

NANOAKIŞKANLARIN ISI TRANSFERİNE ETKİSİ

DAMLA ADLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK, 2013

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK

Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makina Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri :

İmza

Prof. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK

Doç. Dr. Kamil KAHVECİ

Yrd. Doç. Dr. Deniz TAŞKIN

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

29 / 01 / 2013

Damla ADLI

Yüksek Lisans Tezi

NANOAKIŞKANLARIN ISI TRANSFERİNE ETKİSİ

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu tez çalışmasında dairesel kesitli bir boru içerisinde tam gelişmiş türbülanslı akışta nanoakışkan kullanımının ısı transferi üzerindeki etkisi Dittus-Boelter korelasyonu kullanılarak incelenmiştir. Farklı viskozite modelleri ve farklı ısı iletim katsayısı modelleri için bir baz akışkana göre nanoakışkanın ısı taşınım katsayısında istenilen belli bir artış için hacimsel parçacık oranının ne olması gerektiği elde edilmiştir. Bu çalışmada baz akışkan olarak su ve etilen glikol, nanoparçacık olarak Au, Ag, Cu, CuO, Al₂O₃, TiO₂ seçilmiştir. Isı iletim katsayısı yüksek olan metalik nanoakışkanlarda az miktarda nanoparçacık ile önemli artışlar ortaya çıkacağını göstermektedir. Isı iletim katsayısı nispeten düşük olan seramik nanoparçacıkların kullanılması durumunda ise belirli miktarda artış sağlayabilmek için metalik nanoparçacıklara göre daha yüksek miktarda nanoparçacık kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Yıl : 2013

Sayfa Sayısı : 59

Anahtar Kelimeler : Nanoakışkan, ısı transfer artışı, hacimsel parçacık oranı

Master Degree Thesis

THE EFFECT OF NANOFLUIDS ON HEAT TRANSFER

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

In this thesis study, effect of nanofluid usage on heat transfer in a fully developed turbulent flow in a circular pipe is investigated by using the Dittus-Boelter correlation. The nanoparticle volume fraction for an intended increase in nanofluid heat transfer coefficient with respect to that of the base fluid is specified for various viscosity and thermal conductivity models of nanofluids. In this study, water and ethylene glycol are assumed as base fluid and Au, Ag, Cu, CuO, Al₂O₃, TiO₂ as nanoparticle. The results show that a significant amount of increase is obtained in the heat transfer coefficient of the fluid by adding only a small amount of nanoparticles into the fluid for metallic nanoparticles with high thermal conductivity. The results also show that, with ceramic nanoparticles of relatively low thermal conductivity, more nanoparticles are needed to obtain a certain amount of increase in the heat transfer coefficient of the fluid.

Year : 2013

Number of Pages : 59

Keywords : Nanofluid, heat transfer enhancement, particle volume fraction.

ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başladığım ilk günden beri bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan; yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında ilgi ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK' e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Yüksek lisans tezimin teorik ve programlama ile ilgili bölümlerinde ve de özellikle manevi olarak yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Kamil KAHVECİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayata ilk adımı atmamı sağlayan, çalışma süresince gerek tavsiyeleri gerekse bilgisiyle bana yol gösteren Sayın Prof. Dr. Ahmet CİHAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; bugünlere gelebilmem için tüm imkanlarını seferber eden ve haklarını asla ödeyemeyeceğim sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
SİMGELER.....	viii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	4
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Laminer ve Türbülanslı Akış	9
2.2. Boyutsuz Sayılar	9
2.2.1. Prandtl Sayısı	9
2.2.2 Reynolds Sayısı.....	10
2.2.3 Nusselt Sayısı.....	11
2.3. Dittus-Boelter Korelasyonu.....	11
BÖLÜM 3.....	12
ANALİZ.....	12
BÖLÜM 4.....	19
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	19
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA

Şekil 2.2.1 Laminer akışta hız profili.....9

Şekil 2.2.2 Türbülanslı akışta hız profili.....9

TABLO LİSTESİ

SAYFA

Tablo 4.1. Baz akışkan ve nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri.....	20
Tablo 4.2. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$	22
Tablo 4.3. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$	24
Tablo 4.4. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$	26
Tablo 4.5. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$	28
Tablo 4.6. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$	30
Tablo 4.7. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$	32
Tablo 4.8. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$	34
Tablo 4.9. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$	36

Tablo 4.10. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$38

Tablo 4.11. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$40

Tablo 4.12. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$42

Tablo 4.13. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$44

Tablo 4.14. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$46

Tablo 4.15. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$48

Tablo 4.16. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$50

Tablo 4.17. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$52

SİMGELER

c_p	özgül ısı kapasitesi, J/kgK
D	boru çapı, m
h	ısı taşınım katsayısı, W/m ² K
k	ısı iletim katsayısı, W/mK
L	boru uzunluğu, m
L_c	karakteristik uzunluk, m
n	amprik şekil faktörü
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
V_m	ortalama hız, m/s

Greek Sembol

α	ısı difüzyon katsayısı, m ² /s
β	nanotabaka kalınlığının orijinal parçacık çapına oranı
ε	Nusselt sayısı oranı
λ	ısı taşınım katsayısı oranı
μ	dinamik viskozite, kg/ms
ν	kinematik viskozite, m ² /s
ρ	yoğunluk, kg/m ³
ϕ	hacimsel parçacık oranı
Ψ	küresellik

Alt indis

f	baz akışkan
nf	nanoakışkan
p	katı parçacık

Üst indis

n Pr sayısı üst indeksi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Nano teknoloji sayesinde, maddelerin nano boyutlara indirgenmesi ile fizik, kimya, biyoloji, mühendislik, elektronik, sağlık, otomotiv, bilgisayar teknolojisi ve sanayinin ve hayatın her alanında, son yıllarda devrim yaratacak nitelikte gelişmeler olmuştur. Nano teknoloji pek çok kişi tarafından bu yüzyılın büyük endüstriyel devriminin önemli bir gücü olarak görülmektedir. Nano, Yunanca ve Latince'den alınmış bir sözcüktür ve cüce anlamındadır. Ayrıca kısaltma olarak milyarda bir anlamında da kullanılır. Buna göre nano metrik sistemin içinde metrenin milyarda biri veya milimetrenin milyonda biridir. “Nano teknoloji” terimi ilk defa Tokyo Bilim Üniversitesi’nden Profesör Norio Taniguchi tarafından 1974 yılının bir makalesinde, şöyle tanımlanmıştır: “Nano teknoloji genel olarak, malzemelerin maddelerin atom atom veya molekül molekül işlenmesi, ayrılması, birleştirilmesi ve bozulmasıdır.” Nano teknolojinin gelişmesini sağlayan buluş ise Tarama Tünelleme Mikroskobu’ dur. Bu mikroskop sayesinde iletken bir yüzeydeki atomların yerleri değiştirilebilmiştir. Bu gelişmeyi fulleren ve karbon nanotüplerin keşfi izlemiştir. Daha sonra ileri ülkelerin nano teknolojiye yatırım yapmasıyla nano teknoloji araştırmaları başlamıştır. Nano teknoloji ile enerji maliyetlerinin düşürülmesine, daha az maliyetle daha çok üretim sağlamaya, teknolojinin her alanında cihazların boyutlarının küçültülerek enerji, malzeme tasarrufu sağlanmaya özellikle tıp alanında insan sağlığı ve konforu için çalışılmaktadır. Mühendislik dalında yapılan araştırmaların içinde, nanoakışkanların ya da parçacıkların ısı transferi üzerindeki etkisi üzerine çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda farklı ısı transfer türleri ve kombinasyonları (iletim, taşınım, karışık

konveksiyon, havuz ve akış kaynaması, ısı akısı, faz değişimi) çalışılarak, elde edilen ısı performans, akışkanın sadece baz (temel) akışkan olması durumu ile karşılaştırılmıştır.

Nano, metrenin milyarda biri (10^{-9} nm) için kullanılan bir ölçü birimidir. Gözle görülemeyecek kadar küçük olan nanonun, ısı transferini iyileştirme etkisi gözden kaçmayacak kadar büyüktür. Bergles [1] tarafından ısı transferi iyileştirme yöntemleri aktif, pasif ve karma olarak gruplandırılmaktadır. Dış güç kaynağı kullanılmasını gerektiren yöntemler aktif ısı transferi iyileştirme yöntemleridir. Akışkan titreşimi, yüzey titreşimi, elektrostatik alan oluşturma aktif ısı transferi yöntemleri arasında sayılabilir. Dış güç kaynağı kullanılmaksızın ısı transferi iyileştirme yöntemi pasif iyileştirme yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Yüzey arttırılması, pürüzlü yüzeyler kullanma, sisteme iyileştirme cihazları yerleştirilmesi gibi yöntemler pasif iyileştirme yöntemleri örneğidir. Bu yöntemlerin her ikisi birden, daha fazla iyileştirme sağlamak üzere aynı anda uygulanabilir. Bu yöntem karma iyileştirme yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Arttırılmış yüzey ve elektrik alanının birlikte kullanılması, karma ısı transferi iyileştirme yöntemine örnek verilebilir.

Mühendislikte ısı transferi için baz akışkan olarak en çok kullanılan su, motor yağı, etilen glikol gibi geleneksel akışkanlardır. Isı transferini arttırmak için çeşitli tekniklere başvurulmasına rağmen, düşük ısı iletim katsayısına sahip geleneksel akışkanlar sistemin ısı performansının artmasını engellemekte ve özellikle elektronik cihazların gelişmesine önemli bir kısıtlama getirmektedir. Bu dezavantajı ortadan kaldırılması doğrultusunda yapılan çalışmalarda bir baz akışkan içerisine yüksek ısı iletim katsayısına sahip katı parçacıkların akışkan ile süspansiyon oluşturacak şekilde ilave edilmesi fikri ortaya çıkmış ve bu süspansiyon nanoakışkan olarak adlandırılmıştır. Nanoakışkan, geleneksel ısı transfer akışkanları içine 100 nm den daha küçük metal veya metal olmayan nanoparçacık katılarak elde edilen yeni bir mühendislik ısı transfer akışkanı türüdür.

Nanoakışkanların ısı transferine etkisi üzerine yapılan çalışmalar, farklı baz akışkanlar kullanılarak oluşturulan, belli bir hacimsel parçacık oranına sahip nanoakışkanların neden olduğu boyutsuz ısı transfer katsayısının değişimi üzerine odaklanmıştır. Bu çalışma ise boyutsuz ısı transfer katsayısında istenilen belli bir

değişim için, hangi hacimsel parçacık oranına sahip bir nanoakışkanın kullanılması gerektiği üzerine odaklanmıştır.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bir sıvının içerisinde katı parçacıkların ilave edilmesi ile katı-sıvı karışımının ısı iletkenliğinin artması olasılığı ilk defa Maxwell [2,3] tarafından çalışılmıştır. Milimetre veya mikrometre boyutlarında sıvı-katı parçacık karışımlarının ısı transferini artırdığı Sohn ve Chen [4] ve Ahuja [5] tarafından gözlemlenmiş fakat sert basınç düşüşü, parçacıkların hızlı yerleşimi, tıkanma ve akış kanallarının ve bileşenlerinin erken aşınması gibi olumsuzluklarla karşılaşmışlardır. Son yıllarda modern teknolojinin, nanometre boyutunda parçacıklar üretebilmesi ile nanoakışkan olarak adlandırılan yeni bir akışkan türü yaratılmıştır. Nano ölçekte katı parçacıkların elde edilmesi ile bu sorunların büyük bir kısmı ortadan kaldırılmıştır. Nanoakışkanlar bir baz akışkan içerisinde 100 nm ve daha küçük boyutta katı parçacıklar içeren süspansiyonlardır. Eastman vd. [6] nin de belirttiği bir baz akışkana nano ölçekte katı parçacık eklenmesiyle ortaya çıkan karışımın ısı iletim katsayısı şaşırtıcı derecede yükselmektedir. Bu tip süspansiyonlara nanoakışkan adını veren ilk kişi Choi [7] olmuştur. Keblinski vd. [8] nanoakışkanlarda söz konusu olan ısı iletim katsayısındaki bu önemli artışın temelde dört etki ile meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Bunlar; nanoparçacıkların Brownian hareketi, nanoparçacık yüzeyinde söz konusu olan moleküler seviyedeki sıvı tabakalaşma, nanoparçacıklardaki ısı transfer mekanizmasının doğası ve nanoparçacık kümeleşmesidir. Keblinski vd. [8] ayrıca Brownian hareketin, nanoakışkanın ısı iletim katsayısında ihmal edilebilir bir katkısı olduğunu ve

nanoparçacıklar etrafındaki sıvı tabakalaşmanın hızlı bir ısı iletimine sebep olabileceğini belirtmişlerdir.

