



**FARKLI DALGA TİPLERİNDE ALTERNATİF
MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA DAİRESEL
KESİTLİ KANAL İÇERİSİNDEKİ HİBRİT
NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Mutlu TEKİR

**2020
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kamil ARSLAN**

**FARKLI DALGA TİPLERİNDE ALTERNATİF MANYETİK ALAN ETKİSİ
ALTINDA DAİRESEL KESİTLİ KANAL İÇERİSİNDEKİ HİBRİT
NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Mutlu TEKİR

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kamil ARSLAN**

**KARABÜK
Aralık 2020**

Mutlu TEKİR tarafından hazırlanan “FARKLI DALGA TİPLERİNDE ALTERNATİF MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA DAİRESEL KESİTLİ KANAL İÇERİSİNDEKİ HİBRİT NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kamil ARSLAN

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 10/12/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Oğuz TURGUT (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Hüseyin KURT (NEÜ)

Üye : Prof. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Cüneyt UYSAL (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora 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.”

Mutlu TEKİR

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI DALGA TİPLERİNDE ALTERNATİF MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDA DAİRESEL KESİTLİ KANAL İÇERİSİNDEKİ HİBRİT NANOAKIŞKANIN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mutlu TEKİR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kamil ARSLAN

Aralık 2020, 151 sayfa

Bu çalışmada ısı transferi uygulamalarında karşılaşılan aktif ve pasif tekniklerin bir arada kullanılmasıyla kanal içi taşınım ile ısı transferinin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, yapılan bu tez çalışması kapsamında sabit manyetik alan (DC) ve alternatif manyetik alan (AC) etkisi altındaki dairesel kesitli kanal içerisinde akmakta olan hibrit nanoakışkan (Fe_3O_4 -Cu/su) akışının akış ve ısı transferi karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda çalışma akışkanı olarak, Fe_3O_4 -Cu nanopartiküllerinin farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%1,5-%0,5, %1,0-%1,0, %0,5-%1,5) baz akışkan saf su içerisine katılarak oluşturulan hibrit nanoakışkanlar ve %2,0 nanopartikül hacimsel konsantrasyonlarına sahip Fe_3O_4 /su manyetit nanoakışkanı ile Cu/su nanoakışkanı kullanılmıştır. Çalışmalar laminer akış ($1000 \leq Re \leq 2300$) ve zorlanmış taşınım şartlarında sabit ve alternatif manyetik alanın

uygulandığı ve uygulanmadığı durumlar için gerçekleştirilmiştir. Uygulanan manyetik alan şiddeti sabit olup 0,3 T değerindedir. Alternatif manyetik alan uygulaması sinüs, kare ve üçgen dalga tiplerinde, $f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz frekanslarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalar sonucunda; kanal içi ısı performans için optimum alternatif manyetik alan frekansı, alternatif manyetik alan dalga tipi, akış hızı ve hacimsel nanopartikül konsantrasyonu belirlenmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde, sabit manyetik alan uygulandığı durumda, çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının kullanımı, en iyi ısı transferi performansını göstermiştir. Alternatif manyetik alan etkisi altında ise, $f=5$ Hz ve sinüs dalga tipinde %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanıldığı durum diğer çalışmalar içerisinde en yüksek ısı performans değerini sağlamıştır. Sayısal analizler de aynı şekilde %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının sabit manyetik alan etkisi altında diğer sayısal çalışmalar içerisinde en yüksek ısı performans değerini sağlamıştır. Sabit manyetik alan etkisi altında hibrit nanoakışkanların ısı performansını, içindeki Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonu ile doğru orantılı sonuç vermektedir.

Anahtar Sözcükler : Alternatif manyetik alan, MHD, hibrit nanoakışkan, manyetik nanoakışkan, laminar akış, zorlanmış taşınım ile ısı transferi.

Bilim Kodu : 91412

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF HYBRID NANOFLUID IN A CYLINDRICAL CROSS-SECTIONED CHANNEL UNDER THE EFFECT OF DIFFERENT WAVEFORM TYPES OF ALTERNATING MAGNETIC FIELD

Mutlu TEKİR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Kamil ARSLAN

December 2020, 151 pages

In this study, it is aimed to enhance convective heat transfer in channel using together the passive and active methods which are widely encountered in heat transfer applications. For this purpose, within the scope of this dissertation, flow and heat transfer characteristics of hybrid nanofluid (Fe_3O_4 -Cu/water) flowing in a cylindrical cross-sectioned channel under the effect of constant magnetic field (DC) and alternating magnetic field (AC) have been experimentally and numerically determined. In the experimental studies hybrid nanofluids, which consists of different volumetric nanoparticle concentrations of Fe_3O_4 -Cu nanoparticles dispersed in water (1.5% Fe_3O_4 -0.5% Cu, 1.0% Fe_3O_4 -1.0% Cu, 0.5% Fe_3O_4 -1.5% Cu), and 2.0% Fe_3O_4 /water magnetite nanofluid, 2.0% Cu/water nanofluid were used as working fluids. The studies were conducted under laminar flow regime ($1000 \leq Re \leq 2300$) and forced convection conditions in the absence of a magnetic field and under the effect of

magnetic field. Magnetic field magnitude is $B=0.3$ T. Alternating magnetic field applications were conducted under 9 different conditions with sinus, square, triangle wave types, and $f=2$ Hz, $f=5$ Hz, $f=15$ Hz frequencies.

In the results of studies, optimum frequency, optimum waveform of alternating magnetic field, fluid velocity, and volumetric nanoparticle concentration have been determined for best thermal performance of internal flow. The results showed that under the effect of constant magnetic field usage of 2.0% Fe_3O_4 /water as working fluid shows the best performance among constant magnetic field applications. Usage of 2.0% Fe_3O_4 /water as working fluid under the effect of sinus type $f=5$ Hz frequency alternating magnetic field shows the best overall thermal performance among other studies. Numerical analyses show that under constant magnetic field effect 2.0% Fe_3O_4 /water nanofluid as a working fluid gives the best overall thermal performance among other studies. Under the constant magnetic field effect, thermal performance of hybrid nanofluids are proportionate with Fe_3O_4 volumetric nanoparticle concentration in them.

Key Word : Alternating magnetic field, MHD, hybrid nanofluid, magnetite nanofluid, laminar flow, forced convection heat transfer.

Science Code : 91412

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, akademik hayatım boyunca öğrendiğim her şeyi borçlu olduğum sayın hocalarım Prof. Dr. Kamil ARSLAN'a ve Doç. Dr. Engin GEDİK'e bilgi, beceri ve tecrübeleri yanında insanlığı ile bu zorlu süreçte çok önemli değerler kazanmamı sağladıkları ve örnek bir danışman olmaları nedeniyle minnettarlığımı saygılarımla sunarım. Aynı zamanda, tez izleme komitesindeki hocam Prof. Dr. Hüseyin KURT'a da tecrübeleri ve bilgi birikimleriyle gösterdikleri yardım ve yönlendirmeleri için teşekkürlerimi borç bilirim.

Deney düzeneğinin kurulmaya başlanmasından itibaren maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Edip TAŞKESEN'e teşekkür ederim. Deney düzeneğinin oluşturulması ve alınan ölçümlerin doğrulanması sürecinde kendisi de aynı süreçten geçmesine rağmen yardımlarını esirgemeyen teknik ve manevi destekleri için Dr. Öğr. Üyesi Bahri AKSU'ya ve Öğr. Gör. Mehmet GÜRDAL'a yardımları için minnettarlığımı sunarım. Alternatif manyetik alan üreticini tasarlayıp üreterek bu yenilikçi multidisiplin çalışmaya vesile olan Elektronik Yüksek Mühendisi Eren SAYGI ve Elektronik Yüksek Mühendisi Hasan YETİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu günlere gelmemde emeği olan tüm öğretmenlerime ve hocalarıma, Türk Eğitim Derneği'ne, Genel Başkanı Selçuk PEHLİVANOĞLU'na, Kemal Ziya SAVRAN'a ve tüm TED çalışanlarına yürekten teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emekleri olan annem Leylâ TEKİR'e ve babam merhum Fahri TEKİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezimi hazırlarken bana her türlü sabrı gösteren, sevgisi ve anlayışıyla, hayatımın her noktasındaki desteğiyle yolumu aydınlatan eşim Elif TEKİR'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bugün bu imkanlara sahip olmamızın yegane sebepleri tüm devlet büyüklerimize, gazilerimize, şehitlerimize, mühendislerimize ve milletimize şükranlarımı sunarım.

Son olarak, bu doktora tez çalışması TÜBİTAK tarafından 217M978 numaralı proje ve Karabük Üniversitesi KBÜBAP-17-DR-439 nolu Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a ve Karabük Üniversitesi'ne verdiği desteklerden dolayı teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. NANOAKIŞKAN VE HİBRİT NANOAKIŞKAN	6
2.2. MANYETİK ALAN UYGULAMASI.....	9
BÖLÜM 3	17
DENEYSSEL YÖNTEM.....	17
3.1. DENEY DÜZENEGİ	17
3.2. DENEYSSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN EKİPMANLAR	22
3.2.1. Debimetre	22
3.2.2. Pompa	23
3.2.3. Ayarlı Kısıyıcı ve Wattmetre	24
3.2.4. Basınç Transmitteri.....	25
3.2.5. Soğutma Banyosu	26
3.2.6. Manyetik Alan Üreticinin Tasarımı ve Üretilmesi	28
3.2.6.1. Güç Kaynağı	28

	<u>Sayfa</u>
3.2.6.2. Dalga Üretici	29
3.2.6.3. Yüksek Güç Yükseltici	30
3.2.6.4. Elektromıknatıs Bobin	32
3.2.6.5. DC Güç Kaynağı.....	33
3.2.7. Manyetik Alan Üreticinin Kullanımı	34
3.2.8. Gaussmetre	34
3.2.9. Manyetik Test	35
3.3. NANOAKIŞKAN TEMİNİ	36
3.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	38
3.5. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	39
3.6. DENEYSEL SONUÇLARIN HESAPLANMASI.....	42
3.7. BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	49
BÖLÜM 4	51
SAYISAL YÖNTEM.....	51
4.1. MANYETOHİDRODİNAMİK AKIŞ	51
4.2. KORUNUM DENKLEMLERİ.....	56
4.3. SAYISAL HESAPLAMA.....	57
BÖLÜM 5	62
BULGULAR VE TARTIŞMA	62
5.1. DENEYSEL BULGULAR.....	62
5.1.1 Deney Sonuçlarının Doğrulanması.....	62
5.1.2. Isı Taşınımına Ait Deneysel Sonuçlar	65
5.1.2.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum	65
5.1.2.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı	66
5.1.2.3. Alternatif Manyetik Alan Etkisi (AC) Altında Hibrit Nanoakışkan Akışı.....	71
5.1.2.4. <i>Nu</i> Değeri Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Yorumlanması.....	88
5.1.3. Darcy Sürtünme Faktörüne Ait Deneysel Sonuçlar.....	89
5.1.3.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum	90
5.1.3.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı	91

Sayfa

5.1.3.3. Alternatif Manyetik Alan Etkisi (AC) Altında Nanoakışkan Akışı	95
5.1.4. Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK)	108
5.2. SAYISAL BULGULAR	109
5.2.1. Çözümüğü Doğrulaması	109
5.2.2. Isı Taşınımına Ait Sayısal Sonuçlar	112
5.2.2.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum	112
5.2.2.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı	113
5.2.3. Darcy Sürtünme Faktörüne Ait Sayısal Sonuçlar	117
5.2.3.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum	117
5.2.3.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı	118
5.2.4. Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK)	121
5.3. DENEYSEL VE SAYISAL BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI	122
5.3.1. Isı Taşınımına Ait Sonuçların Karşılaştırılması	123
5.3.2. Darcy Sürtünme Faktörüne Ait Sonuçların Karşılaştırılması	126
BÖLÜM 6	130
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	130
KAYNAKLAR	134
EK AÇIKLAMALAR A.	146
KULLANILAN NANOAKIŞKANLARIN ANALİZLERİ	146
EK AÇIKLAMALAR B.	146
BELİRSİZLİK ANALİZİ	147
EK AÇIKLAMALAR C.	150
ORTALAMA NUSSELT SAYISI İÇİN BULUNAN KORELASYONLAR	150
EK AÇIKLAMALAR D.	152
ORTALAMA DARCY SÜRTÜNME FAKTÖRÜ İÇİN BULUNAN KORELASYONLAR	152
ÖZGEÇMİŞ	154

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1.	Deney düzeneğinin şematik gösterimi.	18
Şekil 3.2.	Isıtıcı kablo ve ısı çiftin konumlandırılması.	19
Şekil 3.3.	Kalibrasyon öncesi fabrikasyon sıcaklık ölçüm değerleri.....	19
Şekil 3.4.	Isıl çift kalibrasyonu.....	20
Şekil 3.5.	Kalibrasyon sonrası sıcaklık ölçüm değerleri.	20
Şekil 3.6.	Test kanalı çıkış kesitine yerleştirilen ısı çiftlerin kesit görünümü.....	21
Şekil 3.7.	Deney düzeneğinin fotoğrafı.....	22
Şekil 3.8.	a) Deneylerde kullanılan debimetrenin yerleşim görüntüsü, b) debimetre göstergesi.....	23
Şekil 3.9.	ETNA SCT 200-50 pompa teknik özellikleri.	23
Şekil 3.10.	Deneyisel çalışmalarda kullanılan pompanın görünümü.	24
Şekil 3.11.	Isıtıcı gücünü kontrol eden ayarlı kısıcı.	24
Şekil 3.12.	Dijital pens ampermetre (solda) ve analog wattmetre (sağda).....	25
Şekil 3.13.	Basınç transmitteri ve dijital göstergenin görünümü.	25
Şekil 3.14.	Soğutma çevrimi.	26
Şekil 3.15.	Soğutucu sistemin rezervuarı.	27
Şekil 3.16.	Soğutucu sistemin ve pompanın yandan ve önden görünümü.	27
Şekil 3.17.	Alternatif manyetik alan üreticinin blok diyagramı.	28
Şekil 3.18.	Güç kaynağı blok diyagramı.	29
Şekil 3.19.	Dalga üretici blok diyagramı.	29
Şekil 3.20.	Yüksek güç yükselticinin blok diyagramı.....	30
Şekil 3.21.	Üretilmiş yarım köprü (half bridge).....	31
Şekil 3.22.	İki yarım köprüden oluşan H-köprü kontrolcüsü, ara yüz ve dalga üretici devresi.	31
Şekil 3.23.	Dalga üretici devresinde üretilen dalganın özelliklerini gösteren ara yüz devresinin ekranı.	32
Şekil 3.24.	Üretilen elektromıknatısın a) önden ve b) üstten görünümü.....	32
Şekil 3.25.	Alternatif manyetik alan üreticinin genel görünümü.....	33
Şekil 3.26.	DC güç kaynağının genel görünümü.....	33
Şekil 3.27.	Ara yüzün çeşitli frekans, dalga tipi ve güçte kullanımı.	34

Şekil 3.28. Deneysel manyetik alan büyüklüğü ölçümü için kullanılan Gaussmetre.	34
Şekil 3.29. Gaussmetre ile ölçülen en yüksek manyetik alan büyüklüğü değeri.	35
Şekil 3.30. a) Çift yönlü ve b) tek yönlü dalgalar.	36
Şekil 3.31. Uygulanan alternatif manyetik alan dalga tiplerinin osiloskop görüntüleri.	36
Şekil 3.32. Fe ₃ O ₄ tozlarının SEM görüntüsü.....	37
Şekil 3.33. Fe ₃ O ₄ tozlarının XRD analizi.....	37
Şekil 3.34. Cu tozlarının SEM görüntüsü.....	38
Şekil 3.35. Solda %2,0 Fe ₃ O ₄ /su ve sağda %2,0 Cu/su nanoakışkanlarının görünümü.	38
Şekil 3.36. Ortalama <i>Nu</i> değerinin <i>Re</i> =1122 (solda) ve <i>Re</i> =2124 (sağda) şartlarında zamanla değişimi.....	40
Şekil 3.37. Manyetik alan uygulanan bölgenin konumu ve ölçümü.	41
Şekil 3.38. Manyetik alan etkisinin ortalama <i>Nu</i> değerine etkisi.....	41
Şekil 3.39. Dairesel kesitli bir kanalda a) hız (hidrodinamik) ve b) ısı sınır tabakanın gelişimi.	43
Şekil 3.40. a) Laminer ve b) türbülanslı akış görseli.....	44
Şekil 4.1. Dalga tipleri ve özellikleri.....	55
Şekil 4.2. Bu çalışmada kullanılan alternatif manyetik alan dalgalarının büyüklüklerinin zamanla değişimi.	56
Şekil 4.3. Problemin çözüm alanının görünümü.	58
Şekil 4.4. Sayısal analizlerde kullanılan örnek bir hücre dağılımı.	58
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması.	63
Şekil 5.2. Deneysel ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçlarının literatürle karşılaştırılması.	64
Şekil 5.3. Nanoakışkanların <i>B</i> =0 T durumunda ısı performansının <i>Re</i> değerine göre değişimi.	66
Şekil 5.4. <i>B</i> =0,3 T (DC) etkisi altında ortalama <i>Nu</i> değerinin <i>Re</i> değeri ile değişimi.	67
Şekil 5.5. %2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının <i>B</i> =0 T ve <i>B</i> =0,3 T (DC) durumlarında ortalama <i>Nu</i> değerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.6. %1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının <i>B</i> =0 T ve <i>B</i> =0,3 T (DC) durumlarında ortalama <i>Nu</i> değerinin karşılaştırılması.	68
Şekil 5.7. %1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının <i>B</i> =0 T ve <i>B</i> =0,3 T (DC) durumlarında ortalama <i>Nu</i> değerinin karşılaştırılması.	68

Şekil 5.8.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	69
Şekil 5.9.	%2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	69
Şekil 5.10.	Fe ₃ O ₄ -Cu/su hibrit nanoakışkanlarının Nu değerinin hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna göre değişimi.	70
Şekil 5.11.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	73
Şekil 5.12.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	74
Şekil 5.13.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin frekans ile değişimi.	75
Şekil 5.14.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	77
Şekil 5.15.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	78
Şekil 5.16.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin frekans ile değişimi... ..	79
Şekil 5.17.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	81
Şekil 5.18.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	82
Şekil 5.19.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin frekans ile değişimi.	83
Şekil 5.20.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	85
Şekil 5.21.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	86
Şekil 5.22.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin frekans ile değişimi.	87
Şekil 5.23.	Hibrit nanoakışkanların manyetik alan uygulamalarının karşılaştırılması.	89
Şekil 5.24.	Nanoakışkanların $B=0$ T durumunda ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değerine göre değişimi.	90
Şekil 5.25.	$B=0,3$ T (DC) etkisi altında ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	93
Şekil 5.26.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	93
Şekil 5.27.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	94

Şekil 5.28.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.....	94
Şekil 5.29.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.....	95
Şekil 5.30.	%2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	95
Şekil 5.31.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	97
Şekil 5.32.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	98
Şekil 5.33.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	100
Şekil 5.34.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	101
Şekil 5.35.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	103
Şekil 5.36.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	104
Şekil 5.37.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.....	106
Şekil 5.38.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.....	107
Şekil 5.39.	Performans değerlendirme katsayılarının karşılaştırması.	109
Şekil 5.40.	Ortalama Nu değerinin çözümağı sayısı ile değişimi.....	110
Şekil 5.41.	Ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinin çözümağı sayısı ile değişimi.	111
Şekil 5.42.	Sayısal ortalama Nu değeri sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.	111
Şekil 5.43.	Sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörü değeri sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.	112
Şekil 5.44.	Nanoakışkanların $B=0$ T durumunda ısı performansının Re değerine göre değişimi.	113
Şekil 5.45.	$B=0,3$ T (DC) etkisi altında ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.	114

Şekil 5.46.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	114
Şekil 5.47.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması:	115
Şekil 5.48.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması:	115
Şekil 5.49.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması:	116
Şekil 5.50.	%2,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	116
Şekil 5.51.	Fe ₃ O ₄ -Cu/su hibrit nanoakışkanlarının Nu değerinin hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna göre değişimi.	117
Şekil 5.52.	Nanoakışkanların $B=0$ T durumunda ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değerine göre değişimi.	118
Şekil 5.53.	$B=0,3$ T (DC) etkisi altında ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.	119
Şekil 5.54.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	119
Şekil 5.55.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	120
Şekil 5.56.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	120
Şekil 5.57.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	121
Şekil 5.58.	%2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.	121
Şekil 5.59.	Performans değerlendirme katsayılarının karşılaştırması.	122
Şekil 5.60.	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	124
Şekil 5.61.	%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	124
Şekil 5.62.	%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	125
Şekil 5.63.	%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	125
Şekil 6.64.	%2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.	126

Şekil 5.65. %2,0 Fe ₃ O ₄ /su nanoakışkanının B=0 T ve B=0,3 T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması..	127
Şekil 5.66. %1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının B=0 T ve B=0,3 T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.....	128
Şekil 5.67. %1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının B=0 T ve B=0,3 T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.....	128
Şekil 5.68. %0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının B=0 T ve B=0,3 T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.....	129
Şekil 5.69. %2,0 Cu/su nanoakışkanının B=0 T ve B=0,3 T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması..	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Saf su ile Fe ₃ O ₄ ve Cu nanopartiküllerinin ve hibrit nanoakışkanların termofiziksel özellikleri.	39
Çizelge 3.2. Ölçüm cihazlarının belirsizlikleri.	50
Çizelge 5.1. İki örnek T-testi.	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	: hassasiyet
A_0	: büyüklük vektörü
AC	: alternatif manyetik alan (T)
Ag	: gümüş
Al	: alüminyum
B	: manyetik alan büyüklüğü (T, G)
\vec{B}	: manyetik alan vektörü (T, G)
$\cos\alpha$: x koordinatındaki kosinüs
$\cos\beta$: y koordinatındaki kosinüs
$\cos\gamma$: z koordinatındaki kosinüs
C_p	: özgül ısı (kJ/kg·K)
Cu	: bakır
D	: çap (m)
\vec{D}	: elektrik alanı içindeki indüksiyon alanı (T)
DC	: sabit manyetik alan (T)
\vec{E}	: elektrik alan büyüklüğü (V/m)
f	: frekans (Hz)
f	: Darcy sürtünme faktörü
F	: nanoparçacığa etki eden toplam kuvvet (N)
G	: Gauss
h	: taşınım ile ısı transferi (W/m ² ·°C)
\vec{H}	: manyetik alan içindeki indüksiyon alanı (T)
Ha	: Hartmann sayısı
Hz	: Hertz
j	: elektrik akım yoğunluğu (A/m ²)
k	: iletimle ısı transferi (W/m·°C)

K	: yayılım vektörü
L	: kanal uzunluğu (m)
$L_{h,laminer}$: hidrodinamik giriş uzunluğu (m)
m_p	: nanoparçacığın kütlesi (kg)
Mn	: mangan
N	: gözlem sayısı
nm	: nanometre
Nu	: Nusselt sayısı
O	: oksijen
p	: statik basınç (Pa)
Pr	: Prandtl sayısı
q	: elektrik yükü yoğunluğu (C/m^3)
q''	: ısı akısı (W/m^2)
r	: yarıçap (m)
R	: herhangi bir noktanın pozisyon vektörü
Ra	: Rayleigh sayısı
Re	: Reynolds sayısı
S	: standart sapma
S^2	: varyans
S_p	: akışkan ile nanopartikül arasındaki momentum transferini temsil eden kaynak
t	: zaman (s)
T	: Tesla
T_{kanal}	: kanal yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{yığın}$: akışkan yığın sıcaklığı ($^{\circ}C$)
Ti	: Titanyum
$T_{giriş}$: akışkan giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{çıkış}$: akışkan çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
U	: belirsizlik
\vec{U}	: akışkan hız vektörü (m/s)
V	: ortalama hız (m/s)
\dot{V}	: hacimsel debi (lt/dk)
X_i	: yapılan gözlemler

X_m : gözlemlerin aritmetik ortalaması terimi
 Zn : çinko

Alt İndis

ba : baz akışkan
 hna : hibrit nanoakışkan
 na : nanoakışkan
 np : nanopartikül
 np^* : çift faz analizlerde nanopartikül değeri

Yunan Harfleri

ε : elektriksel geçirgenlik (F/m)
 η : kinematik viskozite (m^2/s)
 λ : dalga boyu (m)
 μ : dinamik viskozite ($kg/m \cdot s$)
 μ : manyetik geçirgenlik (H/m)
 ρ : yoğunluk (kg/m^3)
 σ : elektriksel iletkenlik (S/m)
 $\bar{\tau}$: stres tensörü
 Θ : boyutsuz sıcaklık
 φ : hacimsel nanopartikül konsantrasyonu
 ϕ : faz kayması ($^\circ$)
 ϕ : viskoz yayılım ($kg/m^2/s^2$)
 Ω : direnç (Ohm)

KISALTMALAR

DPM	: Discrete Phase Model (Ayrık Faz Modeli)
GNT	: Graphene Nanoplatelet (Grafin Nanoparçacığı)
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
HP	: Horse Power (Beygir Gücü)
LUT	: Look Up Tables (Başvuru Çizelgeleri)
MCU	: Micro Controller Unit (Mikro Kontrolör Ünitesi)
MHD	: Manyetohidrodinamik
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarı İletkenli Alan Etki Transistörü)
MWCNT	: Multi-Wall Carbon Nano Tube (Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp)
PDK	: Performans Değerlendirme Katsayısı
PEC	: Performance Evaluation Criteria (Performans Değerlendirme Katsayısı)
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil Klorür
PVP	: Polivinilpirolidon
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RNG	: Renormalization Group (Yeniden Normalleşme Grubu)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopu)
XRD	: X-Ray Diffraction (X Işını Kırınım Yöntemi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fosil kaynaklı yakıtların tükenmeye çok yaklaştığı günümüzde, artan dünya nüfusu ile birlikte enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Dünyanın en çok enerji tüketen ülkelerinde enerji üretiminin çoğunluğu hâlâ fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kaynakların azalmasıyla daha da artacak enerji maliyetleri, enerjiyi ithal eden ülkelere daha fazla mali yük oluşturacaktır. Fosil kaynaklardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş aşamasında da enerji ithalatı yapan ülkelerin üstündeki enerji maliyeti yükü ise bu enerjinin daha verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Diğer yandan, enerji israfının azaltılması ile karbondioksit ve zararlı gaz salınımlarının azaltılması tüm insanlığın geleceği için gereklidir. Bu noktada enerji talebi arttığından dolayı enerji üretimi azaltılamayacağı için, enerjinin maksimum verimle kullanılarak daha az enerjiye ihtiyaç duyulması önem kazanmaktadır. Bu sebepler nedeniyle enerji verimliliğinin artırılması temel bir ihtiyaçtır. Bu amacı yönelik kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri, evlerde kullanılan elektrikli eşyaların güç tüketimlerinin düşmesi vb. konular enerji dönüşümlerindeki verimlilik örneklerinden gösterilebilmektedir. Hayatın her noktasında büyük bir oranda kullanılan bir enerji çeşidi ise ısı enerjisi. Isı enerjisi; konutlarda, arabada ısıtma ve soğutma sistemlerinde, radyatörlerde, elektronik soğutma uygulamalarında, ısı eşanjörleri, vb. uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Öte yandan, başlıca ihtiyaç duyulan enerji çeşidi olan elektriğin üretildiği termik santraller ve nükleer santrallerde Rankine Çevrimi, Brayton Çevrimi veya Kombine Çevrim; jeotermal güç santrallerinde ise Organik Rankine Çevrimi veya İkili Buhar Çevrimi; ısı enerjisinin kullanıldığı diğer uygulama alanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada gerek elektrik üretim sistemlerinde gerekse de ısıtma ve soğutma sistemlerinde verimliliğin artırılması için ısı transferinin iyileştirilmesi kaçınılmazdır.

Sıcaklık farkından dolayı sıcak ortamdan soğuk ortama doğru enerji geçişi meydana gelmektedir. Bu enerji geçişi ısı transferi olarak adlandırılır. Farklı sıcaklıklardaki bu iki ortamın sıcaklığı eşitlenip denge durumuna ulaşana kadar ısı akışı devam eder. İletim ile ısı transferi, cismin yüksek sıcaklığa sahip tarafındaki enerjinin, düşük sıcaklıktaki tarafına iletilmesi ile oluşmaktadır. Katılarda her zaman iletim ile ısı transferi gerçekleşirken, sıvı ve gazlarda bu iletim moleküllerin çarpışması ve difüzyonu aracılığıyla gerçekleşir. Taşınım ile ısı transferi ise durgun yüzey ile temas eden akışkan ortamı içinde sıcaklık farkı sayesinde gerçekleşmektedir. Doğal taşınım, akışkan içinde var olan sıcaklık farkları nedeniyle akışkanın hareket etmesiyle ortaya çıkan taşınım türüdür. Zorlanmış taşınım ise bu akışkan hareketi fan ya da pompa gibi bir dış güçle sağlanır. Işınım ile ısı transferi ise, farklı sıcaklıktaki cisimlerin birbirleriyle ve ortamla elektromanyetik dalgalar biçimindeki enerji aktarımıdır.

Zorlanmış taşınım ile ısı transferi uygulamalarında ısı transferi hızlarını artırma yolları araştırılmaktadır. Isı transferini artırma yolları pasif teknikler ve aktif teknikler olarak iki temel gruba ayrılmaktadır. Pasif tekniklerde dışarıdan ek bir güç kaynağına ihtiyaç duyulmazken ısı transferini arttırmak için kanal geometrisi ya da yüzeyi modifiye edilmektedir. Artan yüzey alanı ile taşınım ile ısı geçiş hızlarının artırılması amaçlanmaktadır. Eklentiler, engeller, bozuk yüzeyler gibi uygulamalarla akış karışımı oluşumu ve akışta türbülans sağlanmaktadır [1,2]. Bu şekilde ortalama ısı transferinin artması sağlanır. Pasif teknikler; diğer ısı transferi artırma tekniklerine kıyasla uygun maliyet, montaj kolaylığı ve basit üretim teknikleri gibi avantajlara sahiptir. Pasif teknikler genel olarak ısı transferi yüzeyini artırmayı amaçlamaktadır. Yüzey alanının artırılması sonucu taşınım ile ısı transferi oranı artırılırken kanal içi basınç kaybı da artmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmalarda, taşınım ile ısı transferinin kanal içerisindeki basınç düşümüne oranla daha fazla artırılması hedeflenmektedir.

Kanatçıklar, mikro kanallar, türbülötörler gibi geleneksel pasif teknikler aracılığıyla ısı transferini artırma çabaları sınırlarına ulaşmış durumdadır. Bu nedenle, yeni yöntemler araştırılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de ısı transferi akışkanına metalik ya da metalik olmayan nano boyutta partiküller eklenmesidir [3,4]. Su, etilen glikol ve yağ gibi geleneksel ısı transferi akışkanlarının düşük ısı iletme sahip oldukları bilinen bir gerçektir. Bakır, gümüş, altın, titanyum ile bunların oksitleri ve karbon gibi

nano boyuttaki partiküller; geleneksel ısı transferi akışkanlarının ısı iletim katsayılarını artırmak için kullanılmaktadır. Bu tür akışkanlar literatürde nanoakışkan olarak isimlendirilmektedir. Nanoakışkanların; nükleer reaktörlerin soğutulması, elektronik cihazların soğutulması, güneş enerjisi sistemleri, ısı değiştircileri gibi mühendislik uygulamalarının yanında sağlık alanında kanser tedavisinde kullanımları dikkat çekicidir [5]. Ayrıca, birden fazla nanoparçacığın kullanılmasıyla elde edilen hibrit nanoakışkanlar sayesinde; iki nanoparçacığın avantajları bir arada elde edilerek daha yüksek ısı transferi oranlarına ulaşılabilmektedir [6].

Isıl verimde artış elde edebilmek amaçlı kullanılan aktif teknikler, harici güç ihtiyacı nedeniyle tasarım ve uygulama zorluklarından dolayı pasif tekniklere göre çok daha karmaşıklardır. Çoğu uygulamada harici güç sağlanması kolay değildir, bu nedenle de bilimsel alanlarda aktif tekniklerin kullanımını kısıtlıdır. Elektrostatik alanlar, jet çarpması, spreyleme, yüzey titreşimi, mekanik karıştırıcı gibi yöntemler aktif teknik örneklerindedir [7–9]. Manyetoreolojik akışkanlara manyetik alan uygulanması aktif tekniklere çok iyi bir örnek olarak gösterilebilir.

Sistemlerin ısıl performanslarının arttırılması için son zamanlarda hem pasif hem de aktif tekniklerin bir arada kullanıldığı çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bileşik yöntemler, pasif veya aktif tekniklerden birden fazlasının kombinasyonuyla oluşan ısı transferi verimini arttırmaya yönelik uygulamalardır. Pasif teknik olan baz akışkana manyetiklenebilen nanopartiküllerin eklenmesiyle oluşan nanoakışkan ile aktif teknik olan manyetik alanın birlikte kullanımını gittikçe popüler uygulamalar arasına girmektedir. Bu noktada pasif tekniğin ve aktif tekniğin birlikte kullanılması ile ısı transferinin çok daha fazla artırılabilieceği düşünölmektedir.

Elektriksel iletkenliğe sahip akışkanların manyetik alan altındaki davranışını inceleyen bilim dalı ManyetoHidroDinamik (MHD) olarak adlandırılmaktadır. Hartmann [10] tarafından iki paralel plaka arasındaki sıkıştırılmaz, viskoz elektriksel iletkenliği olan akışkan davranışını incelenmesi ile MHD ile ilgili ilk çalışmaların temeli atılmıştır. Manyetik alandan etkilenen manyetiklenebilen metalik nano partiküllerin oluşturduğu nanoakışkanlara manyetik alan uygulanması da son yıllarda sık olarak araştırılan bir konu olmaktadır. Sabit manyetik alan uygulanmasıyla kanal iç yüzeylerine yaklaşan

metalik nano partiküller ısı transferini artırmaktadır. Bu tür davranış sergileyen nanoakışkanlar, manyetik nanoakışkan olarak adlandırılmaktadır. Fe_3O_4/su nanoakışkanı bunlardan birisidir. Ayrıca, günümüzde kanal içerisinde akan bu tür manyetik nanoakışkan akışına alternatif manyetik alan uygulanması da yeni araştırılan konulardan biridir. Bu uygulamayla sürekli değişen mıknatıs kutupları nedeniyle metalik nano partiküller periyodik olarak iki cidar arasında hareket eder ve ısı sınır tabakanın bozulmasına neden olur. Bunun sonucunda manyetik alan uygulanan bölgede yerel taşınım ile ısı transferi hızının artışı gerçekleşmektedir [11,12].

