

**ANİ GENİŞLEMELİ KANALLARDA
NANOAKIŞKANLARIN LAMİNER ZORLANMIŞ
ISI TAŞINIMININ SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

**2017
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Ozan GÜLSER

**ANİ GENİŞLEMELİ KANALLARDA NANOAKIŞKANLARIN LAMİNER
ZORLANMIŞ ISI TAŞINIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Ozan GÜLSER

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Aralık 2017

Ozan GÜLSER tarafından hazırlanan “ANİ GENİŞLEMELİ KANALLARDA NANOAKIŞKANLARIN LAMİNER ZORLANMIŞ ISI TAŞINIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

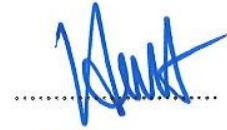


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/12/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin KURT (NEÜ)



Üye : Doç. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)



23/02/2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





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

Ozan GÜLSER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANİ GENİŞLEMELİ KANALLARDA NANOAKIŞKANLARIN LAMİNER ZORLANMIŞ ISI TAŞINIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Ozan GÜLSER

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK

Aralık 2017, 58 sayfa

Bu çalışmada, ani genişlemeli bir kanalda sabit duvar ısı akısı (100 W/m^2) altında farklı tipteki nanoakışkanların (SiO_2/su , ZnO/su , TiO_2/su , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$, Cu/su) laminar ($100 < \text{Re} < 500$) zorlanmış taşınım ile ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon (%0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0) için sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Akışın, kanal girişinde üniform olduğu kabul edilmiş ve hesaplamalar hidrodinamik olarak tam gelişmiş laminar akış koşulları için yapılmıştır. Sayısal çalışmada, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümleri yapabilen ANSYS Fluent kodu, problemle ilgili olan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini iteratif olarak çözmek için kullanılmıştır. Re sayısının ve nanopartikül hacimsel konsantrasyonunun taşınım ile ısı transfer katsayısı (h), Nusselt sayısı (Nu), basınç düşümü (ΔP) ve Darcy sürtünme faktörü (f) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar ilgili parametreler dikkate alınarak grafiksel olarak gösterilmiş ve detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Elde

edilen sonuçlara göre ısı taşınım katsayısı h , Re sayısı ve nanopartikül hacimsel konsantrasyonu ile birlikte artmaktadır. Isı taşınım katsayısındaki maksimum artış miktarı nanopartikül hacimsel konsantrasyonun %2.0 ve $Re=100$ değerinde Al_2O_3/su nanoakışkanı için gerçekleşmiş olup yüzdelik artış miktarı 5.40 olarak hesaplanmıştır. Saf suya nanopartikül ilavesi ısı taşınım katsayısı h değerini arttırmaktadır. Bununla birlikte saf suya nanopartikül ilavesi basınç düşümü ΔP 'yi, arttırırken f Darcy sürtünme faktörü bundan etkilenmemiştir.

Anahtar Sözcükler : Laminer zorlanmış taşınım, nanoakışkan, ani genişleme, sayısal çalışma.

Bilim Kodu : 914.1.065

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION ON LAMINAR FORCED CONVECTION OF NANOFLUIDS IN SUDDEN EXPANSION CHANNELS

Ozan GÜLSER

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Engin GEDİK

December 2017, 58 pages

In the present study, laminar ($100 < Re < 500$) convective heat transfer characteristics of various type of nanofluids (SiO_2 /water, ZnO /water, TiO_2 /water, Al_2O_3 /water, Cu /water) flow were investigated numerically under the constant heat flux (100 W/m^2) in sudden expansion channel. Numerical computations were performed for different nanoparticle volume fractions (0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0%). The flow is assumed that uniform at the channel inlet and the computations were made for the fully developed flow conditions. In the numerical study, ANSYS Fluent code that can analyze based on the Finite Volume Method (FVM) was used for solving the governing equations (continuity, energy and momentum) related the considered problem. The effects of Re number and nanoparticle volume fractions on the convective heat transfer coefficient (h), Nu number, pressure drop and Darcy friction factor were investigated. The results obtained by numerical study were presented as graphically taking into consideration the relevant parameters and examined in detail. Based on the obtained results, the

convective heat transfer coefficient h increases with the increase of Re number and nanoparticle volume fractions. The maximum enhancement of the h value was observed for the 2.0% nanoparticle volume fractions at $Re=100$ for Al_2O_3 /water nanofluid as about 5.40 percent. Nanoparticle addition to pure water provides convective heat transfer coefficient enhancement. Furthermore, although the nanoparticle addition to pure water increases pressure drop of flow, the Darcy friction factor was not affected from it.

Key Word : Laminar forced convection, nanofluid, sudden expansion channel, numerical study.

Science Code : 914.1.065

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK'e teşekkür etmeyi borç bilirim. Tecrübelerinden faydalandığım Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm kıymetli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme maddi manevi hiçbir yardımı esirgemediğim yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Son olarak yapılan bu Tez çalışması Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Lisansüstü Tez Destek projeleri kapsamında KBÜ-BAP-16/1-YL-101 nolu proje ile desteklenmiştir. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 3	7
NANOAKIŞKANLAR	7
3.1. NANOAKIŞKAN NEDİR?	7
3.2. NANOAKIŞKAN TİPLERİ	9
3.3. NANOAKIŞKANLARI HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ.....	11
3.4 NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	11
3.4.1. Yoğunluk	11
3.4.2. Özgül Isı	11
3.4.3. Viskozite.....	12
3.4.4. Isıl İletkenlik	12
3.5. NANOAKIŞKANLARIN UYGULAMA ALANLARI.....	13
3.5.1. Elektronik Uygulamalar	13
3.5.2. Ulaşım	13

	<u>Sayfa</u>
3.5.3. Nükleer Reaktörlerin Soğutulması.....	14
3.5.4. Tıbbi Uygulamalar	14
3.5.5. Uzay ve Savunma.....	14
3.5.6. Enerji Uygulamaları.....	14
 BÖLÜM 4	 16
METARYAL VE YÖNTEM	16
4.1 SAYISAL YÖNTEM	16
4.1.1 Sonlu Hacimler Yöntemi.....	16
4.1.2. Ansys Fluent	17
4.1.2.1. Fluent’ in Teknik Özellikleri.....	17
4.1.2.2. Fluent Programının Çalışma Prensipleri.....	19
4.2 PROBLEM GEOMETRİSİ.....	20
 BÖLÜM 5	 26
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	26
5.1. ISI TAŞINIM KATSAYISI (h).....	26
5.2. NUSSELT SAYISI (Nu).....	34
5.3. BASINÇ DÜŞÜMÜ (ΔP).....	39
5.4. DARCY SÜRTÜNME FAKTÖRÜ (f)	47
 BÖLÜM 6	 52
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR.....	53
 ÖZGEÇMİŞ.....	 58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1. Problem geometrisi.	21
Şekil 4.2. Probleme ait sayısal ağ yapısı.	21
Şekil 4.3. Meshden bağımsız çalışma.	27
Şekil 5.1. Farklı Re değerlerinde SiO ₂ /su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.	27
Şekil 5.2. Farklı Re değerlerinde ZnO/su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.	27
Şekil 5.3. Farklı Re değerlerinde TiO ₂ /su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.	28
Şekil 5.4. Farklı Re değerlerinde Al ₂ O ₃ /su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi	28
Şekil 5.5. Farklı Re değerlerinde Cu/su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.	30
Şekil 5.6. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.	30
Şekil 5.7. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.	32
Şekil 5.8. %1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.	33
Şekil 5.9. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.	33
Şekil 5.10. SiO ₂ /su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.	34
Şekil 5.11. ZnO/su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.	35
Şekil 5.12. TiO ₂ /su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.	36
Şekil 5.13. Al ₂ O ₃ /su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.	36
Şekil 5.14. Cu/su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.	36
Şekil 5.15. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.	37
Şekil 5.16. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.	38
Şekil 5.17. %1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.	38
Şekil 5.18. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.	39
Şekil 5.19. Farklı Re değerlerinde SiO ₂ /su nanoakışkanı için basınç düşümü.	38
Şekil 5.20. Farklı Re değerlerinde ZnO/su nanoakışkanı için basınç düşümü.	43
Şekil 5.21. Farklı Re değerlerinde TiO ₂ /su nanoakışkanı için basınç düşümü.	43

Sayfa

Şekil 5.22. Farklı Re değerlerinde Al_2O_3 /su nanoakışkanı için basınç düşümü.....	43
Şekil 5.23. Farklı Re değerlerinde Cu/su nanoakışkanı için basınç düşümü.	43
Şekil 5.24. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümünün karşılaştırılması.	45
Şekil 5.25. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümünün karşılaştırılması.	45
Şekil 5.26.%1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınçdüşümünün karşılaştırılması.	46
Şekil 5.27. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümünün karşılaştırılması.	46
Şekil 5.28. SiO_2 /su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.	47
Şekil 5.29. ZnO /su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.....	47
Şekil 5.30. TiO_2 /su nanoakışkanını için Darcy sürtünme faktörünün	46
Şekil 5.31. Al_2O_3 /su nanoakışkanını için Darcy sürtünme faktörünün.....	47
Şekil 5.32. Cu/su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.	49
Şekil 5.33. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırılması.	50
Şekil 5.34. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcyürtünme faktörünün karşılaştırılması.	50
Şekil 5.35. %1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırılması.	51
Şekil 5.36. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırılması.	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 25 °C’de Al ₂ O ₃ /su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri	22
Çizelge 4.2 25°C’de TiO ₂ /su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri	22
Çizelge 4.3 25°C’de SiO ₂ /su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri	22
Çizelge 4.4 25°C’de ZnO/su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri	23
Çizelge 4.5 25°C’de Cu/su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri	23
Çizelge 5.1 Saf su yerine nanoakışkan kullanımı sonucu ısı taşınım katsayısındaki iyileştirme miktarı.	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A_s	: Yüzey alanı, (m^2)
C_p	: Özgül ısı (J/kgK)
$C_{p_{nf}}$	: Nanoakışkan özgül ısısı (J/kgK)
f	: Darcy sürtünme faktörü
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
k_{nf}	: Nanoakışkan ısı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Uzunluk, (m)
m	: Kütle (kg)
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
Re	: Reynoldssayı
T_b	: Ortalama akışkan sıcaklığı, (K)
T_i	: Akışkanın kanala giriş sıcaklığı (K)
T_o	: Akışkanın kanaldan çıkış sıcaklığı (K)
T_w	: Kanal duvar sıcaklığı (K)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
ρ_{nf}	: Nanoakışkan yoğunluğu (kg/m^3)
μ	: Dinamik viskozite (kg/ms)
Φ	: Akışkan içerisindeki nano partikül oranı (%)

KISALTMALAR

CFD	: Computational Fluid Dynamics
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
SHY	: Sonlu Hacimler Yöntemi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişmenin bir göstergesi olan enerji günümüz toplumlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Fosil kökenli, kısıtlı enerji kaynakları ve bunların çevreye olan zararlı etkileri insanların yeni enerji kaynaklarına yönelmelerine ve mevcut enerji teknolojilerini en verimli şekilde kullanmalarına neden olmaktadır. Hızla artan dünya nüfusu ve ülkelerin sanayileşmesi ile birlikte artan enerji ihtiyacı, enerji maliyetleri de bu nedenler arasında gösterilebilmektedir. Bu yüzden yeni ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı ve halihazırdaki mevcut enerji sistemlerinde tasarrufa ve verimlilik artışına yönelik çalışmalar günümüzde büyük önem kazanmıştır. Enerjinin verimli kullanımı ile gerçekleştirilecek enerji tasarrufu, aynı ürünü elde etmek için gereken enerjinin azaltılması ya da aynı miktarda enerji ile daha fazla ürün elde edilmesini sağlayabilecektir.

Isı transferinin artırılması enerjiyi tasarruf etmenin bir yoludur. Bir çok mühendislik sistemlerinde ısı transferi uygulamaları sıklıkla görülmektedir. Bunlardan bazıları ısıtma-soğutma, ulaşım, elektronik, uzay teknolojisi, nükleer teknoloji vb. uygulamalardır. Bu tür gelişen modern endüstriyel uygulamalarda daha yüksek ısı transfer oranları istenmektedir. Günümüz uygulamalarında bu istekleri yerine getirebilmek için, ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanlarında artış, daha fazla ısı transferi için daha yüksek sıcaklık farkları ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme kullanımı gibi yöntemler kullanılmaktadır. Fakat boyutsal sınırlar, malzeme dayanım sınırları ve üretim maliyeti gibi nedenlerle bu yöntemlerin kullanımında varılabilecek üst değerlere ulaşılmıştır [1]. Aynı zamanda su, yağ ve etilen glikol gibi geleneksel ısı transferi akışkanlarının düşük ısıl iletim katsayılarına sahip olmaları nedeniyle de geleneksel teknolojiler aracılığıyla ısı transferini artırma çabaları da üst sınırlarına ulaşmış durumdadır. Bu nedenle geleneksel ısı transferi akışkanlarının ısı transfer uygulamalarındaki tercih edilme oranları giderek azalmaktadır. Bununla birlikte

Çalışma akışkanlarının ısı transfer karakteristiklerinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar son yıllarda ivme kazanmıştır. Son yapılan çalışmalarda yeni teknik ve yöntemler geliştirilmiş ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu yöntemlerden bir tanesi de su yağ etilen glikol gibi geleneksel ısı transferi akışkanına metalik ya da metalik olmayan nano boyutta (<100 nm) parçacıklar eklenerek oluşturulan süspansiyonlardır [2-3]. Bakır, gümüş, altın, titanyum, alimünyum, silisyum, çinko ile bunların oksitleri ve karbon gibi nano boyuttaki parçacıklar; bu tür sıvıların ısı transferi katsayılarını artırmak için kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmanın amacı da baz akışkan saf suyun içine karıştırılmış farklı nanopartiküllerin ani genişlemeli bir kanalda laminar akış koşulları için akış ve ısı transfer karakteristiklerinin incelenerek ısı taşınımındaki iyileştirme miktarının tespit edilmesidir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı transferi akışkanları, nakliye, enerji temini, havalandırma ve elektronik soğutma v.s. gibi birçok endüstriyel ve özel uygulama alanlarına sahiptirler. Su, yağlar, glikoller gibi geleneksel ısı transferi akışkanları düşük ısıl iletkenlikleri nedeni ile zayıf ısı transferi performansı göstermektedirler. Bu nedenle, akışkanların ısı transferi özelliklerini iyileştirmek için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Maxwell' in önderliğinde 1881 yılında başlatılan ve ısı iletkenlik değerini arttırmak için geleneksel ısı transferi akışkanlarına katı parçacıkların eklenmesi yenilikçi bir fikir olarak ortaya çıkmıştır. İlk başlarda, mikrometre hatta milimetre boyutlu katı parçacıklar süspansiyon oluşturmak için baz akışkanlarına karıştırılmıştır. Bununla birlikte, bu büyük boyutlu katı parçacıklar, mikro kanalların tıkanması, boru hatlarının aşınması ve pratik uygulamaları kısıtlayan basınç düşüşünün artması gibi can sıkıcı sorunlara yol açmıştır. Aslında, sıvı süspansiyonlar başlarda yalnızca teorik bir ilgi alanı iken bir takım araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar küçük başarılar göstermiştir. Parçacıkların boyutunun büyük olması ve küçük boyutlu parçacıkların üretimindeki zorluklar diğer sınırlayıcı faktörler olmuştur [4].

Choi ve Eastman'ın çalışmasında nanoakışkanlar; “nano boyutta metalik parçacıkların, su, etilen glikol (EG) veya motor yağı (EO) gibi endüstriyel ısı transferi akışkanları içerisinde dağıtılmasıyla oluşturulmuş, yaklaşık 10 nm büyüklüğünde metalik parçacıklar içeren ve günümüzde kullanılan nano boyut teknolojisi ile üretililecek, yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni tür akışkanlar” olarak tanımlanmıştır [5]. Choi ve Eastman, birçok farklı akışkana çeşitli metal ve metal oksit nanoparçacıklarını katmayı denemişlerdir. Nanoakışkanlar üzerine olan araştırmanın ilk aşaması, makroskobik olarak durağan şartlar altında ısıl iletkenlik üzerine odaklanılarak Amerika’ daki Ulusal Argonne Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Nanoakışkanlar, 1990 yılının sonlarında dünya çapında ilgi görmüş ve çok sayıda yapılan çalışmaların kanıtı olarak 2002’ den itibaren çok daha fazla ilgi gören bir çalışma alanı olmuştur [6]. Eğer performansları şüphenin ötesine geçerse, nanoakışkanlar birçok uygulama alanına sahip olabilirler. Artan ısı özellikler, büyük ölçekli ısıtma ve soğutma uygulamalarından, elektronik ve otomobillere ve hatta nükleer güç santrallerine kadar birçok alanda boyutsal olarak küçülme sağlanmasına yol açacaktır. Benzer olarak, mikrobiyal davranışları zararlı bakterilerin kontrol altına alınmasını ve daha güvenilir yaşam ortamı elde edilmesini sağlayacaktır [7].

Geçen 20 yılda çok sayıda araştırmacı nano akışkanların özelliklerini çalışmış ve geleneksel ısı transfer akışkanınıninkine kıyasla daha iyi ısı performanslar sergilediği belirtilmiştir. Bunun sonucunda; taşınım ısı transfer karakteristikleri farklı geometri ve akış koşulları için teorik ve deneysel olarak bir çok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir [8-9]. Sudarmatji vd. [10] laminar akış rejimi altında alümina-su nano akışkanını kullanarak nano akışkanın taşınım ısı transferini ve basınç düşümünü araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada nano parçacıklar %0.15, %0.25 ve %0.5 arasında değişiklik göstermiştir. Saha ve Paul [11] yapmış oldukları sayısal çalışmada; çapları 10 ile 40 nm arasında, nano partikül hacimsel konsantrasyonları da %4 ve %6 aralığında değişen su bazlı Al_2O_3 ve TiO_2 nano akışkanları incelenmiştir. Sabit ısı akısı altında yatay dairesel borudaki akış hızı, türbülans kinetik enerjisi, Nu sayısı ve Darcy sürtünme faktörü değerleri bulunarak deneysel verilerle karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Cu/su nanoakışkanının dairesel bir borudaki ısı taşınım deneysel olarak Heris vd. [12] tarafından incelenmiştir. Deneyler laminar akış durumu ve sabit duvar sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Nu ve Pe sayısının partikül oranları ile değişimleri incelenmiştir. Partikül oranının artmasıyla birlikte ısı taşınım katsayısının arttığı çalışma sonucunda belirtilmiştir. Nassan vd. [13] yaptıkları çalışmada kare kanal içindeki Al_2O_3 /su ve CuO/su nanoakışkanların laminar akış koşullarındaki akış ve ısı transfer karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada nanoakışkanların suya göre ısı transferinin iyileştirildiği belirtilmiştir. Al_2O_3 /su nanoakışkanının, kare kanal içerisindeki laminar akış durumu ve sabit ısı akısı altında gerçekleşen ısı transfer özellikleri deneysel olarak Heris vd. [14] tarafından incelenmiştir.