Choi vd. [9] nanoparçacıkların kullanılmasının ısı transferinde büyük bir iyileşmeye yol açtığını ve metal nanoparçacık katkılı akışkanların ısı iletkenliğinin saf akışkanlardan önemli derecede daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Eastman vd. [10] %0.5 hacimsel parçacık oranlı su bazlı Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanların ısı iletkenliğinin baz akışkana göre sırasıyla %29 ve %60 fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Dairesel kesitli çelik bir tüp içinden, parçacık büyüklüğü 13 nm olan su- Al_2O_3 ve parçacık boyutu 27 nm olan su- TiO_2 nanoakışkanlarının tam gelişmiş türbülanslı akışında konvektif ısı transfer davranışı Pak ve Cho [11] tarafından incelenmiştir. Nusselt sayısının, hem hacimsel parçacık oranı hem de Reynolds sayısının artmasıyla arttığını ancak nanoakışkanın konvektif ısı transfer katsayısının, %3 hacimsel parçacık oranında saf suyunkinden %12 daha küçük olduğu (sabit ortalama hız şartı ile) tespit etmişlerdir.

Wang vd. [12] tarafından paralel plakalar arasında Al_2O_3 ve CuO nanoparçacıkları su, etilen glikol, vakum pompası yağı ve motor yağı içerisine süspansiyon edilmiştir. Deneysel veriler bütün nanoakışkanların ısı iletkenliğinin temel akışkanın ısı iletkenliğinden yüksek olduğunu göstermiştir. Nanoakışkanın ısı iletkenliği hacimsel parçacık oranı artışıyla artmış ve her biri farklı baz akışkanlı nanoakışkan için farklı artışlar elde etmişlerdir.

Xuan ve Li [13] tarafından bir boru içerisinde nanoakışkan akışında ısı transfer performansını katı parçacıkların dispersiyonunu hesaba katarak tanımlayan bir teorik model geliştirilmiştir. Ayrıca hacimsel parçacık oranı, nanoparçacık boyutu, şekli gibi nanoparçacık özelliklerinin ısı transferine etkisi tartışılmıştır.

Xie vd. [14] hacimsel nanoparçacık oran %5 olan etilen glikol bazlı Al_2O_3 nanoakışkan durumunda ısı iletkenliğinin %30 oranında arttığını gözlemlemişlerdir.

Patel vd. [15] hacimsel parçacık oranı 0.0013 olan toluene bazlı Au nanoakışkan ve hacimsel parçacık oranı 0.011 olan su bazlı Au nanoakışkan durumunda ısı iletkenlik katsayısının sırasıyla %4-7 ve %3.2-5 oranında arttığını belirlemişlerdir.

Putra vd. [16] tarafından su bazlı Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanları için bir tarafı ısıtılmış diğer tarafı soğutulmuş yatay silindir içerisinde doğal konveksiyonu deneysel

olarak incelemişlerdir. Parçacık konsantrasyonu, parçacık malzeme boyutu ve geometri gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Doğal konveksiyonda kötüleşme elde edilmiş ve parçacık konsantrasyonu arttıkça kötüleşmenin arttığı tespit edilmiştir. Su bazlı CuO nanoakışkanın su bazlı Al_2O_3 nanoakışkanından daha çok kötüleşme gösterdiğini belirlemişlerdir.

Khanafer vd. [17] su bazlı bakır nanoakışkan içeren bir kare kapalı ortamda doğal konveksiyonu incelemiş ve %20 hacimsel parçacık oranında ısı transferinde %25'e varan artışlar ortaya çıkacağını belirlemişlerdir.

Wen ve Ding [18] laminar akış tüpleriyle yaptıkları bir dizi deneyler sonrasında lokal ısı transfer katsayılarında hacimsel parçacık oranı 0.016 olan nanoparçacıklarda, $Re = 1050$ ve 1600 için %41 ve %46 artış gözlemlemişlerdir.

Roy vd. [19] su bazlı Al_2O_3 nanoakışkan içeren iki eş eksenli paralel disk arasındaki radyal kanalda ısı transferini incelemişlerdir. Nanoakışkan kullanılması durumunda %10 hacimsel parçacık oranında ısı transferinde iki kat artış ortaya çıkacağı belirlenmiştir.

Maiga vd. [20] tarafından 0.01m çapında ve 1 m uzunluğunda üniform olarak ısıtılan dairesel bir boruda su bazlı Al_2O_3 ve etilen glikol bazlı Al_2O_3 nanoakışkanlarının hem türbülanslı hem de laminar rejim için ısı transferi incelemişlerdir. Sonuçlar etilen glikol- Al_2O_3 nanoakışkanı için ısı transferindeki artışın su- Al_2O_3 nanoakışkanı için olandan daha fazla olduğunu göstermiştir.

Nguyen vd. [21] kapalı bir ortam içine su bazlı Al_2O_3 nanoakışkan akıtılarak ısı transferinin gelişimi ve davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Türbülanslı akış rejiminden elde edilen deneysel veriler, nanoparçacıkların konvektif ısı transfer katsayısını artırdığını göstermiştir. %6.8 hacimsel nanoparçacık oranlı nanoakışkanın ısı transfer katsayısını baz akışkana oranla %40 artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca hacimsel parçacık oranının artması ısı transfer katsayısının azalmasına neden olmuştur.

Kim vd. [22] tarafından yapılan çalışmada düşük basınçta suyun kaynama akısında kritik ısı akısını arttırmak için alüminyum nanoparçacıklar kullanmışlardır. Suyu çok az alüminyum nanoparçacık eklendiğinde ısı akısının %30 civarında arttığını gözlemlemişlerdir.

Murshed vd. [23] yaptıkları çalışmada nanoakışkanların yararlı katkıları arasında; nanoparçacıkların çok az çökmesi (tortulaşması) nedeni ile mikro kanallarda

tıkanma sorunu yaratmaması, pompalama gücünde azalma sağlaması ve bunun daha küçük boyutlarda ısı sistem tasarımı için önemli olduğunu saptanmışlardır.

Bianco vd. [24, 25] türbülanslı zorlanmış konveksiyonda, dairesel bir boru içersinden su bazlı Al_2O_3 nanoakışkanın akışını sayısal olarak incelemişlerdir. Parçacık çapı 38 nm olan su bazlı Al_2O_3 nanoakışkanının konvektif ısı transfer katsayısının, baz akışkana göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Hacimsel parçacık oranının ve Re sayısının artan değerlerinde ısı transferinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Lotfi vd. [26] yatay bir boru içinden su bazlı Al_2O_3 nanoakışkanın akışını zorlanmış konveksiyonda nümerik olarak incelemişler ve hacimsel parçacık oranının artmasıyla ısı performansın azaldığını göstermişlerdir.

Moghaddami vd. [27] su bazlı Al_2O_3 ve etilen glikol bazlı Al_2O_3 nanoakışkanların dairesel kesitli bir boru içinden hem laminar hem de türbülanslı akışında, sabit ısı akısı sınır şartı kullanarak entropi üretimini incelemişlerdir. Re sayısının 40000 den daha küçük değerlerin su bazlı Al_2O_3 nanoakışkanın ve yine Re sayısının 11 den küçük değerlerinde etilen glikol bazlı Al_2O_3 nanoakışkanın ısı performansını iyileştirdiğini göstermişlerdir.

Buongiorno [28] laminar alt tabaka içerisinde viskoziteki azalmanın ve bunun neticesinde bu tabakadaki incelmanın türbülanslı rejim konvektif ısı transfer katsayısı üzerinde anormal bir artışa neden olduğunu ileri sürmüştür.

Suresh vd. [29] tam gelişmiş türbülanslı akışta, sabit ısı akısı sınır şartı ile hem düz hem de üzerinde helisel çukurlar oluşturulmuş boruda, su bazlı CuO nanoakışkan kullanarak ısı transferi ve sürtünme faktörü karakteristiklerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneyler sonucu, helisel çukurlu boruda %0.1, %0.2, %0.3 hacimsel nanoparçacık oranlı nanoakışkanın, düz boru ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısında ihmal edilebilir artış ile ısı transferini arttırdığını göstermiştir. Yine nanoakışkan kullanılan helisel çukurlu boruda akışkanın sadece su ve borunun düz olması durumuna göre Nusselt sayısında hacimsel parçacık oranının %0.1, %0.2, %0.3 değerlerinde sırasıyla %19, %27, %39 civarında artış görüldüğü belirlenmiştir.

Xuan ve Roetzel [30] nanoakışkanın ısı transferini iyileştirme mekanizmasını incelemişlerdir. Bu incelemede nanoakışkanın geleneksel bir katı-akışkan karışımı gibi değilde bir akışkan gibi davrandığını kabul etmişler ve nanoakışkan için iki farklı yaklaşımla ısı transferi korelasyonu türetmişlerdir. Nanoakışkanın ısı transfer katsayısı

(Nusselt sayısı), baz akışkanın ve nanoparçacıkların ısı kapasitesine ve ısı iletkenliğine, nanoakışkanın viskozitesine, hacimsel parçacık oranına, akış türü kadar nanoparçacık boyutu ve şekli gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğu ve bu nedenle Nusselt sayısının genel formu,

$$Nu_{nf} = f \left(Re, Pr, \frac{k_p}{k_f}, \frac{(\rho c_p)_p}{(\rho c_p)_f}, \phi, \text{ parçacık şekli ve boyutu, akış yapısı} \right)$$

olarak ifade edileceğini belirtmişlerdir.

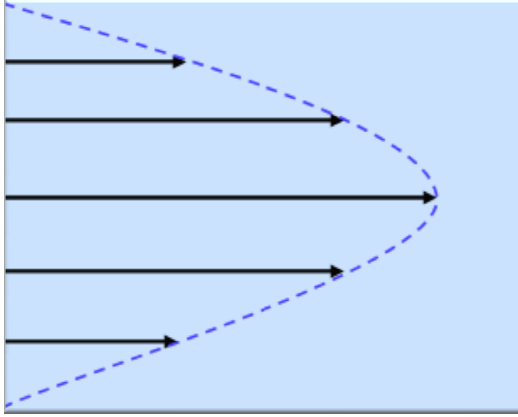
Williams vd. [31] tarafından yatay bir boru içerisinde iki farklı nanoakışkanın (su bazlı Al_2O_3 ve su bazlı ZrO_2) türbülanslı akışında konvektif ısı transfer davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel veriler tam gelişmiş türbülanslı akış için geliştirilmiş olan tek fazlı konvektif ısı transferi korelasyonu Dittus-Boelter ve viskoz basınç kayıp korelasyonu Blasius/MacAdams kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ölçülen sıcaklık, yüke bağlı ısı iletkenlik ve nanoakışkanın viskozitesi bu korelasyonlarda yer alan Nu , Re ve Pr sayılarında kullanılmasıyla mevcut korelasyonların boru içinde viskoz basınç kaybı davranışını ve konvektif ısı transferini hassas şekilde yeniden ürettiğini saptamışlardır. Nanoakışkanın efektif özellikleri, boyutsuz sayıların hesaplanmasında kullanıldığında tam gelişmiş türbülanslı akışta, su bazlı Al_2O_3 ve su bazlı ZrO_2 nanoakışkanlarının basınç kaybı ve konvektif ısı transferi davranışının, geleneksel korelasyonlar ve modellerle tahmin edilebileceğini belirlemişlerdir.

Nanoakışkanlar için yapılan deneysel, analitik ve sayısal çalışmalarda çoğunlukla alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır oksit (CuO), silisyum dioksit (SiO_2), titan dioksit (TiO_2), alüminyum (Al), bakır (Cu), altın (Au), gümüş (Ag), titan (Ti) nanoparçacıklar ve karbon nanotüpler göz önüne alınmıştır. Baz akışkan olarak da su, etilen glikol ve motor yağı kullanılmıştır.

