1,6 \times 10^8$ için akım çizgilerini ve eş sıcaklık eğrilerini göstermektedir. Şekillerdeki akım çizgileri incelendiğinde, 1 adet dörtgen şeklinde hücre oluştuğu ve kabın orta bölgesinde akışkanın durgun olduğunu göstermektedir. Rayleigh sayısının artması ile kabın ortasında oluşan hücre küçülmekte ve akım fonksiyonu değerleri artmaktadır. Bu veriler göz önünde bulundurularak, Rayleigh sayısının artması ile kap içerisindeki akışkan hızının arttığı sonucuna varılabilir. $Ra = 2,39 \times 10^7$ için kütleli debi değeri kabın duvarlara yakın kısmında 0.0101 kg/s iken, $Ra = 4,8 \times 10^7$ için bu değer 0.0122 kg/s, $Ra = 9,8 \times 10^7$ için 0.0145 kg/s, ve $Ra = 1,64 \times 10^8$ için 0.0187 kg/s olmaktadır.

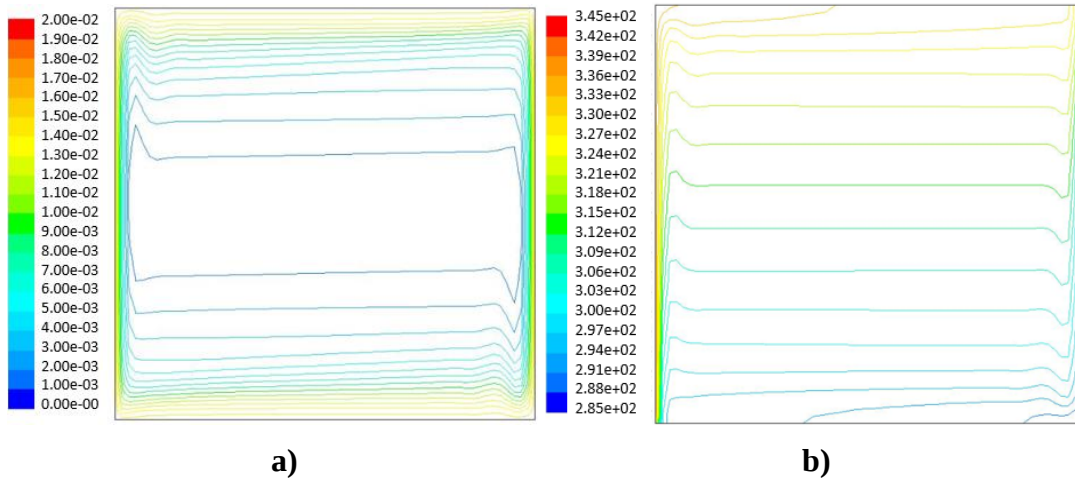
Şekil 4.19-22'deki eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde, Rayleigh sayısının artması akışın hızlanmasına ve akım fonksiyonunun değişimine bağlı olarak sıcaklığın kap içerisine daha çok yayılmasına yol açmaktadır. Akışın hızlanması eş sıcaklık eğrilerinin daha sık olmasını sağlamakta ve kabın üst bölgesinde sıcaklık daha yüksek olmaktadır.



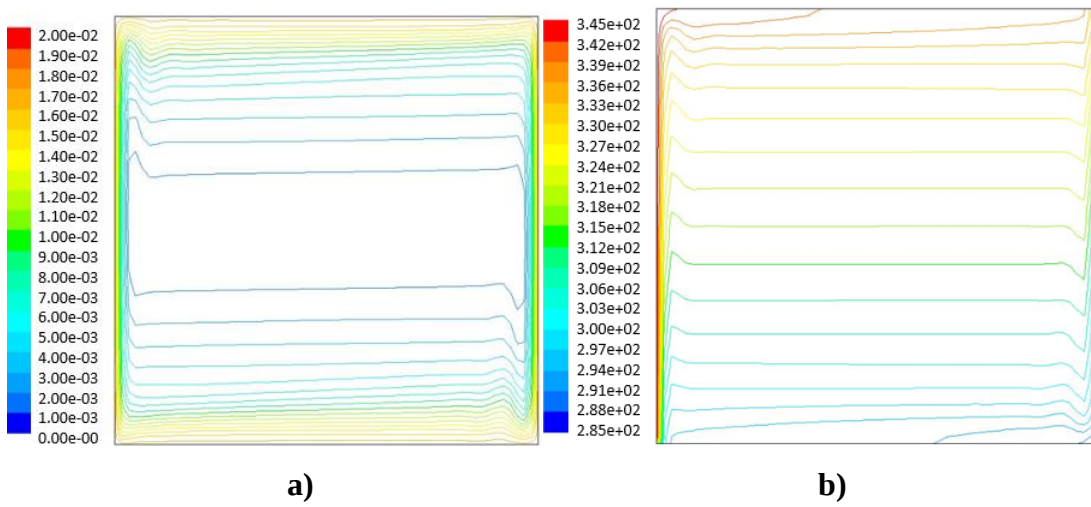
Şekil 4.19 : $Ra = 2,39 \times 10^7$ 'de CuO – Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