Akışkan akışındaki ayrılma akış geometrisindeki ani bir değişim ile oluşturulabilir. Bu gerçeğe bağlı olarak ani genişlemeler mekanik, kimyasal, sivil ve nükleer sanayiler gibi geniş bir mühendislik uygulamaları aralığında kullanılmaktadır. Bu nedenle genişleme; soğutma, kalıptan çekme, serbest jetler ve ısı transferinin talep edildiği yerler gibi çok sayıdaki mühendislik uygulamalarının tasarımında önemli bir rol oynamaktadır [15-16]. Akışkan akışı ve ısı transfer davranışları üzerinde bir etki gösteren ani genişleme üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Togun ve ark. [17] geri basamak türbülanslı ve laminar Cu/su akışı ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma, farklı nano partikül hacimsel konsantrasyonunda (%0, %2 ve %4), laminar ($50 < Re < 200$) ve türbülanslı ($5000 < Re < 20000$) akış şartları için, 2'lik bir genişleme oranı ve $4000 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'lik sabit bir ısı akısı altında gerçekleştirilmiştir. Bae ve Kim [18] tarafından yapılan çalışmada yuvarlatılmış kenarlı ani genişlemeli, eksenel simetrik bir kanaldaki türbülanslı akış sayısal olarak çalışılmıştır. Sayısal çalışma CFD yazılımı olan ANSYS Fluent kodu kullanılmıştır. Çalışmalarında, 3105 değerindeki bir Reynolds sayısında 0.02'den 0.5'e kadar değişen boyutsuz boru uzunlukları, 2-6 arasında genişleme oranları ve 45° 'ye kadar boru açılarında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Davoud Nouri vd. [19] tarafından yapılan çalışmada CuO nanoakışkanının ani genişlemeli ve daralmalı silindirik kanallarda entropi üretimi konusu incelenmiştir. Çalışmada nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu, nanoparçacık boyutları, tıkanma oranı ve Reynolds sayısı gibi parametrelerin entropi üretimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu ve ısı kaynağının yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak entropi üretiminin arttığı bulunmuştur. Diğer taraftan genişleme/tıkanma oranının düşürülmesi ile entropi üretiminin azaldığı belirtilmiştir. Togun vd. [20] tarafından yapılan çalışmada türbülanslı akış koşulları için ani genişlemeli konsantrik silindirler yoluyla $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı incelenmiştir. Çalışma sonucunda Reynolds sayısı ve nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu artışı ile yüzey ısı transfer katsayısının arttığı bulunmuştur. Ek olarak ani genişleme boyutlarının artması ile ani genişleme adım yüksekliğinden uzaklaştıktan sonra ısı transfer katsayısının en üst seviyeye ulaştığı görülmüştür. Ani genişlemeli kanalda farklı tipteki nanoakışkanların türbülanslı akış şartlarında Kimouche vd. [21] tarafından gerçekleştirilen bir diğer sayısal çalışmada; nanopartikül hacimsel konsantrasyon ve Re sayısının akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada nanoakışkan

olarak Ag/su, Cu/su, CuO/su ve Al₂O₃/su kullanılmıştır. Ortalama Nu sayısının nano partikül hacimsel konsantrasyon ve Re sayısının artışı ile birlikte arttığını belirtilmiştir. Christopher vd. [22] tarafından yapılan çalışmada kararsız akım fonksiyonu ve vortisite metodu kullanılarak su bazlı Ag, Cu, Al₂O₃ and SiO₂ nanoakışkanlarının 2 boyutlu ani genişlemeli kanalda laminar zorlanmış ısı taşınımı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Nusselt sayısının yeniden bağlanma noktasında en üst değerlere ulaştığı görülmüştür. En yüksek Nusselt sayı değeri Ag/su nano akışkanı için elde edilmiştir. Bunu sırasıyla Cu/su, Al₂O₃/su, SiO₂/su ve saf suyun izlediği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, ani genişlemeli bir kanalda sabit duvar ısı akısı (100 W/mK) altında laminar akış (100<Re<500) şartları için farklı tipteki nanoakışkanların (SiO₂/su, ZnO/su, TiO₂/su, Al₂O₃/su, Cu/su) akış ve zorlanmış taşınım ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyonu oranları (%0.5 %1.0, %1.5 ve %2.0) için sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Akışın, kanal girişinde üniform olduğu kabul edilmiş ve hesaplamalar hidrodinamik olarak tam gelişmiş laminar akış koşulları için yapılmıştır. Sayısal çalışmada, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümleri yapabilen ANSYS Fluent kodu, problemle ilgili olan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini iteratif olarak çözmek için kullanılmıştır. Re sayısının ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarının taşınım ısı transfer katsayısı (h), Nusselt sayısı, basınç düşümü ve Darcy sürtünme faktörü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar ilgili parametreler dikkate alınarak grafiksel olarak gösterilmiş ve detaylı olarak tartışılmıştır.

BÖLÜM 3

NANOAKIŞKANLAR

3.1. NANOAKIŞKAN NEDİR?

Nanoakışkanlar, baz akışkan ve nano parçacıkların homojen dağılımından oluşan akışkanlardır. Nanoakışkan kavramı, ilk kez Stephen U. S. Choi ve arkadaşları tarafından Argonne Ulusal Laboratuvarı, ABD’de yapılan çalışmalar ile tanımlanmıştır. Choi ve Eastman’ın çalışmalarında nanoakışkanlar; “nano boyutta metalik parçacıkların; su, etilen glikol, motor yağı vb. endüstriyel ısı transferi akışkanları içerisine ilavesiyle oluşturulmuş, yaklaşık 10 nm (nanometre) boyutunda metalik parçacıklar içeren ve günümüzde kullanılan nano boyut teknolojisi ile üretilebilecek, yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni tür akışkanlar” olarak tanımlanmıştır [5]. Uygulanan nano partiküller, saf metaller (Au, Ag, Cu, Fe), metal oksitler (CuO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, Fe₃O₄), Karbürler (SiC, TiC) ve Nitrürler (AlN, SiN) şeklinde sınıflandırılabilir. Baz akışkan olarak da genellikle su, etilen glikol ve yağ gibi geleneksel ısı transfer akışkanları kullanılır. Genellikle nanopartiküller 1 ile 100 nm çap aralığındaki parçacıklardır. Etkin bir ısı transfer iyileştirmesi elde edebilmek için, nanoakışkanlar yaygın olarak hacimce %5’e kadar nano parçacık içerirler. Üstün ısı transfer özellikleri sayesinde mühendislik uygulamalarında nano akışkanlarla ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Isıl iletkenliği ve baz akışkanın özellikleri üzerinden taşınım özelliklerini iyileştirirler. Baz akışkan üzerinde tipik ısı iletkenlik iyileşmesi % 15 ile % 40 aralığında olduğu literatürdeki yapılan çalışmalardan anlaşılmakta olup, ısı taşınım katsayısında % 40’a kadar bir iyileşmenin sağlandığı belirtilmektedir [23].

Nanoakışkanlar, eklenen parçacıkların konsantrasyonuna ve özelliklerine bağlı olarak şeffaf, yarı şeffaf veya opak olabilir. Nanoakışkanlar, kararlılıklarının artırılabilmesi için belli miktarlarda yüzey katkı maddeleri veya seyrelticiler içerebilirler. Nano

parçacıklar, hacim oranına göre büyük yüzey alanı, boyuta bağlı fiziksel özellikler, daha düşük parçacık momentumu, yüksek hareketlilik gibi eşsiz özelliklere sahiptirler. Aynı zamanda, büyük yüzey alanı nano parçacıkları baz akışkanında daha iyi ve daha kararlı dağıtılmış bir süspansiyon oluşturmaktadır. Parçacıklar uygun şekilde karıştırıldıklarında aşağıdaki şu özelliklere sahip olunmaktadır [24].

1. Yüksek Isı İletimi

Birim hacim başına nanoparçacıkların büyük yüzey alanı, katı parçacıklarla taban akışkanı arasında daha fazla ısı transferinin meydana gelmesini sağlamaktadır. Nanoparçacıkların bir diğer avantajı, parçacıkların hareketliliğidir. Bu durum akışkanın mikro hareketliliğini oluşturan küçük boyuta bağlanabilir ki böylece ısı transferinde artış sağlanabilmektedir.

2. Kararlılık

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

3. Tıkanma Olmadan Mikro Kanalların Soğutulması

Nanoakışkanlar yalnızca ısı transferi için uygun bir ortam değil aynı zamanda yüksek ısı yüklerinin olduğu mikro kanal uygulamaları için de uygun olabilmektedir. Nanoakışkanlarla mikro kanalların kombinasyonu hem daha yüksek akışkanlı sıvılar hem de daha büyük ısı transfer alanı sağlanabilmektedir. Mikro veya milimetre boyutlu parçacıklar kanalları tıkadıkları için bu özellikler mikro kanallarda sağlanamaz.

4. Aşınmanın Azalması

Nanoparçacıklar çok küçüktürler ve momentumu katı duvara daha az aktarırlar. Bu azalan momentum ısı değiştiricileri, boru hatları ve pompalar gibi öğelerin aşınma şansını azaltmaktadır.

5. Pompalama Gücündeki Azalma ve Azalan Basınç Düşüşü

Özgül yüzey alanının büyük olması nedeniyle, nanoparçacıklar akışkanların ısı iletkenliğini artırmaktadır. Pompalama gücünde olabilecek artış, akışkan viskozitesinde keskin bir artış olmadıkça azaltılabilecektir. Bu nedenle eğer küçük hacimsel konsantrasyonlarla fazla miktarda ısı iletkenlik artışı meydana gelebilirse pompalama gücünde büyük oranlarda tasarruf sağlanabilir [25].

3.2. NANOAKIŞKAN TIPLERİ

Nanoakışkanlar parçacıkların tipine bağlı olarak kapsamlı bir şekilde dört gruba ayrılabilir. Seramik, saf, metalik, alaşım, karbon tabanlı nanoakışkanların allotroplarıdır. (Aynı elementin uzayda farklı şekilde dizilerek, farklı geometrik şekildeki kristallerine allotrop denir). Bu parçacıkların ve akışkanların farklı kombinasyonları, farklı tip nanoakışkanları oluşturmaktadır [26-27].

Genel olarak nanoakışkan tipleri [26];

1. Seramik nanoakışkanlar

- Oksit seramikler (Al_2O_3 , CuO, Cu_2O)
- Nitrür seramikler (AlN , SiN)

Seramik parçacıklar nanoakışkan için denenen ilk maddedir. Seramik parçacıkların üretimi kolay ve solüsyonda kimyasal kararlılığa sahip parçacıklardır. Seramikler; alüminyum ve zirkonyum gibi oksitler, karbitleri nitridler ve silisidler gibi non-oksidlerlerdir. Bu seramik yapıları parçacıkların her biri mükemmel malzeme özellikleri

ortaya koymaktadır. Farklı tip seramikler arasında en fazla ilgi; oksit nanoakışkanlara gösterilmiştir.

2. Saf metalik nanoakışkanlar

Literatürde oksit nanoparçacıklarının olduğu çalışmalara kıyasla metal nanoparçacıkları içeren daha az çalışma bulunmaktadır. Oksit nanoparçacıkların olduğu nanoakışkan çalışmalarına göre, metal nanoparçacıkları içeren daha az çalışma olmasına rağmen sonuçlar umut vericidir. Genellikle, aynı hacimsel konsantrasyonda metal parçacık içeren nanoakışkan metal oksit içeren nanoakışkandan daha fazla ısı iletkenlik değerine sahiptir [28].

3. Alaşım nanoakışkanlar

Farklı tip metallerin olduğu metal alaşımı, aynı kökten gelen metallerin özellikleriyle karşılaştırıldıklarında teknolojik açıdan daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeleri oluşturma yöntemidir [29].

4. Karbon Tabanlı nanoakışkanlar

Karbon tabanlı nanoyapılar yüksek ısı iletkenliğine sahiptirler. Karbon tabanlı nanoyapılar metallerle karşılaştırıldığında yoğunlukları düşük olduğundan dolayı nanoakışkan kullanımı için elverişlidir. Karbon tabanlı nanoakışkanlar şunlardır;

- Tek katmanlı karbon nanotüp (SWCNT-single walled carbon nanotube)
- Çift katmanlı karbon nanotüp (DWCNT-single walled carbon nanotube)
- Çok katmanlı karbon nanotüp (MWCNT- multi walled carbon nanotube)

Karbon tabanlı nanoyapılar metal ve metal oksit nanoparçacıklarla karşılaştırıldığında daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Örneğin; tek katmanlı nanotüp, çift katmanlı nanotüp ve çok katmanlı karbon nanotübün ısı iletkenlikleri sırasıyla 3000 W/mK, 3986 W/mK ve 6000 W/mK' dir [30].

3.3. NANOAKIŞKANLARI HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ

Nanoakışkanları elde etmek için 2 temel yöntem vardır. Bunlar tek aşamalı yöntem (single step method) ve iki aşamalı yöntemdir (two step method). Bu yöntemler detaylı bir şekilde Karabulut [26] tarafından açıklanmıştır.

3.4 NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

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

3.4.1. Yoğunluk

Nanoakışkanların yoğunluğu, geleneksel katı-sıvı karışımlarına uygulanabilen karışım modeline göre elde edilebilir.

3.4.2. Özgül Isı

Bir maddenin bir birim kütlesinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gereken enerji olarak açıklanabilir. Bu açıklamaya göre, kütlelerin sıcaklıklarını bir derece yükseltmek için farklı miktarda ısı enerjisine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Nanoakışkanlar için daha az sayıdaki özgül ısı değeri için, sıcaklığını yükselterek daha az enerji tüketmesi anlamına gelmektedir [31]. Özgül ısı değerinin, nanoparçacıkların artan hacimsel konsantrasyonlarıyla birlikte düştüğü ve artan sıcaklık değeriyle yükseldiği yapılan deneylerde gözlenmektedir.

3.4.3. Viskozite

Kıvamlılık, akarlık ya da viskozite, bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Akışkanların viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişir. Sıcaklık arttıkça viskozite değeri azalır, sıcaklık azaldıkça ise viskozite değeri artar. Viskozluk terimi, sıvıdaki iç sürtünmenin büyüklüğünü karakterize etmek için sıvı akışında sıkça kullanılır. Bu iç sürtünme ya da viskoz kuvveti, birbirine göre hareket eden iki komşu sıvı tabakasının karşılaştığı dirençle ortaya çıkar. Viskozluk sebebiyle sıvının kinetik enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür [32]. Nanoakışkanların viskozitesini etkileyen önemli değişkenler Sıcaklık, parçacık boyutu ve şekli, parçacığın boyutsal dağılımı, kayma (akma) hızı, yüzey katkı maddesi ve hacim konsantrasyonudur [33]. Laminer akışta, basınç düşüşü doğrudan viskozite ile orantılıdır. Taşınım ile ısı transfer katsayısı viskoziteden etkilenmektedir.

3.4.4. Isıl İletkenlik

Isı transfer akışkanının ısı transfer performansının artırılmasında önemli bir parametredir. Katı metallerin geleneksel akışkanlardan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu bilinmektedir. Akışkanların ısı iletim ve ısı transfer katsayılarını arttırmak için bu akışkanlardan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan, bu parçacıkların belirli oranda ilave edilmesiyle sağlanmaktadır. Nanoakışkanların ısıl iletkenliği birden fazla değişkene bağlıdır. Bunlar; taban akışkanın ısıl iletkenliği, nanoparçacıkların ısıl iletkenliği, hacim konsantrasyonu, nanoparçacıkların boyutu, nanoparçacıkların şekli, pH'ın etkisi, En-boy oranı, sıcaklık, kümeleşmenin etkisidir.

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri arasında, ısıl iletkenlik birçok uygulama için en önemlilerinden biridir. Isıtma veya soğutma akışkanlarına nanoparçacıkların katılmasıyla akışkanın ısı transferi performansı önemli ölçüde artırılabilir. Böyle bir artışın ana nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [26].

1. Eklenen nanoparçacıklar ısı transferi yüzey alanını ve akışkanın ısı kapasitesini artırır.

2. Akışkanın ısı iletkenliği artar.
3. Parçacıklar ve akışkan arası çarpışma sonucu etkileşim yoğunlaşır.
4. Karışma miktarı ve akışkanın türbülansı artar.
5. Nanoparçacıkların dağılımı, akışkanın enine doğru olan sıcaklık değişimini düzleştirerek akışkan ve yüzey arasındaki sıcaklığın birbirine yaklaşmasını sağlar.

3.5. NANOAKIŞKANLARIN UYGULAMA ALANLARI

Nanoakışkanların oluşturdukları üstün özellikleri sayesinde günümüzde kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Nanoakışkanların başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibidir;

3.5.1. Elektronik Uygulamalar

Günümüzde yüksek performansa sahip elektronik ekipmanlarda yüksek seviyede ısı akıları sorunlarıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu sistemlerin dizaynı ve geometrisi ısı transfer alanını kısıtlamaktadır. Bu durumu önlemek için nanoakışkanlı mikro-kanal bir soğutucu tasarlamışlardır. Düzeneklerin soğutma sistemlerinde nanoakışkanlı mikro-kanal kullanımıyla, ısı transfer miktarı artmakta ve ekipman yüzey alanları küçülerek yeterli soğutma işlemi gerçekleşmektedir.

3.5.2. Ulaşım

Nanoakışkanlar yüksek ısı transferler kabiliyetleri sayesinde araçlarda bulunan motor soğutma sistemlerinde kullanılarak daha küçük ve daha hafif radyatör kullanımı sağlamaktadır. Araçlarda nanoakışkan kullanımı ekipmanların küçülmesine neden olur ve bu sayede araç ağırlığı azalır, daha az yakıt tüketimi gerçekleşmektedir. Aynı soğutma kapasitesine sahip sistemlerde, nanoakışkan kullanımı ile yüksek beygir güçlü motorlardan daha fazla ısı atımı sağlamak için kullanılır. Argon Ulusal Laboratuvarında yapılan çalışmada, ulaşım için yüksek ısı iletim katsayısına sahip nanoakışkanların kullanılmasıyla radyatörün ön yüzey alanında küçülme meydana gelmektedir. Buna göre, radyatörlerde yüksek ısı iletim katsayılı nanoakışkanların

kullanılması radyatörün ön yüzey alanı % 10' azaltılarak, aerodinamik sürtünmedeki azalma nedeniyle de yakıtta % 5 tasarruf sağlanmıştır [34].

3.5.3. Nükleer Reaktörlerin Soğutulması

Nanoakışkanlar nükleer reaktörlerin soğutulmasında büyük bir öneme sahiptir. Basınçlı su reaktörleri için temel reaktör soğutucusu olarak kullanılmaktadır ve ayrıca acil durum nükleer çekirdek soğutma sistemi olarak yedek güvenlik sistemi konusunda en iyi adaydır [35].

3.5.4. Tıbbi Uygulamalar

Nanopartiküllerin gen ve kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Oküler tedavi için gen taşıyan nanopartikül sistemleri kanserli hücrelere hedeflenmektedir. Nanoteknolojinin kanserde kullanımı, yarı iletken quantum dotlar, altın nanopartikülleri ve demir oksit nanopartikülleri gibi partiküller, diğer moleküllerde mevcut olmayan optik, manyetik ve yapısal özelliklere sahiptir. Monoklonal antikorlar, peptidler ve küçük moleküller gibi tümöre hedeflendirilmiş ligandlarla bağlandığında, nanopartiküller kullanabilmektedir.

3.5.5. Uzay ve Savunma

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

3.5.6. Enerji Uygulamaları

Enerji uygulamalarında nanoakışkan kullanımının nedeni; yüksek ısı iletkenliği ile ısı taşınımını artırması ve emicilik özelliğidir. Ayrıca yenilenebilir Enerji alanında; güneş kolektörleri, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bununla birlikte; Nanoakışkanlar, ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılarak daha etkili ısı transferi elde edilebilmektedir. Ayrıca ekipman boyutlarında önemli kazanımlar elde edilerek sistemlere ekonomik kazanç sağlar ve yatırım maliyetleri düşürülür. Nanoakışkanlar bina ısıtma sistemlerinde de kullanılmaktadır. Nanoakışkan kullanımıyla küçülen ısıtma üniteleri daha az güç harcamakta ve böylece çevreyi daha az kirletmekte, ömürleri boyunca daha az sıvı kullanarak daha az atık madde oluşturmaktadırlar.



BÖLÜM 4

METARYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada; ani genişlemeli bir kanalda farklı tipteki nanoakışkanların akış ve ısı transfer karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada; SiO₂, ZnO, TiO₂, Al₂O₃ ve Cu nanoparçacıkların farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0.5, %1.0, %1.5, %2.0) baz akışkan saf su içerisine katılarak oluşturulan nanoakışkanlar kullanılmıştır. Sayısal çalışmada sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümleme yapabilen Ansys Fluent kodu kullanılmıştır. Akış kanal girişinde uniform olup hidrodinamik olarak tam gelişmiş ve laminar akış ($100 < Re < 500$) koşullarında incelenmiştir. Akışa ait süreklilik, momentum ve enerji gibi genel yönetici denklemler tek faz yaklaşımıyla iteratif olarak çözülmüştür.

4.1 SAYISAL YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan sayısal akışkanlar dinamiği paket programı Fluent 16.1 koduna ait bilgiler ve sayısal çözümleme kriterleri hakkında bilgiler verilmiştir.