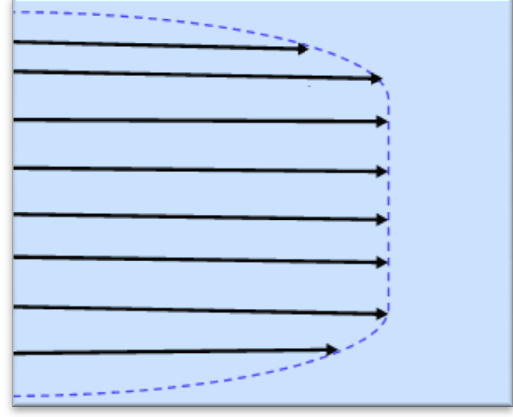
Literatürde yer alan çalışmalardan görülebileceği gibi, belli bir hacimsel parçacık oranına sahip nanoakışkanlar kullanılarak boyutsuz ısı transfer katsayısındaki değişim belirlenmiştir.

2.1 Laminer ve Türbülanslı Akış

Yüksek viskozitelerde ve düşük hızlarda akışkan taneciklerinin akış çizgileri boyunca çok düzenli hareket ettiği akışa laminer akış denir. Düşük viskozitelerde ve yüksek hızlarda akışkan taneciklerinin çok düzensiz ve her yöne hareket ettiği, akış içinde ani hız değişimlerinin gözlemlendiği akışa türbülanslı akış denir.



Şekil 2.2.1 Laminer akışta hız profili



Şekil 2.2.2 Türbülanslı akışta hız profili

Laminer akışta hız profili merkeze doğru parabolik olarak artar ve ortalama hız merkezdeki hızın yarısına eşitken, türbülanslı akıştaki hız profili momentumun yüzeye taşınması nedeniyle daha küttür ve ortalama hız maksimum hızın yaklaşık 0.8-0.9 katına eşittir. Laminer akışta boruda meydana gelen kayıplar ihmal edilebilirken, türbülanslı akışta önemlidir.

2.2 Boyutsuz Sayılar

2.2.1 Prandtl Sayısı

Prandtl sayısı, hız sınır tabakasının ısı sınır tabaka kalınlığına oranı olarak adlandırılır. Sınır tabaka teorisine teorisini geliştiren ve modern akışkanlar mekaniğinin kurucusu olarak bilinen Alman mühendis Ludwig Prandtl' dan ismini alan Prandtl sayısı, viskoz yayılımının (veya kinematik viskozitenin) ısı yayılımına oranı olarak da tanımlanır.

$$Pr = \frac{\text{viskoz yayılım}}{\text{ısı yayılım}} = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k} \quad (2.2)$$

Sıvı metallerde $Pr \ll 1$ olup ısı yayılım viskoz yayılıma göre daha büyüktür. Yağlarda $Pr \gg 1$ olduğu için viskoz yayılım ısı yayılıma göre daha büyüktür. Bunun sonucunda ısı sınır tabaka, hız sınır tabakasına göre sıvı metallerde daha kalın yağlarda daha incedir. Gazlar için Prandtl sayı 0.6 - 0.8 arasındadır.

2.2.2 Reynolds Sayısı

Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine oranıdır ve bu değer bu iki tip kuvvetin belli bir akış şartı altında birbirine olan göreceli önemini gösterir. Küçük ve orta Reynolds sayılarında viskoz kuvvetler bu değişimleri bastırarak kadar, akışkan bir çizgideymiş gibi tutacak kadar büyüktür. Büyük Reynolds sayılarında ise akışkan yoğunluğu ve akış hızının karesi ile orantılı olan atalet kuvvetleri, viskoz kuvvetlere göre daha büyük olduğundan viskoz kuvvetler, akışkanın hızlı ve rastgele değişimine engel olamaz. Bu nedenle, Reynolds sayısı, laminar akış ve türbülanslı akış gibi değişik akış rejimini tanımlamak için kullanılır. Reynolds sayısı, adını boru akışı üzerine araştırmalar yapan ve ortalama hızlara dayanarak viskoz akış denklemlerini geliştirmiş olan Osborne Reynolds'dan almıştır ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetler}} = \frac{\rho V L_c}{\mu} = \frac{V L_c}{\nu} \quad (2.3)$$

Denklemde ρ akışkanın yoğunluğu, V ana akışın hızı, L_c karakteristik uzunluk, μ ve ν sırasıyla akışkanın dinamik ve kinematik viskozitesidir. Akışın türbülanslı olmaya başladığı Reynolds sayısına kritik Reynolds sayısı (Re_c) denir. Düz levha üzerinden akışta kritik Reynolds sayısı yaklaşık olarak 5×10^5 ve dairesel borulardaki iç akış için kritik Reynolds sayısı 2300'dür.

2.2.3 Nusselt Sayısı

Nusselt sayısı, taşınılma olan ısı transferinin iletimle ısı transferine oranı olarak, benzerlik teorisini ısı geçişine ilk uygulayan Alman mühendis Wilhelm Nusselt tarafından 17. yüzyılda tanımlanmıştır. L_c karakteristik uzunluk olmak üzere boyutsuz ısı transfer katsayısı olarak da tanımlanan Nusselt sayısı,

$$Nu = \frac{\text{Taşınım ile ısı transferi}}{\text{İletimle ısı transferi}} = \frac{hL_c}{k} \quad (2.4)$$

olarak tanımlanmıştır. Nusselt sayısındaki h ısı taşınım katsayısı, k akışkanın ısı iletim katsayısıdır. Nusselt sayısı ne kadar büyükse taşınım ile ısı transferi o kadar etkindir. $Nu=1$ olması akışkan tabakası boyunca ısı transferinin tamamen iletimle olduğunu ifade eder.

2.3. Dittus-Boelter Korelasyonu

Dairesel kesitli bir boru içinden bir nanoakışkanın türbülanslı akışında ısı transferi karakteristiklerini incelemek için analitik, deneysel ve sayısal olarak yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar genellikle Dittus-Boelter korelasyonu [32] ile karşılaştırılmıştır. Dittus-Boelter korelasyonu, bir akışkanın daimi rejimde, zorlanmış taşınımında L uzunluğunda ve D çapında dairesel kesitli pürüzsüz bir boru içinden tam gelişmiş türbülanslı ve tek fazlı akışında deneysel olarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad (2.1)$$

Korelasyon, $0.7 \leq Pr \leq 120$, $2500 \leq Re_D \leq 1.24 \times 10^5$ ve $L/D > 60$, koşullarında geçerlidir. Prandtl sayısı üst indeksi, akışkan ısıtılıyor ise (duvar sıcaklığı akışkan sıcaklığından büyük ise) $n=0.4$ ve akışkan soğutuluyor ise (duvar sıcaklığı akışkan sıcaklığından küçük ise) $n=0.3$ ' dür. Akışkanın fiziksel özellikleri, boru girişindeki akışkan sıcaklığı ile boru çıkışındaki akışkan sıcaklığının aritmetik ortalamasındaki (ortalama yığın sıcaklığındaki) değerleridir.

BÖLÜM 3

ANALİZ

Bir akışkanın daimi rejimde, zorlanmış taşınımında L uzunluğunda ve D çapında dairesel kesitli pürüzsüz bir boru içinden tam gelişmiş türbülanslı ve tek fazlı akışında deneysel olarak elde edilmiş olan Dittus-Boelter [32] korelasyonu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Nu_f = 0.023 Re_f^{4/5} Pr_f^n \quad (3.1)$$

Nanoakışkanların Nusselt sayısı ise genel olarak aşağıdaki parametreler ile ilgilidir (Xuan ve Roetzel [30], Duangthongsuk ve Wongwises [33]).

$$Nu_{nf} = f(Re_{nf}, Pr_{nf}, \phi) \quad (3.2)$$

Burada nf indisi nanoakışkanı dolayısıyla Re_{nf} ve Pr_{nf} nanoakışkanın Reynolds ve Prandtl sayısını göstermektedir. ϕ hacimsel parçacık oranıdır. Williams vd., [31] ise Re , Pr , Nu gibi boyutsuz sayılar için geleneksel akışkanların fiziksel özellikleri yerine nanoakışkanların fiziksel özellikleri kullanıldığında, bilinen ısı transfer korelasyonlarının geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle Dittus Boelter korelasyonu, akışkanın bir nanoakışkan olması durumunda nanoakışkanın ısı transfer performansını inceleyebilmek için

$$Nu_{nf} = 0.023 Re_{nf}^{4/5} Pr_{nf}^n \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Burada, f indisi baz akışkanı, nf nanoakışkanı, Re_f ve Pr_f baz akışkanın Reynolds ve Prandtl sayısını, Re_{nf} ve Pr_{nf} nanoakışkanın Reynolds ve Prandtl sayısını göstermektedir. n üst indeksi, ısıtma için (duvar sıcaklığı akışkan sıcaklığından büyük ise) 0.4 ve soğutma için (duvar sıcaklığı akışkan sıcaklığından küçük ise) 0.3'e eşittir. Korelasyonda yer alan boyutsuz sayılar baz ve nanoakışkan için,

$$Re_f = \frac{V_{m,f}D}{\nu_f}, \quad Re_{nf} = \frac{V_{m,nf}D}{\nu_{nf}}, \quad Pr_f = \frac{\nu_f}{\alpha_f}, \quad Pr_{nf} = \frac{\nu_{nf}}{\alpha_{nf}}, \quad (3.4)$$

$$\alpha_f = \frac{k_f}{(\rho C_p)_f}, \quad \alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}}, \quad Nu_f = \frac{h_f D}{k_f}, \quad Nu_{nf} = \frac{h_{nf} D}{k_{nf}} \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada V_m , ortalama hız, D boru çapı, ν kinematik viskozite, α ısı difüzyon katsayısı, ρ yoğunluk, k ısı iletim katsayısı, C_p özgül ısı ve (ρC_p) ısı kapasitedir.

Baz ve nanoakışkanın (3.4) ve (3.5) de tanımlanan özellikleri (3.1) ve (3.3) eşitliklerinde yerine yazılırsa baz ve nanoakışkan için Nusselt sayısı,

$$Nu_f = 0.023 \left(\frac{\rho_f V_{m,f} D}{\mu_f} \right)^{4/5} \left(\frac{\mu_f (\rho C_p)_f}{k_f \rho_f} \right)^n \quad (3.6)$$

$$Nu_{nf} = 0.023 \left(\frac{\rho_{nf} V_{m,nf} D}{\mu_{nf}} \right)^{4/5} \left(\frac{\mu_{nf} (\rho C_p)_{nf}}{k_{nf} \rho_{nf}} \right)^n \quad (3.7)$$

şeklinde elde edilir ve boyutsuz ısı taşınım katsayısı olarak da aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$h_f = \frac{k_f}{D} 0.023 \left(\frac{\rho_f V_{m,f} D}{\mu_f} \right)^{4/5} \left(\frac{\mu_f (\rho C_p)_f}{k_f \rho_f} \right)^n \quad (3.8)$$

$$h_{nf} = \frac{k_{nf}}{D} 0.023 \left(\frac{\rho_{nf} V_{m,nf} D}{\mu_{nf}} \right)^{4/5} \left(\frac{\mu_{nf} (\rho C_p)_{nf}}{k_{nf} \rho_{nf}} \right)^n \quad (3.9)$$

elde edilir.

Literatürde nanoakışkanların ısı iletim katsayılarını belirlemek için, mikron büyüklüğündeki parçacıklara sahip katı-sıvı karışımlar için önerilmiş modeller kullanılmaktadır. Bu tip modeller arasında klasikleşmiş ve küresel parçacıklar için geçerli olan Maxwell [3] modelidir. Bu modelde ısı iletim katsayısı

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_p + 2k_f + 2(k_p - k_f)\phi}{k_p + 2k_f - (k_p - k_f)\phi} \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada k_{nf} nanoakışkanın ısı iletim katsayısı, k_f baz akışkanın ısı iletim katsayısı, k_p nanoparçacıkların ısı iletim katsayısı, ϕ ise hacimsel parçacık oranıdır.

