



**DAİRESEL BİR BORUDAKİ ZORLANMIŞ
TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNE NANOPARTİKÜL
ŞEKİL ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Gizem TAŞTAN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

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

**DAİRESEL BİR BORUDAKİ ZORLANMIŞ TAŞINIMLA ISI
TRANSFERİNE NANOPARTİKÜL ŞEKİL ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Gizem TAŞTAN

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

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

**KARABÜK
Ocak 2022**

Gizem TAŞTAN tarafından hazırlanan “DAİRESEL BİR BORUDAKİ ZORLANMIŞ TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNE NANOPARTİKÜL ŞEKİL ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Engin GEDİK

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/01/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL (CBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Gizem TAŞTAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DAİRESEL BİR BORUDAKİ ZORLANMIŞ TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNE NANOPARTİKÜL ŞEKİL ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Gizem TAŞTAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Engin GEDİK

Ocak 2022, 127 sayfa

Bu çalışmada, farklı nanopartikül şekline (morfolojisine) sahip Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 nanopartikülleri ve baz akışkan su ile oluşturulan nanoakışkanların dairesel kesitli bir borudaki akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada, tek faz modeli kullanılarak sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlene yapabilen ANSYS Fluent kodu, süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini iteratif olarak çözmek için kullanılmıştır. İncelenen akış problemi, sabit duvar ısı akısı (1000 W/m^2) altında ve laminer akış şartlarında ($500 \leq Re \leq 2000$) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, brick, platelet ve silindirik şekilli Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 nanopartikülleri ve bunlara ait %1, %2, %3, %4'lük nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları (ϕ) kullanılmıştır. Sayısal analiz verilerine göre; nanoakışkanlarda, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ve Reynold değerinin artışıyla ısı taşınım katsayısı " h ", Nusselt sayısı " Nu " ve basınç düşümü " ΔP " değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Tüm nanoakışkanlarda en büyük " h ", " Nu " ve " ΔP " değerleri platelet şekil yapısına aittir.

$Re=2000$ ve $\phi=4\%$ için, platelet şekilli nanopartikül içeren nanoakışkanların en büyük “ Nu ” değerleri, suyun $Re=2000$ ’deki “ Nu ” değerlerinden GO-su, Al_2O_3 -su ve Fe_3O_4 -su için sırasıyla; “%64,34”, “%59,5”, “%55,59” daha büyüktür. Sayısal analiz verilerine göre Darcy Sürtünme Faktörü “ f ” değerleri Reynold sayısının düşük değerlerinde en büyük değerlerini almıştır. Performans değerlendirme kriteri “ PDK ” değerleri nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça azalmaktadır ve tüm nanoakışkanlar için en yüksek “ PDK ” değerleri %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip brick şekilli nanoakışkanlar için hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Nanoakışkanlar, nanopartikül şekli, ısı transferi, zorlanmış taşınım, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).

Bilim Kodu : 91412

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF NANOPARTICLE SHAPE EFFECT ON FORCED CONVECTION HEAT TRANSFER IN A CIRCULAR PIPE

Gizem TAŞTAN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Engin GEDİK

January 2022, 127 pages

This study aims to investigate the effects of different nanoparticle shapes of different nanofluids on the flow and heat transfer characteristics in a circular pipe using numerical method. The numerical model calculated by computational fluid dynamics method (CFD) which using ANSYS Fluent code to solve the governing continuity, momentum and energy conservation equations considering single-phase approach. For the fluid flow analysis is adopted to simulate the nanofluid flow and three types of nanoparticles Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 with their volumetric nanoparticle concentrations of 1%, 2%, 3%, 4% and three types of nanoparticle shapes brick, platelet and cylindrical is considered. The flow in the circular tube is assumed to be incompressible, steady, and laminar conditions ($500 \leq Re \leq 2000$). At the tube wall, a uniform heat flux (1000 W/m^2) and non-slip conditions are assigned. The computational results show that, the convection heat transfer coefficient “ h ”, the Nusselt number “ Nu ” and the pressure drop “ ΔP ” increased as the volumetric concentration ratio of nanoparticles and

Reynold number increases. The maximum heat transfer coefficient value obtained from the platelet shape of all nanofluids. As $Re=2000$ and $\varphi=4\%$ the average Nusselt number of platelet shaped GO, Al_2O_3 and Fe_3O_4 nanofluids relative to that of pure water increased by 64,34%, 59,5% and 55,59% respectively. The corresponding highest values of Darcy Friction Factor “ f ” was detected at low values of Reynolds number, and it decreases as Reynold number increases. Performance evaluation criteria “ PEC ” values decrease as the nanoparticle volumetric concentration ratio increases, and the highest values of “ PEC ” of all nanofluid obtained from the shape of brick.

Key Word : Nanofluids, shape of nanoparticle, heat transfer, forced convection, Computational Fluid Dynamic (CFD)

Science Code : 91412

TEŞEKKÜR

Öncelikle hayatımın her alanında, hem maddi hem manevi anlamda en büyük destekçilerim olan sevgili annem Hikmet TAŞTAN ile babam Okaner TAŞTAN'a, akademik alanda en büyük destekçim ve ilham kaynağım olan biricik kardeŐim Ali TAŞTAN'a, tanıdığım günden bu yana beni her konuda destekleyen ve fikirlerimi gerçekleştirirken desteğini esirgemeyen, en büyük motivasyon kaynağım sevgili Eren KISA'ya, beni her zaman hoşgörü ve anlayıŐla kucaklayan çok kıymetli dostum Sevilay KÖSE ile kıymetli ailesine, çalışma sürecimde teknik konularda yardımlarını esirgemeyen Okan DOĞAN ve Abdullah ALAKOUR'a ve son olarak bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda, ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve yönlendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendirmeme yardımcı olan Sayın Hocam Doç. Dr. Engin GEDİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
BÖLÜM 3	18
NANOAKIŞKANLAR	18
3.1. NANOAKIŞKAN TÜRLERİ.....	22
3.2. NANOAKIŞKANLARIN ISIL PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER	23
3.2.1. Nanopartikül Türünün Etkisi	23
3.2.2. Nanopartiküllerin Şekil Etkisi	24
3.2.3. Nanopartikül Hacimsel Konsantrasyon Oranının Etkisi.....	27
3.3. NANOAKIŞKANLARDA ISI TRANSFERİ	27
BÖLÜM 4	35
MATERYAL VE YÖNTEM	35
4.1. SAYISAL YÖNTEM	35

	<u>Sayfa</u>
4.1.1. Sonlu Hacimler Yöntemi	35
4.1.2. Ansys Fluent Programı	36
4.1.3. Korunum Denklemleri	37
4.2. PROBLEM GEOMETRİSİ	38
4.3. SAYISAL AĞ YAPISININ OLUŞTURULMASI.....	40
4.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	45
BÖLÜM 5	52
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	52
5.1. Fe ₃ O ₄ -SU NANOAKIŞKANINA AİT SONUÇLAR	55
5.1.1. Fe ₃ O ₄ 'e İlişkin Elde Edilen Isı Taşınım Katsayısı “ <i>h</i> ” Sonuçları.....	55
5.1.2. Fe ₃ O ₄ 'e İlişkin Elde Edilen Nusselt Sayısı “Nu” Sonuçları	56
5.1.3. Fe ₃ O ₄ 'e İlişkin Elde Edilen Statik Basınç Düşüşü “ ΔP ” Sonuçları	57
5.1.4. Fe ₃ O ₄ 'e İlişkin Elde Edilen Darcy Sürtünme Katsayısı “ <i>f</i> ” Sonuçları ..	58
5.1.5. Fe ₃ O ₄ 'ün Brick Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	59
5.1.6. Fe ₃ O ₄ 'ün Platelet Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	61
5.1.7. Fe ₃ O ₄ 'ün Silindirik Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	63
5.2. GO-SU NANOAKIŞKANIN SONUÇLARI	64
5.2.1. GO'e İlişkin Elde Edilen Isı Taşınım Katsayısı “ <i>h</i> ” Sonuçları.....	64
5.2.2. GO'e İlişkin Elde Edilen Nusselt Katsayısı “Nu” Sonuçları.....	66
5.2.3. GO'e İlişkin Elde Edilen Statik Basınç Düşüşü “ ΔP ” Sonuçları	67
5.2.4. GO'e İlişkin Elde Edilen Darcy Sürtünme Katsayısı “ <i>f</i> ” Sonuçları	68
5.2.5. GO'ün Brick Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	70
5.2.6. GO'ün Platelet Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	71
5.2.7. GO'in Silindirik Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar.....	72
5.3. Al ₂ O ₃ -SU NANOAKIŞKANIN SONUÇLARI	74
5.3.1. Al ₂ O ₃ 'e İlişkin Elde Edilen Isı Taşınım Katsayısı “ <i>h</i> ” Sonuçları.....	74
5.3.2. Al ₂ O ₃ 'e İlişkin Elde Edilen Nusselt Katsayısı “Nu” Sonuçları	75
5.3.3. Al ₂ O ₃ 'e İlişkin Elde Edilen Statik Basınç Düşüşü “ ΔP ” Sonuçları	77
5.3.4. Al ₂ O ₃ 'e İlişkin Elde Edilen Darcy Sürtünme Katsayısı “ <i>f</i> ” Sonuçları ..	78
5.3.5. Al ₂ O ₃ 'ün Brick Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	79
5.3.6. Al ₂ O ₃ 'ün Platelet Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	80

	<u>Sayfa</u>
5.3.7. Al ₂ O ₃ 'ün Silindirik Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar	82
5.4. NANOAKIŞKANLARIN BRİCK, PLATELET VE SİLİNDİRİK NANOPARTİKÜL ŞEKİLLERİNE AİT SAYISAL SONUÇLARIN KIYASLANMASI	83
5.4.1. Isı Taşınım Katsayısı “ <i>h</i> ” Sonuçları.....	83
5.4.2. Nusselt Sayısı “ <i>Nu</i> ” Sonuçları	90
5.4.3. Statik Basınç Farkı “ ΔP ” Sonuçları.....	96
5.4.4. Darcy Sürtünme Faktörü “ <i>f</i> ” Sonuçları	103
5.5. PERFORMANS DEĞERLENDİRME KRİTERİ.....	112
BÖLÜM 6	116
SONUÇ VE ÖNERİLER	116
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler.....	2
Şekil 1.2. HAD çalışmalarının temelini oluşturan prensipler ve ilgili bilim dalları.	4
Şekil 3.1. Bazı organik ve inorganik yapıdaki nanopartiküllere ait şekiller ve genel olarak nanopartikül boyutlarına ait aralık [43].	19
Şekil 3.2. Nanoakışkanların etkinliğinde önemli olan unsurlar ve nanoakışkanların sistemde etkiledikleri parametreler [45].	20
Şekil 3.3. Farklı araştırmacılar tarafından incelenen nanopartikül şekillerine ait görseller [63].	26
Şekil 3.4. Dairesel kesitli bir boruda; a) Hız (hidrodinamik) ve b) Isıl sınır tabakanın gelişimi [70].	30
Şekil 3.5. Laminer ve türbülanslı akış görseli.....	31
Şekil 4.1. Problem geometrisi.	38
Şekil 4.2. Meshden bağımsız çalışma, Nu sayısının değişimi.	41
Şekil 4.3. Meshden bağımsız çalışma, f değerinin değişimi.	42
Şekil 4.4. Mesh uygulanmış dairesel kanalın önden görünüşü.	43
Şekil 4.5. Mesh uygulanmış dairesel kanalın yandan görünüşü.	43
Şekil 4.6. Mesh kalitesi değerlendirmesi için elde edilen skewness değerleri.	44
Şekil 4.7. EES Programında termofiziksel özelliklerin hesaplandığı aşamadan bir kesit.	49
Şekil 5.1. Sayısal analiz sürecini gösteren akış şeması.	53
Şekil 5.2. Sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması.	54
Şekil 5.3. Sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçlarının literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması.	54
Şekil 5.4. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h, değerinin değişimi ($\phi = \%1-2-3-4$, Fe_3O_4/su nanoakışkanı).	56
Şekil 5.5. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak “Nu” sayısının değişimi ($\phi = \%1-2-3-4$, Fe_3O_4/su nanoakışkanı).	57

Şekil 5.6. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Fe_3O_4 /su nanoakışkanı).	58
Şekil 5.7. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Fe_3O_4 /su nanoakışkanı).	59
Şekil 5.8. Brick şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Fe_3O_4 /su nanoakışkanı).	61
Şekil 5.9. Platelet şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Fe_3O_4 /su nanoakışkanı)	63
Şekil 5.10. Silindirik şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Fe_3O_4 /su nanoakışkanı).	64
Şekil 5.11. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, GO /su nanoakışkanı). .	65
Şekil 5.12. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak " Nu " sayısının değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, GO /su nanoakışkanı).....	67
Şekil 5.13. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, GO /su nanoakışkanı).68	
Şekil 5.14. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, GO /su nanoakışkanı).	69
Şekil 5.15. Brick şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, GO /su nanoakışkanı).	71
Şekil 5.16. Platelet şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, GO /su nanoakışkanı).	72
Şekil 5.17. Silindirik şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, GO /su nanoakışkanı).	73
Şekil 5.18. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Al_2O_3 /su nanoakışkanı).	75
Şekil 5.19. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak " Nu " sayısının değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Al_2O_3 /su nanoakışkanı).....	76
Şekil 5.20. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Al_2O_3 /su nanoakışkanı).	77
Şekil 5.21. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\varphi=1-2-3-4$, Al_2O_3 /su nanoakışkanı).	78

Şekil 5.22. Brick şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, Al_2O_3/su nanoakışkanı).	80
Şekil 5.23. Platelet şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, Al_2O_3/su nanoakışkanı).	81
Şekil 5.24. Silindirik şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, Al_2O_3/su nanoakışkanı).	83
Şekil 5.25. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi=1$).....	87
Şekil 5.26. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi=2$).....	88
Şekil 5.27. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi=3$).....	89
Şekil 5.28. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi=4$).....	90
Şekil 5.29 Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi=1$).....	93
Şekil 5.30. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi=2$).....	94
Şekil 5.31. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi=3$).....	95
Şekil 5.32. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi=4$).....	96
Şekil 5.33. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\phi=1$).	100
Şekil 5.34. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\phi=2$).	101
Şekil 5.35. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\phi=3$).	102
Şekil 5.36. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\phi=4$).	103
Şekil 5.37. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi=1$).	109
Şekil 5.38. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi=2$).	110
Şekil 5.39. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi=3$).	111
Şekil 5.40. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi=4$).	112
Şekil 5.41. Performans değerlendirme katsayılarının karşılaştırması.....	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan temel sıvılar ve nanopartiküller [52].	22
Çizelge 3.2. Çeşitli malzemelere ait ısıl iletkenlikler [53].	23
Çizelge 3.3. Nanopartikül şekil yapılarının ısı transferine etkilerinin incelendiği çalışmalar.	25
Çizelge 4.1. Saf su için farklı ağ yapılarında hesaplanan Nu değerleri.	40
Çizelge 4.2. Saf su için farklı ağ sayılarında hesaplanan f değerleri.	41
Çizelge 4.3. Baz akışkan ve nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri (T=300 K).	45
Çizelge 4.4. Farklı nanopartikül şekilleri için Ck değeri [88].	46
Çizelge 4.5. Farklı nanopartikül şekilleri için “m” şekil faktörünün değerleri [88].	46
Çizelge 4.6. Farklı nanopartikül şekilleri için “n” şekil faktörü değerleri [88].	47
Çizelge 4.7. Farklı nanopartikül şekilleri için “ A_1, A_2 ” faktörlerinin değeri [88].	48
Çizelge 4.8. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan modeller.	48
Çizelge 4.9. Al_2O_3 -su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri (T=300 K).	50
Çizelge 4.10. GO-su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri (T= 300 K).	50
Çizelge 4.11. Fe_3O_4 -su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri (T=300 K).	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- d : Çap (m)
- ϕ : Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı
- GO : Grafen Oksit
- Al₂O₃ : Alüminyum Oksit
- Fe₃O₄ : Demir Oksit
- Nu : Nusselt Sayısı
- f : Darcy Sürtünme Faktörü
- h : Isı taşınım katsayısı (W/m²K)
- ρ : Yoğunluk (kg/m³)
- μ : Viskosite (kg/ms)
- k : Isı iletim katsayısı (W/mK)
- v : Hız (m/s)
- Re : Reynold Sayısı
- C_p : Özgül ısı (kJ/kgK)
- γ : Birim hacim ağırlığı
- L : Boru uzunluğu (m)
- P : Statik basınç (Pa)
- ΔP : Statik basınç farkı (Pa)
- q'' : Isı akısı (W/m²)

KISALTMALAR

PDK : Performans Değerlendirme kriteri

PEC : Performance Evaluation Criteria

CFD : Computational Fluid Dynamics

HAD : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Akışkanlar mekaniği esas itibariyle akışkanların hareketli (akışkanlar dinamiği) veya durgun (akışkanlar statik) hallerini inceleyen bir bilim dalıdır. Söz konusu akışkanların katı yüzeylerle ya da diğer akışkanlarla oluşturdukları ara yüzeylerdeki (sınır tabakaya) etkileşimlerini incelemektedir. Solunum, kan akışı, yüzme, pompalar, vantilatörler, türbinler, uçaklar, rüzgar türbinleri, borular, hızlı tren vb. gibi gazlar ve sıvılarla ilgili mühendislik uygulamaları akışkanlar mekaniğinin uğraşı alanına girmektedir. Akışkanlar mekaniği problemlerini çözmek için kullanılan üç temel yöntem veya yaklaşım bulunmaktadır. Her bir yaklaşım birbirine sıkı sıkıya bağlıdır ve diğer ikisinden ayrı düşünülemez. Bunlar deneysel akışkanlar dinamiği, analitik akışkanlar dinamiği ve hesaplamalı akışkanlar dinamiğidir. Geleneksel olarak akışkanlar dinamiği ile ilgili çeşitli konuları incelemek, bunun yanı sıra akış ve ısı transferini içeren endüstriyel proses ve ekipman tasarımlarında mühendislere yardımcı olmak için hem deneysel hem de analitik yöntemler kullanılmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile beraber deneysel yöntemlere alternatif ve uygulanabilir bir diğer yaklaşım olarak “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği” (HAD) ortaya çıkmıştır [1]. Mühendislik problemlerini çözmek için kullanılan yöntemler Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

Günümüzde endüstriyel uygulamalar ve akademik araştırmalarda önemli yere sahip olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, genellikle HAD ya da bunun İngilizce karşılığı CFD (Computational Fluid Dynamics) kısaltmaları ile anılmaktadır. Başlangıçta sadece uzay ve havacılık alanındaki yüksek teknoloji mühendisliği uygulamaları ile anılmış olsa da günümüzde modern mühendislik uygulamalarında, karşılaşılan karmaşık problemlerin çözümü için yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmeye başlamıştır. Akışkanlar mekaniği ve ısı transferi disiplinlerinden

türeyen HAD, daha çok akışkanlar dinamiği problemlerinin çözümleri için kullanılır ve özellikle proses, makina, kimya, inşaat, ve çevre mühendisliği gibi önemli alanlarda da kullanılmaya başlamıştır. HAD analizleri ile yeni ve daha iyi sistem tasarımlarının oluşturulması ve mevcut ekipmanların optimizasyonu, verimlilik artışı ile beraber işletmenin maliyetlerinde de azalma sağlamaktadır. Aynı zamanda günümüzde temiz ve yenilenebilir enerji teknolojileri ile ilgili sorunları ele almak, emisyon kontrolü ve çevresel kirleticilerin azalmasını sağlamak üzere sıkı yönetmelik şartlarını karşılamak için de HAD analizleri yapılabilmektedir [1].



Şekil 1.1. Mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler.

HAD temel ve uygulamalı araştırmalarının yanı sıra, endüstriyel uygulamalar için de güçlü bir araç haline gelmiştir. HAD sayesinde, tasarım ve optimizasyon çalışmaları için gereken iyileştirmeleri yapmak adına, sistem bileşenlerinin nasıl performans sergilemesi gerektiği konusunda önceden daha fazla bilgi edinilebilir. Üzerinde yaşadığımız bu gezegene dikkatlice bakıldığında, her şeyin aslında bir şekilde, bir akışkan ile etkileşim halinde olduğu rahatlıkla gözlemlenebilir. Bu açıdan bakıldığında hesaplamalı simülasyonlar ve analizler, bir çok akışkanlar mekaniği uygulamasında giderek artan şekilde kullanılmaktadır. Bu uygulama alanları havacılık ve uzay mühendisliği (uçak, roket motorları vs.), makine mühendisliği (akım makineleri tasarımı ve optimizasyonu, ısı değiştiricilerinin analizleri vb.), otomotiv mühendisliği

(otomobil ve kamyonlar için direnç katsayılarının düşürülmesi, motor hava girişlerinin iyileştirilmesi çalışmaları), biyomedikal mühendisliği (yapay kalplerde kan akışı, koku yayılımı, soluk borusunda hava akışı vb.), kimya mühendisliği (pompa ve boru akışkanları), inşaat ve çevre mühendisliği (nehir rotasyonu, kirlenici yayılımı vb.), enerji mühendisliği (türbin verimini iyileştirme, rüzgar çiftliği yerleşimi ve performans tahminleri vb.), spor malzemeleri üretimi (yüzme ekipmanları, golf topu veya vuruşu tekniği), bisiklet/motorsiklet sürüşlerinde direncin düşürülmesi vb. şeklinde sıralanabilir [1].

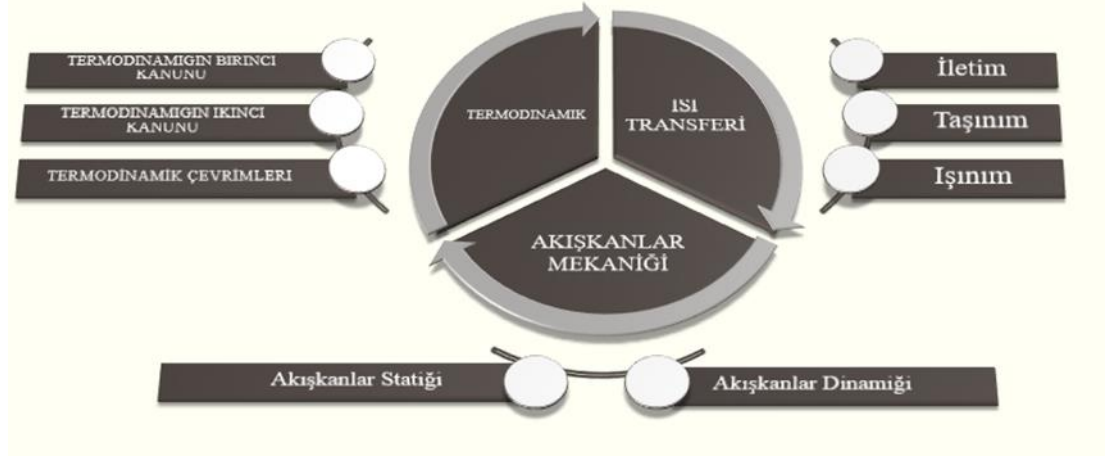
Dijital bilgisayarların hızla gelişmesiyle birlikte analitik yöntemler birçok kimse tarafından uygulanıyor ve önemini koruyor olsa da, özellikle akışın ileri düzeyde karmaşık olduğu endüstriyel tasarımlarda da sağladığı avantajlardan dolayı hesaplamalı yaklaşıma olan ilgi ve güven gün geçtikçe artmaktadır [1].

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin sahip olduğu başlıca avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

1. Hesaplamalı bilimlerin teorik gelişimine, konuyla ilgili temel denklemlerin oluşturulmasına, bunların çözümüne ve bu denklemlere uygulanabilecek çeşitli yaklaşımların incelenmesine olanak sağlar.
2. HAD gerçek akışların simülasyonu için alternatif bir araç olarak, deneysel ve analitik yaklaşımları tamamlar.
3. HAD, nükleer kaza veya tsunamiler gibi deneysel olarak çalışmanın mümkün olmadığı ya da çok tehlikeli olduğu durumları simüle etmeye olanak sağlar.
4. HAD, analitik ve deneysel akışkanlar dinamiği ile karşılaştırıldığında akışa ait daha detaylı görselleştirme ve geniş kapsamlı bilgi sağlama yeteneğine de sahiptir.

HAD ile ısı transferi başlığı altında gerçekleştirilen çeşitli endüstriyel proseslerde, HAD yazılımının kullanıcısı ısı transfer özelliklerini ve akışkan karakteristiklerini belirli parametreleri göz önünde bulundurarak, problemi dikkatle simüle etmelidir. Bu parametreler akışın termofiziksel özellikleri, doğada bulunabilirliği, ortam koşulları, çalışma alanı vb. gibi parametrelerden oluşmaktadır. Aşağıda HAD çalışmalarının

temelini oluşturan temel prensipler ve bu prensipleri konu alan bilim dalları Şekil 1.2’de gösterilmiştir [1].



Şekil 1.2. HAD çalışmalarının temelini oluşturan prensipler ve ilgili bilim dalları.

Isı transferi uygulamalarında su ve yağ yaygın olarak kullanılan geleneksel ısı transfer akışkanlarındandır. Isı transferi uygulamalarındaki fiziksel problemlerde akışkan olarak suyun kullanılması, endüstriyel alanlarda ise hidrolik makinalarda yağın tercih edilmesi, bu akışkanların doğada bol miktarda bulunabilir olmasından ileri gelmektedir. Dolayısıyla kolaylıkla tedarik edilebilir ve ekonomiktirler. Ancak su ve yağ gibi geleneksel ısı transfer akışkanları çok düşük ısıl iletkenliğe sahip olduklarından dolayı, bu akışkanlara göre ısıl iletkenlikleri oldukça yüksek olan metal (Cu, Ag, Fe, Al, Ti...) ve metal oksit (CuO, Al₂O₃, TiO₂, Fe₃O₄ ...) gibi nanopartiküller bu akışkanlara ilave edilerek, nanoakışkanlar oluşturulmuştur. Nanopartiküllerin temel akışkanlar içerisinde çok az miktarda dahi bulunmaları, oluşturdukları nanoakışkana ait termofiziksel özellikleri büyük oranda iyileştirebilmektedir. Nanoakışkanların oluşturulmasındaki temel amaç, minimum miktarda nanopartikül kullanılarak, en yüksek ısıl iletkenlik kapasitesine ulaşabilmektir. Nanopartiküller sahip oldukları nano seviyelerdeki boyutları ile baz akışkan içerisinde ısı transferine hem ek yüzey alanı oluşturur hem de temel akışkanların içerisinde düzgün (homojen) karışarak, kararlı yapıda bir nanoakışkan oluşmasına olanak sağlamaktadırlar. Nanoakışkanlar hakkında ısı transferi ve akış analizleri ile ilgili yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar literatür kısmında belirtilmiştir [1].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı transferi biliminin temelleri, Galilean termometresini 1603 yılından önce icat eden Galileo Galilei ve ilk ısı transferi formülü olan Newton soğuma yasasını 1701 yılında sunan Sir Isaac Newton tarafından atılmıştır. Daha sonra Joseph Fourier 1822 yılında, ısı transferinin matematiksel teorisini bilim dünyasına kazandırarak modern ısı transferi bilimine büyük katkı sağlamıştır. Isı transferi biliminin yıllar geçtikçe çok geniş kapsamlı ve farklı alt sistemlerden oluştuğunun fark edilmesi, bu bilim dalının başta iletim, taşınım, ışıınım olmak üzere alt dallara ayrılmasına sebep olmuştur. Günümüzde ısı transferi, birçok mühendislik disiplinde en önemli çalışma alanlarının başında gelmektedir [2].

Son yıllarda, ısı transferini iyileştirmek için yapılan çalışmaların önemli derecede artış sağladığı görülmektedir. Isı transferi iyileştirme yöntemleri aktif ve pasif teknikler olarak sınıflandırılabilir. Aktif teknikler sürece dahil olmak için harici bir güce ihtiyaç duyarken, pasif yöntemler ise sistemin termohidrolik performansını iyileştirmek için herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymazlar. Pasif yöntemler hem deneysel hem de sayısal uygulamalarda, enerji ve maliyet tasarrufunu gerçekleştirebilmek amacıyla, ısı transferi verimliliği ve sürtünme kayıplarının tespiti üzerinde yapılan çalışmalarda sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir [3].

Bu bilgilerin ışığında nanoakışkanlar ile gerçekleştirilen ısı transferi iyileştirme çalışmaları herhangi bir ek enerji gerektirmediğinden dolayı pasif yöntemlere dahil bir konudur. Literatürde nanoakışkanlar ve içerisinde bulunan nanopartikül şekillerinin ısı transferine olan etkileri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda incelenmiştir.

Nanopartikül şeklinin ısı iletkenliği etkilediğine dair ilk çalışma Xie vd. tarafından 2002'de gerçekleştirilmiştir. Xie vd. silindirik ve küresel şekillere sahip SiC

nanopartiküllerini ve etilen glikol ile su baz akışkanlarını kullanarak hazırladıkları nanoakışkanlarda, silindirik şekle sahip nanopartiküllerde, küresel olanlara kıyasla daha iyi (silindirik için %22.9, küresel için %18.5) ısı iletim özelliği gözlemlendiğini bildirmişlerdir [4].

Başka bir çalışma ise yeni nesil ısı transfer akışkanı olarak kullanımı umut vaadeden nanoakışkanların, uygulamalarda kullanımını önermeden önce ısı transfer mekanizmalarının nasıl çalıştığını anlayabilmek için Nandy vd. tarafından 2002 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, su bazlı Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanları için bir uçtan ısıtılmış diğer tarafında soğutulmuş yatay silindir içerisindeki doğal taşınım ile ısı transferi olayı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada doğal taşınımlı ısı transferinde iletim veya zorlanmış taşınımından farklı olarak sistematik bir şekilde bozulma yaşandığı ve partikül yoğunluğu arttıkça bozulmanın arttığı tespit edilmiştir. Bu bozulmanın nedeni saptanamamakla birlikte partikül-akışkan kayması ve sedimentasyonun rolünün önemli olduğu belirtilmiştir. Su bazlı CuO nanoakışkanın su bazlı Al_2O_3 nanoakışkanından daha çok bozulma gösterdiği belirtilmiştir [5].

2005 yılında Murshed vd.'nin yaptığı bir çalışmada, silindirik ve küresel şekle sahip nanopartiküller içeren, TiO_2 -Su nanoakışkanlarının ısı iletkenlikleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde silindirik şekle sahip TiO_2 nanopartiküllerin, küresel şekle sahip olana kıyasla %12 daha fazla ısı iletkenlik sağladığı ifade edilmiştir [6].

Chon vd. nanopartikül boyutunun ve sıcaklığın, ısı iletkenliği artırmadaki rolünü inceledikleri deneysel bir çalışmada, $21^{\circ}C$ ile $71^{\circ}C$ arasında değişen sıcaklık değerlerinde, su içerisinde, 11 nm ile 150 nm nominal çap boyutlarına sahip Al_2O_3 nanopartiküllerini kullanarak bir ısı iletim katsayısı modeli ortaya koymuşlardır [7]. Daha önce Jang ve Choi'nin 2004 yılında ortaya koyduğu, Brownian hareketinin, nanoakışkan ısı davranışında rol oynayan kilit bir mekanizma olduğu sonucunu doğrulamışlardır. Bu model ısı iletkenliğinin sıcaklık ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ile ilgili olduğu kadar nanopartikül boyutu ile de ilgili olduğunu ortaya koymaktadır [8].

2006'da Buongiorno, yaptığı araştırmalar neticesinde, nanoakışkanların baz akışkanlarına nazaran daha yüksek ısı iletkenliğe ve tek fazlı ısı transfer katsayılarına sahip olduğunu belirtmiştir. Dolayısı ile ısı transfer katsayısı ve ısı iletkenlik etkilerinin geleneksel saf akışkan korelasyonları ile ngrlemeyeceğini belirtmiştir. Bu yüzden yaptığı çalışmada akışkan ve nanopartikül arasındaki kayma mekanizmaları üzerinde durmuş ve yedi adet kayma mekanizması olduğundan bahsetmiştir. Bunlar; atalet, Brownian yayınıımı (hareketi), termoferez, difzyoferez, Magnus etkisi, akıtım (drainage) ve yer çekimidir. Bu yedi mekanizmadan sadece iki tanesinin (Brownian yayınıımı ve termoferezin) nanoakışkanlarda önemli rol oynadığı sonucuna varmıştır. Bu mekanizmaların; nanoakışkanların süreklilik, momentum ve enerji denklemlerine ek olarak nanopartikül süreklilik denkleminin de çözülmesi ile çözüme dahil edilebileceğini belirtmiştir [9].

Chopkar vd. hacimsel konsantrasyon oranı %0,2-2 aralığında değişen $Al_{70}Cu_{30}$ nanopartiküllerini etilen-glikol içerisinde karıştırarak oluşturduğu nanoakışkanların ısı iletkenliklerini incelemişlerdir. Çalışmada ısı iletkenlikte iki kata kadar gelişme gözlemlendiği bildirilmiştir [10].

Tipik radyal akışlı soğutma sistemlerinin, ısı iletkenliğinin iyileştirilmesinde, nanopartiküllü soğutucu akışkanların etkisi Palm vd. tarafından incelenmiştir. alışmalarını gerçekleştirdikleri sistem eksenel enjeksiyonlu iki eş eksenli, paralel diskler arasında bulunan nanoakışkanların laminer zorlanmış konveksiyonla akışından oluşmaktadır. Sıcaklığa bağlı nanoakışkan özellikleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı %4 olan Al_2O_3 -Su nanoakışkanında, saf suya göre %25 daha fazla ısı transfer katsayısı kaydedilmiştir [11].

Yine Chopkar vd. yarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, nanoakışkanların yaygın kullanılan geleneksel ısı transfer akışkanlarından daha iyi ısı transferi özelliklerine sahip oldukları belirtilmiştir. alışmalarında, hacimsel konsantrasyon oranları %0.2-1.5 aralığında değişen Al_2Cu ve Ag_2Al nanopartiküllerini, etilen glikol ve su akışkanları içerisinde dağıtarak elde ettikleri nanoakışkanları kullanmışlardır. Nanopartiküllere ait boyut/mikroyapı karakterizasyonunu X-ışını kırınıımı ile

belirlemişlerdir. Sonuç olarak nanoakışkanların ısı iletkenlikte %50-150 oranında iyileşme sağladığını belirtmişlerdir. Hem deneysel hem de analitik çalışma verilerinin, ısı transferinin iyileşmesinde nanopartiküllerin kimliğinin/bileşiminin, boyutunun, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının ve şeklinin (en-boy oranı) güçlü etkileri olduğu belirtilmiştir [12].

Duangthongsuk vd. nanoakışkanların ısı iletkenlik ve dinamik viskozitelerini araştırmak için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında %0,2-2 aralığında değişen hacimsel konsantrasyon oranına sahip TiO₂ nanopartikülleri ve baz akışkan olarak su kullanmışlardır. Isıl iletkenlik ölçümlerinde geçici sıcak tel yöntemini, viskozite ölçümlerinde ise Bohlin rotasyonel reometresini (Malvern Instrument) kullanmışlardır. Deneysel veriler 15°C ile 35°C aralığında elde edilmiştir. Deneysel sonuçları, nanopartikül konsantrasyonu arttıkça viskozite ve ısı iletkenliğinin arttığını ve baz akışkanın değerlerinden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Sıcaklık artışı ile nanoakışkanın ısı iletkenliğinin arttığı fakat viskozitenin düştüğü gözlemlenmiştir. Nanoakışkanların ölçülen verilerinin mevcut korelasyonlardan ve diğer araştırmacıların ortaya koyduğu verilerden oldukça farklı olduğunu belirtmişlerdir. Bundan dolayı da nanoakışkanların ısı iletkenliklerini ve viskozitelerini tahmin edebilmek için yeni bir korelasyon önermişlerdir [13].

Su bazlı SiC nanopartiküllerinin ısı iletkenliği ve mekanik etkileri, Singh vd'nin 2009 yılında yaptıkları çalışmada araştırılmıştır. SiC nanopartiküllerinin hacimce %1-%7 arasında değişen konsantrasyon oranları için nanoakışkan ısı iletkenlikleri ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, %7 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanın ısı iletkenlik artışı, suyunkine kıyasla yaklaşık %28 oranında olmuştur. Nanoakışkanların viskozitesi 85°C'ye kadar önemli ölçüde değişmediği belirtilmiştir. Seyreltilmiş nanoakışkanın mikroskobik incelenmesi esnasında topaklanma (aglomerasyon) gözlenmemiştir [14].

Jeong vd. tarafından yürütülen deneysel bir çalışmada brick ve küresel şekildeki ZnO nanopartikülleri kullanılarak, %0,05-5 aralığında değişen nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarında hazırlanan nanoakışkanların, viskozite ile ısı iletkenlik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Araştırma neticesinde nanopartikül hacimsel

konsantrasyon oranı artışıyla beraber akışkan viskozitelerinde %69 oranına ulaşan artış olduğu ve brick şekli içeren nanoakışkanların viskozitelerindeki artışın, küresel şekil içerenlerin viskozitesinden %7,7 oranında daha fazla olduğu belirtilmiştir. %5'lik nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip ZnO-Su nanoakışkanının ısı iletkenliğinin, küresel şekildeki nanopartiküller kullanıldığında %12 oranında, brick şekil yapısına sahip nanopartiküller kullanıldığında ise %18 oranında arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Nanopartikül şeklinin viskozite ve ısı iletkenlik artışında oldukça önemli etkileri bulunan bir faktör olduğu belirtilmiştir [15].

Mahian vd. tarafından yürütülen çalışmada su ve etilen glikol karışımına alüminyum boehmit nanopartikülleri eklenmiştir. Çalışmada platelet, blade, silindirik ve brick olmak üzere 4 farklı nanopartikül şekli incelenmiştir. Türbülanslı akış için gerçekleştirdikleri çalışmada nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı %4'tür. Akışın gerçekleştirildiği boru bakır ve çelik olmak üzere iki farklı malzeme kullanılarak oluşturulmuştur. Nanopartikül şekli farketmeksizin bütün nanoakışkanlarda, nanopartikül miktarı arttıkça çıkış sıcaklığının da arttığı belirtilmiştir. Ancak şekil bazında incelendiğinde içlerinde platelet şekilli olan nanoakışkanın sıcaklık artış hızının en düşük olduğu belirtilmiştir. Bakır borudaki entropi üretiminin %2 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip brick şekilli nanoakışkan kullanılarak en aza indirilmiş olduğu, çelik boruda ise blade şekilli %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkan kullanılarak entropi üretiminin en aza indirildiği belirtilmiştir. Kütle akış hızıyla birlikte oluşan entropi üretim hızının ise 0,5 kg/s için çelik borularda bakır borulardan %11 daha yüksek, 0,75 kg/s için ise bu değerin %18 daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [16].

Zaraki vd. doğal konveksiyon ile gerçekleşen bir akışta ısı iletkenliğe, nanoakışkanda kullanılan nanopartiküllere ait şekil ve boyut etkilerinin, baz akışkan türünün, sıcaklığın ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının nasıl etki ettiğini incelemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Nanopartikül türü ve baz akışkan türünün nanoakışkanlarda ısı transferini etkileyen en önemli unsur olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sıcaklığının artmasının, soğutma amaçlı kullanılan nanoakışkan uygulamalarının verimliliğini azalttığını vurgulamışlardır [17].

Kim vd. 2015 yılında, nanoakışkan stabilizasyonu ve nanopartikül şekillerinin, ısı iletkenlik üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bunun için alüminyum boksit mineralinin bir çeşidi olan γ -ALOOH (Alüminyum oksit hidroksit) ile su baz akışkanını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı %3 ile %7 arasında değişen nanoakışkanlarda küresel, silindirik, brick, blade, platelet nanopartikül şekillerini kullanmışlardır. Deney sonucunda Hamilton-Crosser modeli tarafından tahmin edilen teorik sonuçlar ile çalışma sonucu ortaya çıkan deneysel sonuçlar kıyaslanmış ve modelin nanopartikül şekline göre değişebilecek ısı iletkenliğinin bu model ile tahmin edilemediği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra nanoakışkan ısı iletkenliğinin, baz akışkan içerisindeki çeşitli şekillerdeki Alüminyum Oksit Hidroksitin baz akışkan içerisindeki stabilitesine büyük ölçüde bağlı olduğu bildirilmiştir [18].

Karimi vd. tarafından ilk defa, WO_3 nanopartikülleri gliserol akışkanı içerisinde karıştırılarak bu partiküllerin şekil etkisinin ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. NaCl varlığında ve yokluğunda, farklı iki yöntemle hazırladıkları nanopartiküllerde, NaCl varlığının ve nanopartikül hazırlama yöntemlerinin nanopartikül morfolojisini (şeklini) ve ısı iletim özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir. Gliserol ve nanoakışkanların viskozitesinde sıcaklık artışıyla viskozitelerinin katlanarak azaldığı gözlemlenmiştir. Sıcaklığın, çokgen şekil içeren nanoakışkanları, küresel şekil içeren nanoakışkanlardan daha çok etkilediği belirtilmiştir. Hidrotermal yöntemle hazırlanan nanopartiküller eklendiğinde, 40°C için gliserolün ısı iletkenliğinde maksimum %6,7'lik bir artış gözlemlenmiştir. Küresel şekilde nanopartikül içeren nanoakışkanların ısı iletkenlik açısından çokgen şekilli nanopartikül ile kıyaslandığında en fazla artışı gösterdiği bildirilmiştir [19].

Yang vd. silindirik nanopartiküller içeren nanoakışkanların ısı iletkenliğini eşyönsüzlük analizi ile teorik olarak incelemişlerdir. Mevcut modellere alternatif yeni bir önerme ile katkı sağlayabileceklerini düşünerek gerçekleştirdikleri çalışmanın sonuçlarına göre nanopartikül şeklinin, yani uzunluk-çap oranının (H/D) ısı iletkenlik üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlara göre H/D oranı arttıkça ısı iletkenliğinin belirli bir noktaya kadar arttığı, belirli bir bölgede sabit kalma eğiliminde olduğu belirtilmiştir [20].

İnada 2017’de SiO₂-Su ile kare kanal içerisinde bulunan iletken köşe bölmesinin ve nanopartikül şeklinin, doğal taşınımına olan etkisini sayısal olarak incelemiştir. Yapılan sayısal çalışma çözümleri Comsol programında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada silindirik, küresel, brick ve blade nanopartikül şekilleri kullanılmış ve daha önceden aynı konu üzerine yapılan çalışma sonuçları ile kendi verilerinin kıyaslamasını da yaparak, kendi çalışmasında elde ettiği sonuçlara göre en iyi ısı transfer etkisini silindirik nanopartiküllerin gösterdiğini belirtmiştir [21].