4.1.1 Sonlu Hacimler Yöntemi

Sonlu Hacimler Yönteminde (SHY), çözümü gerçekleştirilecek olan geometri sonlu elemanlar yöntemindeki gibi parçalara bölünür ve her bir parça için çözüm işlemi yapılır ve çözümleri yapılan bu parçalar birleştirilerek problemin genel çözümü bulunmuş olur. SHY, temel olarak sonlu farklar metodu esas alınmasına rağmen sonlu farklar metoduna kıyasla daha hassas çözümler üretebilmektedir. Sonlu elemanlardan farklı olarak bu yöntem, akış denklemlerini sayısal olarak çözülebilecek bir dizi cebirsel eşitliklere dönüştürmek için kontrol hacmi yaklaşımını kullanır. Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntem olan sonlu hacimler yöntemi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kodlarında en çok

kullanılan yöntemdir. Bu metotta denklemler her bir kontrol hacmi için ayrılaştırılarak iteratif olarak çözülür.

4.1.2. Ansys Fluent

Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir HAD yazılımıdır. 1983' ten bu yana dünya çapında birçok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki HAD piyasasında en çok tercih edilen yazılım durumuna gelen Fluent, en ileri teknolojiye sahip ticari HAD yazılımı olarak kullanıcılarının en zor problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilebilen çözümler sunmaktadır.

Fluent, genel amaçlı bir HAD yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbo makine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler vb.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcıya birbirinden farklı birçok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm alma olanağı sağlar. Fluent, ürün performansını ürün henüz tasarım aşamasındayken ölçme, performansı düşüren etkenleri detaylı bir şekilde tespit ederek yine bilgisayar ortamında giderme ve piyasaya iyileştirme işlemleri tamamlanmış son ürünün verilmesi sağlayarak kullanıcısının zorlu rekabet şartlarında emsallerinden bir adım önde olmasına katkıda bulunur.

Fluent, sahip olduğu ileri çözücü teknolojisi ve bünyesinde barındırdığı değişik fiziksel modeller sayesinde laminar, geçişsel ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve radyasyon ile ısı geçişini içeren problemlere, kimyasal tepkimeleri içeren problemlere, yakıt pilleri, akustik, akış kaynaklı gürültü, çok fazlı akışları içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üreterek, AR-GE bölümlerinin tasarım esnasındaki en güvenilir aracı olmaya adaydır.

4.1.2.1. Fluent' in Teknik Özellikleri

Fluent, sıkıştırılamaz (düşük sabsonik), orta sıkıştırılabilir (transonik) ve yüksek sıkıştırılabilir (süpersonik ve hipersonik) akışlar için Hesaplamalı Akışkanlar

Dinamiği çözücüsüdür. Yakınsamayı hızlandıran çoklu ağ metoduyla beraber çoklu çözücü seçenekleri ile Fluent geniş hız rejimleri aralıklarında optimum çözüm etkinliği ve hassasiyeti getirir.

Fluent 'deki fiziksel modellerin zenginliği, laminar, geçiş ve türbülanslı akışların, ısı transferinin, kimyasal tepkimelerin, çok fazlı akışların ve diğer olguların sayısal ağ esnekliği ve çözüm tabanlı ağ uyarlaması ile hassas çözülmesine olanak sağlar.

Genel Modelleme Yetenekleri;

1. 2-boyutlu düzlemsel, 2-boyutlu eksenel simetrik, 2-boyutlu döngülü eksenel simetrik.
2. Dönel simetrik ve 3 boyutlu akışlar.
3. Sabit rejim veya geçici rejim akışları.
4. Bütün hız rejimleri (düşük subsonik, transonik, süpersonik ve hipersonik akışlar).
5. Laminer geçiş veya türbülanslı akışlar.
6. Newtonyan ve newtonyan olmayan akışlar.
7. Zorlamalı, doğal, karışık konveksiyon, konjuge ısı transferi ve radyasyon
8. Homojen ve heterojen yanma modellerini ve yüzey tepkime modellerini de içeren kimyasal türler karışımı ve tepkimesi modelleri.
9. Gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı akışlar için serbest yüzey ve çok fazlı akış modelleri Sürekli yüzeyle akuple yayık fazlar (partikül/damla/baloncuk) için Lagrangian.
10. Yörünge hesaplama.
11. Erime/katılaşma uygulamaları için faz değişikliği modeli.
12. İzotopik olmayan geçirgenlik, ilk direnç, katı ısı iletimi ve gözenekli yüzey basınç zıplaması modelleriyle gözenekli ortam.
13. Fanlar, pompalar, radyatörler ve ısı değiştirgeçleri için yığık modeller.
14. Durağan ve dönel referans çerçeveleri.
15. Çoklu hareketli çerçeveler için çoklu referans çerçevesi ve kayan ağ seçenekleri.

16. Kütle korunumu ve döngü korunumu seçenekleriyle beraber rotor-stator etkileşimleri, tork konverterleri ve benzer turbo makine uygulamaları için karışım düzlemi modeli.
17. Kütle, momentum, ısı ve kimyasal türler için hacimsel kaynaklar.
18. Malzeme özellikleri veritabanı.
19. Sürekli fiber modeli.
20. Magneto hidrodinamik modeli.
21. Akış kaynaklı gürültü öngörme modeli.
22. GT-Power ile dinamik (iki-yönlü) birleşimlik.
23. Kullanıcı tanımlı fonksiyonlarla ilerli seviyede özelleştirme yeteneği.
24. Silindir içi akış modelleme yeteneği.
25. Hareketli ve deforme olan ağ hareketleri.

4.1.2.2. Fluent Programının Çalışma Prensibi

Sonlu hacimler yöntemi ile çalışan programlardan biri olan Fluent, Gambit veya diğer modelleme programlarından aldığı mesh dosyalarını okuyarak koşulları uygulamak için dizayn edilmiştir ve bu sayede sistemin çözümünü elde etmeye çalışır. Fluent programı, sistemi çözüme ulaştırmak için altyapısındaki aşağıda bulunan denklemleri kullanır.

Süreklilik denklemi;

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.1)$$

Kütle korunumu;

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) \right) = S_m \quad (4.2)$$

Bu kütle korunumu denkleminin genel halidir. Sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış için geçerlidir. Burada S_m terimi akışkanın, akış ikinci bir faza geçmesi durumunda veya

diğer kaynak terimlerini içerebilecek terim, yani kullanıcı tarafından program Verilebilecek bilgi, denklem vb. bir terimdir.

Momentum Korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{T}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4.3)$$

Burada p statik basınç, $\bar{T}$ gerilme tensörü, yerçekimi kuvveti, $\vec{F}$ kullanıcı tarafından verilebilecek diğer kaynak terimlerini içeren terimdir.

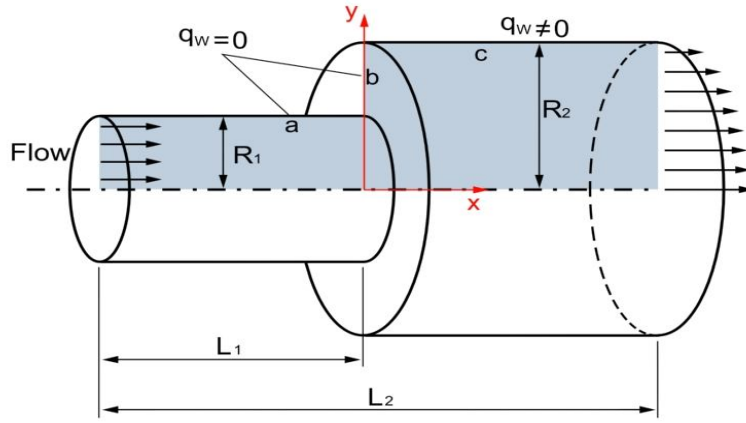
Enerji Denklemi;

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{V}(\rho E + p)) = \nabla \cdot [k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j J_j + (\bar{T} \cdot \vec{V})] + S_h \quad (4.4)$$

Bu denklemde E birim enerjiyi $k_{eff} \nabla T$ iletimi, $\sum_j h_j J_j$ difüzyonu ve $(\bar{T} \cdot \vec{V})$ Viskoz disipasyonu ifade etmektedir.

4.2 PROBLEM GEOMETRİSİ

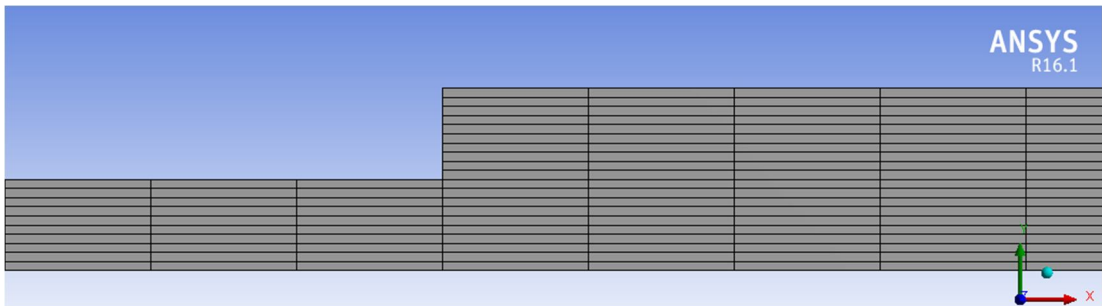
Sayısal çalışmada incelenen kanal geometrisi Şekil 4.1'den görülebileceği gibi x yönünde, eksene göre simetrik iki boyutlu xy düzleminde ani genişlemeli bir kanaldır. Genişleme oranı $R2/R1=2$ olup $L1/R1$ ve $L2/R2$ oranları sırasıyla 200 ve 250'dir. Akış kanal girişinde uniform olup orifis girişinde tam gelişmiş olmakta ve daha sonra yeniden kanal çıkışında tam gelişmiş akış şartları sağlanması için orifisten sonra yeterli uzunluk verilmiştir. Sayısal çalışma; saf su, SiO_2/su , ZnO/su , TiO_2 , Al_2O_3/su ve Cu/su nanoakışkanları için gerçekleştirilmiştir.



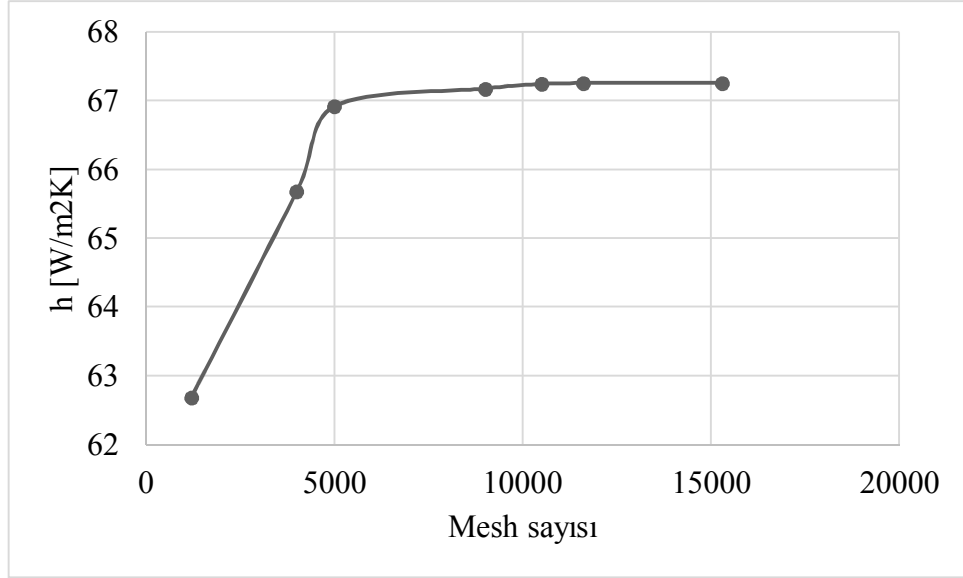
Şekil 4.1. Problem geometrisi.

Problemle ilgili olan denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı çözümleme yapabilen ANSYS Fluent 16.1 kodu yardımıyla, ilgili başlangıç ve sınır koşullarına bağlı olarak sayısal olarak çözülmüştür. Simetriye bağlı olarak, hesaplamalı bölge kanalın yalnızca yarısını kapsamaktadır. Hesaplama bölgesi Şekil 4.5'deki taralı alandır.

Model geometri oluşturulduktan sonra uygun sayısal ağ yapısının (mesh) belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Geometri, farklı hücre sayılarına bölünerek en uygun mesh yapısının bulunması hedeflenmiştir. Sayısal çalışmada kullanılan uygun sayısal ağ yapısı ve meshden bağımsız çalışma Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi 5000 hücre sayısından sonra ısı taşınım değerindeki değişim azalmakta ve neredeyse sabit olmaktadır. Bu nedenle sayısal çalışmada 5000 hücre sayısına sahip mesh yapısı kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Probleme ait sayısal ağ yapısı.



Şekil 4.3. Meshden bağımsız çalışma.

Nanoakışkanın fiziksel özellikleri aşağıdaki verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir.

Yoğunluk;

$$\rho_{nf} = \phi \rho_{np} + (1 - \phi) \rho_{bf} \quad (4.5)$$

Özgül ısı;

$$(\rho C_p)_{nf} = \phi (\rho C_p)_{np} + (1 - \phi) (\rho C_p)_{bf} \quad (4.6)$$

Isı iletim katsayısı (k);

$$k_{nf} = \frac{2k_{bf} + k_{np} + 2\phi (k_{np} - k_{bf})}{2k_{bf} + k_{np} - 2(k_{np} - k_{bf})} k_{bf} \quad (4.7)$$

Viskozite;

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi) \mu_{bf} \quad (4.8)$$

Yukarıdaki ilişkilerde ρ , μ , k ve ϕ sırasıyla nano akışkanın yoğunluğu, dinamik viskozitesi, ısıl iletkenliği ve partikül oranıdır; alt indisler p ve bf ise sırasıyla nano parçacığı ve baz akışkanı ifade etmektedir. Eşitlikler 4.5-4.8 yardımıyla hesaplanan ve CFD analizlerinde kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri Çizelgeler 4.1.-4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 25 °C'de Al₂O₃/su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.

ϕ (%)	ρ (kgm ⁻³)	k (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	μ (kgm ⁻¹ s ⁻¹)	C_p (Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
0.5	1011.86	0.616	0.0009022	4112.027
1.0	1026.73	0.625	0.0009137	4046.990
1.5	1041.59	0.633	0.0009253	3983.815
2.0	1056.49	0.624	0.0009371	3922.303

Çizelge 4.2 25°C'de TiO₂/su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.

ϕ (%)	ρ (kgm ⁻³)	k (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	μ (kgm ⁻¹ s ⁻¹)	C_p (Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
0.5	1013.26	0.614	0.0009022	4105.87
1.0	1029.53	0.622	0.0009137	4035.05
1.5	1045.80	0.630	0.0009253	3966.44
2.0	1062.06	0.637	0.0009371	3899.92

Çizelge 4.3 25°C'de SiO₂/su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.

ϕ (%)	ρ (kgm ⁻³)	k (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	μ (kgm ⁻¹ s ⁻¹)	C_p (Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
0.5	1003.02	0.609	0.0009022	4140.88
1.0	1009.03	0.611	0.0009137	4103.21
1.5	1015.05	0.614	0.0009253	4065.99
2.0	1021.06	0.616	0.0009371	4029.21

Çizelge 4.4 25°C’de ZnO/su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.

ϕ (%)	ρ (kgm ⁻³)	k (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	μ (kgm ⁻¹ s ⁻¹)	C_p (Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
0.5	1020.01	0.615	0.0009022	4066.33
1.0	1043.03	0.623	0.0009137	3959.80
1.5	1066.04	0.631	0.0009253	3856.01
2.0	1089.06	0.640	0.0009371	3759.57

Çizelge 4.5 25°C’de Cu/su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.

ϕ (%)	ρ (kgm ⁻³)	k (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	μ (kgm ⁻¹ s ⁻¹)	C_p (Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
0.5	1020.01	0.615	0.0009022	4066.33
1.0	1043.03	0.623	0.0009137	3959.80
1.5	1066.04	0.631	0.0009253	3856.01
2.0	1089.06	0.640	0.0009371	3759.57

Enerjinin korunum yasası gereğince kanal yüzeyinden transfer edilen enerji miktarı akışkan tarafından kazanılan enerji miktarına eşit olup, aşağıdaki Eşitlik 4.9 ile ifade edilmiştir.

$$q'' = \dot{m}c_p\Delta T = hA_s\Delta T \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.9 aşağıda verilen Eşitlik 4.10 şeklinde de ifade edilebilir.

$$q'' = \dot{m}C_p(T_o - T_i) = hA_s(T_w - T_b) \quad (4.10)$$

Burada;

$\dot{m}$ kütleli debiyi, A_s ısı akısı uygulanan yüzey alanını, C_p özgül ısıyı ve T_o , T_i , T_w ve T_b ise sırasıyla çıkış sıcaklığı, giriş sıcaklığı, duvar sıcaklığı ve ortalama sıcaklığı ifade etmektedir.

Isı taşınım katsayısı, h Eşitlik 4.11 ile ifade edilmektedir.

$$h = \frac{q''}{A_s(T_w - T_b)} \quad (4.11)$$

Nusselts sayısı, taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranı şeklinde tanımlanmakta olup Eşitlik 4.12 ile gösterilmektedir.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4.12)$$

Darcy sürtünme faktörü;

$$f = 2 \frac{D}{L} \frac{\Delta P}{\rho V^2} \quad (4.13)$$

şeklinde Eşitlik 4.13 ile ifade edilmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

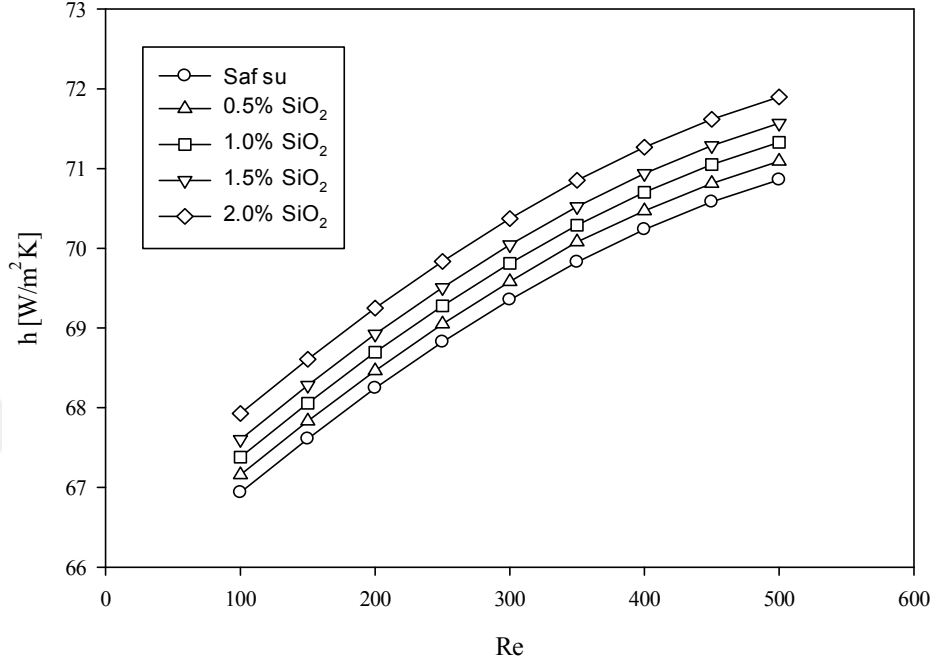
Bu çalışmada, farklı tipteki nanoakışkanların ani genişlemeli bir kanalda akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan sayısal çalışmalar, SiO_2 , ZnO , TiO_2 , Al_2O_3 ve Cu nanoparçacıkların farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%0.5, %1.0, %1.5, %2.0) baz akışkan saf su içerisine katılması ile oluşturulan nanoakışkanlar kullanılarak, laminar akış ($100 < \text{Re} < 500$) ve zorlanmış taşınım şartlarında gerçekleştirilmiştir. Sayısal hesaplamalar için sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümleme yapabilen ANSYS Fluent kodu kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde her bir nanoakışkan için ısı taşınım katsayısı, Nusselt sayısı, basınç düşümü, Darcy sürtünme faktörü değişimleri grafikler halinde sunularak detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

5.1. ISI TAŞINIM KATSAYISI (h)

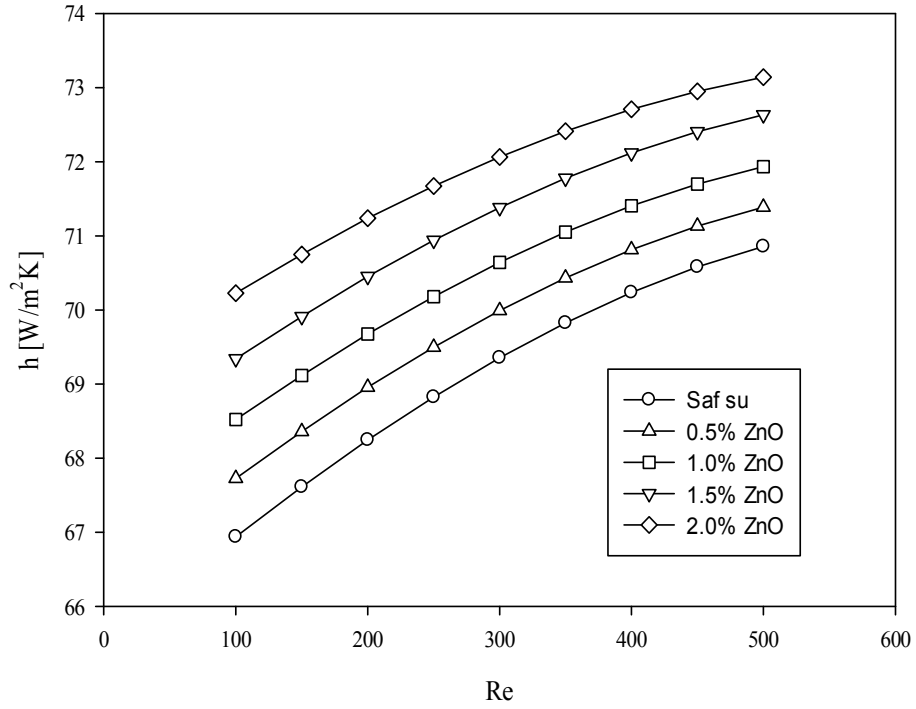
Isı taşınım katsayısı h Eşitlik 4.11'den hesaplanmış olup her bir nanoakışkan için ısı taşınım katsayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.1 ve 5.9-aralığındaki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 5.1'de saf su ve SiO_2/su nanoakışkanının Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi Reynolds sayısının artmasıyla ve baz akışkana SiO_2 nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte akışın ısı taşınım katsayısı artmaktadır. $\text{Re} = 100$ değeri için saf suyun ısı taşınım katsayısı $h = 66.94 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilirken, $\text{Re} = 500$ değeri için $h = 70.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip SiO_2/su nanoakışkanının ısı taşınım katsayısı, $\text{Re} = 100$ ve $\text{Re} = 500$ değerleri için sırasıyla $h = 67.92 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h = 71.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak elde edilmiştir. Saf su yerine SiO_2/su

nanokışkan kullanımının, ısı taşınım katsayısında yaklaşık %1.48 oranında bir iyileştirme sağladığı görülmüştür. Bu iyileştirme $Re=500$ değerinde gerçekleşmiştir.