Şekil 4.20 : $Ra = 4,8 \times 10^7$ 'de CuO – Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.

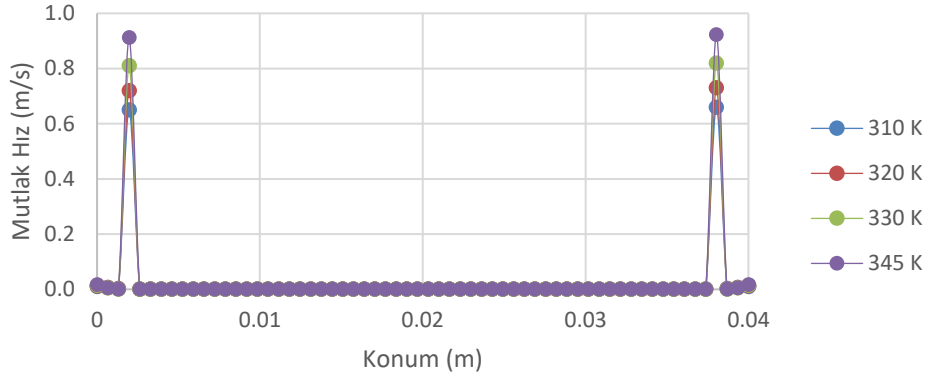


Şekil 4.21 : $Ra = 9,8 \times 10^7$ 'de CuO – Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.



Şekil 4.22 : $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de CuO – Su nanoakışkanı için a) akım çizgileri b) eş sıcaklık eğrileri.

Şekil 4.23'te CuO –Su nanoakışkanı için sabit hacim oranında Rayleigh sayısının artışının geometri orta kesiti için akışkanın mutlak hızını nasıl değiştirdiği incelenmiştir ve yapılan incelemelerden sonra Rayleigh sayısının artışının akışkanın hızını arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.23 : Sabit hacim oranında Rayleigh sayısının artışının nanoakışkanların mutlak akış hızları üzerindeki etkisi

Çizelge 4.3'te , temel akışkanın su olduğu durumda sabit % 7,5 hacimsel oranı için Ra sayısı artışının Nu sayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Çizelgede de görebileceğimiz üzere Rayleigh sayısının artması yani sıcak duvar sıcaklığının artması, tüm nanoakışkanlar için taşınım ile gerçekleşen ısı transferini yani Nusselt sayısını arttırmaktadır.

Çizelge 4.3 : Temel akışkanın su olduğu durumda sabit % 7,5 hacimsel oranı için Ra sayısı artışının nanoakışkanların Nu sayısı üzerindeki etkisi

Ra	Cu	CuO	Ti	TiO ₂	Al ₂ O ₃
$2,39 \times 10^7$	25,63963	25,62734	24,62688	24,62793	24,44524
$4,8 \times 10^7$	31,59553	31,58606	30,43194	30,43276	30,21947
$9,8 \times 10^7$	37,61775	37,6159	36,4516	36,45294	36,23441
$1,61 \times 10^8$	41,86589	41,88409	40,78148	40,78427	40,57591

Çizelge 4.4'te , temel akışkanın su olduğu durumda sabit % 2 hacimsel oranı için Ra sayısı artışının nanoakışkanların Nu sayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Yine çizelgede de görebileceğimiz üzere Rayleigh sayısının artması yani sıcak duvar sıcaklığının artması, tüm nanoakışkanlar için taşınım ile gerçekleşen ısı transferini yani Nusselt sayısını arttırmaktadır. Çizelge 4.3 ve 4.4'te hacimsel oranın % 7,5 ve % 2 seçilmesinin sebebi, Cu ve CuO için % 7,5'e kadar hacimsel oran arttıkça Nu sayısının artması, diğer nanoparçacıklar için ise bu durumun % 2 hacimsel oranına kadar geçerli

olmasıdır. Ancak Çizelge 4.3 ve 4.4'te görüldüğü gibi her iki hacimsel oranda da Ra sayısı arttıkça tüm nanoakışkanlar için Nu sayısı artmaktadır.