Arani vd. 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada, nanopartikül şekil etkisinin sinüzoidal dalgalı bir mini kanal içindeki türbülanslı akışa olan etkilerini incelemiştir. Nanoakışkanları Alüminyum Oksit Hidroksit (γ -ALOOH) nanopartikülleri ile su ve etilen-glikol baz sıvıları kullanarak hazırlamışlardır. Nanopartikül şekli olarak silindirik, brick, blade, platelet, küresel, kutupları basık küresel (oblate spheroidal) ve oval (prolate spheroidal) kullanılmıştır. Çalışmalar, küresel ve oblate spheroidal şekle sahip nanopartiküllerin diğer nanopartikül şekillerine kıyasla daha iyi ısı transfer özelliğine sahip olduğunu göstermiştir [22].

Khan vd. 2018 yılında, paralel plakalar arasındaki manyetohidrodinamik akışa, farklı şekil yapılarına sahip Cu nanopartiküllerinin ısı transfer etkilerini incelemiştir. Platelet, silindirik ve brick şekillerinin kullanıldığı Cu nanopartikülleri ve su baz akışkanı ile hazırlanan nanoakışkanlar kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar sıvı sıcaklığının platelet şekline sahip Cu nanopartikülü içeren nanoakışkanda maksimum seviyede olduğunu bildirmektedir [23].

Vo vd. tarafından 2019 yılında gerçekleştirilen çalışmada ise sinüzoidal dalgalı bir kanaldaki laminar akış rejimine ve ısı transferi üzerine brick, blade, platelet ve silindirik nanopartikül şekillerinin etkisi araştırılmıştır. Nanopartikül olarak Alüminyum Oksit Hidroksit (γ -ALOOH) ve baz sıvı olarak %50-%50 su ve etilen glikol karışımını kullanmışlardır. Çalışma sonuçları, en iyi ısı transfer performansının platelet şekilli nanopartiküllere ait olduğunu en kötü performansın ise brick şekline ait olduğunu göstermektedir [24].

Raza vd. 2019 yılında, MoS₂-su nanoakışkanının farklı nanopartikül şekillerinin, dengesiz bir MHD (manyetohidrodinamik) kanal içi akışına olan ısı etkilerini incelemişlerdir. Pul (lamina), silindirik ve küresel nanopartiküllerin ısı transfer hızı sonuçlarında en iyi performansı küresel nanopartiküllerin verdiği belirtilmiştir [25].

Maheshwary vd. tarafından 2017 yılında, partikül boyutu ve şeklinin ısı iletkenliğe olan etkilerinin araştırıldığı çalışmada, silindirik ve küresel şekilli TiO₂ nanopartikülleri ve bu nanopartiküllerin su ile karıştırılmasıyla oluşturulan nanoakışkanlar kullanılmıştır. Prob sonikasyon yöntemini kullanarak nanoakışkan içerisindeki TiO₂ boyutlarını küçültmüşler ve bu boyutlar küçüldükçe ısı iletkenliğinin arttığını belirtmişlerdir. Şekil etkisinin incelendiği aşamada ise silindirik şekle sahip TiO₂ nanopartiküllerinin, küresel olandan daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğu bildirilmiştir [26]. Bu çalışma, Maheshwary vd. tarafından 2020 yılında yapılan diğer bir çalışma ile CuO, MgO, TiO₂, ZrO₂, Al₂O₃ nanopartikülleri ve baz akışkan olarak su kullanarak daha da genişletilmiştir. Nanopartikül şekli olarak küresel, kübik ve silindirik şekiller kullanılarak ısı iletkenlik özellikleri gözlemlenmiştir. En iyi ısı iletkenlik sonuçları kübik şekilli Al₂O₃ nanopartikülü için tespit edilmiş olup nanopartikülün baz sıvısının ısı iletkenliğini 3,13 kat artırdığı belirtilmiştir. Al₂O₃-su nanoakışkanının diğer nanoakışkanlara kıyasla en iyi stabiliteye sahip olduğu vurgulanmış ve en yüksek pompalama gücü gerektiren nanopartiküllerin kübik şekilli nanopartiküller olduğu belirtilmiştir [27].

Tlili vd. tarafından 2021 yılında, kararsız yapıdaki manyetohidrodinamik (MHD) Oldroyd-B ferroakışkan süspansiyonunun kobalt ferritli ince film akışının tahrikine ve ısı iletkenliğine, farklı nanopartikül şekillerinin etkilerini incelemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Küresel, silindirik ve lamina (pul) şekline sahip CoFe₂O₄ nanopartikülleri ile su baz akışkanı kullanılarak oluşturulan CoFe₂O₄-Su nanoakışkanını kullanmışlardır. Sonuç olarak silindirik ve laminer şekilli nanopartiküllere kıyasla küresel şekle sahip partiküller kullanıldığında daha iyi ısı transferi gerçekleştiği tespit edilmiştir [28].

Kaya vd. 2020 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, nanopartikül şeklinin u tüplü güneş kolektörlerindeki verimliliğe etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir.

Çalışmalarında farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında ve farklı şekillerde, saf su ile süspanse edilmiş Al_2O_3 nanopartikülleri kullanmışlardır. Blade, brick ve platelet şeklindeki nanopartiküller ile hazırlanan %0.1, %2, %3 ve %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip nanoakışkanlar kullanılmıştır. Çalışma, kütle akış hızları 0.01, 0.015 ve 0.025 kg/s olacak şekilde farklılık gösteren durumlarda gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak saf suya kıyasla verimliliği %19.1 daha iyi olan, hacimce %4 nanopartikül konsantrasyon oranına sahip, brick şeklindeki nanopartikülleri içeren Saf Su- Al_2O_3 nanoakışkanının, %67.1 değeri ile en iyi verim değerine ulaştığı saptanmıştır [29].

Ekiciler vd. 2020 yılında, eşkenar üçgen şeklindeki üç boyutlu bir kanalda, farklı partikül şekilleri içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanının, zorlanmış taşınım ile ısı transferine olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada silindirik, platelet ve küresel olmak üzere üç farklı nanopartikül şekli kullanılmıştır. Al_2O_3 nanopartiküllerinin %1, %2 ve %3'lük hacimsel konsantrasyon oranlarında su içerisine eklenmesiyle oluşturulan nanoakışkanlar kullanılmıştır. Sabit ısı akısı $420 W/m^2$, Reynold 100 ile 500 aralığında seçilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonuçlarına göre en iyi ısı transfer oranının platelet şeklindeki nanopartiküller içeren nanoakışkanda gözlemlendiği belirtilmiştir. Platelet şekli için, en yüksek Reynold sayısı değerinde ortalama Nusselt sayısı değeri saf suya kıyasla %25'e kadar yükselmektedir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı artırıldığında, kanaldaki ısı transferinin de arttığı gözlemlenmiştir [30].

Zahmatkesh vd. tarafından 2020 yılında yapılan bir çalışmada, nanopartikül şekillerinin ısı sistemleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Doğal, zorlanmış ve karışık konveksiyon rejimlerini kapsayan çalışmalar sonucunda, hangi nanopartikül şekillerinin hidrotermal performansta iyi olduğuna dair tek tip bir sonuca varılamamıştır. İncelenen doğal ve zorlanmış konveksiyon rejimlerindeki çalışmaların önemli bir kısmında platelet şekilli nanopartiküllerin en yüksek ısı transfer özelliği gösterdiği belirtilmiştir. Karışık konveksiyon rejimindeki çalışmalarda ise en iyi sonucun blade şekilli nanopartiküllerle yapılan çalışmalarda bulunduğu gözlemlenmiştir [31].

Jiang vd. nanopartikül şeklinin çekirdek kaynama işleminde ısı transferine olan etkilerini incelemişlerdir. Bunun için bir gaz kabarcığı etrafındaki nanoakışkan termokapiller konveksiyonun üç boyutlu sayısal incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada beş farklı nanopartikül şekli kullanılmıştır. Bunlar; küresel, silindirik, blade, brick ve platelet şekilleridir. Çalışma sonuçlarına göre küresel nanopartiküllerde nanoakışkanın termokapiller konveksiyon yoğunluğu en büyüktür, bu durumu sırasıyla blade, brick, silindirik ve platelet şekilleri izlemektedir. Nanopartikül hacim oranı 0.05 değeri için, ortalama Nusselt sayısı değerlerinde, küresel şekle sahip nanopartiküllere kıyasla, blade, platelet, silindirik ve brick şekilleri için sırasıyla, %22.8, %11.7, %7.7, %2.8 daha fazla artış gözlemlenmiştir. Nanopartiküllerin küreselliği arttıkça ısı transferi ve toplam entropi üretiminin arttığı sonucuna varılmıştır [32].

Sahoo 2020 yılında, radyatör soğutmasında kullanılacak bir üçlü hibrit nanoakışkanın, hibrit partiküllerin farklı şekilleri kullanıldığında radyatör soğutma performansında ne gibi değişiklikler meydana geldiğini ekzerjetik analizler ile yorumlamıştır. Çalışmada baz sıvı olarak su, nanopartikül olarak küresel yapıdaki Al_2O_3 , silindirik yapıda karbon nano tüpler (CNT) ve platelet şekil yapısına sahip grafen kullanılmıştır. Termo-hidrolik performans ve ısıl performansının ekzerjetik analizinde, üçlü hibrit nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranları, soğutucunun akış hızı ve ön hava hızı dikkate alınmıştır. Karşılaştırmalı teorik analiz sonuçlarına göre üçlü hibrit nanoakışkan konsantrasyonlarındaki değişimlerin, şekil konfigürasyonu sebebiyle ısıl iletkenlik performansında oldukça önemli rol oynadığı belirtilmiştir. % 1 ve % 3'lük hacimsel konsantrasyon oranları aralığında, ısı transfer oranı % 18.45, ekserji veriminde ise % 6.3 oranlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Üçlü nanohibrit akışkan kullanımı ile birlikte tersinmezlikte ve ön hava hızında artış meydana geldiği belirtilmiştir. Üçlü hibrit nanoakışkanın %1-%3 aralığındaki konsantrasyonları için tersinmezlikte %42,45 oranında artış gözlemlenmiştir. Hava entropisindeki değişimin %27,27'lik oranla, soğutucu entropisinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Fan gücü üzerindeki en az etkiye sahip unsurun hava hızındaki artış olduğu, bu yüzden üçlü hibrit nanoakışkan şekil yapılarının, termo-hidrolik performanslarının artırılması uygulamalarında önemli bir etkisi olduğu vurgulanmaktadır [33].

Hosseinzadeh vd. tarafından, micropolar hibrit ferroakışkanın dikey bir plaka üzerinde, farklı baz sıvılar kullanılarak nanopartikül şekil etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Baz sıvı olarak su, etilen glikol ve etilen glikol-su karışımı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, Ghadikolaei vd. tarafından yürütülen bir çalışmada belirtilen brick, blade, ve lamina şekilleri için sırasıyla $s=3.7$, $s=8.6$, $s=16.1576$ nanopartikül şekil faktörü değerleri kullanılmıştır. Çalışmaların sonucunda, su bazlı sıvılarda lamina şekilli nanopartiküllere ait sıcaklık profilinin brick şeklindeki nanopartiküllerden %38.09 daha yüksek olduğu belirtilmiştir [34].

Selimefendigil ve Öztıp tarafından 2017 yılında gerçekleştirilen başka bir çalışmada farklı nanopartikül şekillerine sahip SiO_2 -Su nanoakışkanının, çarpma jeti ile soğutulan oluklu bir levhadan ısının uzaklaştırılmasını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmada brick, blade, silindirik ve küresel nanoparçacık şekillerine sahip SiO_2 nanopartikülleri içeren nanoakışkanlar incelenmiştir. Sonlu hacimler yöntemi ile gerçekleştirilen sayısal analizlerin neticesinde en yüksek ısı transfer karakteristiğine sahip nanopartiküllerin silindirik şekle sahip olanlar olduğu belirtilmiştir. Ayrıca küresel şekilli nanopartiküller için Nusselt Sayısının, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranıyla doğrusal bir fonksiyon ilişkisi olduğu, silindirik şekilli nanopartiküller için ise doğrusallıkta sapmalar gerçekleştiği bildirilmiştir [35].

Serpantin mikrotüpteki nanoakışkan akışını sayısal olarak inceleyen Altunay ve Arslan çalışmalarını üç boyutlu laminer akış şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Sayısal analizler gerçekleştirilirken çalışma akışkanı olarak farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına (%1, %2, %3) sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanı ve blade, platelet ve silindirik nanopartikül şekilleri seçilmiştir. Çalışma sonuçlarının ise ortalama Nusselt sayısının ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün nanopartikül şekli ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ile değişimi şeklinde belirtildiği verilere göre en yüksek ısı transfer performansı Al_2O_3 -su nanoakışkanının %3 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ile platelet nanopartikül şekli için elde edilmiştir [36].

Bahiraei ve Monavari tarafından 2021 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, mini borulu bir ısı eşanjörünün dış kabuğunun kanatçıklı ve kanatçıksız durumlarında çeşitli nanopartikül şekillerine sahip boehmit nanoakışkanın (BNF) sergilediği termal

hidrolik etkinliğe etkilerini incelemiştir. Çalışmada, sıcak akışkan tarafında $Re=500$ değerinde $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığına, soğuk akışkan tarafında ise $Re=500-1000-1500-2000$ değerlerinde $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığına sahip beş nanopartikül şekli ele alınmıştır. Nanoakışkan tüp içerisindeki sıcak akışkan, kabuk yüzeyde ise yaygın olarak kullanılan soğutma sıvısı olan su kullanılmıştır. Artan Reynold sayısı ile ısı transfer hızı, toplam ısı transfer katsayısı, basınç düşüşü, etkinlik ve transfer ünitesi sayısı artarken performans indeksinin azaldığı belirtilmiştir. Küresel şekil yapısına sahip nanoakışkanda Reynold sayısının 500 'den 2000 'e çıkarılması ile etkinlik %20 arttığı ve performans indeksinin %21 azaldığı belirtilmiştir. Platelet şekil yapısındaki nanoakışkan en büyük ısı transfer hızına sahipken, Os şekilli (Os-shape) nanopartikül içeren nanoakışkan için en düşük basınç farkı değeri elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre, kanatçıklara sahip sistelerin ısı transfer hızı toplam ısı transfer katsayısı, etkinlik, ısı transfer ünitesi sayısı, performans indeksi ve basınç farkı değerleri kanatsız olanlardan daha büyük olduğu bildirilmiştir [37].

İncelenen literatür çalışmaları doğrultusunda nanopartikül şekli olarak daha çok silindirik, brick, blade, platelet, küresel, lamina (pul) ve polygonal şekillerinin kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır. En iyi ısı transfer karakteristiğine sahip nanopartikül şekli için literatürdeki çalışmalarda tek bir cevap bulunmamaktadır. Bununla birlikte, genellikle silindirik, platelet, brick ve küresel şekillerin en iyi ısı transfer karakteristiğine sahip olduğu ifade edilmektedir. Öte yandan, farklı şekil yapıları arasında önemli ısı transfer karakteristiği farklılıklarının bulunması bu konunun daha çok araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Yapılan bu çalışmada sabit duvar ısı akısı (1000 W/m^2) altındaki dairesel kesitli bir boruda akış ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlene yapabilen ANSYS 2020 R2 Fluent kodu, probleme ait süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini iteratif olarak çözmek için kullanılmıştır. Akışın, boru girişinde üniform olduğu kabul edilmiş ve hesaplamalar hidrodinamik olarak tam gelişmiş laminer akış koşulları için gerçekleştirilmiştir. Temel (baz) akışkan olarak su ve farklı şekil yapılarına sahip (brick, platelet, silindirik) Al_2O_3 , Fe_3O_4 , GO nanopartikülleri kullanılarak, %1, %2, %3 ve %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip

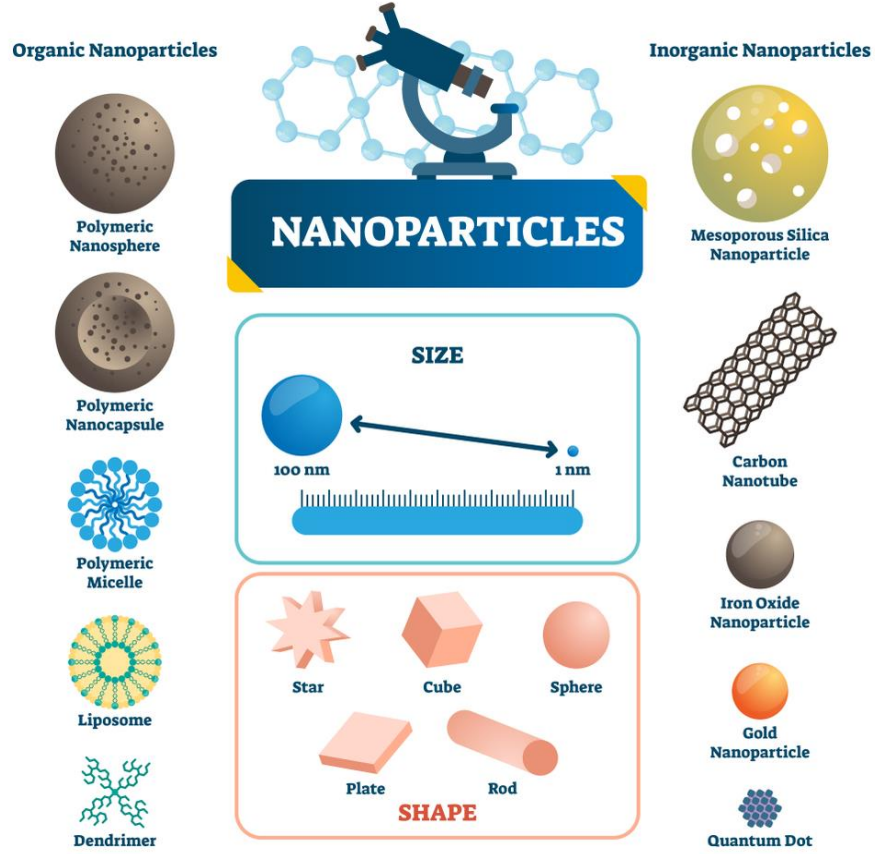
nanoakışkanlar oluşturulmuştur. Nanopartikül şekil yapısının, zorlanmış taşınım ile ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar Re sayısı, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı (ϕ), ısı taşınım katsayısı (h), Nu sayısı, basınç düşümü (ΔP) ve Darcy sürtünme faktörü (f) gibi ilgili parametreler dikkate alınarak grafiksel olarak gösterilmiş ve detaylı bir şekilde incelenmiştir.

BÖLÜM 3

NANOAKIŞKANLAR

Boyut olarak nanometre düzeylerinde uygulanan veya çalışılan yeni teknolojilere ‘Nanoteknoloji’ denilmektedir. Richard P. Feynman 1959 yılında yapmış olduğu konuşmada “Aşağıda herkese yetecek kadar yer var!” cümlesi ile nanoteknolojiyi vurgulamıştır. Nanoteknoloji kelimesi ilk defa 1974 yılında Tokyo Bilim Üniversitesi’nden Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır. Nanoteknolojinin gelişmesini sağlayan buluş ise ‘Taramalı Tünelleme Mikroskobu’ dur. Bu mikroskop sayesinde iletken bir yüzeydeki atomların yerleri değiştirilebilmiştir. Bu gelişmeyi fulleren ve karbon nanotüplerin keşfi izlemiştir [36]. Nanopartiküller, nanometre boyutunda ultra ince parçacıklardır. Nano kavramı metrenin milyarda bir uzunluğu (10^{-9} m) olarak ifade edilmektedir. Nano düzeydeki parçacıklar 100 nm’den daha küçük parçacıklardır ve bu parçacıklar temel sıvılara eklenerek nanoakışkanları oluşturmaktadırlar. Nanoakışkan oluşturmak için genellikle Karbon (C) yapıları (Elmas, Karbon nanotüpler (Tek duvarlı/SWCNT, çok duvarlı/MWCNT), fullerenler, grafen, grafit) metal (Al, Fe, Ni, Ti, Zn, Cu, Si), metal oksit (TiO_2 , SiO_2 , CuO, ZnO_2 , Al_2O_3) gibi malzemeler kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de bazı organik ve inorganik yapıdaki nanopartiküllere ait şekiller ve genel olarak nanopartikül boyutlarına ait aralık gösterilmiştir. Temel sıvı olarak ise su, etilen glikol, motor yağı, etanol vb. akışkanlar kullanılmaktadır. Isı transferi uygulamalarında kullanılan geleneksel akışkanların ısı iletkenliğinin düşük olması, katı metalin iletkenliğinin ise geleneksel akışkanlardan daha yüksek olması nedeniyle temel akışkanın içerisine katı partiküller eklenmektedir. Katı partiküllerin ısı iletkenlikleri konusunda bugüne kadar çeşitli deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Isı transferi akışkanlarının içine milimetre veya mikrometre boyutlardaki katı partiküllerin katılması fikri ilk olarak Maxwell tarafından önerilmiştir. Ancak mikrometre boyuttaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonlar daha az kararlı yapı gösterdiklerinden mikro kanalların tıkanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu tür akışkanların kullanımı tercih edilmemektedir

[39,40]. Nanoakışkan terimi ilk olarak Choi ve Eastman tarafından ortaya konulmuş ve birçok araştırmacı tarafından günümüze kadar araştırma konusu olmuştur [41]. Bu fikrin peşinden Lee ve ark. nanopartiküllerin, gaz yoğunlaştırma, mekanik aşındırma ve kimyasal çöktürme yöntemlerinden biriyle üretilebileceğini belirterek tüm bu çalışmaların ivmelenmesine büyük katkılarda bulunmuşlardır. [42].

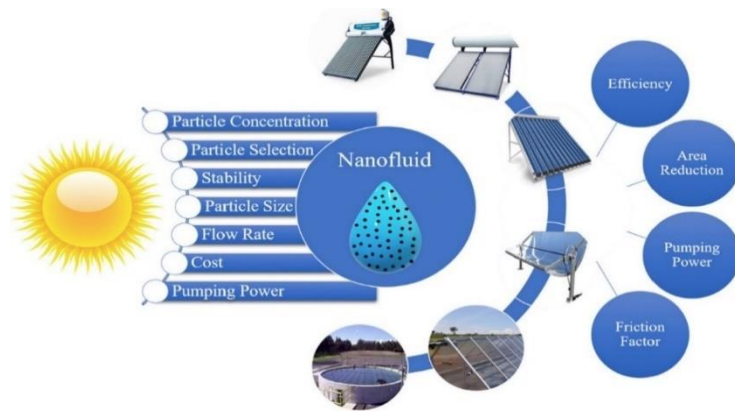


Şekil 3.1. Bazı organik ve inorganik yapıdaki nanopartiküllere ait şekiller ve genel olarak nanopartikül boyutlarına ait aralık [43].

Günümüzde hızla ilerlemekte olan teknoloji ile birlikte enerji gereksinimlerimiz de hızla artmaktadır. Sınırlı enerji kaynaklarımızı en verimli ve en etkin şekilde kullanmak için yeni fikirlere ve gelişimlere ihtiyacımız bulunmaktadır. Birçok endüstriyel ve tüketim ürünlerinin üretiminde ısı transferi önemli rol oynamakta ve bu yüzden ısı transferini arttırmak için yeni yöntemler geliştirilmektedir. Elektronik cihazların performanslarının yükselmesi ve boyutlarının küçülmesi için ısıtma ve soğutma birimlerinde ve bu birimlerde kullanılan akışkanlarda ısı geçişlerinin yüksek olması beklenir. Otomobil, uçak ve kamyon endüstrileri de performansları yüksek

araçlar üretmektedir ve kendi alanlarında yeni teknolojiler geliştirmeye devam ederken ve bu yüksek performanslardan doğabilecek yüksek ısı enerjisini sistemden uzaklaştırmaya yardımcı akışkanlara ihtiyaç duymaktadırlar.

Günümüzde soğutma sistemlerinde kullanılan geleneksel karışımlar ve motor yağları yapıları gereği yüksek ısı transfer kapasitelerine sahip olmasalar da, bu sistemlerde nanoakışkanların kullanılması ile ısı transfer kapasiteleri daha etkili hale gelebilmektedir. Mikroelektrik sistemlerde çalışma esnasında çok büyük değerlerde ısı ortaya çıkmaktadır. Nanoakışkanlar, mikroelektrik sistemlerde kullanılan mikro kanallarda dolaşan akışkan miktarının düşük olması ve yüksek ısı akısına sahip olması nedeniyle bu alanda da kullanılmaktadırlar. Isı değiştiricilerde nanoakışkanların kullanılması ile daha uygun sıcaklıklarda çalışma olanakları sağlanabilir. Ayrıca, küçük komponentler, motorlar ve cihazlar üretilebilecek ve daha az yakıtla yüksek performanslar elde edilmesi mümkün hale gelebilecektir. Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde de nanoakışkanların kullanılması hem verimliliğin artmasına hem de yeni tasarımların yapılabilmesine olanak sağlamaktadır [44]. Örneğin, Şekil 3.2’de nanoakışkanların kullanıldığı güneş enerjisi sistemleri, nanoakışkanların verimliliğini etkileyen parametreler (nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı, hangi maddenin nanopartikülü olduğu, baz akışkan içerisindeki stabilitesi, nanopartikül boyutu, gerek duyduğu pompa gücü vb.) ve sistemde etkilediği unsurlar (sürtünme faktörü, pompa gücü, verimlilik, sistemin kapladığı alanın küçülmesi vb.) gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Nanoakışkanların etkinliğinde önemli olan unsurlar ve nanoakışkanların sistemde etkiledikleri parametreler [45].

Nanopartiküllerin üretilmesi; fiziksel yöntemler ve kimyasal yöntemler olarak iki şekilde gerçekleşir. Fiziksel yöntemler aşındırma ve mekanik öğütmeyi içerir. Kimyasal yöntemler ise kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, termal sprey ve sprey piroliz olarak sıralanabilir. Nanoakışkanların hazırlanmasında gösterilecek olan özenin ısı transferi performansını etkileyeceğini düşünerek, nanoakışkan kavramını basit bir katı-sıvı süspansiyon olarak görmemek gerekir. Hazırlanan nanoakışkanlar kararlı yapı sergilemeli, uzun ömürlü olmalı ve kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmemelidir [46]. Suslick vd. demir nanopartiküllerin süspansiyonlarının oleik asit ile dengelenmesi için bir sonokimyasal yöntem geliştirmiştir [47]. Chopkar ve ark. ise bilyalı öğütme yöntemi kullanarak $Al_{70}Cu_{30}$ alaşımlı nanopartiküller üretmiştir [48]. Xuan ve Li ise yaptıkları çalışmalar neticesinde, temel sıvı içerisine eklenen nanopartiküllerin ısı transferini iyileştirmelerinde etkili olan fiziksel olayları aşağıdaki şekilde sıralamışlardır [49].

- Temel akışkan içerisine katılan nanopartiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini arttırmaktadır.
- Nanopartiküller, akışkanın etkin ısı kapasitesini artırır.
- Nanopartiküller arasındaki çarpışmalar ve etkileşimler akışkanın ve akış geçidinin yüzey alanının artmasına neden olur.
- Akışkanın çalkantıları ile türbülans şiddeti artar.
- Nanopartiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine sebep olur.

Hazırlanan nanoakışkanların ısı transfer katsayısı temel akışkan içerisinde olan nanopartiküllerin hacimsel oranı ile de ilişkilidir. Ayrıca, nanopartiküllerin şekline ve boyutlarına da bağlıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre partiküllerin kimliği, çapı, baz akışkan seçimi, akışın laminar veya türbülanslı olması ve kanalın kesiti, ısı transfer katsayısında meydana gelecek değişimlerde önemli rol oynamaktadırlar [50].

3.1. NANOAKIŞKAN TÜRLERİ

Nanoakışkanlarda hem temel akışkan hem de nanopartikül çeşitliliği çok fazladır. Nanopartikül türüne göre nanoakışkanlar; alaşım (Ag-Cu, Ag-Al, AlCu), saf metal (Ag, Au, Cu, Fe, Ni), seramik (SiC, Al₂O₃, CeO₂, CuO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, SiO₂, TiO₂, ZnO₂) ve karbon esaslı (Karbon Nano Tüp, Grafen, Grafit) olmak üzere dört gruba ayrılır.

Seramik nanoakışkanlar, oksitli (Al₂O₃, CuO), oksitsiz (SiC) veya oksitli oksitsiz bileşimi şeklinde 3 gruba ayrılır. Bu 3 grup arasında en çok oksitli seramik nanoakışkanlar kullanılır. Üretiminin kolay olması ve solüsyon içerisindeki stabilitesinin iyi olmasından ötürü nanoakışkan hazırlamak için ilk olarak seramik nanopartiküller kullanılmıştır. Saf metal nanoakışkanlar, oksit seramik nanopartikülleriyle hazırlanan nanoakışkanlara kıyasla, çalışmalarda daha az kullanılmıştır. Fakat aynı hacimsel oranlı oksit seramik nanoakışkanlarına kıyasla saf metal nanoakışkanların ısı iletkenlikleri daha fazladır. Alaşım nanoakışkanlar ise daha çok metallerin farklı metallerle alaşımlanması gerektiği uygulamalar için, farklı meteryaller geliştirmek için uygulanan bir yoldur. Ancak alaşım nanoakışkanlar halen geliştirilmekte olan uygulamalar arasındadır ve endüstriyel uygulamaları azdır. Karbon esaslı nanoakışkanlar, son yıllarda karbona olan ilginin artmasıyla birlikte ve metale göre yüksek ısı iletkenlikleri, düşük yoğunlukları gibi özellikleri göz önünde bulundurulduğunda nanoakışkanlarda kullanılması cazip seçenekler arasında yer alır. Metal ve metal oksitleriyle karşılaştırıldığında, nanotüp, grafen gibi karbon yapıların daha yüksek ısı iletkenlikleri mevcuttur [51]. Çizelge 3.1’de bazı nanopartiküllerle beraber kullanılan nanoakışkanlar gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan temel sıvılar ve nanopartiküller [52].

Nanopartiküller	Temel sıvılar
Au	Su, Etilen Glikol, Toluen
Ag	Su, Toluen
Cu	Su, Yağ, Etilen Glikol, Aseton

CuO	Su, Etilen glikol, R134a
ZnO	Su
Fe₃O₄	Su
Al₂O₃	Su, Etilen Glikol, Pompa Yağı, Su+ Gliserin
TiO₂	Su, R141b
SiO₂	Su, Etilen Glikol

3.2. NANOAKIŞKANLARIN ISIL PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

Nanoakışkanların ısı transferi performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; nanopartikül morfolojisi (şekli), hacimsel konsantrasyon oranının etkisi, boyut etkisi ve nanopartikül ile temel sıvının türü şeklinde sıralanabilir.

3.2.1. Nanopartikül Türünün Etkisi

Nanopartikül türü nanoakışkanın ısı iletkenliği üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Au, Ag, Cu, Fe, gibi yüksek ısı iletkenliğe sahip metal nanopartikül içeren nanoakışkanlar; CuO, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, SiC, SiO₂ gibi metal oksit nanopartikül içeren nanoakışkanlara göre daha iyi ısı iletkenliğe sahiptirler. Grafen, Karbon nanotüp gibi karbonlu malzemelerin ısı iletkenlikleri de metallere göre daha yüksektir [53]. Çizelge 3.2’de çeşitli malzemelere ait ısı iletkenlik değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeşitli malzemelere ait ısı iletkenlikler [53].

Malzeme Türü	Isıl İletkenlik (W/mK)
Metaller	
Altın	315
Gümüş	424
Bakır	398
Alüminyum	273
Demir	80

Çelik	46
Paslanmaz Çelik	10
Metal Oksitler	
Alüminyum Oksit	40
Bakır Oksit	77
Demir Oksit	7
Titanyum Oksit	9
Çinko Oksit	29
Karbonlar	
Karbon Nanofiber	13
Grafit	470
Elmas	900
Karbon Nanotüp	2200
Grafen	5000
Baz Akışkanlar	
Su	0,6
Etilen Glikol	0,25
Makine Yağı	0,2

3.2.2. Nanopartiküllerin Şekil Etkisi

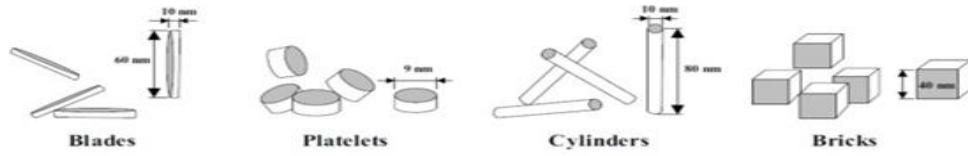
Nanoakışkanlarda ısı performansı etkileyen bir başka önemli faktör ise nanopartikül morfolojisi yani şekil faktörüdür. Son zamanlarda literatürde yapılan çalışma sonuçlarına göre nanopartikül şekil etkisinin nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini önemli derecede değiştirdiği bildirilmiştir. Şekil 3.3'te farklı araştırmacılar tarafından incelenen nanopartikül şekilleri gösterilmektedir ve Çizelge 3.3'de nanopartikül şekil etkileri üzerine yapılan çalışmalardan bazıları özetlenmiştir. Aynı hacimsel konsantrasyon oranlarında hazırlanan tek tip nanoakışkanın farklı nanopartikül şekli içeren durumlarında, ısı iletkenlik özellikleri de birbirinden farklı sonuçlar göstermiştir. En iyi ısı transfer özelliği gösteren nanopartikül şekli ile diğer durumlar arasında kayda değer farklılıklar olduğu belirtilmiştir. Nanopartikül şekil etkisinin ısı transferine etkilerini inceleyen çalışmalarda genellikle yaygın olarak kullanılan şekiller küresel, silindirik, brick, blade, platelet, lamina (pul) ve polygonal şekil

yapılarıdır. Yapılan bu çalışmada da literatürdeki çalışmalardan esinlenerek platelet, silindirik ve brick olmak üzere üç farklı morfolojiye sahip üç tür nanopartiküller (Fe_3O_4 , GO, Al_2O_3) kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

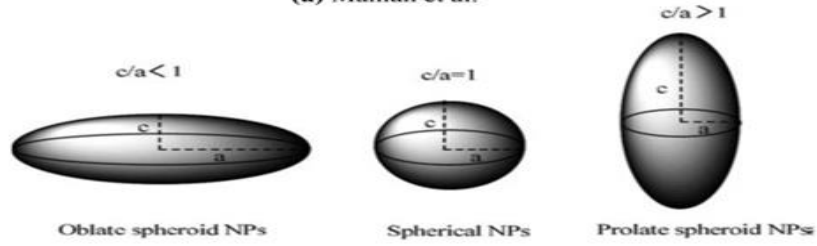
Çizelge 3.3. Nanopartikül şekil yapılarının ısı transferine etkilerinin incelendiği çalışmalar.

Kaynak	Geometri	Nanopartikül şekli	Yöntem	Sonuç
Omid Mahian vd. (2014) [54]	Solar kolektör	Platelets, Brick, blades ve silindirik	Teorik	Nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça ısı transfer katsayısı azalır. Bu azalma, platelet şekilli nanopartiküller için daha yüksektir.
Yanhai Lin vd. (2016) [55]	Marangoni sınır tabakası	Sphere, hexahedron, tetrahedron, column ve lamina	DeneySEL	Küresel şeklindeki nanopartikül diğerlerinden daha iyi performans göstermiştir.
S.S. Ghadikolaei vd. (2019) [56]	Gözenekli tabaka	Hexahedron, lamina	Teorik	Lamina şeklindeki nanopartikül, sıcaklık profilini ve Nusselt sayısını artırmada daha büyük bir etkiye sahiptir.
Abolfazl Zaraki vd. (2015) [57]	Düz tabaka	Brick, küresel	Teorik	Nanopartiküllerin boyutunun küçülmesi ile, nanoakışkanın ısı transferi performansı artmıştır.
Elias vd. (2013) [58]	Kabuk ve borulu ısı değiştirici	Brick, blade, küresel, platelet ve silindirik	DeneySEL	En iyi ısı transfer performansı silindirik şekilli nanopartiküllerde tespit edilmiştir.
Mahian vd. (2014) [59]	Mini kanallı güneş kolektörü	Brick, blades ve silindirik	DeneySEL	Brick şekli için entropi üretimi minimumdur.
Arani vd. (2017) [22]	Sinüzoidal -dalgalı mini kanal	Rectangular, Spherical	DeneySEL	Küresel şekil en yüksek performans değerlendirme kriterine sahiptir.
Monfared vd. (2019) [60]	Çift borulu ısı değiştirici	Rectangular, Spherical	DeneySEL	Küresel şekil için en düşük entropi üretimi

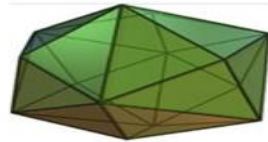
Atul Bhattad vd. (2019) [61]	Plakalı evaporatör	Paltelets, Brick, sphere ve silindirik	Deneysel	daha küçük boyutlu ve tuğla şekilli parçacıklar, ısı eşanjörlerinin performansını iyileştirmek için nanopartiküller olarak tercih edilir.
Amir Hossein Ghobadi vd. (2019) [62]	Silindirik boru	Hexahedron, Lamina	Sayısal	Lamina şeklindeki nanopartikül Hexahedron ile karşılaştırıldığında sıcaklık üzerinde daha fazla etkiye sahiptir.



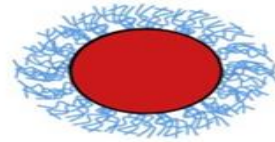
(a) Mahian et al.



(b) Trodi and Benhamza



(c.1) Hexahedron

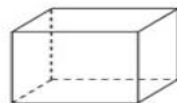


(c.2) Lamina

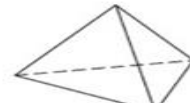
(c) Ghadikolaie and Gholinia



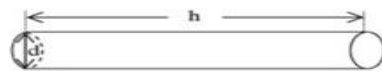
(a) Sphere



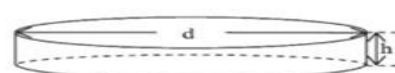
(b) Hexahedron



(c) Tetrahedron



(d) Column (h/d=20)



(e) Lamina (d/h=50)

(d) Lin et al.

Şekil 3.3. Farklı araştırmacılar tarafından incelenen nanopartikül şekillerine ait görseller [63].

3.2.3. Nanopartikül Hacimsel Konsantrasyon Oranının Etkisi

Nanoakışkanların ısı performansını etkileyen diğer bir faktör ise nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı olup ϕ ile sembolize edilir. Nanopartiküllerin hacimsel oranları ile ısı iletkenliklerinin değişimini gösteren çok sayıda çalışma bu iki kavram arasında doğru orantı olduğunu belirtmektedir. Fakat bu sabit artış optimum bir noktadan sonra bozulmaktadır, bu da ısı transfer artışındaki sabit artış düşüncesinin her durumda doğruluğunun önüne geçmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmalardan biri Ghoslatloo vd. tarafından 2014 yılında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada %0,05-0,1 aralığında değişen Grafen/Su nanoakışkanlarının performansları ısı değiştiricisi kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı %0,05- %0,075- %0,1 olan Grafen-su nanoakışkanlarının ısı iletkenlikteki artış miktarları, su baz akışkanına kıyasla %15, %29,2 ve %12,6 olarak bildirilmiştir. Görüldüğü gibi %0,075 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranından sonra ısı iletkenlik azalma eğilimi göstermektedir. Bunun sebebi Ghoslatloo ve ekibi tarafından, belirli bir orandan sonra su içerisindeki grafen parçacıklarının çökmesiyle kararlılığın azalması şeklinde açıklanmıştır [64]. Hacimsel konsantrasyon değişiminin etkisini incelemek amacıyla saf metaller (Cu, Ag, Au, Al, Fe), oksitler (TiO₂, Al₂O₃, CuO) ve karbon nanotüpler gibi farklı nanopartikül tiplerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ag/Su nanoakışkanı için yapılan çalışmada, %0,1 ile %0,39 hacimsel konsantrasyon oranlarında ısı iletkenlik değişimleri incelenmiş ve ısı iletkenlik artışının % 3'ten %11'e yükseldiği gözlemlenmiştir. TiO₂ nanopartikül içeren nanoakışkan ile yapılan başka bir çalışmada da nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının %0,2'den %2'ye artırılması ile, ısı iletkenlik değerinin %7,2'den %13,2'ye yükseldiği görülmüştür [13,65].

3.3. NANOAKIŞKANLARDA ISI TRANSFERİ

Isı transferi ile ısıtma ya da soğutma birimlerinin çalışma performanslarını artırmak için çeşitli teknikler geliştirilmiş ve bu teknikler genel olarak ısı transferi iyileştirme teknikleri başlığı altında toplanmıştır. Isı transfer yüzeyinin artırılması; ısı eşanjörü, iklimlendirme, kimyasal reaktör ve soğutma sistemleri gibi birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Bu nedenle, ısı transfer hızının artırılması ve

özellikle ısı eşanjörlerinde bulunan ekipmanın boyutunun ve maliyetinin azaltılması konusunda birçok teknik araştırılmıştır. Isı transferi iyileştirme teknikleri genel olarak üç ana başlık altında; pasif, aktif ve bileşik (karma) teknikler olarak değerlendirilmektedir. Pasif teknikler, herhangi bir şekilde dışarıdan ilave enerjiye (güç kaynağına) ihtiyaç duymayan teknikleri kapsarken, aktif teknikler ise enerji tüketen sistemlerin, ısı transferinin artırılacağı sisteme adaptasyonu ile gerçekleştirilir. Bileşik teknikler ise, bir ısı sistem üzerinde hem aktif hem de pasif sistemlerin birlikte kullanılması esasına dayalı olarak çeşitlenir [66].