Kanal içerisindeki taşınım ile gerçekleşen ısı transferini arttırmak için, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı ve kanal yüzeyine manyetik alan uygulamasının, sanayinin birçok alanında kullanım potansiyeline sahip olacağı düşünülmektedir. Örneğin, otomotiv sektöründe emisyon ve yakıt tüketim değerlerini çok az bir miktar da olsa düşürebilmek için milyon dolarlar harcayan otomobil firmaları için önemli bir fırsat olabilecektir. Özellikle yüzeyine alternatif manyetik alan uygulanmış ve çalışma akışkanı olarak hibrit nanoakışkan kullanımıyla verimi artacak radyatörler sayesinde daha küçük boyutlu radyatörlerin kullanımı gerçekleştirilebilir. Bu durum, araçların ön ızgara açıklık alanının küçülmesini sağlayıp tasarlanan araçların sürtünme faktörünün daha da düşürülmesi sağlanabilecektir. Bunun sonucunda, daha düşük sürükleme kuvvetine ve daha düşük yakıt tüketimi ile daha az emisyon değerlerine erişilebilecektir. Diğer yandan, ısı değiştiricilerinde manyetik alan ve nanoakışkan kullanımı sonucunda artan verim değerleri ile yüzey alanı azaltılıp daha kompakt hale getirilebilecektir. Bu durum, ürün maliyetini yüksek oranda düşürebilecektir. Nükleer reaktörlerde yakıt hücresinin acil durum yedek soğutma sistemi olarak, manyetik alan ve hibrit nanoakışkan uygulamasının kullanılacağı öngörülmektedir [13]. Ayrıca, sağlık sektöründe geleceğin kanser tedavi yöntemi olarak gösterilen hipertermi yöntemi bu araştırmalar sonucunda daha iyi anlaşılabilir. Manyetik alandan etkilenen metalik nanopartiküllere tutturulan ilaçların vücuda enjekte edilip, alternatif manyetik alanın vücudun belirli noktalarına uygulanmasıyla ilaç taşınımının hastalıklı bölgeye sağlanması ve hastalıklı bölgenin ısıtılması başarılabilecektir. Dolayısıyla, kan ile benzeri fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki bazı akışkanlar kullanılarak metalik nanopartiküllerin istenilen bölgede kalması ve bu nanopartiküllerin sıcaklığının yerel olarak artırılması araştırılabilir bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Nanoakışkanların ve manyetik alan uygulamalarının detaylı literatür araştırması sonucunda, hibrit nanoakışkan akışının farklı dalga tiplerindeki alternatif manyetik alan etkisi altındaki taşınımıyla gerçekleşen ısı transfer performansına etkisinin detaylı olarak incelenmediği fark edilmiştir. Bu özgün uygulamanın, ısı transferi artışına yönelik mekanizmalarının irdelenmediği saptandığından hibrit nanoakışkan ve farklı dalga tipindeki alternatif manyetik alan etkisinin ısı transferi artışına yönelik mekanizmaların daha iyi anlaşılabilmesine yönelik deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı transferi biliminin temelleri, Galilean termometresini 1603 yılından önce icat eden Galileo Galilei [14] ve ilk ısı transferi formülü olan Newton soğuma yasasını 1701 yılında sunan Sir Isaac Newton [15] tarafından atılmıştır. Daha sonra Joseph Fourier 1822 yılında ısı transferinin matematiksel teorisini bilim dünyasına kazandırarak modern ısı transferi bilimine büyük katkı sağlamıştır [15]. Isı transferi biliminin yıllar geçtikçe çok geniş, kapsamlı ve farklı alt sistemlerden oluştuğunun fark edilmesi, bu bilim dalının başta iletim, taşınım, ışınım olmak üzere alt dallara ayrılmasına sebep olmuştur. Günümüzde ısı transferi, birçok mühendislik disiplinde en önemli çalışma alanlarının başında gelmektedir.

Son yıllarda, ısı transferini artırmak için yapılan çalışmalar hız kazanmaktadır. Isı transferi artırma yöntemleri aktif ve pasif teknikler olarak sınıflandırılabilir. Aktif teknikler ısıtıcı alanların artırılması [1,2], elektrik akımı ya da manyetik alan kullanımı [16–18], akışkan enjeksiyonu veya çekilmesi [19–21] gibi yöntemlerle uygulanabilirken; pasif teknikler ise ısı transferi alanının artırılması [7–9], akışkana katkı kullanılması [22–25], birden fazla akışkanın bir arada kullanılması gibi yöntemler içermektedir.

Bu yöntemlerden; i) baz akışkana nanopartikül ilave edilmesi yani nanoakışkan (pasif) ve ii) akışa manyetik alan uygulanması (aktif) ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar detaylı bir şekilde aşağıda incelenmiştir.

2.1. NANOAKIŞKAN VE HİBRİT NANOAKIŞKAN

Pasif teknikler arasında gösterilen geleneksel ısı transferi akışkanlarına katı partikül katılması fikri ilk olarak Maxwell [23], 1873 yılında teorik çalışmasında sunmuştur. Bu çalışmadaki modellemeler daha sonra nanoakışkanların termofiziksel özellik

araştırmalarında temel teşkil etmektedir. Ardından Hamilton ve Crosser [24] 1962'de yaptıkları çalışmayla heterojen karışım fikrini ortaya atan ilk bilim adamlarındandır. alışmalarında heterojen katı-sıvı karışımının ısı iletkenlik katsayısını araştırmışlardır. Daha sonra ise Akoh vd. [22], 1978 yılında ferromanyetik partiküller karıştırılmış yağın manyetik özelliklerini araştırmışlardır. Mikron seviyesindeki partiküller ile iyi bir sonuç elde edilemediğini keşfeden Choi ve Eastman [25], 1995 yılında yaptıkları çalışmayla akışkan içinde nanopartikül kullanan ve nanoakışkan terimini bilim dűnyasına kazandıran ilk bilim adamlarıdır. Baz akışkanlar içinde mikro ve makro boyuttaki partiküllere göre nano boyutta partikül kullanımı, daha stabil bir karışım oluşmasını sağladığından ve daha yüksek ısı iletkenlik katsayısı ve kritik ısı akısı gibi üstün özellikler sunduğundan nanoakışkanlar, her geçen gün daha fazla dikkat çeken bir konu olmaktadır [26].

Son zamanlarda, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve nanoakışkan akışının ısı transferi karakteristiklerinin incelenmesi konuları üzerine çalışmalar devam etmektedir. Literatürde nanoakışkanların güneş kolektörleri [27–30], solar deniz suyu arıtma tesisleri [31], otomobil radyatörleri [32–34], araçlarda atık ısı dönüşümü [35], ısı eşanjörleri [36–39], mikrokanallar [40] gibi pek çok kullanım alanının olduğu görűlmektedir. Literatürde nanoakışkanlar üzerine yapılan çalışmaların büyük bölümü nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi üzerinedir. Bu bağlamda, kanal içerisindeki nanoakışkan akışının ısı transferi karakteristikleri üzerine etkisi kısmen daha az çalışılmış bir konu olarak öne çıkmaktadır. Kanal içi nanoakışkan akışı çalışan ilk araştırmacılarından Pak ve Cho [41], Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartikülleri kullanarak $1000 \leq Re \leq 10000$ için yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aynı giriş hızında %3,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonlu nanoakışkan kullanıldığında artan viskoziteden dolayı pompanın en fazla %30 ek güç harcaması gerektiği keşfetmişlerdir. Maiga vd. [42], dairesel kesitli kanal içi türbűlanslı akış şartlarında Al_2O_3 /su nanoakışkan kullanımı ile çeşitli Re değerlerinde elde edilebilecek ısı transferi artırımlarını sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmada, $10^3 \leq Re \leq 5 \cdot 10^4$ değerleri için türbűlanslı akış şartlarında %1,0-%4,0 aralığındaki hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarında yapılan analizler ile baz akışkan kullanılarak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu sonuçların ışığında

nanoakışkan uygulamalarındaki Nusselt (Nu) sayısı için yeni bir korelasyon sunmuşlardır.

Hibrit nanoakışkanlar, birden fazla nanopartikül içeren yeni tür nanoakışkanlardır. İki nanoparçacığın avantajları bir arada kullanılarak ısı transferi oranı daha fazla arttırılabilmektedir [26]. 2005 yılında Turcu vd. [43] ve 2006 yılında Jana vd. [44] hibrit nanoakışkanlar konusunda çalışmaya başlayan ilk araştırmacılarıdır. Fakat bu konudaki en önemli adım 2011 yılında Suresh vd. [45,46] ile Selvakumar ve Suresh [47]'in Al_2O_3 -Cu/su nanoakışkanı konusunda yaptıkları çalışmalarıdır. Hibrit nanoakışkan için seçilecek nanopartiküllerin birbirleriyle doğru kombinasyonu ve birbirleriyle hacimsel nanopartikül konsantrasyon oranları, baz akışkanın termofiziksel özelliklerindeki artış ve ısı transferi verimini iyileştirme konularında önemli rol oynamaktadır [26].

Suresh vd. [45] kanal içi hibrit nanoakışkan akışı konusunda yapmış oldukları çalışmalarında Al_2O_3 ve Cu nanopartiküllerini su içerisinde iki kademeli metot ile dağıtarak hibrit nanoakışkan elde etmişler ve bu hibrit nanoakışkanın ısı transferinde suya oranla %13,56'ya varan artışlar tespit etmişlerdir.

Kumar ve Sarkar [48] en iyi ısı transferi artışı için Al_2O_3 -MWCNT/su hibrit nanoakışkanın optimum oranını araştırmışlardır. En iyi Al_2O_3 ve MWCNT hacimsel nanopartikül konsantrasyonunun 3:2 civarında yakalandığı belirtilmiştir. Bir başka çalışmada ise Huang vd. [49] %1,89 Al_2O_3 /su ile %0,0111 MWCNT/su nanoakışkanlarının 2,5:1 oranında karıştırılmasıyla elde ettikleri hibrit nanoakışkanın ısı performansının Al_2O_3 /su nanoakışkanından çok az daha yüksek olup basınç düşümü ise çok az daha düşük çıkmıştır. Yazarlar bu nedenlerden dolayı hibrit nanoakışkanların gelecek vadettiğini belirtmişlerdir.

Yarmand vd. [50] GNP-Ag/su hibrit nanoakışkanıyla dairesel kesitli kanalda yaptıkları çalışmada %32,7'ye varan Nu değeri artışı elde etmişlerdir. Allahyar vd. [51] sarmal ısı değiştirici üzerinde yaptıkları çalışmada Al_2O_3 -Ag/su hibrit nanoakışkanıyla ısı transferinde %31,58'e varan artışa ulaşmışlardır.

Madhesh vd. [52] Cu-TiO₂/su hibrit nanoakışkanıyla yaptıkları çalışmada %1,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonunda %49'a varan *Nu* değeri artışları elde etmişlerdir. Fakat %1,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonunun üstünde *Nu* değeri artışının azaldığı görülmektedir.

Hibrit nanoakışkan akışı üzerine literatürde deneysel çalışmaların az olduğunun, Fe₃O₄ ve Cu nanopartiküllerinden oluşan hibrit nanoakışkanın daha önce çalışmadığının fark edildiği, hibrit nanoakışkanların optimum hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu net bir şekilde görülmektedir.

2.2. MANYETİK ALAN UYGULAMASI

Julius Hartmann [10] manyetik alan altında akışkan davranışını ilk inceleyen bilim adamıdır. Birçok araştırmacıya ilham olan bu çalışma, deneysel ve sayısal çalışmalar için referans olmuştur. Ayrıca literatürde yaygın olarak bilinen boyutsuz sayı olan Hartmann sayısı bu çalışma sonucunda keşfedilmiştir. Ardından Frank vd. [53] dikey homojen manyetik alan etkisi altında akış profili ve ısı transferi değişimini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler iki boyutlu türbülanslı akış şartları altında gerçekleştirilmiş olup vorteks davranışını görmek ve analiz etmek için matriks problemleri kullanılmıştır.

Akışkanlara manyetik alan uygulanması (MHD) mikro ölçek akış kontrolü ve ilaç hedefleme yöntemleri gibi konularda önemli bir uygulama alanına sahiptir. Mikro ölçekteki uygulamalar için manyetik alanı tahrik olarak kullanmak suretiyle hareketli parçası olmayan bir mikro pompa üretilebilmektedir [4]. Manyetoreolojik akışkanların kullanımı ve manyetik alan uygulanması sonucu akışkanın viskozite değeri çok fazla artmakta ve katı gibi davranabilmektedir. Bu tarz akışkanlar fren, debriyaj, süspansiyon gibi sistemlerde kullanılmaktadır [54]. Ayrıca manyetik alan etkisinin tıp alanında da kullanımı araştırılmaktadır. İnsan bedeni hastalıklarla savaşmak için sıcaklığını artırmaktadır. Bu fenomen ateşlenme olarak adlandırılmaktadır ve doğal bir hipertermi çeşididir. Aynı şekilde kanserle savaşmak için belirli bir bölge veya organın belirli bir süre için 41-46 °C'ye ısıtılması da hipertermi olarak adlandırılmaktadır. Metal nanopartiküllerin vücuda enjeksiyonu ve manyetik alan uygulanmasıyla

bölgesel sıcaklık artışı sağlandığı görülmüştür. Aynı zamanda metal nanopartiküllere bağlanan organik bir ilaç, manyetik alan etkisi aracılığıyla vücutta istenilen noktalara yönlendirilebilmektedir [4].

Isı transferini iyileştirmek için kullanılan aktif tekniklerden olan bir yöntem ise manyetiklenebilen nanoakışkanlara (örn: manyetit), manyetik alan uygulanmasıdır. Manyetit nanoakışkanlar ve bunların manipülasyonu, alternatif bir araştırma konusu haline gelmektedir. Son zamanlarda artan trend ise metal bazlı nanoakışkanların manyetik alanla birlikte ısı değiştirici, ısı pompası, termosifon, güneş kolektörü, kapalı ortamda ısı transferi gibi uygulamalarda ısı transferini artırmak için kullanılmaktadır [4]. Manyetik alan nedeniyle kanal yüzeyine yaklaşan nanopartiküllerin zincir benzeri bir yapı oluşturarak bölgesel ısı taşınım katsayısını artırması, bu yöntemle ısı transferini artıran temel nedendir.

Sheikholeslami [55] CuO/su nanoakışkan akışını gözenekli ortamda manyetik alan altında araştırmıştır ve Lorentz kuvveti arttıkça sıcaklık farkının azaldığı yani Nu değerinin arttığını bulmuşlardır.

Ganguly et al. [56] ferromanyetik akışı iki kutuplu manyetik alan etkisi altında sayısal olarak araştırmışlardır.

Bahiraei ve Hangi [37]'nin yaptıkları sayısal çalışmada; Mn-Zn-Ferrit/su nanoakışkanını dört kutuplu manyetik alan altında ters akışlı, çift kanallı ısı değiştirici içindeki performansı, çift fazlı Euler-Lagrange metodu kullanılarak incelenmiştir. Dört kutuplu manyetik alanın uygulanmasının sebebi olarak da nanopartiküllerin duvarlara daha çok yaklaşmasının sağlanması gösterilmektedir. Sayısal çözüm eksenal simetrik ve iki boyutlu olarak çözülmüştür.

Mei vd. [57]; %1, %3 ve %5 kütleli nanopartikül konsantrasyonunda Fe_3O_4 /su nanoakışkanını kullanarak çeşitli manyetik alan büyüklüklerinde ($B=0$ G, 100 G, 200 G ve 300 G) ve $600 \leq Re \leq 11000$ akış şartlarında silindirik bir boru içinde deneyler gerçekleştirerek hidrolik ve ısıl performansı değerlendirmişlerdir. Sonuçlara göre, kütleli nanopartikül konsantrasyonu ile Nu değerinin doğru orantılı değiştiği, en iyi

artışın %5 kütleli nanopartikül konsantrasyonunda ve $B=300$ G manyetik alan büyüklüğü altında elde edildiği görülmüştür.

Sha vd. [58] farklı sıcaklıklarda (20, 30 ve 40 °C) ve farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarında (%0,5, %1, %2 ve %3) Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanılarak türbülanslı akış şartlarında gerçekleştirdikleri deneylerde manyetik alan altında taşınım ile ısı transferini incelemiştir. Manyetik alan uygulanmadığı durumda saf suya göre nanoakışkan kullanarak %5,2'ye varan artış yakalanmıştır. Ayrıca uniform ($H=800$ G) ve gradyan ($H_{max}=800$ G, $dH/dx=0.1$ T/m) manyetik alan uygulandığında, taşınım ile ısı transferinde sırasıyla %4,2 ve %8,1 artışa ulaşılmıştır.

Sun vd. [59], %0,5 hacimsel nanopartikül konsantrasyonunda Fe_3O_4/su nanoakışkanı kullanarak manyetik alan etkisi altında taşınım ile ısı transferi karakteristiğini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda $Re=1080$ akış şartları ile 415 G ve 700 G manyetik alan yoğunlukları altında manyetik alan uygulanmadığı duruma göre sırasıyla %4,36 ve %7,19 artış elde etmişlerdir.

Guzei vd. [60] sabit 0,3 T manyetik alan altında boru içinde Fe_3O_4/su nanoakışkan akışını deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ısı transferinde saf su kullanımına göre nanoakışkan manyetik alan yokken %10, manyetik alan altında ise %13 artış sağlandığı gözlemlenmiştir.

Roszko ve Fomalik-Wajs [61]'in yaptıkları çalışmada, CuO/su nanoakışkan içindeki hacimsel nanopartikül konsantrasyonunun manyetik alan altında ısı taşınımına etkisinin araştırılmasının yanı sıra nanoakışkan oluşturulmasında ultrasonik ya da mekanik karıştırma yöntemlerinin bu sonuçlara etkisi de incelenmiştir. Manyetik alan altında partiküllerin çeper yüzeyine yaklaşması nedeniyle ısı transfer artırımına neden olabileceği düşünülen bu olgu ile nanoakışkanın manyetik alan altında tek faz olarak düşünülmemeyeceği belirtilmektedir.

Motozawa vd. [62] yaptıkları çalışmada, Fe_3O_4/su nanoakışkanıyla 0,5 T'ye kadar manyetik alan uygulayarak laminer akışta %20'ye yakın ısı transferi oranı artışı elde edilmiştir. Isıtıcı plaka kanalın altında konumlandırılarak kanal alt yüzeyine 41 kW/m²

sabit ısı akısı verilmiştir. Giriş sıcaklığı sistemdeki soğutucular yardımıyla 23 °C derecede sabit tutulmuştur. Çalışmada yerel ısı transferi miktarlarında artış elde edilmiştir. Buna, manyetik alan altında nanopartiküllerin manyetik alan uygulanan bölgede zincir benzeri yapı kurmalarının neden olduğu belirtilmiştir.

Azizian vd. [63] Fe₃O₄/su nanoakışkanı ile yaptıkları çalışmada, 8 farklı mıknatıs kombinasyonu denemişlerdir. Sadece mıknatıs kullanılan deneylerde nanopartiküllerin manyetik alan etkisiyle mıknatısın giriş ve çıkış hizasında yakalanması nedeniyle ısı transfer katsayısında %38'e varan düşüşleri deneyimlemişlerdir.

Lajvardi vd. [64] 300 W gücünde DC güç kaynağıyla bakır kanala sabit duvar ısı akısı uygulanan ve ikişer tane mıknatısın kanalın yan yüzeylerine konulduğu test düzeneğinde Fe₃O₄/su nanoakışkanının 0,12 T büyüklüğünde manyetik alan altındaki özelliklerini incelemişlerdir. Artan manyetik alan büyüklüğü ve hacimsel nanopartikül konsantrasyonu ile taşınım ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir.

Giwa vd. [65] γ -Al₂O₃-Fe₂O₃ /su hibrit nanoakışkanını dikdörtgen kavitede deneysel olarak araştırmışlardır. 118 G büyüklüğündeki manyetik alan kavitenin çeşitli duvarlarından uygulanmaktadır. %10,81'e varan ısı transferi artışı elde edildiği görülmüş olup manyetik alanın, ısı transferini daha da artırdığı belirtilmiştir. Öte yandan önemli bir çıktı ise, hibrit nanoakışkanın en yüksek ısı transferi artışı için optimum bir konsantrasyonunun olduğunu keşfedilmesidir. %0,2 hacimsel nanopartikül konsantrasyonundaki hibrit nanoakışkan en iyi sonucu sunarken, %0,5 hacimsel nanopartikül konsantrasyonu ise en kötü sonucu vermiştir.

Giwa vd. [66] yaptıkları diğer bir çalışmada ise, dikdörtgen kavitede Fe₂O₃-MWCNT/su hibrit nanoakışkanının manyetik alan altındaki ısı transferi performansını incelemişlerdir. En yüksek *Nu* değeri artışı %0,05 hacimsel nanopartikül konsantrasyonunda %11,33 olarak elde edilmişken, önceki çalışmadaki gibi %0,2 hacimsel nanopartikül konsantrasyonundaki hibrit nanoakışkanın *Nu* değeri daha düşük çıkmaktadır.

Yukarıda literatür örnekleri verilen sabit manyetik alan uygulamasının bir ileriki aşaması ise alternatif manyetik alan uygulamasıdır. Alternatif manyetik alan etkisi altında nanoakışkan akışı henüz yeni ve pek araştırılmamış bir konudur. Kaloni ve Lou [67] manyetik akışkanı alternatif manyetik alan altında araştıran ilk bilim insanlarından. Matura ve Lücke [68] ile Lange ve Odenbach [69] manyetik akışkanın alternatif manyetik alan altındaki etkisini inceleyerek bu fenomenin daha iyi anlaşılmasını sağlamışlardır. Nanoakışkan kullanılan çalışmalar incelendiğinde kanal içindeki akış şartlarında alternatif manyetik alan etkisi ile sabit manyetik alana göre daha yüksek ısı taşınım miktarları elde edilebilmektedir [70,71].

Ghofrani vd. [72] tarafından yapılan çalışmada, 0,02 T büyüklüğünde alternatif akım uygulayarak bakır kanal içinden akan Fe_3O_4/su nanoakışkanının laminer akıştaki ısı transfer katsayısının artırılması amaçlanmıştır. Isı akısı, demir içermeyen rezistans teli ile uygulanarak manyetik alanın bozulmaması sağlanmıştır. Alternatif manyetik alan, sıralı elektromıknatısların sırayla açılıp kapatılmasıyla kare ve sinüzoidal dalga elde edilerek sağlanmıştır. Düşük Re değerindeki akışlarda yüksek frekanslı alternatif manyetik alan uygulanması ortalama ısı transfer miktarını %27,6 oranında arttırırken, Re değeri yükseldikçe alternatif akımın yüksek ve düşük frekansından kaynaklı ısı transfer artış miktarının azaldığı görülmüştür. %1-2 gibi yüksek hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarındaki nanoakışkanlarda alternatif manyetik alan uygulaması ısı transferinde daha verimli olurken, %0,6 gibi düşük hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarda manyetik etki sonucunun fark edilebilir olmadığı saptanmıştır.

Kelidari vd. [73] U tüp içinde Fe_3O_4/su nanoakışkanını 50 Hz alternatif manyetik alan etkisi altında incelemişlerdir. Akışkan olarak %0,4 hacimsel nanopartikül konsantrasyonu kullanılarak yapılan deneylerde saf suya göre ısı transferinde %32'ye varan artış elde etmişlerdir.

Esmaceli vd. [70]'nin alternatif manyetik alan elde edebilmek için MHz mertebelerine kadar destekleyen bir fonksiyon jeneratörü kullanarak yaptıkları çalışmada, akışa dik yönde alternatif manyetik alan uygulanmış ve manyetik alan uygulanmayan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Laminer akış şartlarında iç akışla yapılan çalışmalar sonucu alternatif manyetik alan uygulanan sonuçlarda, manyetik alan uygulanmayan

sonuçlara göre %118'e varan ısı transferi artışları elde edilmiştir. Alternatif manyetik alan altında sonuçlar belirgin bir şekilde artmıştır, bunda alternatif manyetik alan kaynaklı nanopartiküllerin Neel ve Brownian mekanizmaları sebebiyle ısı oluşumunun da etkisi bulunmaktadır.

Ghasemian vd. [11] yaptıkları çalışmada, kanalın altındaki ve üstündeki iki tel üzerinden geçen akımın oluşturduğu alternatif manyetik alanın %4 hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 /su nanoakışkanı üstündeki etkisi incelenmiştir. Düşük Re değerleri için 0-10 Hz manyetik alan frekans aralıklarında testler gerçekleştirilmiştir. Alternatif manyetik alan elektromıknatısların sırayla açılıp kapatılmasıyla elde edilmiştir. Üstteki kablodan akım geçirilerek manyetik alan elde edilirken, alttaki kabloya akım verilmemiştir. Bir sonraki zaman basamağında ise alttaki kablodan akım geçirilerek manyetik alan elde edilirken, üstteki kablodan akım geçirilmemiştir. Bunların akım verilen ve verilmeyen zamanları kontrol edilerek alternatif manyetik alanın frekansı belirlenmiştir. Bunun sonucunda manyetik alan kaynaklarına yakın yerlerde yerel girdapların oluşması nedeniyle ısı sınır tabakanın bozulduğu ve bunun da ısı transfer miktarını artırdığı, hatta tam gelişmiş akış bölgesinde bu etkinin daha büyük olduğu saptanmıştır. Alternatif manyetik alan, nanopartiküllerin periyodik olarak aşağı ve yukarı duvara yakınlaştırması ve bunun ısı sınır tabakayı bozması nedeniyle de ısı transferi miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Düşük Re değerlerine sahip akışlarda %27'ye varan ısı transferi artışı elde edilmiştir.

Bonab vd. [74]'nin elektromıknatısları açıp kapatma yöntemiyle elde ettikleri 0,02 T büyüklüğünde alternatif manyetik alan altında $Re=80$ ve $Re=560$ akış şartlarında Fe_3O_4 /su nanoakışkanıyla yaptıkları sayısal çalışmada, hacimsel nanopartikül konsantrasyonunun ve alternatif manyetik alanının frekansının artmasıyla ısı transferi miktarının arttığı görülmüştür. Düşük hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarında alınan sonucun tatmin edici olmadığına ulaşılmıştır. Yapılan çalışmalarda alternatif manyetik alan uygulanarak %27'ye yakın ısı transferi artışına ulaşılmıştır.

Bonab vd. [75] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada ise; 0,07 T büyüklüğünde alternatif manyetik alan etkisi altında %1, %2,5 ve %5 hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarındaki Fe_3O_4 /su nanoakışkanıyla laminer akış

şartlarında deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda manyetik alan frekansı arttıkça ısı transferi miktarının arttığı gözlemlenmiştir. %2,5 hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna sahip nanoakışkan için alternatif manyetik alanla %30'lara varan artış tespit edilmiştir.

Goharkhah vd. [71], elektromıknatısları sıralı olarak açıp kapatma suretiyle 0,05 T büyüklüğünde kare dalga alternatif manyetik alan elde etmişlerdir. Düşük *Re* değerlerinde laminer iç akış şartlarına göre yapılan deneyler sonucunda, ısı transferi sabit manyetik alan altında %18,9, alternatif manyetik alan altında ise %31,4 artmıştır. Bunun yanında, alternatif manyetik alan etkisi sonucu periyodik olarak aşağı ve yukarı duvara yaklaşan nanopartiküller, ısı sınır tabakayı bozmakta ve akışın karışması dolayısıyla ısı transfer miktarını arttırmakta olduğu belirlenmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalardan elde edilen sonuçlara paralel olarak alternatif manyetik alan uygulamasının ısı transferinde önemli bir artış sağladığı yakın geçmiş zamanda Tekir vd. [76] tarafından yapılan çalışmada da ifade edilmiştir. Araştırmacılar, deneysel olarak yaptıkları çalışmalarında %5,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonundaki Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanarak $f=2$ Hz, $f=5$ Hz, $f=15$ Hz frekanslarında sinüs, kare, üçgen dalga tiplerindeki alternatif manyetik alanın ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Literatürde farklı dalga tiplerindeki manyetik alan etkisinin ilk defa incelendiği bu çalışmada, düşük frekansların ve kare dalganın genel olarak daha iyi *Nu* değeri artışı sağladığını belirlemişlerdir.

Detaylı bir şekilde yapılan literatür araştırmasından da görülebileceği gibi, farklı dalga tiplerindeki alternatif manyetik alan etkisi altında kanal içi hibrit nanoakışkan akışının taşınımıyla ısı transferine ve akış karakteristiklerine etkisi henüz yeterince araştırılmamıştır. Konu ile ilgili yapılan alternatif manyetik alan etkisi ile ilgili çalışmalarda, elektromıknatısları sıralı bir şekilde açıp kapatarak kare dalga elde edilmek suretiyle tek yönlü alternatif manyetik alan elde edilebilmiştir. Bununla birlikte, çalışmalarda sinüzoidal ve üçgen dalganın kullanılmadığı görülmüştür. Sabit ve alternatif manyetik alan etkisi altında yapılan kanal içi laminer nanoakışkan akışının taşınımıyla ısı transferine etkisi konusunda yapılan araştırmalar oldukça sınırlı olup,

hibrit nanoakışkan akışının alternatif manyetik alan etkisi altında henüz incelenmediği görülmüştür.

Bu nedenle yapılan bu çalışmada, hibrit nanoakışkan akışının alternatif manyetik alan etkisi altında taşınım ile ısı transferine olan etkileri incelenmiş olup, literatürdeki bu boşluğun doldurulması amaçlanmıştır. Öncelikle, bu amaca yönelik bir deney düzeneği tasarlanıp, imalatı gerçekleştirilmiş ve üzerinde ısı transferine ve akış karakteristiklerine olan etkilerini incelemeye yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, Fe_3O_4 ve Cu nanopartiküllerin farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%2,0 Fe_3O_4 , %1,5 Fe_3O_4 - %0,5 Cu, %1,0 Fe_3O_4 - %1,0 Cu, %0,5 Fe_3O_4 - %1,5 Cu ve %2,0 Cu) baz akışkan su içerisine katılacağı hem mono hem de hibrit nanoakışkanlar kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde yer alan 1,6 m uzunluğundaki test kanalının başlangıcından 1,2-1,3 m aralığına $B=0,3$ T değerinde sabit manyetik alan ve çeşitli frekanslarda ($f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz) sinüs, kare ve üçgen dalga tipinde alternatif manyetik alan uygulanmıştır. Belirlenen bu farklı nanoakışkan ve manyetik alan durumları için ısı transferi performansı ve akış karakteristikleri $1000 \leq Re \leq 2300$ laminar akış şartlarında detaylı olarak incelenmiştir. Sabit manyetik alan ve alternatif manyetik alanın hibrit nanoakışkanın ısı transferine etkisi literatürdeki ilk örneklerdendir. Ayrıca, hibrit nanoakışkanı oluşturan nanopartiküllerin farklı hacimsel konsantrasyonlarının manyetik alan etkisi altında ısı transferi performansının karşılaştırılması da literatürde özgün değer olarak ortaya çıkacaktır.

BÖLÜM 3

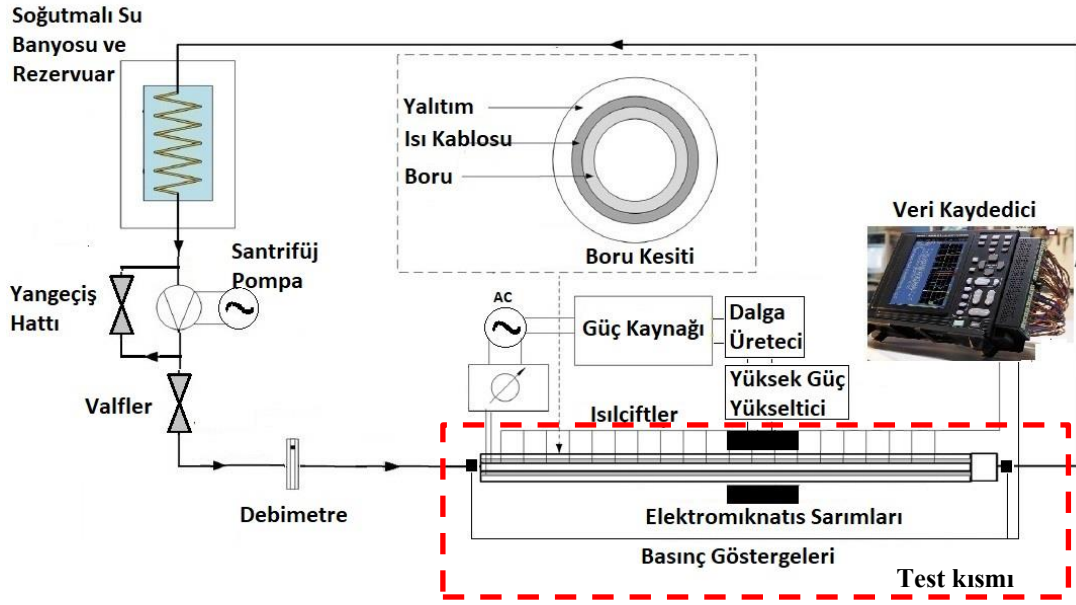
DENEYSEL YÖNTEM

Bu bölümde, dairesel kesitli bir kanal içerisinde akan %2,0 Fe₃O₄/su manyetit nanoakışkanı, %2,0 Cu/su nanoakışkanı ve farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonlardaki (%1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu, %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu) Fe₃O₄-Cu/su hibrit nanoakışkanlarının sabit ve alternatif manyetik alan etkisi altındaki ısı performansları ve akış karakteristikleri deneysel olarak irdelenmiştir. Sabit (DC) ve alternatif (AC) manyetik alan büyüklüğü $B=0,3$ T değerinde uygulanmış olup, alternatif manyetik alan çeşitli frekanslarda ($f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz) ve çeşitli dalga tiplerinde (sinüs, kare ve üçgen) tatbik edilmiştir. Deneysel çalışmalar laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) gerçekleştirilmiştir.

3.1. DENEY DÜZENEĞİ

Deneyleerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla öncelikle test düzeneği tasarlanıp imal edilmiştir. Bu amaçla tasarlanan deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 3.1'de sunulmuştur.

Deney düzeneğinin test kısmı literatürdeki benzer çalışmalar baz alınarak oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Literatürde yapılan çalışmalarda dairesel kesitli kanal çapları genellikle 5-18 mm aralığında ve boyları ise 600-2000 mm uzunlukta alındığı görülmüştür. Kanal malzemesi olarak ise genellikle alüminyum veya bakır kanallar kullanılmıştır [41,42,59,62]. Manyetik alan geçirgenliği kanal malzeme seçiminde önemli bir kriter olup ısı iletkenliğinin de yüksek olması istenmektedir. Bu iki kritere uyan malzemeler bakır ve alüminyum olup alüminyum malzeme kullanılmıştır. Test kısmını oluşturan dairesel kesitli kanalın iç çapı 16 mm, dış çapı ise 21 mm olup uzunluğu 1500 mm'dir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Test kısmında kullanılan ısıtıcı seçiminde ise manyetik alandan etkilenmeme, uygun maliyet, kısa devre olmaması gibi kıstaslar önem kazanmaktadır. Bu nedenle, yolluk rezistansları ve ısıtıcı tel yerine kendinden yalıtkanlı ısı kablosu tercih edilmiştir. Kanal yüzeyi 50 W/m gücündeki ısı kablosuyla sarılarak ısıtılmıştır (Şekil 3.2). Ayarlı kısıcı (dimmer) ile kontrol edilen ısıtıcı kablo ile kanal yüzeyinde $q''=6,6 \text{ kW/m}^2$ değerinde sabit ısı akısı oluşturulmuştur. Ayarlı kısıcı ile kontrol edilen ısıtıcının gücü Wattmetre ile ölçülmüştür.

Deneyleerde test kanalında akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarını, kanal yüzey sıcaklıklarını ve ortam sıcaklığını ölçmek amacıyla T tipi ısı çiftleri kullanılmıştır. Isıl çift kalibrasyonu deneyleerde doğru sonuç alınması için önem arz etmektedir, aksi halde deney sonuçlarının hata oranını arttırmaktadır. Bu nedenle, ısı çiftleri deney sistemine yerleştirilmeden önce kalibre edilmişlerdir. Ayrıca, ısı çiftlerinin fabrikasyon olarak doğruluklarının $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.3). Saf su kullanılarak elde edilen buzlu su ve $43 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda ölçümler yapılarak kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon esnasında $0-50 \text{ }^\circ\text{C}$ aralıklı alkollü kapiler kullanılarak referans sıcaklıklar tespit edilmiştir (Şekil 3.4). Kalibrasyon sonrası sıcaklık ölçüm doğruluğu $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşürülmüştür (Şekil 3.5).

Yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi için beş adet ısı çifti 0,25 m aralıklarla kanal yüzeyine yerleştirilmiştir. Yüzeye sarılan ısıtıcı kablunun, ısı çiftinin ölçüm hatasına sebep olmaması için ısı çifti etrafında bir miktar boşluk bırakılmıştır. Isıl çiftler kanal yüzeyine plastik kelepçe aracılığıyla sıkı bir şekilde tutturulmuştur (Şekil 3.2). Sıcaklık ölçümünün daha doğru yapılabilmesi için ısı çifti ucu ile kanal yüzeyi arasında termal macun kullanılmıştır. Tüm işlemler sonrasında alüminyum kanal ısı kaybının önlenmesi amacıyla taş yünü malzeme ile yalıtılmıştır. Tüm ısı çiftleri, HIOKI LR8431-20 marka veri kaydedicisine bağlanarak toplanan veriler bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 3.2. Isıtıcı kablo ve ısı çiftinin konumlandırılması.

Numerical Value	Numerical Value
26.80s	38.80s
42.9 °C	1.4 °C
43.7 °C	1.5 °C
42.8 °C	1.5 °C
43.5 °C	1.6 °C
43.8 °C	1.5 °C
43.5 °C	1.6 °C
42.9 °C	1.6 °C
43.7 °C	1.6 °C
43.2 °C	1.5 °C
43.0 °C	1.5 °C

Şekil 3.3. Kalibrasyon öncesi fabrikasyon sıcaklık ölçüm değerleri.



Şekil 3.4. Isıl çift kalibrasyonu.

CH 1	47.2834°C	CH 1	1.20001°C
CH 2	47.2722°C	CH 2	1.20001°C
CH 3	46.8873°C	CH 3	1.30001°C
CH 4	47.1712°C	CH 4	1.30001°C
CH 5	47.5783°C	CH 5	1.30001°C
CH 6	47.4638°C	CH 6	1.40001°C
CH 7	47.2778°C	CH 7	1.30001°C
CH 8	47.1885°C	CH 8	1.30001°C
CH 9	47.1943°C	CH 9	1.30001°C
CH10	47.1885°C	CH10	1.30001°C

Şekil 3.5. Kalibrasyon sonrası sıcaklık ölçüm değerleri.

Akışkan giriş sıcaklığının ölçülmesi için bir adet ısıl çift, çıkış sıcaklığının ölçülmesi için de üç adet ısıl çift kullanılmıştır. Ortam sıcaklığının ölçümü için ise ek olarak bir adet ısıl çift laboratuvar ortamına yerleştirilmiştir. Test kanalının çıkışındaki akışkan sıcaklık ölçümünün daha hassas yapılması amacıyla üç ısıl çift, test kanalının çıkış kesitinde kanalın merkezine göre farklı uzaklıklarda konumlandırılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Test kanalı çıkış kesitine yerleştirilen ısıtıcı çiftlerin kesit görünümü.

Manyetik alan, test kanalının iki yanına konumlandırılmış sarımlarla test kısmının girişinden 1,2 m ile 1,3 m arasına uygulanmıştır. Sarımların eksenleri test kanalının eksenine üstündedir. Manyetik alan uygulaması Bölüm 3.2.5’te detaylı olarak açıklanmıştır.

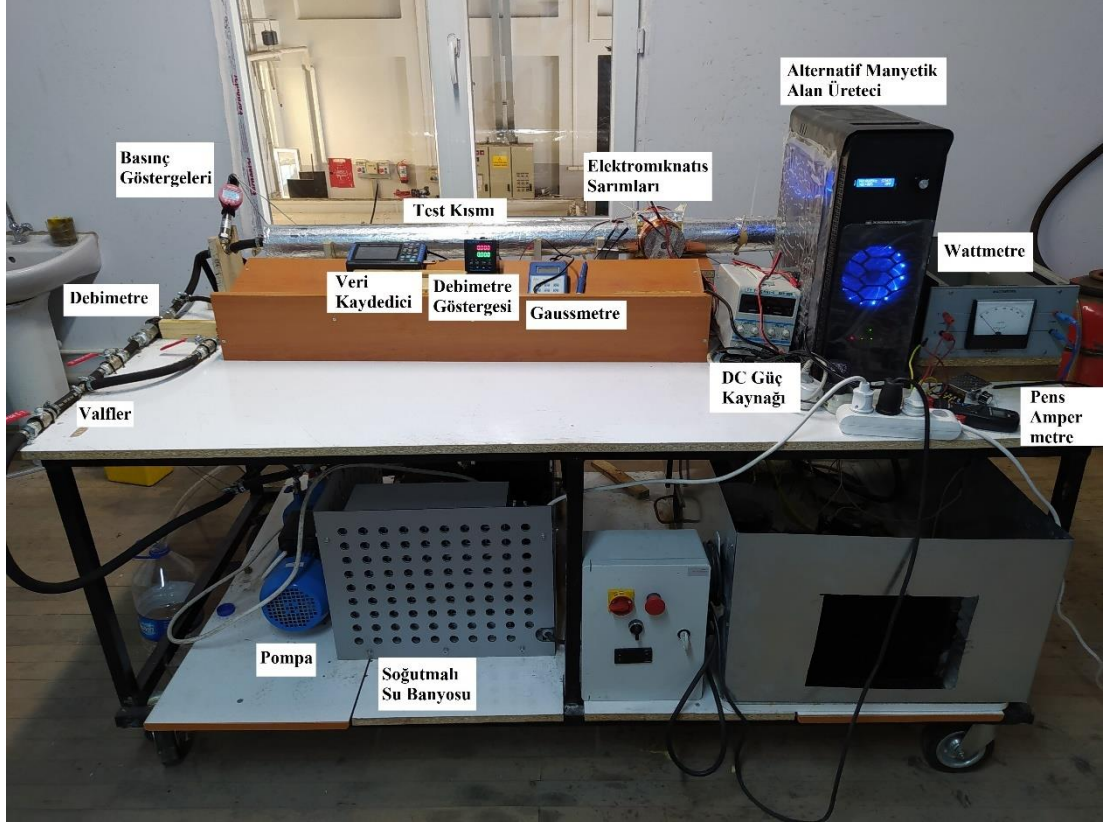
Deney düzeneğinde akışkanın hareketinin sağlanması için ETNA SCT200 marka santrifüj tip pompa kullanılmıştır. Deneysel 0,8 ve 1,6 lt/dk hacimsel debi aralığında gerçekleştirilmiş ve bu şartlar altındaki hacimsel debi değeri GENTEK GT-TD-20 marka mini türbin debimetre tarafından ölçülmüştür.

5 lt kapasitedeki ve 1,5 kW güçteki soğutmalı su banyosu, akışkan giriş sıcaklığının sabit tutulması için kullanılmıştır.

Deney düzeneğinin uzun ömürlü olması amaçlandığından sıcaklığa dayanıklı ve montajı kolay bir hortum malzemesi seçilmesi istendiğinden; PVC, HDPE, PU ve bakır boru yerine tekstil örgülü hidrolik hortum tercih edilmiştir.

Basınç düşümünün ölçülebilmesi amacıyla GENTEK PT124B-210 marka basınç transmitterleri test kısmının giriş ve çıkışına konumlandırılmıştır.

Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 3.7’de verilmiş olup, deneysel çalışmalarda kullanılan ekipmanlara ait detay bilgileri Bölüm 3.2’de sunulmuştur [76].

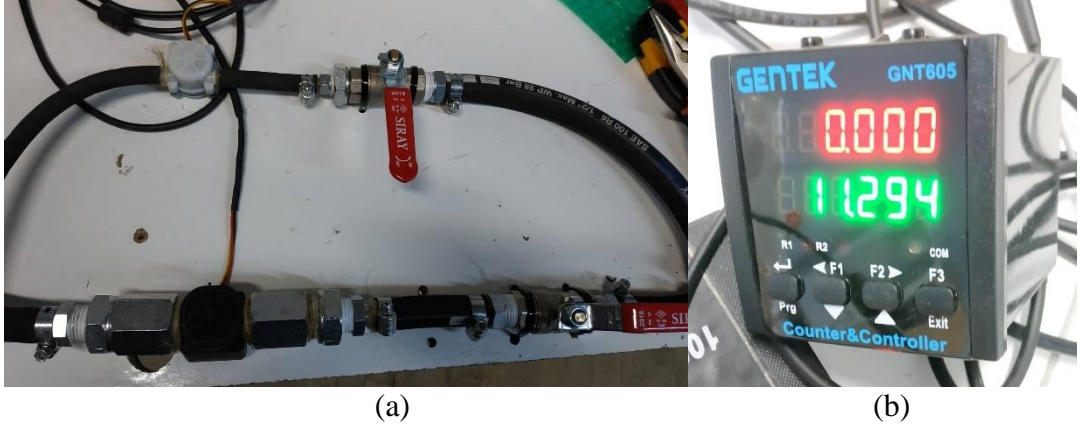


Şekil 3.7. Deney düzeneğinin fotoğrafı.

3.2. DENEYSSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN EKİPMANLAR

3.2.1. Debimetre

Deney düzeneğinde sistemde dolaşan akışkan debisini ölçmek amacıyla 0,6-6,0 lt/dk ölçüm aralığında, %1 hassasiyete sahip GENTEK GT-TD-20 marka mini türbin tipi debimetre kullanılmıştır. Akışkan debisi, aynı zamanda Şekil 3.8a'da görüldüğü gibi ayar vanaları ile kontrol edilebilmektedir. Şekil 3.8b'de görüldüğü üzere debimetrenin bağlı olduğu dijital gösterge lt/dk cinsinden akışkan debisini göstermektedir.



Şekil 3.8. a) Deneylerde kullanılan debimetrenin yerleşim görüntüsü, b) debimetre göstergesi.

3.2.2. Pompa

Pompanın veriminin yüksek olduğu bölgede kalmak ve pompanın zorlanmaması için en az 30 mSS basma basıncına ve 80 lt/dk debiye sahip pompa seçilmesi kararlaştırılmıştır. Şekil 4.9’da görülebileceği gibi deneysel çalışmalarda bu özelliklere sahip 2 HP = 1,5 kW gücündeki ETNA SCT-200 marka pompa kullanılmıştır.



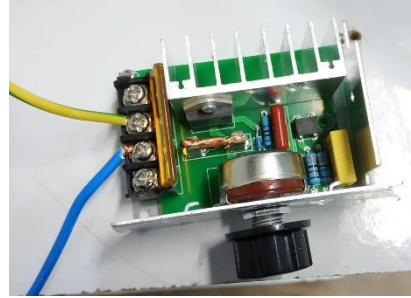
Şekil 3.9. ETNA SCT 200-50 pompa teknik özellikleri.



Şekil 3.10. Deneysel çalışmalarda kullanılan pompanın görünümü.

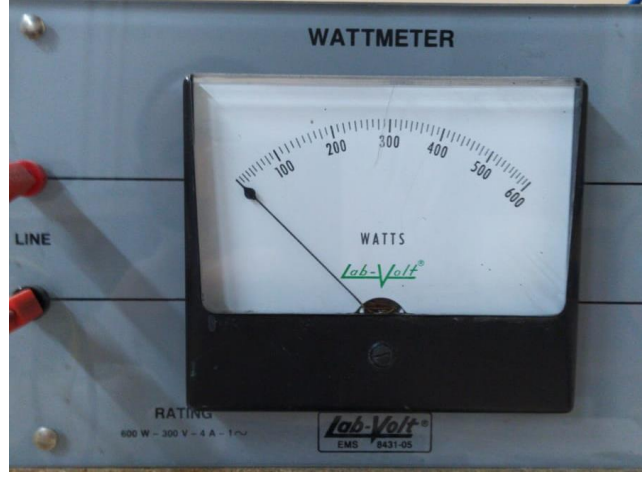
3.2.3. Ayarlı Kısıcı ve Wattmetre

Isıtıcı telin gücü kademeli olarak değiştirilmesi gerektiğinden deney setine 1,5 kW gücünde bir ayarlı kısıcı (dimmer) eklenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Isıtıcı gücünü kontrol eden ayarlı kısıcı.

Şekil 3.7’de detaylı olarak görülen test kısmı tamamlandıktan sonra dimmer aracılığıyla kısılan gücün ne kadar olduğu Şekil 3.12’de gösterilen Allsun EM400 marka dijital pens ampermetre ve Lab-Volt 8431-05 marka Wattmetre ile kontrol edilmiştir.



Şekil 3.12. Dijital pens ampermetre (solda) ve analog wattmetre (sağda).

3.2.4. Basınç Transmitteri

Test kısmı giriş ve çıkışındaki basınçlar Şekil 3.13'te gösterilen basınç transmitterleri ile ölçülerek test kanalı boyunca gerçekleşen basınç düşümü tespit edilmiştir. %0,5 hassasiyette olan GENTEK PT124B-210 marka basınç transmitterleri aracılığıyla ölçümler sonucu hesaplanan basınç düşümü değerleri, ortalama Darcy sürtünme faktörünün (f) hesaplanması için kullanılmıştır.

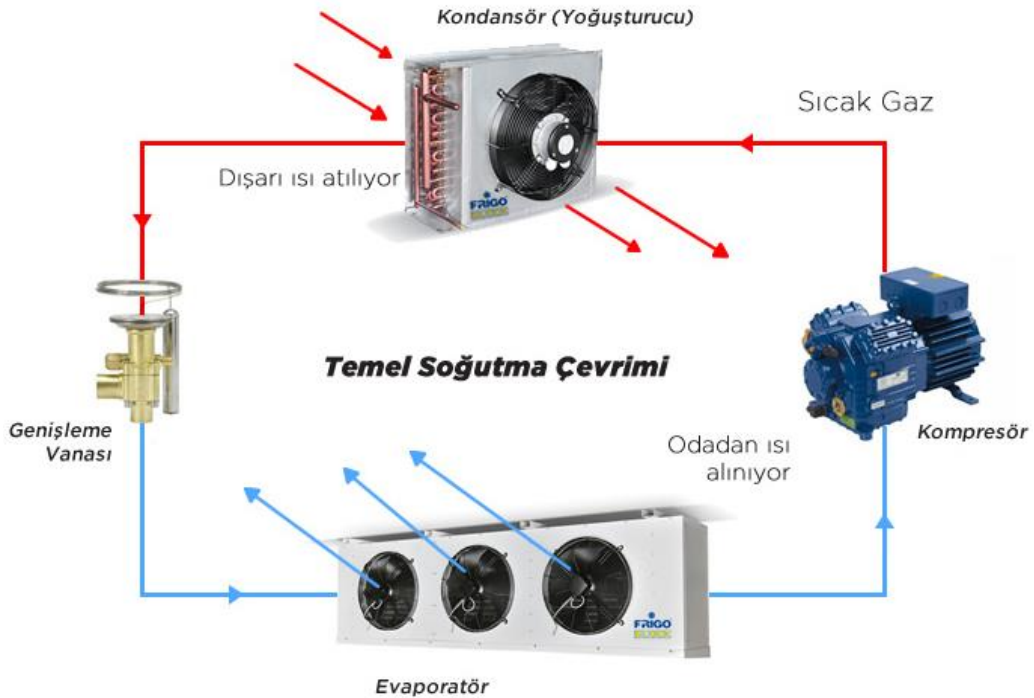


Şekil 3.13. Basınç transmitteri ve dijital göstergenin görünümü.

3.2.5. Soğutma Banyosu

Deneyle sırasında çalışma akışkan sıcaklığının test kısmına girişte sabit kalması nedeniyle soğutma banyosu kullanılmıştır. Özel olarak üretimi gerçekleştirilen soğutucu sistem basit bir soğutma çevriminden ibarettir. Kompresör, genişleme valfi ve ısı değiştiricilerden oluşan sistem R134a soğutucu akışkan ile çalışmaktadır (Şekil 3.14). Test kanalından ısınarak çıkan akışkan bu soğutucu sistemin rezervuar kısmına gelmektedir. R134a soğutucu akışkanın içinde dolandığı bakır boru spirali, rezervuar içindeki akışkanı soğutmaktadır (Şekil 3.15). Sistemin soğutma gücü 1500W'dır.

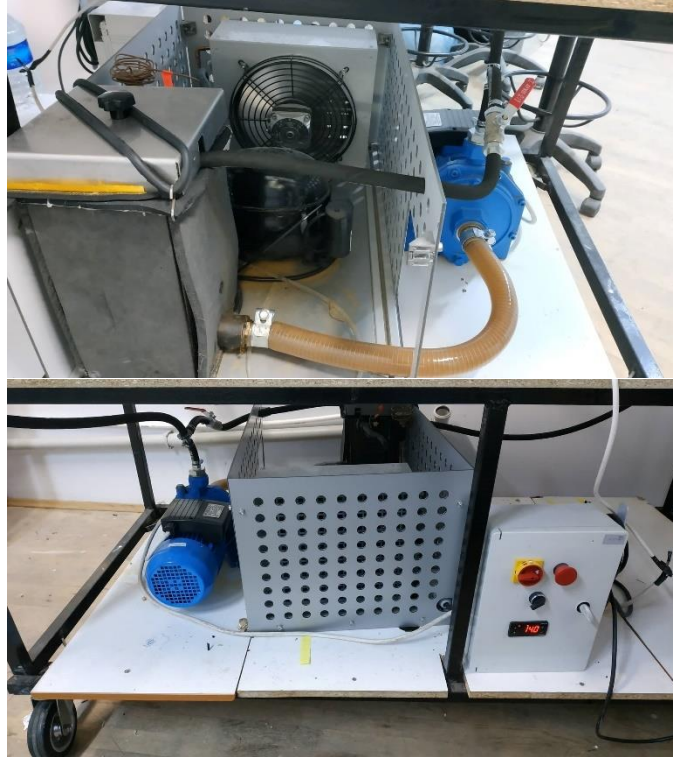
Şekil 3.16'da soğutucunun alt kısmından çıkan emme hortumuyla pompanın beslendiği ve ardından pompadan çıkan by-pass hattının siyah hortumla rezervuarın üstünden tekrar geri geldiği görülebilmektedir. Aynı şekilde, test kısmına giden hat ise rezervuara geri dönmektedir. Rezervuar çıkışına konulan sıcaklık sensörü ile sistem içindeki akışkan 10 °C'ye kadar soğutulabilmektedir.



Şekil 3.14. Soğutma çevrimi.



Şekil 3.15. Soğutucu sistemin rezervuarı.



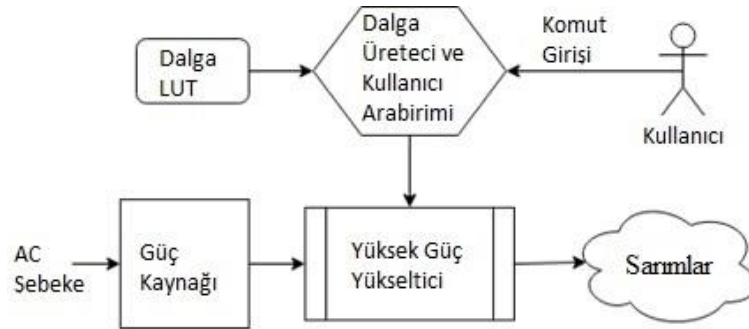
Şekil 3.16. Soğutucu sistemin ve pompanın yandan ve önden görünümü.

3.2.6. Manyetik Alan Üreticinin Tasarımı ve Üretilmesi

Manyetik alan üretici sistemi, özel olarak sabit ve alternatif manyetik alan oluşturabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, deney sistemine farklı manyetik alan güçleri uygulanabileceği gibi alternatif manyetik alan etkisi farklı dalga tipleri (sinüs, kare ve üçgen) için oluşturulabilecek yapıda imal edilmiştir. Bu özelliği ile çalışma kapsamında üretilen manyetik alan üretici literatürde bir ilk olmuştur. Sistem dört ana komponentten oluşmaktadır:

- Güç kaynağı
- Dalga üretici
- Yüksek güç yükseltici
- Elektromıknatis bobin

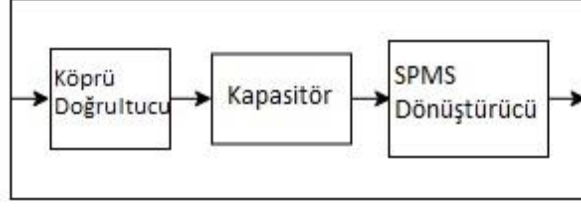
Alternatif manyetik alan üreticinin blok diyagramı Şekil 3.17’de verilmektedir.



Şekil 3.17. Alternatif manyetik alan üreticinin blok diyagramı.

3.2.6.1. Güç Kaynağı

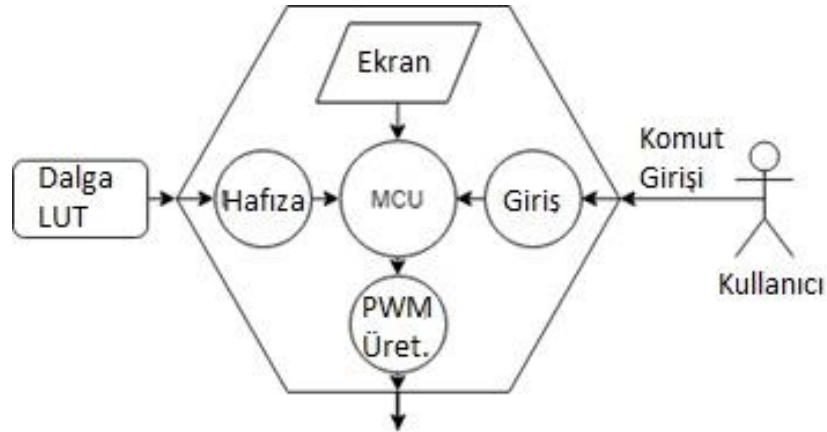
Sistemde en az 1 kW devamlı güç sağlayabilecek güç kaynağı kullanılmıştır. Güç kaynağı dizilimi, köprü doğrultucu, kapasitör ve düşürücü dönüştürücü içermekte olup blok diyagramı Şekil 3.18’de görülebilmektedir. Düşürücü dönüştürücü DC - DC dönüştürücü olup anahtarlanmış mod güç kaynağı sınıfındadır ve voltajı düşürürken akımı artırmaktadır. Güç kaynağının çıkış voltajı değiştirilerek manyetik alan büyüklüğü ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.18. Güç kaynağı blok diyagramı.

3.2.6.2. Dalga Üretici

Dalga üretici, güç yükselticiye giriş sinyali sağlamak için gerektiği kadar üreteç parametresinin kullanıcı ara yüzüyle kontrolü için de gereklidir. Dalga üreticinin temelinde bir mikro kontrolör yatmaktadır. Üreteç parametreleri, sistemin kullanıcı ara yüzü aracılığıyla ayarlanmaktadır. Toplanan parametreler; istenen frekansın, görev döngüsünün ve dalga tipinin üretilmesinde kullanılmaktadır. Tam sinüs (sine), üçgen ve kare dalga başvuru çizelgeleri (Look Up Tables) dalga üreteç hafızasında saklanmaktadır ve kolayca okunup MCU tarafından darbe genişlik modülasyonu (PWM) yardımıyla üretilmektedir. İstenen dalgaların üretilmesi için 16-bit zamanlayıcılar, 31,25 kHz taşıyıcı frekanslı faz düzeltmeli PWM modu ve frekansıyla yapılandırılmıştır. MCU'nun çalışma frekansı, PWM taşıyıcı frekansının 512 katıdır ($16 \text{ MHz}/512=31,25 \text{ kHz}$). Dalga üreticinin çıkış gücü, %0'dan %100'e kadar %10'luk adımlarla ayarlanabilmektedir. Basitleştirilmiş dalga üreticinin blok diyagramı Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

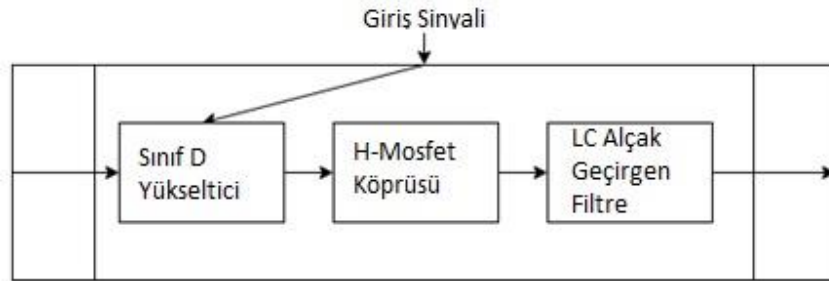


Şekil 3.19. Dalga üretici blok diyagramı.

3.2.6.3. Yüksek Güç Yükseltici

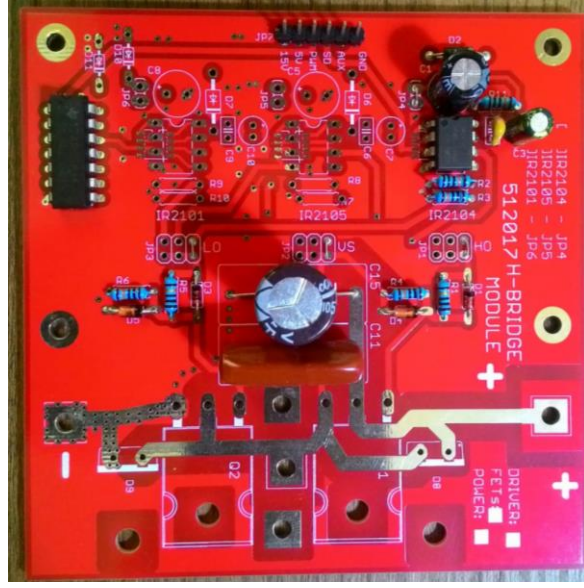
Bir sinyalin yükseltilmesi söz konusu olduğunda birçok topoloji/sınıf akla gelmektedir. Yüksek yoğunluklu güç yükseltici ihtiyacından dolayı Sınıf D tipi yükseltici topolojisi seçilmiştir. Sınıf D yükselticilerin teorik enerji verimleri %100'dür. Yani sağlanan tüm güç ısıya dönüşmeden yüke aktarılmaktadır. Çünkü kullanım durumundaki ideal bir anahtar, voltaj kaybı olmadan tüm akımı aktarırken; kapalı durumda ise tüm sağlanan voltajı barındırmaktadır, fakat hiçbir akım kaçağı olmadığından ısı kaybı olmamaktadır. Halbuki gerçek hayatta, güç MOSFET'leri ideal bir anahtar değildir, fakat pratik verimleri genellikle %90'ın üstündedir.

Aksine, doğrusal Sınıf A, B yükselticiler, güç cihazlarından voltaj farkının oluşması ve akımın akmasıyla işlemektedir. İdeal bir Sınıf B yükselticinin, teorik maksimum verimi %78 iken, Sınıf A yükselticinin (cihazların sürekli açık olduğu, tamamen doğrusal) ise maksimum %50'dir; hatta bazı versiyonlarının %20'nin bile altındadır. Yüksek güç yükselticinin basitleştirilmiş blok diyagramı Şekil 3.20'deki gibidir.

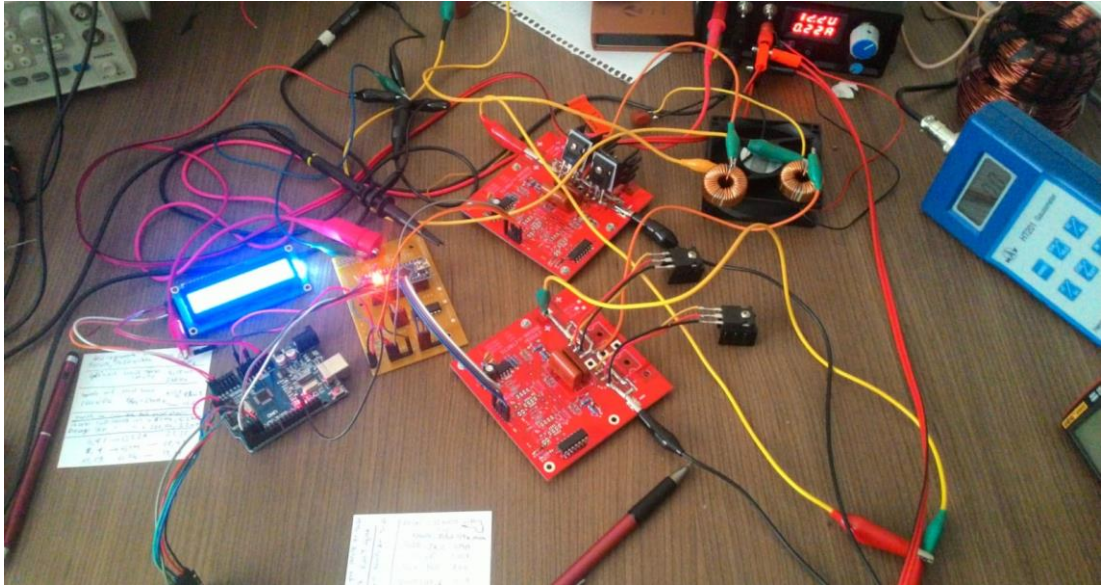


Şekil 3.20. Yüksek güç yükselticinin blok diyagramı.

Üretilmiş bir yarım köprü Şekil 3.21'de görülmektedir. Şekil 3.22'de ise 2 tane yarım köprü kullanılarak H-köprü devresi üretilmiş, ara yüz ve dalga üretici devresi tasarlanıp devre ekipmanları kullanılarak denenmek üzere oluşturulmuştur. H-köprüler bir yüke uygulanan voltajın kutbunu değiştiren kontrolcüdür. Yarım köprü ise H-köprü kontrolcüsünün tek yönlü biçimidir. Şekil 3.23'te ise dalga üretici devresinin oluşturduğu dalga formu ve frekansı ara yüz devresine bağlı ekran ile görülebilmektedir.



Şekil 3.21. Üretilmiş yarım köprü (half bridge).



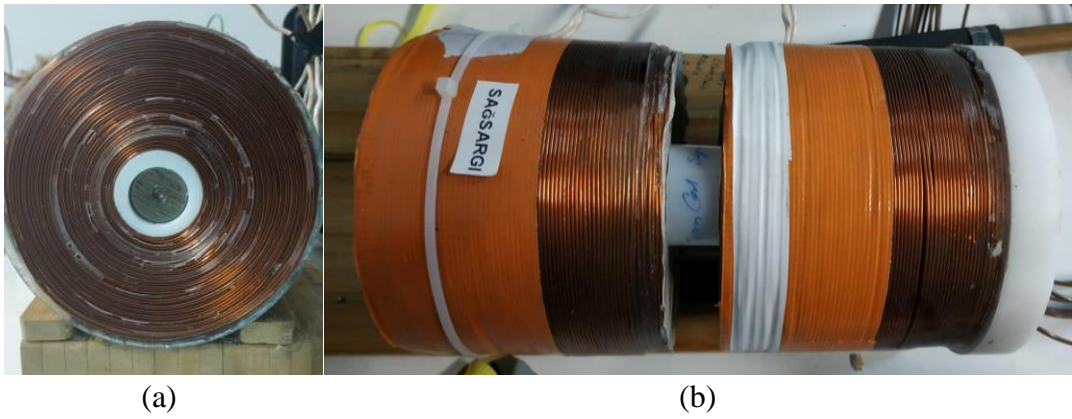
Şekil 3.22. İki yarım köprüden oluşan H-köprü kontrolcüsü, ara yüz ve dalga üretici devresi.



Şekil 3.23. Dalga üretici devresinde üretilen dalganın özelliklerini gösteren ara yüz devresinin ekranı.

3.2.6.4. Elektromıknatis Bobin

İstenen manyetik alan büyüklüğüne ulaşılabilmek amacıyla, elektromıknatis sarımlar merkezinde 2 cm çapında silindirik saf demir çubuk etrafına bobin sarılarak üretilmiştir (Şekil 3.24). Bobin 3000 sarımdan oluşmakta olup direnci 28Ω 'dur. 1 A akım başına 160 mT manyetik alan şiddeti üretmektedir.



Şekil 3.24. Üretilen elektromıknatisin a) önden ve b) üstten görünümü.

Üretilen sarımların ve alternatif manyetik alan üreticinin genel görüntüsü Şekil 3.25'te görülmektedir. Alternatif manyetik alan üretici tarafından sarımlara, 200 V'a varan voltaj uygulanmaktadır.



Şekil 3.25. Alternatif manyetik alan üreticinin genel görünümü.

3.2.6.5. DC Güç Kaynağı

Alternatif manyetik alan için alternatif manyetik alan üretici kullanılırken sabit manyetik alan için Şekil 3.26'da gösterilen 60V 5A sağlayabilen DC güç kaynağı ile sarımlar doğru akımla beslenmiştir.



Şekil 3.26. DC güç kaynağının genel görünümü.

3.2.7. Manyetik Alan Üretecinin Kullanımı

Manyetik alan üretecinin ara yüz ekranı üstündeki tuşla üç parametre ayarlanıp seçilebilmektedir. Frekans seçiminin yapılmasının ardından dalga türlerinden sinüs, üçgen, kare dalgalardan biri seçilip sonrasında “GO” kısmından da yüzde cinsinden manyetik alanın gücü seçilmesiyle sistem çalışmaktadır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Ara yüzün çeşitli frekans, dalga tipi ve güçte kullanımı.

3.2.8. Gaussmetre

Yapılan deneylerde manyetik alan büyüklüğünün ölçümü için HT201 marka Gaussmetre kullanılmıştır.



Şekil 3.28. Deneylerde manyetik alan büyüklüğü ölçümü için kullanılan Gaussmetre.

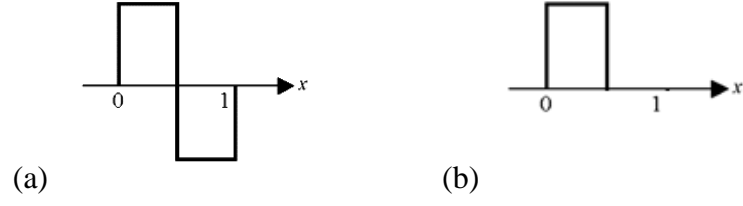
3.2.9. Manyetik Test

Gaussmetre ile yapılan ölçümlerde düşük frekansta 0,5 T'nin üstüne çıkıldığı görülmüştür (Şekil 3.29). Frekans yükseldikçe manyetik alan kuvveti de azalmakta olup 15 Hz frekansta 0,3 T'ye düşmektedir. Sabit manyetik alan için DC 60V 5A güç kaynağı ile sadece sarımlar kullanılmaktadır ve 0,3 T değerine ulaşabilmektedir.

Ayrıca, bu çalışmada uygulanan alternatif manyetik alan çift yönlüdür (bi-directional). Yani manyetik alan yönü frekansa göre değişmektedir (Şekil 3.30a). Öte yandan, tek yönlü (uni-directional) dalgalarda akım açma ve kapama algoritmasıyla oluşturulan manyetik alanın sadece belirli bir süre uygulandığı ve sonrasında manyetik alanın uygulanmadığı süreç işlemektedir (Şekil 3.30b). Manyetik alanın yönünün değişmemesi, sadece aç-kapa şeklinde çalıştırılması sebebiyle manyetik alan değişikliği ve buna bağlı metalik nanoakışkanda ısıl sınır tabakanın bozulup akış karıştırılması teorik olarak daha az gerçekleşmektedir. Şekil 3.31'de osiloskop görüntülerinde de manyetik alanın çift yönlü olduğu ve sinüs, kare, üçgen dalga profiline sahip olduğu görülebilmektedir.



Şekil 3.29. Gaussmetre ile ölçülen en yüksek manyetik alan büyüklüğü değeri.