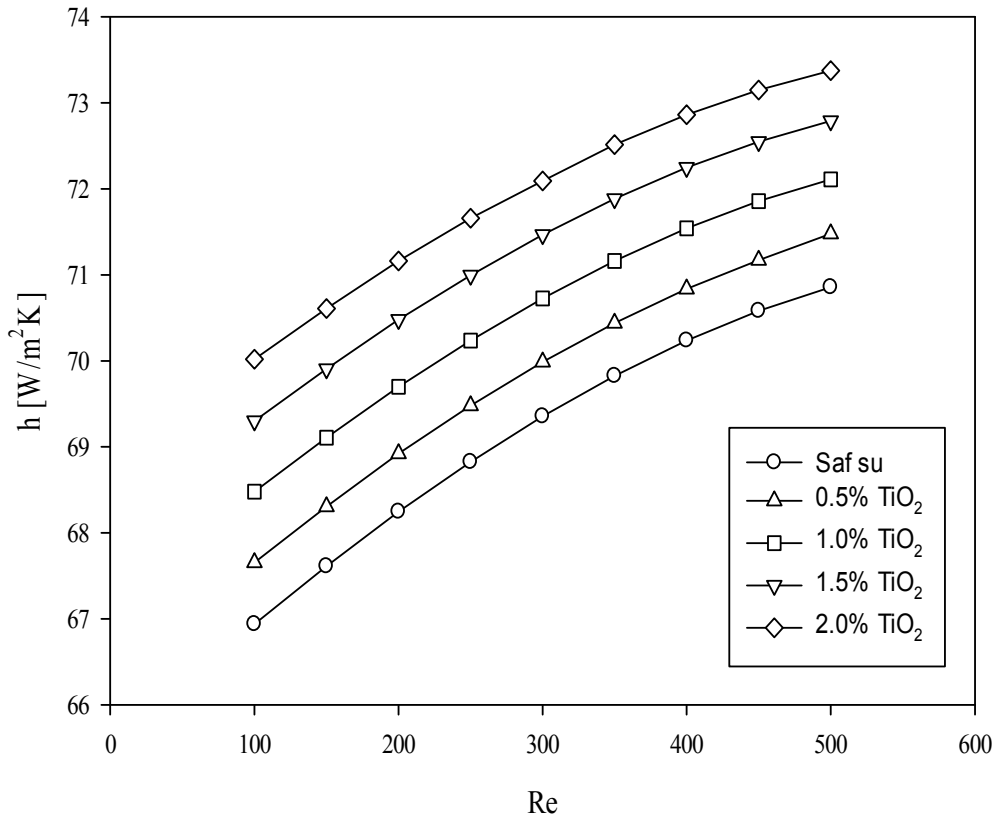


Şekil 5.1. Farklı Re değerlerinde SiO₂/su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.



Şekil 5.2. Farklı Re değerlerinde ZnO/su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.

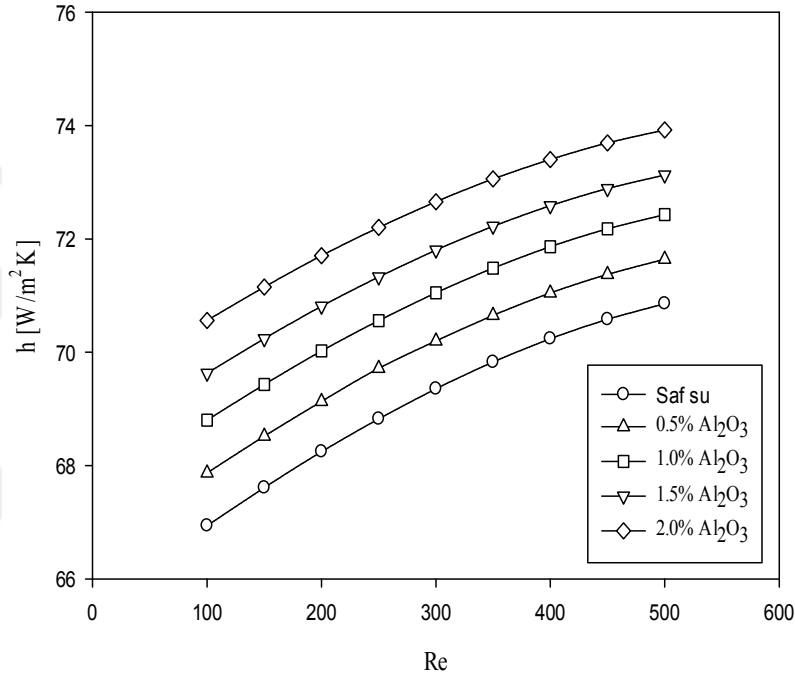
Şekil 5.2’de saf su ve ZnO/su nanoakışkanının Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi Reynolds sayısının artmasıyla ve baz akışkana ZnO nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte akışın ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Re= 100 değeri için saf suyun ısı taşınım katsayısı $h=66.94 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilirken, Re=500 değeri için $h= 70.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip ZnO/su nanoakışkanının ısı taşınım katsayısı, Re=100 ve Re=500 değerleri için sırasıyla $h= 70.23 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h=73.14 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak elde edilmiştir. Saf su yerine ZnO/su nanoakışkan kullanımının, ısı taşınım katsayısında maksimum %4.91 oranında bir iyileştirme sağladığı görülmüştür. Bu iyileştirme Re=100 değerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Farklı Re değerlerinde TiO₂/su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.

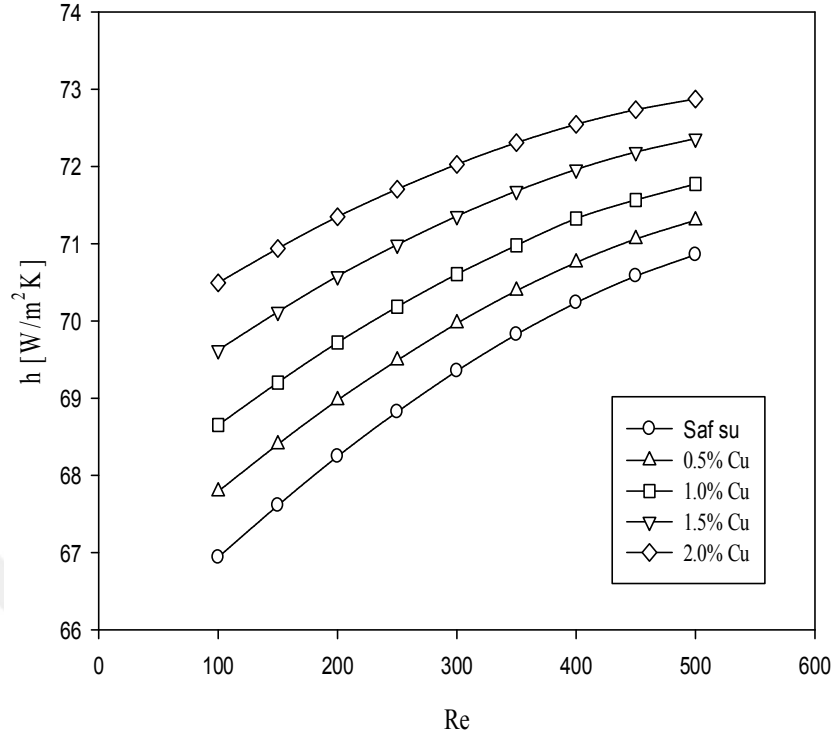
Şekil 5.3’de saf su ve TiO₂/su nanoakışkanının Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi Reynolds sayısının artmasıyla ve baz akışkana TiO₂ nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte akışın ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Re= 100 değeri için saf suyun ısı taşınım

katsayısı $h=66.94 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilirken, $Re=500$ değeri için $h= 70.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip TiO_2/su nanokışkanının ısı taşınım katsayısı, $Re=100$ ve $Re=500$ değerleri için sırasıyla $h= 70.05 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h=73.38 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak elde edilmiştir. Saf su yerine TiO_2/su nanokışkan kullanımının, ısı taşınım katsayısında maksimum %4.64 oranında bir iyileştirme sağladığı görülmüştür. Bu iyileştirme $Re=100$ değerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 5.4. Farklı Re değerlerinde $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.

Şekil 5.4'de saf su ve $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanının Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi Reynolds sayısının artmasıyla ve baz akışkana Al_2O_3 nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte akışın ısı taşınım katsayısı artmaktadır. $Re=100$ değeri için saf suyun ısı taşınım katsayısı $h=66.94 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilirken, $Re=500$ değeri için $h= 70.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanokışkanının ısı taşınım katsayısı, $Re=100$ ve $Re=500$ değerleri için sırasıyla $h= 70.56 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h=73.92 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak elde edilmiştir. Saf su yerine $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanokışkan kullanımının, ısı taşınım katsayısında maksimum %5.40 oranında bir iyileştirme sağladığı görülmüştür. Bu iyileştirme $Re=100$ değerinde gerçekleşmiştir.



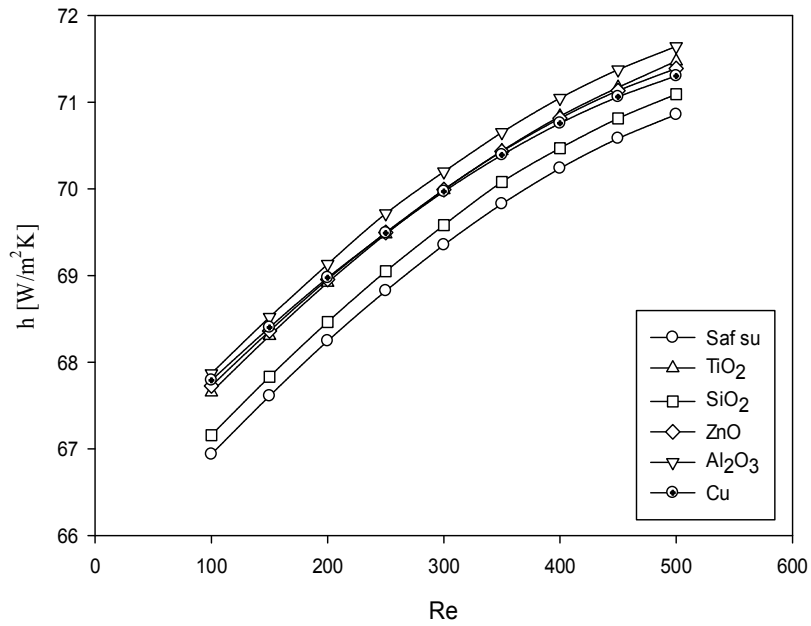
Şekil 5.5. Farklı Re değerlerinde Cu/su nanoakışkanına ait h değerinin değişimi.

Şekil 5.5’de saf su ve Cu/su nanoakışkanının Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi Reynolds sayısının artmasıyla ve baz akışkana Cu nanopartikülünün ilave edilmesiyle birlikte akışın ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Re= 100 değeri için saf suyun ısı taşınım katsayısı $h=66.94 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilirken, Re=500 değeri için $h= 70.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip Cu/su nanoakışkanının ısı taşınım katsayısı, Re=100 ve Re=500 değerleri için sırasıyla $h= 70.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h=72.87 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak elde edilmiştir. Saf su yerine $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkan kullanımının, ısı taşınım katsayısında maksimum %5.32 oranında bir iyileştirme sağladığı görülmüştür. Bu iyileştirme Re=100 değerinde gerçekleşmiştir. Tüm nanoakışkanlar için iyileştirme yüzdelik miktarları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Saf su yerine nanoakışkan kullanımı sonucu ısı taşınım katsayısındaki iyileştirme miktarı.

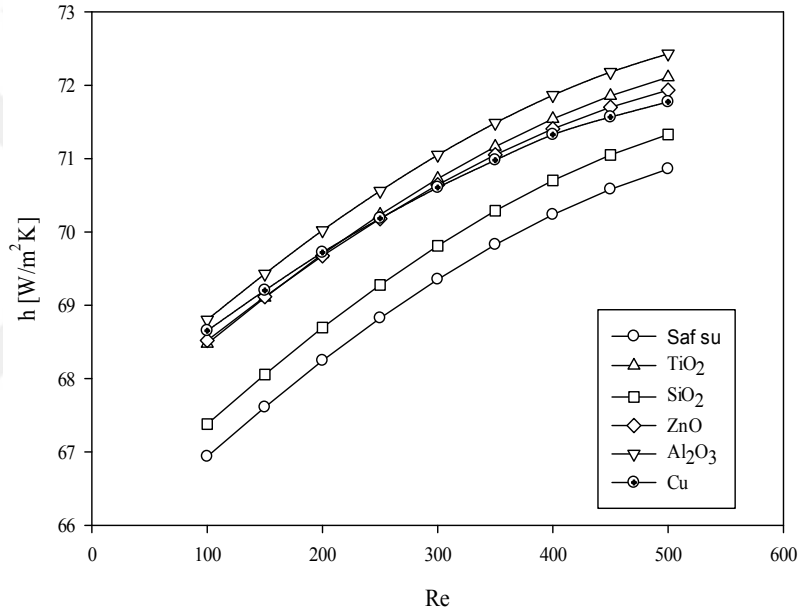
Nanoakışkan	İyileştirme oranı (%)	Re Sayısı
SiO ₂ /su	1.48	500
ZnO/su	4.91	100
TiO ₂ /su	4.64	100
Al ₂ O ₃ /su	5.40	100
Cu/su	5.32	100

Şekil 5.6’da su esaslı %0.5 nanopartikül içeren TiO₂, SiO₂, ZnO, Al₂O₃ ve Cu nanoakışkanları ve saf su için elde edilen ısı taşınım katsayısı değerlerinin kıyaslaması gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, nanoakışkanlar için elde edilen ısı taşınım katsayısı değerleri saf su için elde edilen değerlerden daha yüksektir. Tüm Re değerleri için, en yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri Al₂O₃/su nanoakışkanı için elde edilmiştir. SiO₂/su nanoakışkan h değerleri suya yakın değerlerde seyretmiştir. Düşük Re sayılarında Cu/su ve Al₂O₃/su nanoakışkanları için birbirine yakın h değerleri elde edilirken, yüksek Re sayılarında Al₂O₃/su ve TiO₂/su nanoakışkanları için birbirine yakın h değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.6. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.

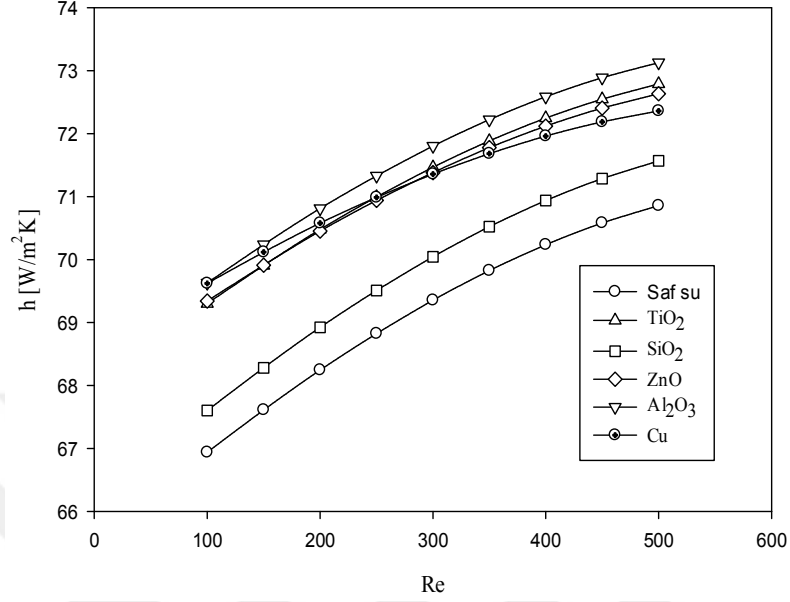
Şekil 5.7’de su esaslı %1.0 nanopartikül içeren TiO_2 , SiO_2 , ZnO , Al_2O_3 ve Cu nanoakışkanları ve saf su için elde edilen ısı taşınım katsayısı değerlerinin kıyaslaması gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, nanoakışkanlar için elde edilen ısı taşınım katsayısı değerleri saf su için elde edilen değerlerden daha yüksektir. Tüm Re değerleri için, en yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri Al_2O_3 /su nanoakışkanı için elde edilirken en düşük ısı taşınım katsayısı değerleri saf sudan sonra SiO_2 /su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Düşük Re sayılarında birbirine yakın ısı taşınım katsayısı değerleri elde edilen TiO_2 /su ZnO /su ve Cu/su nanoakışkanları için $\text{Re}=250$ ’den sonra değerler arasındaki fark artmaya başlamıştır.



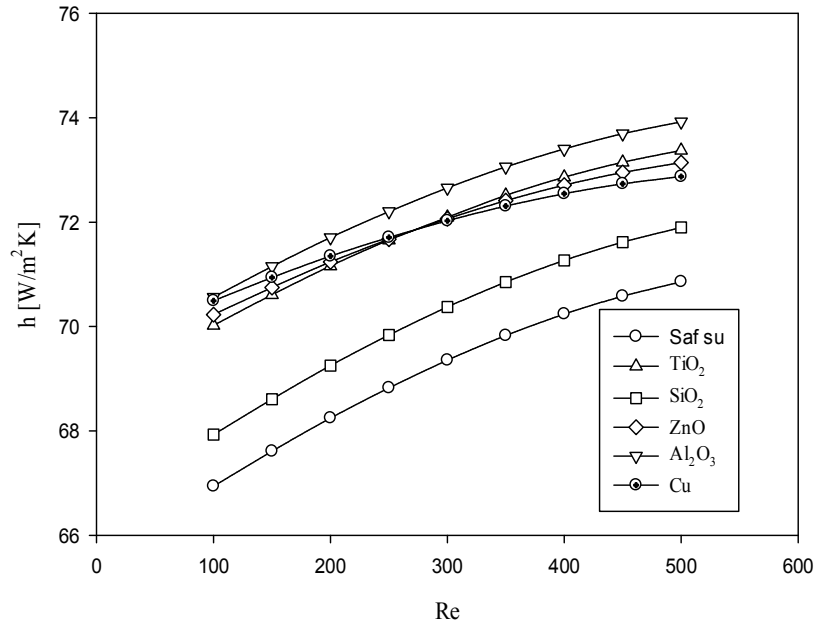
Şekil 5.7. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.