Isıl yük altında çalışan sistemlerin soğutulması ya da ısının geri kazanılması, depolanması gibi karmaşık mühendislik uygulamalarını içeren sistemlerde, çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanılmaya başlanması, sistemin performansının olumlu yönde iyileştirilmesini sağlayan önemli tekniklerden birisidir. Nanoakışkan kullanımına ilişkin birtakım avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [67,68]:

- Nanopartiküller büyük yüzey alanına sahip parçacıklar oldukları için eklendikleri akışkanda daha fazla ısı transferinin gerçekleşmesini sağlamaktadır.
- Nanopartiküller akışkan içerisinde mikro-hareketliliği destekler ve bu mikro-hareketlilik sayesinde mikro-taşınım karakteristiği de gelişmiş olur. Artan ısı transferi ve mikro-taşınım karakteristiği akışkan içerisine ısının daha iyi aktarılmasını sağlamaktadır.
- Nanoakışkanlar nano boyutta partiküller içerdiği için çoğunlukla kararlı yapıya sahiptirler, nanopartiküllerin sıvı içerisinde Brownian hareketi (rastgele dağılım) göstermesi de bu kararlılığı destekler. Nanopartiküllerin kararlı dağılımı, (doğru hacimsel konsantrasyon oranlarında hazırlanan) nanoakışkanların yüksek ısı yük altında çalışan mikro kanalların soğutulmasında, kanal tıkanıklığı, yüksek basınç düşümü vs. gibi teknik problemlerin ortaya çıkmasının önüne geçmektedir.
- Özgül yüzey alanının büyük olması nedeniyle nanoakışkanlar ısı transferinde artışa sebep olurken, düşük miktarda nanopartikül içeren nanoakışkan konsantrasyonları, viskozitede ani artışlara sebep olmadığından pompalama

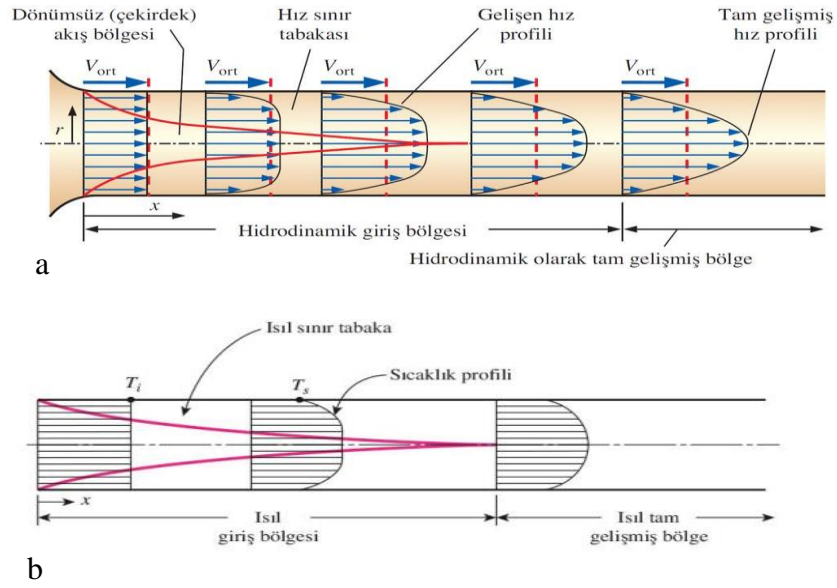
gücünü düşük oranda etkilemektedir. Buda düşük pompalama gücü ile yüksek ısı transfer oranlarını yakalama olanağı sağlamaktadır.

- Nano boyutta olan parçacıklar küçük boyutlarından dolayı kullanıldığı sistemlerde yüzeyde aşınmanın miktarını, momentumlarını yüzeye daha az aktarmalarından dolayı, çok fazla artırmazlar. Böylece sisteme ait malzemelerin ömrü açısından da oldukça faydalı olmaktadır.
- Asıl amaçları ısı transferini artırmak gibi görünen nanoakışkanlar aynı zamanda ısı yüküne maruz kalan sistemlerin daha kompakt olmalarına olanak sağlayarak maliyet, alan etkinliği ve kullanım pratikliği açısından avantajlar sağlayabilmektedir.

Boru içi akış, ısı transferi alanında en yaygın kullanılan uygulamalardandır. Taşınım bir katı yüzey ve onunla temas halindeki hareketli sıvı veya gaz arasında gerçekleşen bir ısı aktarım türüdür. Bu yüzden akışkan hareketinin olmadığı durumlarda bir katı yüzey ile bitişindeki akışkan arasındaki ısı transferi saf iletim ile gerçekleşmektedir. İletim basit bir şekilde, parçacıklar arası etkileşmelerin sonucu olarak bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından daha düşük enerjili parçacıklara enerji aktarılması olarak açıklanabilir. Taşınım ise iletim ve akışkan hareketinin bileşik etkilerini kapsar. Taşınımla ısı transferi araçlarda ve konut ısıtma-soğutma sistemlerinde, ısı değiştiricilerinde, elektronik cihazların soğutulmasında, araç radyatörlerinde, güç santralleri ve jet çarpma soğutma gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda ısı transfer hızında elde edilecek artış, işlem sürecini hızlandırmakta, ekipman ömrünün uzun olmasını sağlamakta ve enerjiden tasarruf elde edilmesine olanak tanımaktadır [69].

Boru içinde üniform hız ile hareket halinde olan akışkanın, boru yüzeyi ile etkileşimi sonucunda kaymama şartı gereği hızı sıfırdır. Aynı zamanda yüzeydeki bu hareketsiz akışkan partikülleri, sürtünmeden kaynaklı, hemen yanındaki akışkan parçacıklarının da hızının yavaşlamasına sebep olur. Kütleli debinin kanal kesiti boyunca aynı kalması gerektiğinden, yüzeydeki düşük hızı dengeleyebilmek için kanalın orta kısmında akışkanın hızı daha yüksektir [70].

Üniform bir sıcaklıkla boruya giren akışkan ile borunun yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı taşınımı tetiklemektedir ve ısı sınır tabakanın oluşumuna sebep olmaktadır. Şekil 3.4'te görülebileceği üzere ısı sınır tabakanın kalınlığı akış ilerledikçe artacak ve boru merkezinde birleşerek tüm boruyu kaplayacaktır. Boru girişinden ısı sınır tabakanın boru merkezinde birleştiği noktaya kadarki kısım ısı giriş bölgesi olarak ifade edilirken, bu bölgenin uzunluğu ise ısı giriş uzunluğu olarak adlandırılmaktadır [69,70].



Şekil 3.4. Dairesel kesitli bir boruda; a) Hız (hidrodinamik) ve b) Isıl sınır tabakanın gelişimi [70].

Laminer akış şartlarında akış oldukça düzenlidir. Yüzey normalindeki v (m/s) hızının, y eksenini boyunca değişimi neredeyse sıfırdır. Tam tersine, Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, türbülanslı akış ise akışın üç boyutlu olarak çalkalandığı oldukça kaotik bir akış rejimidir. Bu akış rejiminde meydana gelen dalgalanmalar ise momentum ve enerji transferlerini artırarak taşınım ile ısı geçişi ve yüzey sürtünmelerinin artmasına sebep olmaktadır. Söz konusu bu akış rejimlerinin belirlenmesinde Eş. 3.9'da verilen boyutsuz Reynold (Re) sayısından faydalanılmaktadır [70].

Reynold sayısı (Re) aşağıda Eş. 3.1'deki gibi ifade edilmektedir [70];

$$Re_D = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (3.1)$$

Burada ρ (kg/m^3) yoğunluğu, V (m/s) ortalama hızı, μ ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$) dinamik viskoziteyi, D metre cinsinden dairesel kesitli borunun çapını,

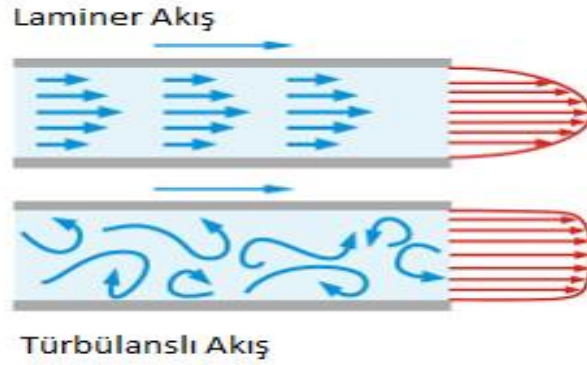
Dairesel kesitli borularda iç akış laminer rejimi için Re sayısı [68]:

$$Re \leq 2300 \quad (3.2)$$

Türbülanslı akış rejimi için ise:

$$Re \geq 4000 \quad (3.3)$$

olarak ifade edilmektedir [68].



Şekil 3.5. Laminer ve türbülanslı akış görseli.

Taşıyım ile gerçekleşen ısı transferi katsayısı (h) ve Nu değerleri ısı sistemlerinin performansını belirleyebilmek ve yorumlayabilmek için kullanılan en önemli verilerdir. Taşıyım ile ısı transferi katsayısı (h) Eş. (3.4) ile ve ortalama Nu değeri Eş. (3.5) ile hesaplanmıştır;

$$h = \frac{q''}{(T_{\text{çeper}} - T_{\text{yığın}})} \quad (3.4)$$

Nusselt sayısı, taşınım ile ısı transferinin, iletimle ısı transferine oranı şeklinde tanımlanmakta olup Eş. (3.5) ile ifade edilmektedir [69].

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (3.5)$$

Eş. (3.4) - (3.5)'te “ h ” (W/m²K) taşınım ile ısı transferi katsayısını, “ D ” (m) dairesel kesitli borunun çapını, “ k ” (W/mK) ısı iletim katsayısını, “ q ” (W/ m²) ısı akısını, “ $T_{\text{çeper}}$ ” (K) boru çeperine ait sıcaklığı, “ $T_{\text{yığın}}$ ” (K) ise ortalama sıcaklığı ifade etmektedir.

Literatür incelendiğinde, laminer akış şartlarında kanal yüzeyine sabit ısı akısı tatbik edilen dairesel kesitli kanal içerisindeki ortalama Nu değeri için aşağıda detaylı olarak sunulan korelasyonların temel alındığı gözlemlenmiştir. Bunlar;

Shah-London Korelasyonu [71]:

$$Nu = 1,953 \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} ; \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right) \geq 33,3 \quad (3.6)$$

Gnielinski Korelasyonu [72]:

$$Nu = \left[4,354^3 + 0,6^3 + (1,953 \sqrt[3]{Re Pr \frac{D}{L}} - 0,6)^3 + (0,924 \sqrt[3]{Pr} \sqrt{Re \frac{D}{L}})^3 \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.7)$$

Churchill-Ozoe Korelasyonu [73]:

$$Nu = 4,364 \left[1 + \left(\frac{\left(\frac{\pi Re Pr}{29,6} \right)^2}{4} \right)^{\frac{1}{6}} \right] \left[1 + \left(\frac{\left(\frac{\pi Re Pr}{19,4} \right)^{\frac{3}{2}}}{\left(1 + (Pr/0,0207)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{1}{2}} \left[1 + \left(\frac{\pi Re Pr}{29,6} \right)^{\frac{2}{3}} \right]} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (3.8)$$

Sieder-Tate Korelasyonu [74]:

$$Nu = 1,86 Re^{\frac{1}{3}} Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{D}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.9)$$

eşitlikleri ile verilmektedir.

Sieder-Tate Korelasyonunda belirtilen Prandtl Sayısı (Pr) Eş. (3.10)'deki gibi hesaplanmıştır [75]:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad (3.10)$$

Burada “ k ” (W/mK) ısı iletim katsayısını “ μ ” (kg/m·s) dinamik viskoziteyi, “ C_p ” (kJ/kg·K) ise özgül ısıyı ifade etmektedir.

Basınç düşüşü değerleri aracılığıyla Darcy-Weisbach denkleminden ortalama Darcy sürtünme faktörü (f), Eş. (3.11)'de verildiği şekilde hesaplanmıştır [76].

$$f = \frac{P_{giris} - P_{cikis}}{\left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{\rho V^2}{2}\right)} \quad (3.11)$$

Burada, P_{giris} ve P_{cikis} boruya giriş ve çıkış basınçlarını “Pa” cinsinden ifade etmektedir. Eşitliklerde L (m) boru uzunluğu, V (m/s) ortalama akışkan hızını, D (m) boru çapını, ρ (kg/m³) akışkan yoğunluğunu temsil etmektedir.

Dairesel kesitli boru içerisindeki laminer akış şartlarında ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri Hagen–Poiseuille, Morrison ve Filonenko korelasyonları ile sırasıyla Eş. (3.12) (3.13) ve (3.14) 'deki gibi hesaplanabilmektedir [75,77,78].

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.12)$$

$$f = \left[\frac{0.0076 \left[\frac{3170}{Re} \right]^{0,165}}{1 + \left[\frac{3170}{Re} \right]^{7,0}} \right] + \frac{16}{Re} \quad (3.13)$$

$$f = [1.8 \log_{10}(Re) - 1.5]^{-2} \quad (3.14)$$

Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK), ısı transferini artıran uygulamalarda ısı transferi artışının ek pompa gücüne oranını belirlemek için hesaplanan bir değerlendirme katsayısıdır. Yüksek PDK değeri basınç düşüşü artışına göre çok daha fazla ısı transferi performansı artışı anlamına gelirken, düşük PDK değeri ise ısı transferi performansı artışının basınç düşüşü artışından daha düşük kaldığını göstermektedir. Aynı zamanda PDK değeri, sistemde kullanılan nanoakışkanın etkinliğini de belirlemekte kullanılabilir. PDK, Eş. (3.15)'deki hesaplanmaktadır [79].

$$PDK = \frac{\left(\frac{Nu_{nano}}{Nu_{temel}}\right)}{\left(\frac{f_{nano}}{f_{temel}}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (3.15)$$

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada, dairesel kesitli düz bir boruda gerçekleşen akış ve taşınım ısı transfer karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma için, Al_2O_3 , GO ve Fe_3O_4 nanopartikülleri ve bu nanopartiküllere ait üç farklı şekil yapısı (brick, platelet, silindirik) ile baz akışkan olarak saf su (H_2O) kullanılmıştır. Saf suyun içerisine farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında nanopartiküller ($0 \leq \phi \leq 0,04$) eklenerek nanoakışkanlar oluşturulmuştur. Nanoakışkanlar dairesel kesitli boruya 300 K sıcaklıkta üniform olarak girmekte ve boru yüzeyine 1000 W/m^2 değerinde sabit ısı akısı uygulanmaktadır. Sayısal çözümler; daimi, tam gelişmiş laminer akış şartları için ($500 \leq Re \leq 2000$), tek faz modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümler için sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlere yapabilen ANSYS 2020 R2 Fluent kodu kullanılmıştır.

4.1. SAYISAL YÖNTEM

Probleme ilgili sayısal analizler, temelde sonlu hacimler tekniğini esas alan, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD/CFD) yöntemine dayalı çözümlere yapabilen ANSYS Fluent 2020 R2 kodu yardımıyla, ilgili başlangıç ve sınır şartlarına bağlı olarak, tek faz modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım, korunum denklemlerinin ilgili sınır koşulları boyunca çözerek sayısal hesaplamaların gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır.

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 metodunu esas almasına 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 HAD kodlarında en çok kullanılan yöntemdir. Bu metotta denklemler her bir kontrol hacmi için ayrıklaştırılarak iteratif olarak çözülür [80].

4.1.2. Ansys Fluent Programı

FLUENT, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizlerinde kullanılan bir programdır. FLUENT programı, geometri oluşturulmasından analizlerin sonuçlarına kadarki modelleme işleminin tamamını kapsamaktadır. HAD hesaplamaları, çok sayıda lineer olmayan denklem çözümlerini içerir ve hesaplamalar bilgisayar yardımı ile yapılır. FLUENT, kullanıcılarının çözümü zor ve zahmetli problemlerine kolay ve kısa sürede çözümler sunmaktadır [80].

FLUENT programı, akışkanlarla ilgili problemlerin sayısal çözümü için birçok teori ve modelleri kapsamaktadır. Laminer akış, türbülans modelleri, radyasyon modelleri, kimyasal karışım modelleri, faz değişim modelleri, çok fazlı akım modelleri ve hareketli akım alanları modelleri içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üretir [80].

Öncelikle geometri, programın kendi içerisindeki çizim programından (WORKBENCH) oluşturulmaktadır. Geometri oluşturulduktan sonra kullanılacak akışkan ve bu akışkanın kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmektedir. Bu aşamadan sonra; çözüm için en uygun sayısal model seçilir ve daha sonra akış özellikleri belirtilmelidir (laminer veya türbülanslı akış). Daha sonra çözüm için sınır koşulları belirlenir. Tanımlanan fiziksel sınır şartlarına göre sayısal büyüklükler (hız, basınç, sıcaklık, enerji gibi) FLUENT programına girilmektedir. Seçilen hata toleransına göre başlangıç şartları ve işlem yönü belirtilerek çözüme başlanmaktadır. İstenilen hata toleransına ulaşıncaya kadar çözüm yinelenir. FLUENT programı ile

elde edilen sonuçlar değişik şekillerde görselleştirilerek sunulabilmektedir. FLUENT'in son aşamasında elde edilen sonuçlar grafikler halinde programdan çıktı olarak alınabilir [80].

4.1.3. Korunum Denklemleri

Oluşturulan modelde akış ve ısı transferi karakteristiklerini belirleyebilmek için aşağıda verilen genel yönetici denklemler olan kütle, momentum ve enerji denklemleri laminer akış koşullarında, tek faz modeli kullanılarak HAD (CFD) yöntemine dayalı çözümlene yapabilen ANSYS Fluent 2020 R2 programına çözdürülmüştür. Nanoakışkanlar için sabit termofiziksel özellikler kullanılmıştır.

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;

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

Momentum Korunumu;

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

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

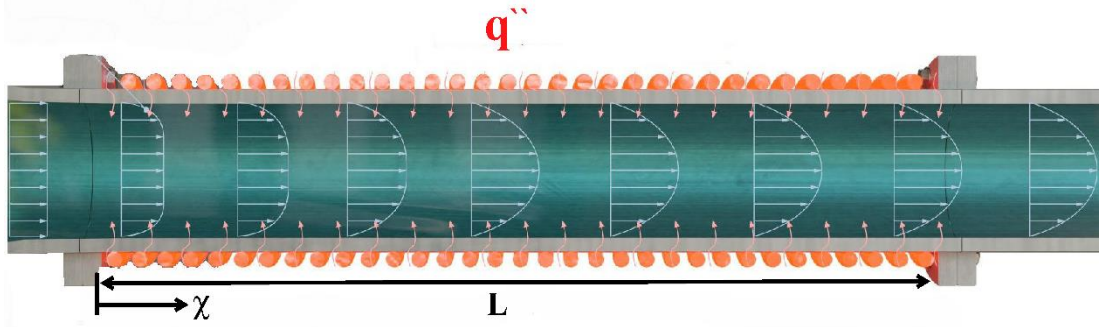
Enerji Denklemi;

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

Bu denklemde E birim enerjiyi, $k_{eff} \nabla T$ iletimi, $\sum_j h_i j_i$ difüzyonu ve $(\bar{T}_{eff} \vec{V})$ viskoz disipasyonu ifade etmektedir [69].

4.2. PROBLEM GEOMETRİSİ

Boru girişinde, Re değerlerine bağlı olarak farklı hızlar kullanılmıştır. Akış laminar olduğu için nanoakışkanın Reynold sayısı, $500 \leq Re \leq 2000$ aralığında seçilmiştir. Giriş sıcaklığı 300 K'dir. Nanopartikül ve baz sıvı arasında hareket kayması yoktur, akış daimi durumdadır ve yerçekimi ivmesi ihmal edilmiştir. Nanopartiküller ve baz sıvı ısı dengededir. Akış hidrodinamik olarak tam gelişmiştir. Dairesel boru, tüm çeper boyunca sabit ısı akısına (1000 W/m^2) tabi tutulmuştur. Şekil 4.1.'deki problem modeli geometrisi olan dairesel kesitli boru ANSYS 2020 R2 Workbench programında oluşturulmuştur. Model geometrisinin uzunluğu 1300 mm ve borunun çapı 10 mm'dir.



Şekil 4.1. Problem geometrisi.

Korunum denklemlerinin çözülebilmesi için uygun başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için deneysel çalışmalarda kullanılan koşullar altında sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Akışkan giriş hızı ve giriş sıcaklığı üniform (300 K) olarak alınmıştır. Çeper sınır şartlarında ise çeperde kaymama şartı kabulü yapılmış olup boru çeperinin sıcaklığı ile akışkanın sınır tabakasındaki sıcaklığı eşit varsayılmıştır. Boru çeperinden akışkana olan ısı akısı değeri 1000 W/m^2 olarak alınmıştır. Çıkış sınır şartı olarak etkin çıkış basıncın sıfır olduğu kabulü yapılmıştır. Dairesel kesitli borunun giriş ve çıkış sınır şartları matematiksel olarak aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir:

Giriş sınır şartları:

$$T(r, \theta, 0) = T_{giriş} \quad (4.5)$$

$$V(r, \theta, 0) = V_{giriş} \quad (4.6)$$

$$\varphi_{np} = 0,01 - 0,04 \quad (4.7)$$

Çeper sınır şartları:

$$u_r(R, \theta, z) = 0, u_\theta(R, \theta, z) = 0, u_z(R, \theta, z) = 0 \quad (4.8)$$

$$\dot{q}_0''(R, \theta, z) = \text{sabit} \quad (4.9)$$

Çıkış sınır şartları:

$$P_g(r, \theta, L) = 0 \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial V(r, \theta, L)}{\partial z} = 0 \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial \theta(r, \theta, L)}{\partial z} = 0 \quad (4.12)$$

$$\Theta = \frac{T(r, \theta, z) - T_{yüzey}(R, \theta, z)}{T_{yığın}(r, \theta, z) - T_{yüzey}(R, \theta, z)} \quad (4.13)$$

Sayısal analizlerde aşağıdaki kabuller uygulanmıştır:

- Akışın kararlı rejim şartları için çözümler gerçekleştirilmiştir.
- Akışkanların termofiziksel özellikleri sıcaklıktan bağımsız sabit olarak alınmıştır.
- Akış, laminar ve sıkıştırılamaz olarak ele alınmıştır.
- Akışkan giriş hızı ve sıcaklığı üniformdur.
- Akış ve ısı transferi üç boyutlu ve sürekli kabul edilmiştir.
- Kaldırma kuvveti, yerçekimi ivmesi, viskoz yayılım ve ısı ışıınımı ihmal edilmiştir.
- Hesaplamalarda tüm hacimsel konsantrasyonlar için nanoakışkanlar Newtonyen akışkan özelliklerine sahip kabul edilmiştir.

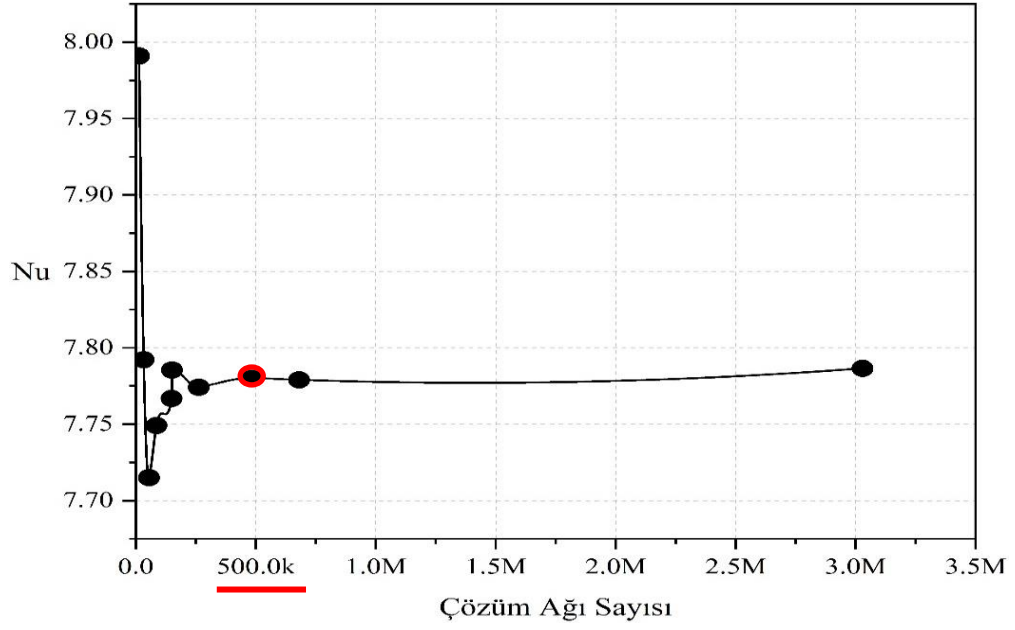
4.3. SAYISAL AĞ YAPISININ OLUŞTURULMASI

HAD çözümlerinde ilk ve en önemli adım hesaplama modelindeki akış değişkenlerinin (hız, basınç, vb.) hesaplanacağı hücreleri tanımlayacak bir bölme yani sayısal ağ yapısının oluşturulmasıdır. Bu nedenle, model geometri oluşturulduktan sonra uygun sayısal ağ yapısının (mesh) belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Bunun için giriş hızı 0,16705 m/s ($Re=2000$ değeri için) olarak hesaplanan saf su akışkanı seçilerek, geometri farklı hücre sayılarına bölünmüş ve en uygun sayısal ağ yapısının bulunması hedeflenmiştir. Oluşturulan sayısal ağ yapıları ve saf su için alınan “ Nu ” ve “ f ” değerleri sonuçları Çizelge 4.1- 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Saf su için farklı ağ yapılarında hesaplanan Nu değerleri.

Mesh Çalışma Sayısı	Hücre Sayısı	Nusselt Sayısı
1	13.390	7.99096
2	32.412	7.79217
3	55.268	7.71499
4	86.025	7.74911
5	149.110	7.76684
6	151.183	7.78545
7	262.593	7.77409
8	483.340	7.78022
9	680.550	7.77040
10	3.029.000	7.77048

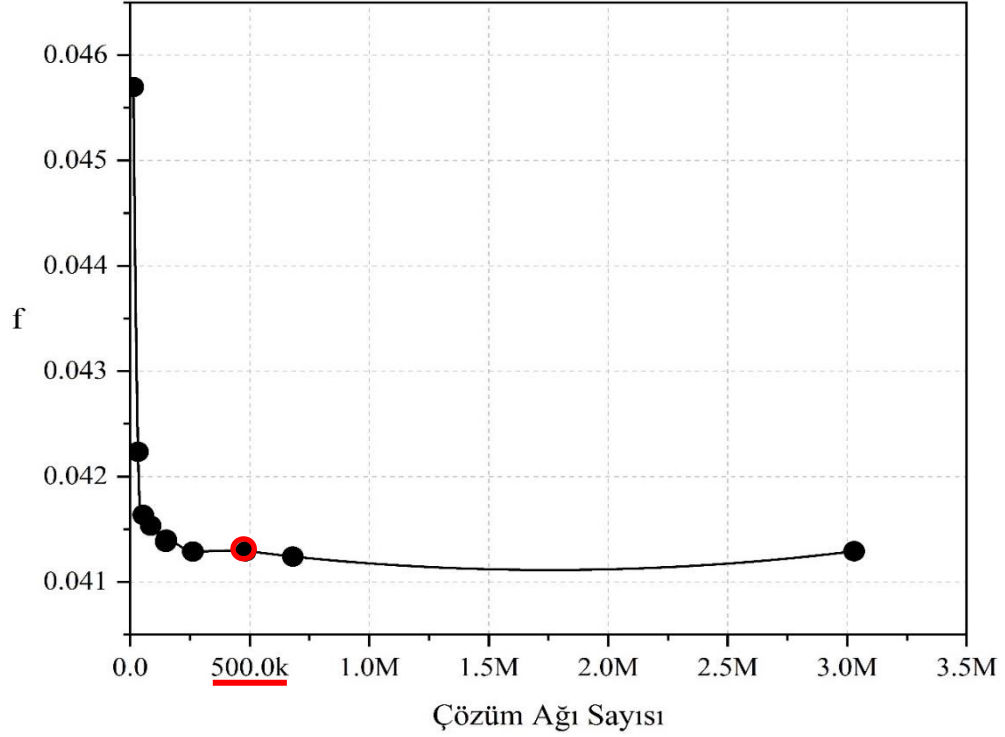
Şekil 4.2’de görüldüğü gibi mesh sayısı arttıkça Nusselt sayısında önemli ölçüde dalgalanmalar meydana gelmiştir ve dalgalanmalar belirli bir noktada sabitlenmekte olup en uygun sayısal ağ yapısı olarak 483340 hücre sayısındaki ağ belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Meshden bağımsız çalışma, Nu sayısının değişimi.

Çizelge 4.2. Saf su için farklı ağ sayılarında hesaplanan f değerleri.

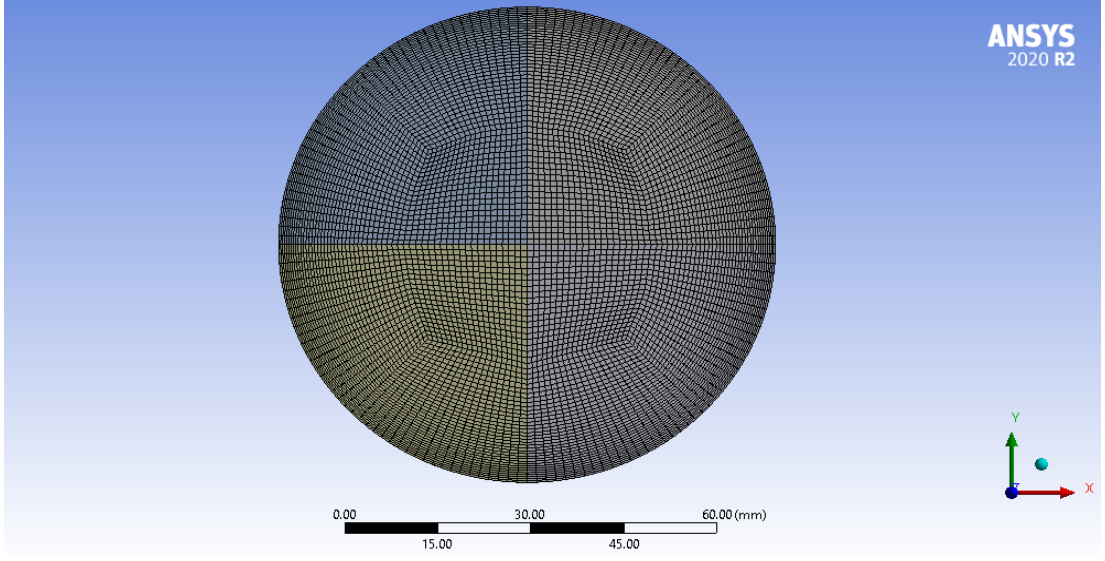
Mesh Çalışma Sayısı	Hücre Sayısı	f Darcy Sürtünme Faktörü
1	13.390	0.041378
2	32.412	0.045697
3	55.268	0.042233
4	86.025	0.041635
5	149.110	0.041533
6	151.183	0.041399
7	262.593	0.041286
8	483.340	0.041289
9	680.550	0.041239
10	3.029.000	0.04123



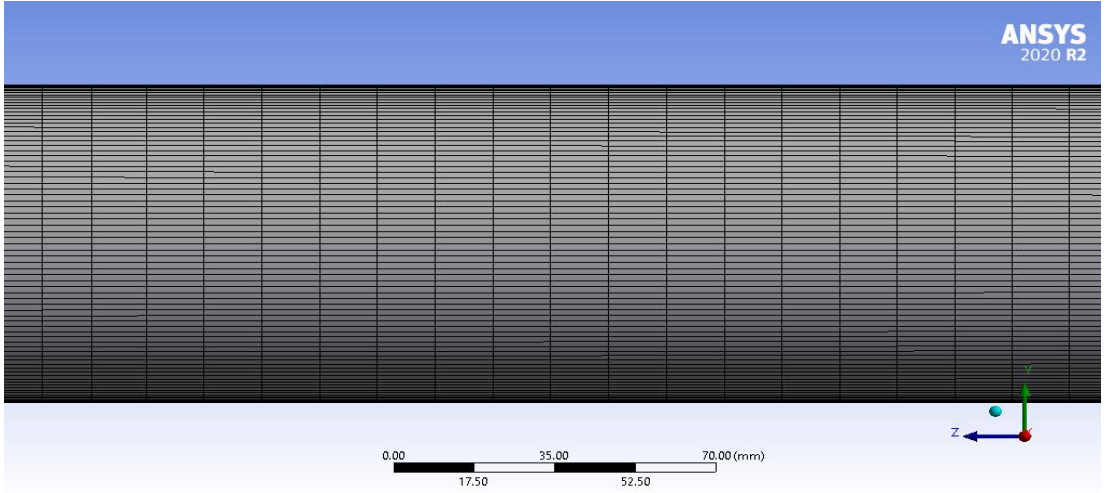
Şekil 4.3. Meshden bağımsız çalışma, f değerinin değişimi.

Şekil 4.2 ve 4.3 incelendiğinde, uygun çözüm ağı yapısı belirlenmiştir ve dairesel borunun mesh görüntüsü Şekil (4.4-4.5)'te verilmiştir.

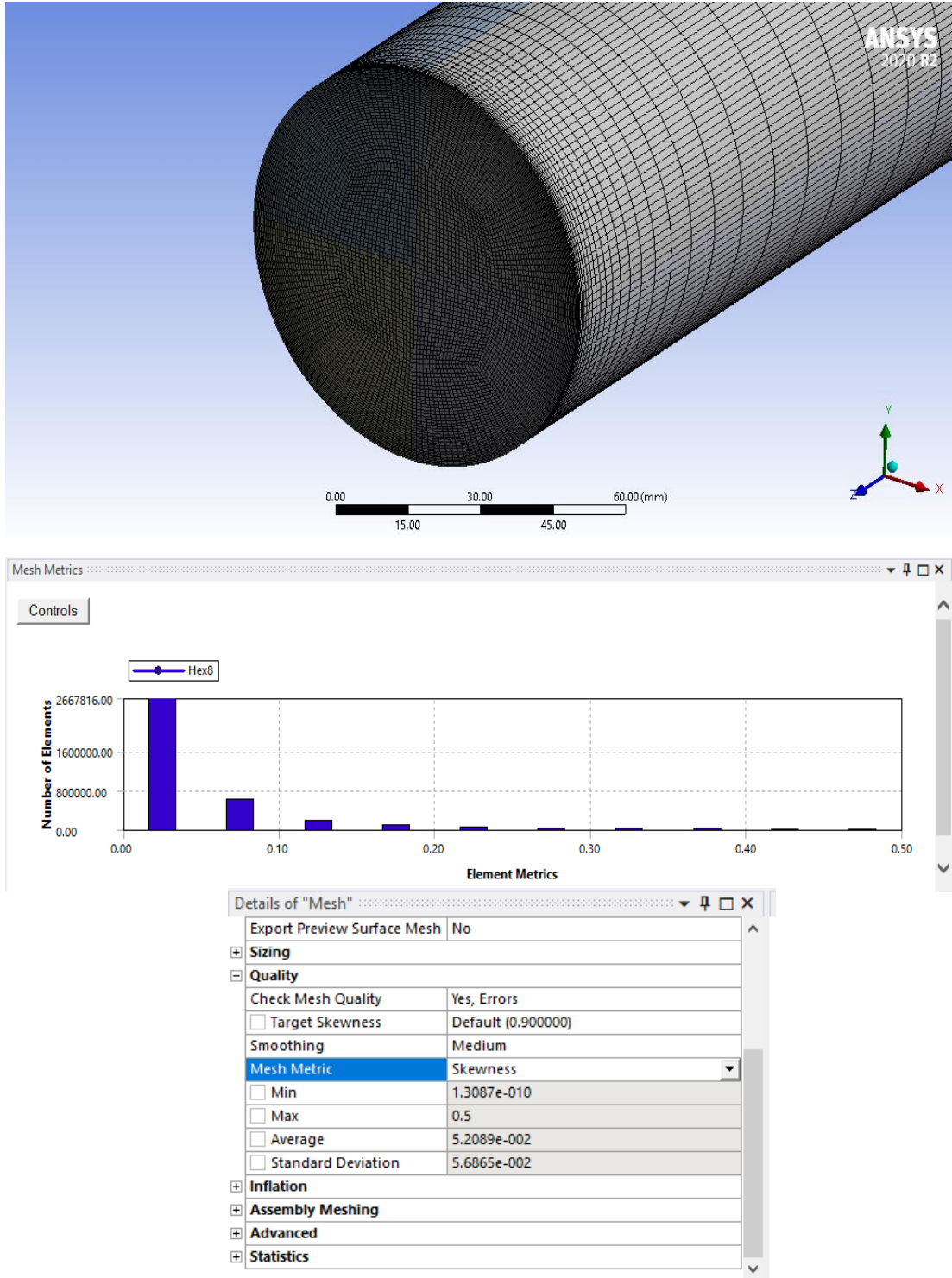
ANSYS programında iki tip mesh yapısı (ağ yapısı) vardır. Bunlardan birisi üçgensel diğeri ise dörtgensel mesh yapısıdır. HAD analizlerinde daha çok dörtgensel mesh tercih edilirken, bazı karmaşık geometriler için üçgensel mesh yapısı da kullanılabilir. Mesh kalitesini ölçmek için pek çok parametre mevcuttur. Bu parametrelerden birisi Skewness'tir. Bu kavram, mevcut mesh yapısı ile optimum mesh yapısı arasındaki oranı veren grafikdir. Skewness 0 ve 1 arasında değerler alır. Elde edilen bu değer sıfıra ne kadar yakın olursa mesh kalitesi o derece yüksektir [81]. Bu çalışmada mesh kalitesini değerlendirmek için elde edilen Skewness değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Mesh uygulanmış dairesel kanalın önden görünüşü.



Şekil 4.5. Mesh uygulanmış dairesel kanalın yandan görünüşü.



Şekil 4.6. Mesh kalitesi değerlendirme için elde edilen skewness değerleri.

4.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada üç farklı nanopartikül (Al_2O_3 , GO ve Fe_3O_4) ve baz akışkan olarak su (H_2O) kullanılmıştır. Suyun ve nanopartiküllerin 300 K sıcaklık değerindeki termofiziksel özellikleri Çizelge 4.3’de gösterilmiştir [82,83,84,85].

Çizelge 4.3. Baz akışkan ve nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri (T=300 K).

Termofiziksel Özellikler	Baz Akışkan		Nanopartikül		
	Saf Su	Fe_3O_4	Al_2O_3	GO	
ρ (kg/m ³)	996,09	5200	3970	2100	
C_p (J/kgK)	4071,7	670	765	710	
k (W/mK)	0,615	6	40	5000	
μ (kg/ms)	0,000832	-	-	-	

Nanoakışkanın termofiziksel özellikleri aşağıdaki verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir.

Yoğunluk [86]:

$$\rho_{eff} = \rho_{baz}\varphi + \rho_{np} (1 - \varphi) \quad (4.14)$$

Özgül ısı [87]:

$$(\rho C_p)_{eff} = (\rho C_p)_{baz} \varphi + (\rho C_p)_f (1 - \varphi) \quad (4.15)$$

Isı iletim katsayısı (k):

Her nanopartikül tipi için farklı ısı iletim katsayısı modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan nanopartiküller için nanoakışkan ısı iletim katsayısı hesaplama modelleri aşağıda belirtilmiştir

Al₂O₃ nanopartikül ilaveli nanoakışkanı için kullanılan ısı iletim katsayısı modeli Eşitlik 4.16’da verilmiştir [88]

$$\frac{k_{nf}}{k_{baz}} = 1 + C_k \varphi \quad (4.16)$$

C_k ısı iletim katsayısı olup, farklı nanopartikül şekilleri için belirtilen “ C_k ” değerleri Çizelge 4.4’ten temin edilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı nanopartikül şekilleri için C_k değeri [88].

Nanopartikül Şekli	C_k ısı iletim katsayısı
Brick	3,37
Blade	2,74
Cylindrical	3,95
Platelet	2,61

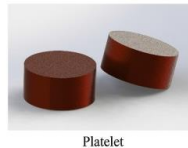
Fe₃O₄-Su nanoakışkanı için [89-90]:



Fe₃O₄-Su nanoakışkanına ait ısı iletim katsayısının hesaplandığı model Eş 4.17’de verilmiştir ve bu modelde kullanılan m şekil faktörü değerleri Çizelge 4.5’ten alınmıştır.

$$\frac{k_{nf}}{k_{baz}} = \frac{-m(k_f - k_p)\varphi + (k_p - k_f)\varphi + m k_f + k_p + k_f}{m k_f + (k_f - k_p)\varphi + k_f + k_p} \quad (4.17)$$

Çizelge 4.5. Farklı nanopartikül şekilleri için “ m ” şekil faktörünün değerleri [88].

Nanopartikül şekli	m Şekil faktörü
Platelet	5,7



Cylindrical	 Cylinder	4,8
Brick	 Brick	3,7

GO-Su nanoakışkanı için [91]:

GO-su nanoakışkanı için Eş. 4.18’de verilen modelde “n” ifadesi ile belirtilen şekil faktörü değerleri ise Çizelge 4.6’dan alınmıştır.

$$\frac{k_{nf}}{k_{baz}} = \frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\varphi(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + \varphi(k_f - k_p)} \quad (4.18)$$

Çizelge 4.6. Farklı nanopartikülşekilleri için “n” şekil faktörü değerleri [88].

Nanopartikül şekli	“n” Şekil faktörü
Brick	3,7
Blade	8,6
Platelet	5,7
Spherical	3
Cylindrical	4,9
Lamina	16,1

Viskozite [88]:

Her nanopartikül tipi için farklı viskozite modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan nanopartiküller için nanoakışkan viskozitesi hesaplama modelleri aşağıda belirtilmiştir. Eş 4.19’da kullanılan “A₁, A₂” faktörlerinin değerleri Çizelge 4.7’de belirtilmiştir.

$$\mu_{nf} = \mu_{baz} (1 + A_1\varphi + A_2\varphi^2) \quad (4.19)$$

Çizelge 4.7. Farklı nanopartikül şekilleri için “A₁, A₂” faktörlerinin değeri [88].

Nanopartikül şekli	A ₁ faktörü	A ₂ faktörü
Brick	1,9	471,4
Blade	14,6	123,3
Cylindrical	13,5	904,4
Platelet	37,1	612,6

Grafen nanoakışkan için [92]:

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_{baz}}{(1-\varphi)^{2,5}} \quad (4.20)$$

Nanoakışkanların hesaplanması için kullanılan ortak viskozite modeli Eş. 4.19’da verilmiştir, fakat GO-su nanoakışkanı için literatürde tam olarak belirli bir model bulunmadığı için eş. 4.20’de verilen viskozite modeli kullanılarak doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Eş.4.20’deki viskozite modeli kullanıldığında tüm nanopartikül şekillerinin viskozite değerleri aynı hesaplandığı için, farklı şekil tipi etkisini incelemek için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durum çizelge 4.10’da detaylı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan modeller.