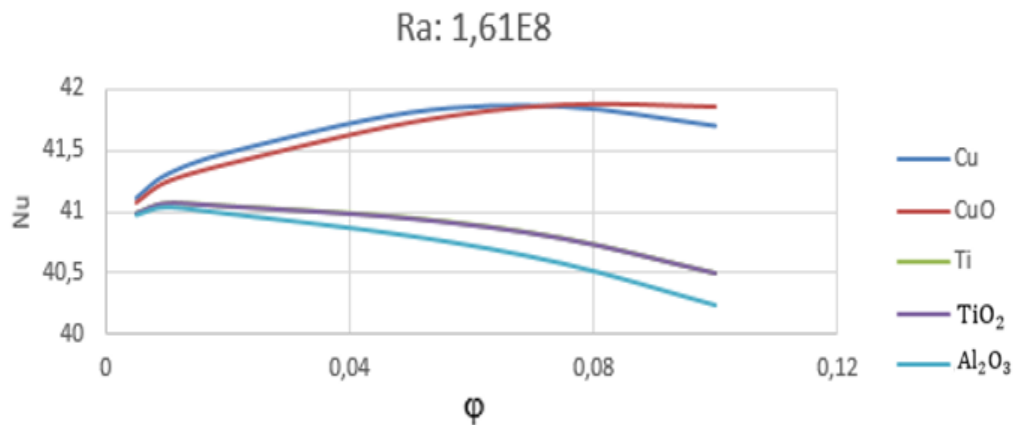
Çizelge 4.4 : Temel akışkanın su olduğu durumda sabit % 2 hacimsel oranı için Ra sayısı artışının nanoakışkanların Nu sayısı üzerindeki etkisi

Ra	Cu	CuO	Ti	TiO ₂	Al ₂ O ₃
$2,39 \times 10^7$	25,26603	25,18085	24,86446	24,85936	24,80606
$4,8 \times 10^7$	31,17180	31,07316	30,70734	30,70091	30,6392
$9,8 \times 10^7$	37,19619	37,09802	36,72777	36,72172	36,65881
$1,61 \times 10^8$	41,48627	41,39744	41,08696	41,09128	41,05811

Öte yandan, Ra sayısının $1,61 \times 10^8$ (345K sıcak duvar-285K soğuk duvar) değeri için yani en büyük değeri için Cu-Su (% 2 hacimsel oranında) ve CuO-Su (% 7,5 hacimsel oranında) nanoakışkanlarında en büyük Nu sayısı elde edilmektedir.

4.5.3 Nanoparçacıkların cinsinin etkisi

Şekil 4.24'da $Ra = 1,6 \times 10^8$ 'de Cu – Su, CuO – Su, Ti – Su, TiO₂ – Su ve Al₂O₃ – Su nanoakışkanlarının değişik hacim oranları için ısı taşınım katsayısı değişimleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde, CuO – Su ve Cu – Su nanoakışkanlarının, bütün hacim oranlarında daha yüksek Nusselt sayısına sahip olduğu görülebilir. % 7,5 hacim oranına kadar Cu – Su nanoakışkanı CuO – Su nanoakışkanından daha yüksek Nusselt sayısına sahiptir. Ancak % 7,5 ve üzerindeki hacimsel oranlarda CuO – Su daha yüksek Nusselt sayısına sahiptir. Bu bilgiler doğrultusunda düşük hacimsel oranlarda Cu nanoparçacığının, yüksek hacimsel oranlarda CuO nanoparçacığının daha iyi ısı geçişi başarımı gösterdiği sonucuna varılabilir.



Şekil 4.24 : Temel akışkanın su olduğu durumda nanoparçacıkların Nusselt sayısı üzerine etkisi.