Hamilton ve Crosser [34] küresel olmayan parçacıklı karışımlarda ısı iletim katsayısının belirlenebilmesi için parçacık şeklini de bir değişken olarak içinde barındıran aşağıdaki modeli önermiştir.

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_p + (n-1)k_f + (n-1)(k_p - k_f)\phi}{k_p + (n-1)k_f - (k_p - k_f)\phi} \quad (3.11)$$

Buradaki ampirik şekil faktörü $n = 3/\Psi$ şeklinde tanımlıdır. Burada Ψ bir kürenin yüzey alanının eşdeğer hacimdeki bir parçacığın yüzey alanına oranıdır. Şekil faktörü 0.5 ten 6.0 a kadar değişebilmekte olup küre için $n=3$, silindir için $n=6$ dır.

Literatürdeki bir diğer model Yu ve Choi [35] tarafından önerilmiştir. Yu ve Choi [35] modelin baz sıvı, katı parçacık ve katı-benzeri nanotabakayı içermesi gerektiğini ve katı-benzeri nanoparçacığın katı nanoparçacık ile baz akışkan arasında bir termal köprü görevi gördüğünü ifade etmişlerdir. Önerilen model $k_{tabaka}=k_p$ durumunda aşağıdaki şekli almaktadır.

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_p + 2k_f + 2(k_p - k_f)(1 + \beta)^3\phi}{k_p + 2k_f - (k_p - k_f)(1 + \beta)^3\phi} \quad (3.12)$$

Burada β nanotabaka kalınlığının orijinal parçacık çapına oranı olarak tanımlıdır. Yu ve Choi [35] tarafından $\beta=0.1$ için elde edilen sonuçlar literatürde yer alan deneysel sonuçlar ile iyi bir uygunluk sergilemiştir.

Nanoakışkanların viskozitesi için de genellikle iki fazlı akışkanlar için önerilmiş modeller kullanılmaktadır. Bu modellerden biri küresel parçacıklar için Einstein [36] tarafından önerilen modeldir. Bu viskozite modelinin küçük hacimsel nanoparçacık oranları ($\phi \leq \%2$) için geçerli olduğu belirtilmekle beraber yapılan deneysel çalışmalar Einstein eşitliğinin daha büyük hacimsel nanoparçacık oranlarında da ($\phi < \%5$) geçerli olduğunu göstermiştir (Heris vd. [37], Drew ve Pasmann [38]). Einstein' in nanoakışkanlar içinde kullanılan viskozite modeli,

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = 1 + 2.5\phi \quad (3.13)$$

olup, burada μ dinamik viskozitedir. Brinkman [39] tarafından önerilen model ise

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \frac{1}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Nanoakışkanın efektif yoğunluğu

$$\rho_{nf} = \rho_p \phi + \rho_f (1 - \phi) \quad (3.15)$$

ve nanoakışkanın ısı kapasitesi

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_p \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Xuan ve Roetzel [30]). Burada ρ_f baz akışkanın yoğunluğu, ρ_p parçacığın yoğunluğu, $(\rho C_p)_f$ baz akışkanın ısı kapasitesi, $(\rho C_p)_p$ parçacığın ısı kapasitesidir.

Eşitlik (3.15) ve (3.16) de tanımlanan nanoakışkanın yoğunluğu ve ısı kapasitesi Eşitlik (3.6) - (3.9)' da yerine yazılarak Dittus-Boelter korelasyonu, baz akışkanın ve nanoparçacığın termofiziksel özellikleri ile baz ve nanoakışkanın ortalama hızı ve dairesel kesitli borunun çapı sabit kabul edilerek, hacimsel parçacık oranına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Nu_f = 0.023 \left(\frac{\rho_f V_{m,f} D}{\mu_f} \right)^{\frac{4}{5}} \left(\frac{\mu_f (\rho C_p)_f}{k_f \rho_f} \right)^n \quad (3.17)$$

$$Nu_{nf} = 0.023 \left(\frac{[\rho_p \phi + \rho_f (1 - \phi)] V_{m,nf} D}{\mu_{nf}} \right)^{\frac{4}{5}} \left(\frac{\mu_{nf} [(1 - \phi) (\rho C_p)_f + \phi (\rho C_p)_p]}{k_{nf} [\rho_f \phi + \rho_p (1 - \phi)]} \right)^n \quad (3.18)$$

$$h_f = 0.023 \frac{k_f}{D} \left(\frac{\rho_f V_{m,f} D}{\mu_f} \right)^{\frac{4}{5}} \left(\frac{\mu_f (\rho C_p)_f}{k_f \rho_f} \right)^n \quad (3.19)$$

$$h_{nf} = 0.023 \frac{k_{nf}}{D} \left(\frac{[\rho_p \phi + \rho_f (1 - \phi)] V_{m,nf} D}{\mu_{nf}} \right)^{\frac{4}{5}} \left(\frac{\mu_{nf} [(1 - \phi) (\rho C_p)_f + \phi (\rho C_p)_p]}{k_{nf} [\rho_f \phi + \rho_p (1 - \phi)]} \right)^n \quad (3.20)$$

Yapılan çalışmada nanoakışkanın bir baz akışkana göre ısı transfer performansını görebilmek için nanoakışkan ve baz akışkana ait Nusselt sayısı oranı ε ve boyutsuz ısı taşınım katsayısı oranı λ aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\frac{Nu_{nf}}{Nu_f} = \varepsilon, \quad \varepsilon > 0 \quad (3.21)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{k_f}{k_{nf}} \right)^n \left(\frac{(\rho C_p)_{nf}}{(\rho C_p)_f} \right)^n \left(\frac{\mu_f}{\mu_{nf}} \right)^{\frac{4}{5}-n} \left(\frac{\rho_{nf}}{\rho_f} \right)^{\frac{4}{5}-n} \left(\frac{V_{m,nf}}{V_{m,f}} \right)^{\frac{4}{5}} \quad (3.22)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{k_f}{k_{nf}}\right)^n \left(\frac{[(1-\phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_p]}{(\rho C_p)_f}\right)^n \left(\frac{\mu_f}{\mu_{nf}}\right)^{\frac{4}{5}-n} \times \left(\frac{\rho_p \phi + \rho_f (1-\phi)}{\rho_f}\right)^{\frac{4}{5}-n} \left(\frac{V_{m,nf}}{V_{m,f}}\right)^{\frac{4}{5}} \quad (3.23)$$

$$\frac{h_{nf}}{h_f} = \lambda, \quad \lambda > 0 \quad (3.24)$$

$$\frac{h_{nf}}{h_f} = \frac{k_{nf}}{k_f} \frac{Nu_{nf}}{Nu_f} = \lambda$$

$$\lambda = \left(\frac{k_{nf}}{k_f}\right)^{1-n} \left(\frac{[(1-\phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_p]}{(\rho C_p)_f}\right)^n \left(\frac{\mu_f}{\mu_{nf}}\right)^{\frac{4}{5}-n} \times \left(\frac{\rho_p \phi + \rho_f (1-\phi)}{\rho_f}\right)^{\frac{4}{5}-n} \left(\frac{V_{m,nf}}{V_{m,f}}\right)^{\frac{4}{5}} \quad (3.25)$$

Burada ε Nusselt sayısı oranı, λ ısı taşınım katsayısı oranı olup, nanoakışkanın ısı transferini ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. $\varepsilon > 1$ nanoakışkana ait boyutsuz ısı transfer katsayısının baz akışkan için olan duruma göre daha yüksek olduğunu ve $\lambda > 1$ değerleri ise nanoakışkanın taşınım ile ısı transferini arttırdığını gösterir. $\varepsilon < 1$ nanoakışkana ait boyutsuz ısı transfer katsayısının baz akışkan için olan duruma göre daha düşük olduğunu ve $\lambda < 1$ değerleri ise nanoakışkanın taşınım ile ısı transferini azalttığını gösterir. $\varepsilon = \lambda = 1$ durumunda ise nanoakışkan kullanılmasının boyutsuz ısı transfer katsayısına ve taşınım ile ısı transferine etkisinin olmadığını gösterir.

Eşitlik (3.21) ve (3.24),

$$Nu_{nf} - \varepsilon Nu_f = 0 \quad (3.26)$$

$$h_{nf} - \lambda h_f = 0 \quad (3.27)$$

şeklinde ifade edilerek bir kök bulma problemine dönüştürülmüştür. Eşitlik (3.23) ve (3.25)' ün çözümü yani istenilen bir λ değeri için hacimsel parçacık oranının ne olması gerektiği, farklı viskozite modelleri ve ısı iletim katsayısı modeli kullanılarak, Newton Raphson kök bulma yönteminin kullanıldığı Fortran programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılarak elde edilmiştir. Sonuçlar tablo olarak verilmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada bir nanoakışkan için hacimsel parçacık oranına bağlı olarak ifade edilen Dittus-Boelter korelasyonunda yer alan nanoakışkanın viskozitesi için literatürde en çok önerilen Einstein [36] ve Brinkman [39] viskozite modelleri kullanılmıştır. Nanoparçacıklar küresel seçilmiştir. Nanoakışkanın ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi [35] modeli kullanılmıştır. $\beta=0$ ve küresel şekilli nanoparçacıklar için Yu ve Choi [35], Hamilton ve Crosser [34] ve Maxwell [3] ısı iletim katsayısı modelleri aynı olduğundan sonuçlar, $\beta=0$ ve $\beta=0.1$ ve aynı zamanda hem ısıtma ($n=0.4$) hem de soğutma ($n=0.3$) durumu için elde edilmiş ve tablo olarak verilmiştir. Eşitlik (3.6) - (3.9) da yer alan baz akışkanın ortalama hızı $V_{m,f}$ ve nanoakışkanın ortalama hızı $V_{m,nf}$ birbirine çok yakın olduğu için (Meibodi vd. [40]) eşit alınmıştır. Baz akışkan olarak su ve etilen glikol nanoparçacık olarak Cu, Ag, Au, CuO, Al₂O₃ ve TiO₂ seçilmiştir. Akışkan ve nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Baz akışkan ve nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri (Incropera ve Dewitt [41], Kahveci [42], Alıcı ve Gündüz [43]).

Özellikler	Su	Etilen Glikol	Cu	Ag	Au	CuO	Al ₂ O ₃	TiO ₂
ρ (kg/m ³)	997.1	1114.4	8933	10500	19300	6500	3970	4250
C_p (J/kgK)	4179	2415	385	235	129	536	765	686
k (W/mK)	0.613	0.252	400	429	317	20	40	9
μ (kg/ms)	855x10 ⁻⁶	0.0152						

Bu çalışmada ele alınan farklı modeller ve parametrelerin farklı değerleri için sonuçlar Tablo 4.2-4.17 de verilmiştir. Tablolarda hacimsel nanoparçacık oranının belirli bir değerden daha büyük değerleri kullanılan modeller için söz konusu olan kısıtlamalardan ve daha da önemlisi topaklanma vb. pratik sorunlardan dolayı göz önüne alınmamıştır. Tablolarda Nu oranı ve ısı taşınım katsayısı oranında belirli miktarlarda artışlar elde edilebilmesi için gerekli olan hacimsel nanoparçacık oranları yer almaktadır. Nu oranı nanoakışkanın Nu sayısının baz akışkanın Nu sayısına oranı olup bu oran, nanoakışkan için olan Nu sayısının tanımında baz akışkan için olan ısı taşınım katsayısı kullanılmadığından konvektif ısı transferinin nanoakışkan kullanılması durumunda ne kadar artacağını ifade etmemektedir. Bu nedenle tablolarda sonuçlar ısı taşınım katsayısı oranları içinde verilmiştir.