Benzer bir biçimde Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 da su esaslı %1.5 ve %2.0 nanopartikül içeren TiO_2 , SiO_2 , ZnO , Al_2O_3 ve Cu nanoakışkanları ve saf su için elde edilen ısı taşınım katsayısı değerlerinin kıyaslaması gösterilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, nanoakışkanlar için elde edilen ısı taşınım katsayısı değerleri saf su için elde edilen değerlerden daha yüksektir. Her iki nanopartikül hacimsel konsantrasyonunda, tüm Re değerleri için, en yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri Al_2O_3 /su nanoakışkanı için elde edilirken en düşük ısı taşınım katsayısı değerleri saf sudan sonra SiO_2 /su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Düşük Re sayılarında birbirine yakın ısı taşınım katsayısı değerleri elde edilen %1.5 ve %2.0 nanopartikül içeren TiO_2 /su ZnO /su ve Cu/su

nanoakışkanları için sırasıyla $Re=250$ ve $Re=300$ 'den sonra ısı taşınım katsayısı değerleri arasındaki fark artmaya başlamıştır.



Şekil 5.8. %1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.

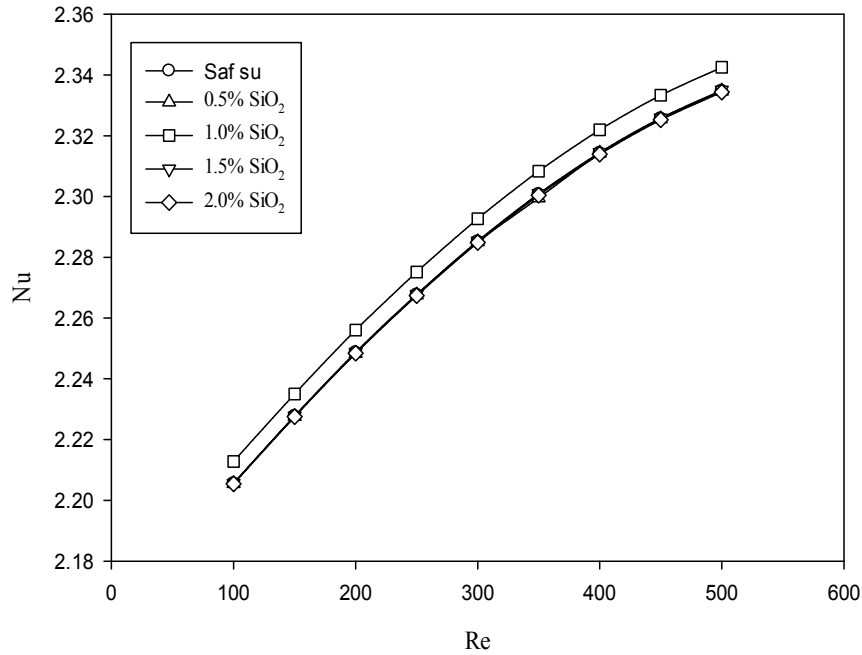


Şekil 5.9. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısının karşılaştırılması.

5.2. NUSSELT SAYISI (Nu)

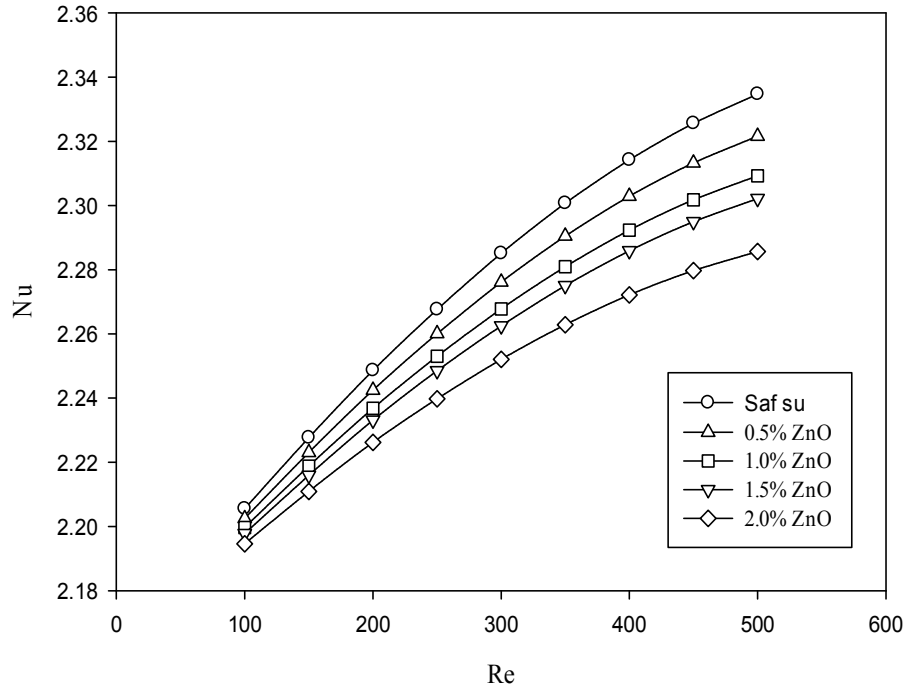
Nusselt sayısı ısı taşınımının ısı iletimine oranı şeklinde tanımlanmakta olup Eşitlik 4.12'den hesaplanmıştır. Her bir nanoakışkan için Nu sayısının Re sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.9 ve 5.13 aralığındaki grafiklerde, nanoakışkanların kendi arasındaki Nu sayılarına ait karşılaştırmaları da Şekil 5.14 ve 5.17 aralığındaki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 5.10'da SiO₂ nanoakışkanı için Re sayısının değişimine bağlı olarak Nu sayısının değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi Re sayısının artışıyla Nu sayısı artmaktadır. En yüksek Nu sayısı değeri nanopartikül hacimsel konsantrasyonun %1.0 ve Re=500 durumunda 2.3425 olarak hesaplanmıştır.



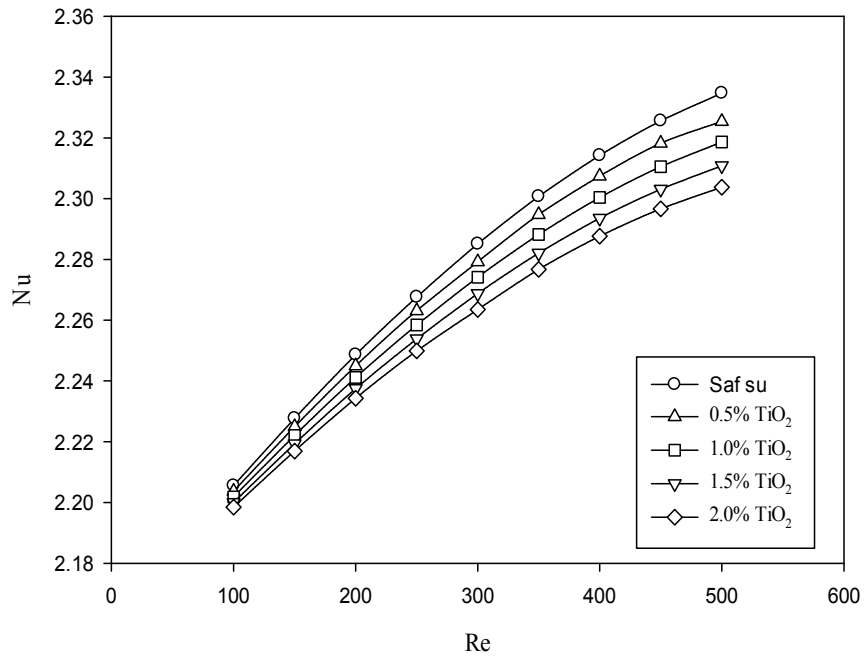
Şekil 5.10. SiO₂/su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.

Şekil 5.11'de ZnO nanoakışkanı için Re sayısının değişimine bağlı olarak Nu sayısının değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi Reynolds sayısının artmasıyla birlikte tüm akışkanlar için Nu sayısı artmaktadır. Bununla birlikte baz akışkana ZnO nanopartikülünün ilave edilmesiyle Nu sayısı düşmektedir. Bu durum ısı taşınımındaki artış miktarının ısı iletimi artış miktarından daha düşük olması sonucunda gerçekleştiği tahmin edilmektedir.

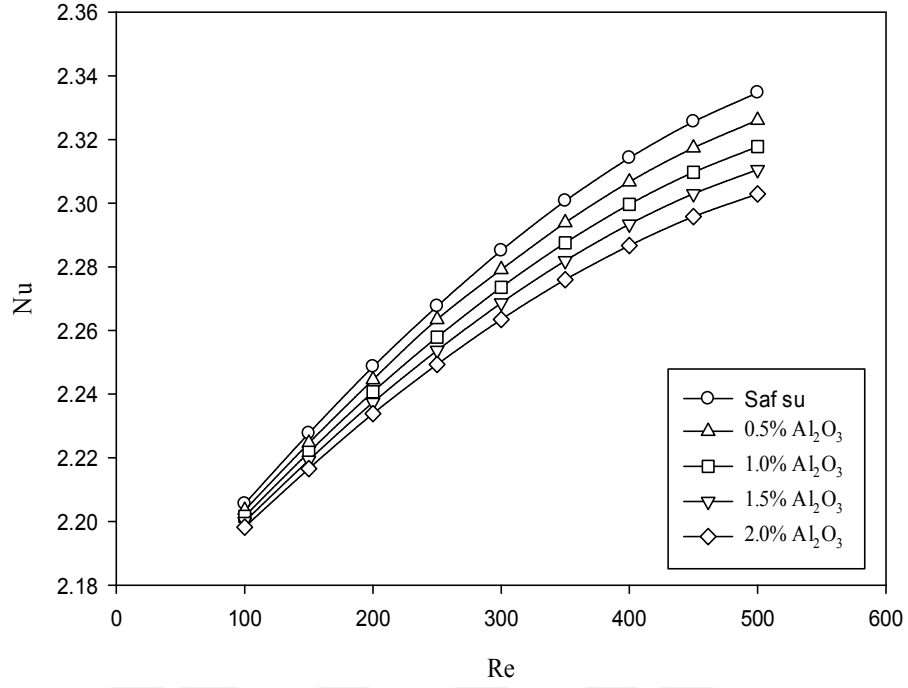


Şekil 5.11. ZnO/su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.

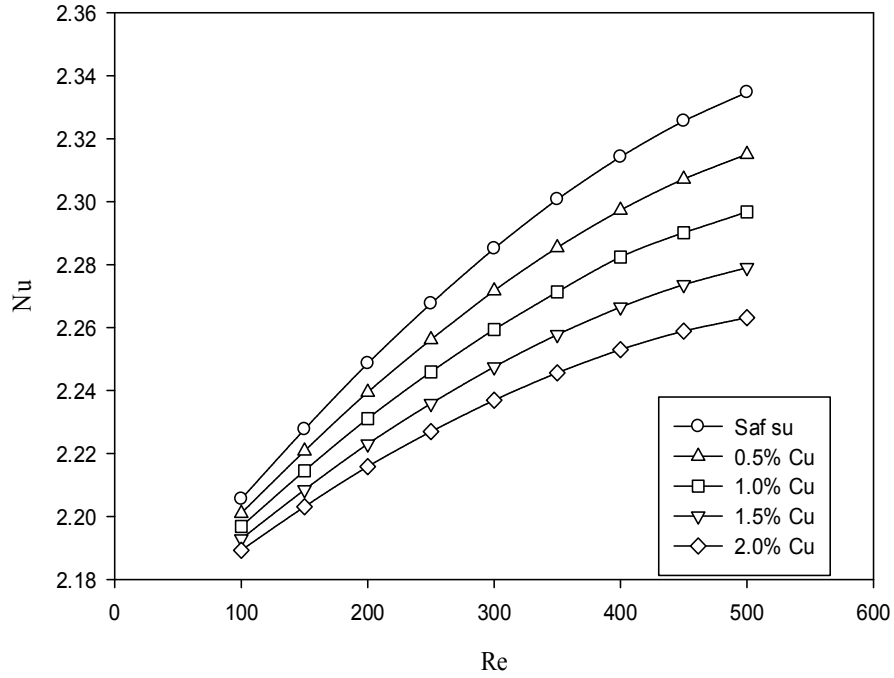
Benzer durumlar TiO_2/su , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$, Cu/su nanoakışkanları içinde geçerli olup Şekil 12-14 arasındaki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 5.12. TiO_2/su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.



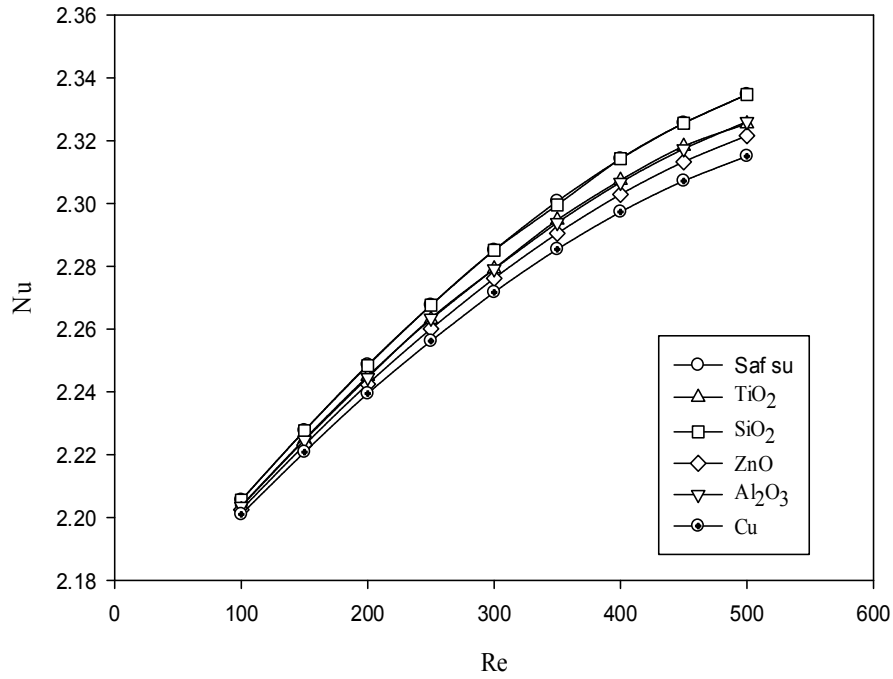
Şekil 5.13. Al₂O₃/su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.



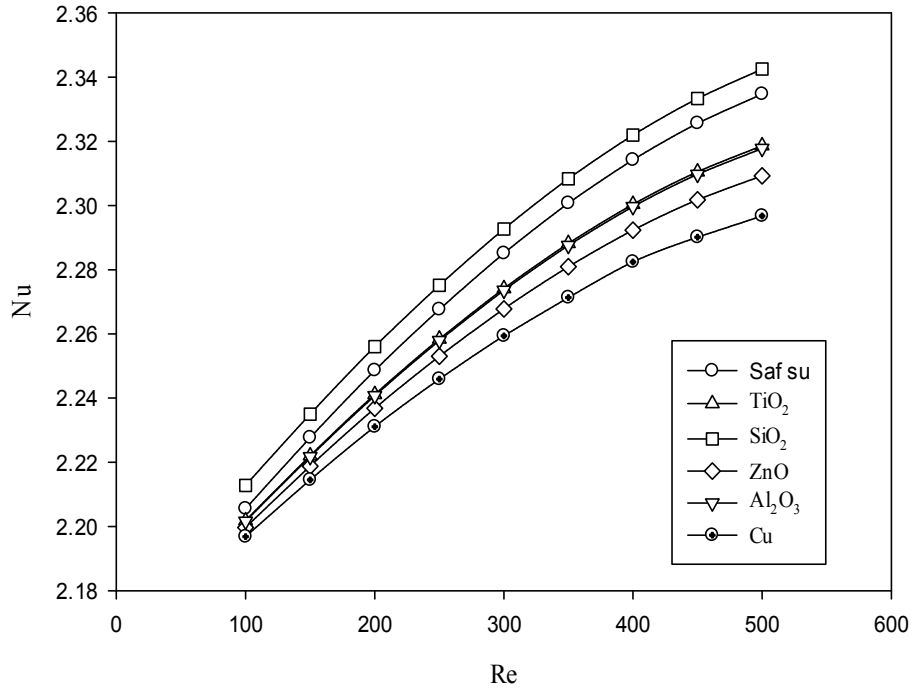
Şekil 5.14. Cu/su nanoakışkanına ait Nusselt sayısının değişimi.

Şekil 5.15-5.18 aralığındaki grafiklerde farklı hacimsel konsantrasyon değerleri için nanoakışkanların kendi arasındaki karşılaştırmaları Nu sayılarının Re sayısına göre

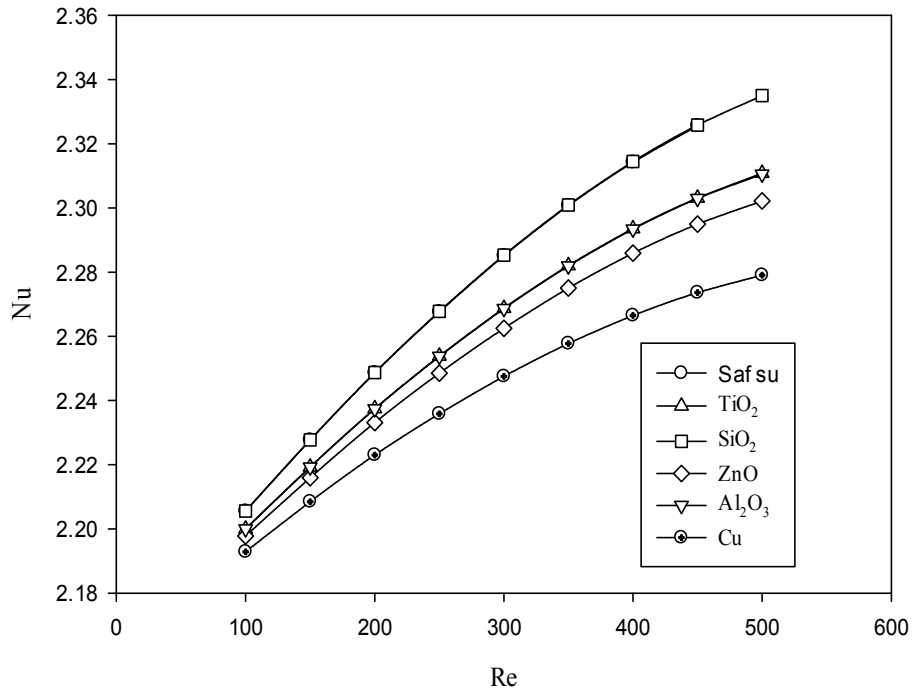
değişimi dikkate alınarak verilmiştir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyonun %0.5 olduğu durumda en büyük Nu sayısı 2.334 olarak SiO₂/su nanoakışkanında hesaplanırken, en küçük Nu sayısı 2.315 olarak Cu/su nanoakışkanı için hesaplanmıştır. Benzer bir biçimde nanopartikül hacimsel konsantrasyonun %1.0, %1.5 ve %2.0 olduğu durumlarda en büyük Nu sayıları sırasıyla 2.342, 2.335 ve 2.334 olarak SiO₂/su nanoakışkanı için gerçekleşirken, en küçük Nu sayıları 2.296, 2.279 ve 2.263 olarak Cu/su nanoakışkanı için gerçekleşmiştir.