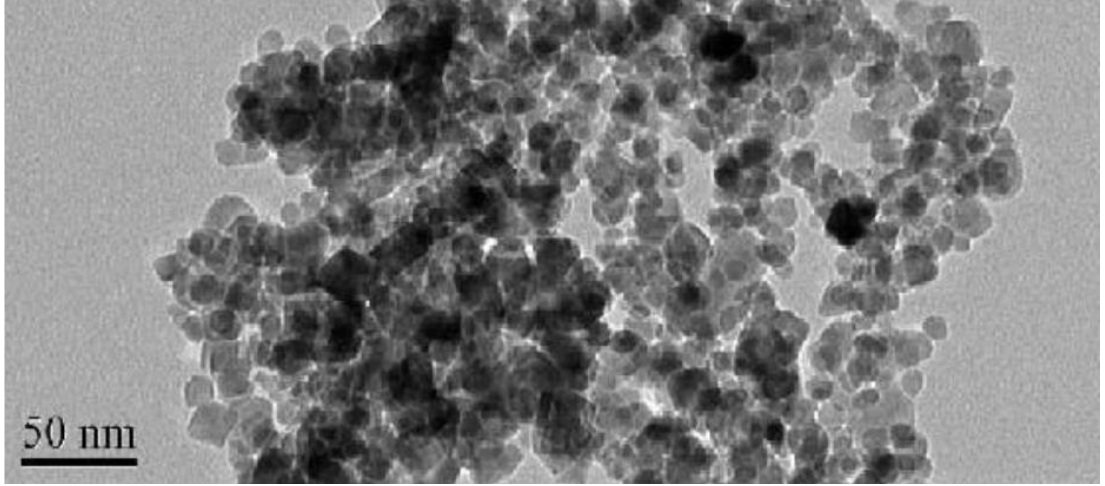
Şekil 3.30. a) Çift yönlü ve b) tek yönlü dalgalar.



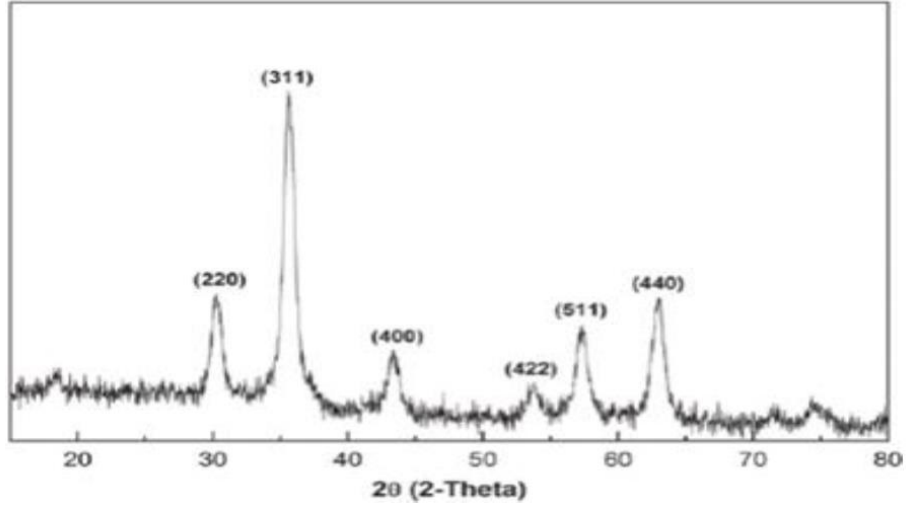
Şekil 3.31. Uygulanan alternatif manyetik alan dalga tiplerinin osiloskop görüntüleri.

3.3. NANOAKIŞKAN TEMİNİ

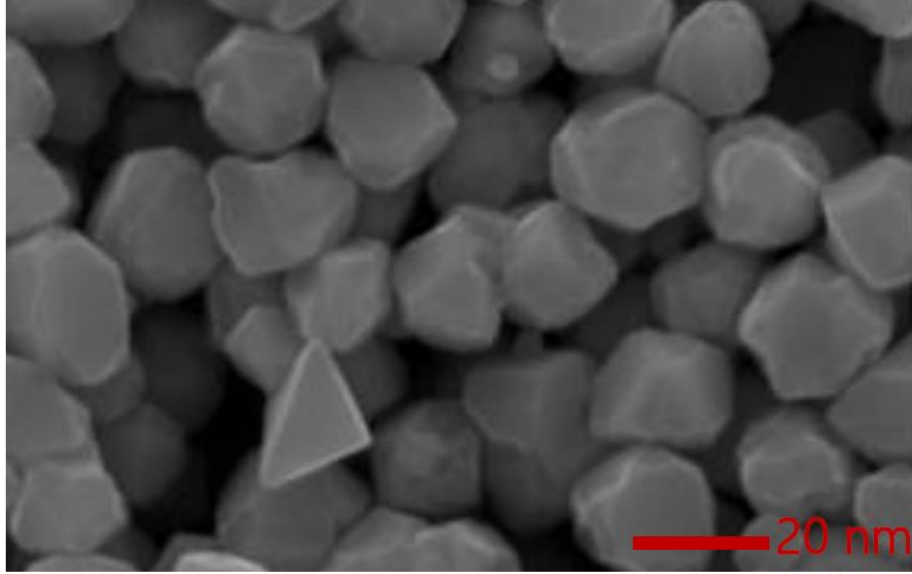
Deneyler için kullanılan Fe_3O_4/su ve Cu/su nanoakışkanları, Nanografi firmasından temin edilmiştir. Şekil 3.32-34'te görüldüğü üzere 14-29 nm boyutundaki küresel morfolojideki nanopartiküller, iki adım yöntemi ile üretilmiş olup Fe^{+3} ve Cu 'nun kimyasal çöktürme yöntemi kullanılarak sentezlenmektedir. Sentezlenen tozlar %99,5 saflıktadır (Şekil 3.33). Kimyasal yöntemler arasında sol-jel yöntemi, birlikte çöktürme, hidrotermal yöntem, elektrokimyasal yöntem, sonokimyasal ayrıştırma yöntemi ve nanoreaktörler olarak belirtilebilir. Aynı zamanda bu üretimin devamında ürünün dış kısmı PVP ile kaplanıp, yüzeyi de Oleik Asit ile fonksiyonlaştırılmaktadır. Bu işlem için de ultrasonik banyo kullanılarak baz akışkan içine dispersiyon yapılmaktadır.



Şekil 3.32. Fe₃O₄ tozlarının SEM görüntüsü.



Şekil 3.33. Fe₃O₄ tozlarının XRD analizi.



Şekil 3.34. Cu tozlarının SEM görüntüsü.



Şekil 3.35. Solda %2,0 Fe₃O₄/su ve sağda %2,0 Cu/su nanoakışkanlarının görünümü.

3.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Isı transfer karakteristiklerin belirlenebilmesi için çalışma akışkanlarının termofiziksel özellikleri oldukça önemlidir. Geleneksel ısı transferi akışkanları için bu özellikler kolaylıkla erişilebilir olmakla birlikte nanoakışkanlar için bu özelliklerin belirlenmesine yönelik çalışmalar günümüzde halen sürdürülmektedir.

Saf su ile Fe₃O₄ ve Cu nanopartiküllerinin ve hibrit nanoakışkanların yığın sıcaklıktaki (300 K) termofiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Fe₃O₄ ve Cu

nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri Nanografi firmasından temin edilmiştir. Kullanılan nanoakışkanlar ile ilgili daha detaylı bilgiler Ek Açıklamalar A'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Saf su ile Fe₃O₄ ve Cu nanopartiküllerinin ve hibrit nanoakışkanların termofiziksel özellikleri.

Malzeme Özellikler	Su	Fe ₃ O ₄	%2,0 Fe ₃ O ₄ /su	%1,5 Fe ₃ O ₄ - %0,5 Cu/su	%1,0 Fe ₃ O ₄ - %1,0 Cu/su	%0,5 Fe ₃ O ₄ - %1,5 Cu/su	2.0% Cu/su	Cu
Yoğunluk (kg/m ³)	998	5172	1083	1100,44	1119,24	1138,04	1157	8940
Özgül Isı (J/kg.K)	4182	663	4122	3780	3717	3655	3596	390
Termal İletkenlik (W/m.K)	0,598	9,6	0,6186	0,6363	0,6364	0,6365	0,6366	400
Viskozite (kg/m.s)	10 ⁻⁰³	-	1,26·10 ⁻⁰³	1,25·10 ⁻⁰³	1,24·10 ⁻⁰³	1,23·10 ⁻⁰³	1,22·10 ⁻⁰³	-

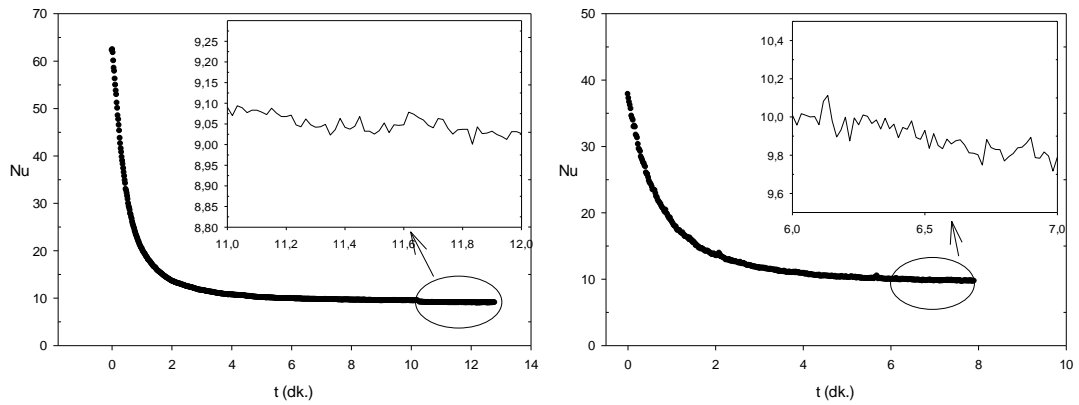
3.5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Tasarımı yapılarak oluşturulan deney düzeneği ile gerçekleştirilen deneyler Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Laboratuvarı'nda icra edilmiştir. Deneyler 0,8-1,6 lt/dk debiler arasında 0,1 lt/dk aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde %2,0 Fe₃O₄/su, %1,5 Fe₃O₄ - %0,5 Cu/su, %1,0 Fe₃O₄ - %1,0 Cu/su, %0,5 Fe₃O₄ - %1,5 Cu/su ve %2,0 Cu/su olmak üzere beş farklı nanoakışkan konsantrasyonu kullanılmıştır. Deneyler; manyetik alanın uygulanmadığı ($B=0$ T), sabit manyetik alanın uygulandığı ($B=0,3$ T DC) ve alternatif manyetik alanın uygulandığı ($B=0,3$ T AC) durumlarda gerçekleştirilmiştir. Alternatif manyetik alan; sinüs, kare ve üçgen dalga tiplerinde ve $f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz frekanslarda 9 farklı deneysel koşulu içermektedir.

Deneylere başlamadan önce pompa çalıştırılarak vanalar aracılığıyla istenen hacimsel debi ayarlanmıştır. Ardından, kablo ısıtıcıya enerji tatbik edilmiş ve Wattmetre aracılığıyla test kısmına uygulanan ısı akısı değeri kayıt altına alınmıştır. Sonrasında, Şekil 3.36'da görülebileceği üzere sistemin zamandan bağımsız (kararlı) hale ulaşması beklenmiştir. Kararlı hale ulaşılmasının ardından, sıcaklık ölçümleri veri kaydedici tarafından kayıt altına alınarak deneye bir süre daha devam edilmiştir. Ayrıca, test kanalının giriş ve çıkış kesitlerine yerleştirilen basınç transmitterleri aracılığı ile test

kısımındaki kanal içerisindeki basınç düşümü değerleri belirlenerek kayıt altına alınmıştır.

Bu kapsamda, öncelikle deney sisteminin kararlı rejime ulaşma süresinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.36'da görülebileceği gibi $Re=1122$ (0,85 lt/dk) şartlarında yapılan deneyde 10. dakikadan sonra ve $Re=2124$ (1,63 lt/dk) şartlarında yapılan deneyde ise 6. dakikadan sonra ortalama Nu değerinin sabit kaldığı ve kararlı rejime ulaştığı görülmektedir.

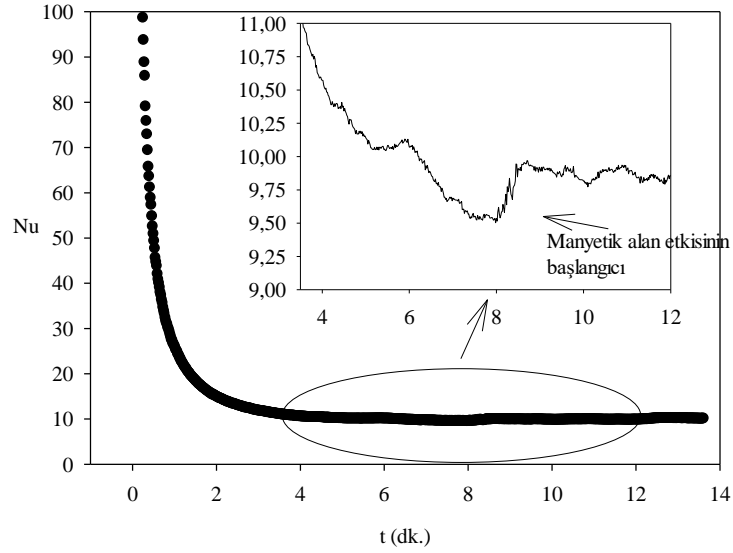


Şekil 3.36. Ortalama Nu değerinin $Re=1122$ (solda) ve $Re=2124$ (sağda) şartlarında zamanla değişimi.

Manyetik alan uygulanan deneylerde, test kanalının başlangıcından 1,2-1,3 m aralığına sabit ve alternatif manyetik alan uygulanmıştır. Manyetik alan bölgesine yerleştirilen Gaussmetre probu ile ölçüm alınarak manyetik alan büyüklüğü 0,3 T değerinde sabit tutulmuştur (Şekil 3.37). Isıl olarak zamandan bağımsız ve kararlı hale gelmesinin ardından manyetik alan uygulanarak manyetik alan için de kararlı hale gelmesi beklenmiştir (Şekil 3.38) ve ardından belirli bir süre sıcaklıklar kayıt altına alınmıştır. Bu kapsamda, deneysel çalışmalarda sabit manyetik alanın %2,0 Fe_3O_4/su nanoakışkan akışına olan etkisini belirleyebilmek için $Re=990$ değerinde ortalama Nu değerinin zamanla değişimine bağlı sonuçlar elde edilmiş ve Şekil 3.38 ile verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sabit manyetik alanın uygulanmasıyla birlikte ortalama Nu değerinde artış meydana gelmiştir.



Şekil 3.37. Manyetik alan uygulanan bölgenin konumu ve ölçümü.



Şekil 3.38. Manyetik alan etkisinin ortalama Nu değerine etkisi.

Deney bitiminden sonra sıcaklık verilerinin kaydı durdurulup sistemin ve elektromıknatis sarımlarının soğuması beklenmiştir. Sistemin ve elektromıknatis sarımlarının soğuması sonrasında farklı debi, farklı alternatif manyetik alan dalga tipi ve farklı frekanslarda deneyler yukarıda anlatılan şekilde tekrarlanmıştır. Ayrıca, benzer deneyler üç defa yapılarak deney sonuçlarının tekrarlanabilirliği teyit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda kararlı halde her bir deneysel çalışma için;

- Test kanalına uygulanan ısıtıcı gücünün ölçülmesi,
- Test kanalındaki akışkan hacimsel debisinin, debimetre aracılığıyla ölçülmesi,
- Test kanalının giriş ve çıkış kısımlarına yerleştirilen ısı çiftler aracılığıyla akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçülmesi,
- Test kanalına yerleştirilmiş ısı çiftler aracılığıyla ortalama yüzey sıcaklığının ölçülmesi,
- Yalıtım üzerine yerleştirilmiş ısı çiftler aracılığıyla iletimle kaybolan ısı transferi oranının belirlenmesi için sıcaklıkların ölçülmesi,
- Deney düzeneğinin bulunduğu ortamın sıcaklığının ölçülmesi,
- Manyetik alan büyüklüğünün Gaussmetre ile tespiti,
- Uygulanan alternatif manyetik alan dalga tipi ve frekansının belirlenmesi,
- Test kısmının giriş ve çıkış kısmındaki basınç değerlerinin basınç transmitterleriyle ölçülmesi,

aşamaları tekrarlanmış ve gerekli hesaplamalar Bölüm 3.1.6'da anlatıldığı gibi yapılarak kanal içerisindeki taşınımınla gerçekleşen ısı transferi miktarları ve basınç düşümü değerleri elde edilmiştir.

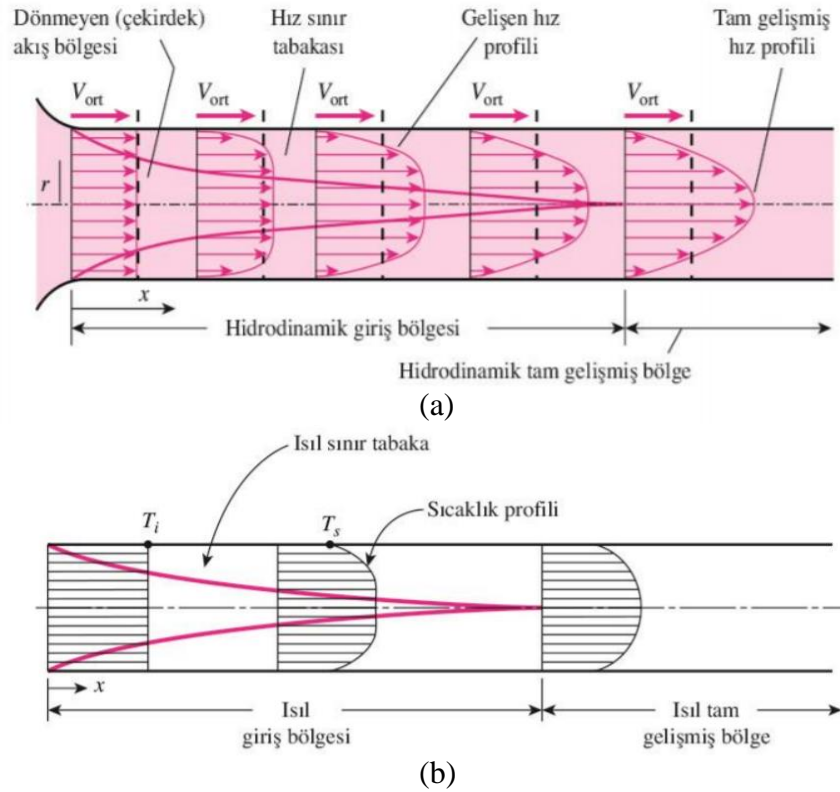
3.6. DENEYSEL SONUÇLARIN HESAPLANMASI

Kanal içi akış, ısı transferi alanında en sık karşılaşılan uygulamalardan biridir. Taşınımınla ısı transferi, sıvı veya gaz fazındaki akışkanların rastgele hareket eden moleküllerinin birbirlerine enerji aktarması sonucunda topyekûn hareketiyle oluşmaktadır. Taşınımınla ısı transferi araç, konut ısıtma soğutma sistemlerinde, ısı değiştiricilerde, elektronik soğutmada, araç radyatörlerinde, güç santrallerinde, jet çarpma soğutma gibi pek çok alanda görülmektedir. Endüstriyel uygulamalarda ısı transferi hızında elde edilecek artış, işlem sürecinde azalma, ekipman ömründe uzama ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Kanal içinde üniform bir hız ile hareket halinde olan akışkanın, kanal yüzeyi ile etkileşimi sonucunda kaymama şartı gereği hızı sıfırdır. Aynı zamanda yüzeydeki hareketsiz akışkan partikülleri, sürtünme gereği hemen yanındaki akışkan parçacıklarının da hızının yavaşlamasına neden olur. Kütleli debi kanal kesiti

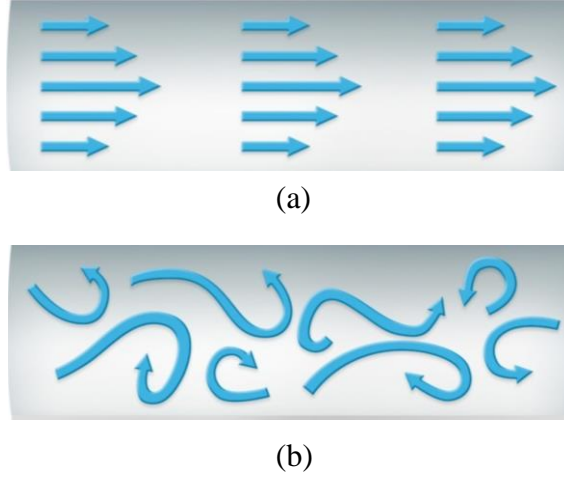
boyunca aynı kalması gerektiğinden, yüzeydeki düşük hızı telafi edebilmek amacıyla kanalın orta kısmında akışkanın hızı daha yüksektir. Bunun sonucunda Şekil 3.39a'da detaylı görülebileceği üzere hız sınır tabakası kanal boyunca genişir ve hız sınır tabakasının kalınlığı, sınır tabaka kanal merkezine ulaşıncaya kadar akış yönünde artar. Kanal girişinden hız sınır tabakasının kanal merkezinde birleştiği noktaya kadarki kısım hidrodinamik giriş bölgesi olarak adlandırılırken, bu kısmın uzunluğu ise hidrodinamik giriş uzunluğu olarak tanımlanmaktadır [77].

Üniform bir sıcaklıkla kanala giren akışkan ile kanalın yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı taşınımı tetiklemektedir ve ısı sınır tabakanın oluşumuna sebep olmaktadır. Şekil 3.39b'de görülebileceği üzere ısı sınır tabakanın kalınlığı akış ilerledikçe artacak ve kanal merkezinde birleşerek tüm kanalı kaplayacaktır. Kanal girişinden ısı sınır tabakanın kanal merkezinde birleştiği noktaya kadarki kısım ısı giriş bölgesi olarak ifade edilirken, bu bölgenin uzunluğu ise ısı giriş uzunluğu olarak adlandırılmaktadır [77].



Şekil 3.39. Dairesel kesitli bir kanalda a) hız (hidrodinamik) ve b) ısı sınır tabakanın gelişimi [77].

Laminer akış şartında akış oldukça düzenlidir (Şekil 3.40a). Yüzey normalindeki v (m/s) hızının y eksenini boyunca değişimi neredeyse sıfırdır. Tam aksine, türbülanslı akış ise akışın üç boyutlu olarak çalkalandığı bir akış rejimidir (Şekil 3.40b). Bu akış rejiminde meydana gelen dalgalanmalar, momentum ve enerji transferlerini artırarak taşınım ile ısı geçişi ve yüzey sürtünmelerinin artmasına sebep olur. Söz konusu bu akış rejimlerinin belirlenmesinde Reynolds (Re) boyutsuz sayısından faydalanılmaktadır.



Şekil 3.40. a) Laminer ve b) türbülanslı akış görseli.

İç akış laminer rejimi için Re sayısı:

$$Re \leq 2300 \quad (3.1)$$

türbülanslı akış rejimi için ise:

$$Re \geq 4000 \quad (3.2)$$

olarak ifade edilmektedir [77].

Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi katsayısı ve Nu değerleri nanoakışkanların ısı performansını belirlemek için en önemli verilerdir. Kararlı hale ulaşılmasının ardından deneyler esnasında saniyede 10 kayıttan oluşan, toplam 60 saniyelik sıcaklık verisi kaydedilmiştir. Her bir sıcaklık değeri, bu 600 verinin ortalaması bulunarak değerlendirilmiş olup Eş. (3.3)'deki denklem aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{t=0}^n T_{i,t}}{n} \quad (3.3)$$

Ölçülen kanal dış yüzey sıcaklıkları ölçümü sonrası Eş. (3.4) aracılığıyla kanal iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır [77].

$$T_{iç,kanal} = T_{dış,kanal} - \frac{q'' \cdot r_{dış,kanal}}{k} \cdot \left[\ln(r_{dış,kanal}) - \ln(r_{iç,kanal}) \right] \quad (3.4)$$

Veri kaydının ortalaması kullanılarak Eş. (3.5) ile akışkan giriş sıcaklığı bulunmaktadır. Akışkan çıkış sıcaklığı ortalaması, Eş. (3.6) ile çıkışa yerleştirilen üç ısı çiftin ortalama değerlerinin üçe bölünmesiyle elde edilirken, Eş. (3.7) ile akışkanın yığın sıcaklığı elde edilmektedir. Yüzeğe yerleştirilmiş beş ısı çiftin ortalama değerleri Eş. (3.3) ile bulunduktan sonra Eş. (3.4) aracılığıyla iç cidar sıcaklığı hesaplanmaktadır. Ardından bulunun iç cidar sıcaklıkları kullanılarak Eş. (3.8) ile ortalama yüzey sıcaklığına ulaşılmaktadır.

$$\bar{T}_{giriş,ort} = \bar{T}_{giriş1} \quad (3.5)$$

$$\bar{T}_{çıkış,ort} = \frac{\bar{T}_{çıkış1} + \bar{T}_{çıkış2} + \bar{T}_{çıkış3}}{3} \quad (3.6)$$

$$\bar{T}_{yığın} = \frac{\bar{T}_{giriş,ort} + \bar{T}_{çıkış,ort}}{2} = \frac{\bar{T}_{giriş1} + \frac{\bar{T}_{çıkış1} + \bar{T}_{çıkış2} + \bar{T}_{çıkış3}}{3}}{2} \quad (3.7)$$

$$\bar{T}_{kanal,ort} = \frac{\bar{T}_{kanal1} + \bar{T}_{kanal2} + \bar{T}_{kanal3} + \bar{T}_{kanal4} + \bar{T}_{kanal5}}{5} \quad (3.8)$$

$T_{giriş1}$ test kısmına giren akışkan sıcaklığını; $T_{çıkış1}$, $T_{çıkış2}$, $T_{çıkış3}$ üç ısı çift tarafından ölçülen çıkan akışkan sıcaklıklarını; T_{kanal1} , T_{kanal2} , T_{kanal3} , T_{kanal4} , T_{kanal5} beş ısı çift tarafından ölçülen değerler kullanılarak Eş. (3.4) ile hesaplanan test kısmı iç cidar sıcaklıklarını temsil etmektedir. $T_{yığın}$ test kısmına giren ve test kısmından çıkan

akışkanın ortalama yığın sıcaklığını, $T_{kanal,ort}$ ortalama yüzey sıcaklığını göstermektedir. Çizelge 3.1’de paylaşılan saf su, nanoakışkan ve hibrit nanoakışkan termofiziksel özellik değerleri eşitliklerde kullanılmıştır. Taşınım ile ısı transferi katsayısı (h) Eş. (3.9) ile ve ortalama Nu değeri Eş. (3.10) ile hesaplanmıştır;

$$h = \frac{q''}{\left(\bar{T}_{kanal} - \bar{T}_{yığın}\right)_{ort}} \quad (3.9)$$

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (3.10)$$

Eş. (3.9)-(3.10)’da h (W/m².K) taşınım ile ısı transferi katsayısını, D (m) dairesel kesitli kanalın çapı, k (W/.K) ısı iletim katsayısını, q'' (W/ m²) ısı akısını temsil 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 [78]:

$$Nu = 1,953 \cdot \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right)^{1/3} ; \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right) \geq 33,3 \quad (3.11)$$

Gnielinski Korelasyonu [79]:

$$Nu = \left[4,354^3 + 0,6^3 + \left(1,953^3 \sqrt{Re \cdot Pr \cdot D / L} - 0,6 \right)^3 + \left(0,924^3 \sqrt{Pr} \sqrt{Re \cdot D / L} \right)^3 \right]^{1/3} \quad (3.12)$$

Churchill-Ozoe Korelasyonu [80]:

$$Nu = 4,364 \left[1 + \left(\frac{\pi Re Pr}{4 L/D} / 29,6 \right)^2 \right]^{1/6} \times \left[1 + \frac{\left(\frac{\pi Re Pr}{4 L/D} / 19,04 \right)^{3/2}}{\left[1 + (Pr/0,0207)^{2/3} \right]^{1/2} \left[1 + \left(\frac{\pi Re Pr}{4 L/D} / 29,6 \right)^2 \right]^{1/3}} \right]^{1/3} \quad (3.13)$$

Sieder-Tate Korelasyonu [81]:

$$Nu = 1,86 Re^{1/3} Pr^{1/3} \left(\frac{D}{L} \right)^{1/3} \quad (3.14)$$

eşitlikleri ile verilmektedir.

Lt/dk cinsinden ölçülen hacimsel debi \dot{V} kullanılarak Eş. (3.15) ile akışkanın ortalama hızı V (m/s) bulunmuştur. Daha sonra ortalama hız ve akışkanın yoğunluk ve dinamik viskozitesi aracılığıyla da Eş. (3.16) sayesinde akışın Re değeri elde edilmiştir.

$$V = \frac{\dot{V} \cdot \pi D^2}{240000} \quad (3.15)$$

Re ve Pr sayıları sırayla Eş. (3.16) ve Eş. (3.17)'deki gibi hesaplanmıştır [82]:

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.16)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (3.17)$$

Burada ρ (kg/m³) yoğunluğu, V (m/s) ortalama hızı, μ (kg/m·s) dinamik viskoziteyi, C_p (kJ/kg·K) ise özgül ısıyı ifade etmektedir.

Test kısmının giriş ve çıkışına yerleştirilen basınç transmitterlerinin ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak basınç düşümü değerleri belirlenmiştir. Basınç düşümü değerleri aracılığıyla da Darcy-Weisbach denkleminde ortalama Darcy sürtünme faktörü (f), Eş. (3.18)'de verildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$f = \frac{P_{giriş} - P_{çıkış}}{\left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{\rho V^2}{2}\right)} \quad (3.18)$$

Burada, $P_{giriş}$ (Pa) ve $P_{çıkış}$ (Pa) test kısmına giriş ve çıkış basınçlarını, L (m) test kısmının uzunluğunu, V (m/s) ortalama akışkan hızını temsil etmektedir.

Dairesel kesitli kanal içerisindeki laminer akış şartlarında ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri Hagen–Poiseuille [82] denklemi ile Eş. (3.19)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.19)$$

Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK), ısı transferini artıran uygulamalarda ısı transferi artışının ek pompa gücüne oranını belirlemek için yapılan bir değerlendirme katsayısıdır. Yüksek PDK sayısı basınç düşümü artışına göre çok daha fazla ısı transferi performansı artışı anlamına gelirken, düşük PDK sayısı ise ısı transferi performansı artışının basınç düşümü artışından daha düşük kaldığını göstermektedir. Aynı zamanda PDK sayısı, sistemde kullanılan nanoakışkanın verimliliğini de belirlemekte kullanılabilir [45].

$$PDK = \frac{\left(\frac{Nu_{na}}{Nu_{ba}}\right)}{\left(\frac{f_{na}}{f_{ba}}\right)^{1/3}} \quad (3.20)$$

3.7. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Belirsizlik analizi verilen sonuçların doğruluk sınırlarını belirlemekte son derece önem taşımaktadır. Deneysel sistemde kullanılan ölçüm cihazlarının standart sapmaları göz önünde bulundurularak belirsizlikler, aşağıdaki eşitlikler aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$X_m = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (3.21)$$

$$S^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_m^2) \quad (3.22)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (3.23)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (3.24)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot S_i^2} \quad (3.25)$$

Eşitliklerdeki X_m gözlemlerin aritmetik ortalamasını, X_i yapılan gözlemleri, N gözlem sayısını, a hassasiyeti, S standart sapmayı, S^2 varyansı, U belirsizliği temsil etmektedir [83]. Deneysel parametreler için belirsizlikler Çizelge 3.2’de verilmiş olup deneylerde kullanılan cihazlar için elde edilen belirsizlik analiz sonuçları istatistiki metotla hesaplanmış olup detaylı olarak Ek Açıklamalar B’de sunulmuştur. Re değeri, ortalama Nu değeri ve ortalama Darcy sürtünme faktörü için belirsizlikler sırasıyla maksimum %1,2, %6,56 ve %1,11 olarak elde edilmiştir. Maksimum hata oranı ise %6,67 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.2. Ölçüm cihazlarının belirsizlikleri.

Cihaz	Ölçüm Parametresi	Belirsizlik
Ordal T Tip Isıl çift	Yığın Sıcaklık	%2,20
	Duvar Sıcaklığı	%3,36
GT-MD-B08	Debimetre	%1,00
Gentek GNT 604	Debimetre Göstergesi	%0,20
Isı Kablosu 50 W/m	Isıtıcı Gücü	%1,00
Alternatif Manyetik Alan Üreteci	Manyetik Alan Büyüklüğü	%1,70
Gentek PT124B-210	Basınç farkı	%0,50

BÖLÜM 4

SAYISAL YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde, dairesel kesitli bir kanal içerisinde akan %2,0 Fe₃O₄/su, %2,0 Cu/su nanoakışkanlarının ve farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonlardaki (%1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu, %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu) Fe₃O₄-Cu/su hibrit nanoakışkanlarının manyetik alan olmayan durumda ve $B=0,3$ T büyüklüğünde sabit manyetik alan etkisi altındaki ısıl performansları ve akış karakteristikleri laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizler çift faz modeli ile gerçekleştirilmiştir.

4.1. MANYETOHİDRODİNAMİK AKIŞ

ManyetoHidroDinamik (MHD), elektriksel iletkenliği bulunan akışkanların manyetik alan etkisi altında davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. Plazma, sıvı metal, eriyik tuz, manyetik akışkanlar bu tür akışkanlara örnek gösterilebilir. MHD bilim dalının temelleri, ilk olarak 19. Yüzyılda Thames nehrinde suyun hareketiyle dünyanın manyetik alanından indüklenmesi sonucu voltaj farkını ölçmeye çalışan Michael Faraday ve ardından 1918 yılında iki plaka arasında manyetik alan etkisi altında akışı inceleyen Julius Hartmann [10] ile atılmış olup sonrasında 1970 yılında Nobel ödülü kazanan Hannes Alfvén [84] tarafından katkı sağlanmıştır. 1960 sonrasında yoğun bir şekilde araştırılmaya başlanılan bu konu sıvı metal ya da sıvı tuzların ısıtma, pompalama ve karıştırma uygulamalarında başarıyla kullanılmaya başlandı. Hareketli parça olmadan ve akışkana temas etmeden bu uygulamaların gerçekleştirilebilmesi bu başarıda kilit anahtar olmuştur.

Hareket halindeki elektriksel iletkenliğe sahip akışkan, manyetik alan içinde ilerledikçe akım indüklenmektedir. Manyetik alan içinde indüklenen partiküller elektriksel alan oluştururlar ve bu durumda nanopartikül üstünde manyetik alan kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvvet, Lorentz kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Çift

fazdan oluşan akışkan üstüne etkiyen Lorentz kuvveti ile akışkanın davranışı değişmektedir ve yoğun bir şekilde araştırılan konuların başındadır.

Manyetik indüksiyon hesaplaması Maxwell denklemleri ve Ohm yasasından yararlanılarak türetilmektedir. Elektrik akımının elektriksel iletken malzeme içinde gerçekleşmesi ve sonucunda manyetik alanın oluşturulması birbirini etkileyen iki temel etkidir. Bunun sonucunda oluşan Lorentz kuvveti, kendisini meydana getiren mekanizmalara tepki olarak oluşmaktadır.

Elektromanyetik alan, Maxwell denklemlerinde detaylı olarak açıklanmıştır [85].

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4.1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (4.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = q \quad (4.3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (4.4)$$

Burada \vec{B} (T) ve \vec{E} (V/m), sırasıyla manyetik ve elektrik alanı; \vec{H} ve \vec{D} ise sırasıyla manyetik ve elektriksel alanları için indüksiyon alanlarını temsil etmektedir. q (C/m^3) elektrik yükü yoğunluğunu, \vec{j} (A/m^2) de elektrik akım yoğunluğu vektörünü ifade etmektedir. \vec{H} ve \vec{D} indüksiyon alanları aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir.