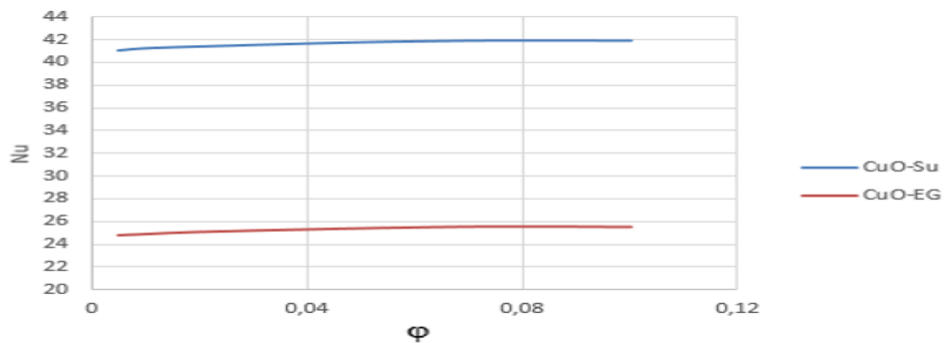
Çizelge 4.5'te sabit $Ra = 1,61 \times 10^8$ değerinde yani sıcak duvarın 345 K ve soğuk duvarın 285 K olduğu durumda ve temel akışkan olarak su kullanıldığında farklı nanoparçacıkların hacimsel oranı artırıldığında Nusselt sayısını nasıl etkilediğini görebiliriz. Sonuçlar, % 2 hacim oranına kadar hacimsel oranın artışı tüm nanoparçacıklar için Nusselt sayısını arttırmıştır ve düşük hacimsel oranlarda en iyi ısı transfer özellikleri Cu nanoparçacığıyla elde edilmiştir. Hacimsel oran % 2 üzerine çıktığında Nu sayısı sadece Cu ve CuO ile oluşturulan nanoakışkanlar için % 7,5 hacim oranına kadar artmaya devam etmiştir ve sonrasında bu iki nanoakışkan ile oluşturulan nanoakışkanlarında Nu sayısı düşmeye başlamıştır fakat yüksek hacim oranlarında CuO ile oluşturulan nanoakışkanlar daha iyi ısı transferi özelliği göstermiştir.

Çizelge 4.5 : $Ra = 1,61 \times 10^8$ 'de temel akışkanın su olduğu durumda nanoparçacıkların Nusselt sayısı üzerine etkisi.

ϕ	Cu	CuO	Ti	TiO ₂	Al ₂ O ₃
% 0,5	41,11359	41,08149	40,98819	40,98638	40,97128
% 1	41,3071	41,25123	41,06906	41,06540	41,03463
% 2	41,48627	41,39744	41,08696	41,09128	41,05811
% 5	41,8178	41,73829	40,94823	40,94335	40,80008
% 7,5	41,8659	41,88409	40,78148	40,78427	40,57591
% 10	41,70727	41,86826	40,49176	40,50817	40,23761