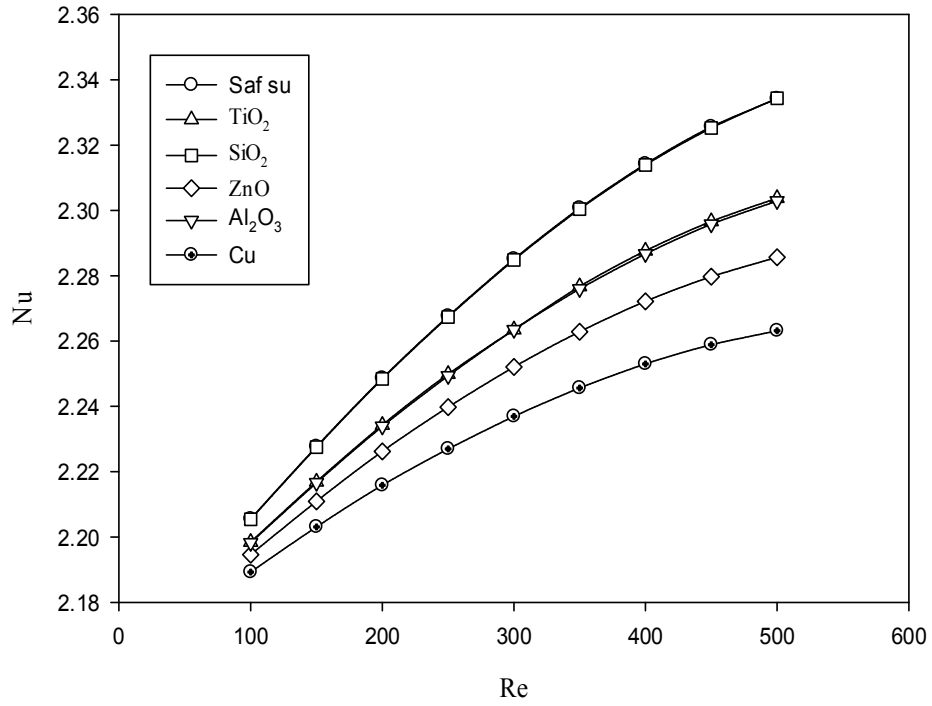
Şekil 5.15. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.



Şekil 5.16. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.



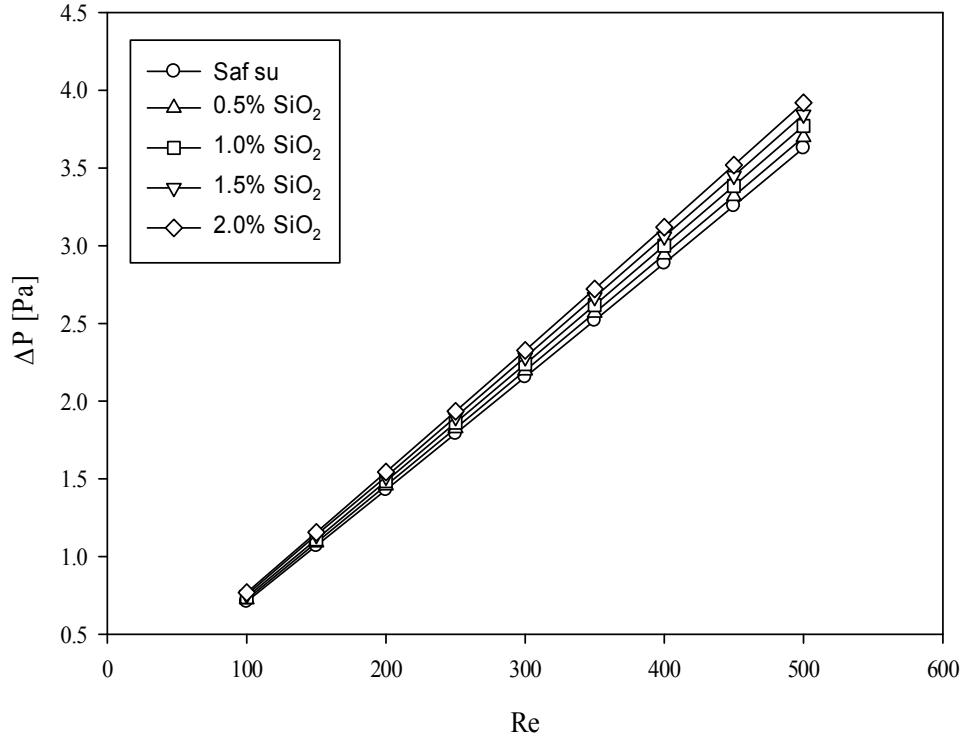
Şekil 5.17. %1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.



Şekil 5.18. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının karşılaştırılması.

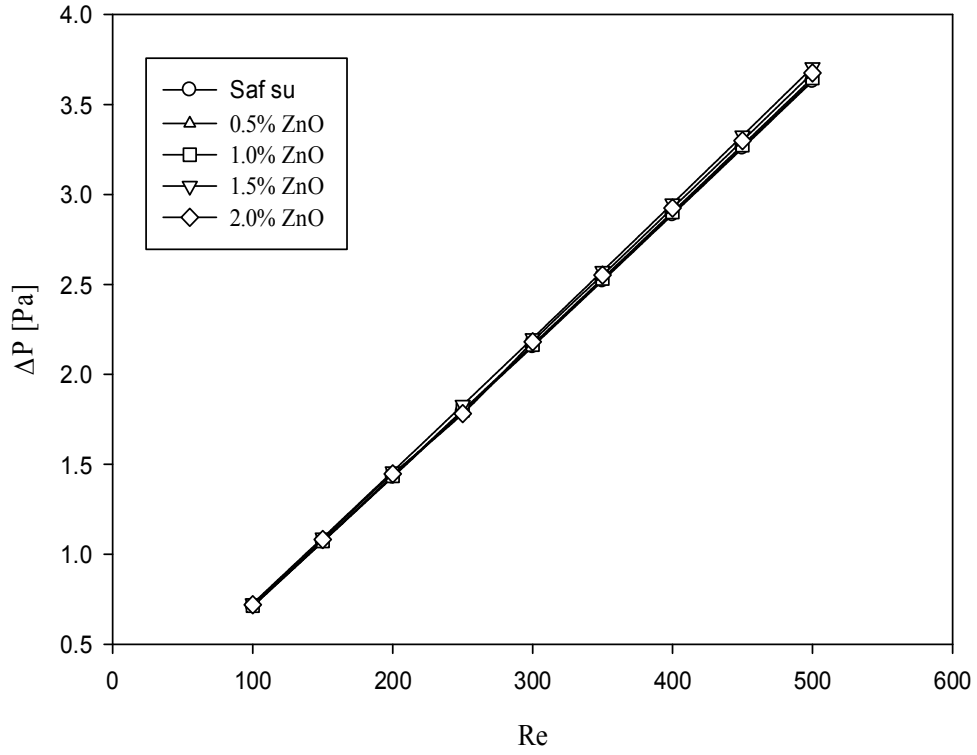
5.3. BASINÇ DÜŞÜMÜ (ΔP)

Sayısal hesaplamalar sonucunda saf su ve her bir nanoakışkan için basınç düşümü (ΔP) değerlerinin Re sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.19 ve 5.23 aralığındaki grafiklerde verilmiştir. Farklı hacimsel konsantrasyonlarda nanoakışkanların kendi arasındaki ΔP değerlerine ait karşılaştırmaları da Şekil 5.24 ve 5.27 aralığındaki grafiklerde verilmiştir.



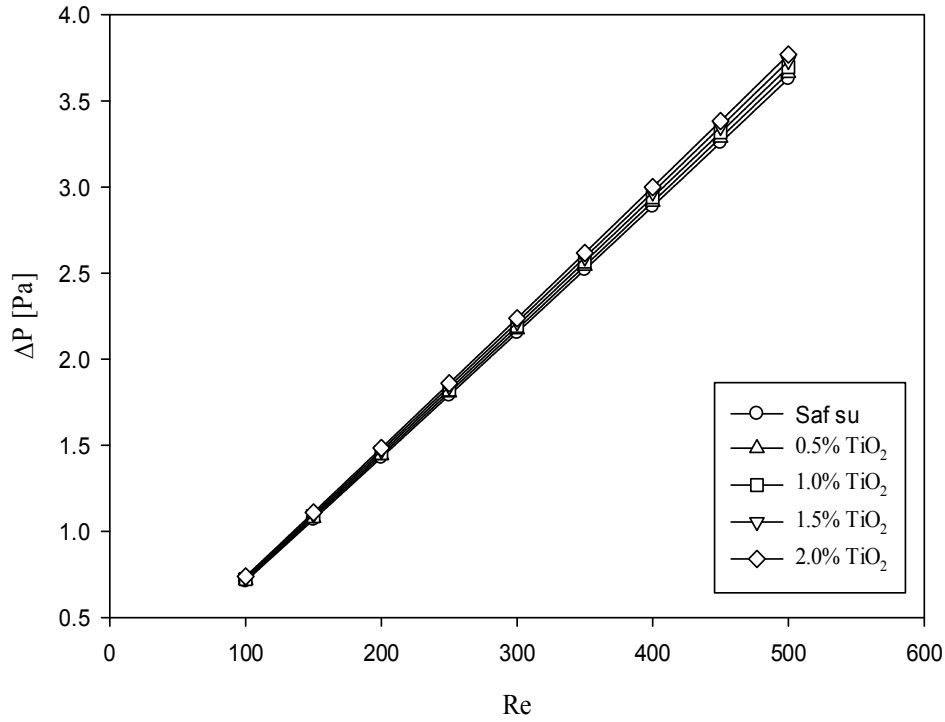
Şekil 5.19. Farklı Re değerlerinde SiO₂/su nanoakışkanı için basınç düşümü.

Şekil 5.19’da SiO₂/su nanoakışkanı için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi saf suya SiO₂ nanopartikül ilavesi akışın basınç düşümünü arttırmıştır. Maksimum basınç düşümü %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip SiO₂/su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Re=500 değerinde saf suya %2.0 oranında SiO₂ nanopartikül ilavesi basınç düşümünü 3.62 Pa değerinden 3.92 Pa değerine çıkartmıştır. Bununla birlikte Re sayısı artarken basınç düşümü değeri de artmıştır. Re=100 ve hacimsel konsantrasyon %2.0 değeri için 0.768 Pa olan basınç düşümü değeri Re=500’de 3.92 Pa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.20. Farklı Re değerlerinde ZnO/su nanoakışkanı için basınç düşümü.

Şekil 5.20’da ZnO/su nanoakışkanı için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi saf suya ZnO nanopartikül ilavesi akışın basınç düşümünü arttırmıştır. Maksimum basınç düşümü %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip ZnO/su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Re=500 değerinde saf suya %2.0 oranında ZnO nanopartikül ilavesi basınç düşümünü 3.62 Pa değerinden 3.67 Pa değerine çıkartmıştır. Bununla birlikte Re sayısı artarken basınç düşümü değeri de artmıştır. Re=100 ve hacimsel konsantrasyon %2.0 değeri için 0.720 Pa olan basınç düşümü değeri Re=500’de 3.67 Pa olarak hesaplanmıştır.

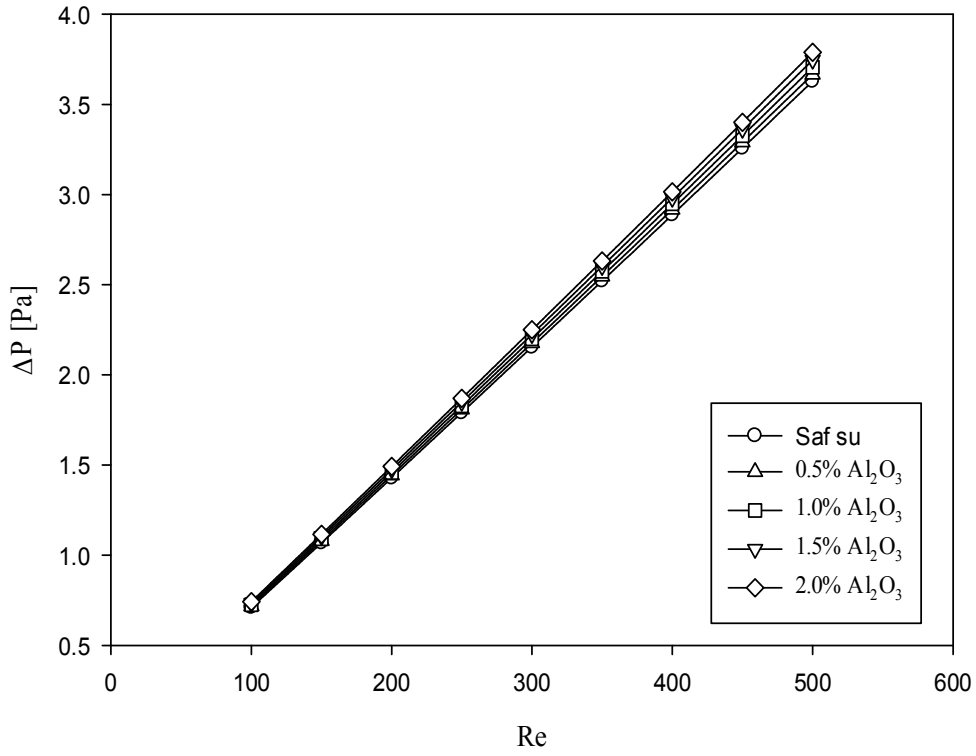


Şekil 5.21. Farklı Re değerlerinde TiO₂/su nanoakışkanı için basınç düşümü.

Şekil 5.21’de TiO₂/su nanoakışkanı için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi saf suya TiO₂ nanopartikül ilavesi akışın basınç düşümünü arttırmıştır. Maksimum basınç düşümü %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip TiO₂/su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Re=500 değerinde saf suya %2.0 oranında TiO₂ nanopartikül ilavesi basınç düşümünü 3.62 Pa değerinden 3.77 Pa değerine çıkartmıştır. Bununla birlikte Re sayısı artarken basınç düşümü değeri de artmıştır. Re=100 ve hacimsel konsantrasyon %2.0 değeri için 0.738 Pa olan basınç düşümü değeri Re=500’de 3.77 Pa olarak hesaplanmıştır.

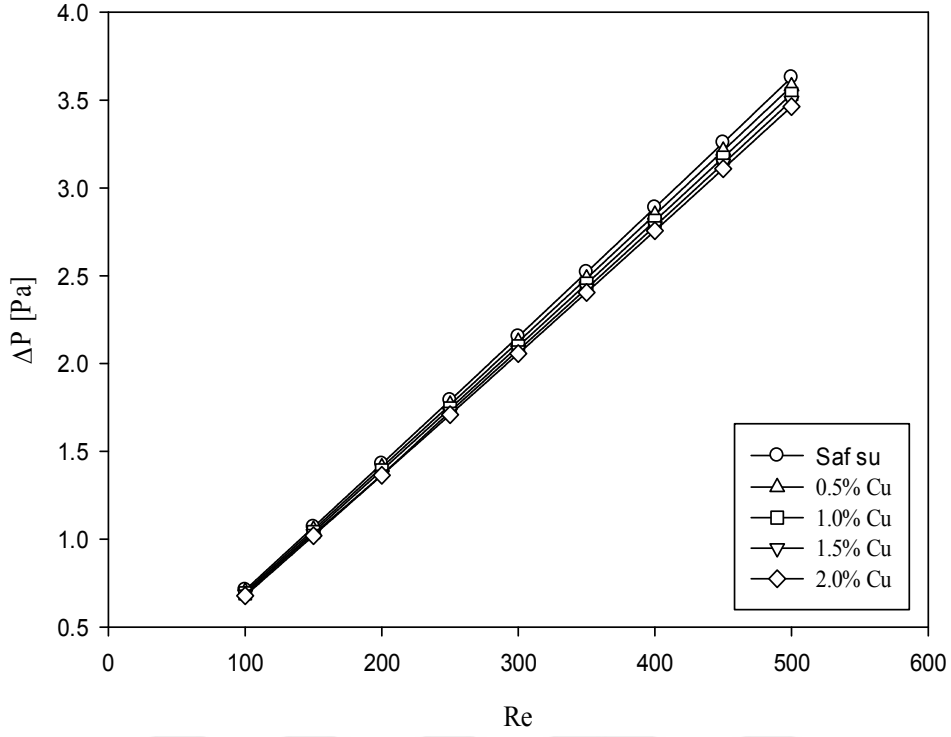
Şekil 5.22’de Al₂O₃/su nanoakışkanı için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi saf suya Al₂O₃ nanopartikül ilavesi akışın basınç düşümünü arttırmıştır. Maksimum basınç düşümü %2.0 hacimsel konsantrasyona sahip Al₂O₃/su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Re=500 değerinde saf suya %2.0 oranında Al₂O₃ nanopartikül ilavesi basınç düşümünü 3.62 Pa değerinden 3.79 Pa değerine çıkartmıştır. Bununla birlikte Re sayısı artarken basınç

düşümü değeri de artmıştır. $Re=100$ ve hacimsel konsantrasyon %2.0 değeri için 0.742 Pa olan basınç düşümü değeri $Re=500$ 'de 3.77 Pa olarak hesaplanmıştır.



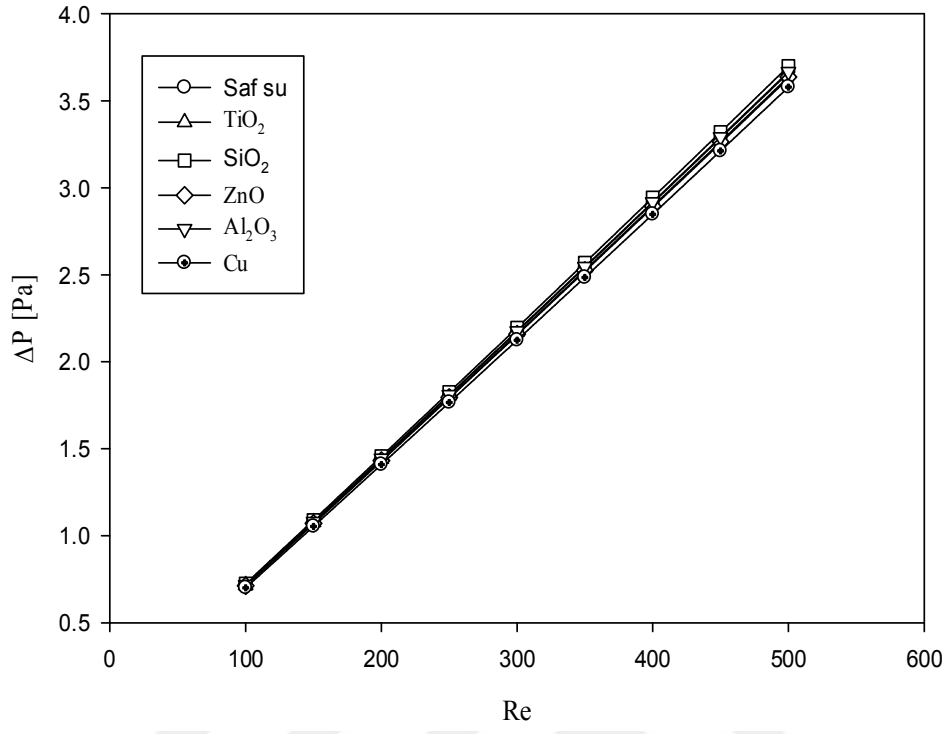
Şekil 5.22. Farklı Re değerlerinde Al₂O₃/su nanoakışkanı için basınç düşümü.

Şekil 5.23'de Cu/su nanoakışkanı için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi saf suya Cu nanopartikül ilavesi akışın basınç düşümünü diğer diğerlerinden farklı olarak azaltmıştır. Maksimum basınç düşümü saf suda 3.62 Pa olarak gerçekleşmiştir. $Re=500$ değerinde saf suya %2.0 oranında Cu nanopartikül ilavesi basınç düşümünü 3.62 Pa değerinden 3.46 Pa değerine düşürmüştür. Bununla birlikte Re sayısı artarken basınç düşümü değeri de artmıştır. $Re=100$ ve hacimsel konsantrasyon %2.0 değeri için 0.67 Pa olan basınç düşümü değeri $Re=500$ 'de 3.46 Pa olarak hesaplanmıştır.