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} \quad (4.5)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (4.6)$$

μ (H/m) manyetik geçirgenliği, ε (F/m) ise elektriksel geçirgenliği göstermektedir. Akış alanının ve elektromanyetik alanının birbiriyle etkileşimi çalışılırken, indüksiyona bağlı \vec{j} (A/m²) akım yoğunluğu kritik öneme sahiptir. Akım yoğunluğunu değerlendirirken iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri elektrik potansiyel denklemi iken, diğeri bu projede de uygulanmakta olan manyetik indüksiyon denklemidir.

Manyetik indüksiyon formülü Ohm yasası ile Maxwell denkleminde türetilmektedir. Bu türetilen denklem sayesinde manyetik alan ile akış alanı arasındaki etkileşim hesaplanabilmektedir [85].

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (4.7)$$

σ (S/m) ortamın elektriksel iletkenliğini temsil etmektedir. Akım yoğunluğunu tanımlayan Ohm yasası, manyetik alan \vec{B} (T) içindeki akışkan hız vektörü \vec{U} (m/s) için aşağıdaki formu almaktadır.

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{U} \times \vec{B}) \quad (4.8)$$

Ohm yasası ve Maxwell denkleminde türetilen indüksiyon denklemi aşağıdaki şekilde türetilmektedir.

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \nabla) \vec{B} = \frac{1}{\mu \sigma} \nabla^2 \vec{B} + (\vec{B} \cdot \nabla) \vec{U} \quad (4.9)$$

Manyetik alan \vec{B} (T) çözülerek Ampere bağıntısı aracılığıyla akım yoğunluğu \vec{j} (A/m²) hesaplanmaktadır.

$$\vec{j} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{B} \quad (4.10)$$

Toplam manyetik alan \vec{B} , dışardan uygulanan alan \vec{B}_0 ve indüklenen alan \vec{b} 'den oluşmaktadır.

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{b} \quad (4.11)$$

Maxwell denkleminde dışardan uygulanan alan \vec{B}_0 aşağıdaki denklemi sağlamaktadır.

$$\nabla^2 \vec{B}_0 - \mu\sigma' \frac{\partial \vec{B}_0}{\partial t} = 0 \quad (4.12)$$

σ' (S/m) elektriksel iletkenliği temsil etmektedir.

Manyetik alanın sinüzoidal formu aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilmektedir [85].

$$B_0 = \vec{B}_0 + A_0 \cos(2\pi \cdot f \cdot t - K \bullet R + \phi) \quad (4.13)$$

$$K = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{\cos \alpha} i + \frac{1}{\cos \beta} j + \frac{1}{\cos \gamma} k \right) \quad (4.14)$$

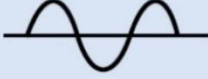
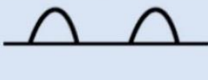



\vec{B}_0 ortalama vektörü, A_0 büyüklük vektörüdür. K yayılım vektörü olup $\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$ sırasıyla x , y , z koordinatındaki kosinüslerdir. R herhangi bir noktanın pozisyon vektörü olup f , λ , ϕ de sırasıyla frekans (Hz), dalga boyu (m), faz kaymasını ($^\circ$) temsil etmektedir. Hareket etmeyen (statik) manyetik alan için yayılım vektörü K sıfırdır.

Manyetik alanın kare formu ise aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir. Yayılım vektörünün tanımı sinüzoidal form ile aynıdır [85].

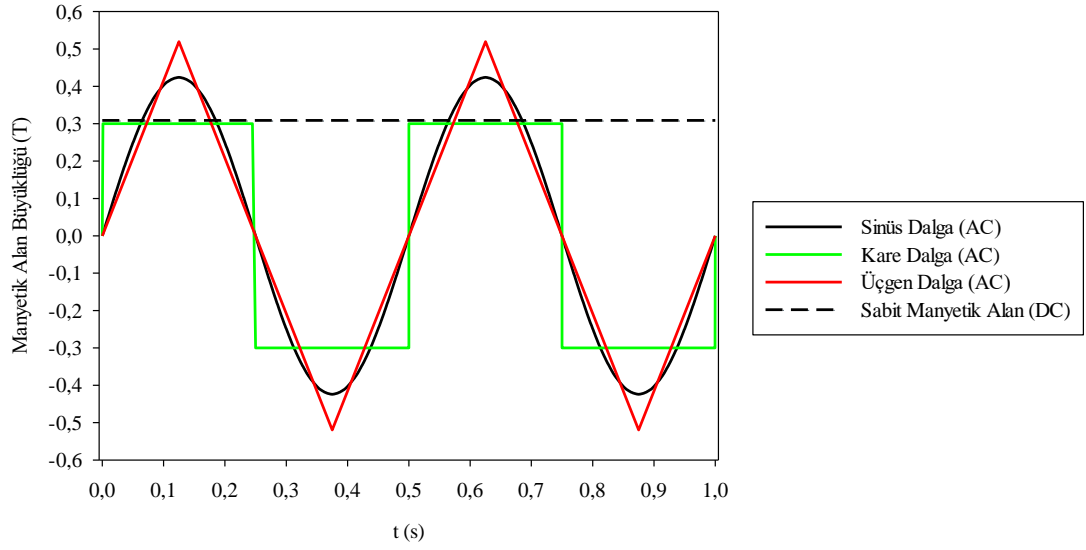
$$B_0 = \vec{B}_0 + A_0 \frac{\cos(2\pi \cdot f \cdot t - K \bullet R + \phi)}{|\cos(2\pi \cdot f \cdot t - K \bullet R + \phi)|} \quad (4.15)$$

Analog elektronikte kullanılan dalga tipleri Şekil 4.1’de görülebilmektedir [86]. Bu sinyaller arasından sinüs dalga saf olarak ortaya çıkarken, diğer sinyal tipleri çeşitli frekans ve büyüklükteki sinüs dalgalarının birleştirilmesiyle oluşmaktadır ve bu durum da harmoniklere yol açmaktadır.

Dalgaların oluşturduğu maksimum büyüklüklerin etkisi ortalama olarak RMS cinsinden hesaplanmaktadır. Şekil 4.2’de de görülebileceği gibi aynı ortalama büyüklük için üçgen dalganın maksimum büyüklüğü, sinüs dalgadan daha fazlayken; kare dalganın ortalama ve maksimum büyüklüğü aynıdır. Deneylerde ortalama $B=0,3$ T büyüklüğündeki sabit ve alternatif manyetik alan akışa dik yönde uygulanmıştır. Alternatif manyetik alan uygulanmasında çift yönlü sinüs, üçgen ve kare dalga tipleri kullanılmıştır. Dalgalar genellikle sinyal işleme ve elektrik iletiminde kullanılsa da alternatif manyetik alanın üzerindeki etkisi bilinmemektedir. Gerçekleştirilen çalışma ile bu etkinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

	Dalga Formu	RMS Değeri	Ortalama Değeri	Dalga Form Faktörü	V _{tepe} / RMS
Sinüsoidal Dalga		$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$	$\frac{2}{\pi} = 0,637$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$	$\sqrt{2} = 1,414$
Yarım Doğrultulmuş Dalga		$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{1}{\pi} = 0,318$	$\frac{\pi}{2} = 1,571$	2
Tam Doğrultulmuş Dalga		$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$	$\frac{2}{\pi} = 0,637$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$	$\sqrt{2} = 1,414$
Üçgen Dalga		$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$	$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$	$\sqrt{3} = 1,732$
Kare Dalga		1	1	1	1

Şekil 4.1. Dalga tipleri ve özellikleri [86].



Şekil 4.2. Bu çalışmada kullanılan alternatif manyetik alan dalgalarının büyüklüklerinin zamanla değişimi.

4.2. KORUNUM DENKLEMLERİ

Manyetik alan etkisi sonucunda akışta ve ısı transferinde değişiklikler meydana gelmektedir. MHD akışını tanımlayan denklemler Navier-Stokes denklemleri ile Maxwell denklemlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Sıkıştırılamaz akışlar için süreklilik denklemi aşağıda verilmiştir [85].

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (4.16)$$

Momentum denklemi manyeto-taşıyım altında aşağıdaki denkleme dönüştürülmektedir.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\Delta p + \eta \nabla^2 \vec{V} + \nabla \bar{\tau} - S_p + \alpha \rho g (T - T_0) k + (\vec{M} \cdot \nabla) \vec{B} \quad (4.17)$$

Enerji denklemi ise manyetik alan altında Eş. (4.18)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = k \nabla^2 T + \eta \phi - \mu_0 T \frac{\partial \bar{M}}{\partial T} \left((\bar{V} \cdot \nabla) \bar{H} \right) \quad (4.18)$$

Burada, \bar{v} (m/s) akış hızını, p (Pa) statik basıncı, $\bar{\tau}$ (Pa) stres tensörünü, S_p akışkan ile nanopartikül arasındaki momentum transferini temsil eden kaynak terimini, T (°C) akışkan sıcaklığını, t (s) zamanı, η (m²/s) viskoziteyi, ϕ (kg/m²/s²) viskoz yayılımı temsil etmektedir. Çift faz için S_p kaynak terimi, akışkanın kontrol hacminden geçerken nanopartiküllerin momentum değişiminin hesaplanmasıyla elde edilebilir [75,87–89].

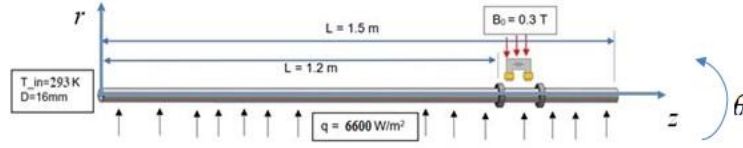
$$S_p = \sum F \cdot m_p \cdot \Delta t \quad (4.19)$$

Burada, F (N) nanoparçacığa etki eden toplam kuvveti, m_p (kg) nanoparçacığın kütleini temsil etmektedir. Toplam kuvvet F ise sürüklenme, yerçekimi, Brownian, termoforez, Saffman kaldırma kuvvetleri ile basınç gradyanı, sanal kütle kuvvetlerinden oluşmaktadır.

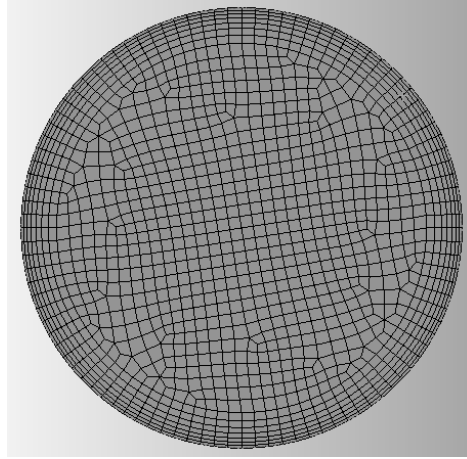
4.3. SAYISAL HESAPLAMA

Sayısal analizler, tek nanopartiküllü ve hibrit nanoakışkanların ısı ve akış karakteristiklerinin manyetik alan olmayan ve sabit manyetik alan uygulanan durumlar altında ANSYS Fluent 19.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım korunum denklemlerini sınır koşulları boyunca çözmek suretiyle sayısal hesaplamaları gerçekleştirmek için sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Çalışma kapsamında kütle, momentum ve enerji denklemlerindeki taşınım terimleri ikinci dereceden upwind şeması kullanılarak ayrıklaştırılmıştır. Basıncın ayrıklaştırılmasında standart şema, basınç-hız bağlantısı için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Denklemlerin ayrıklaştırılmasında Hücre Merkezli En Küçük Kareler metodu uygulanmıştır. Yakınsama için denklem çözümlerinde elde edilen kalıntıların 10⁻⁶'ya erişene kadar yinelemelere devam etmesi sağlanmıştır.

Hesaplama hacmi olarak akışkanın aktığı kanal içi hacim Şekil 4.3'te görüldüğü haliyle ele alınmıştır. 1,6 cm çapında ve 1,5 m uzunluğunda silindirik hacim oluşturularak çözümağı bu akış hacmi üstünde oluşturulmuştur. Altı yüzeyle hücrelerin kullanıldığı örnek çözümağı, Şekil 4.4'te görülebilmektedir. Doğru sonuçlara ulaşabilmek amacıyla, viskoz tabakada taşınım ile ısı transferinin ve akışın daha iyi çözülebilmesi için duvara yakınlık arttıkça çözümağı yoğunluğunun artması sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Problemin çözüm alanının görünümü.



Şekil 4.4. Sayısal analizlerde kullanılan örnek bir hücre dağılımı.

Korunum denklemlerinin çözülebilmesi için uygun başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için deneysel çalışmalarda kullanılan koşullar altında sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Akışkan giriş hızının üniform olduğu kabulü yapılarak, Mixture çift faz modelinde nanoparçacığın çapı, deneylerde kullanılan nanoakışkanlardaki nanopartiküllerin ortalama çapı dikkate alınarak 20 nm olarak girilmiştir. Akışkan giriş sıcaklığı ise üniform 293 K olarak alınmıştır. Cidar sınır şartlarında ise, cidarda kaymama şartı kabulü yapılmıştır ve kanal cidarının sıcaklığı ile akışkanın cidardaki sıcaklığı eşit varsayılmıştır. Kanal cidarından akışkana olan ısı akısı değeri, deney düzeneğindeki gibi 6,6 kW/m² olarak alınmıştır. Çıkış sınır şartı olarak etkin çıkış basıncın sıfır olduğu kabulü yapılmıştır.

Giriş sınır şartları:

$$T(r, \theta, 0) = T_{in}$$

$$V(r, \theta, 0) = V_{in}$$

$$D_{np} \cong 20 \text{ nm}$$

$$\phi_{np} = 0,005 - 0,02$$

Cıdar sınır şartları:

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

$$\dot{q}_0''(R, \theta, z) = sbt$$

Çıkış sınır şartları:

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

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

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

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

Sayısal analizlerde aşağıdaki kabuller uygulanmıştır:

- Akışın kararlı rejim şartları için çözümler gerçekleştirilmiştir.
- Akışkan termofiziksel özellikleri sıcaklıktan bağımsız sabit olarak alınmıştır.
- Akış, laminer ve sıkıştırılmaz olarak ele alınmıştır.
- Akışkan giriş hızı ve sıcaklığı üniformdur.
- Akış ve ısı transferi üç boyutlu ve sürekli kabul edilmiştir.
- Çift faz Mixture modellemesinde nanoparçacık çapı sabit varsayılmıştır.
- Kaldırma kuvveti, viskoz yayılım ve ısı ışınımı ihmal edilmiştir.

Analizlerde nanoakışkanların akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesi için Mixture çift faz yaklaşımı kullanılmıştır. Mixture çift faz metodunda, iki ayrı fazın

hacimsel konsantrasyonları ölçüsünde karışımın termofiziksel özellikleri bulunmaktadır. Bu amaçla, tek faz denklemleriyle bulunan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri ve baz akışkanın termofiziksel özellikleri kullanılarak ikinci fazda kullanılacak değerler hesaplanmaktadır [90].

$$\rho_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k \rho_k \quad (4.20)$$

$$(\rho C_p)_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k (\rho C_p)_k \quad (4.21)$$

$$k_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k k_k \quad (4.22)$$

$$\mu_{hna} = \sum_{k=1}^n \varphi_k \mu_k \quad (4.23)$$

Eş. (4.20) – Eş. (4.23) denklemlerinde görüldüğü gibi baz akışkan ve nanopartikül fazlarının termofiziksel özellikleri hacimsel ortalama yöntemi kullanılarak hacimsel nanopartikül konsantrasyonları oranında karışımın termofiziksel özellikleri olarak hesaplanmaktadır.

Sayısal analizlerde akış alanına MHD uygulanabilmesi için Lorentz kuvvetleri ve Joule ısıtma denklemleri çözdürülerek Eş. (4.1)-Eş. (4.15) manyetik indüksiyon metodu kullanılmıştır. Bunun için, çözüm alanının 1.2 m ile 1.3 m arasındaki kısmı, farklı bir hacim olarak tanımlanarak uygulanacak manyetik alanın gerçek koşullardaki gibi sadece bu kısıtlı hacme etki etmesi sağlanmıştır. Bu kısıtlı hacme etki edecek ortalama sabit manyetik alan büyüklüğü DC şeklinde hesaplanmakta olup akışa dik yönde $B=0,3$ T değerinde uygulanmıştır.

Manyetik indüksiyon hesaplaması Maxwell denklemi ve Ohm yasasından yararlanılarak türetilmektedir. Elektrik akımının elektriksel iletken malzeme içinde

gerçekleşmesi ve sonucunda manyetik alanın oluşturulması birbirini etkileyen iki temel etkidir. Bunun sonucunda oluşan Lorentz kuvveti, kendisini oluşturan mekanizmalara tepki olarak oluşmaktadır.

Sayısal analizler sonucunda kanal giriş ve çıkış kesitlerindeki kütleli ortalama sıcaklık değerleri Eş. (4.24) ile elde edilmiştir. Bunun yanında, alan ortalama kanal yüzey sıcaklığı değerleri ise Eş. (4.25) aracılığıyla hesaplanmıştır. Eş. (4.26) ile alan ortalama giriş basıncı bulunmuştur. Hesaplanan bu değerler kullanılarak Eş. (3.18)-(3.19) ile boyutsuz ortalama Nu sayısı ve Eş. (3.27) ile ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri elde edilmiştir.

$$\bar{T}_{yığın} = \frac{\int_{giriş} T(r, \theta) \cdot \rho u(r, \theta) dA}{\int_{giriş} \rho u(r, \theta) dA} + \frac{\int_{çıkış} T(r, \theta) \cdot \rho u(r, \theta) dA}{\int_{çıkış} \rho u(r, \theta) dA} \quad (4.24)$$

$$\bar{T}_{kanal,ort} = \frac{\int_{kanal} T(r, \theta) dA}{\int_{kanal} dA} \quad (4.25)$$

$$P_{giriş} = \frac{\int_{giriş} P(r, \theta) dA}{\int_{giriş} dA} \quad (4.26)$$

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. DENEYSEL BULGULAR

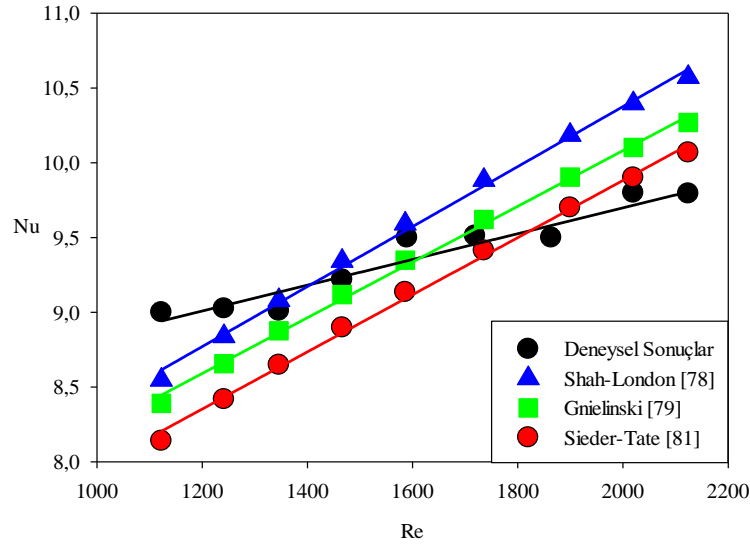
Bu bölüm kapsamında, deneysel çalışmalarda ele alınan dairesel kesitli bir kanal içerisinde akan %2,0 Fe₃O₄/su, %2,0 Cu/su nanoakışkanlarının ve farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonlardaki (% 1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu, % 1,0 Fe₃O₄-% 1,0 Cu, %0,5 Fe₃O₄-% 1,5 Cu) Fe₃O₄-Cu/su hibrit nanoakışkanlarının sabit (DC) ve alternatif manyetik alan (AC) etkisi altındaki ısı performansları ve akış karakteristikleri laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) incelenmiştir. Dairesel kesitli kanallarda hibrit nanoakışkan kullanımının, sabit ve alternatif manyetik alan uygulamasının ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Deneylerde sabit (DC) ve alternatif (AC) manyetik alan büyüklüğü $B=0,3$ T değerinde uygulanmıştır. Alternatif manyetik alan (AC) çeşitli frekanslarda ($f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz) ve çeşitli dalga tiplerinde (sinüs, kare ve üçgen) tatbik edilmiştir. Bu bölüm kapsamında deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca, ortalama Nu değerinin nanoakışkan tipi, nanopartikül hacimsel oranı, dalga frekansı ve dalga tipine göre değişimi ampirik bağıntılar ile ifade edilmiştir.

5.1.1 Deney Sonuçlarının Doğrulaması

Deney düzeneğinin kurulumu tamamlandıktan sonra sistemin doğru bir şekilde çalıştığının kontrolü yapılmıştır. Deney düzeneğinde doğrulama çalışmaları için ön deneyler yapılmış olup elde edilen sonuçların literatür ile uyum sağlanması hedeflenmiştir.

Doğrulama çalışmaları için öncelikle çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan durum için laminer akış şartlarındaki deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneylerden

elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak ortalama Nu değerleri farklı Re değerleri için elde edilmiştir. Çalışma akışkanı saf su kullanılarak elde edilen deneysel sonuçları literatür ile karşılaştırılarak doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Şekil 5.1’de laminer akış şartları için ($1000 \leq Re \leq 2300$) ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi görülmektedir. Şekilden açık bir biçimde görülebileceği gibi elde edilen sonuçların Gnielinski [79] tarafından önerilen korelasyonla $\pm\%7,66$ hata oranı içinde kalarak söz konusu korelasyon ile uyum içinde olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, deneysel sonuçların Shah-London korelasyonuna [78] göre ise hata oranının $\pm\%7,31$, Sieder-Tate korelasyonuna [81] göre ise $\pm\%10,99$ aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçların ışığında, gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçlarının literatürde sıklıkla kullanılan korelasyonlar ile oldukça uyumlu olduğu açık ve net olarak saptanmıştır. Bu durum deney sisteminin yeterli doğrulukta ve hassasiyette çalıştığının çok açık bir göstergesidir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması.

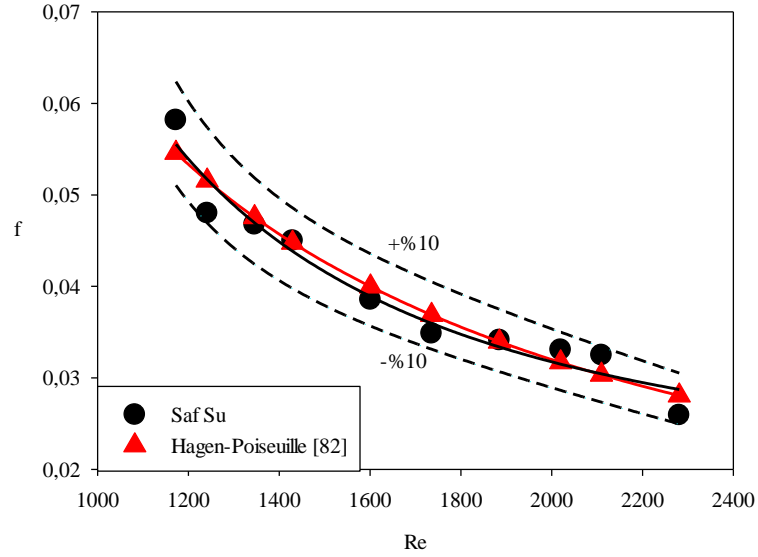
Deneysel sonuçların literatürde bulunan korelasyonlar ile doğrulanmasının ardından sonuçların güvenilirlik testleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile Gnielinski [79] tarafından laminer akış şartları için önerilen korelasyonun istatistiksel karşılaştırılması amacıyla %95 güven düzeyinde bağımsız iki örnek T-testi MiniTab 17 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen T-testi sonucunda deneysel bulgular ile Gnielinski [79] korelasyonu

arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (P-değeri>0,05) (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. İki örnek T-testi.

	N	Mean	StDev	SE Mean
Nu_deney	9	9,279	0,264	0,088
Gnielinski	9	9,228	0,556	0,19
Difference = μ (Nu_deney) - μ (Gnielinski)				
Estimate for difference: 0,051				
95% CI for difference: (-0,383; 0,486)				
T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,25 P-Value = 0,807 DF = 16				

Şekil 5.2’de ise çalışma akışkanı saf su kullanılarak elde edilen ortalama Darcy sürtünme faktörünün, literatürde yaygın olarak kullanılan Hagen–Poiseuille [82] korelasyonu ile karşılaştırılması görülebilmektedir. Elde edilen sonuçların korelasyon ile \pm %10 hata oranı içinde kalarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Deneyel ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçlarının literatürle karşılaştırılması.

5.1.2. Isı Taşımına Ait Deneysel Sonuçlar

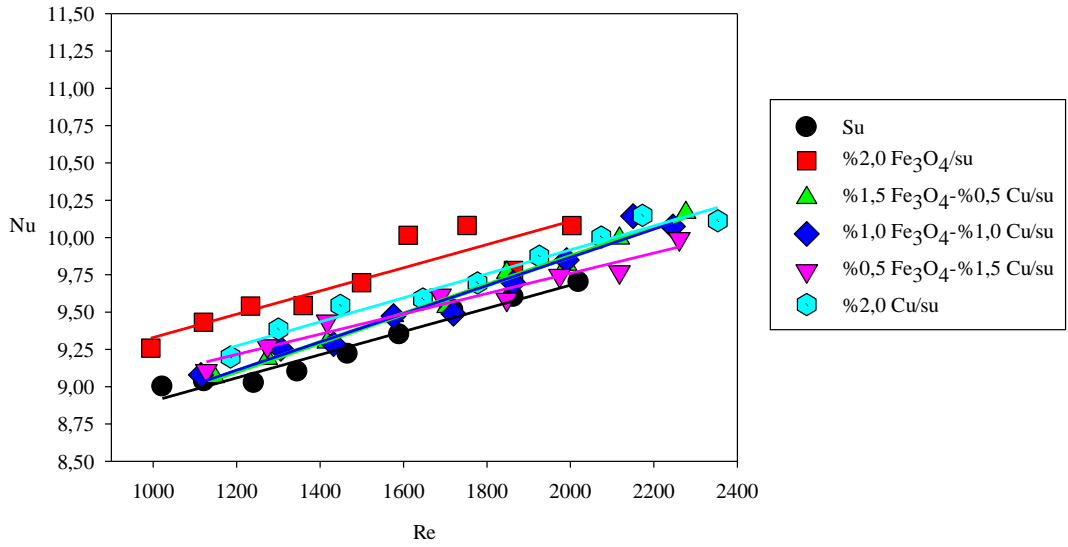
Bu çalışmada, hibrit nanoakışkan akışının alternatif manyetik alan etkisi altında taşınımıyla ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan deneylerde, Fe_3O_4 ve Cu nanopartiküllerin farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%2,0 Fe_3O_4 , %1,5 Fe_3O_4 - %0,5 Cu, %1,0 Fe_3O_4 - %1,0 Cu, %0,5 Fe_3O_4 - %1,5 Cu ve %2,0 Cu) baz akışkan su içerisine katıldığı hibrit nanoakışkanlar kullanılarak test kanalının başlangıcından 1,2-1,3 m aralığına uygulanan $B=0,3$ T sabit manyetik alan altında ve çeşitli frekanslarda ($f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz) sinüs, kare ve üçgen dalga tiplerinde alternatif manyetik alan etkisi altında ısı performans laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) detaylı olarak incelenmiştir.

5.1.2.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum

Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan deney düzeneği doğrulama süreci sonrasında deneysel çalışmanın ilk kısmında nanoakışkanların ısı performansları manyetik alan yokluğunda tespit edilmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Kanal yüzeyine sabit ısı akısı uygulandığı şartlarda hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan akış şartlarının incelendiği çalışma, laminer akış koşulları ($1000 \leq Re \leq 2300$) için yapılmıştır.

Farklı hacimsel konsantrasyonlardaki Fe_3O_4 ve Cu nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanlarla gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Şekil 5.3'te sunulmuştur. Beklenildiği gibi Re değeri ile Nu değerinin doğru orantılı değiştiği ilk göze çarpmaktadır. Bunun haricinde, tüm sonuçların birbirine çok yakın çıktığı fark edilmektedir. Saf suya nanopartikül katkısı Nu değerini arttırmıştır. En yüksek sonucu saf suya göre %5,28'e varan artış gösteren %2,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna sahip Fe_3O_4 /su nanoakışkanı verirken sonrasında %4,89'a varan artış gösteren %2,0 Cu/su nanoakışkanı en iyi sonucu veren nanoakışkan olarak ortaya çıkmaktadır. Hibrit nanoakışkanların performansları tek nanopartiküllü nanoakışkanların gerisinde kalmaktadır. Hibrit nanoakışkanlar arasında en iyi sonucu %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su verirken, en kötü sonucu %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su vermektedir. Fakat sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımıyla saf su kullanılına oranla ısı transferi performansında artış gerçekleşmektedir. Bu durum temel olarak baz akışkana katılan nanopartiküllerin ısı iletim katsayısının yüksek olması sebebiyle akışkanın ısı iletim katsayısını artırması ile açıklanabilir. Ayrıca Brownian ve Neel mekanizmaları da bu ısı transferi artışı konusunda etkilidir [55,70]. Bu mekanizmalarda nanopartiküllerin akışkan içinde rastgele hareket etmeleri baz akışkanın termofiziksel özelliklerinin iyileşmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.3. Nanoakışkanların $B=0$ T durumunda ısı performansının Re değerine göre değişimi.

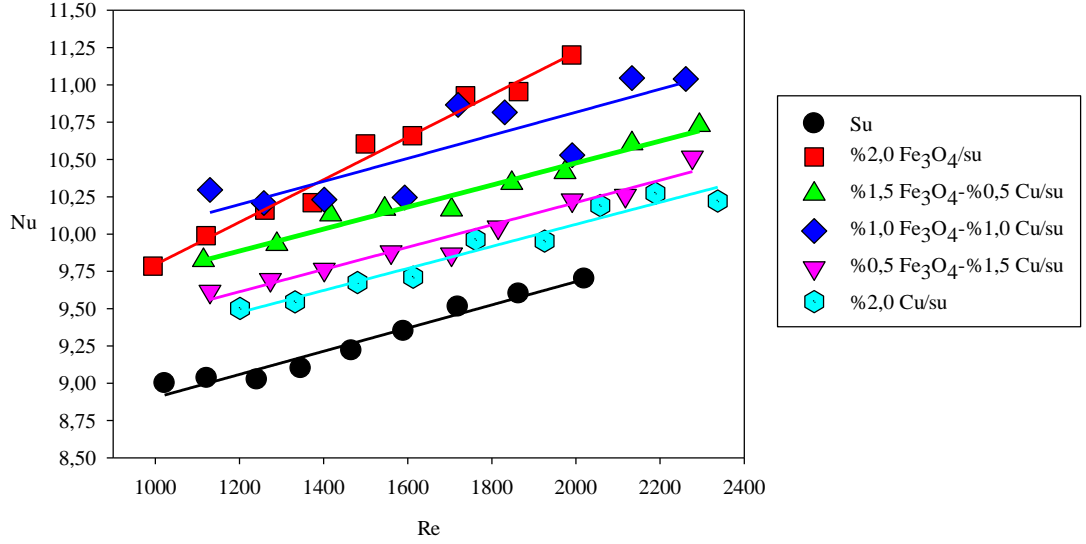
5.1.2.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı

Çalışmanın bu kısmında sabit manyetik alan etkisi araştırılmıştır. Sabit manyetik alan uygulandığı durumda nanoakışkanların ortalama Nu değerinde gözle görülür artış Şekil 5.4'te görülmektedir.

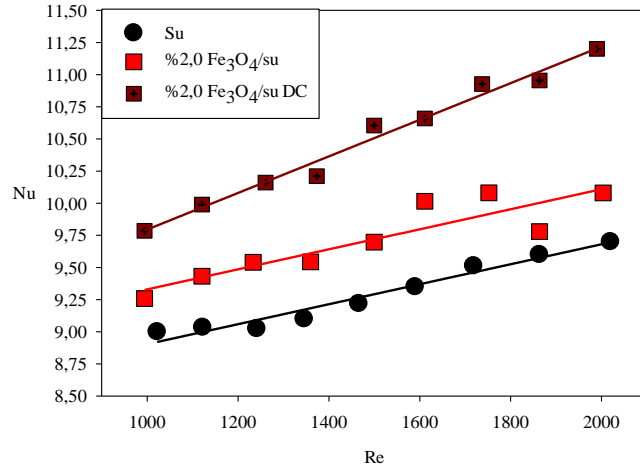
Sabit manyetik alan uygulandığında en iyi sonucu saf suya göre %14,29'a varan Nu değeri artışıyla %2,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyona sahip Fe_3O_4 /su nanoakışkanı vermektedir (Şekil 5.5).

Diğer yandan, %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı (Şekil 5.6), %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanından (Şekil 5.7) daha fazla Fe_3O_4 hacimsel

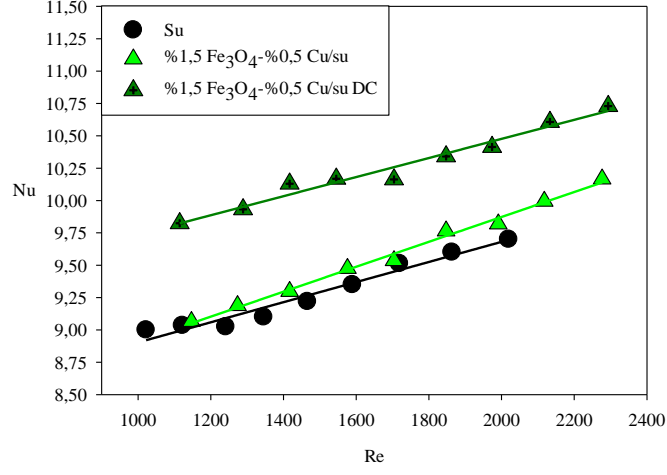
nanopartikül konsantrasyonuna sahip olsa da Nu değeri daha düşük çıkmıştır. Saf suya göre %11,33'e varan artışlar göstermektedir. %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanından sonraki en iyi sonuç ise Şekil 5.7'de detaylı görülebileceği üzere saf suya göre %13,97'ye varan artış oranı veren %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkan ile elde edilmiştir.



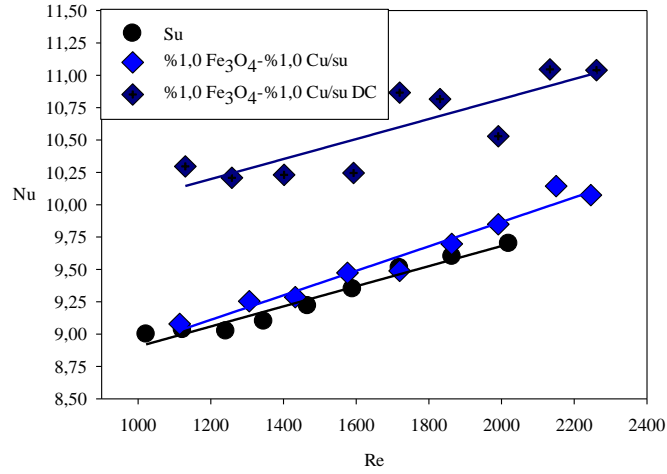
Şekil 5.4. $B=0,3$ T (DC) etkisi altında ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



Şekil 5.5. %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.