	Fe ₃ O ₄	Al ₂ O ₃	GO
Kaynak	Zahmatkesh vd. [31]	Kaya vd. [29]	Chu vd. [95]
Isı iletim katsayısı	$\frac{k_{nf}}{k_{baz}} = \frac{-m(k_f - k_p)\varphi + (k_p - k_f)\varphi + m k_f + k_p + k_f}{m k_f + (k_f - k_p)\varphi + k_f + k_p}$	$\frac{k_{nf}}{k_{baz}} = 1 + C_k \varphi$	$\frac{k_{nf}}{k_{baz}} = \frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\varphi(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + \varphi(k_f - k_p)}$
Viskozite “μ”	$\mu_{nf} = \mu_{baz} (1 + A_1\varphi + A_2\varphi^2)$		$\mu_{nf} = \mu_{baz} (1 + A_1\varphi + A_2\varphi^2)$ $\mu_{nf} = \frac{\mu_{su}}{(1 - \varphi)^{2,5}}$

Yoğunluk “ ρ ”	$\rho_{eff} = \rho_{baz}\varphi + \rho_{np} (1 - \varphi)$
Özgül ısı “ C_p ”	$(\rho C_p)_{eff} = (\rho C_p)_{baz} \varphi + (\rho C_p)_f (1 - \varphi)$

Yukarıdaki bağıntılarda ρ , μ , k , C_p ve φ sırasıyla nanoakışkanın yoğunluğu, dinamik viskozitesi, ısıl iletkenliği, özgül ısıyı ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranıdır. “m ve n” harflerinin her ikisi de şekil faktörünü ifade etmektedir fakat, kullanılan modellerin orijinaline sadık kalınması açısından ikisi de aynı harfle ifade edilmemiştir. Alt indisler p nanopartikülü, nf ve bf ise sırasıyla nanoakışkanı ve baz akışkanı ifade etmektedir. Eşitlikler (4.14 - 4.20) yardımıyla EES (Engineering Equation Solver) programında gerçekleştirilen hesaplamalardan bir kesit Şekil 4.7’de gösterilmiştir ve HAD analizlerinde kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri Çizelge (4.9-4.11)’de verilmiştir.

```

EES Professional: E:\Effect of nanoparticle shape\FE3O4 analizleri\Nano_Eqs.EES - [Formatted]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Cengel & Boles
Isi iletim katsayisi Denklemi

$$K_{nf} = \left[ \frac{-m \cdot (K_f - K_p) \cdot \phi + (K_p - K_f) \cdot \phi + m \cdot K_f + K_p + K_f}{m \cdot K_f + (K_f - K_p) \cdot \phi + K_f + K_p} \right] \cdot K_f$$

Kp = 6
Kf = 0.615
m = 4.8
phi = 0.04
rho yogunluk denklemi

$$P_{nf} = P_f \cdot (1 - \phi) + \phi \cdot P_s$$

Pf = 996.09
Ps = 5200
Cp ozgul isi denklemi

$$C_{p_{nf}} \cdot P_{nf} = P_f \cdot C_{p_f} \cdot (1 - \phi) + P_s \cdot C_{p_s} \cdot \phi$$

Cpf = 4071.7
Cps = 670
Viskozite Denklemi

$$\mu_{nf} = \mu_f \cdot (1 + A_1 \cdot \phi + A_2 \cdot \phi^2)$$

mu_f = 0.000832
A1 = 13.5
A2 = 904.4

```

Şekil 4.7. EES Programında termofiziksel özelliklerin hesaplandığı aşamadan bir kesit.

Çizelge 4.9. Al₂O₃-su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri (T=300 K).

Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri					
Hacimsel Konsantrasyon	Nanopartikül Şekli	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)
%1	(Brick)	1026.73	4047	0.6273	0.00094
	(Cylindrical)	1026.73	4047	0.6235	0.00103
	(Platelets)	1026.73	4047	0.6227	0.00128
%2	(Brick)	1056.46	3922.41	0.6479	0.00109
	(Cylindrical)	1056.46	3922.41	0.6401	0.00119
	(Platelets)	1056.46	3922.41	0.6385	0.00177
%3	(Brick)	1086.19	3804.65	0.6683	0.00132
	(Cylindrical)	1086.19	3804.65	0.6567	0.00148
	(Platelets)	1086.19	3804.65	0.6544	0.00237
%4	(Brick)	1115.92	3693.17	0.6888	0.00163
	(Cylindrical)	1115.92	3693.17	0.6734	0.00179
	(Platelets)	1115.92	3693.17	0.6703	0.00308

Çizelge 4.10. GO-su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri (T= 300 K).

GO-Su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri						
Hacimsel Konsantrasyon	Nanopartikül Şekli	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)	
					Eş.4.19'a göre	Eş.4.20'ye göre
%1	(Brick)	1007	4002	0.6357	0.000913	0,000853
	(Cylindrical)	1007	4002	0.6393	0.00107	-
	(Platelets)	1007	4002	0.6311	0.00129	-
%2	(Brick)	1018	3933	0.6565	0.000936	0,000875
	(Cylindrical)	1018	3933	0.6636	0.00142	-
	(Platelets)	1018	3933	0.6471	0.00179	-
%3	(Brick)	1029	3866	0.6772	0.000957	0,000898
	(Cylindrical)	1029	3866	0.6879	0.00193	-
	(Platelets)	1029	3866	0.6632	0.0024	-
%4	(Brick)	1040	3800	0.6979	0.00098	0,000921
	(Cylindrical)	1040	3800	0.7122	0.0026	-
	(Platelets)	1040	3800	0.6792	0.00312	-

Çizelge 4.11. Fe₃O₄-su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri (T=300 K).

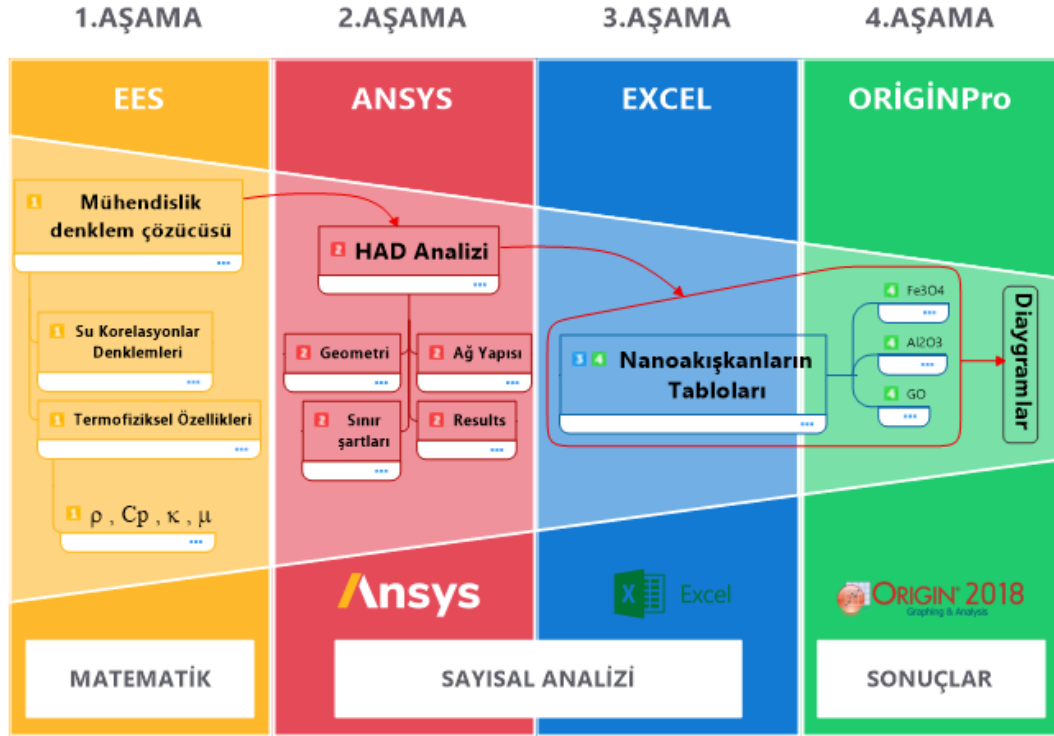
Fe₃O₄-Su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri					
Hacimsel Konsantrasyon	Nanopartikül Şekli	ρ (kg/m³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)
%1	(Brick)	1038	3901	0.6364	0.000887
	(Cylindrical)	1038	3901	0.6387	0.00102
	(Platelets)	1038	3901	0.6403	0.00119
%2	(Brick)	1080	3744	0.658	0.00102
	(Cylindrical)	1080	3744	0.6626	0.00136
	(Platelets)	1080	3744	0.6659	0.00165
%3	(Brick)	1122	3599	0.6799	0.00123
	(Cylindrical)	1122	3599	0.6868	0.00185
	(Platelets)	1122	3599	0.6918	0.00222
%4	(Brick)	1164	3464	0.702	0.00152
	(Cylindrical)	1164	3464	0.7113	0.00249
	(Platelets)	1164	3464	0.718	0.00288

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı şekil yapılarına (brick, platelet, silindirik) sahip nanopartiküller ile oluşturulan nanoakışkanların ($Al_2O_3-H_2O$, $Fe_3O_4-H_2O$, $GO-H_2O$) dairesel kesitli bir borudaki laminer akış koşullarında ($500 \leq Re \leq 2000$), akış ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlene yapabilen ANSYS Fluent 2020 R2 kodu kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar için gerekli olan, nanoakışkanların termofiziksel özellikleri literatürdeki çalışmalardan alınan ve bir önceki bölümde belirtilen modeller kullanılarak, EES (Engineering Equation Solver) programı ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerler EXCEL programında tablolara dönüştürülmüştür (Çizelge 4.8-4.10). ANSYS Fluent 2020 R2 programı ile elde edilen çıkış sıcaklığı, basınç değeri ve çeper sıcaklığı değerlerinin yardımı ile ısı taşınım katsayısı (h), Nusselt sayısı (Nu), basınç düşüşü (ΔP), Darcy sürtünme faktörü (f) ve Performans değerlendirme kriteri (PDK) hesaplanmıştır. ORIGINPro 2018 programı vasıtasıyla elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunularak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tüm bu süreçler görsel olarak Şekil 5.1’de belirtilmiştir.

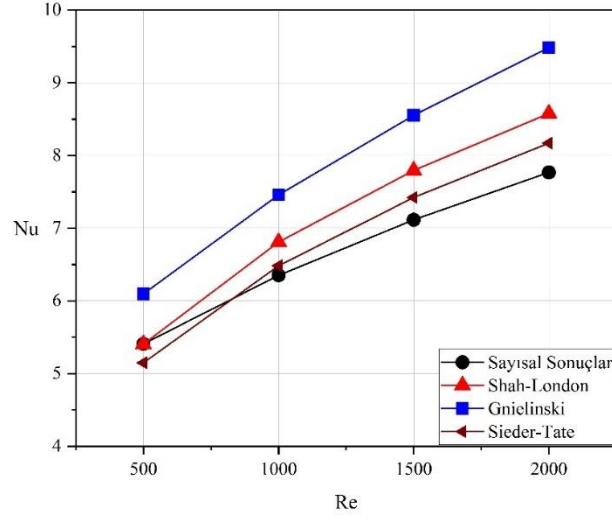
DAİRESEL BİR BORUDAKİ ZORLANMIŞ TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNE NANOPARTİKÜL ŞEKİL ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZLERİN AKIŞ ŞEMASI



Şekil 5.1. Sayısal analiz sürecini gösteren akış şeması.

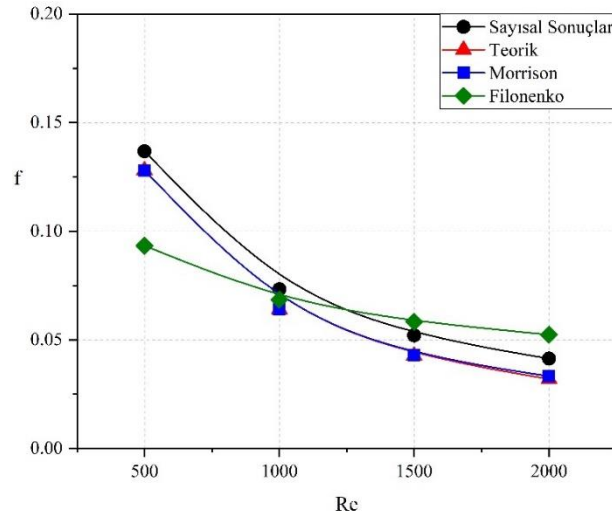
Doğrulama çalışmaları için öncelikle çalışma akışkanı olarak saf suyun laminar akış şartlarındaki analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen veriler kullanılarak, farklı Re değerleri için ortalama Nu değerleri elde edilmiştir. Saf suya ait sayısal analiz sonuçları literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılarak doğrulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2’de laminar akış şartları aralığında değişen Re değerlerinde ($500 \leq Re \leq 2000$) ortalama Nu değerleri değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.2’den görülebileceği üzere, Sieder-Tate [74] tarafından önerilen korelasyonla $\pm\%7,31$ hata oranı içinde kalarak söz konusu korelasyon ile uyum içinde olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, sayısal sonuçların Shah-London korelasyonuna [71] göre ise hata oranının $\pm\%7,66$, Gnielinski korelasyonuna [72] göre ise $\pm\%10,99$ aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçların ışığında, gerçekleştirilen sayısal

çalışma sonuçlarının literatürde sıklıkla kullanılan korelasyonlar ile uyumlu olduğu saptanmıştır.



Şekil 5.2. Sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması.

Şekil 5.3'de ise çalışma akışkanı saf su kullanılarak elde edilen ortalama Darcy sürtünme faktörünün, literatürde yaygın olarak kullanılan Morrison ve Filonenko [77-78] korelasyonlarıyla karşılaştırılması sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar korelasyonlar ile kıyaslandığında, hata oranının $\pm\%1$ değere sahip olduğu ve literatürdeki korelasyonlarla iyi bir uyum sergilediği söylenebilir.



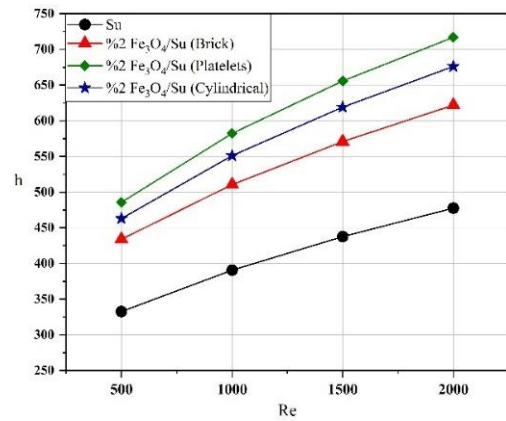
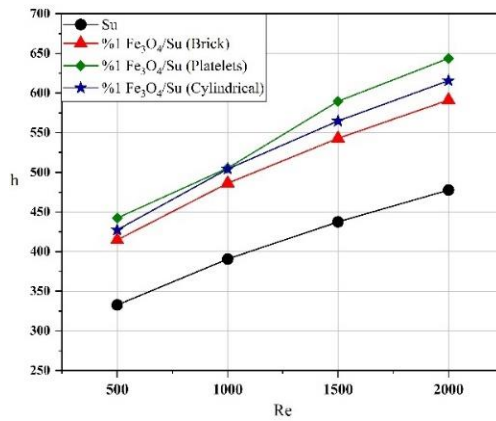
Şekil 5.3. Sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçlarının literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması.

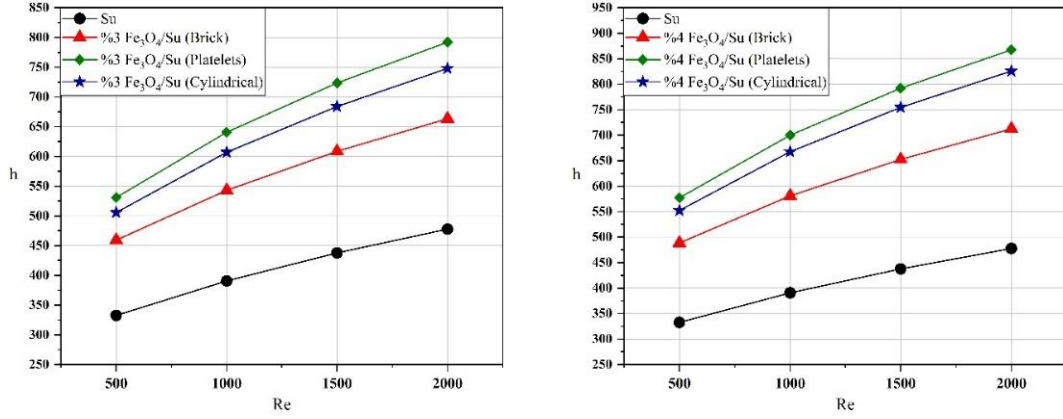
5.1. Fe₃O₄ -SU NANOAKIŞKANINA AİT SONUÇLAR

5.1.1. Fe₃O₄'e İlişkin Elde Edilen Isı Taşım Katsayısı “h” Sonuçları

Isı taşım katsayısı (h) Eşitlik 3.4'ten hesaplanmış olup Fe₃O₄ - su ve üç farklı nanopartikül şeklini içeren nanoakışkanlar için Reynold sayısı (Re) değişimi ile elde edilen ısı taşım katsayısı değerleri Şekil 5.4'teki grafiklerde verilmiştir.

Grafikler incelendiğinde, nanoakışkanların nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları ve Re Sayılarının artışı ile “h” değerlerinde de artış gerçekleştiği anlaşılmaktadır. En yüksek ısı taşım katsayısı “h” değeri, %4'lük hacimsel konsantrasyon için, $Re=2000$ 'de $867,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile platelet şekilli nanoakışkana aittir, silindirik şekilli nanoakışkanın “h” değeri $825,76 \text{ W/m}^2\text{K}$, brick şekli içinse bu değer $712,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. $Re=2000$ 'deki %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanların platelet, silindirik ve brick şekli için suya göre “h” değerlerindeki yüzdelik artış oranları sırasıyla; %81,66, %72,88 ve %49,16'dır. Bu değerler %1'lik nanopartikül hacimsel konsantrasyonunda $Re=2000$ için, platelet, silindirik ve brick şekil yapıları için sırasıyla, “ $643,71 \text{ W/m}^2\text{K}$ ”, “ $615,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ ”, “ $591,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ ”dir ve suya göre “h” değerlerindeki artış oranları aynı sırayla; %34,77, %28,88 ve %23,77'dir.

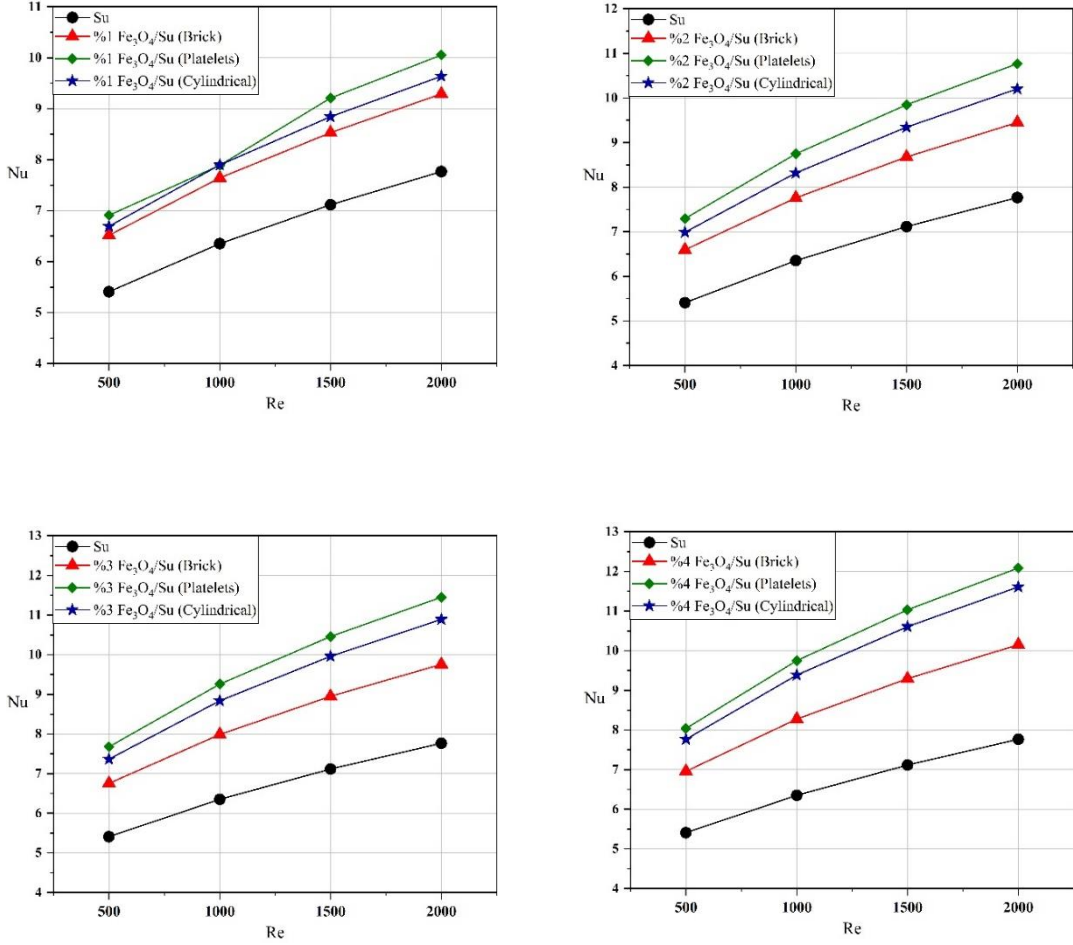




Şekil 5.4. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h, değerinin değişimi ($\phi = \%1-2-3-4$, Fe₃O₄/su nanoakışkanı).

5.1.2. Fe₃O₄'e İlişkin Elde Edilen Nusselt Sayısı “Nu” Sonuçları

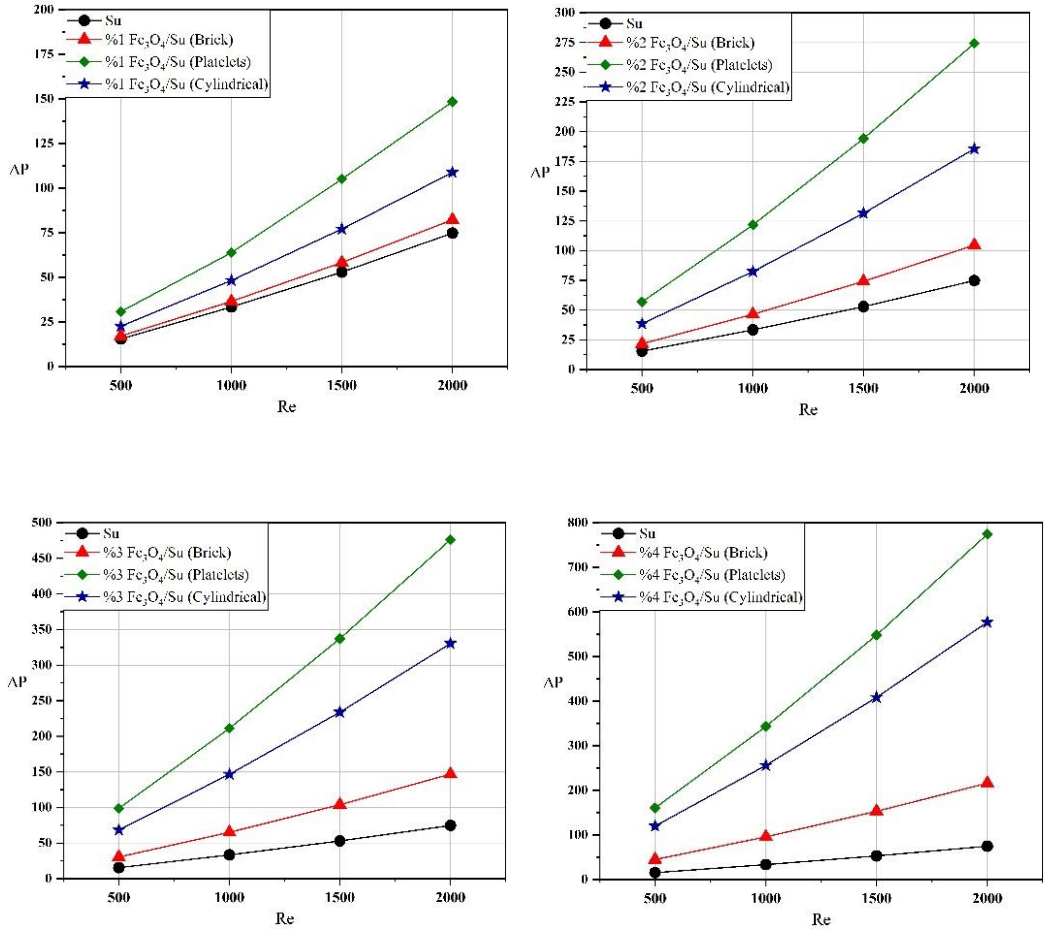
Sayısal analiz sonuçları dikkatle incelendiğinde, tüm durumlarda platelet şekilli Fe₃O₄-su nanoakışkanının en yüksek Nusselt sayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun ısı taşınım katsayısı değerleri ile benzerlik göstermesi tesadüf değildir. Çünkü Nusselt sayısının hesaplanmasında etkili olan faktörler incelendiğinde, h ısı taşınım katsayısı ile “Nu” değeri arasında doğru orantı vardır. Bu yüzden de bu iki özellik için benzer grafiklerin ortaya çıktığı Şekil 5.5’te görülmektedir. En yüksek “Nu” değerlerinin gözlemlendiği platelet şeklini, sırayla silindirik ve brick şekilleri takip eder. Nanoakışkanların %4’lük nanopartikül hacimsel konsantrasyonu için $Re=2000$ ’de; platelet, silindirik ve brick şekillerine ait “Nu” değerleri sırasıyla “12,08”, “11,61” ve “10,15”’tir. Bu değerler suyun değerleri ile kıyaslandığında Nu değerlerindeki artış oranları platelet, silindirik ve brick için sırasıyla; %55,50, %49,48, %30,68’dir. %1’lik nanopartikül hacimsel konsantrasyonundaki nanoakışkan için “Nu” değerleri $Re=2000$ ’de platelet, silindirik ve brick şekilleri için sırasıyla; “10,05”, “9,64” ve “9,29”dur ve suya göre artış oranları aynı sırayla; %29,44, %24,1 ve %19,61’dir.



Şekil 5.5. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak “Nu” sayısının değişimi (ϕ =%1-2-3-4, Fe₃O₄/su nanoakışkanı).

5.1.3. Fe₃O₄'e İlişkin Elde Edilen Statik Basınç Düşüşü “ ΔP ” Sonuçları

Su içerisine nanopartikül eklemenin basınç düşümü değerini hız ile doğru orantılı olarak arttırdığı Eş. (3.11)'den anlaşılmaktadır. Bu bağlamda Reynold sayısı arttıkça “ ΔP ” değerinin de arttığı hesaplamalar sonucunda tespit edilmiştir. Sayısal analiz sonuçlarına göre, maksimum basınç düşümü $Re=2000$ ve %4 hacimsel konsantrasyona sahip platelet şekilli Fe₃O₄-su nanoakışkanı için 774,386 Pa'dır ve suya göre %935,81 daha fazladır. Statik basınç farkı değerlerinin büyükten küçüğe doğru sırayla, platelet, silindirik ve brick şekillerine ait olduğu gözlemlenmiştir. %1'lik hacimsel konsantrasyonun $Re=2000$ 'deki değerleri platelet, silindirik ve brick şekilleri için sırayla; “148,43 Pa”, “108,829 Pa”, “82,3 Pa”dır. Sayısal hesaplamalar sonucunda Fe₃O₄ nanopartiküllü nanoakışkanların basınç düşümü “ ΔP ” değerlerinin değişimi Şekil 5.6'daki grafiklerde belirtilmiştir.

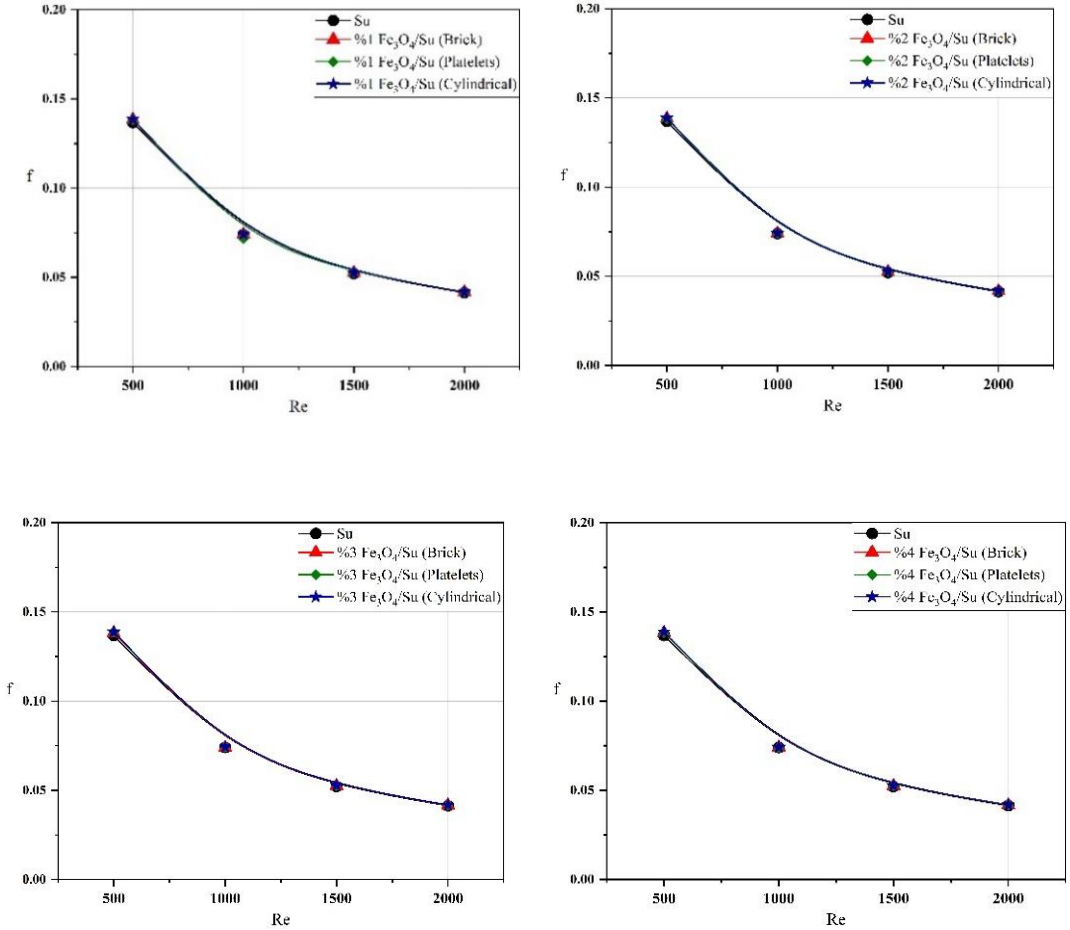


Şekil 5.6. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP , değerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, Fe_3O_4/su nanoakışkanı).

5.1.4. Fe_3O_4 'e İlişkin Elde Edilen Darcy Sürtünme Katsayısı “ f ” Sonuçları

Darcy sürtünme faktörü, saf su ve nanoakışkanlar için Eş. (3.11) yardımı ile hesaplanmıştır. “ f ” değerleri, hızla ters orantılı olduğu için genel olarak bütün hacimsel konsantrasyonlarda artan “ Re ” değerleri ile birlikte azalma eğilimi göstermektedir. Şekil 5.7’de aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, farklı şekil yapılarındaki Fe_3O_4 -su nanoakışkanına ait Darcy sürtünme faktörü değerlerinin, Reynold sayısına göre değişimini gösteren grafiklerden de görülebileceği gibi “ f ” değerleri aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyonlarına sahip nanoakışkanın tüm nanopartikül şekilleri için neredeyse aynı değerlerde hesaplanmıştır ve bu değerler suyun değerlerine çok yakındır. $\phi=1$, $Re=500$ ’de Fe_3O_4 -su nanoakışkanının Darcy sürtünme faktörü değerleri platelet, brick ve silindirik

şekilleri için sırasıyla; “0,13833”, “0,13855”, “0,13855” olarak hesaplanmıştır ve suya göre aynı sırayla “%1,11”, “%1,27”, “%1,27” fazladır. Bu değerler $\phi=4$ ve $Re=500$ platelet, brick ve silindirik şekilleri için sırasıyla; “0,13846”, “0,13829”, “0,13881” dir ve suya göre aynı sırayla “%1,21”, “%1,09”, “%1,46” daha fazladır.



Şekil 5.7. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi=0\%$ 1-2-3-4, Fe₃O₄/su nanoakışkanı).

5.1.5. Fe₃O₄'ün Brick Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Şekil 5.8’de brick şekil yapısına sahip Fe₃O₄-su nanoakışkanına ait “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir. Tüm grafikler incelendiğinde Fe₃O₄-su nanoakışkanının ısı transferi karakteristiklerinin baz akışkan suya göre daha iyi performans sergilediği bununla birlikte kanal içi basınç düşümü değerlerini de arttırarak akış karakteristiklerini istenmeyen (pompalama gücünün artması) yönde etkilediği görülebilir.

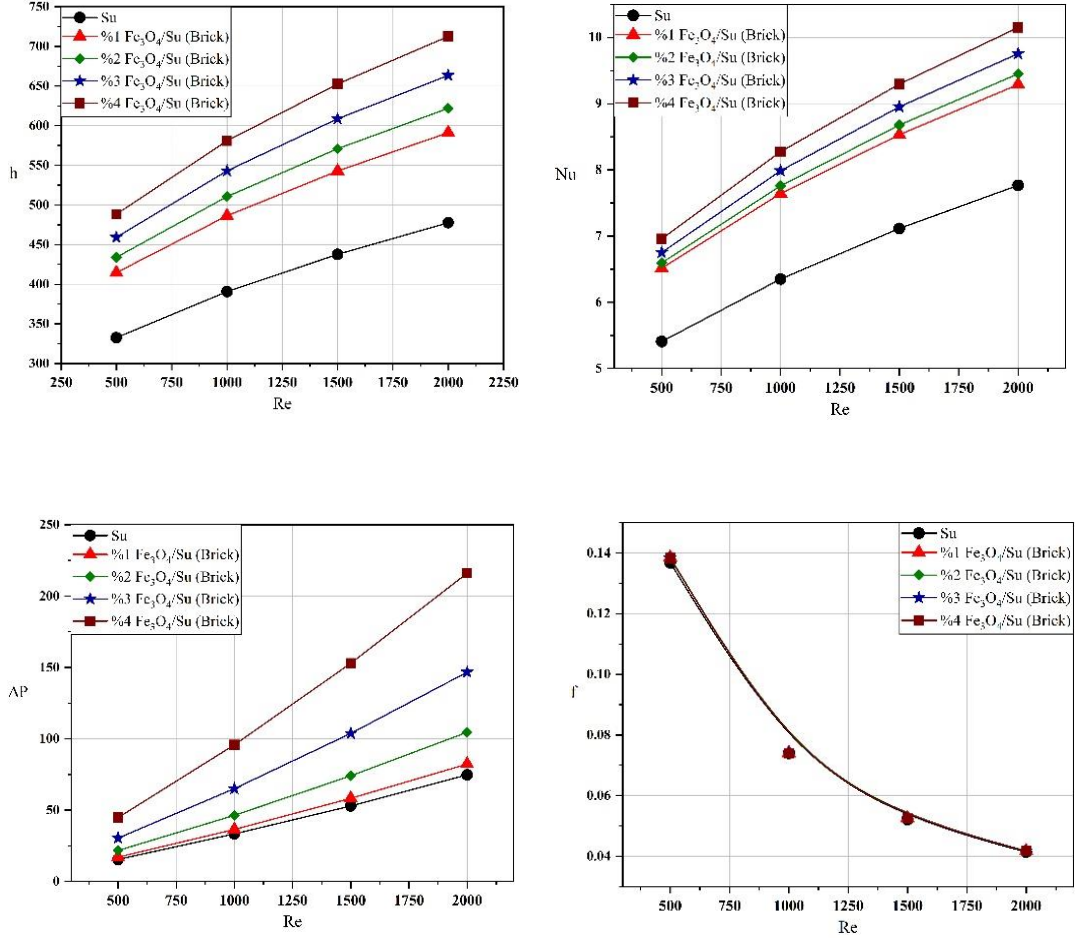
Brick şekil yapısındaki Fe₃O₄-su nanoakışkanı için, en yüksek ısı taşınım katsayısı “*h*” artışı %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip $Re=2000$ 'deki nanoakışkanda 712 W/m²K olarak hesaplanmıştır. En düşük değeri ise %1 brick şekil yapısında nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=500$ için 414,59 W/m²K hesaplanmıştır. Brick şeklindeki %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanın $Re=2000$ 'deki değerleri “591,19 W/m²K”dir.

Brick şekil yapısındaki Fe₃O₄-Su nanoakışkanı için, en düşük “Nu” değeri %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=500$ için 6,51 değerinde hesaplanmıştır. En yüksek “Nu” değeri ise %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=2000$ 'de 10,15 değerinde hesaplanmıştır. %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanın $Re=500$ ve $Re=2000$ 'deki “Nu” değerleri ise sırasıyla; 6,51 ve 9,29'dur. Şekil 5.8'de farklı hacimsel konsantrasyonlardaki brick şekline sahip Fe₃O₄-Su nanoakışkanının “Re” değerinde ki artışa bağlı olarak, “*h*”, “Nu”, “ ΔP ”, “*f*” değerlerinde meydana gelen değişimler grafikler ile gösterilmektedir. Tüm hacimsel konsantrasyon oranlarında, düşük Re sayısı değerlerinde ısı transferi karakteristiklerine ait değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Brick şekil yapısındaki Fe₃O₄-Su nanoakışkanının düşük Reynold sayılarındaki farklı konsantrasyonlar arasındaki statik basınç farkı “ ΔP ” değerlerinin çok az olduğu görülmektedir. Reynold sayısı arttıkça “ ΔP ” değeri de artış göstermiştir. En yüksek “ ΔP ” değeri %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkan için, $Re=2000$ değerinde, 216 Pa'dır. Bu değer suya göre %188,96 daha fazladır. ($Re=2000$ için su 74,76 Pa).

Brick şekilli nanopartikül içeren Fe₃O₄-Su nanoakışkanının viskozitesi saf suyun viskozitesinden daha büyük değere sahiptir. Brick şekilli Fe₃O₄-su nanoakışkanı için Darcy sürtünme faktörü değerlerinin, tüm nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için suyun değerine çok yakın olmakla birlikte, suyun değerinden (%1,27 ile %0,77 aralığında değişen) fazla olduğu hesaplanmıştır. Tüm hacimsel konsantrasyon oranlarının aynı Reynold değerleri için hesaplanan “*f*” değerleri hemen hemen

birbirine eşittir. %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda, $Re=1000$, $Re=1500$ ve $Re=2000$ için “ f ” değerleri sırasıyla; “0,07396”, “0,05248”, “0,04169”dur.



Şekil 5.8. Brick şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi (ϕ =%1-2-3-4, Fe₃O₄/su nanoakışkanı).

5.1.6. Fe₃O₄’ün Platelet Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

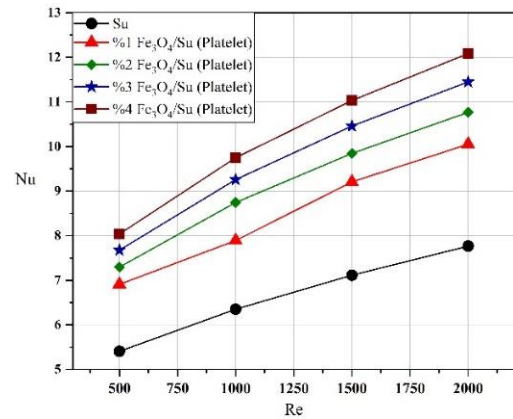
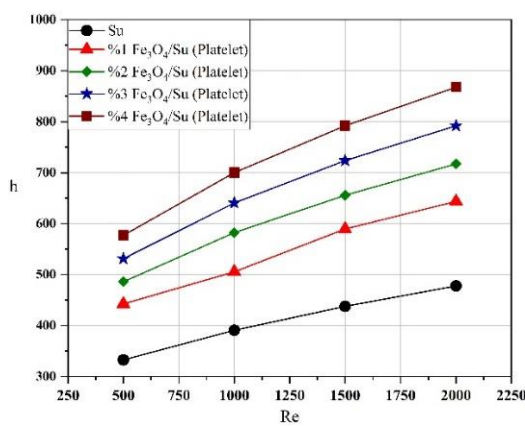
Platelet şekilli Fe₃O₄-Su nanoakışkan ve brick şekil yapısına sahip Fe₃O₄-su nanoakışkan grafikleri ile benzer eğilim göstermiştir. Ancak ısı taşınım katsayısı “ h ” in en yüksek değerinin, %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkandaki platelet şekilli Fe₃O₄-Su nanoakışkanında $Re=2000$ ’de, 867 W/m²K olduğu görülmüştür ve bu değer suyun $Re=2000$ ’deki “ h ” değerinden %81,66 daha fazladır. Ek olarak platelet şekil yapısına sahip Fe₃O₄-Su nanoakışkanlarının %3 ve %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için taşınım ile ısı transferi

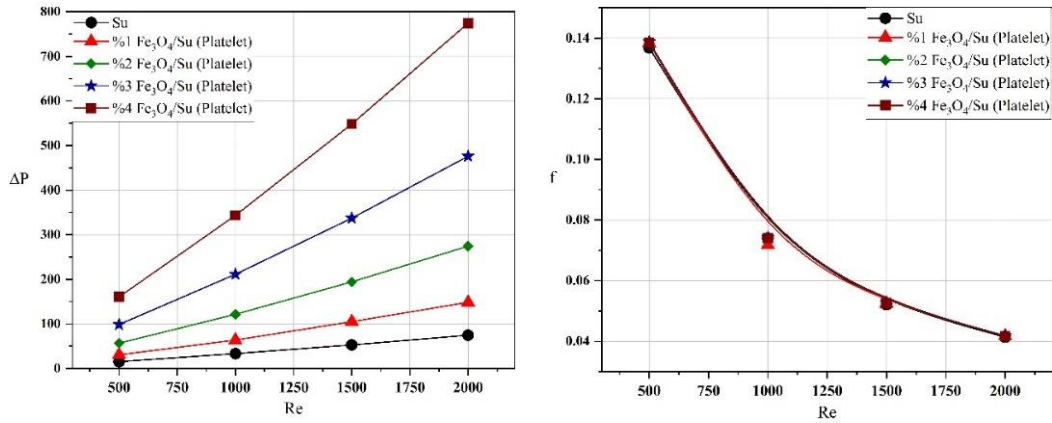
katsayılarının (h), $Re=500-2000$ aralığındaki tüm değerlerinde suyun h değerinden %50 ve üzerinde olduğu saptanmıştır.

Şekil 5.9'daki farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarındaki platelet şekil yapısına sahip Fe_3O_4 -su nanoakışkanına ait " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimini gösteren grafikler incelendiğinde, platelet şekline ait grafiklerin Nusselt sayısında Şekil 5.8'de gösterilen brick şekline sahip Fe_3O_4 -Su nanoakışkan grafiklerindeki Nu değerlerine kıyasla önemli oranda artış olduğu gözlemlenmiştir. Platelet şekli için Nusselt sayısının en yüksek değerinin, %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=2000$ için "12,08" olduğu, en düşük değerinin $Re=500$ 'de "6,91" olduğu tespit edilmiştir.