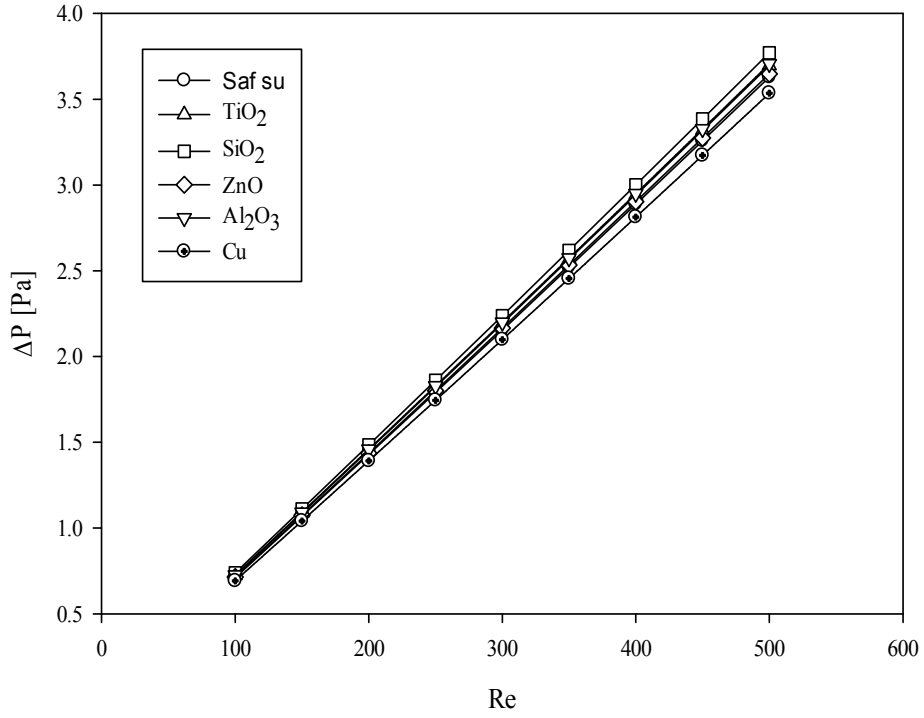


Şekil 5.23. Farklı Re değerlerinde Cu/su nanoakışkanı için basınç düşümü.

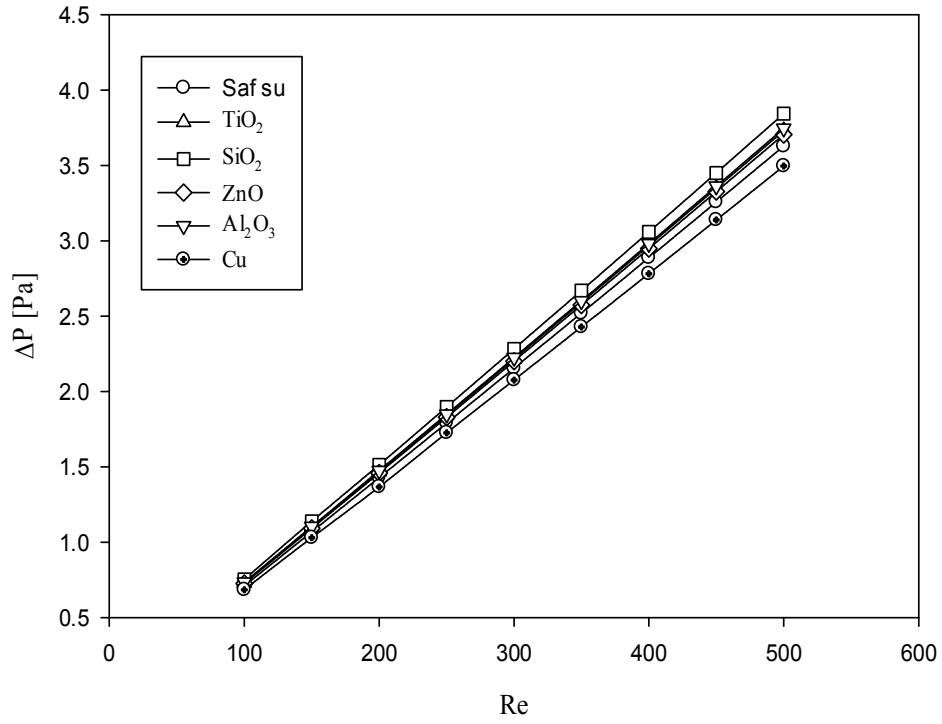
Şekil 5.24-5.27 aralığındaki grafiklerde farklı hacimsel konsantrasyon değerleri için nanoakışkanların kendi arasındaki karşılaştırmaları basınç düşümü ve Re sayısının göre değişimi dikkate alınarak verilmiştir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyonun %0.5 olduğu durumda en büyük $Re=500$ değeri için $\Delta P=3.69$ olarak SiO_2/su nanoakışkanında hesaplanırken, en küçük ΔP değeri 3.57 olarak Cu/su nanoakışkanı için hesaplanmıştır. Benzer bir biçimde nanopartikül hacimsel konsantrasyonun %1.0, %1.5 ve %2.0 olduğu durumlarda en büyük ΔP değerleri sırasıyla 3.77, 3.84 ve 3.92 Pa olarak SiO_2/su nanoakışkanı için gerçekleşirken, en küçük Nu sayıları 3.53, 3.49 ve 3.46 Pa olarak Cu/su nanoakışkanı için gerçekleşmiştir.



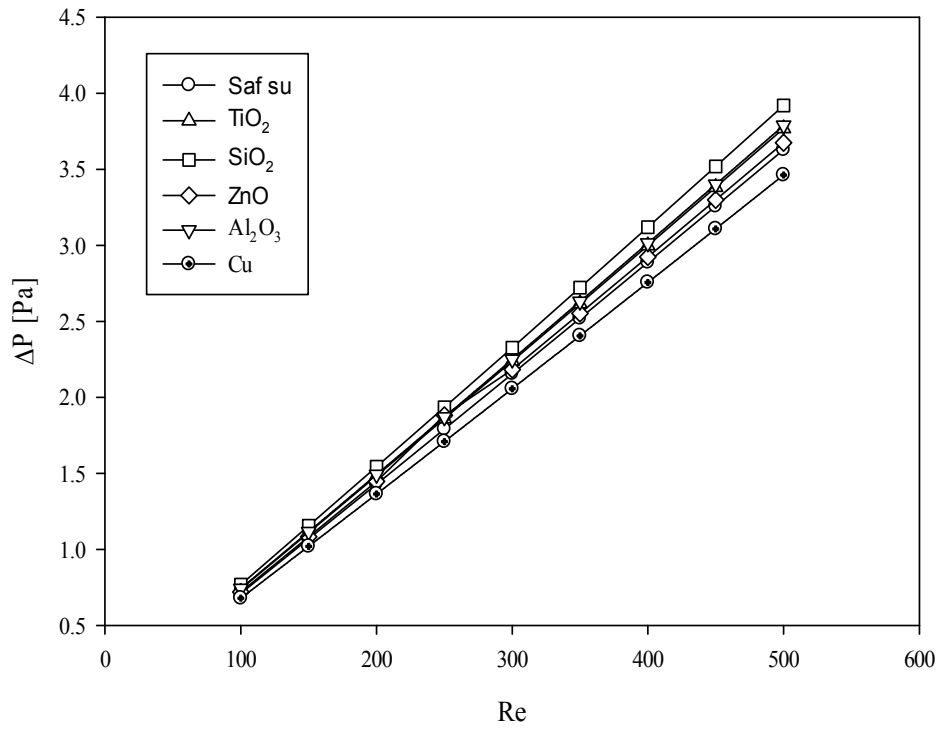
Şekil 5.24. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümünün karşılaştırılması.



Şekil 5.25. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümünün karşılaştırılması.



Şekil 5.26. %1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümünün karşılaştırılması.

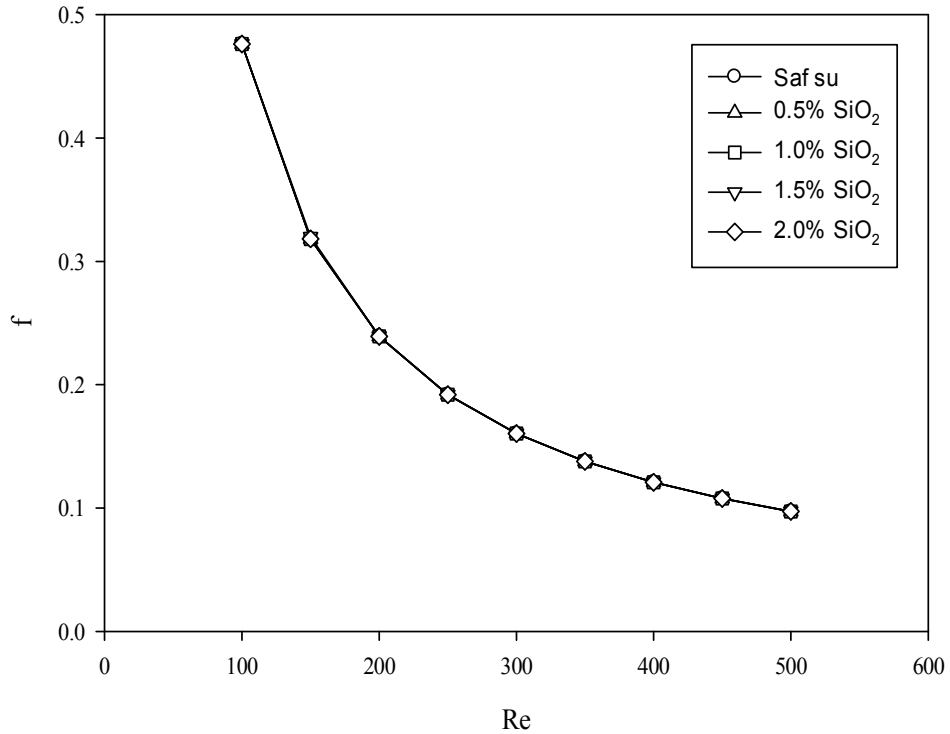


Şekil 5.27. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümünün karşılaştırılması.

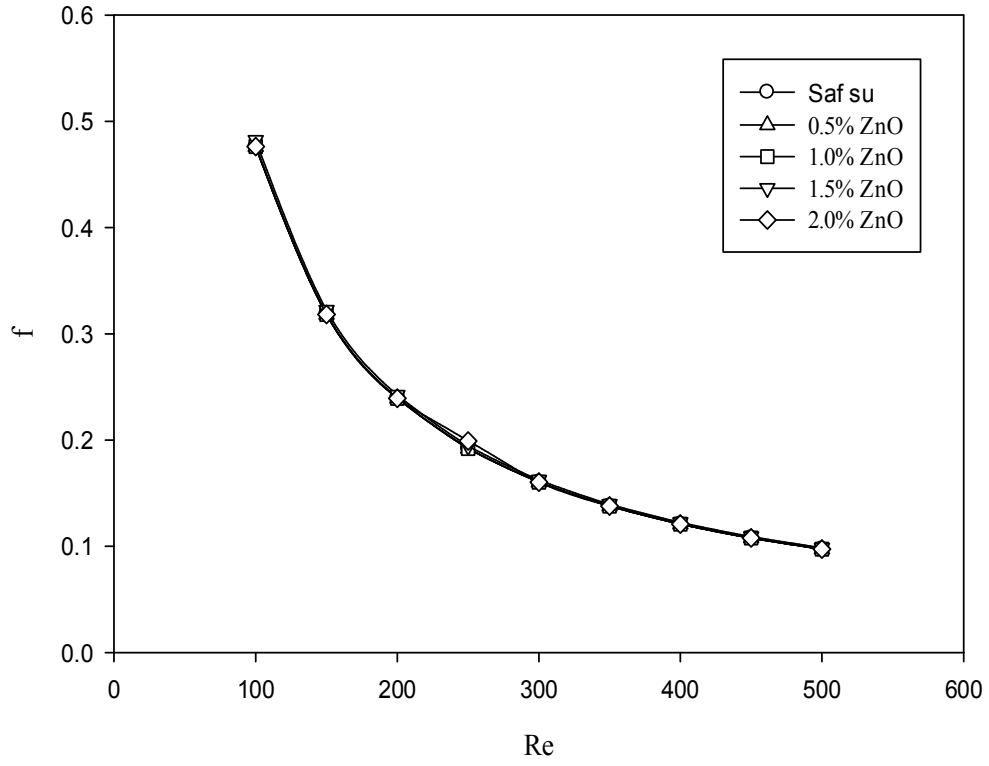
5.4. DARCY SÜRTÜNME FAKTÖRÜ (f)

Darcy sürtünme faktörü saf su ve her bir nanoakışkan için Eşitlik 4.13 yardımıyla hesaplanmıştır. Sayısal hesaplamalar sonucunda saf su ve her bir nanoakışkan için Darcy sürtünme faktörü (f) değerlerinin Re sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.28 ve 5.32 aralığındaki grafiklerde verilmiştir. Farklı hacimsel konsantrasyonlarda nanoakışkanların kendi arasındaki f değerlerine ait karşılaştırmaları da Şekil 5.33 ve 5.36 aralığındaki grafiklerde verilmiştir.

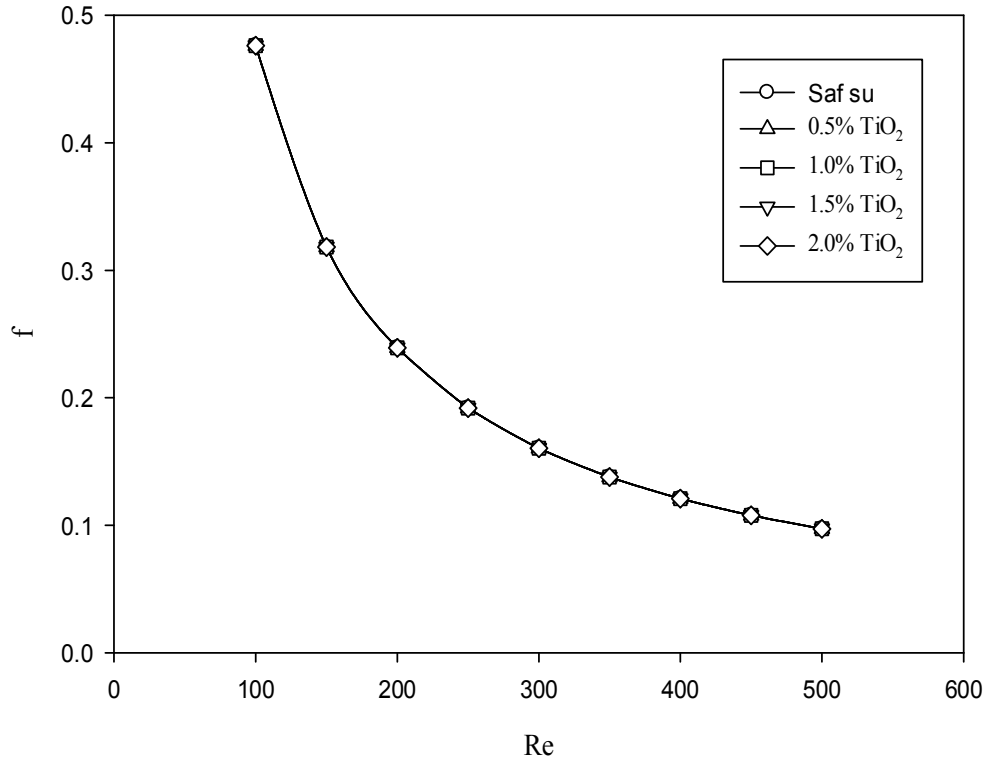
SiO₂/su nanoakışkanı için elde edilen f değerlerinin Re sayısı ile değişimi Şekil 5.28’de görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi saf suya SiO₂ nanopartikül ilavesi basınç düşümünü arttırmasına rağmen Darcy sürtünme faktörü bundan etkilenmemiştir. Nanopartikül ilavesi basınç düşümünü arttırırken aynı zamanda Re sayısında tanımlanan akış hızını da arttırmakta olup boyutsuz Darcy sürtünme faktörü değerini etkilememektedir. Bu olay diğer tüm nanoakışkanlar için de geçerlidir.



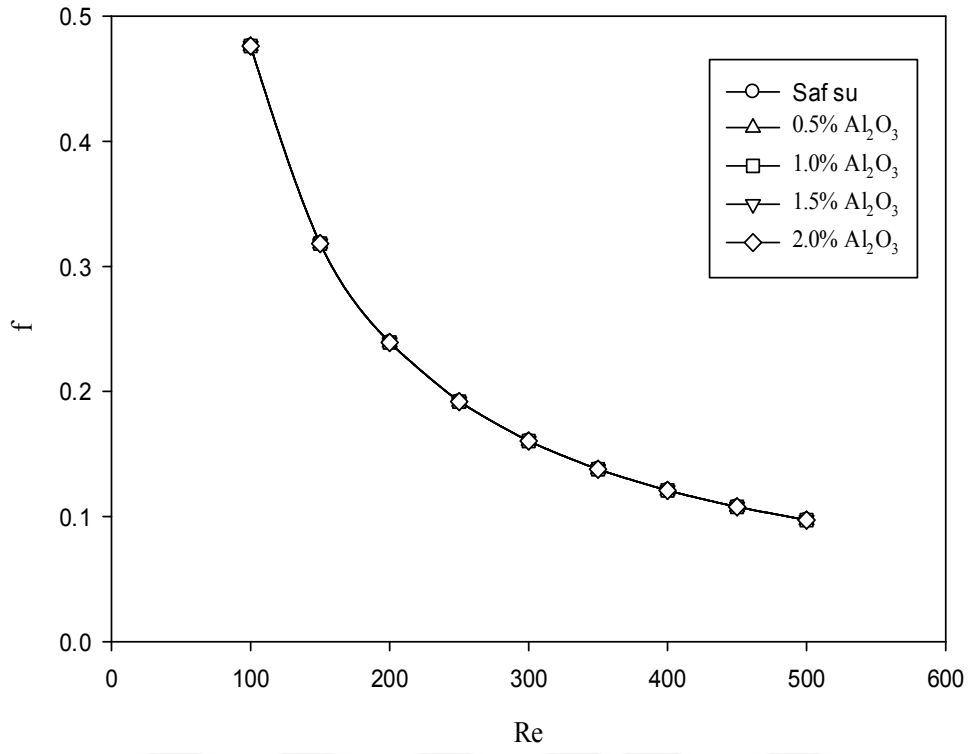
Şekil 5.28. SiO₂-Su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.



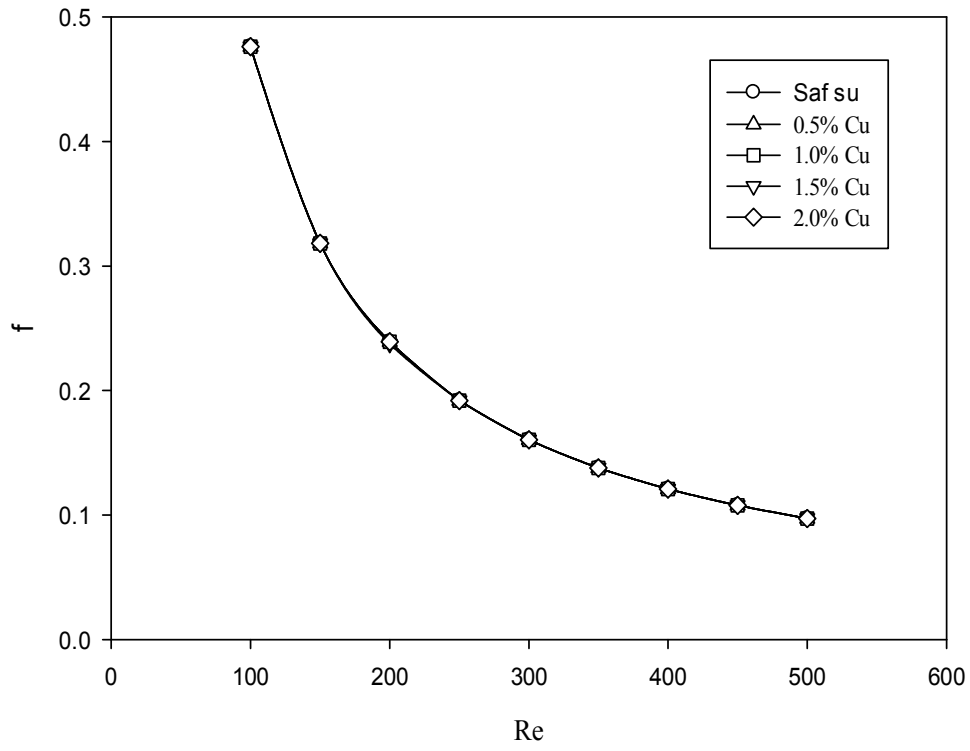
Şekil 5.29. ZnO/su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.