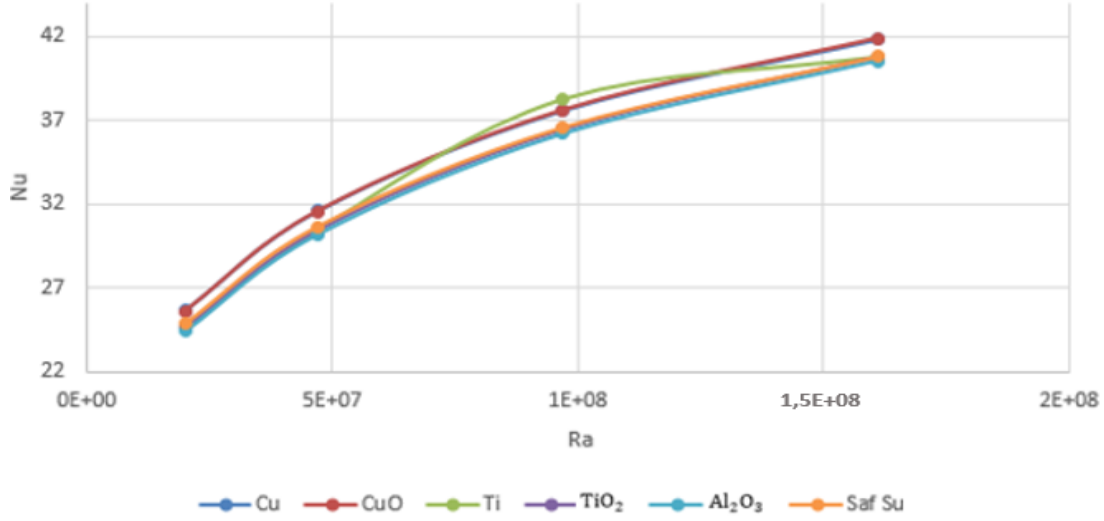
4.5.4 Temel akışkanın etkisi

Şekil 4.25'de, $Ra: 1,6 \times 10^8$ için CuO – Su ve CuO – Etilen Glikol(EG) nanoakışkanlarının değişik hacim oranları için Nusselt sayısı değişimleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde, hacim oranının artışının her iki temel akışkan için de Nusselt sayısını arttırdığı görülmektedir ve incelenen bütün hacim oranlarında su temelli akışkan için ısı transferinin daha iyi olduğu görülmektedir. $Ra = 1,61 \times 10^8$ % 7,5 hacim oranı için sıcak duvar ısı akısı CuO – Su için yaklaşık 1550 W/m^2 iken, aynı şartlarda CuO – EG değeri yaklaşık 396 W/m^2 ' dir.

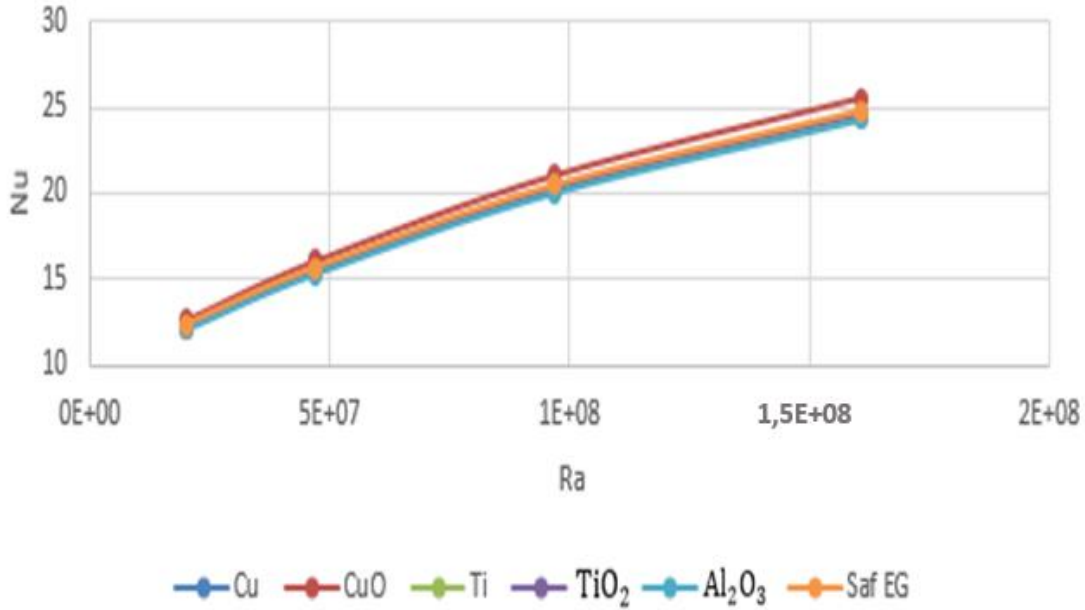


Şekil 4.25 : Temel akışkanın Nusselt sayısı üzerine etkisi.

Şekil 4.26 ve şekil 4.27 ise kullanılan tüm nanoakışkanların % 7,5 hacim oranında sırasıyla Su ve Etilen Glikol temel akışkanları için Rayleigh sayısının değişimine bağlı olarak Nusselt sayısı değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.26: Tüm su bazlı nanoakışkanların % 7,5 hacim oranında Rayleigh sayısının değişiminin Nusselt sayısı üzerindeki etkisi.



Şekil 4.27: Tüm Etilen Glikol bazlı nanoakışkanların % 7,5 hacim oranında Rayleigh sayısının değişiminin Nusselt sayısı üzerindeki etkisi.