Basınç farkının en yüksek değeri yine %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda 774,386 Pa olarak hesaplanmıştır. Buradan diğer nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına kıyasla pompa gücü ihtiyacının daha büyük olduğu sonucu çıkartılabilir. Su ile kıyaslandığında, 10 kat daha fazla basınç farkı değeri bulunmaktadır. ($Re=2000$ için su; 74,76 Pa)

Darcy sürtünme faktörünün %1'den %4'e kadar olan tüm hacimsel konsantrasyonlarda, sudan çok az farkla daha fazla değerlerde olduğu görülmüştür. Platelet şeklinde nanopartikül içeren nanoakışkan grafiklerinin hepsinde " h ", " f ", " Nu ", " ΔP " değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralaması; su, %1, %2, %3, ve %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranındaki nanoakışkanlara aittir.





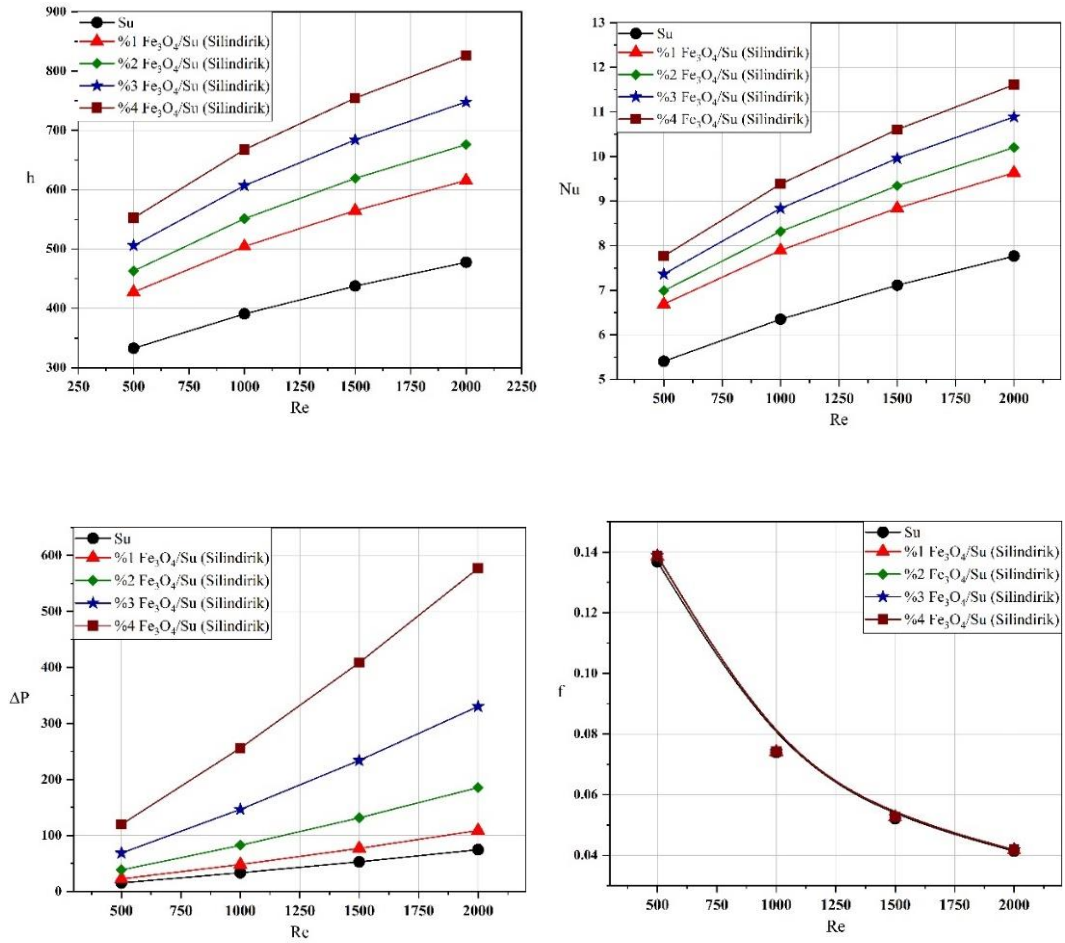
Şekil 5.9. Platelet şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi (ϕ =%1-2-3-4, Fe_3O_4/su nanoakışkanı)

5.1.7. Fe_3O_4 'ün Silindirik Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Silindirik şekilli Fe_3O_4 -Su nanoakışkanı için ısı taşınım katsayısı “ h ”ın en yüksek değerinin, %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=2000$ için $825,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve suya göre %72,88 daha fazla olduğu görülmüştür. %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip akışkanın $Re=2000$ 'deki “ h ” değeri $615,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir.

Silindirik şekildeki nanopartiküle sahip Fe_3O_4 -su nanoakışkanda en yüksek Nusselt Sayısı değeri %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanının $Re=2000$ için “11,61”, en düşük değeri ise %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=500$ için 6,69 olarak hesaplanmıştır.

Basınç farkının en yüksek değeri yine %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=2000$ için $576,94 \text{ Pa}$ olarak hesaplanmıştır ve suyun $Re=2000$ 'deki ΔP değerinden ($74,76 \text{ Pa}$) 7,7 kat daha büyüktür. %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda, $Re=2000$ için bu değer $108,83 \text{ Pa}$ 'dır. Burdan yine %4'lük nanoakışkanın, diğer nanoakışkanlara oranla pompa gücü ihtiyacının daha büyük olduğu sonucu çıkartılabilir. Darcy sürtünme faktörü %1 ve %2'lik nanoakışkanlarda suya çok yakınken, %3 ve %4'lük nanoakışkanlar için bu değer oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. Silindirik şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi (ϕ =%1-2-3-4, Fe₃O₄/su nanoakışkanı).

5.2. GO-SU NANOAKIŞKANIN SONUÇLARI

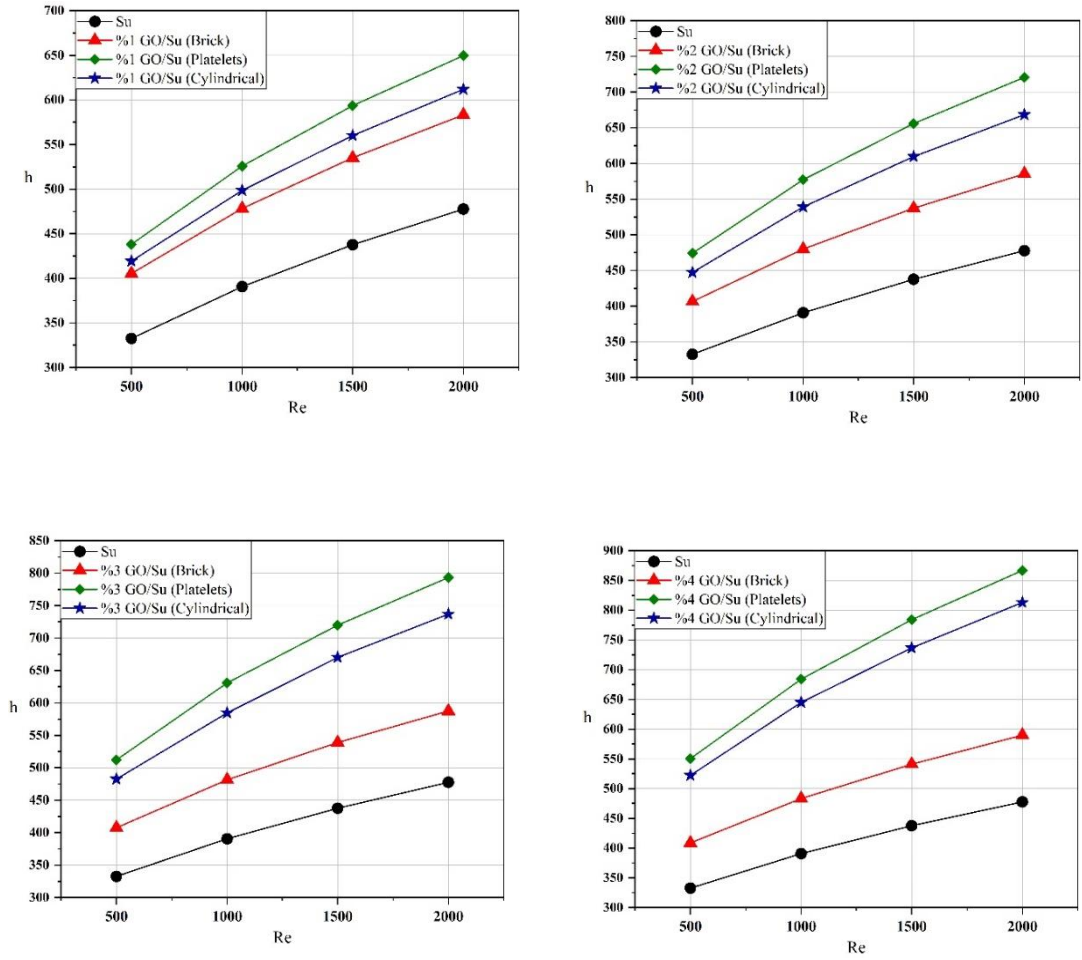
5.2.1. GO’ e İlişkin Elde Edilen Isı Taşınım Katsayısı “ h ” Sonuçları

Isı taşınım katsayısı (h) Eşitlik 3.4’ten hesaplanmış olup Grafen Oksit’e ait (GO) üç farklı şekil yapısı içeren GO-Su nanoakışkanı için Reynold sayısı (Re) değişimi ile elde edilen ısı taşınım katsayısının sayısal değerleri Şekil 5.11’deki grafiklerde verilmiştir.

Aşağıdaki grafikler incelendiğinde, artan hacimsel konsantrasyon oranı ile en iyi ısı transfer katsayısı özelliği platelet şekilli GO-Su nanoakışkanında elde edilmiş olup,

bunu sırayla silindirik ve brick takip etmektedir. GO-Su ile Fe_3O_4 -Su grafikleri benzer eğilim göstermiştir.

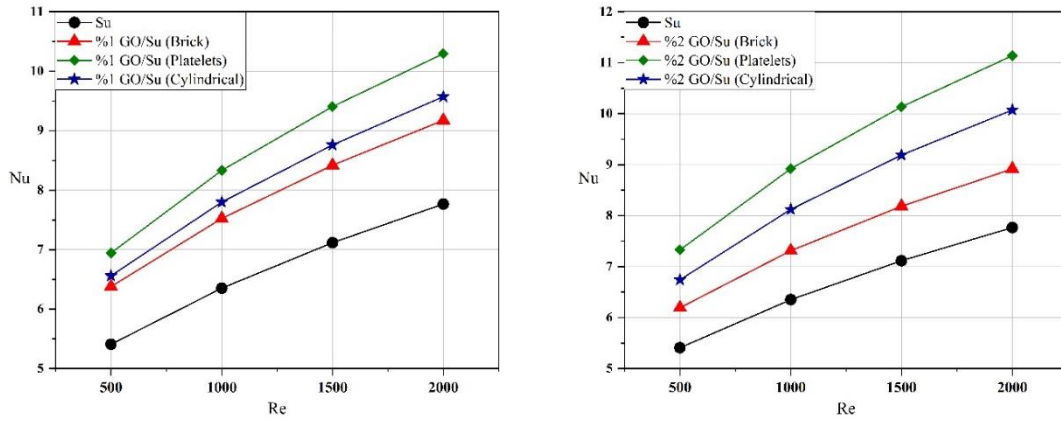
Isı taşınım katsayısının en yüksek değeri %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip platelet şekilli nanoakışkanda $866,93 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyonun her %1'lik artışı ile ısı transfer katsayısında %10'luk artış gerçekleşmiştir.

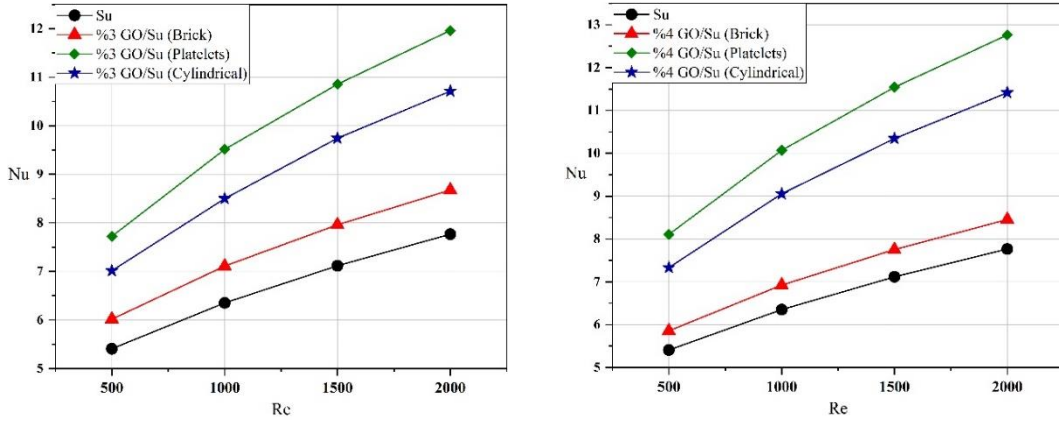


Şekil 5.11. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h, değerinin değişimi ($\phi = \%1-2-3-4$, GO/su nanoakışkanı).

5.2.2. GO'ye İlişkin Elde Edilen Nusselt Katsayısı “Nu” Sonuçları

Sayısal analizlerden elde edilen veriler dikkatle incelendiğinde, platelet şekilli GO-Su nanoakışkanında en yüksek Nusselt sayısı değeri %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip platelet şekilli nanoakışkanda $Re=2000$ için 12,76'ya ulaşmıştır. Bu değer saf suya göre %64,34 daha fazladır (Saf su için; $Nu = 7,66$). Bütün nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarında GO-su nanoakışkanına ait Nusselt değerleri büyükten küçüğe doğru platelet, silindirik ve brick şekillerinde gözlemlenmiştir. $Re=2000$ 'deki %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip GO-su nanoakışkanının silindirik ve brick şekilleri için Nusselt değerleri sırasıyla; “11,42” ve “8,45” şeklindedir. Suya göre artış oranları ise silindirik ve brick için sırasıyla; %46,98 ve %8,84 şeklindedir. Şekil 5.12'de aynı hacimsel konsantrasyon oranına sahip ve farklı şekil yapılarındaki GO-su nanoakışkanına ait Nusselt sayısı değerlerinin, Reynold sayısına göre değişimi detaylı olarak grafiklerle gösterilmiştir.

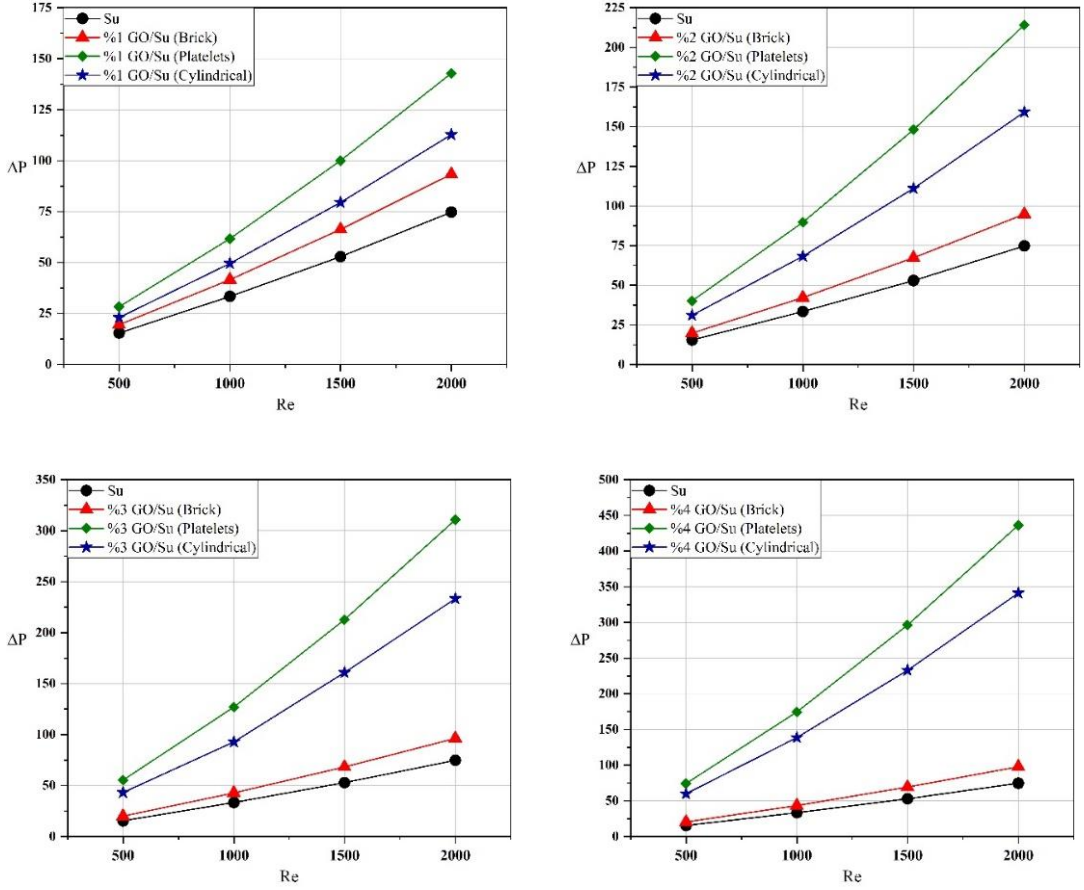




Şekil 5.12. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak “Nu” sayısının değişimi (ϕ =%1-2-3-4, GO/su nanoakışkanı).

5.2.3. GO’ye İlişkin Elde Edilen Statik Basınç Düşüşü “ ΔP ” Sonuçları

Su içerisine nanopartikül eklemenin basınç değerini hız ile doğru orantılı olarak arttırdığından daha önce bahsedilmiştir. Maksimum basınç düşüşü $Re=2000$ değerindeyken, %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyonuna sahip platelet şekilli nanoakışkan için 436,36 Pa’dır ve bu değer suya göre %483,68 fazladır. Fakat Fe_3O_4 nanoakışkanının maksimum değerinden (774,336 Pa) çok daha düşük olduğu görülmektedir. Minimum basınç farkı değeri, %1’lik konsantrasyondaki silindirik şekilli nanoakışkan için $Re=500$ ’de “23,04 Pa” değerindedir. %1’lik nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanda $Re=2000$ için plateletteki değer “142,85 Pa”, brick şekli içinse “112,745”tir. Farklı şekil yapılarında nanopartikül içeren GO-Su nanoakışkanının basınç farkı “ ΔP ” değerlerinin nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına bağlı değişimi şekil 5.13’deki grafiklerde detaylı olarak verilmiştir.

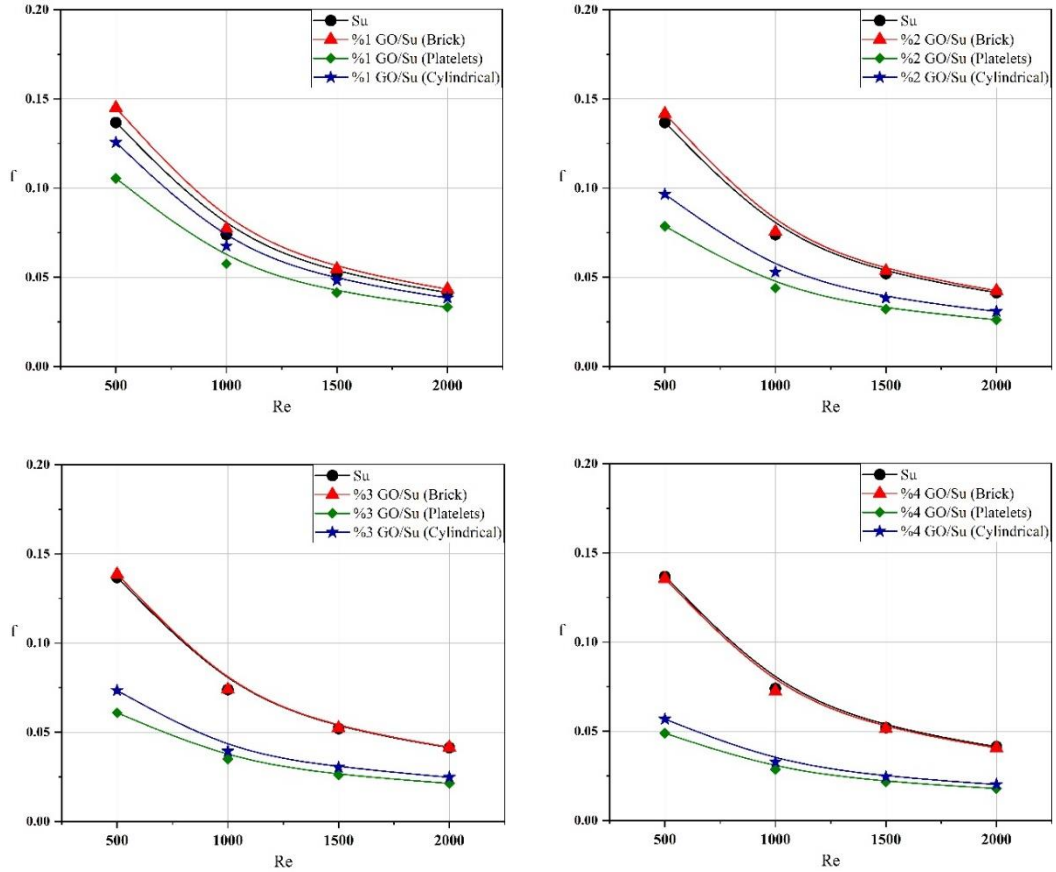


Şekil 5.13. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP , değerinin değişimi (φ =%1-2-3-4, GO/su nanoakışkanı).

5.2.4. GO'ye İlişkin Elde Edilen Darcy Sürtünme Katsayısı “ f ” Sonuçları

Darcy sürtünme faktörü, saf su ve nanoakışkanlar için Eş. (3.11) yardımı ile hesaplanmıştır. “ f ” değerleri, hızla ters orantılı olduğu için genel olarak bütün hacimsel konsantrasyonlarda artan “ Re ” değerleri ile birlikte azalma eğilimi göstermektedir. Şekil 5.7’de aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, farklı şekil yapılarındaki GO-su nanoakışkanına ait Darcy sürtünme faktörü değerlerinin, Reynold sayısına göre değişimini gösteren grafiklerden de görülebileceği gibi “ f ” değerleri aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyonlarına sahip nanoakışkanının platelet ve silindirik şekil yapılarını içerdiği tüm durumlarda “ f ” Darcy sürtünme faktörü değerleri suyun “ f ” değerinin altında kalmıştır. $\varphi=1$, $Re=500$ ’de GO-su nanoakışkanının Darcy sürtünme faktörü değerleri platelet, brick ve silindirik şekilleri için sırasıyla; “0,10556”, “0,145”, “0,12564” olarak

hesaplanmıştır ve suya göre aynı sırayla “(-) %22,84”, “%1,27”, “(-)%8,12” daha düşüktür. Bu değerler $\phi=4$ ve $Re=500$ platelet, brick ve silindirik şekilleri için sırasıyla; “0,0489”, “0,1383”, “0,05684”tür ve suyun değerlerinden aynı sırayla; “(-)%64,26”, “(-)%0,943”, “(-)%58,45” daha düşüktür. $\phi=4$ için $Re=2000$ 'de GO-su nanoakışkanının sırasıyla brick, silindirik ve platelet için f değerleri sırasıyla; “0,04072”, “0,02021”, “0,01795” olup bu değerler suyun değerlerinden sırayla; “%1,6”, “%51,167”, “%56,61” oranında daha azdır. Şekil 5.14’de aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, farklı şekil yapılarındaki GO-su nanoakışkanına ait Darcy sürtünme faktörü değerlerinin, Reynold sayısına göre değişimi detaylı olarak grafiklerle gösterilmiştir.



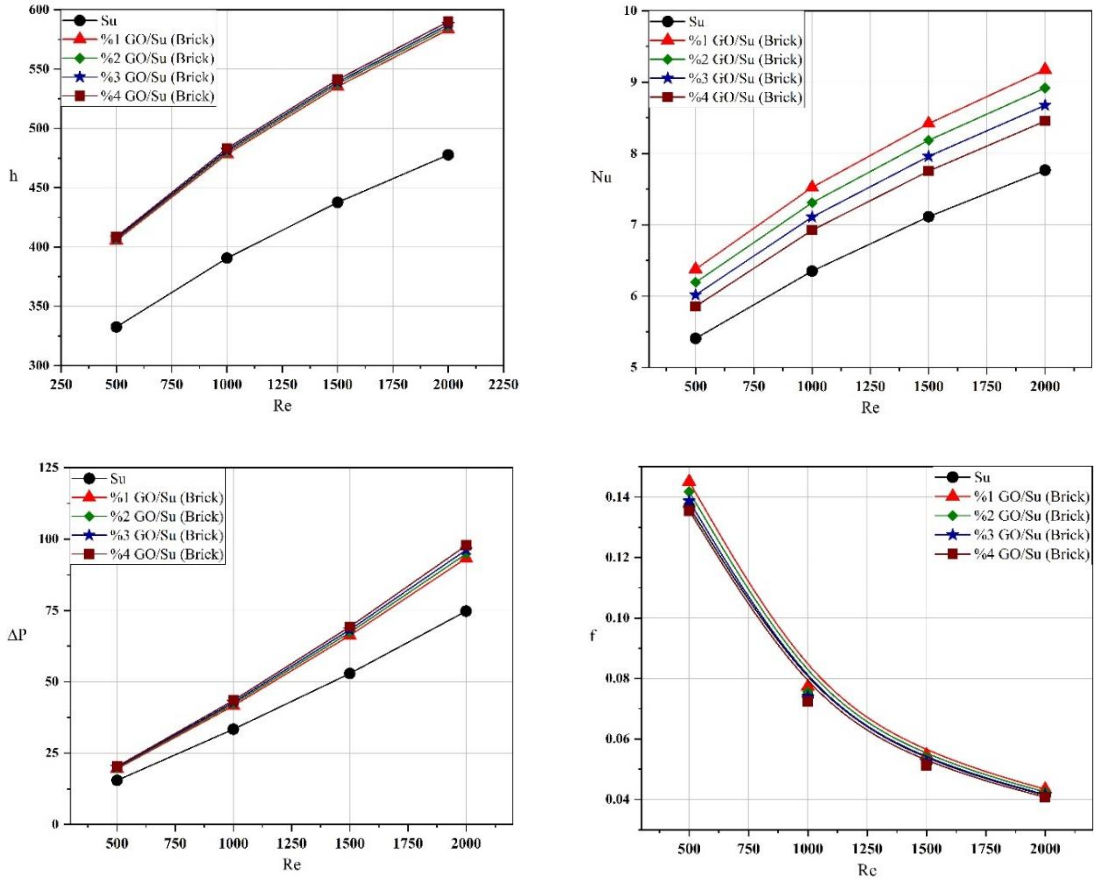
Şekil 5.14. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f, değerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, GO/su nanoakışkanı).

5.2.5. GO'ün Brick Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Brick şekil yapısındaki GO-Su nanoakışkanı için, en yüksek “ h ” artışı %4'lük nanoakışkanda $Re=2000$ için $589,97 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. En düşük değeri ise %1'lik nanoakışkanda $Re=500$ için $405,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Hacimsel konsantrasyonlar arasındaki “ h ” artışı ortalama olarak %0,2'dir. Brick şekil yapısındaki GO-Su nanoakışkanı için, en yüksek “ Nu ” artışı %1'lik nanoakışkanda $Re=2000$ için 9,18 olarak hesaplanmıştır. En düşük değeri ise %4'lük nanoakışkanda $Re=500$ için 5,86'dir.

Brick şekil yapısına sahip GO-Su nanoakışkanında küçük Reynold sayıları için, basınç farkı “ ΔP ” değerinin dikkate alınmayacak kadar küçük değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Reynold sayısı arttıkça “ ΔP ” değeri artmaya başlamıştır. $Re=2000$ değerinde, en yüksek “ ΔP ” değeri %4'lük nanoakışkanda $97,78 \text{ Pa}$ olarak tespit edilmiştir. Bu değer su için $Re=2000$ 'de, $74,76 \text{ Pa}$ 'dır.

Brick şekilli nanopartikül içeren GO-su nanoakışkanında ise “ f ” değerleri $Re=500$ 'de en büyük değerlerini almış ve sudan daha büyük değerlere sahiptir. Reynold sayısı değerleri arttıkça ise GO-su nanoakışkanının “ f ” değerleri suyun değerlerine yaklaşmış ve $Re=2000$ değerinde neredeyse suyla aynı değerleri almıştır. Brick şekil yapısına sahip GO-su nanoakışkanının $Re=500$ 'deki $\phi=1$, $\phi=2$, $\phi=3$, $\phi=4$ için “ f ” değerleri sırasıyla; “0,145065”, “0,1417”, “0,138659”, “0,13829”dur ve bu değerler suyun değerlerinden $\phi=1$, $\phi=2$, $\phi=3$ için sırayla; %6,03, %3,6, %1,35 daha fazlayken; $\phi=4$ için bu değer %0,943 daha düşüktür. Farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, brick şekil yapılarındaki GO-su nanoakışkanlarının “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimi Şekil 5.15'te detaylı olarak gösterilmektedir.



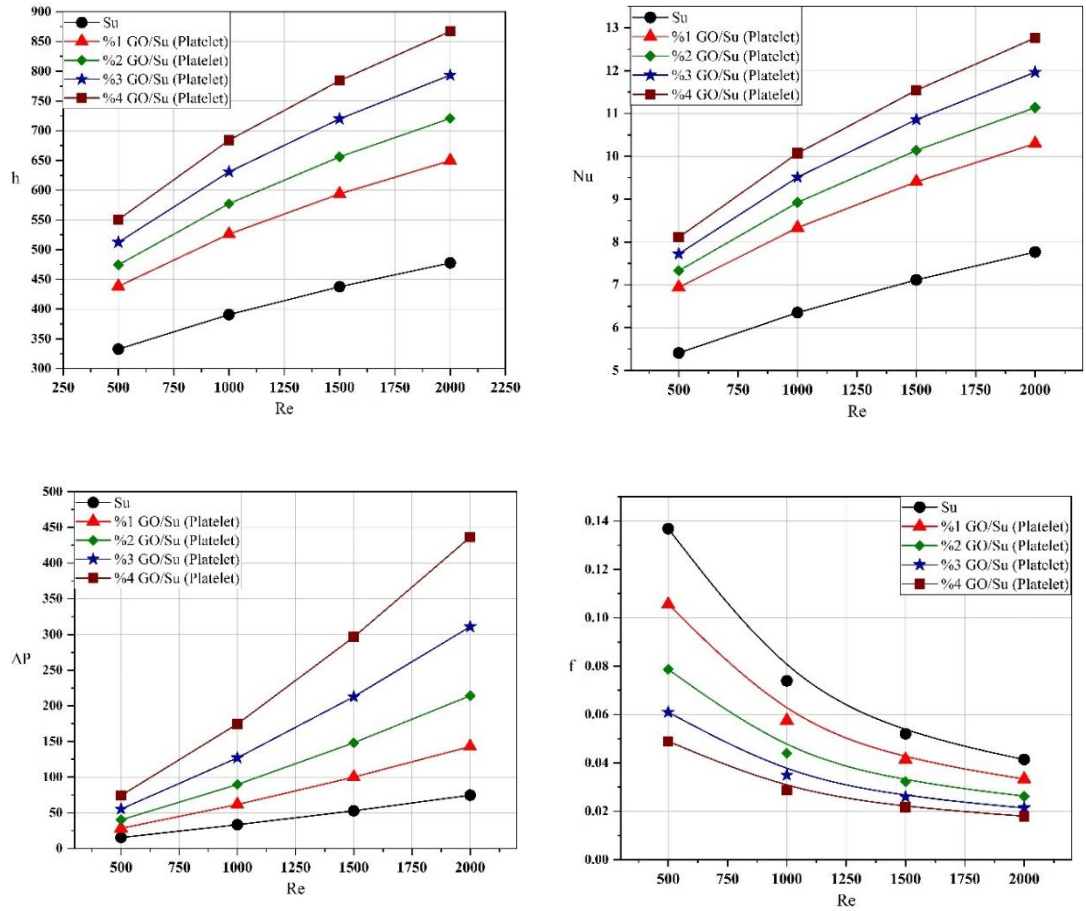
Şekil 5.15. Brick şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi (ϕ =%1-2-3-4, GO/su nanoakışkanı).

5.2.6. GO’ün Platelet Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Platelet şekilli GO-su nanoakışkanında en yüksek “ h ” değeri %4’lük nanoakışkanda $Re=2000$ için, “866,93 W/m²K” olarak hesaplanmıştır. Platelet şekline sahip GO-su nanoakışkanının Nusselt sayısının en yüksek değeri, $Re=2000$ için %4’lük platelet şekil içeren nanoakışkanda 12,76 , en düşük değeri $Re=500$ için %1’lik süspansiyonda 6,94’tür.

Basınç farkının en yüksek değeri yine %4’lük süspansiyonda $Re=2000$ için 436,36 Pa olarak hesaplanmıştır. Tüm konsantrasyon oranlarında brick ve silindirik şekillerle kıyaslandığında, en fazla pompa gücü ihtiyacı platelet şekline sahip GO-su nanoakışkanına aittir.

Saf su, platelet şekilli GO-su nanoakışkanının platelet şekilli tüm hacimsel konsantrasyonlarından daha fazla Darcy sürtünme faktörü değerine sahiptir. Bu değer $Re=2000$ 'de su için 0,041 iken, aynı Reynold sayısı değerindeki GO-Su nanoakışkanın $\phi=1$, $\phi=2$, $\phi=3$, $\phi=4$ konsantrasyonları için sırasıyla; “0,033”, “ 0,026”, “0,021”, “0,017”dir. Şekil 5.16’de farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, platelet şekil yapılarındaki GO-su nanoakışkanına ait “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir.



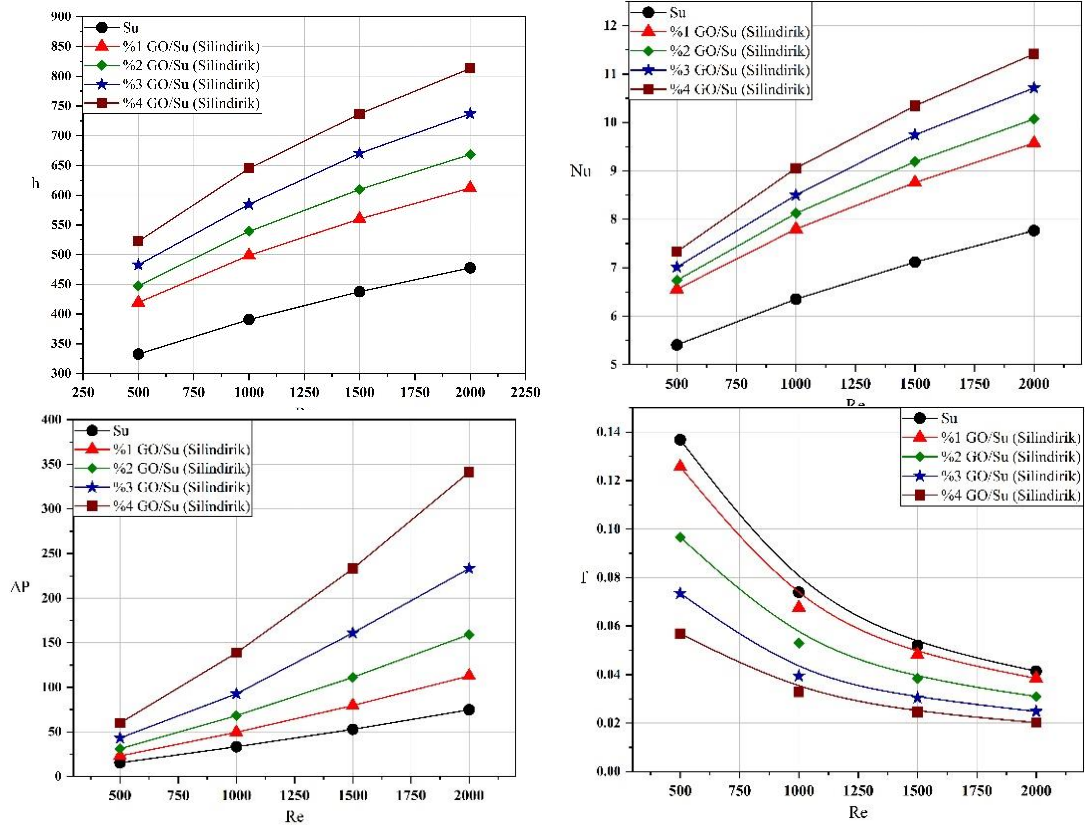
Şekil 5.16. Platelet şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, GO/su nanoakışkanı).

5.2.7. GO’in Silindirik Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Silindirik şekilli GO-su nanoakışkanı ile platelet şekil yapısına sahip GO-su nanoakışkanının grafikleri benzerdir. Isı taşınım katsayısı “ h ”ın en yüksek değeri,

$Re=2000$ 'deki, %4'lük nanoakışkanda $813,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. " h " değeri %1'lik nanoakışkanda $Re=2000$ için değeri 612 Pa 'dır. Silindirik şekil yapısına sahip GO-su nanoakışkanda en yüksek Nusselt Sayısı değeri $Re=2000$ 'de %4'lük nanoakışkan için $11,42$, $Re=2000$ 'deki %1'lik nanoakışkanın " Nu " değeri ise $9,57$ 'dir.

Basınç farkının en yüksek değeri yine %4'lük nanoakışkanda " $341,21 \text{ Pa}$ " olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1'lik nanoakışkan için $Re=2000$ 'de " $112,75 \text{ Pa}$ "dır. Darcy sürtünme faktörü platelet şekil yapısı içeren nanoakışkandaki gibidir. Yani su en yüksek sürtünme faktörü değerine sahipken bunu izleyen değerler büyükten küçüğe doğru sırasıyla %1, %2, %3, %4'lük nanoakışkanlara aittir. Şekil 5.17'de farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarındaki ve silindirik şekil yapılarındaki GO-su nanoakışkanına ait " h "," Nu "," ΔP "," f " değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir.



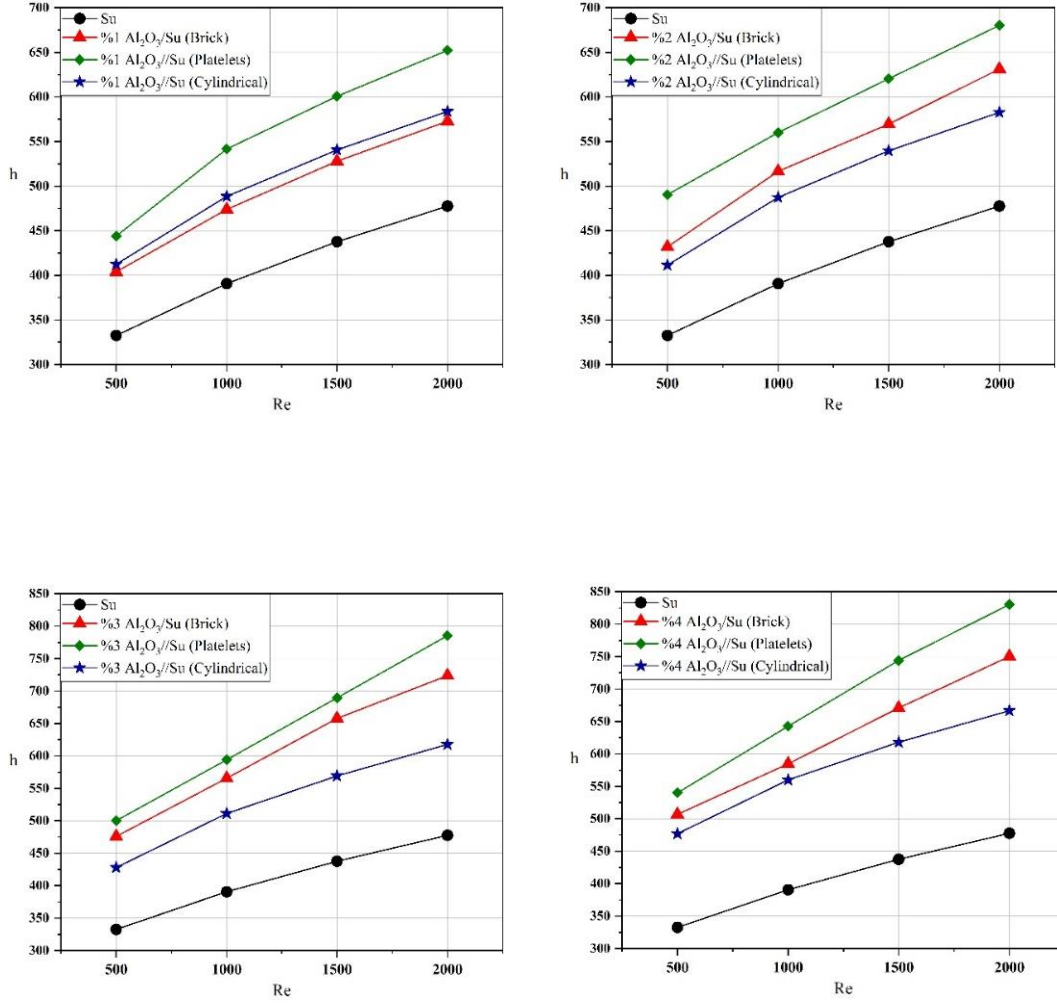
Şekil 5.17. Silindirik şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ", " Nu ", " ΔP ", " f " değerlerinin değişimi (ϕ =%1-2-3-4, GO/su nanoakışkanı).

5.3. Al₂O₃ -SU NANOAKIŞKANIN SONUÇLARI

5.3.1. Al₂O₃'e İlişkin Elde Edilen Isı Taşınım Katsayısı “*h*” Sonuçları

Sayısal çalışmanın bu aşamasında, Al₂O₃-Su'yun tüm nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarında en iyi ısı transfer katsayısı değeri platelet şekilli Al₂O₃ nanopartikülüne aittir. Bu yönüyle Fe₃O₄ ve GO nanoakışkanların sonuçlarına benzerdir. Bütün nanopartikül şekillerinin “*h*” değerleri suyun “*h*” değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bütün nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için en yüksek “*h*” değerleri platelet şekilli nanopartikül şekline ait verilere aittir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ve “*Re*” değerlerinin artışıyla *h* değerleri de artış göstermektedir. Bu yönüyle Altunay ve Arslan [36] tarafından gerçekleştirilen çalışmayla uyum göstermektedir.

Isı taşınım katsayısının en yüksek değeri %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip *Re*=2000 için platelet şekilli nanoakışkanda 830,37 W/m²K olarak hesaplanmıştır. *Re*=2000'de %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip ait nanoakışkanın “*h*” değeri 652,2 W/m²K'dir. Isı transfer katsayısı değerleri %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanın tüm “*Re*” değerleri için büyükten küçüğe doğru sırayla platelet, silindirik ve brick şekillerine aittir, fakat %2-3-4'lük hacimsel konsantrasyonlarda bu sıralama platelet, brick ve silindirik şeklindedir. Şekil 5.18'de aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, farklı şekil yapılarındaki Al₂O₃-su nanoakışkanına ait “*h*” değerlerinin, Reynold sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir.