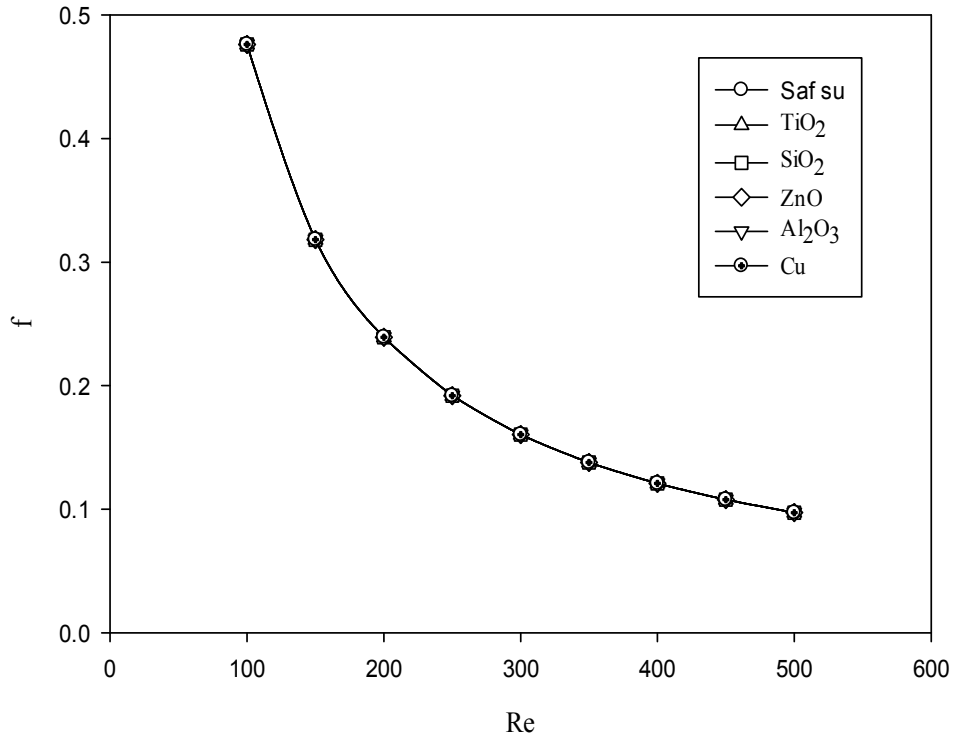
Şekil 5.30. TiO₂/su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.



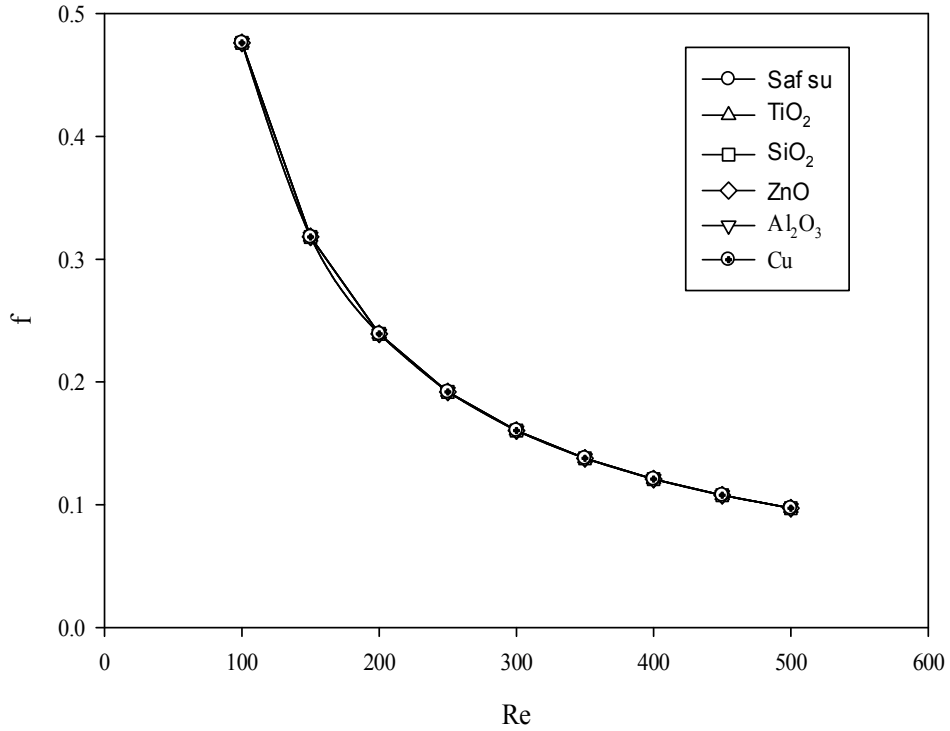
Şekil 5.31. Al₂O₃/su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.



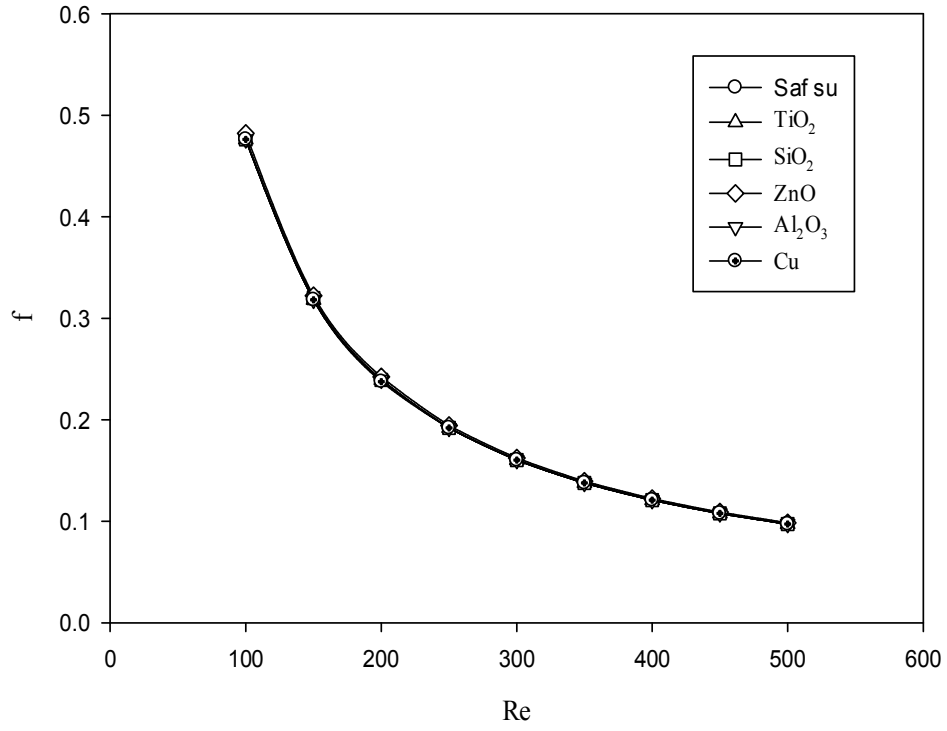
Şekil 5.32. Cu/su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörünün değişimi.



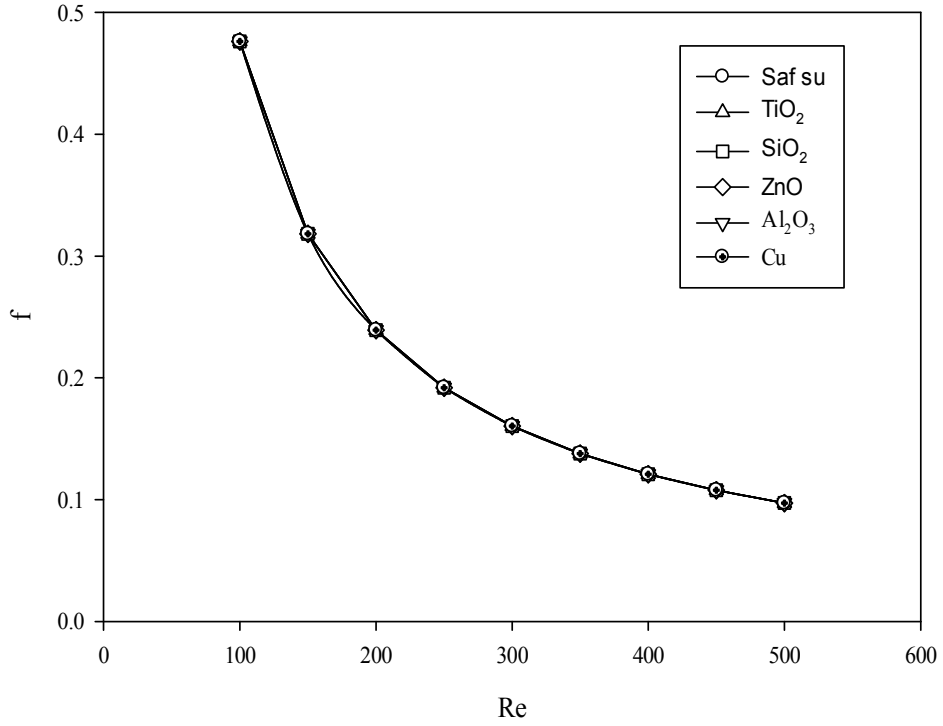
Şekil 5.33. %0.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırılması.



Şekil 5.34. %1.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırılması.



Şekil 5.35. %1.5 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırılması.



Şekil 5.36. %2.0 oranındaki farklı akışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırılması.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ani genişlemeli bir kanalda sabit duvar ısı akısı (100 W/mK) altında laminar akış ($100 < Re < 500$) şartları için farklı tipteki nanoakışkanların (SiO_2/su , ZnO/su , TiO_2/su , Al_2O_3/su , Cu/su) akış ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyonu oranları (%0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0) için sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmada, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümleme yapabilen ANSYS Fluent kodu, problemle ilgili olan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini iteratif olarak çözmek için kullanılmıştır. Sayısal çalışma sonucunda elde edilen bulgular ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibidir:

1. Isı taşınım katsayısı h ve Nu sayısı Re sayısı arttıkça artmaktadır. Isı taşınım katsayısındaki en iyi artış miktarı nanopartikül hacimsel konsantrasyonun %2.0 ve $Re=100$ değerinde Al_2O_3/su nanoakışkanı için gerçekleşmiş olup yüzdelik artış miktarı 5.40 civarındadır.
2. Saf suya nanopartikül ilavesi ısı taşınım katsayısı h değerini arttırmaktadır. Ancak Nu sayısını azaltmaktadır. Nu sayısındaki azalış akışın iletimle olan ısı transfer miktarının taşınım ile olan ısı transfer miktarından daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.
3. Basınç düşümü ΔP , Re sayısı arttıkça artış göstermiştir. Bununla birlikte saf suya nanopartikül ilavesi basınç düşümü değerlerini Cu/su nanoakışkanı hariç arttırmıştır.
4. Saf suya nanopartikül ilavesi sonucu, her bir nanoakışkan için basınç düşümü artmasına rağmen f Darcy sürtünme faktörü bundan etkilenmemiştir. Re sayısının artmasıyla birlikte f değeri azalmıştır.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan, B., “Mini/Mikro kanallarda nanoakışkan ile ısı transferinin deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, **Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak 1-2 (2016).
2. Choi, S. U. S. “Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian Flows”, **ASME**, New York, 99-105 (1995).
3. M’Hamed, B., Sidik, N. A. C., Yazid, M. N. A. D. M., Mamat, R., Najafi, G., Kefayati, G. H. R., “A review on why researchers apply external magnetic field on nanofluids”, **International Communications in Heat and Mass Transfer**, 78: 60-67 (2016).
4. Maxwell, J.C., A treatise on electricity and magnetism, **Oxford University Press**, 380-400, Cambridge (1904).
5. Choi, S.U.S., and Eastman, J.A., “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles”, **International Mechanical Engineering Congress and Exhibition**, San Francisco, CA.12-17, November (1995).
6. Choi, S.U.S., Zhang, Z.G., Yu, W., Lockwood, F.E., and Grulke, E.A., “Anomalous thermal conductivity enhancement in nano-tube suspensions”, **Applied Physics Letters.**, 79, 2252-2254 (2001).
7. Zhang, L.L., Jiang, Y., Ding, Y.L., Povey, M. and York, D.W., “Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids)”, **Journal of Nanoparticle Research.**, 9, 479-489 (2007).

8. Pak, B. C., Cho, Y. I., "Hydrodynamic And Heat Transfer Study Of Dispersed Fluids With Submicron Metallic Oxide Particles", *Experimental Heat Transfer.*, 11 (2), 151-170 (1998).
9. Malvandi, A., Moshizi, S.A., Ganji, D.D., "Effect of magnetic fields on heat convection inside a concentric annulus filled with Al₂O₃–water nanofluid", *Advanced Powder Technology.*, 25, 1817-1824 (2014).
10. Sudarmadji, S., Soeparman, S., Wahyudi, S., Hamidy, N., "Effects of Cooling Process of Al₂O₃- water Nanofluid on Convective Heat Transfer" *FME Transactions.*, 42, 155-161 (2014).
11. G. Saha and M.C. Paul., "Numerical analysis of heat transfer behaviour of water based Al₂O₃ and TiO₂ nanofluids in a circular pipe under the turbulent flow condition", *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, 56 96-108 (2014).
12. Heris, S.Z., Etemad S.G., Esfahany, M.N., "Convective heat transfer of a Cu/Water nanofluid flowing through circular tube", *Experimenta Heat Transfer.*, 22 217-227 (2009).
13. Nassan, T.H., Heris, S.Z., Noie, S.H., "A comparison of experimental heat transfer characteristics for Al₂O₃/water and CuO/water nanofluids in square cross-section duct", *International Communications in Heat and Mass transfer.*, 37 924-928 (2010)
14. Heris, S.Z., Nassan, T., Noie, S.H., Sardarabadi, M., "Laminar convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid through square cross-sectional duct", *International Journal of Heat and Fluid Flow.*, 44 375-382 (2013)
15. R. Manica, A.L. De Bortoli., "Simulation of sudden expansion flows for power-law fluids", *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 121: 35-40, (2004).

16. A. Sh. Kherbeet, H.A. Mohammed, K.M.Munisamy, R.Saidur, B.H. Salman, I.M. Mahbubul, “Experimental and numerical study of nanofluid flow and heat transfer over microscale forward-facing step”, *International Communications in Heat and Mass Transfer.*, 57: 319-329, (2014).
17. H. Togun, M.R.Safaei, R. Sadri, S.N. Kazi, A.Badarudin, K.Hooman, E.Sadeghinezhad., “Numerical simulation of laminar to turbulent nanofluid flow and heat transfer over a backward-facing step”, *Applied Mathematics and Computation.*, 239 153-170, (2014).
18. Y. Bae, Y. I. Kim., “Prediction of local pressure drop for turbulent flow in axisymmetric sudden expansions with chamfered edge”, *Chemical Engineering Research and Design.*, 92 229-239, (2014).
19. Nouri, D., Pasandideh-Fard, M., Mohammad, Oboodi, M.J., Mahian, O., Sahin, A.Z., “Entropy generation analysis of nanofluid flow over a spherical heat source inside a channel with sudden expansion and contraction”, *International Journal of Heat and Mass Transfer.*, 116 1036–1043 (2018).
20. H. Togun, H. I. Abu-Mulaweh, S. N. Kazi and A. Badarudin., “Numerical simulation of heat transfer and separation Al_2O_3 /nanofluid flow in concentric annular pipe”, *International Communications in Heat and Mass Transfer.*, vol. 71 180-117, (2017).
21. Kimouche, A., Mataoui, A., Öztop, H.F., Hamdeh, N.A., “Analysis of heat transfer of different nanofluids flow through an abrupt expansion pipe”, *Applied Thermal Engineering.*, 112 965-974 (2017).
22. D. S. Christopher, P. R. Kanna, G. R. Madhusudhana, P. Venkumar and H. A. Mohammed., “Numerical investigation of heat transfer from a two-dimensional sudden expansion flow using nanofluids”, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology.*, 61 527-546, (2012).

23. İlbilgi, L., “Nanoakışkanlı bir tüp içerisinde zorlanmış konveksiyonla ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2010).
24. Witharana, S., Chen, H., Ding, Y., “Nanofluids for Heat Transfer. Handbook of Nanophysics”, **Nanoparticles and Quantum Dots**, 12p. Leeds. Wong (2010).
25. Das, S.K., Choi, S.U.S., Patel, H.E., “Heat transfer in nanofluids-a review”, **Heat Transfer Engineering.**, 27 (10) 3-19 (2006).
26. Karabulut, K., “Isı değıştiricilerde ısı aktarımının nanoakışkanlar kullanılarak arttırılması”, Doktora tezi, **Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sivas, (2015).
27. Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee, S., Hadadian M., “Nanofluids for heat transfer enhancement-A Review”, **Physical Chemistry Research.**, vol 1 No:1 1-33 (2013).
28. Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Yu, W., and Thompson, L.J., “Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol based nanofluids containing copper nanoparticles”, **Applied Physics Letters.**, 78 (6), 718- 720 (2001).
29. Chen, L. and Xie, H., “Surfactant-free nanofluids containing double- and single-walled carbon nanotubes functionalized by a wet-mechanochemical reaction”, **Thermochimica Acta.**, 497 (1-2), 67-71 (2010).
30. Salehi, J.M., Heyhat, M.M., Rajabpour, A., “Enhancement of thermal conductivity of silver nanofluid synthesized by a one-step method with the effect of polyvinylpyrrolidone on thermal behavior”, **Applied Physics Letters.**, 102 (2013).

31. Faizal, M., Saidur, R., Mekhilef, S., Alim, M.A., “Energy, economic and environmental analysis of metal oxides nanofluid for flat-plate solar collector”, *Energy Conversion and Management*, (2013)
32. T. Menlik-A.Sözen-M. Gürü-N. Çağlayan-S. Öztaş., “Determination of thermodynamic properties of spinel oxide particles containing nanofluids”, *Gazi Journal of Engineering Science*,1 (2) 285-304 (2015)
33. Meng, Z., Han, D., Wu, D., Zhu, H., Li, Q., “Thermal conductivities, rheological behaviors and photothermal properties of ethylene glycol-based nanofluids containing carbon black nanoparticles”, *Procedia Eng.*, 36, 521-527 (2012).
34. Singh, D., Toutbort, J., Chen, G. et al., “Heavy vehicle systems optimization merit review and peer evaluation”, *Annual Report.*, Argonne National Laboratory (2006)
35. Buongiorno, J., Hu, W., “Nanofluid Coolants for Advanced Nuclear Power Plants”, *Proceedings of ICAPP’05*, Seoul, 15-19 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Ozan GÜLSER 1980 yılında Zonguldak'ta doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Zonguldak Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 2000 yılında Zonguldak Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2004 yılında mezun oldu. 2004-2005 yılları arasında askerliğini tamamladı. 2006 Temmuz ayı itibari ile Isıdem Tesisat Klima Taahhüt İnşaat firmasında hava kanalları projeleri çizimi ve şantiyelerde uygulanıp devreye alınması konusunda şantiye şefi olarak 2 yıl çalışmıştır. 2008 Nisan ayı itibari ile BGM Mühenslik firmasında boru dizaynırı olarak göreve başlamış olup, bulunduğu süre içinde çeşitli doğalgaz çevrim santralleri projelerinin çizilmesinde görev almıştır. 2012 Ocak ayı itibari ile FOSTER BİMAŞ mühendislik firmasında boru dizaynırı olarak göreve başlayıp 2013 yılı itibari ile aynı firmada boru gerilme analiz mühendisliğine terfi etmiştir. Bu departmanda 4 yıl boyunca çeşitli rafineri ve endüstriyel tesislerin projelerinde çalışmıştır. 2015 yılında mühendislik tamamlama programı ile Karabük Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü başarı ile tamamladı. 2016 yılında Rönesans Holding' e Borulama Dizayn Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yenişehir mah. Cumhuriyet bul. Yaşamkent sit. B-blok No:34

Pendik/İSTANBUL

Tel : (505) 556 7193

E-posta : ozangulser@hotmail.com