5. . SONUÇ VE TARTIŞMA

Nanoakışkanlar günümüzde otomotiv, elektronik ve sağlık gibi bir çok sektörde, değişik uygulamalarda hali hazırda kullanılmaktadır ve nanoakışkanlarla ilgili daha çok çalışma yapıp kullanım alanı gelecekte genişletilmek istenmektedir. Örneğin, nanoakışkanlar birçok endüstride üretim hattını veya ürünleri soğutmak amaçlı, akıllı akışkan olarak ısıtma ve soğutmanın gerektiği durumlarda, nükleer reaktör soğutma uygulamalarında, jeotermal enerji kaynaklarının araştırmalarında kullanılan araçların soğutulmasında, güneş enerjisi ve benzeri santrallerde enerji yoğunluğunu arttırmak amaçlı, otomotiv sektöründe HVAC uygulamalarında radyatör boyutunu küçültüp araç hızını ve enerji tasarrufunu arttırmak için ya da elektronik sistemlerin gelişmesiyle oluşan aşırı ısınmayı engellemek için soğutucu akışkan olarak kullanılabilir.

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte birçok proses esnasında sistemlerde aşırı ve hızlı ısınma gerçekleşmektedir, enerji tasarrufu sağlamak ve dolayısıyla doğaya salınan emisyonu azaltmak adına oluşan bu fazla ve hızlı ısınma sistem güvenliği ve sürekliliği için aynı şekilde hızlı bir yolla soğutulmalıdır. Nanoakışkanlar termal özellikleri yüksek nanoparçacıklar yardımıyla ısı iletim ve taşınım değerleri iyileştirildiği için bu tür ihtiyaçları karşılama potansiyeline sahiptir. Nanoakışkanların nitelikleri, onları çok sayıda endüstri için cazip kılmaktadır. Fakat henüz tüm bu uygulama alanlarında kullanılabilecek tüm otoriteler tarafından kabul edilmiş nanoakışkanlar hala mevcut değildir. Bu çalışmada, farklı araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar incelenerek nanoakışkanların ısı iletkenliğinin nelerden etkilendiğine ve istenilen ısı transfer iyileştirilmesinin nasıl yapılabileceğine değinilmiştir. Aynı zamanda, farklı nanopartiküllerin iki farklı baz akışkan ile değişik hacim oranlarında oluşturdukları karışımlar incelenerek, verimliliği yüksek akışkan parçacık karışımı için uygun hacim oranı ve çalışma sıcaklık aralığı belirlemeye çalışılmıştır.

Nanoakışkanların ısı özellikleri için birçok model önerilmiş ve simülasyonlar geliştirilmiş olsa da, doğrulanmış genel bir teoriden bahsetmek hala mümkün değildir.

Bu çalışmada, literatürde yer alan Rashmi ve diğ (2011)'nin yaptığı araştırma referans alınmıştır ve referans çalışmada kullanılan ısı iletim, viskozite, yoğunluk, özgül ısı hesaplama modelleri bu yüksek lisans tez çalışmasında da kullanılmıştır. Çalışmada ANSYS-Fluent ile yapılan sayısal analizde, nanoakışkanların ısı transferi iyileştirmeleri, Rayleigh sayısı, hacim oranı, katı parçacık çeşidi, temel akışkan çeşidine göre araştırılmıştır.

Sonuçlar, nanoakışkan kullanımının sistemlerde ısı transferi oranını arttırabileceği gözlemlenmiştir. Rayleigh sayısının artmasının Nusselt sayısını her durumda arttırdığı görülmüştür. Düşük hacim oranlarında (% 0 - 2), hacim oranının artışı bütün nanoparçacık türleri için Nusselt sayısını arttırırken, % 2 hacim oranından sonra Ti, TiO₂ ve Al₂O₃ nanoparçacıklarıyla oluşturulan nanoakışkanların Nusselt sayısını azaltmaya başlamıştır. Cu ve CuO nanoakışkanları için hacim oranının artışının Nusselt sayısını arttırması % 7,5 hacim oranına kadar devam etmiştir ve sonrasında bu iki nanoparçacıkla oluşturulan nanoakışkanlarında da Nusselt sayısı yavaşça azalmaya başlamıştır. Farklı katı parçacık kullanılarak yapılan incelemede, CuO ve Cu katı parçacıkları kullanılan nanoakışkanlar, Ti, TiO₂ ve Al₂O₃ kullanılanlara göre daha yüksek Nusselt sayısı değerleri vermiştir. Çeşitli temel akışkanlar için yapılan analizde ise baz akışkan olarak Su kullanıldığı durumlarda Etilen Glikol'e oranla daha yüksek Nusselt sayısı elde edilmiş yani ısı transferi iyileşmiştir.