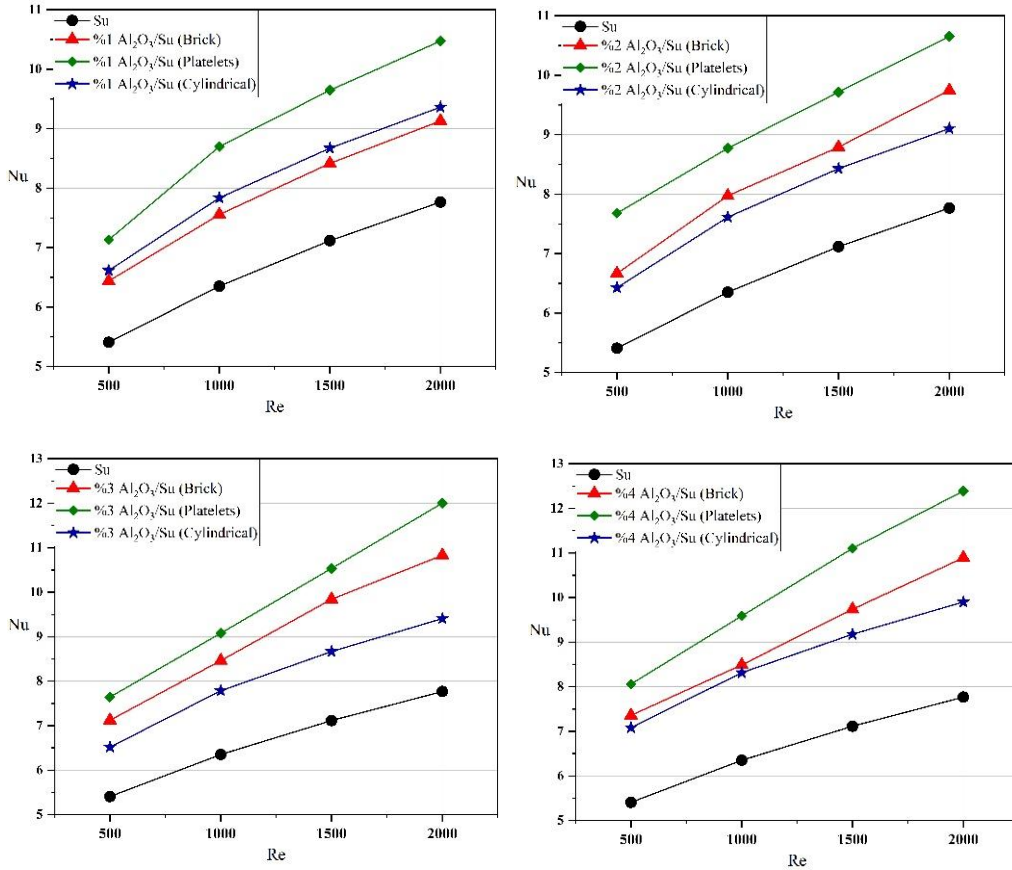
Şekil 5.18. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi = \%1-2-3-4$, Al_2O_3/su nanoakışkanı).

5.3.2. Al_2O_3 'e İlişkin Elde Edilen Nusselt Katsayısı “ Nu ” Sonuçları

Grafikler dikkatle incelendiğinde, bütün hacimsel konsantrasyonlarda platelet şekilli Al_2O_3 -Su nanoakışkanının en yüksek Nusselt sayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Tıpkı Şekil 5.18'deki “ h ” grafiklerinde olduğu gibi Şekil 5.19'da verilen Al_2O_3 -su nanoakışkanının Reynold değerlerine göre, “ Nu ” değerlerinde ki değişimi gösteren grafiklerde de %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı hariç bütün hacimsel konsantrasyonlarda, Nu değeri büyükten küçüğe doğru sırasıyla platelet, brick ve silindirik şekillere aittir. Bu yönüyle Altunay ve Arslan [36] tarafından gerçekleştirilen çalışmayla uyum göstermektedir.

Sayısal analiz verilerine göre; “Nu” değeri %4 platelet şekilli nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip nanoakışkan için $Re=2000$ 'de maksimum 12,39'a ulaşmıştır. Bu değer saf suya göre %59,5 daha fazladır. (Saf suyun $Re=2000$ 'deki “Nu” değeri 7,66).

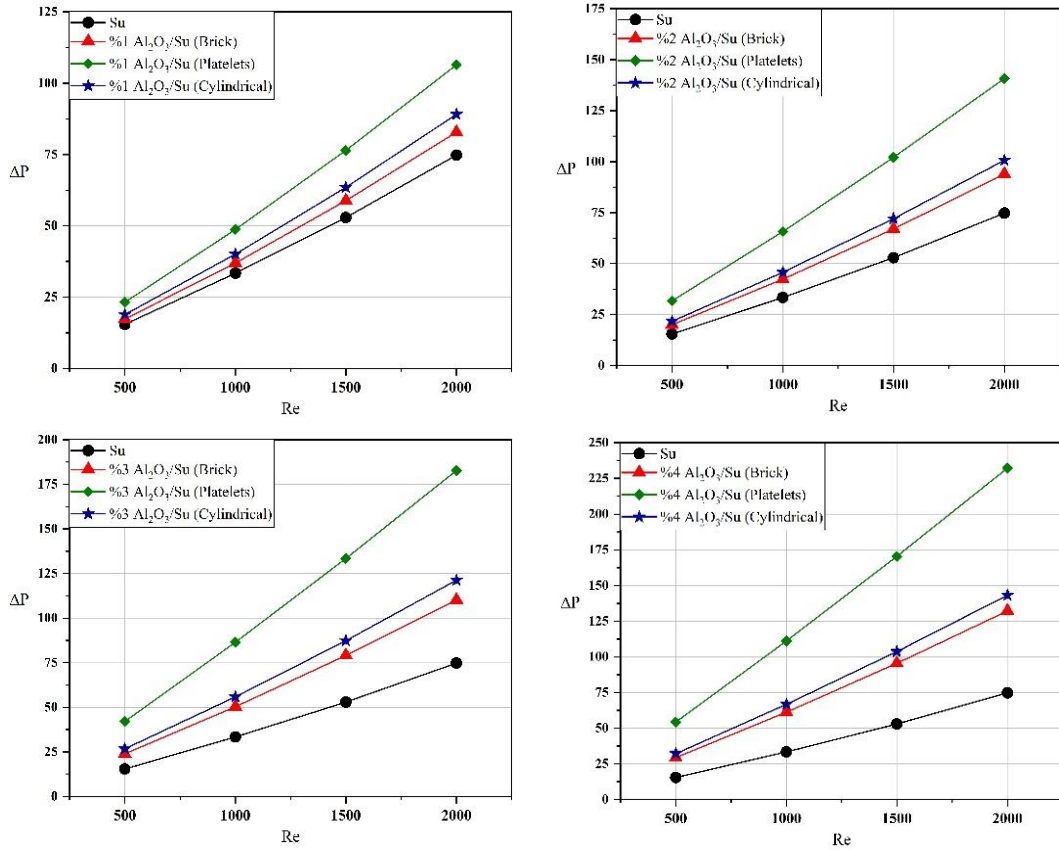
Şekil yapısı bakımından en yüksek “Nu” değerleri sıralaması ısı transfer katsayısıyla aynıdır. Yani büyükten küçüğe doğru %1'lik nanoakışkanlar için platelet, silindirik ve brick şeklindeki %2-3-4'lük nanoakışkanlar içinse platelet, brick ve silindirik şeklindedir. %1'lik nanoakışkanda $Re=2000$ için Nu değerleri platelet silindirik ve brick için sırayla; “10,47”, “9,36”, “9,13”tür. %4'lük nanoakışkanda $Re=2000$ 'de ise platelet, brick ve silindirik için bu değerler sırayla; “12,39”, “10,89”, “9,9” olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.19. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak “Nu” sayısının değişimi ($\phi=1-2-3-4$, Al₂O₃/su nanoakışkanı).

5.3.3. Al₂O₃'e İlişkin Elde Edilen Statik Basınç Düşüşü “ΔP” Sonuçları

Su içerisine nanopartikül eklemenin basınç değerini hız ile doğru orantılı olarak arttırdığından daha önce bahsedilmiştir. Statik basınç düşüşü $Re=2000$ 'de ve %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyonunda platelet, brick ve silindirik nanopartiküller için sırayla; “232,23 Pa”, “132,15 Pa”, “143,21 Pa” olarak hesaplanmıştır. Bu değerler doğrultusunda maksimum basınç düşüşü platelet şekline aittir. Bu değer Fe₃O₄-su (%4'lük nanoakışkanda $Re=2000$ için platelette 774,39 Pa) ve GO-su (%4'lük nanoakışkanda $Re=2000$ için platelette 436,36 Pa) nanoakışkanlarından çok düşük olduğu görülmektedir. Al₂O₃-su nanoakışkanının tüm nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için en fazla basınç düşüşü platelet şeklinde, en düşük değer brick şekil yapısı için hesaplanmıştır. Şekil 5.20'de aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, farklı şekil yapılarındaki Al₂O₃-su nanoakışkanına ait basınç farkı değerlerinin, Reynold sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir.

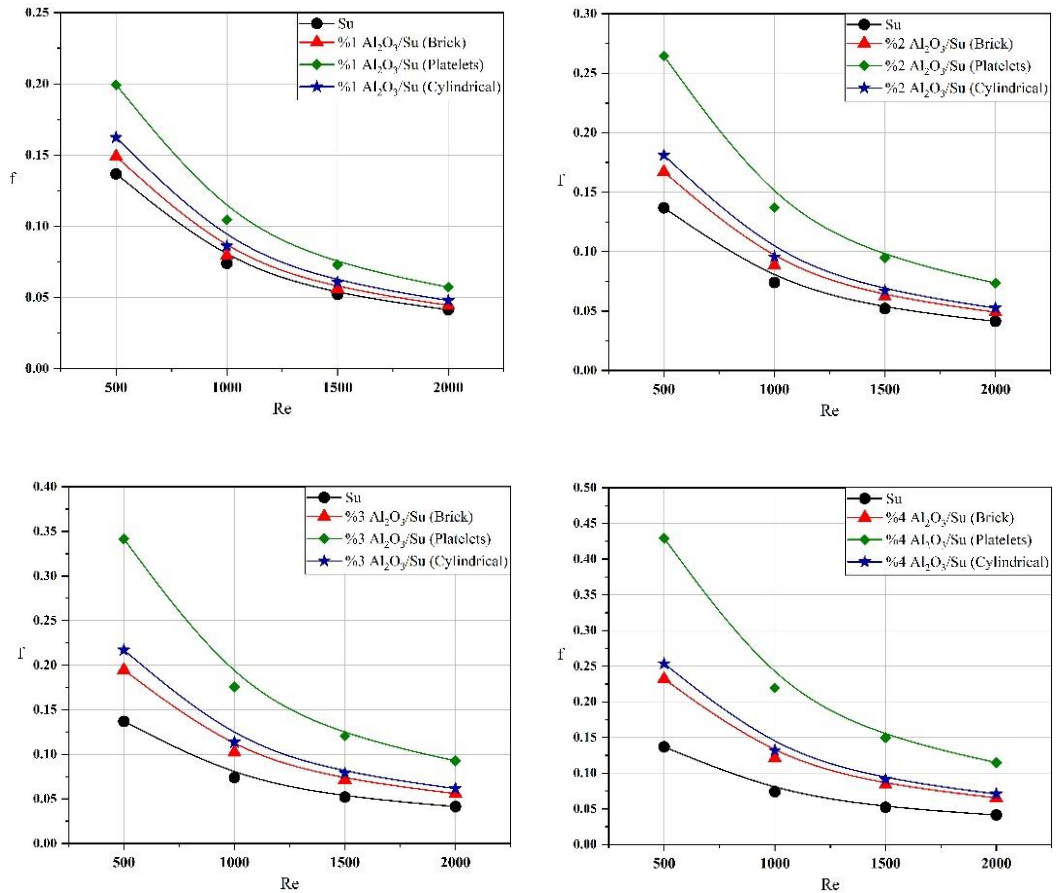


Şekil 5.20. Farklı nanopartikül şekilleri için Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP, değerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, Al₂O₃/su nanoakışkanı).

5.3.4. Al₂O₃'e İlişkin Elde Edilen Darcy Sürtünme Katsayısı “*f*” Sonuçları

Al₂O₃-su nanoakışkanına ait sayısal analiz verilerine göre; “*f*” Darcy sürtünme faktörü değerleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla; platelet, silindirik ve brick şekillerine aittir. Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı (ϕ) arttıkça $Re=500$ 'deki “*f*” Darcy sürtünme faktörü değerleri de artış eğilimindedir. Bununla birlikte Reynold sayısı değerlerinin artışıyla beraber “*f*” değerlerinde düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. En yüksek “*f*” değeri platelet şekil yapısına sahip nanopartikül içeren Al₂O₃-su nanoakışkanında $Re=500$ için; “0,42912” olarak hesaplanmıştır ve bu değer suya göre %213,67 daha fazladır.

Şekil 5.21’de aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, farklı şekil yapılarındaki Al₂O₃-su nanoakışkanlarının “*f*” değerlerinin, Reynold sayısına göre değişimi grafiklerle detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Farklı nanopartikül şekilleri için *Re* sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü *f*, değerinin değişimi ($\phi=0\%-1-2-3-4$, Al₂O₃/su nanoakışkanı).

5.3.5. Al₂O₃'ün Brick Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Brick şekil yapısındaki Al₂O₃-Su nanoakışkanı için, en yüksek “*h*” artışı ,diğer tüm şekil yapılarında olduğu gibi, %4'lük nanoakışkanda $Re=2000$ için hesaplanmıştır ve 750,26 W/m²K'dir.

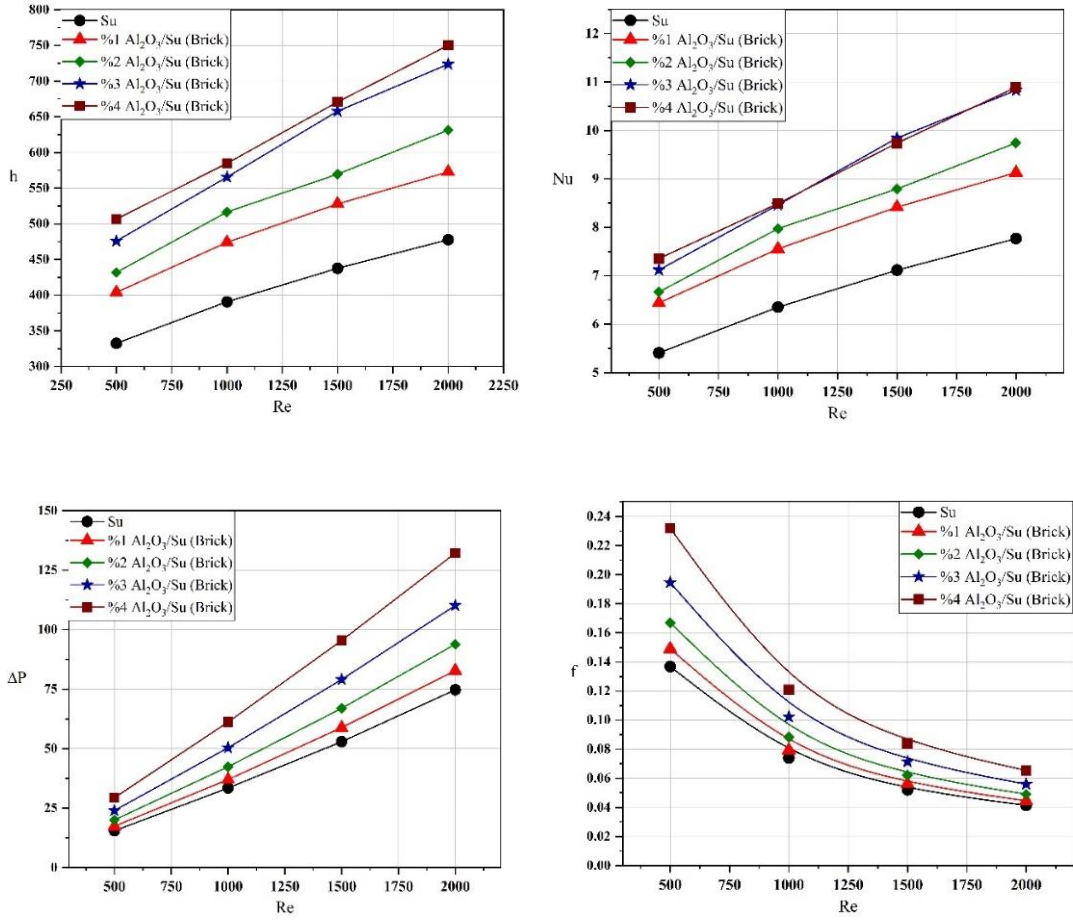
En düşük değeri ise %1'lik nanoakışkanda $Re=500$ için; 403,89 W/m²K'dir. $Re=2000$ 'deki %1'lik hacimsel konsantrasyon içinse *h* değeri 572,74 W/m²K'dir. Hacimsel konsantrasyonlar arasındaki “*h*” artışı ortalama olarak %7,9'dur.

Brick şekil yapısındaki Al₂O₃-Su nanoakışkanı için, en yüksek “*Nu*” değeri %4'lük konsantrasyonda $Re=2000$ iken “10,89” olarak hesaplanmıştır. En düşük değeri ise $Re=500$ için %1'lik konsantrasyonda “6,44”dir. Hacimsel konsantrasyonlar arasındaki “*Nu*” artış oranı ortalama %4,48 'dir.

Brick şekil yapısındaki Al₂O₃-Su nanoakışkanında küçük Reynold sayılarında hemen hemen hiç basınç farkı “ ΔP ” olmadığı görülmektedir. Reynold arttıkça “ ΔP ” değeride yükselmeye başlar. $Re=2000$ değerinde, en yüksek “ ΔP ” değeri %4'lük konsantrasyonda 132,15 Pa olarak tespit edilmiştir (Bu değer su için 74,76'dır).

Brick şekilli nanopartikül içeren Al₂O₃-Su nanoakışkanının Darcy sürtünme faktörü değeri, aynı hacimsel konsantrasyon oranlarındaki (ϕ), platelet ve silindirik şekil yapısında Al₂O₃ içeren nanoakışkanlardan daha küçüktür.

Grafikler incelendiğinde tüm hacimsel konsantrasyon oranlarında, tüm Reynold değerleri için Al₂O₃-su nanoakışkanı sudan daha fazla “*f*” değerlerine sahiptir. En büyük değer %4'lük nanoakışkan için $Re=500$ 'de; $f=0,232$ 'dir. Şekil 5.22'de farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, brick şekil yapılarındaki Al₂O₃-su nanoakışkanına ait “*h*”, “*Nu*”, “ ΔP ”, “*f*” değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir.



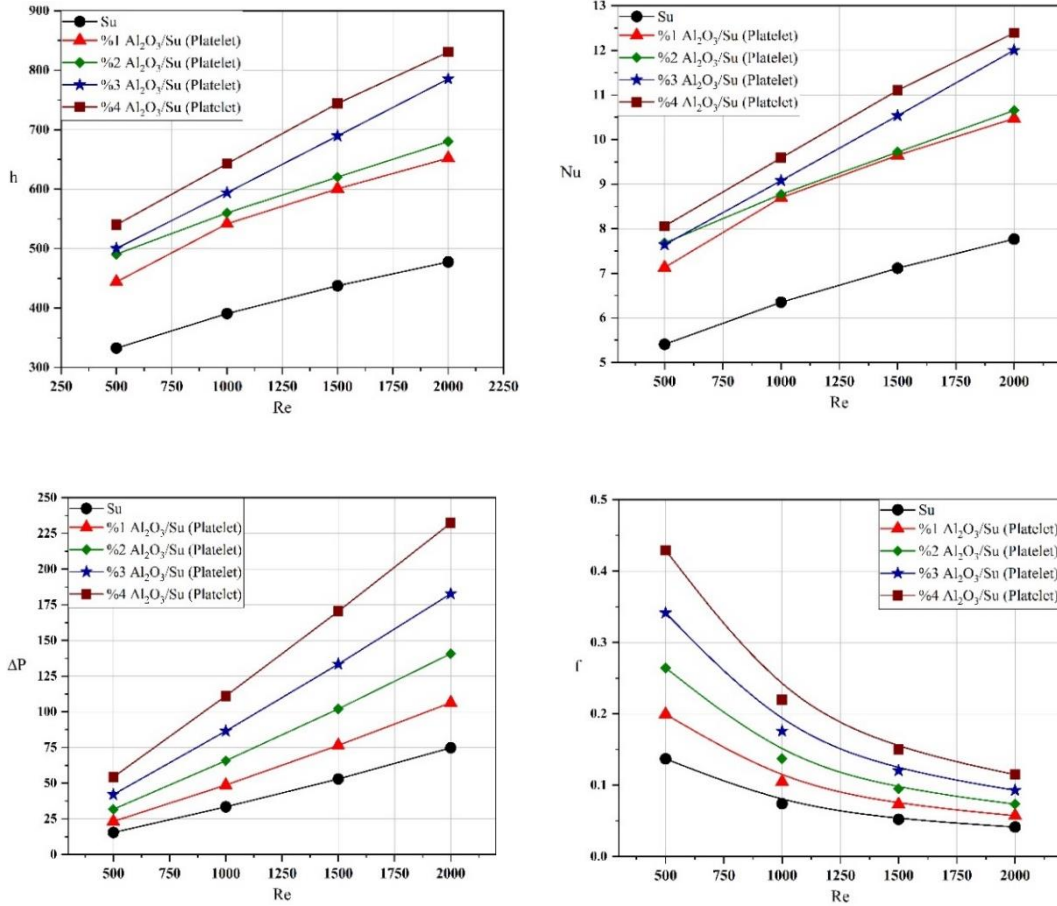
Şekil 5.22. Brick şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi (ϕ =%1-2-3-4, Al₂O₃/su nanoakışkanı).

5.3.6. Al₂O₃’ün Platelet Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Platelet şekilli nanopartikül içeren Al₂O₃-su nanoakışkanı da tıpkı platelet şekilli GO-su nanoakışkanına ait diyagramdaki gibi, küçük hacimsel konsantrasyondan büyüğe doğru artan “ h ” diyagramına sahiptir. “ h ”ın en yüksek değeri $Re=2000$ ’de, %4’lük hacimsel konsantrasyona sahip platelet şekil yapısına sahip nanoakışkan için 830,37 W/m²K’dir. %1’lik konsantrasyon oranına sahip nanoakışkanın $Re=2000$ değeri için “ h ” değeri 652,195 W/m²K’dir.

Platelet şekli için Nusselt sayısının en yüksek değerinin, $Re=2000$ için %4’lük nanoakışkanda 12,39 olduğu, en düşük değerinin %1’lik nanoakışkanda $Re=500$ için 7,13 olduğu tespit edilmiştir. %1’lik süspansiyonun $Re=2000$ ’deki değeri “10,47”dir.

Basınç farkının en yüksek değeri %4'lük nanoakışkanda 232,22 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu yüzden pompa gücü ihtiyacı diğer nanoakışkanlara göre daha fazladır. Platelet şekilli Al_2O_3 -su nanoakışkanı bütün nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarında, saf sudan ve diğer şekil yapılarına sahip nanoakışkanlardan daha fazla Darcy sürtünme faktörü " f " değerine sahiptir. Bu değer, $Re=500$ 'de su için "0,1368" iken nanoakışkanın $\phi=1$ için "0,1993", $\phi=2$ "0,2644", $\phi=3$ 'te "0,3413", $\phi=4$ 'te "0,4291"dir. Şekil 5.23'te farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, platelet şekil yapılarındaki Al_2O_3 -su nanoakışkanına ait " h ," " Nu ," " ΔP ," " f " değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir.

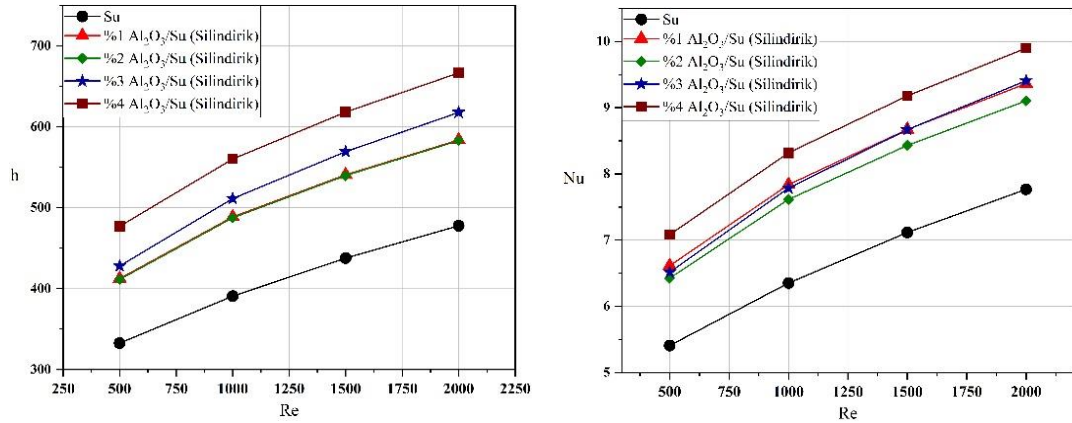


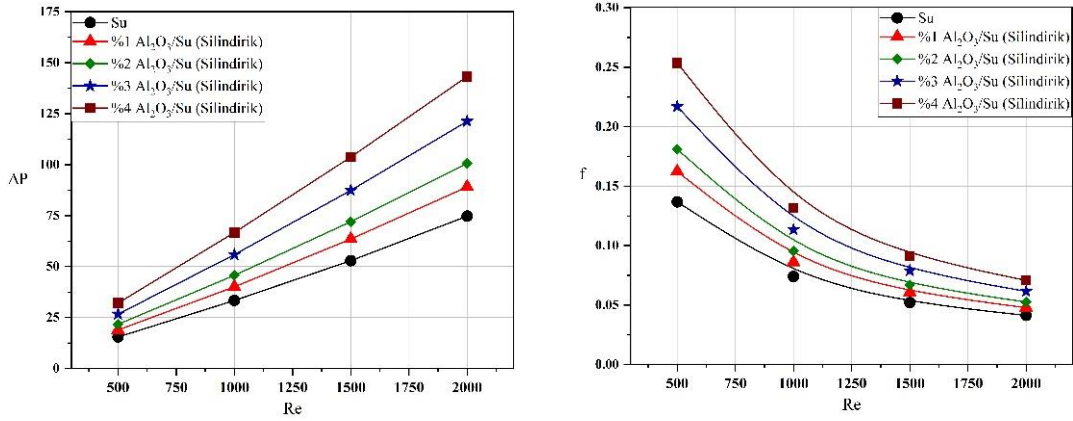
Şekil 5.23. Platelet şekli için Re sayısına bağlı olarak " h ," " Nu ," " ΔP ," " f " değerlerinin değişimi ($\phi=1-2-3-4$, Al_2O_3 /su nanoakışkanı).

5.3.7. Al₂O₃'ün Silindirik Şekline İlişkin Elde Edilen Sonuçlar

Isı taşınım katsayısı “ h ”ın en yüksek değeri, $\phi=4$ 'te 666,66 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Silindirik şekil yapısı içeren Al₂O₃-Su nanoakışkanında en yüksek Nusselt sayısı (Nu) değeri $Re=2000$ değerinde, $\phi=4$ için;“9,9”, en düşük değer ise $Re=500$ değerindeyken %3'lük konsantrasyonda “6,61” olarak hesaplanmıştır.

Basınç farkının en yüksek değeri yine $\phi=4$ için; “143,2 Pa” olarak hesaplanmıştır. Darcy sürtünme faktörü platelet şeklinde olduğu gibidir. Yani su bu nanoakışkandan düşük sürtünme faktörü değerine sahipken, nanoakışkana ait “ f ” değerleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla $Re=500$ için; %1, %2, %3, %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına aittir. Silindirik şekilli Al₂O₃-su nanoakışkanına ait “ f ” değerleri sırasıyla; $Re=500$ 'de su için “0,1368” iken Al₂O₃-su nanoakışkanında; $\phi=1$ için “0,1623”; $\phi=2$ için “0,181”; $\phi=3$ 'te “0,2169”; $\phi=4$ 'te “0,2536”dir. Şekil 5.24'te Farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, silindirik şekil yapılarındaki Al₂O₃-su nanoakışkanına ait “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin, Reynold Sayısına göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir.





Şekil 5.24. Silindirik şekli için Re sayısına bağlı olarak “ h ”, “ Nu ”, “ ΔP ”, “ f ” değerlerinin değişimi (ϕ =%1-2-3-4, Al₂O₃/su nanoakışkanı).

5.4. NANOAKIŞKANLARIN BRİCK, PLATELET VE SİLİNDİRİK NANOPARTİKÜL ŞEKİLLERİNE AİT SAYISAL SONUÇLARIN KIYASLANMASI

5.4.1. Isı Taşınım Katsayısı “ h ” Sonuçları

Sayısal analiz bu aşamasında sabit hacimsel konsantrasyonlarda ve aynı tip şekil yapısında nanopartikül içeren Fe₃O₄-su Al₂O₃-su GO-su nanoakışkanlarının, “ h ” değerlerinin, Reynold sayılarına göre değişimlerini gösteren kıyaslamalar yapılmıştır. Farklı tip nanoakışkanların tüm hacimsel konsantrasyonlarında, en yüksek ısı taşınım katsayısı platelet şekilli nanopartikül içeren nanoakışkanlara aittir. En düşük ısı taşınım katsayısı “ h ” değerleri ise brick şekil yapısına sahip nanoakışkanlarda gözlemlenmiştir. Hacimsel konsantrasyon oranı ve Re sayısı ile “ h ” değeri doğru orantılı şekilde artmaktadır.

%1 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ h ” değeri $Re=2000$ 'de 652,2 W/m²K ile Al₂O₃-su'ya ardından 649,77 W/m²K ile GO-su'ya ve en son 643,71 W/m²K değeri ile Fe₃O₄-su'ya aittir. Bu değerler, suyun h değerlerinden aynı sırayla; %36,54, %36,04 ve %34,8 daha fazladır.

%2 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*h*” değeri $Re=2000$ 'de $720 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile GO'e ardından $717,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son $680,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun *h* değerlerinden aynı sırayla; %50,89, %50,13 ve %42,41 daha fazladır.

%3 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*h*” değeri $Re=2000$ 'de $793,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile GO-su'ya ardından $792,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son $785,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun *h* değerlerinden aynı sırayla; %66,1, %65,83 ve %64,44 daha fazladır.

%4 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*h*” değeri $Re=2000$ 'de $867,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Fe_3O_4 -su'ya ardından $866,93 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile GO-su'ya ve en son $830,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun *h* değerlerinden aynı sırayla; %81,66, %81,51 ve %73,85 daha fazladır.

%1 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*h*” değeri $Re=2000$ 'de $591,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Fe_3O_4 -su'ya ardından $583,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile GO-su'ya ve en son $572,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun *h* değerlerinden aynı sırayla; %23,77, %22,1 ve %19,91 daha fazladır.

%2 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*h*” değeri $Re=2000$ 'de $631,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Al_2O_3 -su'ya ardından $621,89 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son $585,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler, suyun *h* değerlerinden aynı sırayla; %32,2, %30,2 ve %22,6 daha fazladır.

%3 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*h*” değeri $Re=2000$ 'de $723,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Al_2O_3 -su'ya ardından $663,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son $587,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile GO-su'ya aittir. Bu

değerler, suyun h değerlerinden aynı sırayla; %51,52, %38,88 ve %23,01 daha fazladır.

%4 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ h ” değeri $Re=2000$ 'de 750,26 W/m²K ile Al₂O₃-su'ya ardından 712,5 W/m²K ile Fe₃O₄-su'ya ve en son 589,97 W/m²K değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler, suyun h değerlerinden aynı sırayla; %57,1, %49,2 ve %23,52 daha fazladır.

%1 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ h ” değeri $Re=2000$ 'de 615,57 W/m²K ile Fe₃O₄-su'ya ardından 612 W/m²K ile GO-su'ya ve en son 583,72 W/m²K değeri ile Al₂O₃-su'ya aittir. Bu değerler, suyun h değerlerinden aynı sırayla; %28,88, %28,13 ve %22,21 daha fazladır.

%2 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ h ” değeri $Re=2000$ 'de 676,13 W/m²K ile Fe₃O₄-su'ya ardından 668,45 W/m²K ile GO-su'ya ve en son 582,75 W/m²K değeri ile Al₂O₃-su'ya aittir. Bu değerler, suyun h değerlerinden aynı sırayla; %41,56, %39,95 ve %22,01 daha fazladır.

%3 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

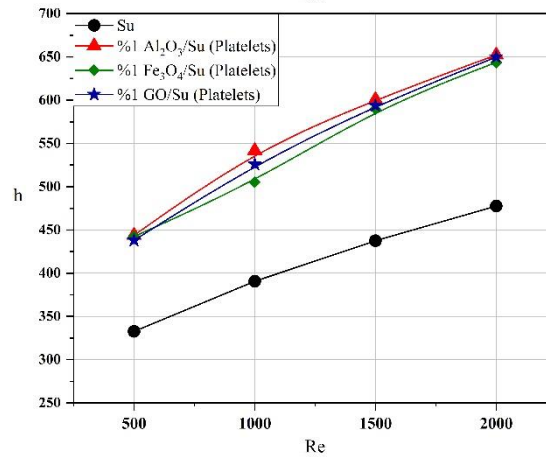
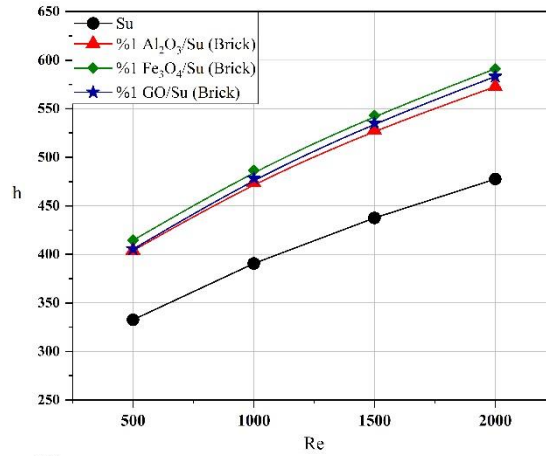
En yüksek “ h ” değeri $Re=2000$ 'de 747,94 W/m²K ile Fe₃O₄-su'ya ardından 736,92 W/m²K ile GO-su'ya ve en son 617,76 W/m²K değeri ile Al₂O₃-su'ya aittir. Bu değerler, suyun h değerlerinden aynı sırayla; %56,59, %54,28 ve %29,33 daha fazladır.

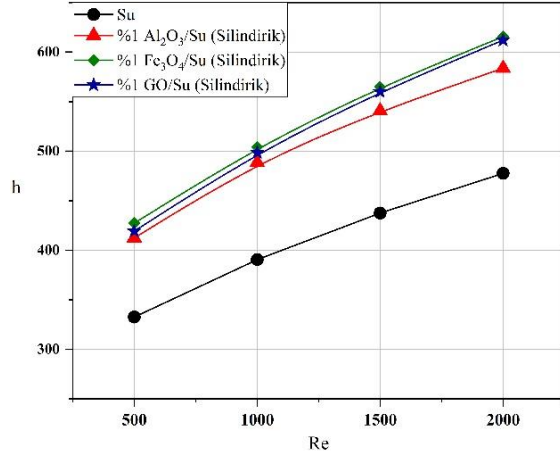
%4 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ h ” değeri $Re=2000$ 'de $825,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile Fe_3O_4 -su'ya ardından $813,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile GO -su'ya ve en son $666,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun h değerlerinden aynı sırayla; %72,88, %70,21 ve %39,57 daha fazladır.

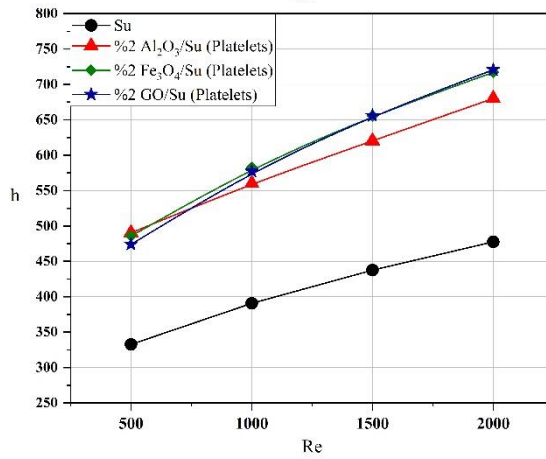
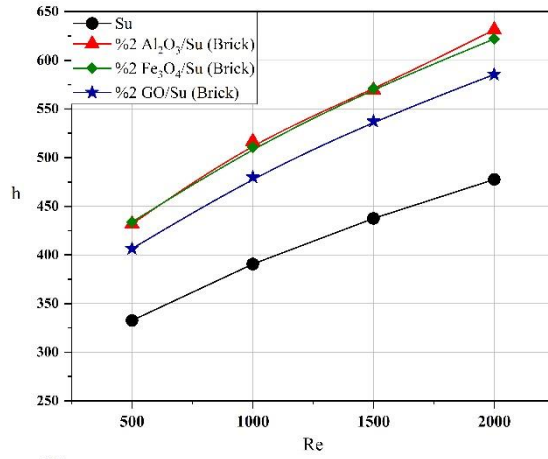
(Su için hesaplanan h değeri $Re=2000$ için; $477,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir.)

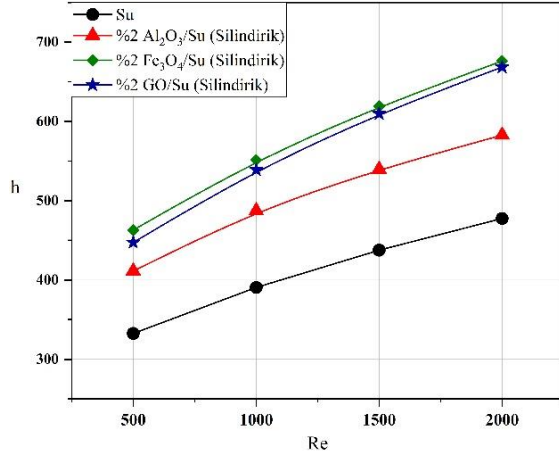
Sayısal analiz verilerinden yola çıkarak aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına ve şekil yapısına sahip farklı türdeki nanoakışkanların “ h ” ısı taşınım katsayısı değerlerinin tüm “ Re ” değerlerine göre değişimleri Şekil 5.25- 5.28'de detaylı olarak grafiklerle gösterilmiştir.



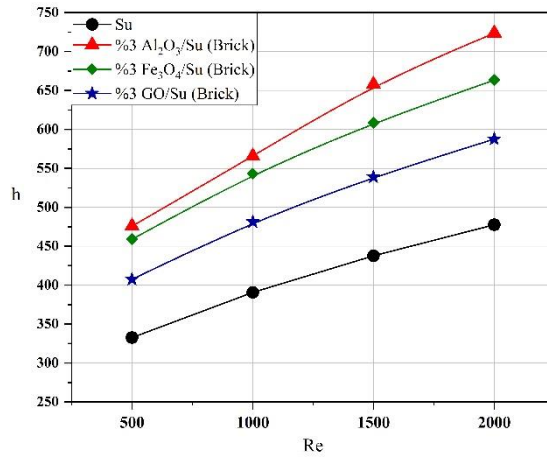
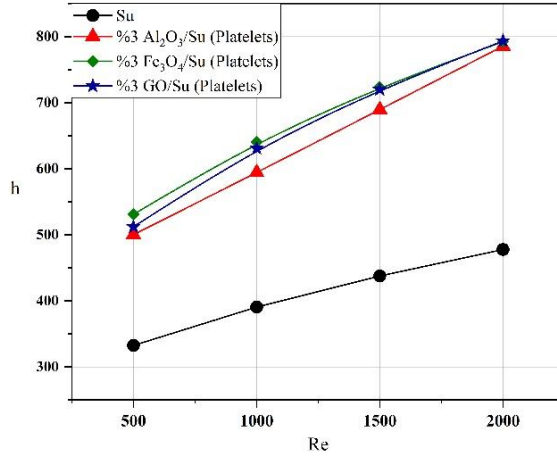


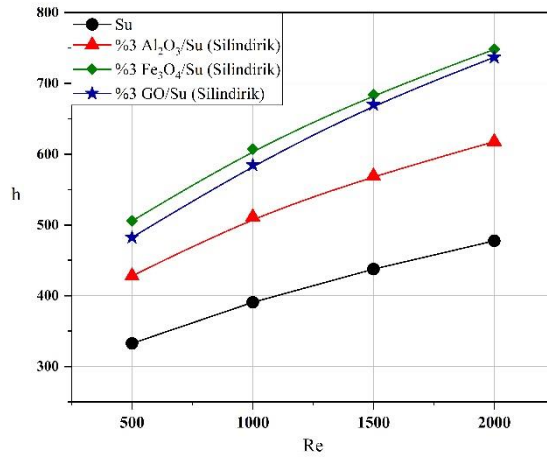
Şekil 5.25. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi = \%1$).



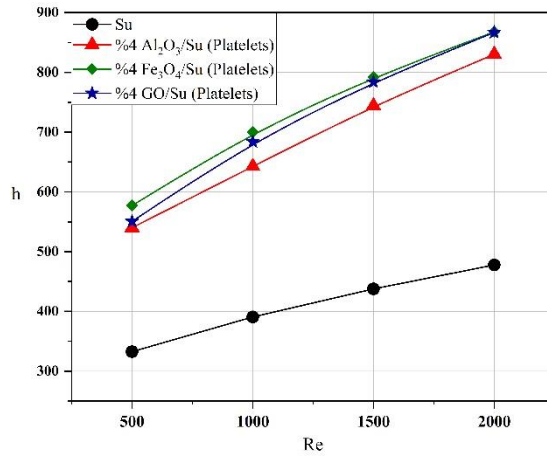
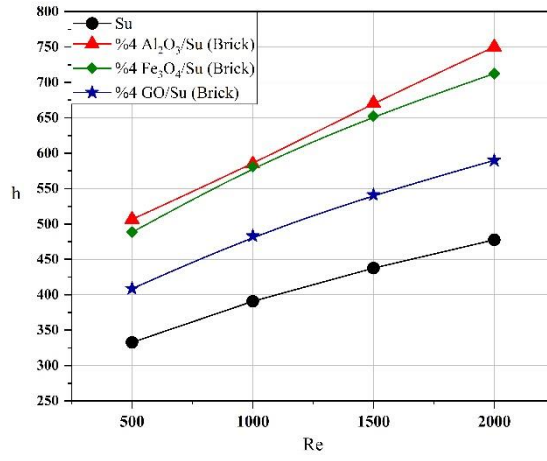


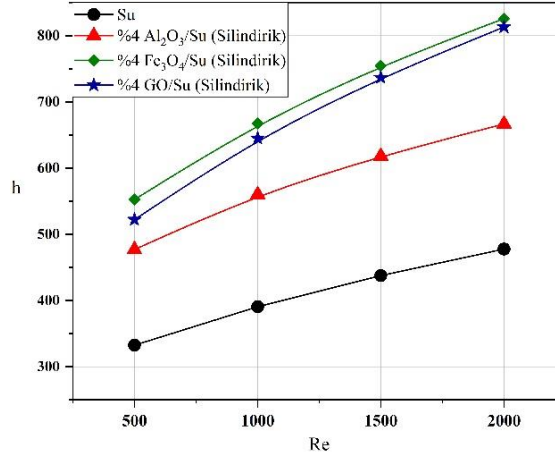
Şekil 5.26. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi = \%2$).