Tablo 4.2’de baz akışkanın su olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. $\beta=0$ nanoparçacık yüzeyindeki sıvı tabaka kalınlığının nanoparçacık çapına oranının sıfır olduğu yani nanoparçacıkların yüzeyinde bir sıvı tabakalaşmanın olmadığı kabulüne dayalı durumu temsil etmektedir. Bu durumda elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri deneysel ölçümlerden daha küçük değerler almaktadır ve nanoakışkan kullanılması durumunda söz konusu olan anormal artış tam olarak ifade edilememektedir. Tablo 4.2 deki sonuçlardan da bu durum görülmektedir ve bu tablodaki sonuçlar ısı transferinde belirli miktarlarda artış sağlayabilmek için nispeten yüksek miktarlarda nanoparçacık kullanılması gerektiğini göstermektedir. Nanoparçacık kullanımının konvektif ısı

transferi üzerinde pozitif ve negatif etkileri söz konusu olmaktadır. Bu etkilerden pozitif veya negatif olanların baskın olmasına göre konvektif ısı transferinde artış veya azalış söz konusu olabilmektedir. Bu etkilerden en önemlisi nanoparçacık kullanımının akışkanın ısı iletim katsayısını anormal derecede arttırmasıdır. Bu da doğal olarak konvektif ısı transferi üzerinde pozitif bir etki yaratmaktadır. Nanoparçacık kullanımı ayrıca akışkanın viskozitesinde de artışa neden olmaktadır. Bunun sonucunda ise viskoz kuvvetler artmakta ve konvektif ısı transferi negatif etkilenmektedir. Akış ve ısı transferi üzerinde etkili olan diğer fiziksel özellikler yoğunluk ve ısı kapasitesidir.

Tablo 4.2 den görülebileceği gibi sonuçlar ısı iletim katsayısı yüksek olan Au, Ag ve Cu gibi metalik nanoparçacıkların kullanılması durumunda konvektif ısı transferin de az miktarda nanoparçacık ile önemli artışlar ortaya çıkacağını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca ısı iletim katsayısı nispeten düşük olan seramik nanopartiküllerin kullanılması durumunda konvektif ısı transferinde belirli miktarda artış sağlayabilmek için metalik nanoparçacıklara göre daha yüksek miktarda nanopartikül kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4.2’de verilen sonuçlar ayrıca göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %23 artışın hacimsel olarak %4.9693 Cu nanoparçacık, %26 artışın %4.9785 Ag nanoparçacık, %40 artışın %4.5373 Au nanoparçacık, %16 artışın %4.7908 CuO nanoparçacık, %11 artışın %4.9867 Al₂O₃ nanoparçacık, %10 artışın %4.93 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.2. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	1.01	0.5842	1.01	0.2101
	1.02	1.2196	1.05	1.0573
	1.03	1.9611	1.10	2.1299
	1.04	2.6873	1.15	3.2147
	1.05	3.5526	1.20	4.3091
	1.06	4.5410	1.23	4.9693
	1.064	4.9804	-	-
Ag-Su	1.01	0.4122	1.01	0.1827
	1.02	0.8498	1.05	0.9222
	1.04	1.8143	1.10	1.8636
	1.06	2.9288	1.15	2.8220
	1.08	4.2503	1.20	3.7949
	-	-	1.25	4.7802
	-	-	1.26	4.9785
Au-Su	1.01	0.1465	1.01	0.1014
	1.02	0.2965	1.05	0.5141
	1.04	0.6083	1.10	1.0452
	1.06	0.9364	1.15	1.5924
	1.08	1.2823	1.20	2.1548
	1.10	1.6475	1.25	2.7314
	1.12	2.0336	1.30	3.3213
	1.14	2.4429	1.35	3.9235
	1.16	2.8776	1.40	4.5373
	1.18	3.3404	-	-
	1.20	3.8349	-	-
	1.22	4.3648	-	-
	1.24	4.9351		
CuO-Su	1.01	1.8371	1.01	0.2963
	1.012	2.2953	1.05	1.4871
	1.014	2.8007	1.10	2.9851
	1.016	3.3677	1.15	4.4895
	1.018	4.0197	1.16	4.7908
	1.02	4.8004	-	-
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	1.4277	1.01	0.4610
	0.98	2.8570	1.05	2.2903
	-	-	1.10	4.5414
	-	-	1.11	4.9867
TiO ₂ -Su	0.99	2.1686	1.01	0.4963
	0.98	4.2344	1.05	0.0247
	-	-	1.10	0.0493

Tablo 4.3’de baz akışkanın su olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Nanoakışkanların ısı iletim katsayısı için nanoparçacık çapının küçük olması durumunda $\beta=0.1$ alınmak kaydıyla Yu ve Choi modeli deneysel sonuçlarla daha iyi bir uygunluk sergilemektedir. Tablo 4.3’de de görülebileceği gibi nanoakışkanın ısı iletim katsayısı için daha yüksek değerler pratikte eden bu modelin kullanılması durumunda konvektif ısı transferinde daha büyük artışlar söz konusu olmaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %27 artışın hacimsel olarak %4.9528 Cu nanoparçacık, %30 artışın %4.9455 Ag nanoparçacık, %48 artışın %4.9439 Au nanoparçacık, %20 artışın %4.9309 CuO nanoparçacık, %14 artışın %4.8012 Al_2O_3 nanoparçacık, %13 artışın %4.9280 TiO_2 nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar da baz akışkan içerisinde uygun nanoparçacık kullanımının ısı iletim katsayısı yanında konvektif ısı transfer katsayısında da çok önemli mertebelerde artışlara neden olacağını göstermektedir.

Tablo 4.3. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	1.01	0.7147	1.01	0.1832
	1.02	1.5286	1.05	0.9173
	1.04	3.6300	1.10	1.8365
	1.049	4.9542	1.15	2.7557
	-	-	1.20	3.6733
	-	-	1.25	4.5880
	-	-	1.27	4.9528
Ag-Su	1.01	0.4722	1.01	0.1620
	1.02	0.9841	1.05	0.8134
	1.04	2.1593	1.10	1.6333
	1.06	3.6276	1.15	2.4580
	-	-	1.20	3.2858
	-	-	1.25	4.1154
	-	-	1.30	4.9455
Au-Su	1.01	0.1532	1.01	0.0947
	1.02	0.3108	1.05	0.4781
	1.04	0.6397	1.10	0.9672
	1.06	0.9884	1.15	1.4662
	1.08	1.3590	1.20	1.9742
	1.10	1.7538	1.25	2.4902
	1.12	2.1756	1.30	3.0134
	1.14	2.6278	1.35	3.5429
	1.16	3.1146	1.40	4.0780
	1.18	3.6409	1.45	4.6179
	1.20	4.2134	1.48	4.9439
	1.22	4.8402	-	-
CuO-Su	0.99	1.4364	1.01	0.2410
	0.98	2.8584	1.05	1.2437
	0.97	4.2705	1.10	2.4815
	-	-	1.15	3.7112
	-	-	1.20	4.9309
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	1.0208	1.01	0.3526
	0.98	2.0533	1.05	1.7486
	0.97	3.0974	1.10	3.4598
	0.96	4.1533	1.14	4.8012
TiO ₂ -Su	0.99	1.4364	1.01	0.3864
	0.98	2.8584	1.05	1.9206
	0.97	4.2705	1.10	3.8102
	-	-	1.13	4.9280

Tablo 4.4’de baz akışkanın su olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu tabloda verilen değerlerin Tablo 4.2’den tek farkı sonuçların boru içerisindeki akışkanın soğutulması durumu yerine ısıtılması durumu için olmasıdır. Aynı şartlarda soğutma yerine ısıtmanın olması durumunda Dittus-Boelter korelasyonundan da görülebileceği gibi konvektif ısı transferi daha büyük değerler almaktadır. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir. Soğutma durumunda duvara yakın bölgede viskozite daha büyük değerler alır, bu da ısı transferine negatif etki yaratır. Tam aksine ısıtma durumunda duvara yakın bölgede viskozite daha küçük değerler alır ve böylece ısı transferi de nispeten daha yüksek olur.

Tablo 4.4’de verilen sonuçlar incelendiğinde göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %18 artışın hacimsel olarak %4.8214 Cu nanoparçacık, %20 artışın %4.8220 Ag nanoparçacık, %35 artışın %4.9995 Au nanoparçacık, %13 artışın %4.7738 CuO nanoparçacık, %9 artışın %4.9437 Al_2O_3 nanoparçacık, %8 artışın %4.8219 TiO_2 nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir. Sonuçlar Tablo 4.2’dekiler ile karşılaştırıldığında ısıtma durumunda aynı miktarda konvektif ısı transfer artışı elde edebilmek için daha fazla miktarda nanoparçacık kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bunun nedeni nispeten büyük olan konvektif ısı transferi durumunda nanoakışkan kullanımı ile söz konusu olabilecek artışların da sınırlı olmasıdır. Fakat sonuçlar yine de nanoparçacık kullanımının konvektif ısı transferi katsayısında çok önemli mertebelerde artışlara neden olacağını göstermektedir.

Tablo 4.4. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	1.01	1.2553	1.01	0.2568
	1.012	1.5604	1.05	1.2990
	1.014	1.8920	1.10	2.6318
	1.016	2.2565	1.15	3.9931
	1.018	2.6637	1.18	4.8214
	1.020	3.1291	-	-
	1.022	3.6804	-	-
	1.024	4.3786	-	-
Ag-Su	1.01	0.7433	1.01	0.2605
	1.015	1.1652	1.05	1.1478
	1.02	1.6309	1.10	2.3369
	1.025	2.1526	1.15	3.5631
	1.03	2.7488	1.20	4.8220
	1.035	3.4519	-	-
	1.04	4.3260	-	-
	-	-	-	-
Au-Su	1.01	0.2048	1.01	0.1261
	1.02	0.4188	1.05	0.6444
	1.04	0.8775	1.10	1.3225
	1.06	1.3828	1.15	2.0329
	1.08	1.9439	1.20	2.7741
	1.10	2.5731	1.25	3.5444
	1.12	3.2878	1.30	4.3424
	1.14	4.1138	1.35	4.9995
CuO-Su	0.9	-	1.01	0.3597
	-	-	1.05	1.8129
	-	-	1.10	3.6565
	-	-	1.13	4.7738
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	0.9461	1.01	0.5539
	0.98	1.9021	1.05	2.7589
	0.96	3.8451	1.08	4.3996
	-	-	1.09	4.9437
TiO ₂ -Su	0.99	1.2480	1.01	0.6022
	0.98	2.4923	1.05	3.1038
	0.97	3.7350	1.08	4.8219
	0.96	4.9783	-	-

Tablo 4.5'te baz akışkanın su olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %22 artışın hacimsel olarak %4.9914 Cu nanoparçacık, %24 artışın %4.9677 Ag nanoparçacık, %37 artışın %4.8800 Au nanoparçacık, %16 artışın %4.8211 CuO nanoparçacık, %12 artışın %4.9583 Al_2O_3 nanoparçacık, %10 artışın %4.6077 TiO_2 nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir. Yu ve Choi modeli $\beta=0.1$ için $\beta=0$ 'a oranla daha büyük ısı iletim katsayısı değerleri ürettiğinden bu durumda daha büyük mertebelerde konvektif ısı transferi söz konusu olmaktadır.

Tablo 4.5'teki sonuçların Tablo 4.3 ile karşılaştırılması sonucu $\beta=0$ için olan duruma benzer şekilde konvektif ısı transferinde aynı artışın elde edilebilmesi için ısıtma durumunda soğutma durumuna göre daha fazla miktarda nanoparçacık kullanımını gerektirdiği görülebilir.