KAYNAKLAR

- Akoh, H., Tsukasaki, Y., Yatsuya, S., & Tasaki, A.** (1978). Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate. *Journal of Crystal Growth*. 45, 495–500.
- Amin, T.E, Ghasempour, R. & Razi, F.** (2015). Evaluation of nanoparticle shape effect on a nanofluid based flat-plate solar collector efficiency. *Energy Exploration & Exploitation* Volume 33 Number 5 pp. 659–676
- Ateş, H. & Bahçeci, E.** (2015). Nanomalzemeler İçin Üretim Yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C* 3(2):483-499 (2015)
- Aybar, H.Ş., Sharifpur, M., Azizian, M.R., Mehrabi, M., & Meyer, J.P.** (2015). A Review of Thermal Conductivity Models for Nanofluids. *11th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*.
- Babu, S.R., Babu, P.R. & Rambabu, V.** (2013). Effects of Some Parameters on Thermal Conductivity of Nanofluids and Mechanisms of Heat Transfer Improvement. *International Journal of Engineering Research and Applications* ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 3, Issue 4, Jul-Aug 2013, pp.2136-2140.
- Ben-Cheikh, N., Chamkha, A.J., Ben-Beya, B. & Lili, L.** (2013). Natural Convection of Water-Based Nanofluids in a Square Enclosure with Non-Uniform Heating of the Bottom Wall. *Journal of Modern Physics*, 2013, 4, 147-159.
- Choi, U.S., & Eastman, J.A.** (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *International mechanical Engineering congress and exhibition*.
- Choi, S.U.S., Eastman, J.A., Li S. & Thompson, L.J.** (1997). Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. *Proceedings of the Symposium on Nanophase and Nanocomposite Materials II*, 1997, 457, 3–11.
- Çiloğlu, D., Bölükbaşı, A. & Çifçi, H.** (2015). Küresel Yüzeylerde Nanoakışkanlarda Kaynama Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 21-31.
- Faghri, A., Zhang, Y. & Howell, J.R.** (2010). *Advanced Heat and Mass Transfer* 2010.
- Ferrouillat, S., Bontemps, A., Poncelet, O., Soriano, O. & Gruss J.A.** (2011). Influence of nanoparticle shape factor on convective heat transfer and energetic performance of waterbased SiO₂ and ZnO nanofluids. *Appl. Therm. Eng.* 51(1), 839–885.

- Fedele, L., Colla, L. & Bobbo, S.** (2012). Advances in Nanomaterials: Fundamentals, Properties and Applications, *Int. J. Refrig*, 35 (2012), 1359.
- Goharshadi, E.K., Hadadian, M. & Youssefi, A.** (2014). Electrical conductivity, thermal conductivity, and rheological properties of graphene oxide-based nanofluids. *Journal of Nanoparticle Research* 16 (12).
- Gürmen, S. & Ebin, B.** (2015). Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri. *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası* 31-37.
- He, Y.** (2007). Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of TiO₂ nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe. *Int. J. Heat Mass Transf.* 50(11), 2272–2281.
- Jang, S.P. & Choi, S.U.S.** (2007). Effects of Various Parameters on Nanofluid Thermal Conductivity. *Journal of Heat Transfer* 129(5), 617-623.
- Kebllinski, P., Eastman, J.A., Phillpot, S.R. & Choi, S.U.S.,** (2004). Thermal transport in nanofluids. *Annu. Rev. Mater. Res.*, 34, 219–46.
- Lee, D., Kim, J. W., Kim, B. G.** (2006). A New Parameter to Control Heat Transport in Nanofluids: Surface Charge State of the Particle in Suspension. *J. Phys. Chem B*, 110(2006), 4323.
- Lin, K.C. & Violi, A.** (2010). Effects of non-uniform particle diameter and temperature on thermal conductivity. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 31 236–245.
- Mahbubul, I.M., Saidur, R., Amalina, M.A.** (2012). Latest developments on the viscosity of nanofluids. *Int. J. Heat Mass Transf.* 55(4), 874–885.
- Menlik, T., Sözen, A., Gürü, M., Çağlayan, N., Öztaş, S.** (2015). Spineloksit partikül içeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 285-304.
- Mishra, P.C., Mukherjee, S., Nayak, S.K. & Panda, A.** (2014). A brief review on viscosity of nanofluids. *Journal Springerlink*, 4:109–120.
- Murshed, S. M. & Nieto, C. A.** (2011). Contribution of Brownian Motion in Thermal Conductivity of Nanofluids. *Proceedings of the World Congress on Engineering Vol III WCE 2011*, July 6 - 8, 2011, London, U.K.
- Ögüt, E.B.** (2010): Eğik Kare Kapalı Bir Bölge İçindeki Su Bazlı Nanoakışkanların Doğal Taşınım ile Isı Transferi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30, 1, 23-33, 2010 J. of Thermal Science and Technology ©2010 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300-3615.
- Öztop, H.F., & Eiyad A.** (2008). Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 29 1326–1336.
- Prasher, R., David, S., Jinlin, W. & Patrick, P.** (2006). Measurements of nanofluid viscosity and its implications for thermal applications. *Appl. Phys. Lett.* 89(13), 133108.
- Putra, N., Roetzal, W. & Das, S.K.** (2003). Natural convection of nanofluids. *J. Heat Mass Transf* 39(8–9):775–784.