Şekil 5.27. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi = \%3$).





Şekil 5.28. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak ısı transfer katsayısı h , değerinin değişimi ($\phi = \%4$).

5.4.2. Nusselt Sayısı “Nu” Sonuçları

Sayısal analiz verilerine göre brick şekil yapısına sahip Al_2O_3 -su, GO-su, Fe_3O_4 -su nanoakışkanlarının 1% 'lik hacimsel konsantrasyonlarındaki Nusselt sayısı değerlerinin özellikle $500 \leq Re \leq 2000$ aralığında birbirlerinden çok farklı olmadıkları görülmektedir. Yani belirtilen durum için nanoakışkanların ısı iletkenlikleri arasında çok büyük farklar söz konusu değildir. Ek olarak 1% platelet şekil yapısında nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su, GO-su, nanoakışkanlarının $Re=2000$ 'deki değerleri birbirinden çok farklı değildir, söz konusu durumun aynısı brick şekli için de geçerlidir. Reynold sayısı ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon artışıyla beraber tüm nanoakışkanların Nusselt Sayısı değerleri de artmaktadır. Tüm hacimsel konsantrasyonlar için en yüksek “Nu” değerleri platelet şekil yapısına sahip nanoakışkanlara aittir. Bunu silindirik şekilli nanoakışkanların “Nu” değerleri takip etmektedir. En düşük “Nu” değerleri ise brick şekil yapısında nanopartikül içeren nanoakışkanlara aittir.

1% platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de 10,47 ile Al_2O_3 -su'ya ardından 10,3 ile GO-su'ya ve en son 10,05 değeri ile Fe_3O_4 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; $34,85\%$, $32,57\%$ ve $29,44\%$ daha fazladır.

%2 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de; 11,14 ile GO-su'ya ardından 10,77 ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son 10,65 değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %43,41, %38,66 ve %37,16 daha fazladır.

%3 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “12” ile Al_2O_3 -su'ya ardından 11,96 ile GO-su'ya ve en son 11,45 değeri ile Fe_3O_4 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %54,53, %54,02 ve %47,42 daha fazladır.

%4 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de; 12,76 ile GO-su'ya ardından 12,39 ile Al_2O_3 -su'ya ve en son 12,08 değeri ile Fe_3O_4 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %64,34, %59,5 ve %55,6 daha fazladır.

%1 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “9,3” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “9,18” ile GO-su'ya ve en son 9,13 değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %19,61, %18,14 ve %17,56 daha fazladır.

%2 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “h” değeri $Re=2000$ 'de “9,74” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “9,45” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “8,92” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler, suyun Nu değerlerinden aynı sırayla; %25,45, %21,62 ve %14,83 daha fazladır.

%3 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “10,83” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “9,76” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “8,68” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %39,44, %25,62 ve %11,71 daha fazladır.

%4 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “10,89” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “10,15” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “8,45” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %40,25, %30,68 ve %8,84 daha fazladır.

%1 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “9,64” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “9,57” ile GO-su'ya ve en son “9,36” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %24,1, %23,26 ve %20,54 daha fazladır.

%2 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “10,2” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “10,07” ile GO-su'ya ve en son “9,1” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %31,39, %29,7 ve %17,22 daha fazladır.

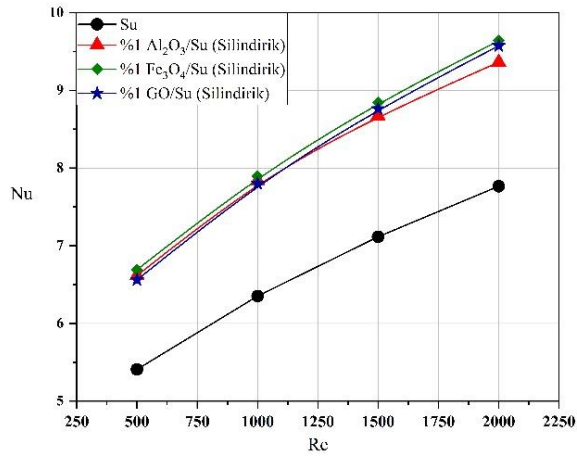
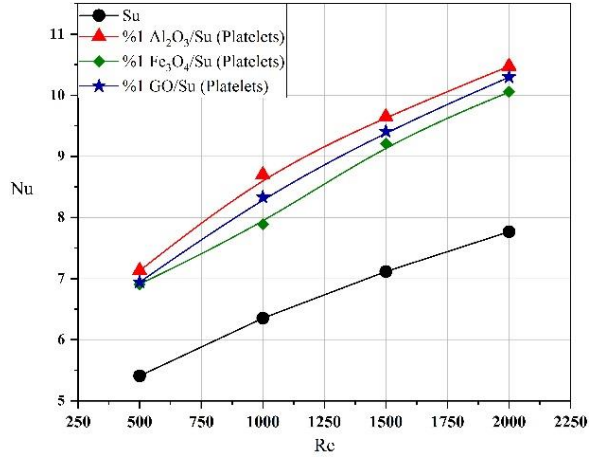
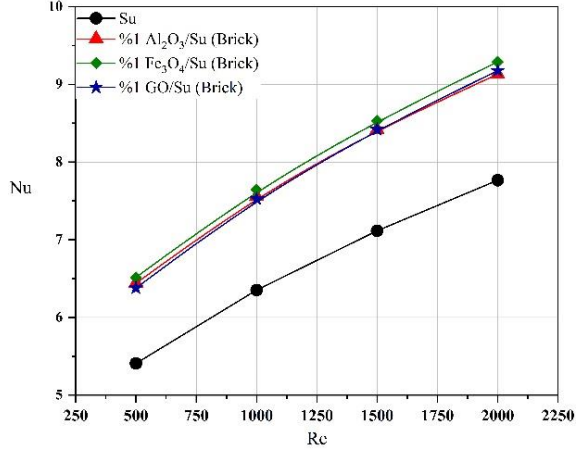
%3 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “10,89” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “10,71” ile GO-su'ya ve en son “9,41” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %40,22, %37,93 ve %21,12 daha fazladır.

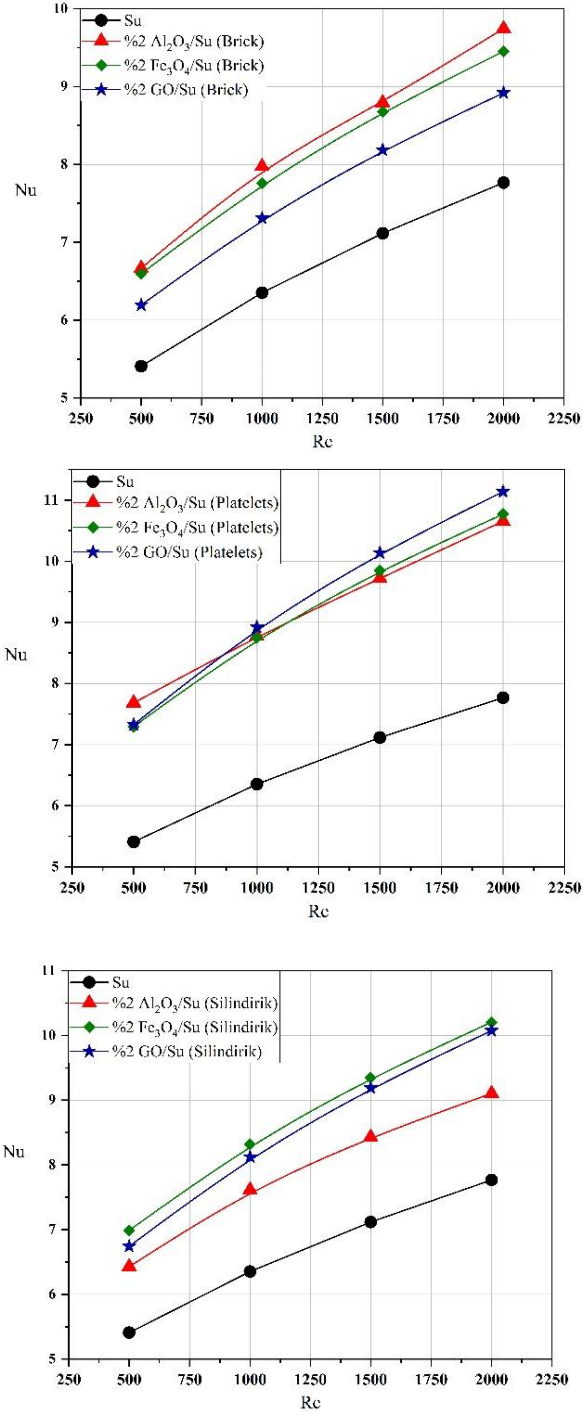
%4 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “Nu” değeri $Re=2000$ 'de “11,61” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “11,42” ile GO-su'ya ve en son “9,9” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “Nu” değerlerinden aynı sırayla; %49,48, %47 ve %27,47 daha fazladır.

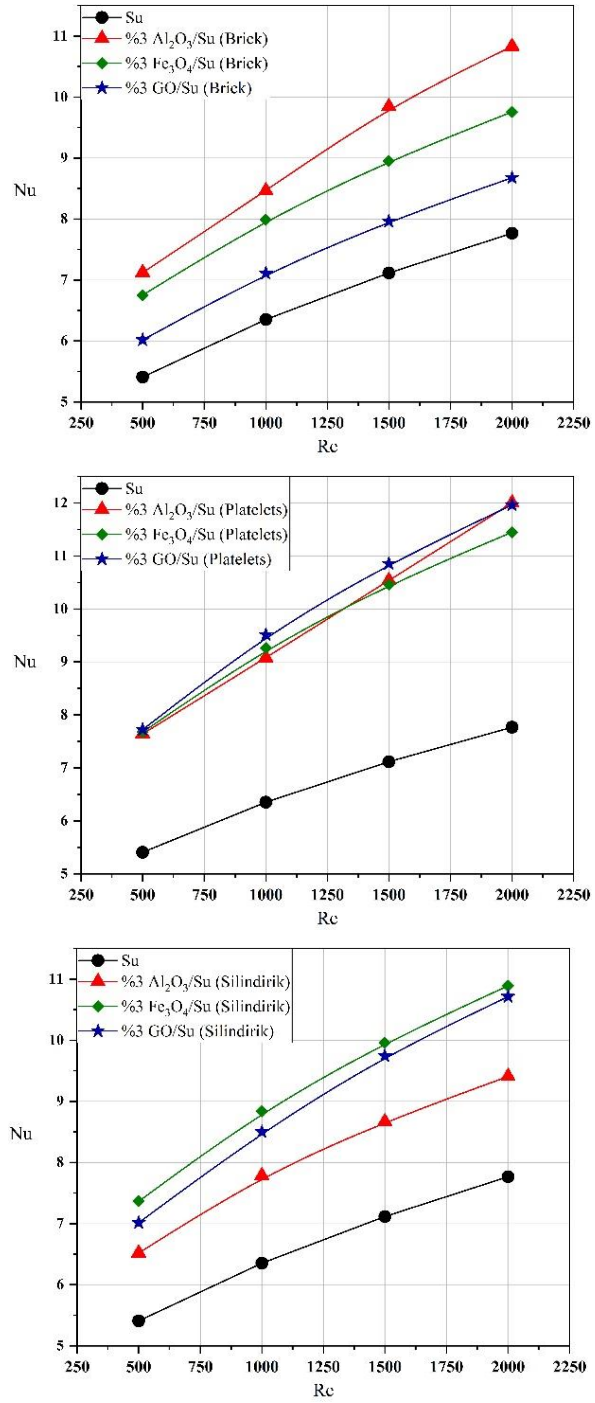
Sayısal analiz verilerinden yola çıkarak aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına ve şekil yapısına sahip farklı türdeki nanoakışkanların Nusselt Sayısı “ Nu ” değerlerinin tüm “ Re ” değerlerine göre değişimleri Şekil 5.29- 5.32’de detaylı olarak grafiklerle gösterilmiştir.



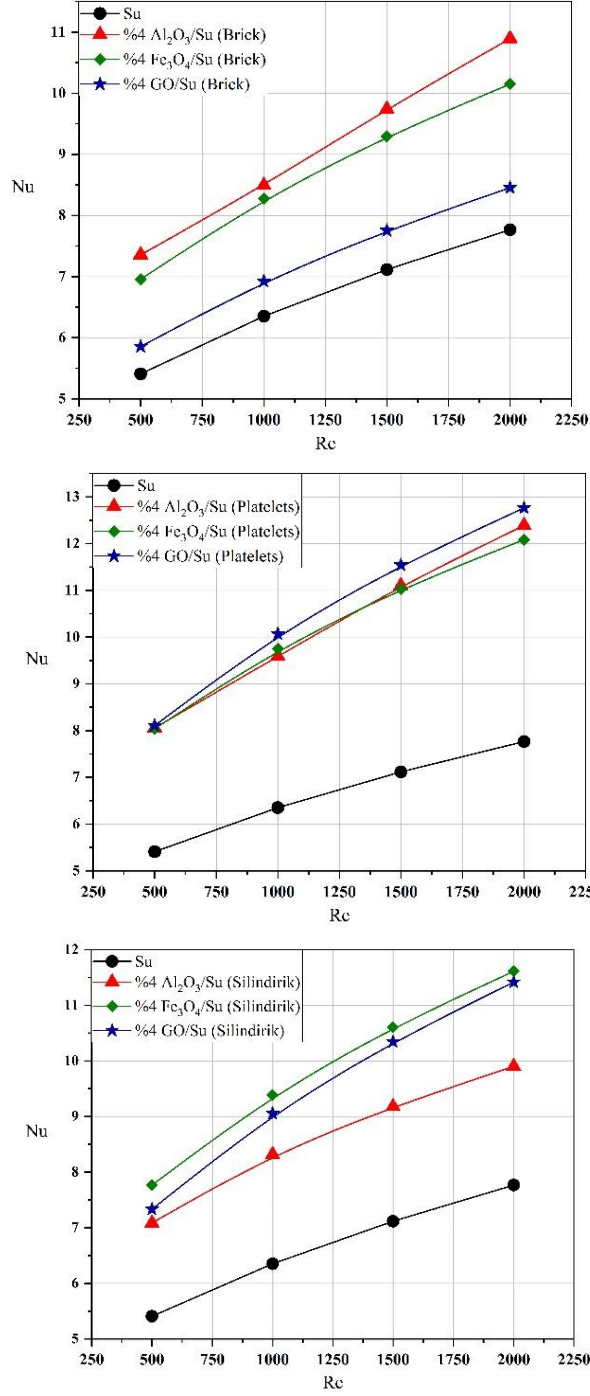
Şekil 5.29 Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi = \%1$).



Şekil 5.30. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi = \%2$).



Şekil 5.31. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi = 3\%$).



Şekil 5.32. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı değerinin değişimi ($\phi = \%4$).

5.4.3. Statik Basınç Farkı “ ΔP ” Sonuçları

Sayısal analiz verilerine göre tüm hacimsel konsantrasyonlarda en yüksek statik basınç farkı değeri “ ΔP ”, platelet şekil yapısına sahip nanoakışkanlar için hesaplanmıştır. En düşük basınç farkı değerleri ise brick şekil yapısına sahip nanoakışkanlara aittir.

Gaganpreet ve Srivastava [93] tarafından gerçekleştirilen çalışmada nanopartikül şekillerinin en/boy (H/D) oranının , nanoakışkanların viskozitesini ne şekilde etkilediği araştırılmıştır. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışma sonuçlarına göre hacimsel konsantrasyon oranı ve en/boy (H/D) oranı arttıkça nanoakışkanın viskozitesinin de arttığını belirtmişlerdir. Bu durumu; nanopartikül H/D oranının artmasıyla birlikte nanopartikül yüzey alanının da artmasına ve böylelikle viskozitenin de artmasına sebep olduğu şeklinde açıklamışlardır. Gaganpreet ve Srivastava'nın sonuçlarından yola çıkarak, bu çalışmada en yüksek “ ΔP ” değerlerinin platelet şekil yapısı için hesaplanmasının sebebinin, çizelge 4.9-11'deki verilere bakılarak platelet şekilli nanopartiküllerin viskozitelerinin diğer şekil yapılarından daha büyük değere sahip olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür.

Fe_3O_4 -Su nanoakışkanı tüm hacimsel konsantrasyonlarda, aynı şekil tipine sahip diğer nanoakışkanlara kıyasla en yüksek “ ΔP ” değerine sahiptir. Yani en yüksek pompa gücü gerektiren nanoakışkandır.

%1 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “148,43 Pa” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “142,853 Pa” ile GO-su'ya ve en son “106,4 Pa” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %98,54, %91,1 ve %42,32 daha fazladır.

%2 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “274,31 Pa” ile Fe_3O_4 -su'ya “214,159 Pa” ile GO-su'ya ardından ve en son “140,78 Pa” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %266,91, %186,45 ve %88,3 daha fazladır.

%3 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “476,142 Pa” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “310,783 Pa” ile GO-su'ya ve en son “182,72 Pa” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %536,9, %315,7 ve %144,39 daha fazladır.

%4 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “774,386 Pa” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “436,363 Pa” ile GO-su'ya ve en son “232,22 Pa” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %935,81, %483,675 ve %210,62 daha fazladır. Sayısal analizlere göre; platelet şekil yapısına sahip nanoakışkanlar içinde en düşük “ ΔP ” değerleri Al_2O_3 -su nanoakışkanına, en yüksek “ ΔP ” değerleri ise Fe_3O_4 -su nanoakışkanına aittir.

%1 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “93,32 Pa” ile GO-su'ya ardından “82,81 Pa” ile Al_2O_3 -su'ya ve en son “82,3 Pa” değeri ile Fe_3O_4 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %24,82, %10,76 ve %10,08 daha fazladır.

%2 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “104,6 Pa” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “94,83 Pa” ile GO-su'ya ve en son “93,9 Pa” değeri ile Al_2O_3 -su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %39,9, %26,85 ve %25,6 daha fazladır.

%3 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “146,7 Pa” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “110,2 Pa” ile Al_2O_3 -su'ya ve en son “96,22 Pa” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %96,22, %47,4 ve %28,71 daha fazladır.

%4 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “216,03 Pa” ile Fe_3O_4 -su'ya ardından “132,2 Pa” ile Al_2O_3 -su'ya ve en son “97,8 Pa” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %188, %76,7 ve %30,79 daha fazladır.

%1 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “112,75 Pa” ile GO.su'ya ardından “108,83 Pa” ile Fe_3O_4 .su'ya ve en son “89,1 Pa” değeri ile Al_2O_3 .su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %50,81, %45,57 ve %19,14 daha fazladır.

%2 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

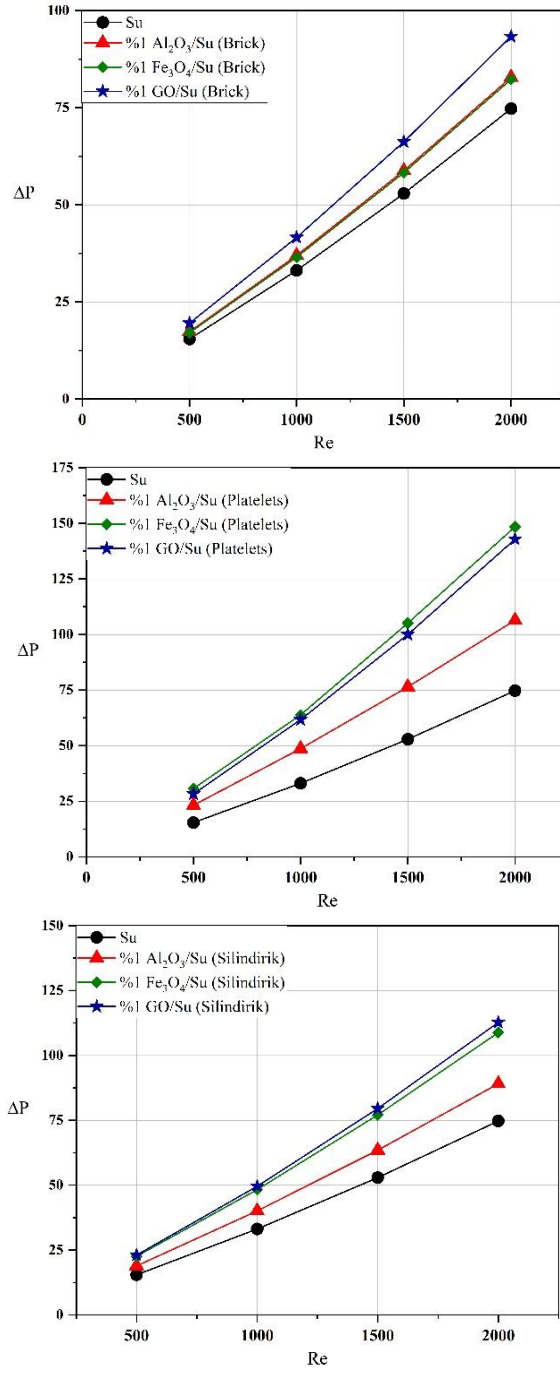
En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “185,61 Pa” ile Fe_3O_4 .su'ya ardından “159,3 Pa” ile GO.su'ya ve en son “100,7 Pa” değeri ile Al_2O_3 .su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %148,3, %113,02 ve %34,7 daha fazladır.

%3 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

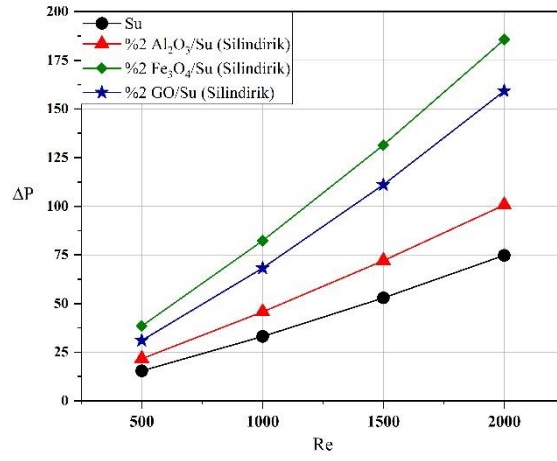
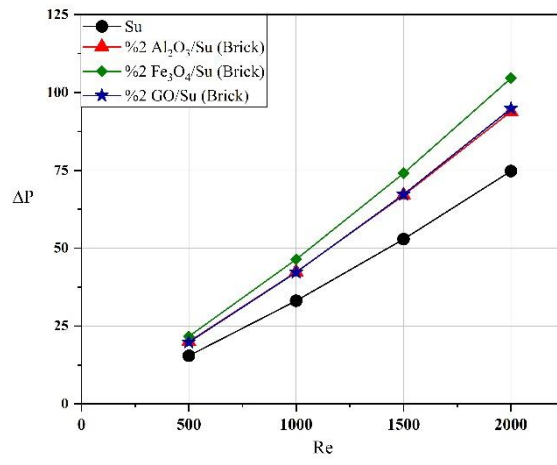
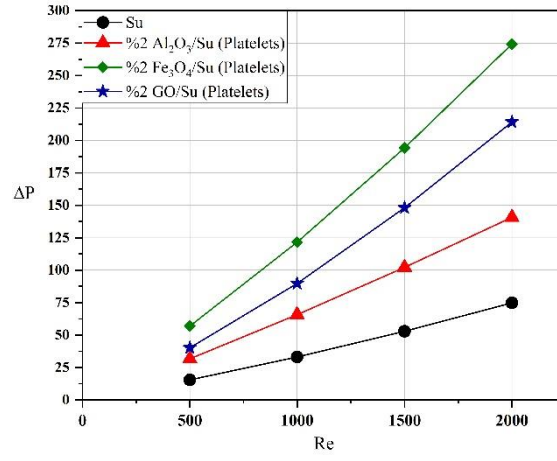
En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “330,323 Pa” ile Fe_3O_4 .su'ya ardından “233,304 Pa” ile GO.su'ya ve en son “121,3 Pa” değeri ile Al_2O_3 .su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %341,83, %212,1 ve %62,21 daha fazladır.

%4 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

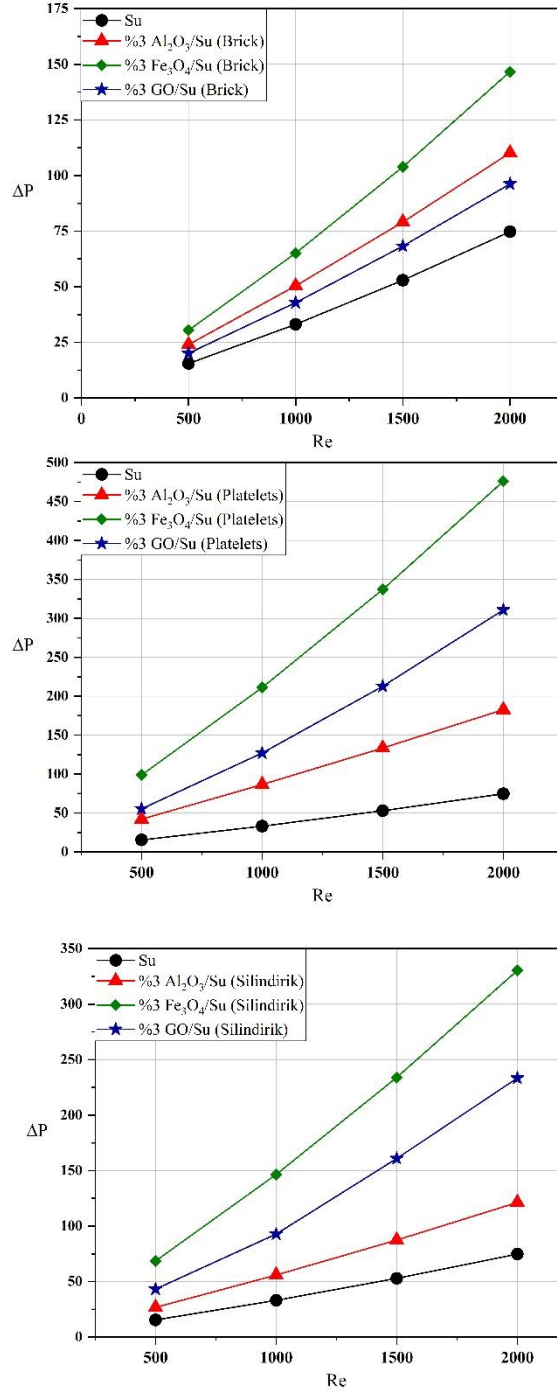
En yüksek “ ΔP ” değeri $Re=2000$ 'de “576,94 Pa” ile Fe_3O_4 .su'ya ardından “341,21 Pa” ile GO.su'ya ve en son “143,21 Pa” değeri ile Al_2O_3 .su'ya aittir. Bu değerler, suyun “ ΔP ” değerlerinden aynı sırayla; %671,7, %356,4 ve %91,55 daha fazladır. Sayısal analiz verilerinden yola çıkarak aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına ve şekil yapısına sahip farklı türdeki nanoakışkanların Statik basınç düşüşü “ ΔP ” değerlerinin tüm “ Re ” değerlerine göre değişimleri Şekil 5.33- 5.36'da detaylı olarak grafiklerle gösterilmiştir.



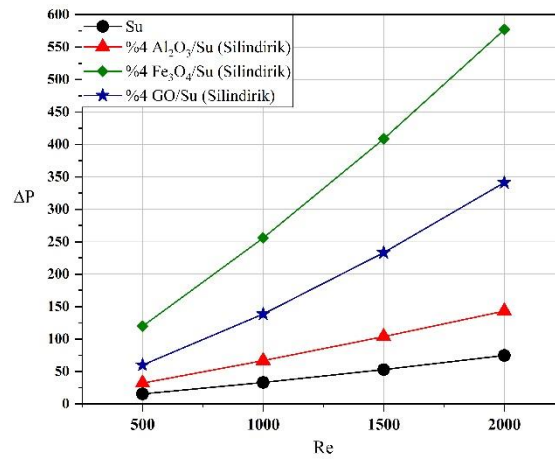
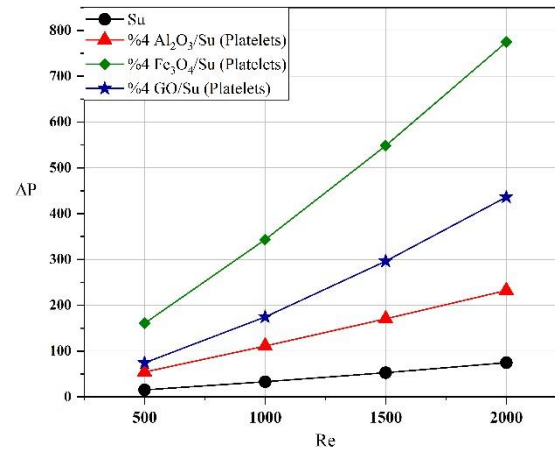
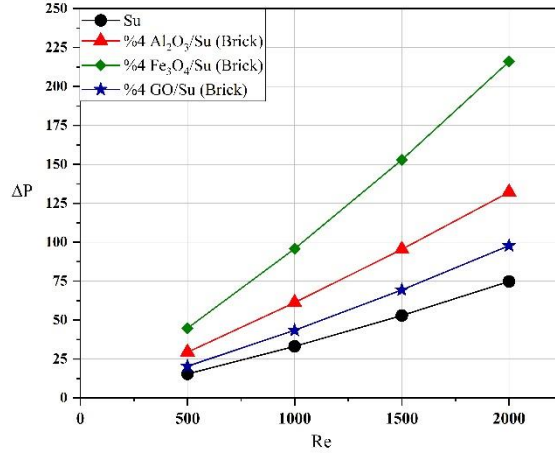
Şekil 5.33. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\phi = \%1$).



Şekil 5.34. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\phi = \%2$).



Şekil 5.35. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\varphi = \%3$).



Şekil 5.36. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak basınç düşümü ΔP değerinin değişimi ($\phi = \%4$).

5.4.4. Darcy Sürtünme Faktörü “ f ” Sonuçları

Sayısal analiz sonuçları incelendiğinde “ f ” Darcy sürtünme faktörü değerleri, değişen hacimsel konsantrasyon oranları için farklı tutumlar sergilemektedir ve düşük “Re”

sayılarında daha yüksek olan bu değerler “ Re ” sayısı arttıkça azalma eğilimindedir. tersine GO-Su nanoakışkanında platelet ve silindirik şekil yapısı içeren GO-Su’yun %2-3-4’lük hacimsel konsantrasyonları için hesaplanan “ f ” değerleri, suyun “ f ” değerinden düşük çıkmıştır. Ek olarak Şekil 5. 37-40’da verilen grafiklere göre tüm nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için $Re=500$ değerinde, platelet şekil yapısına sahip Al_2O_3 -su, platelet şekil yapısına sahip diğer nanoakışkanlara kıyasla en fazla Darcy sürtünme faktörü değerine sahip nanoakışkandır.

%1 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ f ” değeri $Re=500$ ’de “0,1993” ile Al_2O_3 -su’ya ardından “0,1383” ile Fe_3O_4 -su’ya ve en son “0,1055” değeri ile GO-su’ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ ’deki “ f ” değerinden Fe_3O_4 -su , Al_2O_3 -su için sırasıyla; %1,12, %45,69 daha fazla iken GO-su’yun değeri %22,84 daha düşüktür.

%1 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ f ” değeri $Re=2000$ ’de “0,0571” ile Al_2O_3 -su’ya ardından “0,0417” ile Fe_3O_4 -su’ya ve en son “0,0333” değeri ile GO-su’ya aittir.

%2 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ f ” değeri $Re=500$ ’de “0,2644” ile Al_2O_3 -su’ya ardından “0,1383” ile Fe_3O_4 -su’ya ve en son “0,0786” değeri ile GO-su’ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ ’deki “ f ” değerinden Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %93,3, %1,11 daha fazla iken GO-su’yun değeri %42,5 daha düşüktür.

%2 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ f ” değeri $Re=2000$ ’de “0,0734” ile Al_2O_3 -su’ya ardından “0,0417” ile Fe_3O_4 -su’ya ve en son “0,0262” değeri ile GO-su’ya aittir.

%3 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,3415” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1387” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0609” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %149,52, %1,41 daha fazla iken GO-su değeri %55,45 daha düşüktür.

%3 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,0927” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,0418” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0214” değeri ile GO-su'ya aittir.

%4 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,4291” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1384” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0489” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %213,67, %1,21 daha fazla iken GO-su değeri %64,25 daha düşüktür.

%4 platelet şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,115” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,0417” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,018” değeri ile GO-su'ya aittir.

%1 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,149” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,145” ile GO-su'ya ve en son “0,1385” değeri ile Fe_3O_4 -su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 -su, GO-su ve Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %8,91, %6,03, %1,27 daha fazladır.

%1 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,0444” ile Al_2O_3 'e ardından “0,0433” ile GO'e ve en son “0,0417” değeri ile Fe_3O_4 'e aittir.

%2 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,1669” ile Al_2O_3 'e ardından “0,1417” ile GO'e ve en son “0,1385” değeri ile Fe_3O_4 'e aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 için sırasıyla; %22,03, %3,6, %1,27 daha fazladır.

%2 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,0489” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,0424” ile GO-su'ya ve en son “0,0417” değeri ile Fe_3O_4 -su'ya aittir.

%3 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “1,1945” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1386” ile GO-su'ya ve en son “0,1383” değeri ile Fe_3O_4 'e aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 -su, GO-su ve Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %42,2, %1,35, %1,12 daha fazladır. Değerlerden anlaşılacağı gibi GO-su ve Fe_3O_4 -su nanoakışkanlarının değerleri birbirlerine çok yakındır.

%3 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,056” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,0417” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0415” değeri ile GO-su'ya aittir.

%4 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,2318” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1382” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,1355” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %69,45, %1,09, daha fazla iken GO-su için %0,94 daha düşüktür.

%4 brick şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,0652” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,0416” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0407” değeri ile GO-su'ya aittir.

%1 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,1623” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1385” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,1256” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Fe_3O_4 -su, Al_2O_3 -su için sırasıyla; %18,65, %1,27 daha fazla iken GO-su için %8,15 daha düşüktür.

%1 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,0478” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,0417” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0384” değeri ile GO-su'ya aittir.

%2 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,1623” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1385” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,1256” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %18,65, %1,27 daha fazla iken GO-su için %8,15 daha düşüktür.

%2 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=2000$ 'de “0,053” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,042” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,031” değeri ile GO-su'ya aittir.

%3 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “*f*” değeri $Re=500$ 'de “0,2169” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1388” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0734” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “*f*” değerinden Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %58,56, %1,48 daha fazla iken GO-su için %46,29 daha düşüktür.

%3 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ f ” değeri $Re=2000$ 'de “0,0615” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,04183” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0248” değeri ile GO-su'ya aittir.

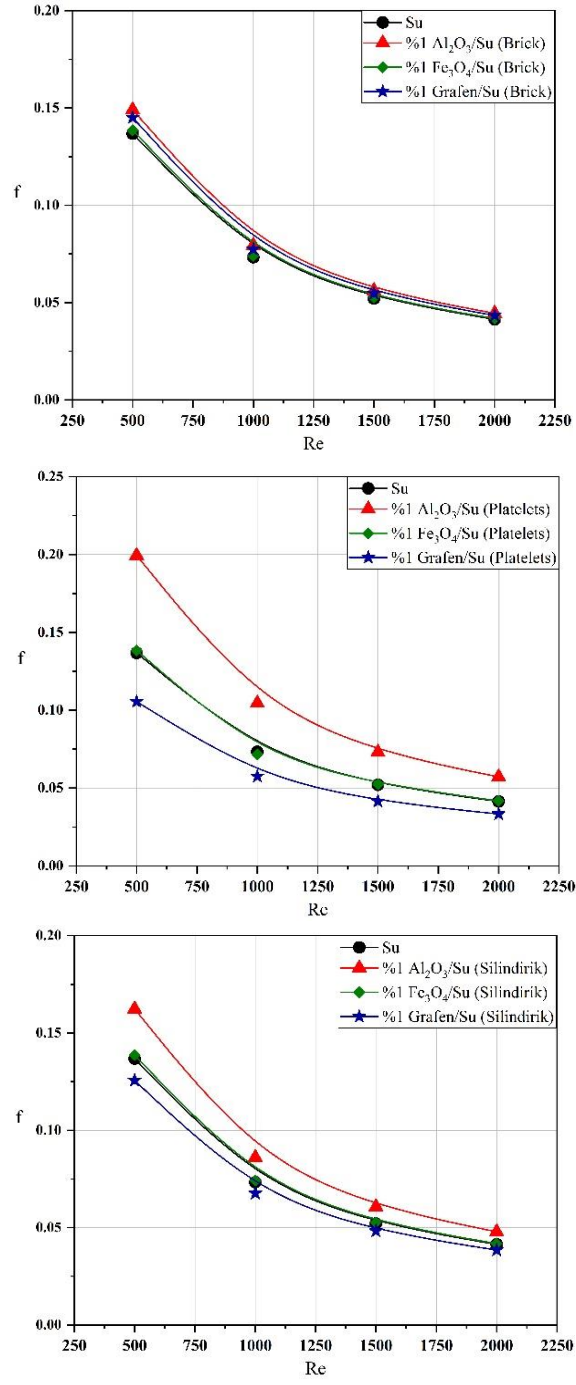
%4 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ f ” değeri $Re=500$ 'de “0,2536” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,1388” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,0568” değeri ile GO-su'ya aittir. Bu değerler suyun $Re=500$ 'deki “ f ” değerinden Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su için sırasıyla; %85,37, %1,46 daha fazla iken GO-su için %58,44 daha düşüktür.

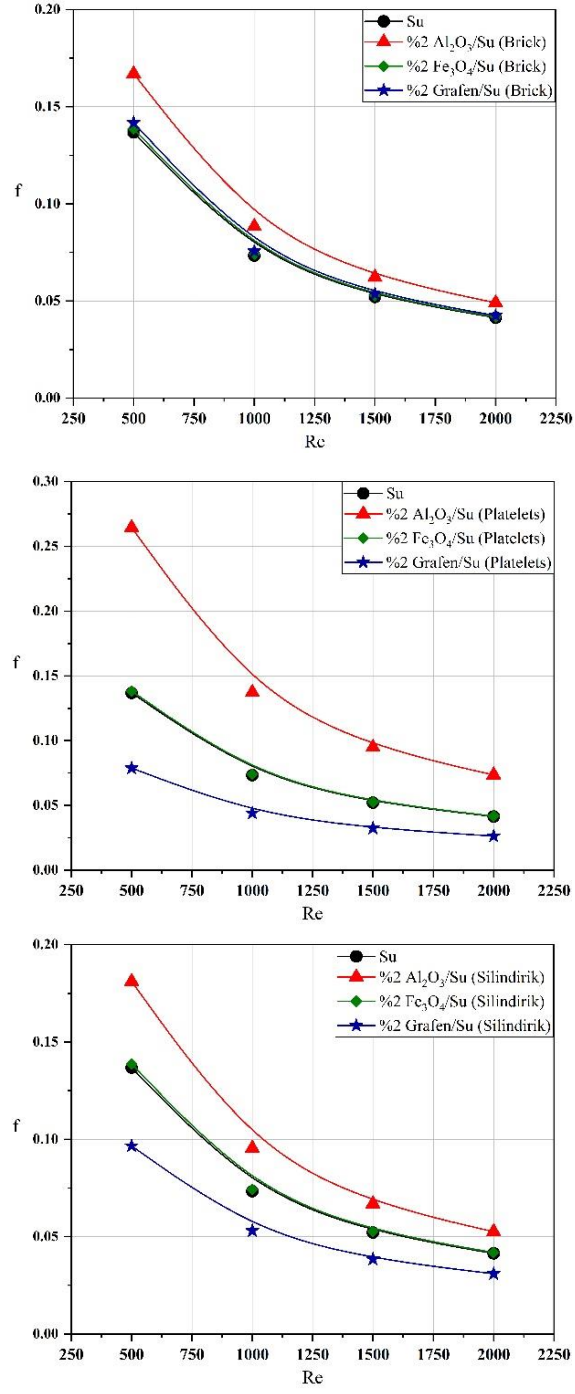
%4 silindirik şekilli nanopartikül hacimsel oranına sahip nanoakışkanlar için;

En yüksek “ f ” değeri $Re=2000$ 'de “0,0707” ile Al_2O_3 -su'ya ardından “0,04183” ile Fe_3O_4 -su'ya ve en son “0,02021” değeri ile GO-su'ya aittir.
($Re=500-2000$ değerleri için suyun “ f ” değerleri sırasıyla; “0,1368 ve 0,04137” dir.)

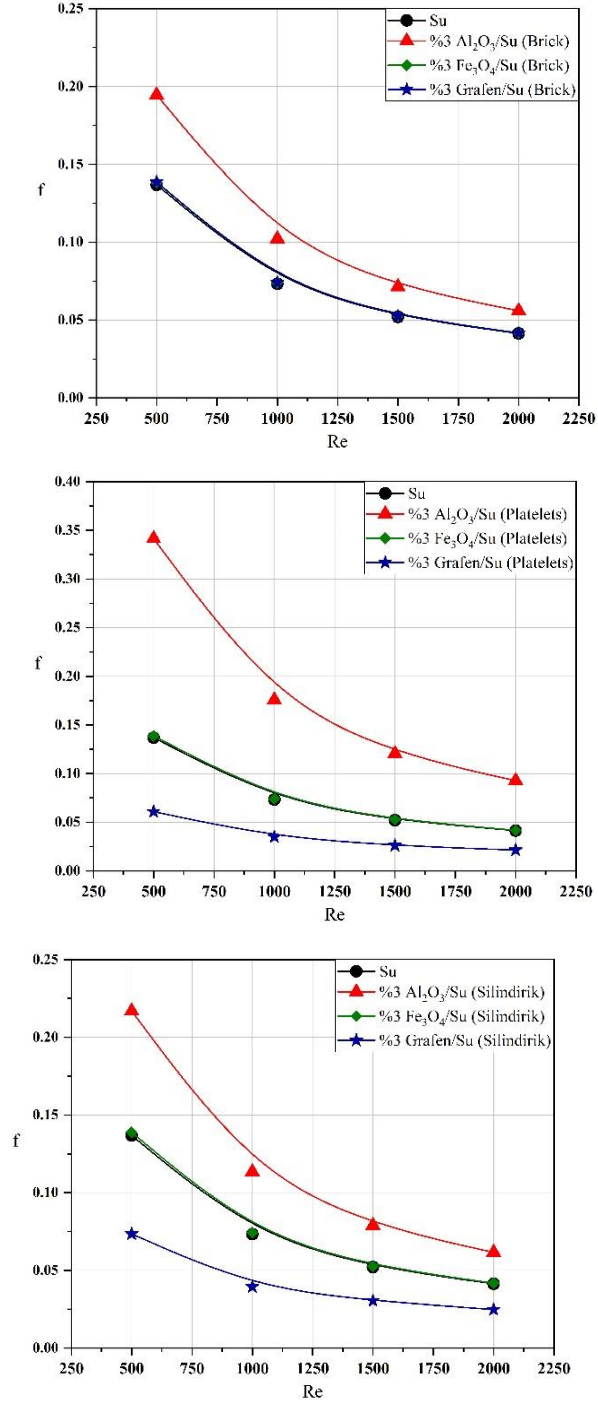
Yukarıda verilen sayısal analiz veriler doğrultusunda ve Şekil 5.37-5.40'da verilen aynı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına ve şekil yapısına sahip farklı türdeki nanoakışkanların Darcy Sürtünme Faktörü “ f ” değerlerinin “ Re ” değerlerine göre değişimlerini gösteren grafikler incelendiğinde, Darcy Sürtünme Faktörü hız ile ters orantılı olduğu için en büyük değerlerini en küçük Reynold değerlerinde almıştır. Reynold değeri büyüdükçe “ f ” değerlerinin azalacağını Eş. 3.1 ve Eş. 3.11'deki denklemlere dayanarak söylemek mümkündür.