Tablo 4.5. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	0.99	9.4499	1.01	0.2226
	-	-	1.05	1.1187
	-	-	1.10	2.2494
	-	-	1.15	3.3885
	-	-	1.20	4.5329
	-	-	1.22	4.9914
Ag-Su	1.01	1.1123	1.01	0.1990
	1.015	1.8724	1.05	1.0039
	1.02	2.9707	1.10	2.0273
	1.021	3.2847	1.15	3.0666
	1.022	3.6746	1.20	4.1187
	1.023	4.2370	1.24	4.9677
Au-Su	1.01	0.2235	1.01	0.1172
	1.02	0.4593	1.05	0.5959
	1.04	0.9737	1.10	1.2149
	1.06	1.5564	1.15	1.8550
	1.08	2.2275	1.20	2.5146
	1.10	3.0182	1.25	3.1920
	1.12	3.9830	1.30	3.8854
	-	-	1.35	4.5932
	-	-	1.37	4.8800
CuO-Su	0.99	0.8916	1.01	0.3004
	0.98	1.7899	1.05	1.5047
	0.97	2.6955	1.10	3.0130
	0.96	3.6087	1.15	4.5202
	0.95	4.5298	1.16	4.8211
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	0.6984	1.01	0.4207
	0.98	1.4068	1.05	2.0908
	0.97	2.1253	1.10	4.1467
	0.96	2.8538	1.12	4.9583
	0.95	3.5926	-	-
	0.94	4.3416	-	-
	0.93	5.1011	-	-
TiO ₂ -Su	0.99	0.8916	1.01	0.4648
	0.98	1.7899	1.05	2.3159
	0.97	2.6955	1.10	4.6077
	0.96	3.6087	-	-
	0.95	4.5298	-	-

Tablo 4.6-4.9’da Tablo 4.2-4.4’de yer alan şartlarda ve modeller için baz akışkanın su yerine etilen glikol olması durumu için olan sonuçlar yer almaktadır. Su dışında ısı transferi akışkanı olarak sıkça kullanılan bir diğer akışkan da etilen glikoldür. Etilen glikolün ısı transfer karakteristikleri daha yüksek Prandtl sayısına sahip olması nedeniyle suya göre daha iyidir. Bunun sonucunda da nanoparçacık kullanımının konvektif ısı transferindeki etkisi de genel olarak suya göre biraz daha sınırlıdır.

Tablo 4.6’da baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Tablo 4.6’da verilen sonuçlar incelendiğinde göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %21 artışın hacimsel olarak %4.7934 Cu nanoparçacık, %24 artışın %4.9242 Ag nanoparçacık, %40 artışın %4.9220 Au nanoparçacık, %16 artışın %4.8532 CuO nanoparçacık, %10 artışın %4.5713 Al₂O₃ nanoparçacık, %10 artışın %4.6272 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.6. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	0.7257	1.01	0.2255
	1.02	1.5263	1.05	1.1318
	1.03	2.4196	1.10	2.2716
	1.04	3.4313	1.15	3.4165
	1.05	4.6015	1.20	4.5639
	-	-	1.21	4.7934
Ag-Etilen Glikol	1.01	0.5075	1.01	0.1990
	1.02	1.0520	1.05	1.0020
	1.04	2.2759	1.10	2.0190
	1.06	3.7400	1.15	3.0483
	-	-	1.20	4.0874
	-	-	1.24	4.9242
Au-Etilen Glikol	1.01	0.1691	1.01	0.1116
	1.02	0.3428	1.05	0.5653
	1.04	0.7045	1.10	1.1472
	1.06	1.0865	1.15	1.7445
	1.08	1.4909	1.20	2.3560
	1.10	1.9196	1.25	2.9806
	1.12	2.3752	1.30	3.6172
	1.14	2.8606	1.35	4.2646
	1.16	3.3792	1.40	4.9220
	1.18	3.9351	-	-
	1.20	4.5334	-	-
CuO-Etilen Glikol	1.01	3.8459	1.01	0.3050
	-	-	1.05	1.5241
	-	-	1.10	3.0428
	-	-	1.15	4.5526
	-	-	1.16	4.8532
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	0.99	1.2420	1.01	0.4681
	0.98	2.5096	1.05	2.3162
	-	-	1.10	4.5713
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.99	1.5532	1.01	0.4718
	0.98	3.1207	1.05	2.3393
	-	-	1.10	4.6272

Tablo 4.7’de baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %25.5 artışın hacimsel olarak %4.8131 Cu nanoparçacık, %28 artışın %4.9069 Ag nanoparçacık, %45 artışın %4.9653 Au nanoparçacık, %20 artışın %4.9336 CuO nanoparçacık, %14 artışın %4.7937 Al_2O_3 nanoparçacık, %14 artışın %4.9115 TiO_2 nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar yine nanoakışkanların ısı iletim katsayısı için daha yüksek değerler pratikte eden Yu ve Choi modelinin ele alınması durumunda konvektif ısı transferinde belirli miktarda artış elde edebilmek için daha az nanoparçacık kullanımının yeterli olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.7. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	0.9419	1.01	0.1948
	1.02	2.0616	1.05	0.9739
	1.03	3.4608	1.10	1.9423
	-	-	1.15	2.9063
	-	-	1.20	3.8636
	-	-	1.25	4.8131
	-	-	1.255	4.9076
Ag-Etilen Glikol	1.01	0.6027	1.01	0.1747
	1.02	1.2700	1.05	0.8750
	1.04	2.8747	1.10	1.7524
	-	-	1.15	2.6306
	-	-	1.20	3.5080
	-	-	1.25	4.3833
	-	-	1.28	4.9069
Au-Etilen Glikol	1.01	0.1783	1.01	0.1035
	1.02	0.3621	1.05	0.5221
	1.04	0.7472	1.10	1.0540
	1.06	1.1577	1.15	1.5947
	1.08	1.5966	1.20	2.1430
	1.10	2.0674	1.25	2.6977
	1.12	2.5744	1.30	3.2583
	1.14	3.1228	1.35	3.8268
	1.16	3.7192	1.40	4.3929
	1.18	4.3721	1.45	4.9653
CuO-Etilen Glikol	1.01	-	1.01	0.2530
	0.99	8.3093	1.05	1.2593
	-	-	1.10	2.5027
	-	-	1.15	3.7289
	-	-	1.20	4.9336
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	0.99	0.9139	1.01	0.3545
	0.98	1.8471	1.05	1.7542
	0.96	3.7717	1.10	3.4615
	-	-	1.14	4.7937
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.99	1.0947	1.01	0.3621
	0.98	2.2071	1.05	1.7934
	0.96	4.4842	1.10	3.5433
	-	-	1.14	4.9115

Tablo 4.8’de baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %18 artışın hacimsel olarak %4.9678 Cu nanoparçacık, %19 artışın %4.8222 Ag nanoparçacık, %32 artışın %4.9965 Au nanoparçacık, %13 artışın %4.6791 CuO nanoparçacık, %9 artışın %4.7819 Al_2O_3 nanoparçacık, %9 artışın %4.8766 TiO_2 nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir. Sonuçlar baz akışkanın su olması durumunda olduğu gibi ısıtma durumunda soğutmaya nazaran aynı konvektif ısı transfer artışı için daha yüksek miktarda nanoparçacık kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4.8. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	1.6661	1.01	0.2697
	1.012	2.0979	1.05	1.3579
	1.014	2.5858	1.10	2.7356
	1.016	3.1532	1.15	4.1276
	1.018	3.8459	1.18	4.9678
	1.02	4.7827	-	-
Ag-Etilen Glikol	1.01	0.9711	1.01	0.2427
	1.015	1.5450	1.05	1.2278
	1.02	2.2049	1.10	2.4880
	1.025	2.9894	1.15	3.7756
	1.03	3.9788	1.19	4.8222
Au-Etilen Glikol	1.01	0.2379	1.01	0.1377
	1.02	0.4874	1.05	0.7022
	1.04	1.0247	1.10	1.4364
	1.06	1.6216	1.15	2.2007
	1.08	2.2911	1.20	2.0031
	1.10	3.0513	1.25	3.8114
	1.12	3.9293	1.30	4.6535
	1.14	4.9678	1.32	4.9965
CuO-Etilen Glikol	0.9	23.309	1.01	0.3592
	0.91	21.561	1.05	1.7989
	-	-	1.10	3.6000
	-	-	1.13	4.6791
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	0.99	0.9164	1.01	0.5414
	0.98	1.8498	1.05	2.6821
	0.96	3.7683	1.09	4.7819
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.99	1.0647	1.01	0.5498
	0.98	2.1445	1.05	2.7298
	0.96	4.3503	1.09	4.8766

Tablo 4.9’da baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Einstein modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %21 artışın hacimsel olarak %4.8837 Cu nanoparçacık, %23 artışın %4.9763 Ag nanoparçacık, %35 artışın %4.8799 Au nanoparçacık, %17 artışın %4.9858 CuO nanoparçacık, %12 artışın %4.8031 Al₂O₃ nanoparçacık, %12 artışın %4.9486 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.9. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Einstein viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ϵ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	-	1.01	0.2321
	0.99	0.085059	1.05	1.1626
	0.98	0.106426	1.10	2.3275
	-	-	1.15	3.4916
	-	-	1.20	4.6522
	-	-	1.21	4.8837
Ag-Etilen Glikol	1.01	1.8180	1.01	0.2118
	1.012	2.4325	1.05	1.0650
	1.014	3.4251	1.10	2.1422
	-	-	1.15	3.2281
	-	-	1.20	4.3198
	-	-	1.23	4.9763
Au-Etilen Glikol	1.01	0.2636	1.01	0.1272
	1.02	0.5435	1.05	0.6449
	1.04	1.1601	1.10	1.3107
	1.06	1.8707	1.15	1.9951
	1.08	2.7087	1.20	2.6962
	1.10	3.7314	1.25	3.4119
	-	-	1.30	4.1404
	-	-	1.35	4.8799
CuO-Etilen Glikol	0.99	1.8948	1.01	0.2975
	0.98	3.5837	1.05	1.4834
	-	-	1.10	2.9540
	-	-	1.15	4.4089
	-	-	1.17	4.9858
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	0.99	0.6769	1.01	0.4110
	0.98	1.3665	1.05	2.0358
	0.96	2.7841	1.10	4.0226
	0.94	4.2538	1.12	4.8031
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.99	0.7689	1.01	0.4221
	0.98	1.5506	1.05	2.0935
	0.96	3.1528	1.10	4.1422
	0.94	4.8074	1.12	4.9486

Tablo 4.10-4.17’de Tablo 4.2-4.9’da yer alan şartlarda ancak nanoakışkanın viskozitesi için Einstein modeli yerine Brinkman modelinin kullanılması durumu için olan sonuçlar yer almaktadır. Nanoakışkanların viskozitesini pratikte etmede sıkça kullanılan bir diğer model olan Brinkman modeli Einstein modeline göre çok az bir miktar daha yüksek viskozite değerleri üretmektedir.

Tablo 4.10’da baz akışkanın su olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %23 artışın hacimsel olarak %4.8834 Cu nanoparçacık, %25 artışın %4.9052 Ag nanoparçacık, %42 artışın %4.8742 Au nanoparçacık, %15 artışın %4.6467 CuO nanoparçacık, %10 artışın %4.7761 Al_2O_3 nanoparçacık, %9 artışın %4.6872 TiO_2 nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.10. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	1.01	0.5888	1.01	0.2103
	1.02	1.2422	1.05	1.0628
	1.04	2.8338	1.10	2.1535
	1.05	3.8648	1.15	3.2717
	1.058	4.9058	1.20	4.4174
	-	-	1.23	4.8834
Ag-Su	1.01	0.4138	1.01	0.1829
	1.02	0.8571	1.05	0.9258
	1.04	1.8540	1.10	1.8795
	1.06	3.0570	1.15	2.8607
	1.08	4.6098	1.20	3.8693
	-	-	1.25	4.9052
Au-Su	1.01	0.1465	1.01	0.1014
	1.02	0.2968	1.05	0.5147
	1.04	0.6096	1.10	1.0488
	1.06	0.9399	1.15	1.5994
	1.08	1.2892	1.20	2.1686
	1.1	1.6597	1.25	2.7559
	1.12	2.0538	1.30	3.3584
	1.14	2.4744	1.35	3.9785
	1.16	2.9251	1.40	4.6150
	1.18	3.4104	1.42	4.8742
	1.2	3.9360	-	-
	1.22	4.5095	-	-
CuO-Su	1.01	2.0382	1.01	0.2968
	-	-	1.05	1.5023
	-	-	1.10	3.0505
	-	-	1.15	4.6467
	-	-	1.16	4.9719
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	1.3704	1.01	0.4631
	0.98	2.6476	1.05	2.3465
	-	-	1.10	4.7761
TiO ₂ -Su	0.99	1.9906	1.01	0.4991
	0.98	3.6664	1.05	2.5472
	-	-	1.09	4.6872