- Rashmi, W., Ismail, A. F., Khalid M. & Faridah Y.** (2011). CFD studies on natural convection heat transfer of Al₂O₃-water nanofluids. *In Heat Mass Transfer* 47:1301-1310 DOI 10.1007/s00231-011-0792-x.
- Santra, A.K., Swarnendu, S. & Chakraborty N.** (2008). Study of Heat Transfer Augmentation in a Differentially Heated Square Cavity Using Copper-Water Nanofluid. *International Journal of Thermal Sciences* 47(9):1113-1122 DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2007.10.005.
- Sharma, S., & Gupta, A.K.** (2009). Numerical Simulation of Heat Transfer of Nanofluids in an Enclosure. *Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO*, Melbourne, Australia 9-11 December 2009.
- Sivashanmugam, P.** (2011). Application of Nanofluids in Heat Transfer. *Intechopen*, Submitted: December 2nd 2011Reviewed: August 20th 2012, Published: October 31st 2012
- Wang, G., Yao, Z., Jin, Z., Bingshan, M.** (2017). Effects of Nanoparticles Shape and Concentration on Natural Convection of Al₂O₃-Water Nanofluid in a Cubic Enclosure. *Chemical Engineering Transactions Vol. 61*.
- Wang, Z., Choi, C. J., Kim, B. K., Kim, J. C. & Zhang, Z.** (2004). Synthesis and Magnetic Properties of Nanoparticles of Fe-Co Alloys and Their Oxides Prepared by Chemical Vapor Condensation. *Shenyang National J. Mater. Sci. Technol.* 2004 Vol. 20 Issue (04): 459-462
- Wong, K.V. & Leon, O.D.** (2009). Applications of Nanofluids: Current and Future. *In Advances in Mechanical Engineering*, Accepted 24 November 2009.
- Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., Ai, F., Wu, Q.** (2002). Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles. *J. Appl. Phys*, 91.
- Yin, Z., Bao, F., Tu, C., Yicong, H. & Rui, T.** (2017). Numerical and experimental studies of heat and flow characteristics in a laminar pipe flow of nanofluid. *Journal of Experimental Nanoscience*. Published online: 26 Dec 2017.
- Yu, W., France, D. M., Choi, S. U. S., Routbort, J. L.,** (2007). Review and Assesment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications, *Argonne National Laboratory*, 1-78.
- Yu, W. & Xie, H.** (2011). A Review on Nanofluids: Preparation, Stability Mechanisms, and Applications. *Journal of Nanomaterials*, Volume 2012, Article ID 435873, 17 pages

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ahmet DİRLİK

E-posta: aahmetdirlik@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, YTÜ, Gemi İnşaatı ve Gemi Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017'den beri EST-Floattech şirketinde Ar-Ge bölümünde Makine Mühendisi olarak çalışmaktadır.