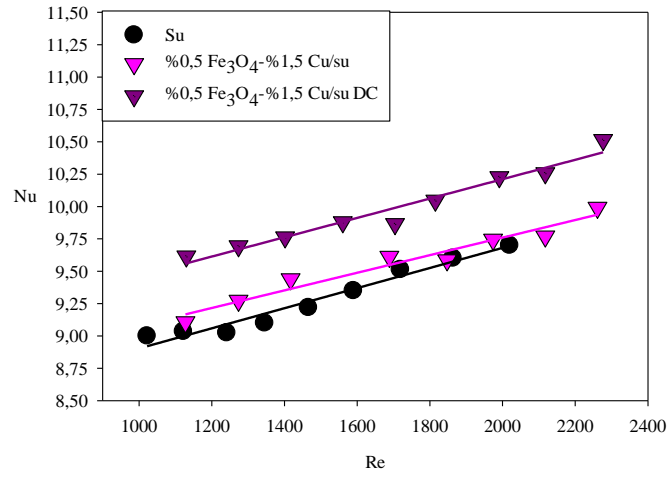
Şekil 5.6. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.



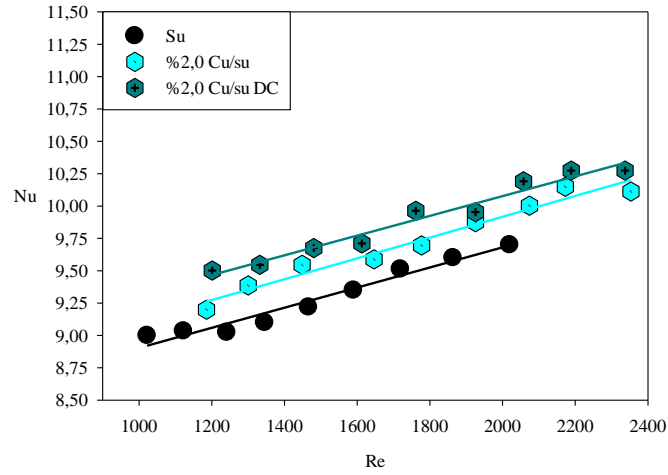
Şekil 5.7. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.

Çalışma akışkanı olarak %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılan durumda ise %7,41'e varan artışla en düşük artış gösteren hibrit nanoakışkan olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 5.8). Diğer nanoakışkanların sonuçlarına göre bu hibrit nanoakışkanda manyetik alan uygulandığında elde edilen artış çok daha azdır. Bundaki neden bu hibrit nanoakışkandaki bakır nanopartiküllerinin hacimsel konsantrasyonunun yüksek olmasıdır. Bakır hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça manyetik alan etkisi altındaki Nu değeri artışı da o derece azalmaktadır.

Cu/su nanoakışkanının Nu değerinde Şekil 5.9’da daha detaylı görülebileceği üzere gözle görülür artış gerçekleşmemiştir. Bu bakırın manyetik alandan etkilenmemesinin sonucudur. Manyetik alan etkisi altında bakır nanopartikülleri etkilenmeyip cidara yaklaşmadığı için Nu değerinde bir artışla karşılaşılması. Bakır, manyetik alandan etkilenmediği için Fe_3O_4 nanopartikülleri gibi ısı transferini manyetik alan altında artıramamaktadır.



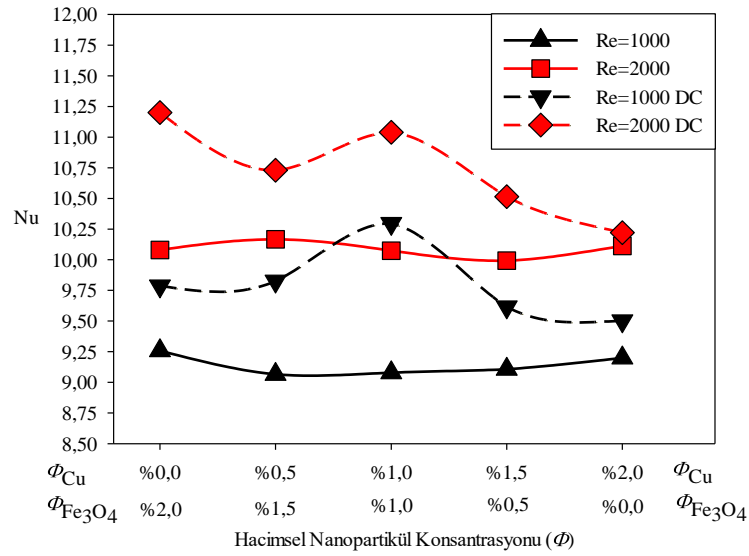
Şekil 5.8. %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.



Şekil 5.9. %2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.

Şekil 5.10’da $Re=1000$ ve $Re=2000$ akış şartları için, hacimsel nanopartikül konsantrasyonu değişimine göre Nu değerini manyetik alan yokken ve manyetik alan altında görülebilmektedir. $Re=1000$ için manyetik alan yokken Nu değerinin nispeten

yatay bir çizgi çizerken, manyetik alan uygulanmasıyla %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su için en yüksek değere ulaşmaktadır. Re=2000 için de bakırın yüksek iletim katsayısı sebebiyle dalgalı bir *Nu* eğilim çizgisi ortaya çıkmaktadır. Fakat manyetik alan etkisi altında %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı için en yüksek değere ulaşılmaktadır. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı ikinci en yüksek değeri sunmaktadır. Diğer hibrit nanoakışkanlar ve Cu/su nanoakışkanı manyetik alan altında daha kötü sonuç vermekteyken %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su ve %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanları daha iyi sonuçla ön plana çıkmaktadır.



Şekil 5.10. Fe₃O₄-Cu/su hibrit nanoakışkanlarının *Nu* değerinin hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna göre değişimi.

Fe₃O₄ nanopartiküllerinin sabit manyetik alan etkisi altında kanal duvarına yaklaşarak yerel taşınım ile ısı transferi artışının görülmesi beklenmektedir. Kanal duvarına sabit manyetik alan etkisiyle yaklaşan nanopartiküller zincir benzeri yapı kurarak yerel *Nu* değerinin artışına sebep olduğu literatürde açıklanmaktadır [70,71]. Aynı zamanda manyetik alan etkisi nedeniyle akış içinde tutulan metalik nanopartiküller, akışı bozmaktadır. Bu durum ısı sınır tabakanın bozulmasına yol açıp akış karışımına neden olur ve dolayısıyla yerel *Nu* değerinde artış gerçekleşir.

Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonunun arttıkça ortalama *Nu* değerinin da genellikle arttığı görülmektedir. Yalnız %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı bir istisnadır. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı diğer hibrit

nanoakışkanlardan daha yüksek sonuç vermektedir. Bu hibrit nanoakışkanın, optimum verimli olduğu konsantrasyonda olması etkili olabilir. Çünkü, Giwa vd. [65] kare kavitede yaptıkları çalışmada %0,3 γ -Al₂O₃ - Fe₂O₃ /su hibrit nanoakışkanının daha yüksek hacimsel konsantrasyonda olmasına rağmen; %0,05 ve %0,1 hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarından daha düşük *Nu* değeri sunduğunu, hatta sudan bile kötü sonuç verdiğini fark etmişlerdir. Yani artan hibrit nanoakışkan hacimsel nanopartikül konsantrasyonu *Nu* değerini sürekli artırmamaktadır. Bu çalışmada %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının daha yüksek sonuç vermesinin bundan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

5.1.2.3. Alternatif Manyetik Alan Etkisi (AC) Altında Hibrit Nanoakışkan Akışı

Çalışmanın bu kısmında ise alternatif manyetik alanın ısı performans üzerine etkisi detaylı olarak araştırılmıştır. $f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz frekanslarında sinüs, kare, üçgen dalga tiplerinde alternatif manyetik alan uygulanarak elde edilen sonuçlar aşağıda her bir nanoakışkan için paylaşılmıştır.

Alternatif manyetik alan uygulandığında genellikle sabit manyetik alana göre daha fazla artış elde edilmektedir [70,75,76,91]. Alternatif manyetik alan etkisi sonucunda zıt yönde hareket eden manyetiklenebilen nanopartiküllerin ısı tabakayı bozarak ısı transferini arttırdığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre yine de sabit manyetik alandan daha düşük sonuçların ulaşıldığı istisnalar da bulunmaktadır.

Bulunan sonuçlar kullanılarak elde edilen korelasyonlar detaylı olarak Ek Açıklamalar C'de paylaşılmıştır.

5.1.2.3.1. Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su Hibrit Nanoakışkan Akışı

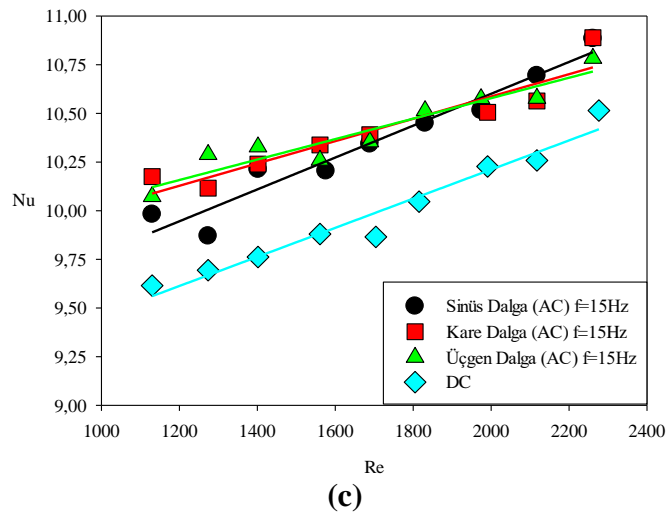
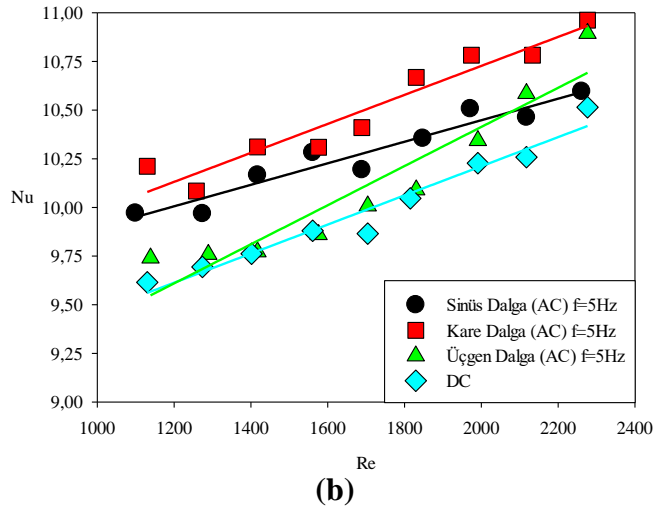
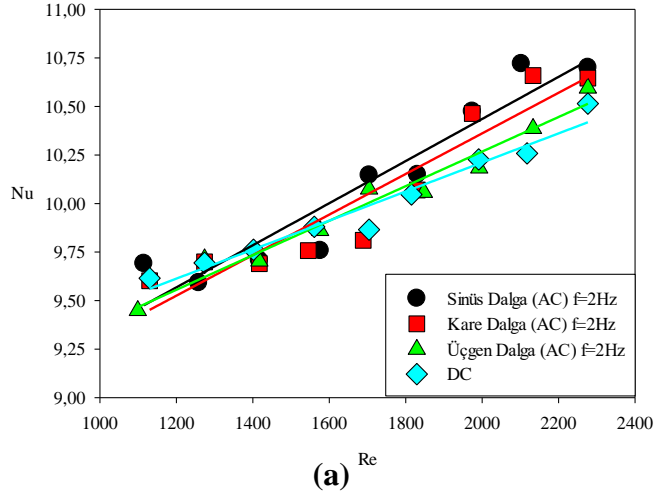
%0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında elde edilen *Nu* değeri sonuçları Şekil 5.11-13'te verilmiştir. Şekil 5.11 incelendiğinde $f=2$ Hz frekansında alternatif manyetik alan uygulamalarında *Nu* değerinin çok artmadığı görülmüştür. Sabit manyetik alan uygulamasına göre %0,2-

%1,3 aralığında artış elde edilmiştir. Frekans arttıkça ortalama Nu değerinin genellikle arttığı görülmektedir. $f=5$ Hz üçgen dalga altında sabit manyetik alana göre %1,4 artış elde edilmektedir. Sinüs dalga %3,1 artış sunarken, en yüksek artışı %5,5 ile kare dalga sunmaktadır. $f=15$ Hz ise %3,9-%4,6 aralığında artış sunmakta olup artış değerleri birbirine çok yakındır. Çok az bir farkla da olsa üçgen dalga daha iyi artış değeri sunmaktadır.

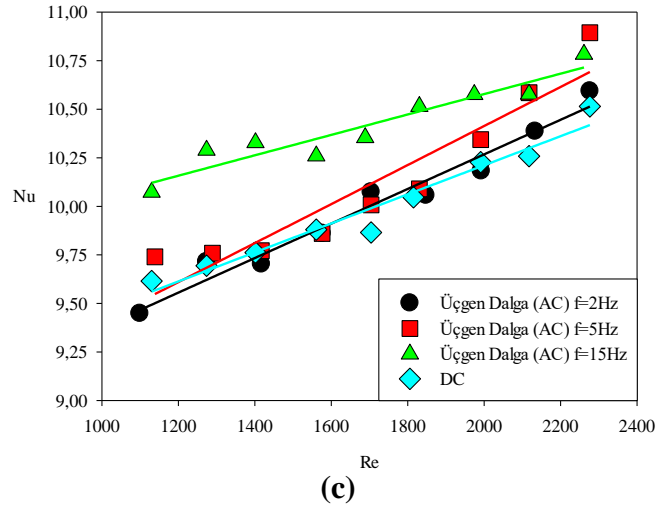
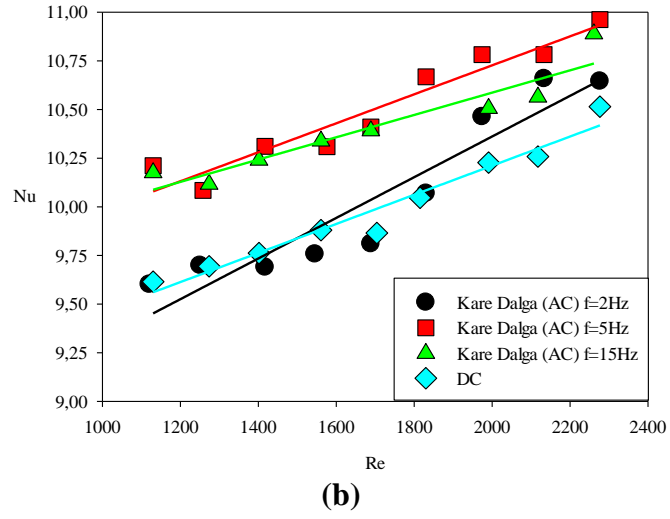
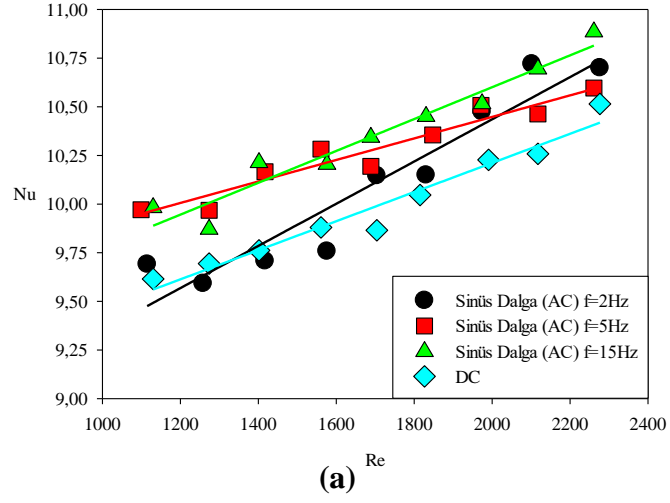
Şekil 5.12’de ise dalga tiplerinin Nu değeri artış oranları görülebilmektedir. Aralarında en iyi sonucu veren $f=5$ Hz kare dalga tipinde alternatif manyetik alan etkisidir. $f=2$ Hz ve $f=15$ Hz frekanslarda dalga tipleri arasında bir fark gözükmezken, $f=5$ Hz’de kare dalga ön plana çıkmaktadır.

Şekil 5.13’te ise frekansa göre Nu değeri artışı görülebilmektedir. Düşük Re değerlerinde artış oranı azken, yüksek Re değerlerinde artışın daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Aynı zamanda kare dalga tipinde artış daha fazla gerçekleşmektedir.

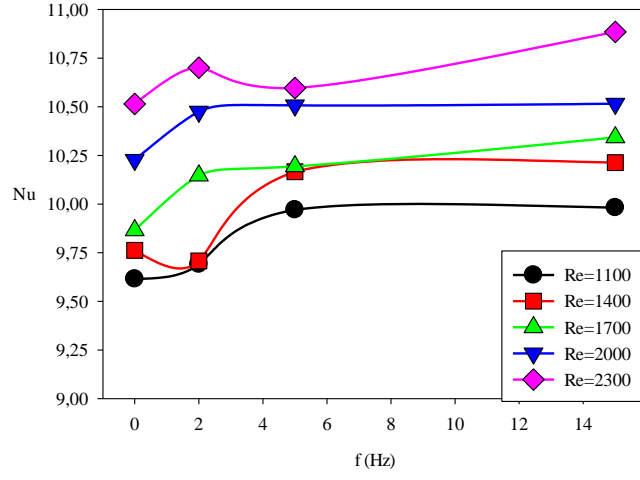
Düşük Fe_3O_4 hacimsel nanopartikül konsantrasyonunda yüksek frekanstaki alternatif manyetik alanın daha yüksek sonuç vermesi, düşük nanopartikül miktarının yüksek frekansta ısı sınır tabakanın daha fazla bozulduğunu gösterdiği düşünülmektedir. Tam aksine, düşük frekanslarda düşük konsantrasyondaki nanopartiküller ısı sınır tabakayı bozabilecek akış karışımı etkisi yaratamamaktadır.



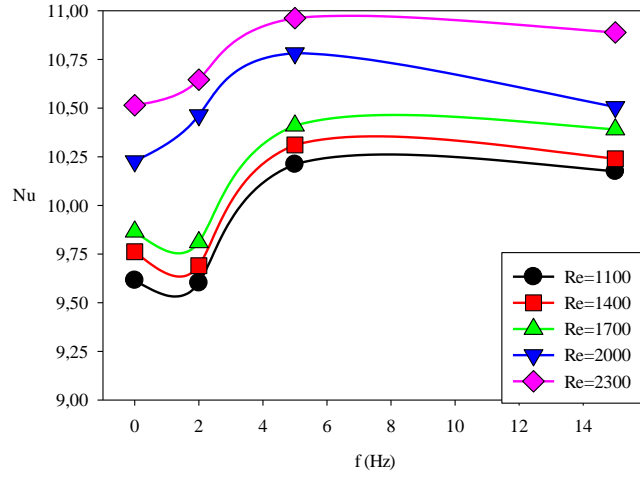
Şekil 5.11. %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



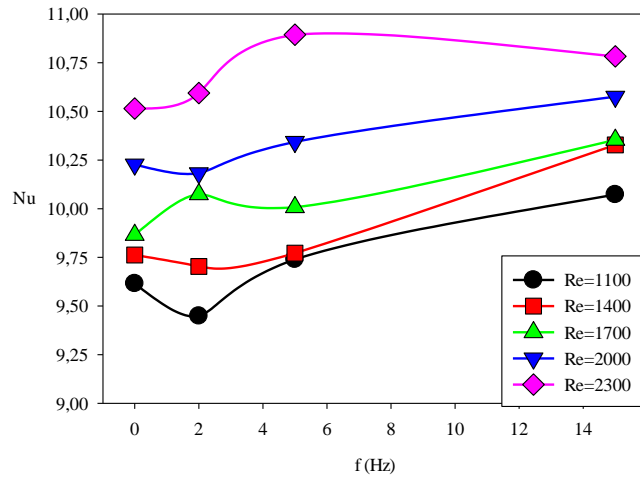
Şekil 5.12. %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu /su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



(a)



(b)



(c)

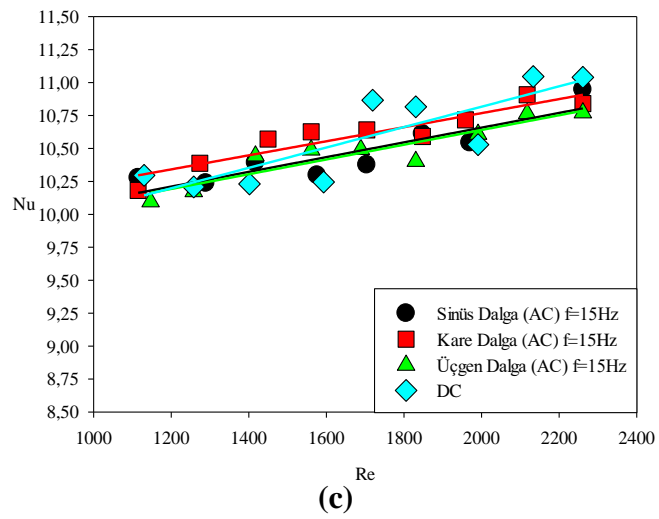
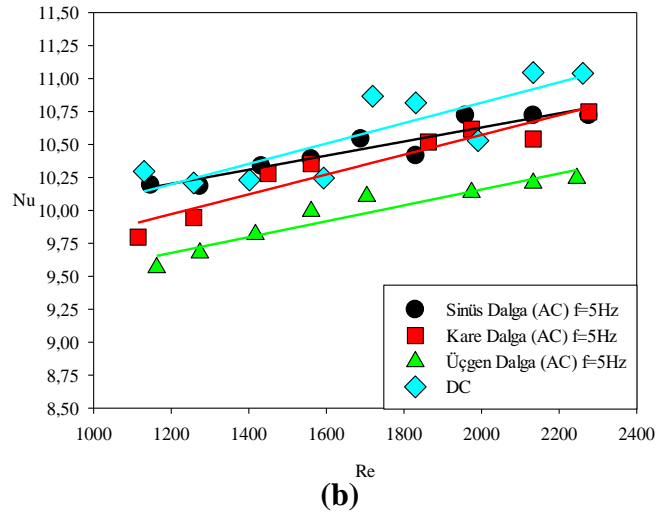
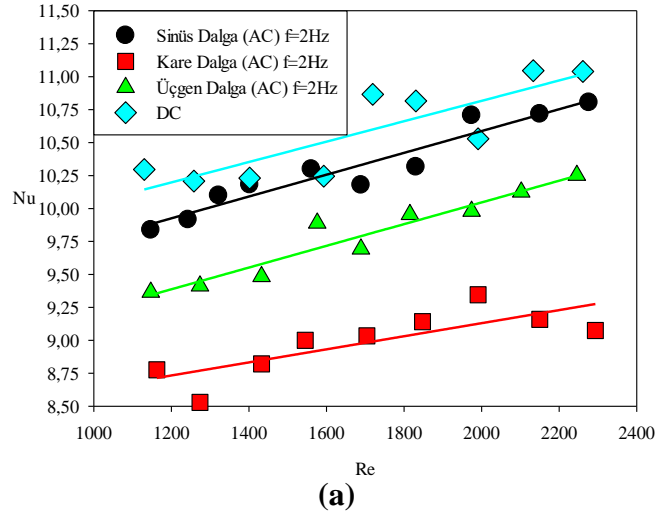
Şekil 5.13. %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama *Nu* değerinin frekans ile değişimi.

5.1.2.3.2. Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su Hibrit Nanoakışkan Akışı

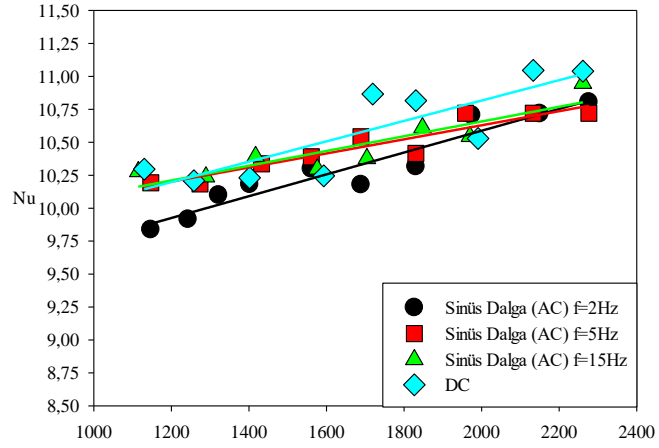
%1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.14-16'da görülebildiği üzere kötü sonuç vermektedir. Bu hibrit nanoakışkanın sabit manyetik alan altında en yüksek Nu değeri veren hibrit nanoakışkan olması sebebiyle alternatif manyetik alan altında etkisi daha düşük çıkmaktadır.

Neredeyse tüm frekans ve tüm dalga tiplerinde sabit manyetik alana göre daha kötü sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.14-15). En kötü sonuç $f=2$ Hz kare dalgada elde edilmiştir. Saf suya göre %4,1, hibrit nanoakışkanın sabit manyetik alan altındaki sonucuna göre ise %17,1 daha düşük Nu değeri çıkmıştır. $f=2$ Hz ve $f=5$ Hz frekanslarında tüm dalga tiplerinde Nu değeri sabit manyetik alandan daha düşük çıkmaktadır. $f=15$ Hz frekansında ise tüm dalgaların sonuçları, sabit manyetik alanın sonucuyla çok yakın çıkmaktadır. En yüksek ve sabit manyetik alana göre daha yüksek çıkan tek sonuç, %0,26 artış ile $f=15$ Hz kare dalga ile elde edilmiştir. Şekil 5.16'da frekansa göre Nu değeri değişimi her bir dalga tipi için görülebilmektedir. Tüm frekans ve dalga tiplerinde düşüşler açık şekilde görülebilmektedir.

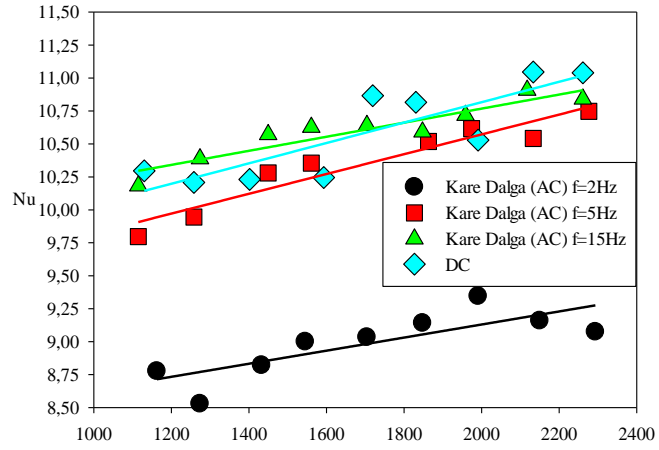
%1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının optimum hacimsel konsantrasyon olmasından dolayı manyetik alan etkisi yokken Nu değeri diğer hibrit nanoakışkan konsantrasyonlarından daha iyi çıkmıştı. Bu durum sabit manyetik alan etkisi altında da kendisini göstermektedir. Bu hibrit nanoakışkan oranında sabit manyetik alan etkisi altında Nu değerinin hibrit nanoakışkanlar arasında en yüksek değeri vermesinden dolayı alternatif manyetik alan etkisi daha kötü sonuçlar sunmaktadır. Ayrıca optimum hibrit nanoakışkan hacimsel konsantrasyonunda olması nedeniyle Cu nanopartiküllerinin Nu değerini yükselttiği göz ardı edilmemelidir. Fe₃O₄ nanopartiküllerinin sabit manyetik alan etkisi altında kanal yüzeyinde zincir benzeri yapılar kurarak yerel ısı iletim katsayısını yükseltmesi, alternatif manyetik alan etkisi altında akış karıştırma fenomenine göre Nu değerini artırmada daha etkili olmuştur. Bu durum da sabit manyetik alanın daha etkili olmasına yol açmıştır.



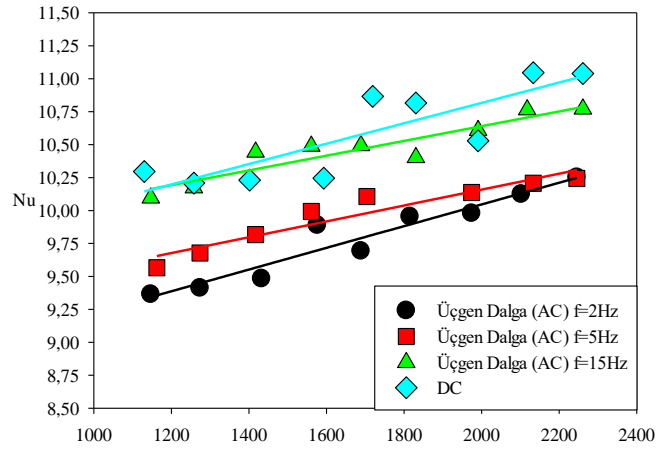
Şekil 5.14. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



(a)^{Re}

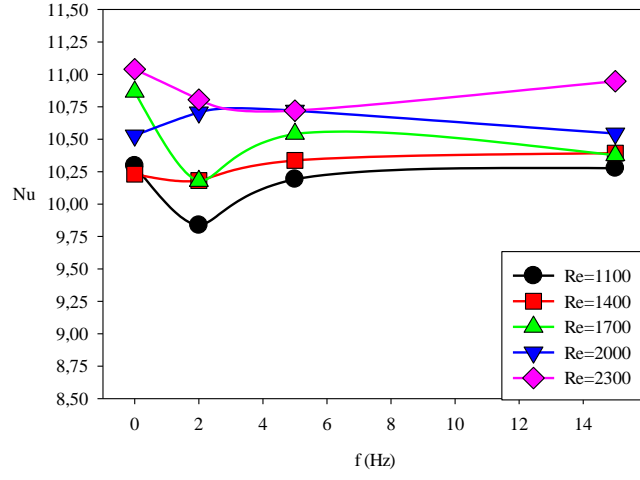


(b)^{Re}

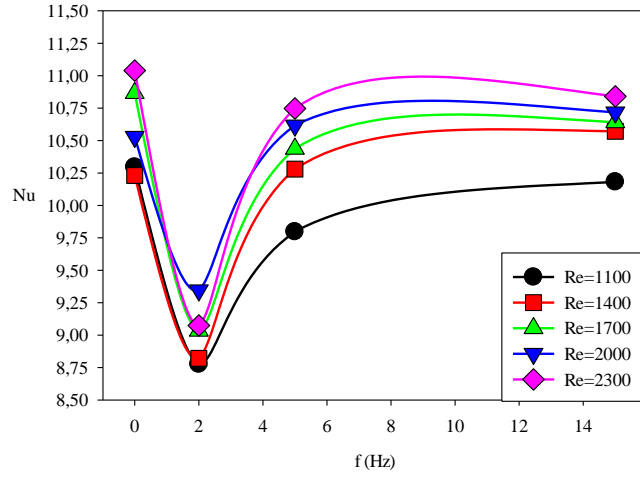


(c)^{Re}

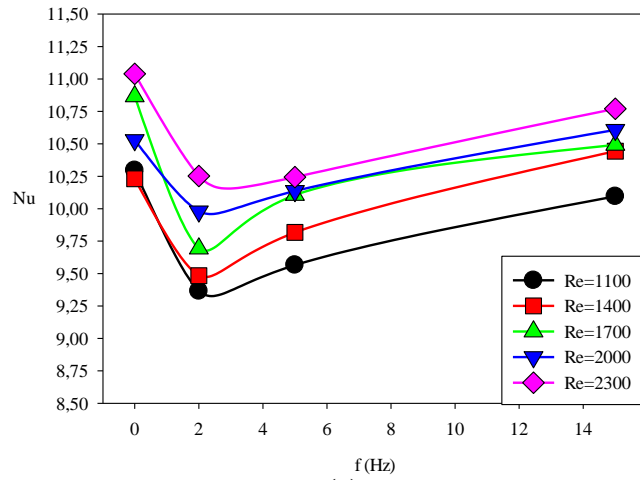
Şekil 5.15. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama *Nu* değerinin *Re* değeri ile değişimi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.16. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin frekans ile değişimi.

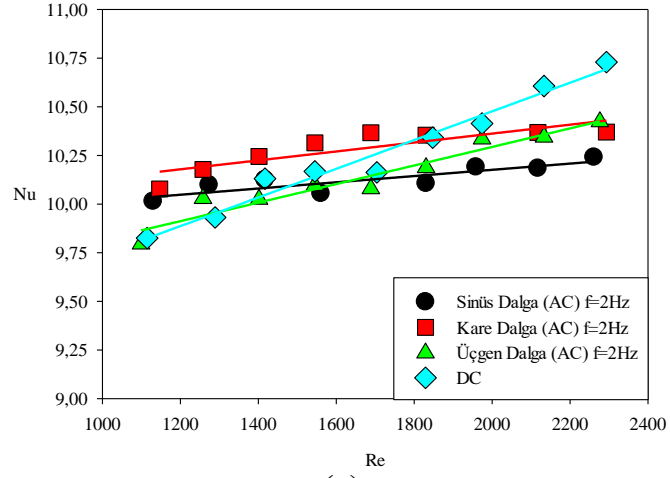
5.1.2.3.3 Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su Hibrit Nanoakışkan Akışı

%1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak elde edilen *Nu* değeri sonuçları ise Şekil 5.17-19'da paylaşılmıştır.

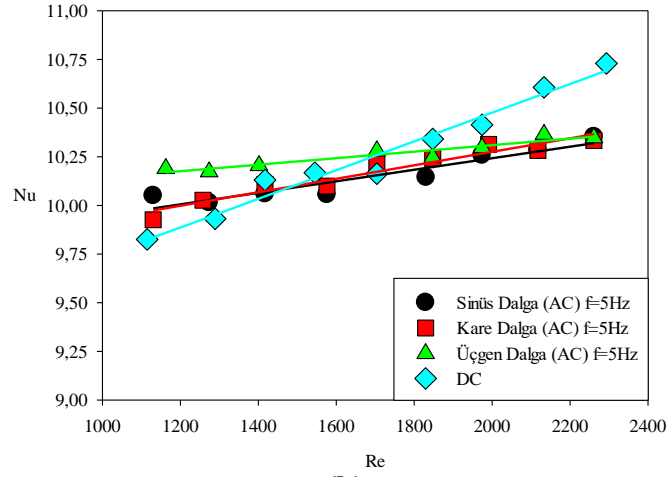
Bu hibrit nanoakışkanda alternatif manyetik alan uygulanmasıyla *Nu* değerinin düştüğü göze çarpmaktadır (Şekil 5.17-18). Aynı zamanda frekans arttıkça *Nu* değerinin daha da düştüğü net bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 5.19). Sabit manyetik alan etkisi altında ortalama %9,47 *Nu* değeri artışı gösteren %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı alternatif manyetik alan etkisi altında $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz'de daha düşük sonuçlar vermektedir. $f=2$ Hz kare dalga tipinde alternatif manyetik alan uygulamasının düşük *Re* değerlerinin sabit manyetik alana göre %2,7'ye varan daha yüksek *Nu* değeri sunsa da $1600 \leq Re \leq 1800$ aralığından sonra sabit manyetik alan sonucunun altında kalmaktadır .

Bu hibrit nanoakışkanda da sonuçlar, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilen deneylere benzer sonuçlar sergilemektedir. Genel olarak *Nu* değeri sonuçlarının sabit manyetik alan etkisi altındaki sonuçlara yakın ya da daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer hibrit nanoakışkanlarla kıyaslanırsa Fe₃O₄ nanopartiküllerinin hacimsel konsantrasyonu arttıkça alternatif manyetik alan etkisinin verimliliğinin düştüğü ve sabit manyetik alanın etkisinin arttığı genel olarak söylenebilir.