Tablo 4.11’de baz akışkanın su olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Tablo 4.11’de verilen sonuçlar incelendiğinde göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %26 artışın hacimsel olarak %4.8855 Cu nanoparçacık, %29 artışın %4.8867 Ag nanoparçacık, %47 artışın %4.9161 Au nanoparçacık, %19 artışın %4.8249 CuO nanoparçacık, %14 artışın %4.9992 Al₂O₃ nanoparçacık, %12 artışın %4.7542 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.11. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	1.01	0.7234	1.01	0.1833
	1.02	1.5765	1.05	0.9209
	1.04	4.1396	1.10	1.8414
	1.043	4.7916	1.15	2.7908
	-	-	1.20	3.7384
	-	-	1.25	4.6936
	-	-	1.26	4.8855
Ag-Su	1.01	0.4747	1.01	0.1621
	1.02	0.9958	1.05	0.8159
	1.04	2.2318	1.10	1.6438
	1.06	3.9238	1.15	2.4830
	-	-	1.20	3.3327
	-	-	1.25	4.1923
	-	-	1.29	4.8867
Au-Su	1.01	0.1533	1.01	0.0947
	1.02	0.3111	1.05	0.4786
	1.04	0.6412	1.10	0.9694
	1.06	0.9925	1.15	1.4716
	1.08	1.3673	1.20	1.9846
	1.1	1.7689	1.25	2.5077
	1.12	2.2010	1.30	3.0403
	1.14	2.6685	1.35	3.5820
	1.16	3.1778	1.40	4.1322
	1.18	3.7372	1.45	4.6906
	1.2	4.3585	1.47	4.9161
CuO-Su	1.01	-	1.01	0.2494
	0.99	-0.01923	1.05	1.2525
	-	-	1.10	2.5183
	-	-	1.15	3.7970
	-	-	1.19	4.8294
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	0.9989	1.01	0.3533
	0.98	1.9686	1.05	1.7731
	0.96	3.8366	1.10	3.5596
	-	-	1.14	4.9992
TiO ₂ -Su	0.99	1.3791	1.01	0.3877
	0.98	2.6515	1.05	1.9534
	0.96	4.9785	1.10	3.9456
	-	-	1.12	4.7542

Tablo 4.12’de baz akışkanın su olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %15 artışın hacimsel olarak %4.0820 Cu nanoparçacık, %20 artışın %4.9476 Ag nanoparçacık, %33 artışın %4.9232 Au nanoparçacık, %13 artışın %4.9470 CuO nanoparçacık, %8 artışın %4.6096 Al₂O₃ nanoparçacık, %7 artışın %4.4326 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.12. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	1.01	1.2987	1.01	0.2571
	1.02	3.8597	1.05	1.3071
	1.021	4.8224	1.10	2.6678
	-	-	1.15	4.0820
Ag-Su	1.01	0.7513	1.01	0.2262
	1.02	1.6799	1.05	1.1534
	-	-	1.10	2.3623
	-	-	1.15	3.6268
	-	-	1.20	4.9476
Au-Su	1.01	0.2050	1.01	0.1261
	1.02	0.4195	1.05	0.6454
	1.04	0.8809	1.10	1.3272
	1.06	1.3923	1.15	2.0449
	1.08	1.9652	1.20	2.7983
	1.10	2.6163	1.25	3.5872
	1.12	3.3710	1.30	4.4116
	1.14	4.2729	1.33	4.9232
CuO-Su	1.01	-	1.01	0.3605
	0.99	-	1.05	1.8352
	-	-	1.10	3.7538
	-	-	1.13	4.9470
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	0.9319	1.01	0.5569
	0.98	1.8469	1.05	2.8381
	0.96	3.6344	1.08	4.6096
TiO ₂ -Su	0.99	1.2165	1.01	0.6061
	0.98	2.3747	1.05	3.1186
	0.96	4.5608	1.07	4.4326

Tablo 4.13’de baz akışkanın su olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Tablo 4.13’de verilen sonuçlar incelendiğinde göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %21 artışın hacimsel olarak %4.8726 Cu nanoparçacık, %23 artışın %4.8585 Ag nanoparçacık, %37 artışın %4.9615 Au nanoparçacık, %16 artışın %4.9653 CuO nanoparçacık, %11 artışın %4.7218 Al₂O₃ nanoparçacık, %10 artışın %4.8014 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.13. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Su	1.01	-	1.01	0.2228
	0.99	-	1.05	1.1238
	-	-	1.10	2.2715
	-	-	1.15	3.4413
	-	-	1.20	4.6320
	-	-	1.21	4.8726
Ag-Su	1.01	1.1429	1.01	0.1992
	1.015	1.9974	1.05	1.0077
	1.018	2.7932	1.10	2.0435
	-	-	1.15	3.1061
	-	-	1.20	4.1940
	-	-	1.23	4.8585
Au-Su	1.01	0.2237	1.01	0.1172
	1.02	0.4603	1.05	0.5967
	1.04	0.9784	1.10	1.2184
	1.06	1.5705	1.15	1.8640
	1.08	2.2619	1.20	2.5322
	1.1	3.0966	1.25	3.2223
	1.12	4.1638	1.30	3.9331
	-	-	1.35	4.6639
	-	-	1.37	4.9615
CuO-Su	0.99	2.2932	1.01	0.3009
	0.98	3.9241	1.05	1.5173
	-	-	1.10	3.0661
	-	-	1.15	4.6457
	-	-	1.16	4.9653
Al ₂ O ₃ -Su	0.99	0.6926	1.01	0.4220
	0.98	1.3837	1.05	2.1245
	0.96	2.7622	1.10	4.2852
	0.94	4.1373	1.11	4.7218
TiO ₂ -Su	0.99	0.8801	1.01	0.4665
	0.98	1.7445	1.05	2.3622
	0.96	3.4344	1.10	4.8014

Tablo 4.14’de baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %23 artışın hacimsel olarak %4.9352 Cu nanoparçacık, %23 artışın %4.8413 Ag nanoparçacık, %39 artışın %4.8816 Au nanoparçacık, %15 artışın %4.7140 CuO nanoparçacık, %10 artışın %4.8084 Al_2O_3 nanoparçacık, %10 artışın %4.8749 TiO_2 nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.14. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	0.7348	1.01	0.2258
	1.02	1.5723	1.05	1.1385
	1.04	3.7795	1.10	2.3001
	-	-	1.15	3.4844
	-	-	1.20	4.6912
	-	-	1.23	4.9352
Ag-Etilen Glikol	1.01	0.5106	1.01	0.1992
	1.02	1.0662	1.05	1.0066
	1.04	2.3587	1.10	2.0391
	1.06	4.0418	1.15	3.0968
	-	-	1.20	4.1796
	-	-	1.23	4.8413
Au-Etilen Glikol	1.01	0.1692	1.01	0.1117
	1.02	0.3433	1.05	0.5661
	1.04	0.7066	1.10	1.1509
	1.06	1.0919	1.15	1.7537
	1.08	1.5018	1.20	2.3739
	1.1	1.9392	1.25	3.0110
	1.12	2.4079	1.30	3.6647
	1.14	2.9124	1.35	4.3344
	1.16	3.4585	1.39	4.8816
	1.18	4.0539	-	-
	1.2	4.7089	-	-
CuO-Etilen Glikol	1.01	-	1.01	0.3057
	1.02	-	1.05	1.5405
	0.99	-0.0195	1.10	3.1114
	-	-	1.15	4.7140
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	0.99	1.2031	1.01	0.4704
	0.98	2.3602	1.05	2.3741
	0.96	4.5640	1.10	4.8084
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.99	1.4803	1.01	0.4741
	0.98	2.8532	1.05	2.3991
	-	-	1.10	4.8749

Tablo 4.15'te baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın soğutulması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Tablo 4.15'de verilen sonuçlar incelendiğinde göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %25 artışın hacimsel olarak %4.9337 Cu nanoparçacık, %27 artışın %4.8415 Ag nanoparçacık, %44 artışın %4.9349Au nanoparçacık, %19 artışın %4.8372CuO nanoparçacık, %14 artışın %4.9892 Al₂O₃ nanoparçacık, %14 artışın %4.7543 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.15. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.3$ (soğutma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	0.9626	1.01	0.1950
	1.02	2.1931	1.05	0.9773
	1.03	4.0729	1.10	1.9599
	-	-	1.15	2.9472
	-	-	1.20	3.9386
	-	-	1.25	4.9337
Ag-Etilen Glikol	1.01	0.6078	1.01	0.1748
	1.02	1.2962	1.05	0.8780
	1.04	3.0700	1.10	1.7654
	-	-	1.15	2.6611
	-	-	1.20	3.5646
	-	-	1.25	4.4753
	-	-	1.27	4.8415
Au-Etilen Glikol	1.01	0.1784	1.01	0.1035
	1.02	0.3626	1.05	0.5227
	1.04	0.7497	1.10	1.0569
	1.06	1.1643	1.15	1.6016
	1.08	1.6104	1.20	2.1562
	1.1	2.0927	1.25	2.7198
	1.12	2.6177	1.30	3.2920
	1.14	3.1937	1.35	3.8722
	1.16	3.8323	1.40	4.4599
	1.18	4.5501	1.44	4.9349
CuO-Etilen Glikol	1.01	-	1.01	0.2534
	-	-	1.05	1.2685
	0.99	-0.03260	1.10	2.5402
	-	-	1.15	3.8151
	-	-	1.19	4.8372
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	0.99	0.8979	1.01	0.3555
	0.98	1.7839	1.05	1.7789
	0.96	3.5242	1.10	3.5609
	0.94	5.2280	1.14	4.9892
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.99	1.0678	1.01	0.3632
	0.98	2.1029	1.05	1.8199
	0.96	4.0930	1.10	3.6505
	-	-	1.14	4.7543

Tablo 4.16’da baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0$ ’a karşılık gelen modelin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %17 artışın hacimsel olarak %4.8150 Cu nanoparçacık, %19 artışın %4.9510 Ag nanoparçacık, %31 artışın %4.9157 Au nanoparçacık, %13 artışın %4.8385 CuO nanoparçacık, %8 artışın %4.4485 Al₂O₃ nanoparçacık, %8 artışın %4.5434 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.16. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0$.

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ε	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	1.7803	1.01	0.2700
	1.016	4.4647	1.05	1.3672
	-	-	1.10	2.7756
	-	-	1.15	4.2244
	-	-	1.17	4.8150
Ag-Etilen Glikol	1.01	0.9896	1.01	0.2429
	1.02	2.3442	1.05	1.2347
	-	-	1.10	2.5184
	-	-	1.15	3.8506
	-	-	1.19	4.9510
Au-Etilen Glikol	1.01	0.2382	1.01	0.1378
	1.02	0.4885	1.05	0.7035
	1.04	1.0301	1.10	1.4423
	1.06	1.6371	1.15	2.2115
	1.08	2.3268	1.20	3.0232
	1.1	3.1262	1.25	3.8638
	1.12	4.0806	1.30	4.7371
	-	-	1.31	4.9157
CuO-Etilen Glikol	0.99	3.8072	1.01	0.3601
	-	-	1.05	1.8205
	-	-	1.10	3.6914
	-	-	1.13	4.8385
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	0.99	0.9035	1.01	0.5442
	0.98	1.7985	1.05	2.7541
	0.96	3.5666	1.08	4.4485
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.99	1.0447	1.01	0.5527
	0.98	2.0664	1.05	2.8060
	0.96	4.0531	1.08	4.5434

Tablo 4.17’de baz akışkanın etilen glikol olması, viskozite için Brinkman modelinin kullanılması, boru içerisindeki akışkanın ısıtılması ve ısı iletim katsayısı için $\beta=0.1$ alınarak Yu ve Choi modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Tablo 4.17’de verilen sonuçlar incelendiğinde göz önüne alınan şartlarda ve söz konusu viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için konvektif ısı transferinde %20 artışın hacimsel olarak %4.7578 Cu nanoparçacık, %22 artışın %4.8634 Ag nanoparçacık, %35 artışın %4.9630 Au nanoparçacık, %16 artışın %4.8285 CuO nanoparçacık, %12 artışın %4.9839 Al₂O₃ nanoparçacık, %11 artışın %4.7131 TiO₂ nanoparçacık kullanımı ile elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.17. Farklı Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı oranı için Brinkman viskozite modeline dayalı olarak elde edilen hacimsel parçacık oranları, $n=0.4$ (ısıtma), $\beta=0.1$