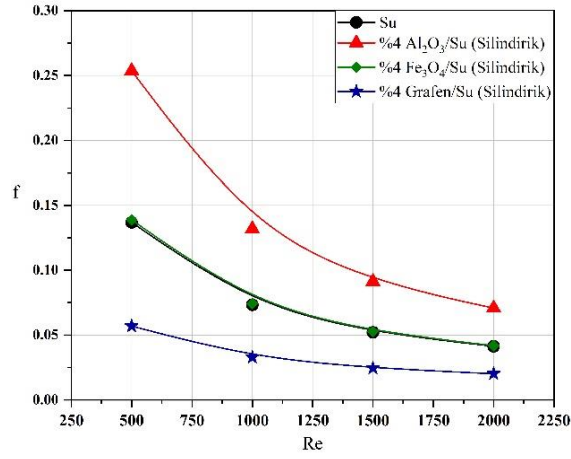
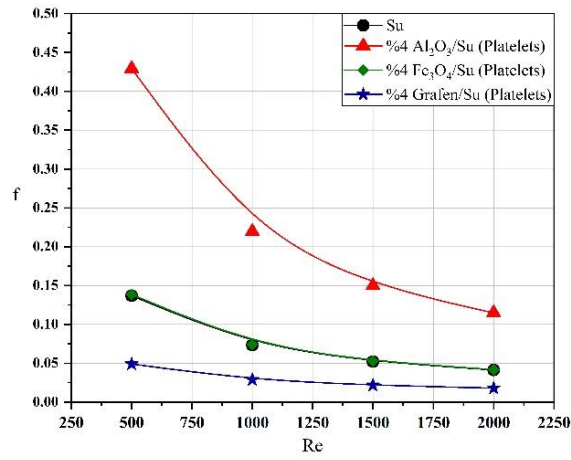
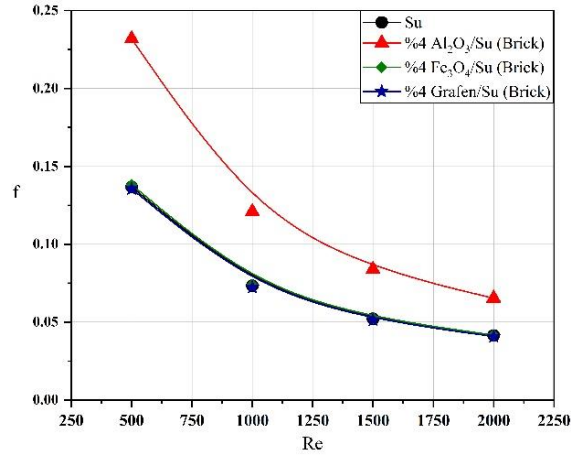
Şekil 5.37. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi = \%1$).



Şekil 5.38. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi = 2\%$).



Şekil 5.39. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi = \%3$).



Şekil 5.40. Aynı şekil yapısına sahip nanoakışkanların Re sayısına bağlı olarak Darcy sürtünme faktörü f , değerinin değişimi ($\phi = \%4$).

5.5. PERFORMANS DEĞERLENDİRME KRİTERİ

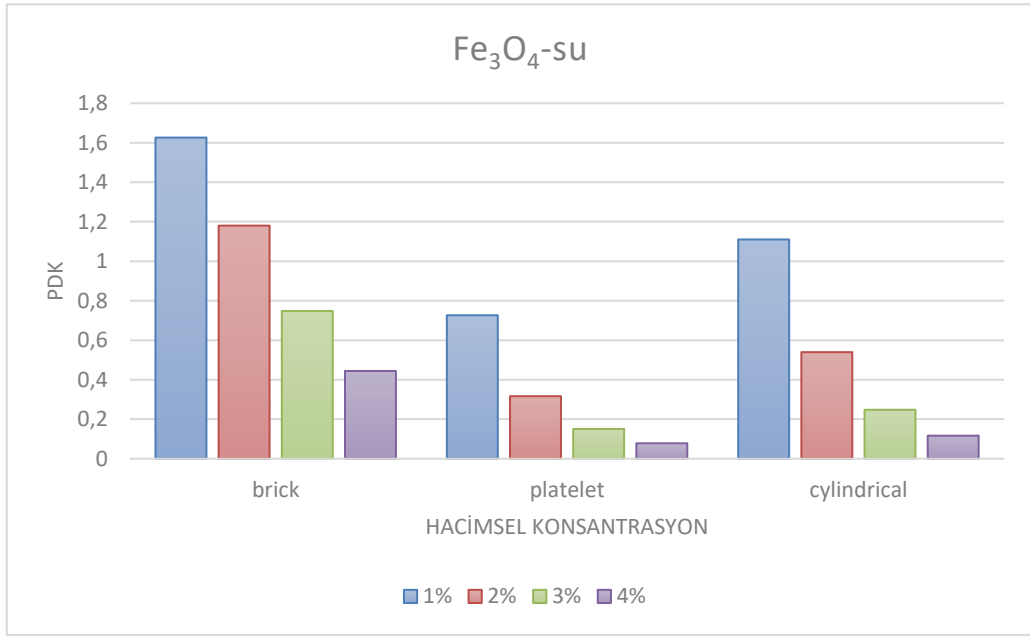
Bir baz akışkana nanopartiküllerin eklenmesi sadece ısı transferini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda kesme gerilmelerini ve basınç kayıplarını da artıracaktır.

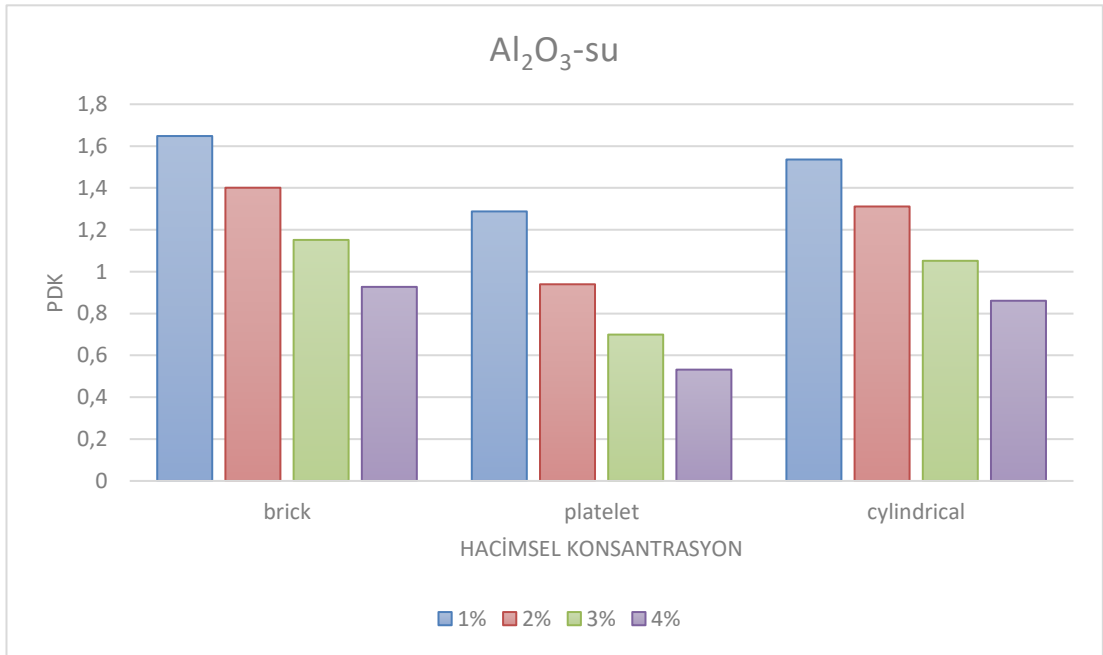
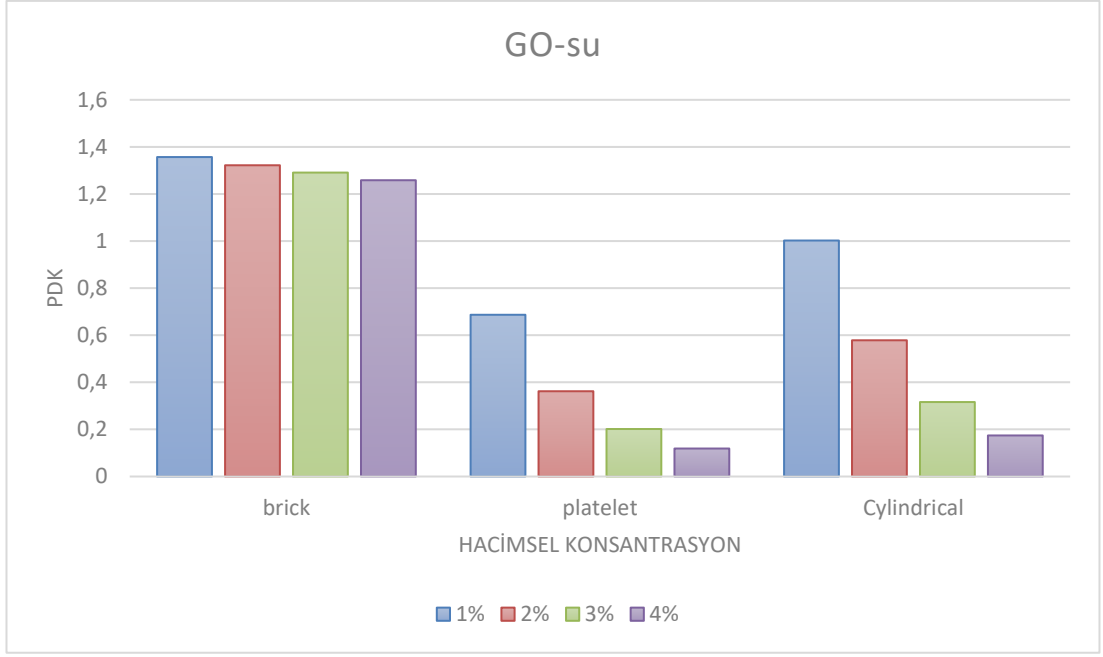
Bu ısı transferi uygulamalarında en uygun soğutma sıvısını seçerken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir unsurdur. Literatürde PEC (Performance Evaluation Criteria) olarak ifade edilen performans değerlendirme kriteri (PDK), ısı akısı etkisi ve çalışma akışkanı olarak nanoakışkanlar kullanıldığında sistem verimliliğini değerlendirebilmek için kullanılan bir kavramdır. Isı transferi performansı artışının, ortalama Darcy sürtünme faktörünün artışına oranı olarak açıklanmaktadır [94]. Bu bağlamda PDK değeri “1” değerinden ne kadar büyükse nanoakışkan kullanımı o kadar faydalı olacaktır. Çünkü sürtünme kayıplarından doğacak olan basınç farkı ve dolayısı ile pompa gücü ihtiyacı, performanstan elde edilecek avantajın önüne geçmeyecektir, kullanımları uygundur. Ters durumda yani “1” değerinden düşük PDK değerlerine sahip nanoakışkanların kullanımı tercih edilmemelidir. Bu yüzden PDK değerleri yorumlanırken, kullanılan nanoakışkanın PDK değerinin “1” kritik noktasından olabildiğince büyük bir değer olması istenen durumdur.

Şekil 5.41’de performans değerlendirme katsayılarına ait sonuçlar, $Re=2000$ değeri için, GO-su , Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su nanoakışkanlarına ait üç farklı şekil yapısının, farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyonlarında aldıkları değerleri göstermektedir. Şekil 5.41’deki PDK sonuçları incelendiğinde %1, %2, %3 ve %4 ‘lük nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarının hepsinde bütün nanoakışkanlar için en yüksek PDK değerinin brick şekil yapısına ait olduğu görülmektedir. Aynı zamanda GO-su , Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -su nanoakışkanlarının hepsinde en iyi PDK değeri, %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyonundaki brick şekline aittir. Bu değerler brick şekil yapısındaki %1’lik nanopartikül hacimsel konsantrasyon miktarına sahip; GO-su için “1,356”, Al_2O_3 -su için “1,648”, Fe_3O_4 -su için “1,626” olarak belirlenmiştir. En düşük PDK değerleri, %4’lük platelet şekline sahip nanoakışkanlara aittir. Bu değerler %4’lük nanopartikül hacimsel konsantrasyon ve platelet şekil yapısındaki; GO-su için “0,118”, Al_2O_3 -su için “0,531”, Fe_3O_4 -su için “0,078” olarak belirlenmiştir. Sayısal analiz verilerine göre en düşük PDK değeri platelet şekilli Fe_3O_4 -su nanoakışkanının %4’lük konsantrasyonuna aittir.

Şekil 5.41’deki grafikler incelendiğinde hacimsel konsantrasyon miktarlarının artışı ile PDK değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Ek olarak; %4 oranında

nanopartikül hacimsel konsantrasyonu içeren, brick şekilli Fe_3O_4 -su nanoakışkanının, “ $Re=1000$ iken $PDK=1,666$ ”, “ $Re=1500$ iken $PDK=0,774$ ”, $Re=2000$ iken $PDK=0,444$ ” değerlerinden yola çıkarak, Reynold sayısı yükseldikçe PDK değerlerinde azalma meydana geldiği söylenebilir. Bu çalışma sonuçlarından yola çıkarak Brick şekil yapısına sahip %1 ve %2 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip Fe_3O_4 -su nanoakışkanının artan ısı transfer performansının, pompalanması için gereken güç miktarından fazla olduğu söylenebilir.





Şekil 5.41. Performans değerlendirme katsayılarının karşılaştırması.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı nanopartikül şekline (morfolojisine) sahip Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 nanopartikülleri ve baz akışkan olarak saf su ile oluşturulan nanoakışkanların akış ve ısı transferine etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Akış sabit duvar ısı akısı (1000 W/m^2) altında ve laminer akış şartlarında ($500 \leq Re \leq 2000$) gerçekleştirilmiştir. Brick, platelet ve silindirik şekilli Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 nanopartikülleri kullanılarak %1, %2, %3, %4'lük hacimsel konsantrasyon oranlarına sahip, baz akışkan olarak suyla oluşturulan nanoakışkanlar kullanılmıştır. Sayısal analizlerde, sonlu hacimler tekniğine dayalı çözümlene yapabilen ANSYS Fluent kodu, problemle ilgili olan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini iteratif olarak çözmek için kullanılmıştır. Sayısal analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir:

- Nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ve “ Re ” değeri arttıkça ısı taşınım katsayısı “ h ” değerlerinin de artmaktadır. En yüksek ısı transfer katsayısı değeri (h) $Re=2000$ 'de, %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına sahip platelet şekilli nanoakışkanlarda gözlemlenmiştir. Bu değerler platelet şekilli Fe_3O_4 -su, GO-su ve Al_2O_3 -su nanoakışkanları için sırayla; $867,68 \text{ W/m}^2\text{K}$, $866,93 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $830,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir ve sudan aynı sırayla; %81,65, %81,49 ve %73,84 daha fazladır. $Re=2000$ için,%4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranında plateletteki en yüksek değeri sırayla; Al_2O_3 -su için brick ($750,266 \text{ W/m}^2\text{K}$), silindirik ($666,66 \text{ W/m}^2\text{K}$); Fe_3O_4 -su için silindirik ($825,76 \text{ W/m}^2\text{K}$),brick ($712,5 \text{ W/m}^2\text{K}$); GO-su için silindirik ($813,01 \text{ W/m}^2\text{K}$), brick ($589,97 \text{ W/m}^2\text{K}$) şekilleri takip eder.
- Nusselt sayısı değerleri de ısı transfer katsayısı değerlerinde olduğu gibi Platelet şekil yapısına sahip nanoakışkanlarda en yüksek değerlerini almıştır.

Bu benzer durumun sebebi “ h ” ve Nusselt sayısının birbirleri ile doğru orantılı ilişkilerinin olmasıdır. Sonuç olarak, Reynold sayısı değerinin ve nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranının artışı, Nu ve h değerlerini artırmaktadır. Bu değerler platelet şekilli GO-su Al_2O_3 -su ve Fe_3O_4 -Su nanoakışkanları için sırayla; “12,76”, “12,39”, “12,08”dir ve bu değerler suyun $Re=2000$ 'deki değerinden aynı sırayla; %64,34, %59,5, %55,59 daha fazladır. Platelet şekil yapısına sahip, %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ve $Re=2000$ değeri için; GO-su Al_2O_3 -su ve Fe_3O_4 -Su platelet şekline ait en yüksek “ Nu ” değerlerini sırayla; Al_2O_3 -su için brick (10,89), silindirik (9,9); Fe_3O_4 -su için silindirik (11,61),brick (10,15); GO-su için silindirik (11,42), brick (8,45) şekilleri takip eder.

- Sayısal analiz verilerine göre; hacimsel konsantrasyon oranı ve Reynold sayısı değeri arttıkça “ ΔP ” artmaktadır. En yüksek statik basınç farkı (ΔP) değeri tüm nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarındaki Al_2O_3 -su, Fe_3O_4 -Su ve GO-Su nanoakışkanları için büyükten küçüğe doğru sırayla; platelet, silindirik ve brick şekillerine aittir. Bu sonuçtan en yüksek pompa gücü ihtiyacının platelet şekil yapısına, en düşük pompa gücü ihtiyacının ise brick şekil yapısına sahip nanopartiküllerde olacağı sonucu çıkartılabilir. Ayrıca aynı şekil yapısındaki nanoakışkanların “ ΔP ” sıralaması büyükten küçüğe doğru sırayla; Fe_3O_4 -Su, GO-Su ve Al_2O_3 -su şeklindedir. %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranında $Re=2000$ için en yüksek “ ΔP ” değeri platelet şekil yapısına sahip Fe_3O_4 -Su nanoakışkanı için “774,38 Pa” olarak hesaplanmıştır ve bu değer suyun $Re=2000$ 'deki değerinden %935,81 daha fazladır. En düşük ΔP sonuçları brick şekil yapısına sahip nanoakışkanlarda saptanmıştır.
- Borudaki sürtünmeden kaynaklanan kayıpları yenmek için akışkana pompa tarafından güç aktarılması gerekmektedir. Bu çalışmaya göre en yüksek pompa gücü gerektiren nanopartikül şekli platelettir, plateletten sonra silindirik ve en düşük pompa gücü değeri ise brick şekilli nanoakışkanlara aittir. En yüksek pompalama gücü gerektiren nanoakışkanın ise brick şekil yapısındaki %1'lik hacimsel konsantrasyon değerleri dışındaki bütün şekil yapılarında Fe_3O_4 -su olduğu söylenebilir. Brick şekil yapısına sahip Fe_3O_4 -su nanoakışkanı, %1

hacimsel konsantrasyonda brick şekline sahip Al_2O_3 ile neredeyse aynı pompalama gücü gerektirmektedir.

- Darcy sürtünme faktörü ile hız arasında ters orantı bulunmaktadır. Bu yüzden nanoakışkanların en yüksek Darcy sürtünme faktörü değerleri düşük Reynold sayılarında kaydedilmiştir. Silindirik ve brick şekil yapısı içeren GO-su nanoakışkanının tüm hacimsel konsantrasyonlarında ve brick şekil yapısına sahip GO-su nanoakışkanının sadece %4'lük hacimsel konsantrasyonunda " f " değerleri suyun f değerinin altında tespit edilmiştir. Bu farklı davranışların, termofiziksel özelliklerden viskozitenin hesaplanmasında farklı modellerin kullanılmasından kaynaklandığı söylenebilir. En büyük " f " değeri, Fe_3O_4 -su nanoakışkanında silindirik şekil için; $\phi=3$, $Re=500$ 'de "0,1388" ve GO-su nanoakışkanında brick şekil yapısı için; $\phi=1$, $Re=500$ 'de "0,145" olarak hesaplanmıştır. Bu değerler suya göre sırasıyla %6,03, %1,48 daha fazladır. Al_2O_3 -su nanoakışkanının en yüksek değeri ise %4 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranında, $Re=500$ için, "0,42" olarak platelet şekilli nanopartikül için hesaplanmıştır ve suya göre %213,67 daha fazladır.
- PDK değeri ile hacimsel konsantrasyon miktarı ters orantılıdır, hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça PDK değeri azalmaktadır. En yüksek PDK değerleri %1'lik hacimsel konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. GO-su nanoakışkanının brick yapısına sahip tüm hacimsel konsantrasyonları 1,2'den büyük çıkmıştır. %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranındaki Al_2O_3 -su nanoakışkanının bütün şekillerdeki değerleri 1,2'den büyük çıkmıştır, öyleki brick şekil için bu değer 1,6'ya, silindirik şekil için ise 1,5'e ulaşmıştır. Fe_3O_4 -su için ise; en iyi PDK değerleri yine sırasıyla %1 nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarında; brick ve silindirik için sırayla; "1,6" ve "1,1" değerlerindedir. Nanoakışkanların tüm nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranları için şekil yapıları kıyaslandığında, en yüksek PDK değerleri brick şekil yapısına sahip nanoakışkanlarda hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Tu, J., Yeoh, G.-H., Liu, C., “Hesaplamalı Akışkanlar Diamiği Temelleri ve Uygulamaları 3. baskı”, *Çeviri Editörü, Engin T.*, Ankara, 1-42 (2020).
2. Cheng, K. C., and T. Fujii. "Heat in history Isaac Newton and heat transfer." *Heat transfer engineering*, 19.4, 9-21, (1998).
3. Sarviya, R. M. Fuskele, V., “Review on Thermal Conductivity of Nanofluids.”, *Materials Today: Proceedings*, 4, 4022–4031 (2017).
4. Xie, H. Q., Wang, J. C., Xi, T. G., & Liu, Y., “Thermal conductivity of suspensions containin nanosized SiC particles.”, *International Journal of Thermophysics*, 23(2), 571-580, (2002).
5. Nandy, P., Roetzel, W., Das, S. K., “Natural convection of nanofluids.”, *Heat and Mass Transfer*, 39, 775–784 (2003).
6. Murshed, S. M. S.; Leong, K. C.; Yang, C., “Enhanced thermal conductivity of TiO₂—water based nanofluids.”, *International Journal of thermal sciences*, 44.4: 367-373, (2005).
7. Chon, C. H., Kihm, K. D., Lee, S. P., & Choi, S. U., “Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement”, *Applied Physics Letters*, 87(15), 153107, (2005).
8. Jang, Seok Pil, and Stephen US Choi. "Role of Brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids." *Applied physics letters* 84.21: 4316-4318, (2004).
9. Buongiorno, Jacopo. "Convective transport in nanofluids.", *ASME. J. Heat Transfer*, 128(3):240-250, March (2006).
10. Chopkar, Manoj, and Indranil Manna. "Synthesis and characterization of nanofluid for advanced heat transfer applications.", *Scripta Materialia* 55.6, (2006).
11. Palm, Samy Joseph, Gilles Roy, and Cong Tam Nguyen. "Heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling systems considering temperature-dependent properties.", *Applied thermal engineering*, 26.17-18: 2209-2218, (2006).
12. Chopkar, M., Kumar, S., Bhandari, D. R., Das, P. K., & Manna, I., “Development and characterization of Al₂Cu and Ag₂Al nanoparticle dispersed water and ethylene glycol based nanofluid.”, *Materials Science and Engineering: B*, 139(2-

- 3), 141-148 (2007).
13. Duangthongsuk, W., Wongwises, S.,” Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂-H₂O nanofluids.”, *Experimental thermal and fluid science*, 33(4), 706-714 (2009).
 14. Singh, D., Timofeeva, E., Yu, W., Routbort, J., France, D., Smith, D., & Lopez-Cepero, J. M., An investigation of silicon carbide-water nanofluid for heat transfer applications,” *Journal of Applied Physics*”, 105(6), 064306, (2009).
 15. Jeong, J., Li, C., Kwon, Y., Lee, J., Kim, S. H., & Yun, R.,” Particle shape effect on the viscosity and thermal conductivity of ZnO nanofluids.”, *International journal of refrigeration*, 36(8), 2233-2241, (2013).
 16. Mahian, O., Kianifar, A., Heris, S. Z., & Wongwises, S.,” First and second laws analysis of a minichannel-based solar collector using boehmite alumina nanofluids: effects of nanoparticle shape and tube materials.”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 78, 1166-1176, (2014).
 17. Zaraki, A., Ghalambaz, M., Chamkha, A. J., Ghalambaz, M., & De Rossi, D.,” Theoretical analysis of natural convection boundary layer heat and mass transfer of nanofluids: effects of size, shape and type of nanoparticles, type of base fluid and working temperature.”, *Advanced Powder Technology*, 26(3), 935-946, (2015).
 18. Kim, H. J., Lee, S. H., Lee, J. H., & Jang, S. P.,” Effect of particle shape on suspension stability and thermal conductivities of water-based boehmite alumina nanofluids.”, *Energy*, 90, 1290-1297, (2015).
 19. Karimi-Nazarabad, M., Goharshadi, E. K., & Youssefi, A.,” Particle shape effects on some of the transport properties of tungsten oxide nanofluids.”, *Journal of Molecular Liquids*, 223, 828-835, (2016).
 20. Yang, L., Du, K., & Zhang, X.,” A theoretical investigation of thermal conductivity of nanofluids with particles in cylindrical shape by anisotropy analysis.”, *Powder Technology*, 314, 328-338, (2017).
 21. İnada, Aslı A., “Nanopartikül Şekil etkisinin ve İletken Köşe Bölmesinin Nanoakışkanla Dolu Bir Kavitede Doğal Taşınım Etkisinin Sayısal Analizi.”, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Y.L Thesis, Manisa, 76-78, (2017).
 22. Arani, A., Sadripour, S., & Kermani, S.,” Nanoparticle shape effects on thermal-hydraulic performance of boehmite alumina nanofluids in a sinusoidal–wavy minichannel with phase shift and variable wavelength,” *International Journal of Mechanical Sciences*, 128, 550-563 (2017).
 23. Khan, U., Ahmed, N., & Mohyud-Din, S. T.,” Analysis of magnetohydrodynamic flow and heat transfer of Cu–water nanofluid between parallel plates for different

- shapes of nanoparticles.”, *Neural Computing and Applications*, 29(10), 695-703 (2018).
24. Vo, D. D., Alsarraf, J., Moradikazerouni, A., Afrand, M., Salehipour, H., & Qi, C., “Numerical investigation of γ -AlOOH nano-fluid convection performance in a wavy channel considering various shapes of nanoadditives.”, *Powder Technology* “, 345, 649-657, (2019).
 25. Raza, J., Mebarek-Oudina, F., & Chamkha, A. J.,” Magneto hydrodynamic flow of molybdenum disulfide nanofluid in a channel with shape effects.”, *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, (2019).
 26. Maheshwary, P. B., Handa & Nemade, K. R.,” A comprehensive study of effect of concentration, particle size and particle shape on thermal conductivity of titania/water based nanofluid.”, *Applied Thermal Engineering*, 119,79-88 (2017).
 27. Maheshwary, P. B., Handa, C. C., Nemade, K. R., & Chaudhary, S. R.,” Role of nanoparticle shape in enhancing the thermal conductivity of nanofluids.”, *Materials Today: Proceedings*, 28, 873-878 (2020).
 28. Tlili, I., Samrat, S. P., Sandeep, N., & Nabwey, H. A.,” Effect of nanoparticle shape on unsteady liquid film flow of MHD Oldroyd-B ferrofluid.”, *Ain Shams Engineering Journal*, (2021).
 29. Kaya, H., Alkasem, M., & Arslan, K., "Effect of nanoparticle shape of Al₂O₃/Pure Water nanofluid on evacuated U-Tube solar collector efficiency.", *Renewable Energy*, 162: 267-284, (2020).
 30. Ekiciler, R., Çetinkaya, M. S. A., & Arslan, K., “Heat transfer enhancement in an equilateral triangular duct by using an Al₂O₃/water nanofluid: effect of nanoparticle shape and volume fraction”, *Heat Transfer Research*, 51(8), (2020).
 31. Das, Zahmatkesh, I., Sheremet, M., Yang, L., Heris, S.Z., Sharifpur, M., Meyer, J.P., Ghalambaz, M., Wongwises, S., Jing, D., Mahian, O., Effect of nanoparticle shape on the performance of thermal systems utilizing nanofluids: A critical review, “*Journal of Molecular Liquids* “, 321, 114430, June (2020).
 32. Jiang, Yanni, Xiaoming Zhou, and Yang Wang. "Effects of nanoparticle shapes on heat and mass transfer of nanofluid thermocapillary convection around a gas bubble." *Microgravity Science and Technology* 32.2: 167-177, (2020).
 33. Sahoo, Rashmi Rekha. "Thermo-hydraulic characteristics of radiator with various shape nanoparticle-based ternary hybrid nanofluid.", *Powder Technology*, 370: 19-28, (2020).
 34. Hosseinzadeh, Kh, et al. "Investigation of micropolar hybrid ferrofluid flow over a vertical plate by considering various base fluid and nanoparticle shape factor." *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, (2020).

35. Selimefendigil, F., & Öztop, H. F., "Effects of nanoparticle shape on slot-jet impingement cooling of a corrugated surface with nanofluids.", *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 9(2), (2017).
36. Altunay, F., Arslan, K., "Effect of Nanoparticle Shape and Volume Fraction on Nanofluid Flow in Serpentine Microtube.", *European Journal of Science and Technology*, (28), 702-709, (2021).
37. Bahiraei, M., & Monavari, A., "Thermohydraulic performance and effectiveness of a mini shell and tube heat exchanger working with a nanofluid regarding effects of fins and nanoparticle shape.", *Advanced Powder Technology*, 32(12), 4468-4480, (2021).
38. Gordon, A. T., Lutz, G. E., Boninger, M. L., and Cooper, R. A., "Introduction to nanotechnology: Potential applications in physical medicine and rehabilitation", *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 86(3):225–241, (2007).
39. Maxwell, J.C., "Electricity and Magnetism.", *Clarendon Press*, Oxford, UK, (1873).
40. Maxwell J. C. A., "Treatise on Electricity and Magnetism, *Clarendon Press*, Oxford, UK, (1881).
41. Choi, S.U. ve Eastman, J., "Enhancing thermal conductivity of fluids with Nanoparticles.", *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, San Francisco, CA., (1995).
42. Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A., "Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles.", *Asme Journal of Heat Transfer*, 121, 280–289, (1999).
43. Silva, S., Almeida, A. J., & Vale, N., "Combination of cell-penetrating peptides with nanoparticles for therapeutic application: a review.", *Biomolecules*, 9(1), 22, (2019).
44. Paolucci, S. and Puliti, G., "Heat Transfer Enhancement with Nanofluids", *Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., Kambiz, V., Taylor and Francis Group Press*, 13:978-1-4822-5402-0 (eBook-PDF), Chap-1:1-34, (2015).
45. ÜNVAR Sinan and Tayfun MENLİK, "Effects of Using Nanofluids in Solar Collectors." *Politeknik Dergisi*, 24(3): 1073-1091, (2021).
46. Cao Guozhong, "Nanostructures & Nanometaterials: Synthesis, Properties & Applications", *Imperial College Press*, London, University of Washington, Chap-1:1-13, (2004)
47. Suslick, K. S., Fang, M., and Hyeon, T., "Sonochemical Synthesis of Iron Colloids.", *Journal of American Chemical Society*, 118, 11960, (1996).

48. Chopkar, M, P. K. Das, and I. Manna.,” Synthesis and characterization of nanofluid for advanced heat transfer applications.”, *Scripta Materialia.*, 55, 549–552, (2006).
49. Xuan Y, Li Q.,” Heat transfer enhancement of nanofluids.”, *International Journal of Heat and Fluid Flow.*, 21(1), 58–64, (2000).
50. Li, Y., Zhou, J., Tung, S., Schneider, E., Xi, S.,” A review on development of nanofluid preparation and characterization.”, *Powder Technology.*, 196, 89-101, (2009).
51. AKYÜREK, Eda Feyza,” Nanoakışkanların Ve Türbülatorlerin İç İçe Borulu Isı Değiştirici Isıl Performansına Etkilerinin İncelenmesi.”, Doktora Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, *Atatürk Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, (2014).
52. Babita, Sharma, S.K., Gupta, S.M.,” Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: A review.”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 202-212, (2016).
53. Chamsa-ard, W. Brundavanam, S. Fung, C. Fawcett, D. Poinern, G.,” Nanofluid Types, Their Synthesis, Properties and Incorporation in Direct Solar Thermal Collectors: A Review.”, *Nanomaterials*, 7, 13, (2017).
54. Mahian, O., Kianifar, A., Heris, S. Z., Wongwises, S.,” First and second laws analysis of a minichannel-based solar collector using boehmite alumina nanofluids: Effects of nanoparticle shape and tube materials.”, *International journal of heat and mass transfer*, 78, 1166-1176, (2014).
55. Lin, Y., Li, B., Zheng, L., & Chen, G.,” Particle shape and radiation effects on Marangoni boundary layer flow and heat transfer of copper-water nanofluid driven by an exponential temperature.”, *Powder Technology*, 301, 379-386, (2016).
56. Ghadikolaie, S. S., and M. Gholinia., "Terrific effect of H₂ on 3D free convection MHD flow of C₂H₆O₂H₂O hybrid base fluid to dissolve Cu nanoparticles in a porous space considering the thermal radiation and nanoparticle shapes effects.", *International Journal of Hydrogen Energy*, 44.31: 17072-17083, (2019).
57. Zaraki, A., Ghalambaz, M., Chamkha, A. J., Ghalambaz, M., & De Rossi, D.,” Theoretical analysis of natural convection boundary layer heat and mass transfer of nanofluids: effects of size, shape and type of nanoparticles, type of base fluid and working temperature.”, *Advanced Powder Technology*, 26(3), 935-946, (2015).
58. Elias, M. M., Miqdad, M., Mahbubul, I. M., Saidur, R., Kamalisarvestani, M., Soheli, M. R., ... & Amalina, M. A.,” Effect of nanoparticle shape on the heat transfer and thermodynamic performance of a shell and tube heat exchanger.”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 44, 93-99, (2013).

59. Mahian, O., Kianifar, A., Sahin, A. Z., & Wongwises, S.,” Performance analysis of a minichannel-based solar collector using different nanofluids.”, **Energy conversion and management**, 88, 129-138, (2014).
60. Monfared, M., Shahsavari, A., & Bahrebar, M. R.,” Second law analysis of turbulent convection flow of boehmite alumina nanofluid inside a double-pipe heat exchanger considering various shapes for nanoparticle.”, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 135(2), 1521-1532, (2019).
61. Bhattad, A., & Sarkar, J.,” Effects of nanoparticle shape and size on the thermohydraulic performance of plate evaporator using hybrid nanofluids.”, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 143(1), 767-779, (2021).
62. Ghobadi, A. H., & Hassankolaei, M. G.,” A numerical approach for MHD Al₂O₃–TiO₂/H₂O hybrid nanofluids over a stretching cylinder under the impact of shape factor.”, **Heat Transfer—Asian Research**, 48(8), 4262-4282, (2019).
63. Zahmatkesh, I., Sheremet, M., Yang, L., Heris, S. Z., Sharifpur, M., Meyer, J. P., ... & Mahian, O.,” Effect of nanoparticle shape on the performance of thermal systems utilizing nanofluids: A critical review.”, **Journal of Molecular Liquids**, 321, 114430, (2021).
64. Ghozatloo, A. Rashidi, A. Shariety-Niagvar, M.,” Convective Heat Transfer Enhancement of Graphene Nanofluids in Shell and Tub Heat Exchanger.”, **Experimental Thermal and Fluid Science**, 53, 136-141, (2014).
65. Karami, M. Bahabadi, M. A. Delfani, S. Ghozatloo, A.,” A new application of carbon nanotubes nanofluid as working fluid of low-temperature direct absorption solar collector.”, **Solar Energy Materials & Solar Cells**, V 121, 114–118, (2014).
66. Bejan, A., Kraus, A. D.,” Heat Transfer Handbook.”, **John Wiley & Sons, Inc.**, Hoboken, New Jersey, Canada, 1043-1049 s, (2003).
67. Xuan, Y., & Li, Q.,” Heat transfer enhancement of nanofluids.”, **International Journal of heat and fluid flow**, 21(1), 58-64, (2000).
68. Karabulut, K.,” Isı Değiştiricilerde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması.”, **Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi** 149 (2015).
69. Cengel, Y. and Boles, M., "Thermodynamics: An Engineering Approach", 8th Editio. Ed., **McGraw-Hill Education**, (2014).
70. Cengel, Y. and Cimbala J. M., "Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları”, 3th Editio. Ed., **Tahsin, E.**, Palme yayıncılık: 9-13, 353-358, (2015).

71. Shah, R. K. and London, A. L., "Laminar Flow Forced Convection in Ducts: A Source Book for Compact Heat Exchanger Analytical Data", *Laminar Flow Forced Convection in Ducts*, (1978).
72. Gnielinski, V., "G1 Heat Transfer in Pipe Flow", *VDI Heat Atlas*, (2010).
73. Churchill, S. W. and Ozoe, H., "Correlations for laminar forced convection with uniform heating in flow over a plate and in developing and fully developed flow in a tube", *ASME. J. Heat Transfer. February*, 95(1): 78–84 (1973).
74. Mills, A. F., "Basic Heat and Mass Transfer", *Prentice Hall*, (1999).
75. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., and Lavine, A. S., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer (6th Edition)", *WILEY*, (2007).
76. Paolucci, S. and Puliti, G., "Heat Transfer Enhancement with Nanofluids", *Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., Kambiz, V., Taylor and Francis Group Press*, 13:978-1-4822-5402-0 (eBook-PDF), 140, (2015)
77. Morrison, Faith A., "Data correlation for friction factor in smooth pipes." *Department of Chemical Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI 49931*, (2013).
78. Filonenko, G. K., "Hydraulischer widerstand von rohrlösungen.", *Teploenergetika* 1: 1098-1099, (1960).
79. Suresh, S., Venkataraj, K. P., Selvakumar, P., and Chandrasekar, M., "Effect of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 38: 54–60 (2012).
80. Gedik, E., "Silindirik borularda manyetohidrokinamik akışın deneysel olarak incelenmesi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal analizi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ph.D. Thesis, Karabük, 46-52 (2012).
81. ANSYS Inc. Proprietary, "Ansys meshing application introduction: Appendix B", 1st Edition, *SAS IP inc.*, April 28, 1-36, (2009)
82. Contreras, E. M. C., Oliveira, G. A., & Bandarra Filho, E. P., "Experimental analysis of the thermohydraulic performance of graphene and silver nanofluids in automotive cooling systems.", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 132, 375-387, (2019).
83. İnternet: *Microelectronics Heat Transfer Laboratory*, "fluid properties calculator", <http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html>, Erişim:26 Temmuz, 11.00, (2021)
84. Jia, Y., Ran, F., Zhu, C., & Fang, G., "Numerical analysis of photovoltaic-thermal collector using nanofluid as a coolant.", *Solar Energy*, 196, 625-636, (2020).

85. Sheikholeslami, M., and Shehzad, S., A., "CVFEM for influence of external magnetic source on Fe₃O₄-H₂O nanofluid behavior in a permeable cavity considering shape effect.", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 183, (2017).
86. Khanafer, K., & Vafai, K. A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids. *International journal of heat and mass transfer*, 54(19-20), 4410-4428, (2011).
87. Vanaki, S. M., Mohammed, H. A., Abdollahi, A., & Wahid, M. A., "Effect of nanoparticle shapes on the heat transfer enhancement in a wavy channel with different phase shifts.", *Journal of Molecular Liquids*, 196, 32-42, (2014).
88. Timofeeva, E. V., Routbort, J. L., & Singh, D., "Particle shape effects on thermophysical properties of alumina nanofluids.", *Journal of applied physics*, 106(1), 014304, (2009).
89. Kang, H. U., Kim, S. H., & Oh, J. M., "Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume.", *Experimental Heat Transfer*, 19(3), 181-191, (2006).
90. Akbar, N. S., & Butt, A. W., "Ferromagnetic effects for peristaltic flow of Cu–water nanofluid for different shapes of nanosize particles.", *Applied Nanoscience*, 6(3), 379-385, (2016).
91. Hamilton, R. L., and O. K. Crosser., "Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems.", *Industrial & Engineering chemistry fundamentals*, 1.3: 187-191, (1962).
92. Brinkman, Hendrik C., "The viscosity of concentrated suspensions and solutions.", *The Journal of chemical physics*, 20.4: 571-571, (1952).
93. Gaganpreet, & Srivastava, S., "Influence of particle shape on viscosity of nanofluids.", *In AIP Conference Proceedings American Institute of Physics*, Vol. 1512, No. 1, pp. 984-985, February, (2013).
94. Paolucci, S. and Puliti, G., "Heat Transfer Enhancement with Nanofluids", *Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., Kambiz, V., Taylor and Francis Group Press*, 13:978-1-4822-5402-0 (eBook-PDF), Chap.5, 167, (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Gizem TAŞTAN ilk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2010'da Ankara Cumhuriyet Fen Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği/Raylı Sistemler Mühendisliği Programı'nda öğrenimine başlayıp, 2016 yılında lisans derecesini tamamlayarak mezun oldu. 2016-2017'de Ankara'da Efe Machinery firmasında, 2017-2018 yıllarında ise Amasya'da Çelikler&Gülermak&AZD iş ortaklığı Samsun-Sivas (Kalın) Demiryolu Modernizasyonu Projesinde görev yaptı. 2018 yılında Karabük Üniversitesi'nde başlamış olduğu yüksek lisans programını ise Karabük üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlayarak 2022 yılında mezun oldu.