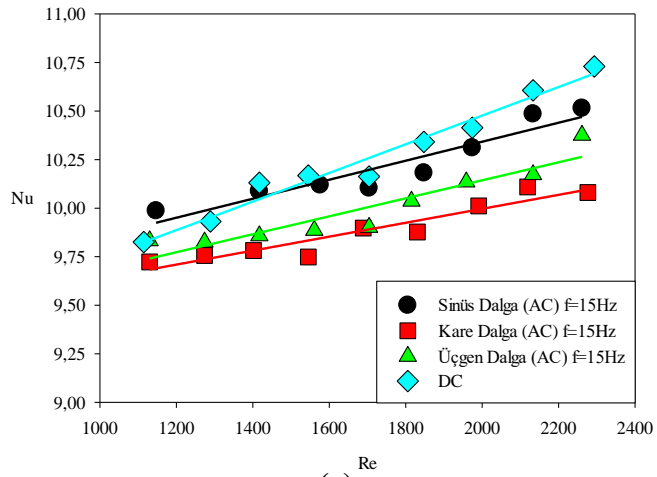
Diğer hibrit nanoakışkan tiplerine göre alternatif manyetik alan uygulamasıyla *Re* değerine göre artan *Nu* değeri grafiğinin eğiminin azaldığı dikkat çekmektedir (Şekil 5.19). Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonunun alternatif manyetik alan altında düşük *Re* değerlerinde akım karıştırmayı artırdığı için *Nu* değerini artırırken, yüksek *Re* değerlerinde ise akım karıştırma etkisinin azalması nedeniyle *Nu* değeri azalmaktadır. Bu fenomende, Fe₃O₄ nanopartiküllerine uygulanan Lorentz kuvvetinin yüksek *Re* değerlerinde viskoz kuvvetleri yenememesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle literatürde yaygın bir şekilde bilinen artan *Re* değerlerine göre artan *Nu* değeri eğimi, alternatif manyetik alan uygulamalarında azalmaktadır.



(a)

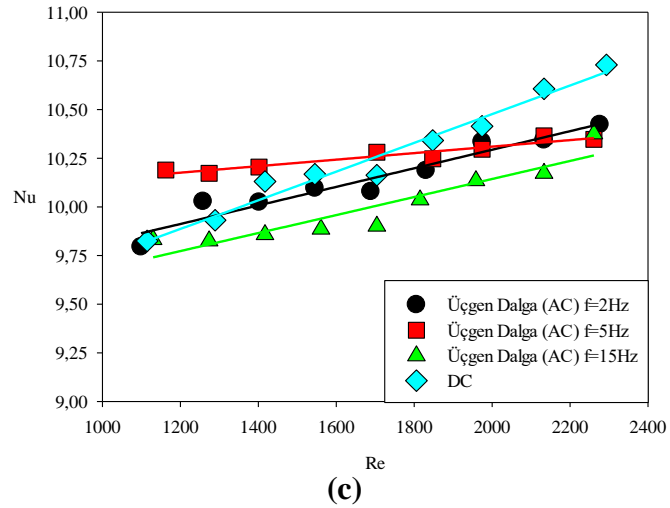
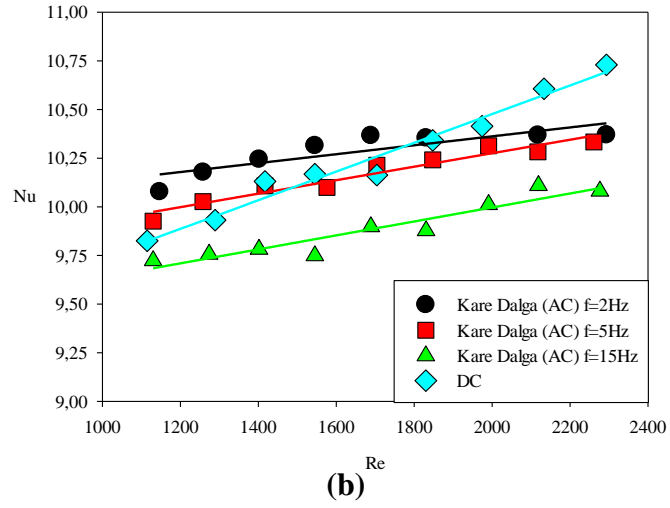
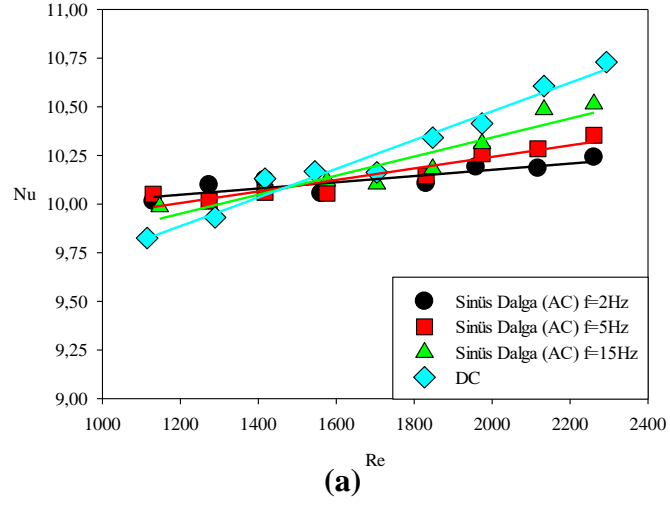


(b)

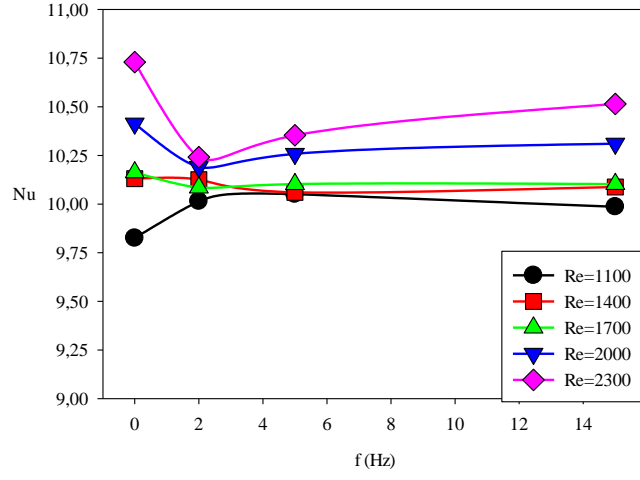


(c)

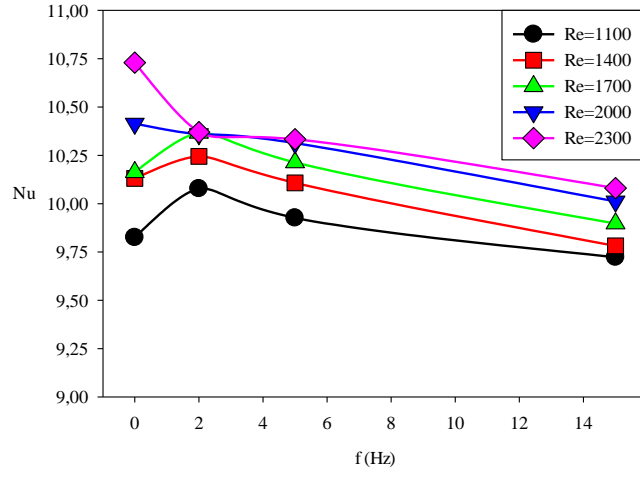
Şekil 5.17. %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



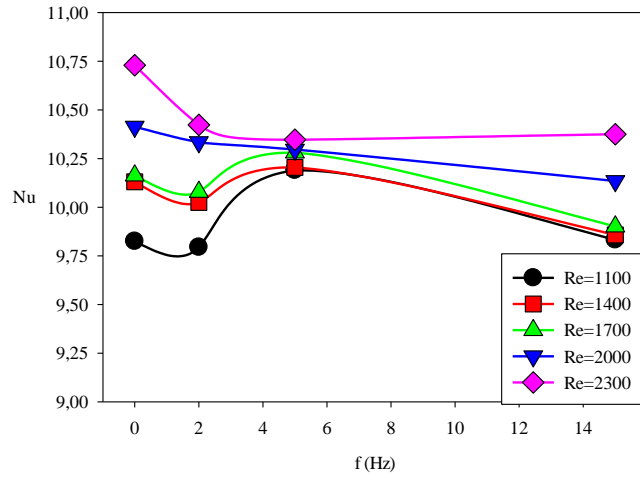
Şekil 5.18. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



(a)



(b)



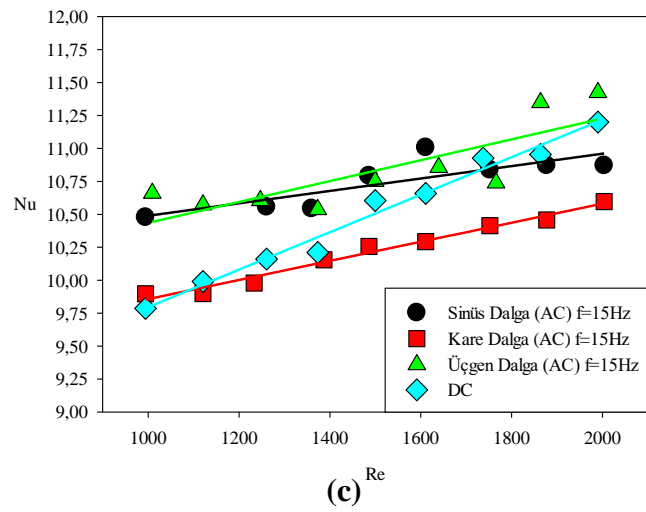
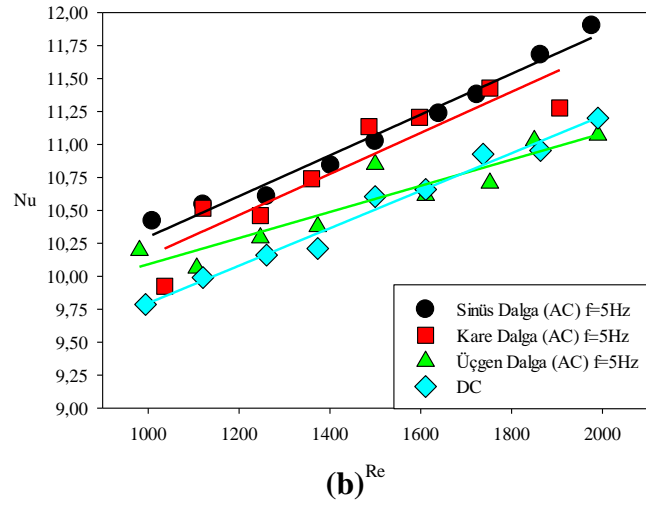
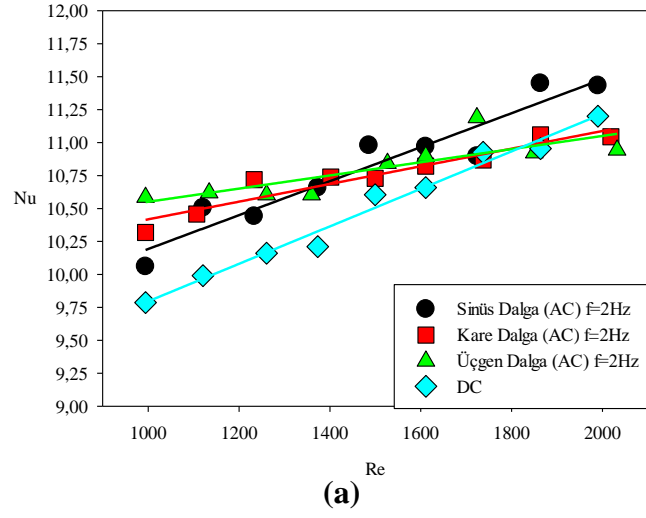
(c)

Şekil 5.19. %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin frekans ile değişimi.

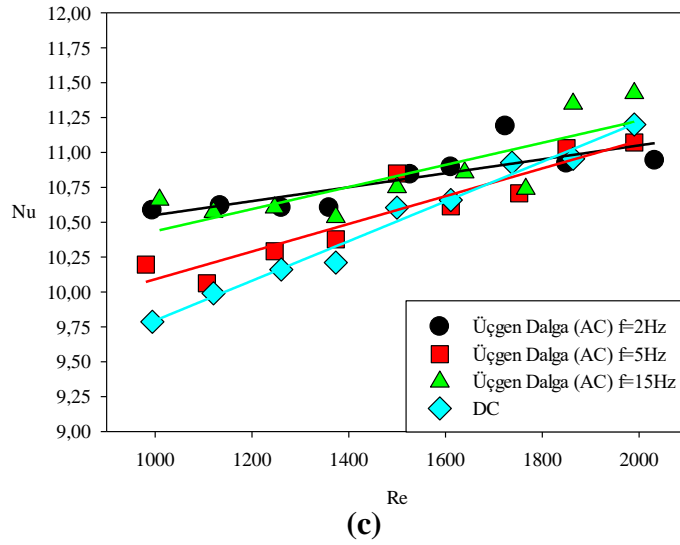
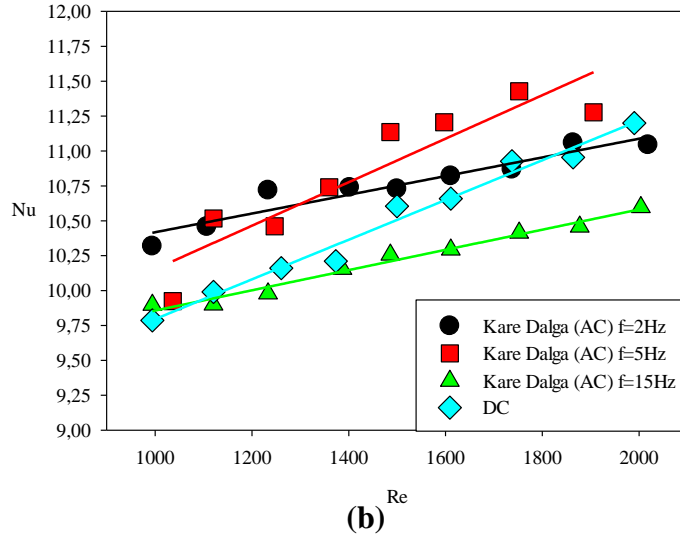
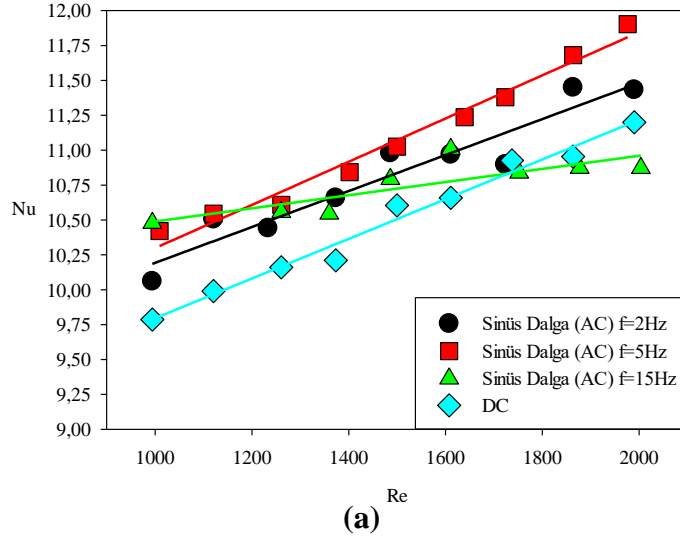
5.1.2.3.4. Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %2,0 Fe₃O₄/su Nanoakışkan Akışı

%2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında elde edilen Nu değeri sonuçları Şekil 5.20-22’de verilmiştir. Şekillerde de görülebildiği gibi %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı alternatif manyetik alan altında diğer nanoakışkanlara göre en iyi sonucu vermektedir. Sadece $f=15$ Hz kare dalga tipinde alternatif manyetik alan sonucu, sabit manyetik alandakine göre %1,95 daha düşük çıkmışken diğer tüm alternatif dalga tipleri ve frekansları daha yüksek sonuç göstermektedir (Şekil 5.20). En yüksek sonucu, sabit manyetik alana göre %6,1 ile $f=5$ Hz sinüs dalga vermektedir. Sinüs ve kare dalgalarda en iyi sonucu veren frekans $f=5$ Hz iken, üçgen dalgada $f=15$ Hz olarak görülmektedir (Şekil 5.21). Şekil 4.22’de gösterilen Nu değeri-frekans grafikleri, Goharkhah vd. [12]’nin daha düşük Re değerlerinde alternatif manyetik alan ile yapmış olduğu çalışmayla çok benzer eğilim sunmaktadır. Goharkhah vd. [12] yaptıkları çalışmada alternatif manyetik alanın $f=5$ Hz frekans civarında en yüksek ısı performans sunduğunu keşfetmişlerdi. Bu frekans sonrasında tüm dalga tiplerinde düşüşler görülebilmektedir. Aynı şekilde bu çalışma kapsamında %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı için optimum frekansın $f=5$ Hz olduğu görülmektedir. Alternatif manyetik alan etkisi altındaki hibrit nanoakışkan akışı sonuçlarından da çıkarılabileceği üzere her nanoakışkanın optimum alternatif manyetik alan frekansı farklı çıkmaktadır.

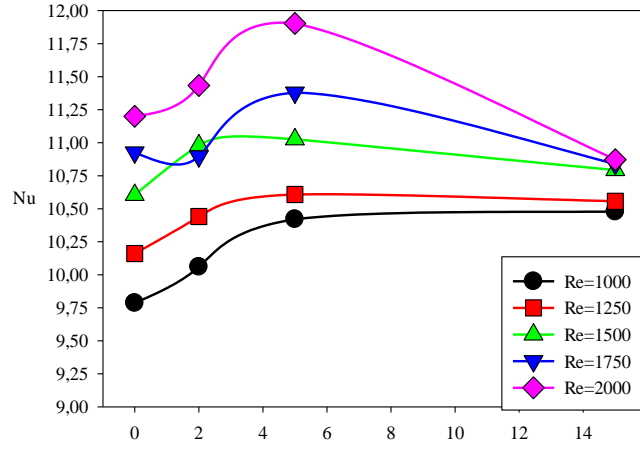
Şekil 5.22’den de görüldüğü üzere, %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında elde edilen Nu değeri – Re değeri eğiminin azalması durumu %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanında da karşılaşılmaktadır. Yalnız farklı olarak sonuçların genel olarak sabit manyetik alandan daha yüksek Nu değeri sunduğu görülmektedir. Bu durum manyetik alan uygulanmayan durumda optimum hibrit nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu olan %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su nanoakışkanının alternatif manyetik alan altında en kötü sonuçları verdiğini doğrulamaktadır.



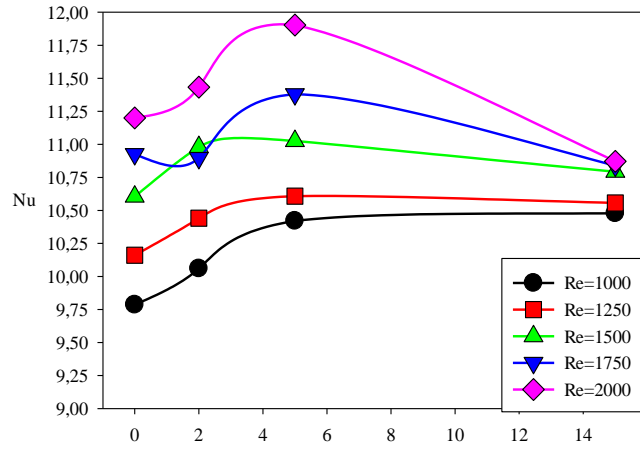
Şekil 5.20. %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



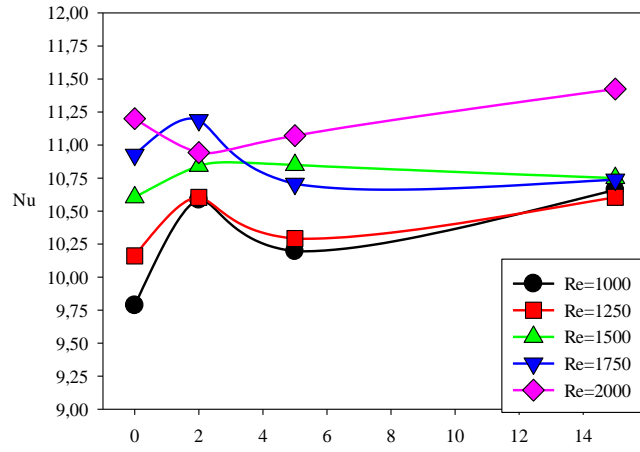
Şekil 5.21. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.22. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Nu değerinin frekans ile değişimi.

5.1.2.4. *Nu* Değeri Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Yorumlanması

Her bir hibrit nanoakışkan için alternatif manyetik alan uygulaması sonuçları kendi arasında Şekil 5.23'te karşılaştırılmıştır. Fe_3O_4 nanopartiküllerinin manyetik alan ile etkileşimi ve bakır nanopartiküllerinin de yüksek ısı iletim katsayısı nedeniyle genel olarak ısı transferini iyileştirmesi avantajlarının bir arada elde edilebilmesi amacıyla hibrit nanoakışkanlar deneylerde kullanılmıştır. Sonuçların ışığında bakır malzemesinin manyetiklenme özelliği olmaması sebebiyle diğer Fe_3O_4 nanopartiküllerinin olduğu nanoakışkanlara kıyasla manyetik alan etkisi altında daha düşük *Nu* değeri vermektedir.

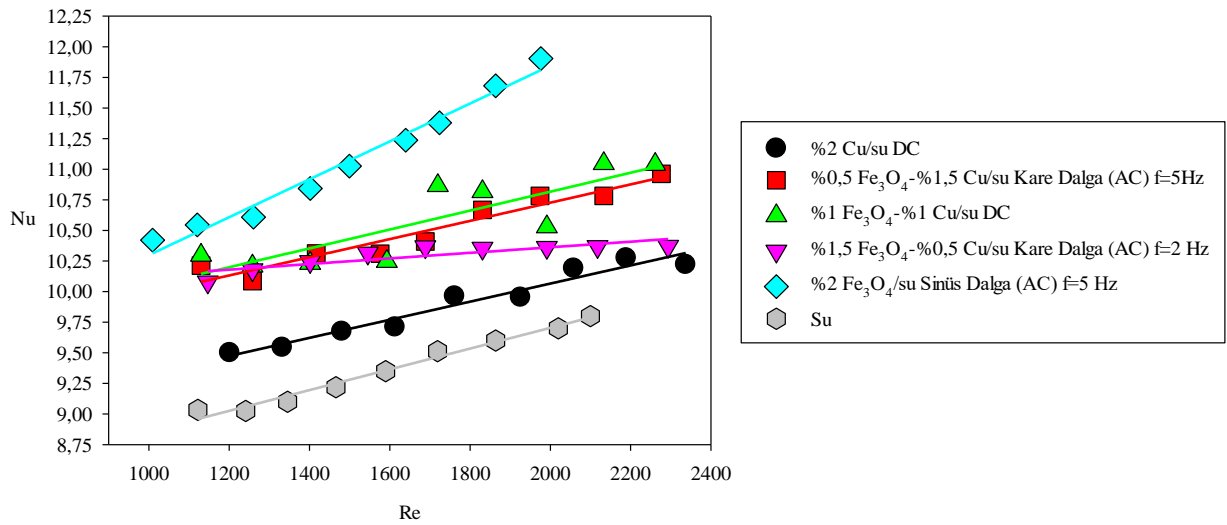
Genellikle Fe_3O_4 hacimsel nanopartikül konsantrasyonunun arttıkça ortalama *Nu* değerinin de arttığı görülmektedir. Fakat %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı bir istisna olarak karşımıza çıkmaktadır. Öyle ki, %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanından da düşük sonuç vermektedir. Bu hibrit nanoakışkanının optimum verimli olduğu hacimsel konsantrasyona uzak olmanın etkisi olabilir. Bu çalışmada %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının daha düşük sonuç vermesinin bundan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

En yüksek *Nu* değeri sonucu suya göre %18 daha fazla ısı performans sunan $f=5$ Hz sinüs dalga tipinde alternatif manyetik alan etkisi altında %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı ile elde edilmiştir. Ondan sonraki en yüksek ısı performans sunan ise suya göre %12,97 artış ile sabit manyetik alan etkisi altında %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanıdır.

En yüksek artışı sunan %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanın alternatif manyetik alan ile bu kadar yüksek sonuçları vermesi kayda değerdir. Manyetik nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonunun arttıkça alternatif manyetik alanın ısı performansını iyileştirdiği, sabit manyetik alanın daha düşük sonuç verdiği görülmektedir. Bu durumun alternatif manyetik alanın oluşturduğu Lorentz kuvvetinin, daha yoğun bulunan nanoakışkanın ısı tabakasını bozduğu ve viskoz kuvvetlerin, sabit manyetik alan nedeniyle manyetik nanopartiküllerin zincir benzeri bir yapı kurulmasını engellemesi, dolayısıyla yerel ısı iletim katsayısını yükseltmediğinden olduğu düşünülmektedir. Çünkü Lorentz

kuvvetinin, viskoz kuvvetleri yenemediği gibi sürüklenme kuvveti oluşturup akışı yavaşlatmasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda alternatif manyetik alan uygulamasının sabit manyetik alandan daha düşük sonuç verdiği nanoakışkanlarda genellikle Nu değeri - Re değeri eğiminin daha az olduğu görülmektedir. Bu da alternatif manyetik alanın oluşturduğu Lorentz kuvvetinin daha düşük Re değerlerinde viskoz kuvvetleri yenebileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, düşük Re değerlerinde akış karışımı ve dolayısıyla ısıl sınır tabakanın daha rahat bozulabileceği sebebiyle Nu değerinin daha fazla artabileceği düşünülmektedir [11,12].

Öte yandan, $f=5$ Hz kare dalga alternatif manyetik alan etkisi altında %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı, neredeyse sabit manyetik alan etkisi altındaki %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı kadar iyi sonuç sunmaktadır.



Şekil 5.23. Hibrit nanoakışkanların manyetik alan uygulamalarının karşılaştırılması.

5.1.3. Darcy Sürtünme Faktörüne Ait Deneysel Sonuçlar

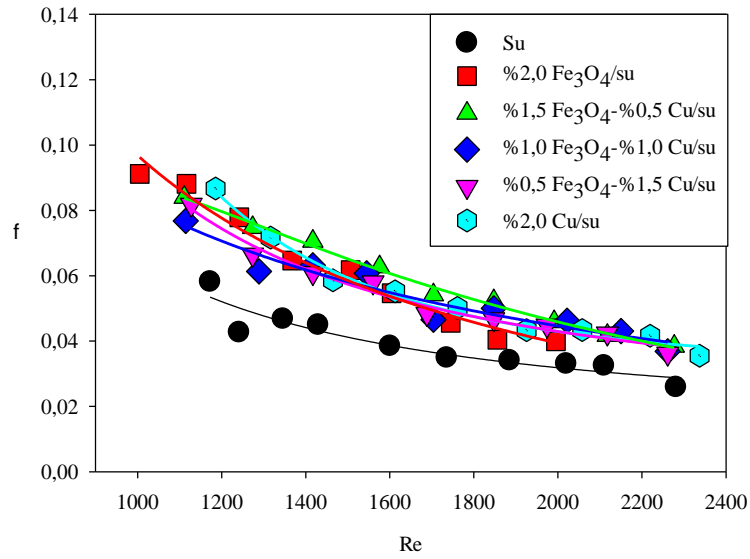
Çalışmanın bu aşamasında, hibrit nanoakışkan akışının sabit ve alternatif manyetik alan etkisi altında ortalama Darcy sürtünme faktörüne olan etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde, %2,0 Fe_3O_4 /su ile %2,0 Cu/su nanoakışkanları ve %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su, %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su, %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/s hibrit nanoakışkanları kullanılarak test kanalının başlangıcından 1,2-1,3 m aralığına uygulanan $B=0,3$ T sabit manyetik alan altında ve çeşitli frekanslarda ($f=2$ Hz, $f=5$ Hz

ve $f=15$ Hz) sinüs, kare ve üçgen dalga tiplerinde alternatif manyetik alan etkisi altında laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) ortalama Darcy sürtünme faktörü detaylı olarak incelenmiştir.

5.1.3.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum

Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan deney düzeneği doğrulama süreci ve taşınım ile ısı transferinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen deneylerin ardından deneysel çalışmanın bu aşamasının ilk kısmında nanoakışkanların ortalama Darcy sürtünme faktörlerinin manyetik alanın olmadığı durumda tespit edilmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir.

Farklı hacimsel konsantrasyonlardaki Fe_3O_4 ve Cu nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanlarla gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Şekil 5.24'te gösterilmektedir. Beklenildiği gibi artan Re değerine göre ortalama Darcy sürtünme faktörünün azaldığı görülmektedir. Sonuçlarda da görüldüğü üzere, %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı en yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörünü vermektedir. Diğer hibrit nanoakışkanların ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri birbirine çok yakın çıkmaktadır.



Şekil 5.24. Nanoakışkanların $B=0$ T durumunda ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değerine göre değişimi.

5.1.3.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı

Taşınım ile ısı transferini arttıran gerek pasif gerekse aktif teknikler, ortalama Darcy sürtünme faktörünü de arttırmaktadır. Bu durum, Şekil 5.25'te görülebilmektedir. Nanoakışkan akışının ortalama Darcy sürtünme faktörü sudan daha yüksek olup sabit manyetik alan etkisi altında nanoakışkan akışında ortalama Darcy sürtünme faktörü daha da artmaktadır (Şekil 5.26-5.30).

%2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanında Fe₃O₄ nanopartikül oranı en yüksek nanoakışkan olarak önümüze çıkmaktadır. Bu durum, %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının sabit manyetik alan etkisi altında düşük *Re* değerlerinde daha fazla nanoparçacığın tutulmasından dolayı en yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü vermesini sağlamaktadır (Şekil 5.26). Aynı şekilde bu durum hibrit nanoakışkanlarda da görülebilmektedir. Hibrit nanoakışkanlardaki Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünü arttırdığı açıkça görülebilmektedir. Öte yandan gerek %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanını gerekse hibrit nanoakışkanlar sabit manyetik alan etkisi altında yüksek *Re* değerlerinde ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri çok yakın çıkmaktadır. Fakat hibrit nanoakışkandaki düşük Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna sahip olması nedeniyle sabit manyetik alan etkisi altında düşük *Re* değerlerinde %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanına kıyasla daha düşük ortalama Darcy sürtünme faktörü sunmaktadır. Her ne kadar hibrit nanoakışkan taşınım ile ısı transferi performansı optimum olsa da ortalama Darcy sürtünme faktörü de tek partiküllü nanoakışkanlardan daha yüksek çıkmaktadır.

Şekil 5.27'de %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçları sunulmuştur. Deneylerde kullanılan nanoakışkanlar arasında bu hibrit nanoakışkan sürtünme faktörü en yüksek olarak karşımıza çıkmaktadır. *Nu* değerinde karşılaştırıldığı gibi ortalama Darcy sürtünme faktöründe de hibrit nanoakışkanların optimum sonuç verdiği bir hacimsel konsantrasyon bulunmaktadır. Bu hibrit nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu ortalama Darcy sürtünme faktörü baz alındığında en verimsiz hibrit nanoakışkan olduğu görülmektedir. Bu hibrit nanoakışkan, saf suya kıyasla manyetik alan olmayan

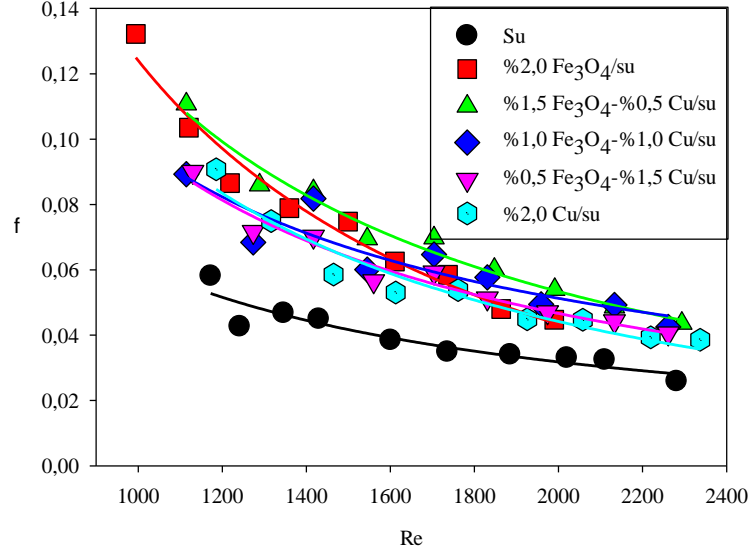
durumda ortalama %42, sabit manyetik alan etkisi altında ortalama %69 daha fazla ortalama Darcy sürtünme faktörü artışına yol açtığı fark edilmektedir.

Şekil 5.28’de ise %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçları paylaşılmıştır. Hibrit nanoakışkan akışı manyetik alan olmayan durumda ve sabit manyetik alan etkisi altında diğer nanoakışkanlara oranla düşük *Re* değerlerinde daha düşük ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri sunmaktayken yüksek *Re* değerlerinde en yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörünü vermektedir. Bu hibrit nanoakışkanın ortalama Darcy sürtünme faktörü manyetik alan olmayan durumda saf suya kıyasla ortalama %32, sabit manyetik alan etkisi altında ise ortalama %53 artmaktadır.

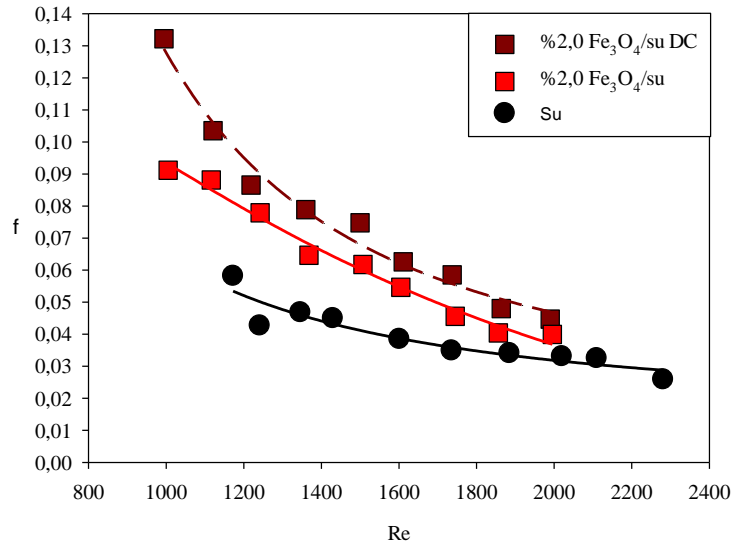
Şekil 5.29’da %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçları görülebilmektedir. Bu hibrit nanoakışkan, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı ve %2,0 Cu/su nanoakışkanıyla benzer ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri sunmaktadır. Bu hibrit nanoakışkan, ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinde saf suya oranla ortalama %32, sabit manyetik alan etkisi altında ise ortalama %44 artış göstermektedir.

%2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkan akışının ortalama Darcy sürtünme faktöründe manyetik alanın olmadığı durumda suya kıyasla ortalama %52, sabit manyetik alan etkisi altında ise ortalama %84 artış meydana gelmektedir. Sabit manyetik alan etkisi altında %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkan akışının ortalama Darcy sürtünme faktörü Şekil 5.26’da da görülebileceği gibi en yüksek çıkmaktadır. Fe₃O₄ nanopartikülleri manyetik alan etkisi ile tutulduğundan basınç düşümü artmaktadır. Bu etki %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı ve %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı ile görülebilmekteyken, %2,0 Cu/su nanoakışkanı ile sabit manyetik alan etkisinde *Nu* değerinde olduğu gibi ortalama Darcy sürtünme faktöründe de bir değişiklik ile olmamaktadır. Bakır nanopartikülleri manyetik alandan etkilenmemesi sebebiyle manyetik alan olmayan durumda saf suya kıyasla ortalama %31 artış ve manyetik alan etkisi altında ortalama %35 artış ile neredeyse aynı sonuç göstermektedir (Şekil 5.30).