Nanoakışkan	Nu Oranı (Nu_{nf}/Nu_f) ϵ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)	h Oranı (h_{nf}/h_f) λ	Hacimsel parçacık oranı ($\% \phi$)
Cu-Etilen Glikol	1.01	-	1.01	0.2324
	0.99	-	1.05	1.1684
	-	-	1.10	2.3518
	-	-	1.15	3.5487
	-	-	1.20	4.7578
Ag-Etilen Glikol	1.01	2.0132	1.01	0.2120
	1.011	2.4448	1.05	1.0694
	-	-	1.10	2.1612
	-	-	1.15	3.2737
	-	-	1.20	4.4055
Au-Etilen Glikol	-	-	1.22	4.8634
	1.01	0.2640	1.01	0.1272
	1.02	0.5452	1.05	0.6459
	1.04	1.1682	1.10	1.3152
	1.06	1.8959	1.15	2.0062
	1.08	2.7742	1.20	2.7176
	1.1	3.8960	1.25	3.4483
	-	-	1.30	4.1971
CuO-Etilen Glikol	-	-	1.35	4.9630
	0.99	1.7970	1.01	0.2980
	0.98	3.2900	1.05	1.4954
	-	-	1.10	3.0034
	-	-	1.15	4.5232
Al ₂ O ₃ -Etilen Glikol	-	-	1.16	4.8285
	0.99	0.6745	1.01	0.4122
	0.98	1.3452	1.05	2.0668
	0.96	2.6981	1.10	4.1477
TiO ₂ -Etilen Glikol	0.94	4.0588	1.12	4.9839
	0.99	0.7611	1.01	0.4234
	0.98	1.5198	1.05	2.1272
	0.96	3.0307	1.10	4.2796
	0.94	4.5349	1.11	4.7131

KAYNAKLAR

- [1] Bergles, A.E., *Techniques to Enhance Heat Transfer*, Handbook of Heat Transfer, Chapter 11, 3rd ed W.M. Rohsenow, J.P. Hartnett, and Y.I. Cho, eds. New York, McGraw-Hill, 1998.
- [2] Maxwell, J.C., *Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1873.
- [3] Maxwell J. C., *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1881.
- [4] Sohn, C.W., ve Chen, M.M., *Microconvective Thermal Conductivity in Disperse Two-Phase Mixtures as Observed in a Low Velocity Couette Flow Experiment*, J. Heat Transfer, Cit No: 103, Sayfa No: 45-51, (1981).
- [5] Ahuja, A.S., *Thermal Design of a Heat Exchanger Employing Laminar Flow of Particle Suspensions*, Int. J. Heat Mass Trans., Cilt: 25(5), Sayfa No: 725-728, (1982).
- [6] Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Yu, W. ve Thompson, L.J., *Anomalousy Increased Effective Thermal Conductivity of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles*, Appl. Phys. Lett., Cilt: No 78, Sayfa No: 718–720, (2001).
- [7] Choi, S., *Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles*, Developments and Applications of Non-Newtonian Flow, D.A. Siginer and H.P. Wang, eds., ASME, New York, FED-Cilt No: 231/MD-66, Sayfa No: 99-105, (1995).

- [8] Keblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S. ve Eastman, J.A., ***Mechanisms of Heat Flow in Suspensions Of Nano-Sized Particles Nanofluids***, Int. J. Heat Mass Transfer, Cilt No: 45, Sayfa No: 855–863, (2002).
- [9] Choi, S. U. S., Zhang, Z. G., Yu, W., Lockwood, F. E. ve Grulke, E. A., ***Anomalous Thermal Conductivity Enhancement in Nanotube Suspension***, Appl. Phys. Lett., Cilt No: 79, Sayfa No: 2252-2254, (2001).
- [10] Eastman, J., Choi, S. U. S., Li, S., Thompson, L., ve Lee, S., ***Enhanced Thermal Conductivity Through the Development of Nanofluids***, Proceedings of the Symposium on Nanophase and Nanocomposite Materials II, Materials Research Society, Boston, Cilt No: 457, Sayfa No: 3-11, (1997).
- [11] Pak, B.C., Cho, Y.I., ***Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles***, Experiment Heat Transfer, Cilt No: 11, Sayı No:2, Sayfa No: 151–170, (1998).
- [12] Wang, X., Choi, S. U. S., ve Xu, X., ***Thermal Conductivity of Nanoparticle - Fluid Mixture***, J. Thermophys. Heat Transfer, Cilt: 13(4), Sayfa No: 474-480, (1999).
- [13] Xuan, Y. ve Li, Q., ***Heat Transfer Enhancement of Nanofluids***, Int. J. Heat Fluid Flow, Cilt No: 21, Sayfa No: 58–64, (2000).
- [14] Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., ve Ai, F., ***Dependence of the Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture on the Base Fluid***, J. Mater. Sci. Lett., Cilt No: 21(19), Sayfa No: 1469-1471, (2002).
- [15] Patel H.E. , Das S.K. , Sundararagan T. , Nair A.S. , Geoge B. , ve Pradeep T. , ***Thermal Conductivities of Naked and Monolayer Protected Metal Nanoparticle Based Nanofluids: Manifestation of Anomalous Enhancement and Chemical Effects***, Applied Physics Letters, Cilt No: 83, Sayfa No: 2931–

2933, (2003).

- [16] Putra, N., Roetzel, W. ve Das, S.K., ***Natural Convection of Nano-Fluids***, Int. J. Heat and Mass Trans., Cilt No: 39, Sayfa No:775–784, (2003).
- [17] Khanafer, K., Vafai, K. ve Lightstone, M., ***Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids***, Int. J. Heat and Mass Trans., Cilt No: 46, Sayfa No: 3639–3653, (2003).
- [18] Wen, D. ve Ding, Y., ***Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluids at the Entrance Region Under Laminar Flow Conditions***, Int. J. Heat and Mass Trans., Cilt No: 47, Sayfa No: 5181–5188, (2004).
- [19] Roy, G., Nguyen, C.T., ve Lajoie, P.-R., ***Numerical Investigation of Laminar Flow and Heat Transfer in a Radial Flow Cooling System with the Use of Nanofluids***, Superlatt. Microstructure, Cilt No: 35 (3–6), Sayfa No: 497–511, (2004).
- [20] Maiga, S.E.B., Palm, S.J., Nguyen, C.T., Roy, G. ve Galanis, N., ***Heat Transfer Enhancements by Using Nanofluids in Forced Convection Flows***, International Journal of Heat and Fluid Flow, Cilt No: 26, Sayfa No: 530–546, (2005).
- [21] Nguyen C.T., Galanis N., Roy G., Divoux S., ve Gilbert D., ***Pool Boiling Characteristics of Water-Alumina Nanofluids***, Proc. 13th Int. Heat Transfer Conf., Sydney, Cilt No: 10.1615, Sayfa No: 8-20, (2006).
- [22] Kim D., Kwon Y.H., Cho Y.H., Li C., Cheong S., Hwang Y., Lee J.K., Hong D.S., ve Moon S., ***Convective Heat Transfer Characteristics of Nanofluids under Laminar and Turbulent Flow Conditions***, Current Applied Physics, Cilt No: 9, Sayı: 2, Sayfa No: 119-123, (2009).

- [23] Murshed, S., Leong, K., ve Yang, C., ***Thermophysical and Electrokinetic Properties of Nanofluids - a Critical Review***, Appl. Therm. Eng., Cilt No: 28(17-18), Sayfa No: 2109-2125, (2008).
- [24] Bianco, V., Manca, O. ve Nardini, S., ***Numerical Simulation of Water/ Al_2O_3 Nanofluid Turbulent Convection***, Advances in Mechanical Engineering, Volume 2010, Article ID 976254, 10 Sayfa, (2010).
- [25] Bianco, V., Manca, O. ve Nardini, S., ***Numerical Investigation on Nanofluids Turbulent Convection Heat Transfer inside a Circular Tube***, International Journal of Thermal Sciences, Cilt No: 50, Sayfa No: 341-349, (2011).
- [26] Lotfi, R., Saboohi, Y., ve Rashidi, A. M., ***Numerical Study of Forced Convective Heat Transfer of Nanofluids: Comparison of Different Approaches***, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, Cilt No: 37(1), Sayfa No: 74–78, (2010).
- [27] Moghaddami, M., Mohammadzade, A. ve Esfehiani, S.A.V., ***Second Law Analysis of Nanofluid Flow***, Energy Conversion and Management, Cilt No: 52, Sayfa No: 1397-1405, (2011).
- [28] Buongiorno, J., ***Convective Transport in Nanofluids***, ASME J. Heat Transfer, Cilt: 128, Sayfa No: 24, (2006).
- [29] Suresh, S., Chandrasekar, M. ve Sekhar, S.C., ***Experimental Studies on Heat Transfer and Friction Factor Characteristics of CuO/Water Nanofluid under Turbulent Flow in a Helically Dimpled Tube***, Experimental Thermal and Fluid Science, Cilt No: 35, Sayfa No: 542-549, (2011).
- [30] Xuan, Y., ve Roetzel, W., ***Conceptions For Heat Transfer Correlation of Nanofluids***, Int. J. Heat Mass Trans., Cilt No: 43(19), Sayfa No: 3701-3707, (2000).

- [31] Williams, W., Buongiorno, J. ve Hu, L-W., ***Experimental Investigation of Turbulent Convective Heat Transfer And Pressure Loss of Alumina/Water and Zirconia/ Water Nanoparticle Colloids (Nanofluids) in Horizontal Tubes***, Journal of Heat Transfer, Cilt No: 130, Sayfa No: 1–6, (2008)
- [32] Dittus, F. W. ve Boelter, L. M. K., ***Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type***, University of California Publications in Engineering, Cilt No: 2, Sayı No: 13, Sayfa No: 443-461, (1930).
- [33] Duangthongsuk, W. ve Wongwises, S., ***An Experimental Study on the Heat Transfer Performance and Pressure Drop of TiO₂-Water Nanofluids Flowing under a Turbulent Flow Regime***, Int. J. Heat and Mass Transfer, Cilt No: 53, Sayfa No: 334-344, (2010).
- [34] Hamilton, R.L. ve Crosser, O.K., ***Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems***, Ind. Eng. Chem. Fundam., Cilt No: 1, Sayfa No: 187–191, (1962).
- [35] Yu W. ve Choi S.U.S., ***The Role of Interfacial Layers in the Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids, a Renovated Maxwell Model***, J. Nanoparticle Res., Cilt No: 5, Sayfa No: 167-171, (2003).
- [36] Einstein, A., ***A New Determination of the Molecular Dimensions***, Ann. Phys., Cilt No: 324, Sayı No: 2, Sayfa No: 289-306, (1906).
- [37] Heris, S.Z., Etemad, S., ve Esfahany, M.N., ***Experimental Investigation of Oxide Nanofluids Laminar Flow Convective Heat Transfer***, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, Cilt No: 33, Sayı No: 4, Sayfa No: 529-535, (2006).
- [38] Drew,D.A. ve Passman, S.L., ***Theory of Multi Component Fluids***, Springer, Berlin, 1999.

- [39] Brinkman, H.C., *The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions*, J. Chem. Phys., Cilt No: 20, Sayfa No: 571–581, (1952).
- [40] Meibodi, M.E., Vafaie-Sefti, M., Rashidi, A.M., Amrollahi, A., Tabasi M. ve Kalal, H.S., *An Estimation for Velocity and Temperature Profiles of Nanofluids in Fully Developed Turbulent Flow Conditions*, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, Cilt No: 37, Sayfa No: 895-900, (2010).
- [41] Incropera, F.P ve DeWitt, D.P., *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayınevi, İstanbul, Sayfa No: 895-914, 2010.
- [42] Kahveci, K., *Buoyancy Driven Heat Transfer of Nanofluids in a Tilted Enclosure*, Journal of Heat Transfer-Transaction of the ASME, Cilt No: 132, Sayı No: 6, Sayfa No: 062501-1-062501-12, (2010).
- [43] Alıcı, F. ve Gündüz, M., *Örneklerle Isı Geçişi*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Sayfa No: 543, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılı Edirne doğumluyum. 2003 yılı Edirne Lisesi, 2007 yılı Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü mezunuyum. 2007 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladım. Eylül 2010 yılından beri Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.