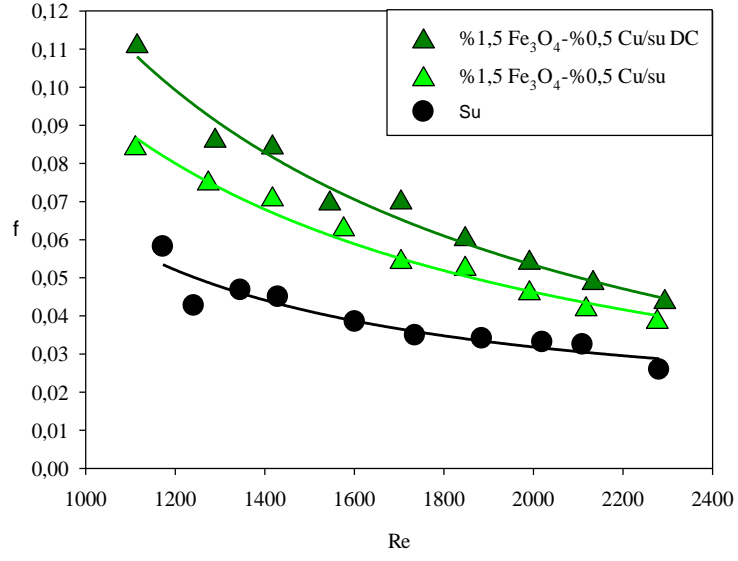
Bulunan sonuçlar kullanılarak elde edilen korelasyonlar detaylı olarak Ek Açıklamalar D’de paylaşılmıştır.



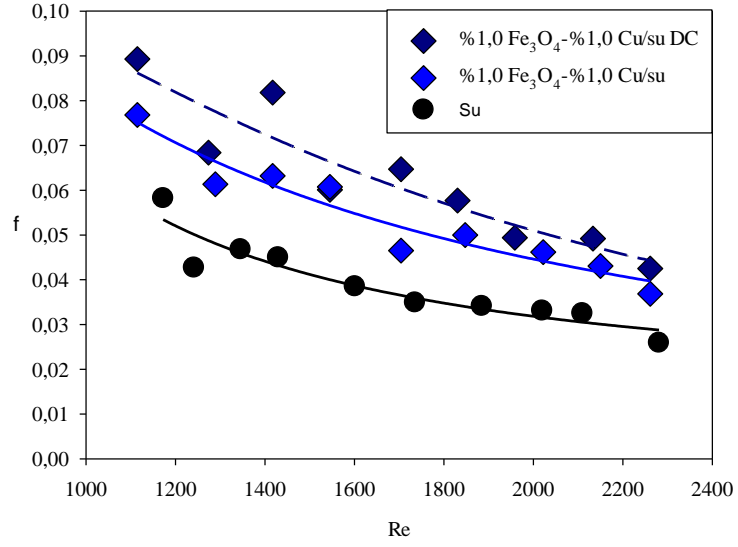
Şekil 5.25. $B=0,3$ T (DC) etkisi altında ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.



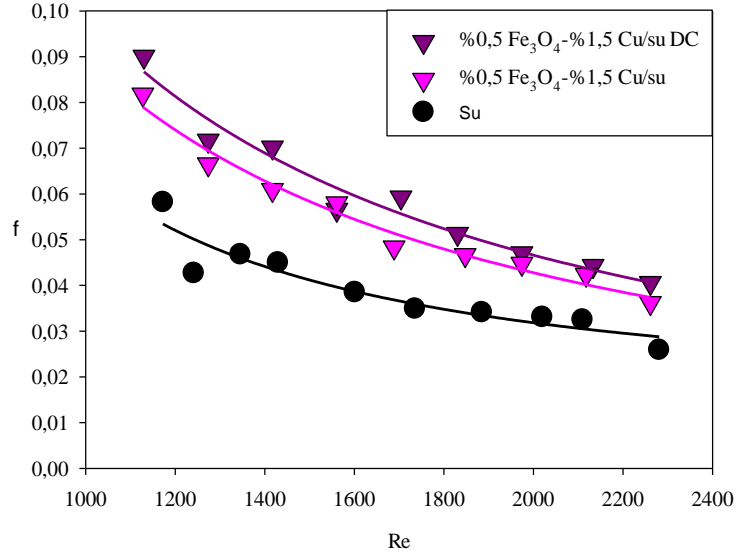
Şekil 5.26. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



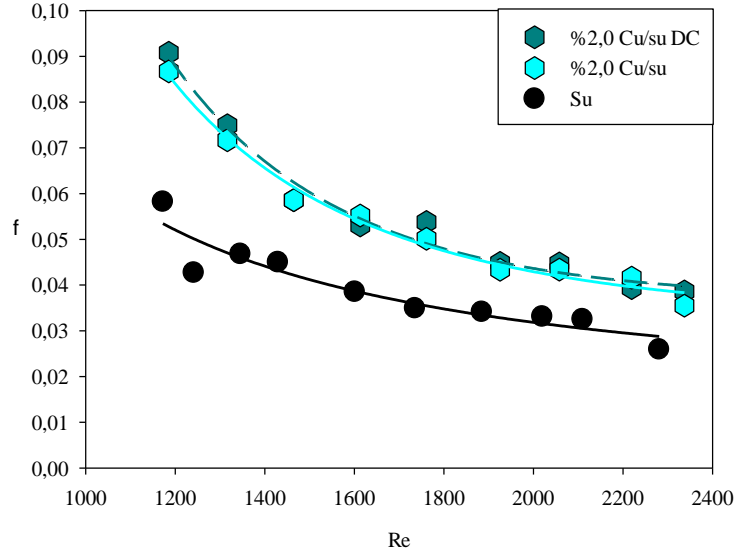
Şekil 5.27. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.28. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.29. %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.30. %2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.

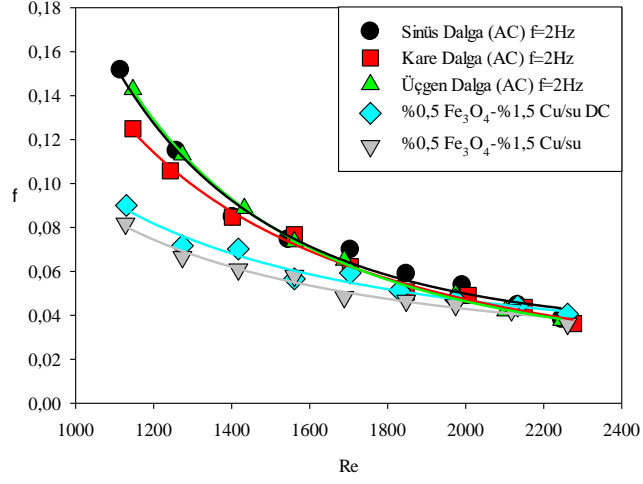
5.1.3.3. Alternatif Manyetik Alan Etkisi (AC) Altında Nanoakışkan Akışı

Alternatif manyetik alan etkisi altında %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı ve %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su ve %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit

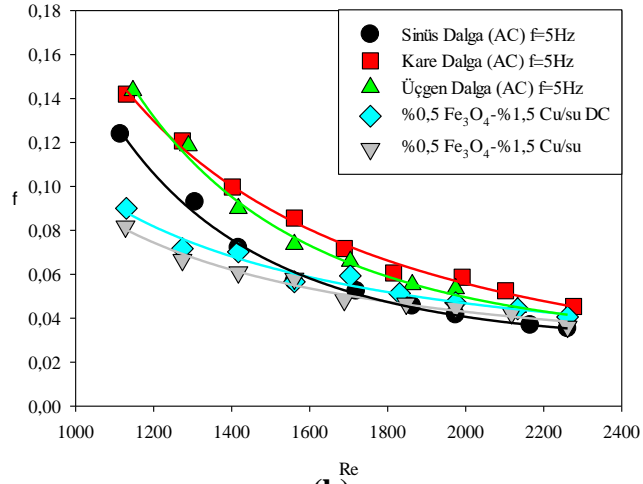
nanoakışkanları akışlarının ortalama Darcy sürtünme faktörleri detaylı olarak incelenmiştir.

5.1.3.3.1. Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su Hibrit Nanoakışkan Akışı

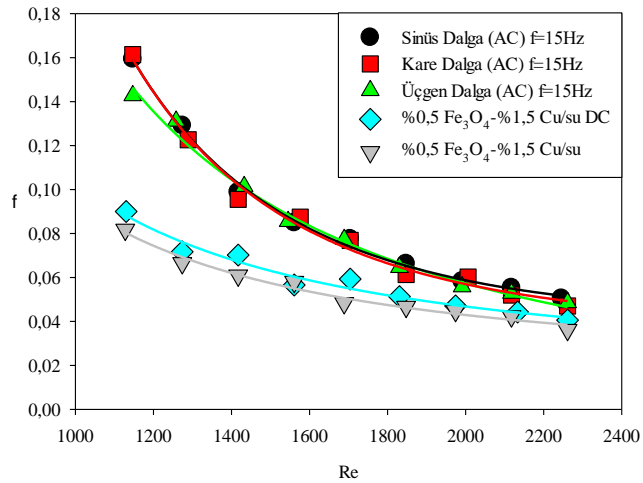
%0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.31-32’de paylaşılmıştır. Çalışma akışkanı olarak bu hibrit nanoakışkan kullanılan deneyler sonucunda alternatif manyetik alan etkisinin ortalama Darcy sürtünme faktörünü yükselttiği göze çarpmaktadır. Frekans arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünü de arttırmaktadır. Bakır nanopartikül konsantrasyonunun diğer hibrit nanoakışkanlara göre daha az olması, manyetik alandan daha az etkilenme sonucu ortalama Darcy sürtünme faktörünün de daha az artmasına yol açmaktadır.



(a)

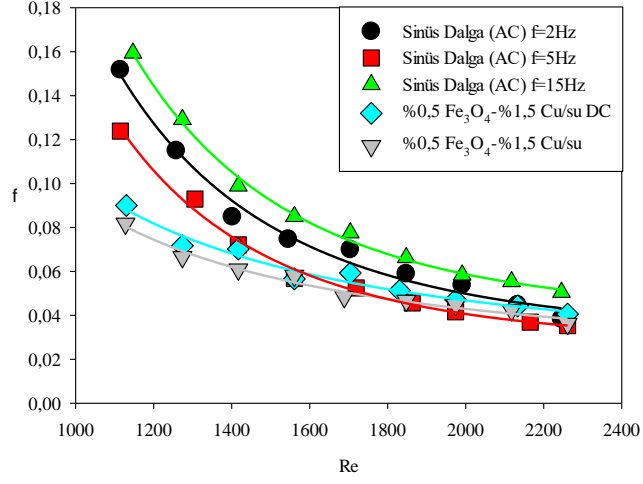


(b)

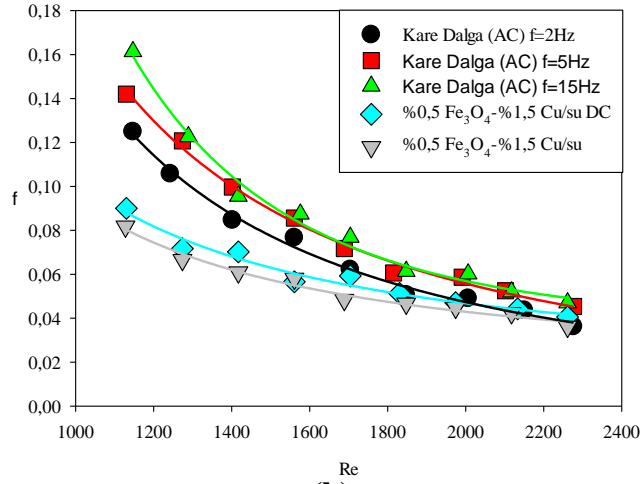


(c)

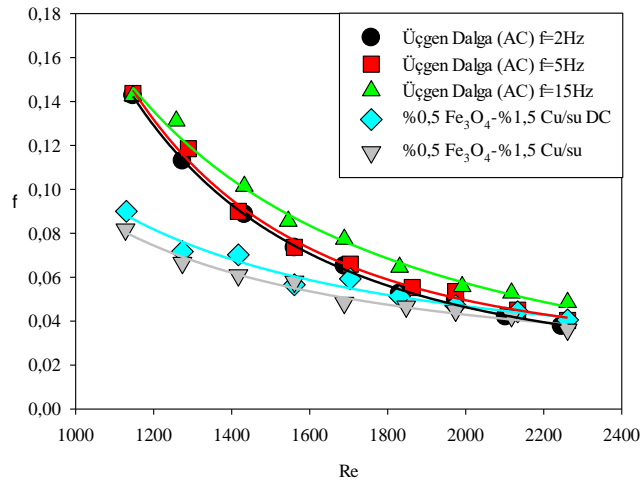
Şekil 5.31. %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.



(a)



(b)



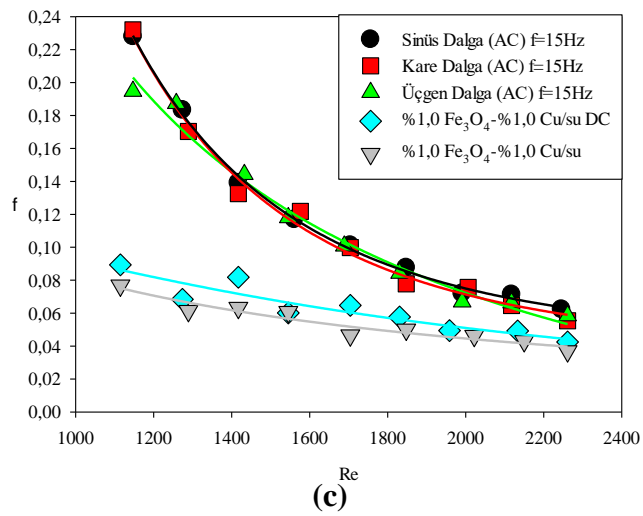
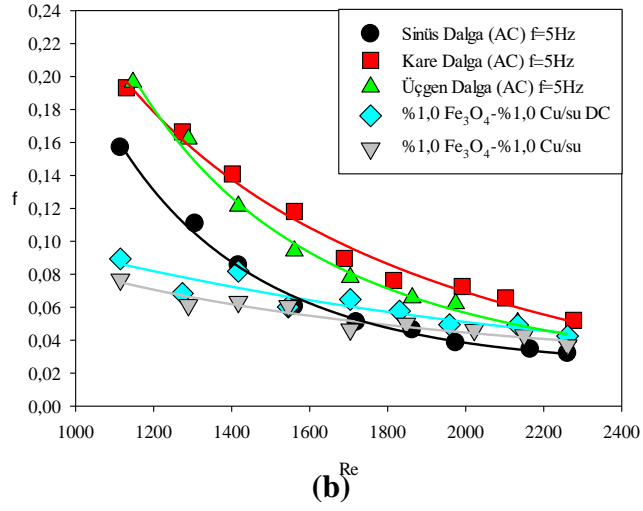
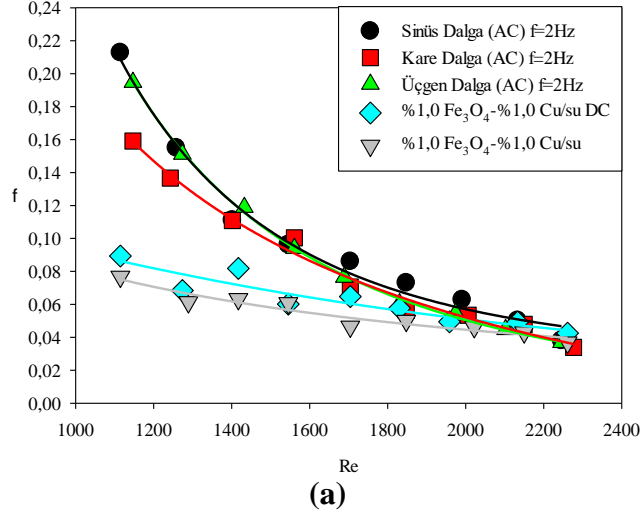
(c)

Şekil 5.32. %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.

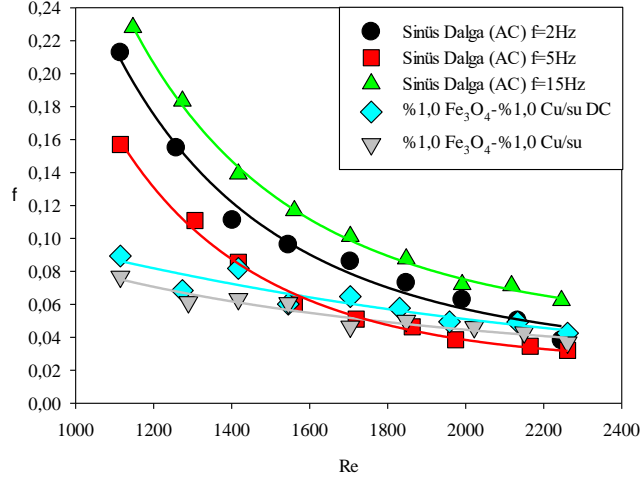
5.1.3.3.2. Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su Hibrit Nanoakışkan Akışı

%1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.33-34'te gösterilmiştir. Çalışma akışkanı olarak bu hibrit nanoakışkan kullanılan deneyler sonucunda alternatif manyetik alan etkisinin ortalama Darcy sürtünme faktörünü yükselttiği göze çarpmaktadır. Alternatif manyetik alan etkisinin, ortalama Darcy sürtünme faktörünü saf suya oranla 3 kata kadar arttırdığı görülmektedir. Bu sonuçlar, alternatif manyetik alanın akış karışımı etkisini kanıtlamaktadır. Kutupları sürekli değişen alternatif manyetik alan etkisiyle iki kutup arasında hareket eden Fe₃O₄ nanopartikülleri, akışı kısıtlayarak basınç düşümünü artırmaktadır ve sonucunda ortalama Darcy sürtünme faktörü yükselmektedir.

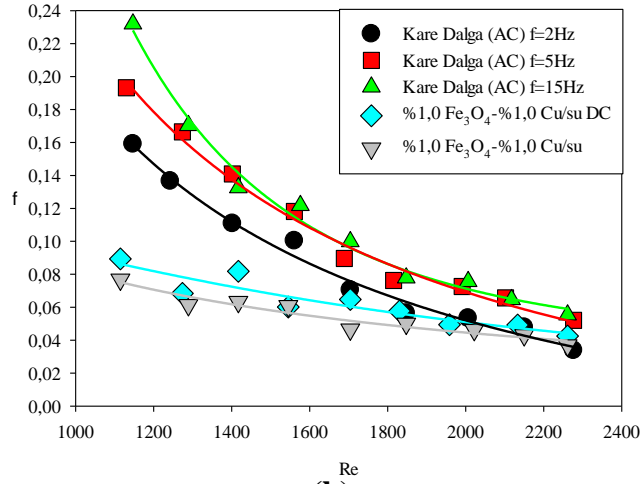
Grafikler incelendiğinde genellikle frekans arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünün de arttığı ve $f=15$ Hz frekansta üç dalga tipi alternatif manyetik alan etkisinin sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. En düşük ortalama Darcy sürtünme faktörü $f=5$ Hz frekansta sinüs dalga alternatif manyetik alan ile elde edilmekteyken düşük Re değerlerinde saf su ve sabit manyetik alan sonucuna göre yüksek, yüksek Re değerlerinde ise saf suya kıyasla ortalama %10 daha düşük çıkmaktadır. En yüksek ortalama Darcy sürtünme katsayısına ise $f=15$ Hz frekansta kare dalga alternatif manyetik alan ile ulaşılmıştır.



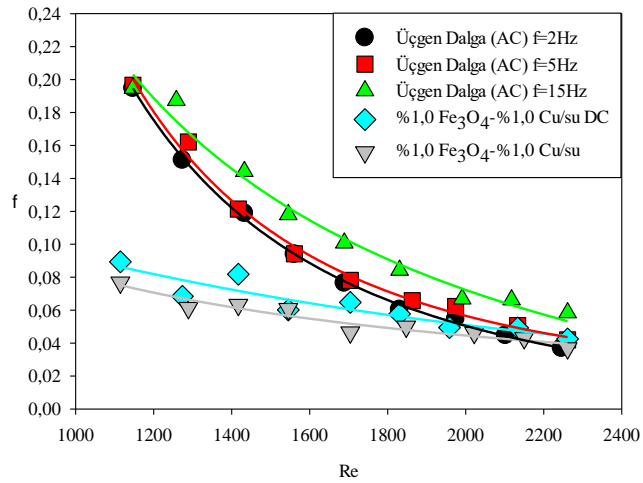
Şekil 5.33. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.



(a)



(b)

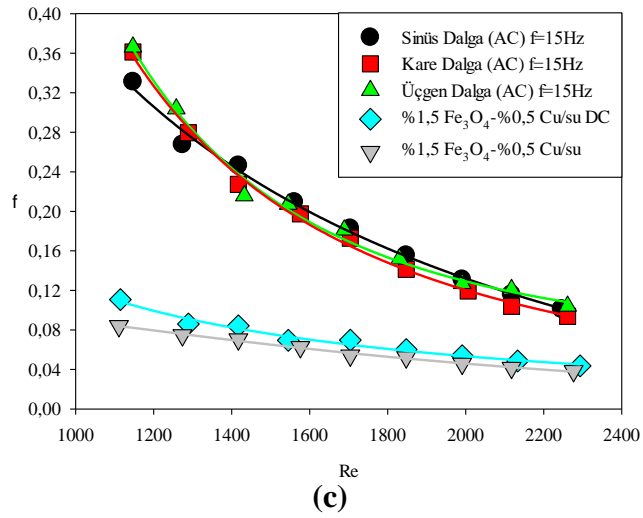
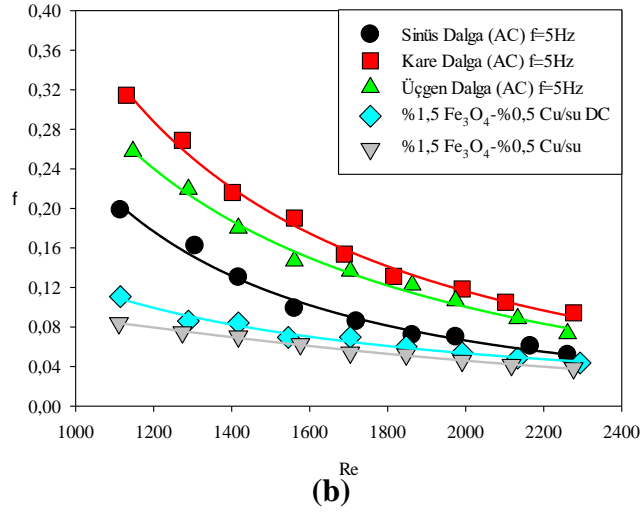
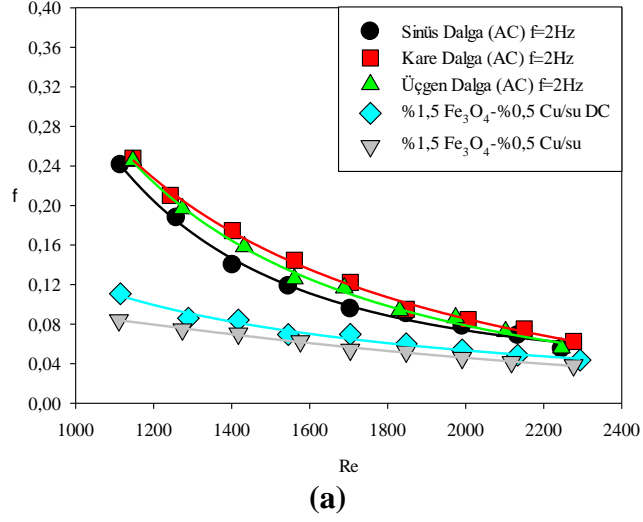


(c)

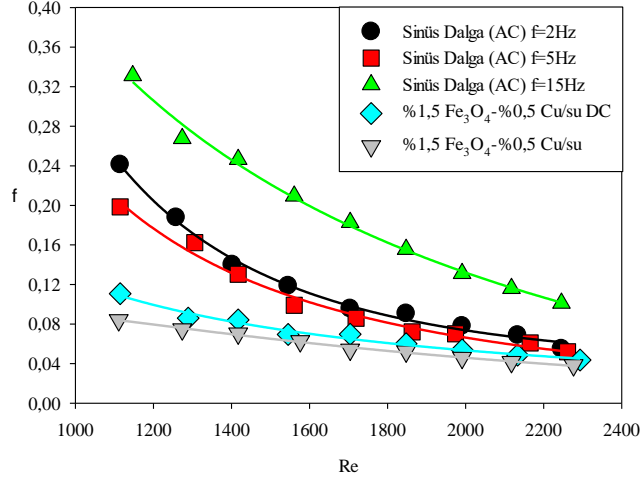
Şekil 5.34. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.

5.1.3.3.3. Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su Hibrit Nanoakışkan Akışı

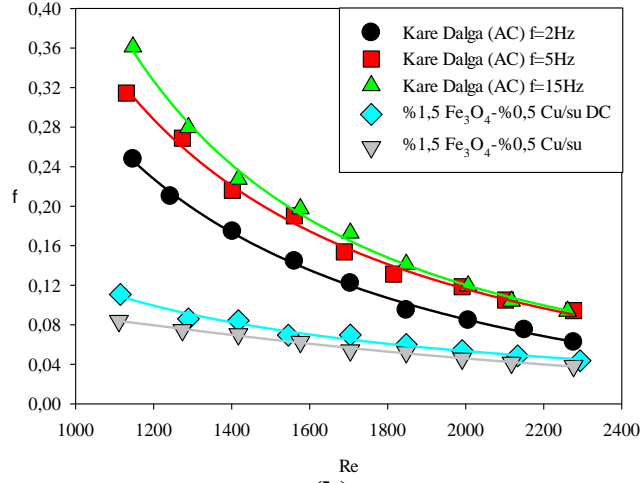
%1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.35-36'da paylaşılmıştır. Frekans arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünün arttığı görülmektedir. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı, %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerine göre daha az; %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su nanoakışkanına göre ise daha fazla ortalama Darcy sürtünme faktörü vermektedir. Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünü artırdığı alternatif manyetik alan etkisi altında elde edilen sonuçlardan görülebilmektedir. $f=15$ Hz frekansta tüm dalga tiplerindeki sonuçlar birbirine yaklaşmakta olduğu fark edilmektedir. Öte yandan aralarından en düşük ortalama Darcy sürtünme faktörü sonucuna, $f=5$ Hz frekansta sinüs dalga tipi alternatif manyetik alan uygulamasında ulaşılmıştır.



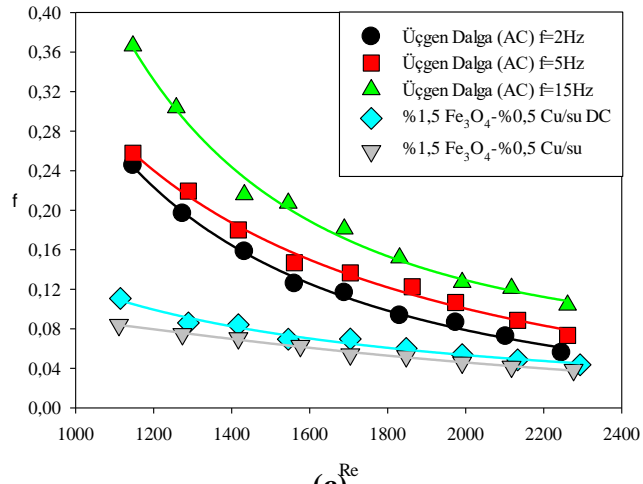
Şekil 5.35. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.



(a)



(b)



(c)

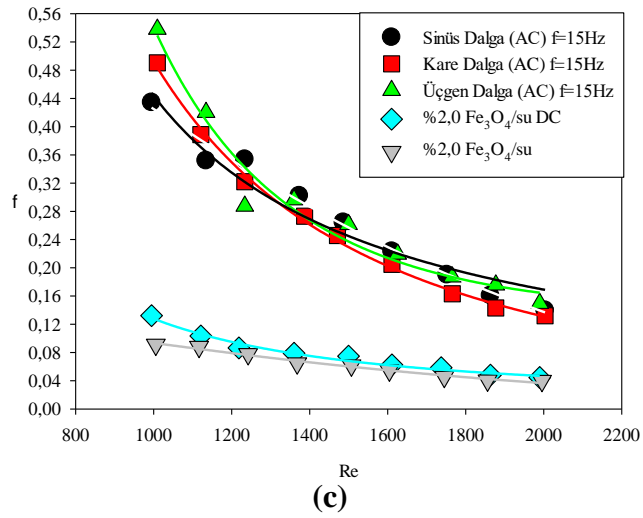
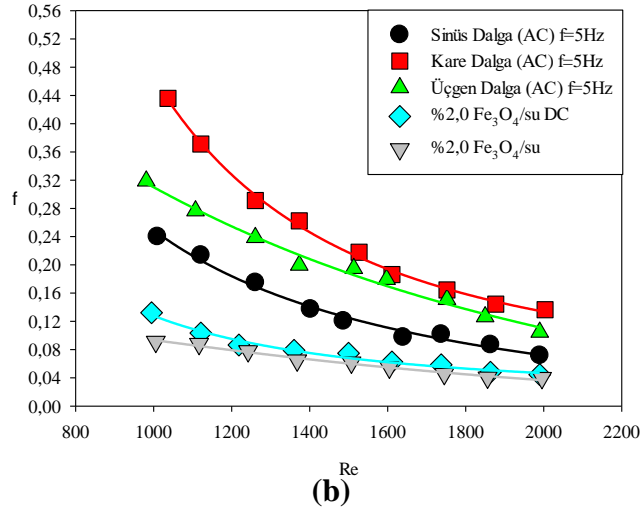
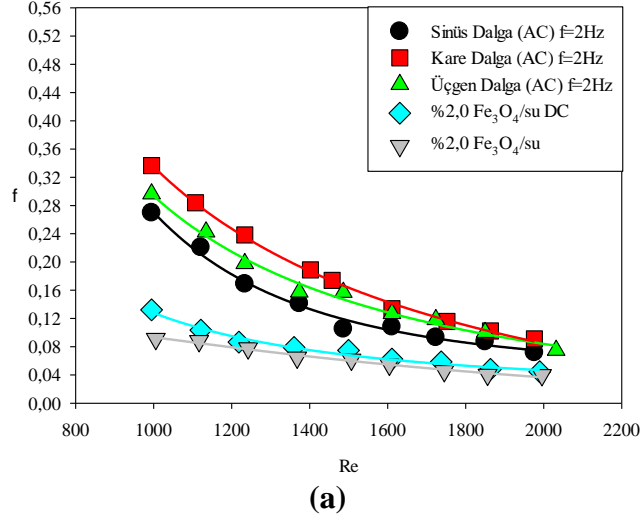
Şekil 5.36. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün *Re* değeri ile değişimi.

5.1.3.3.4. Alternatif Manyetik Alan (AC) Etkisi Altında %2,0 Fe₃O₄/su Nanoakışkan Akışı

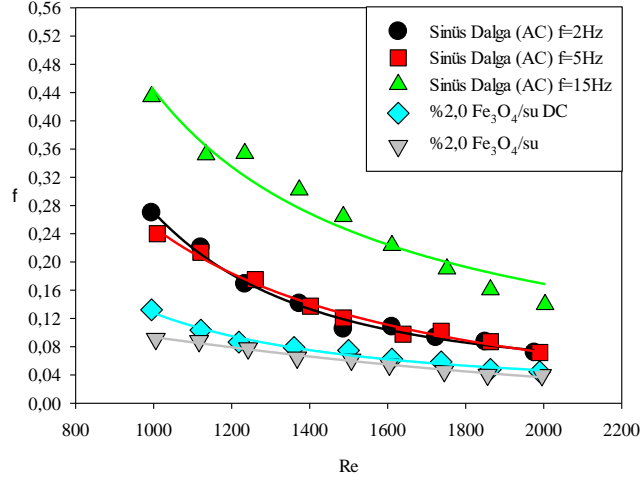
%2,0 Fe₃O₄ /su nanoakışkanı kullanılarak alternatif manyetik alan etkisi altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.37-38'de paylaşılmıştır. Çalışma akışkanı olarak bu nanoakışkan kullanılan deneyler sonucunda alternatif manyetik alan etkisinin ortalama Darcy sürtünme faktörünü 7 kata varan oranlarda sert bir şekilde yükselttiği göze çarpmaktadır.

Çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılan deneylerde alternatif manyetik alan etkisi altında elde edilen ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçlarının tamamı, çalışma akışkanı olarak %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak elde edilen sonuçlardan çok yüksek çıkmaktadır. Bu durum, Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça manyetik alan etkisi nedeniyle ortalama Darcy sürtünme faktörünü daha fazla arttırdığını göstermektedir.

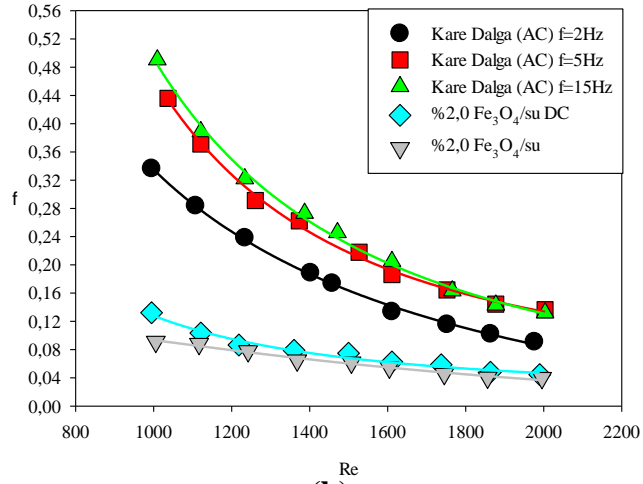
Sonuçlar incelendiğinde en düşük ortalama Darcy sürtünme faktörüne $f=5$ Hz frekansta sinüs dalga ile ulaşılabilirken, en yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü $f=15$ Hz frekansta üçgen dalga tipi ile elde edilmektedir. Ortalama Darcy sürtünme faktörü sonuçları ardından alternatif manyetik alan uygulamasının verimli olmadığı görülmektedir.



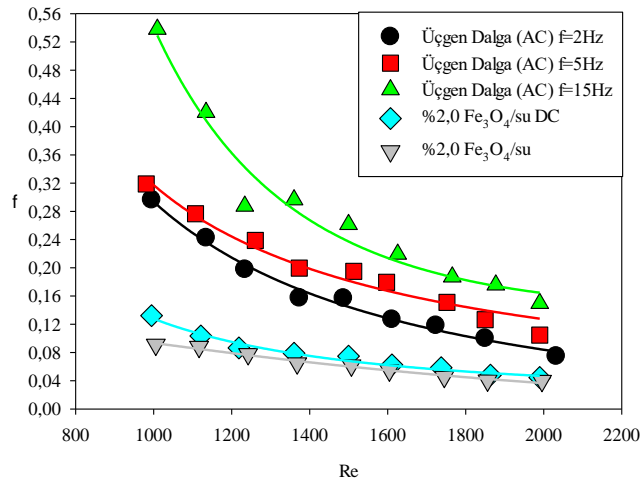
Şekil 5.37. %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanının a) $f=2$ Hz, b) $f=5$ Hz, c) $f=15$ Hz için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.38. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının a) sinüs, b) kare, c) üçgen dalga tipleri için ortalama Darcy sürtünme faktörünün *Re* değeri ile değişimi.

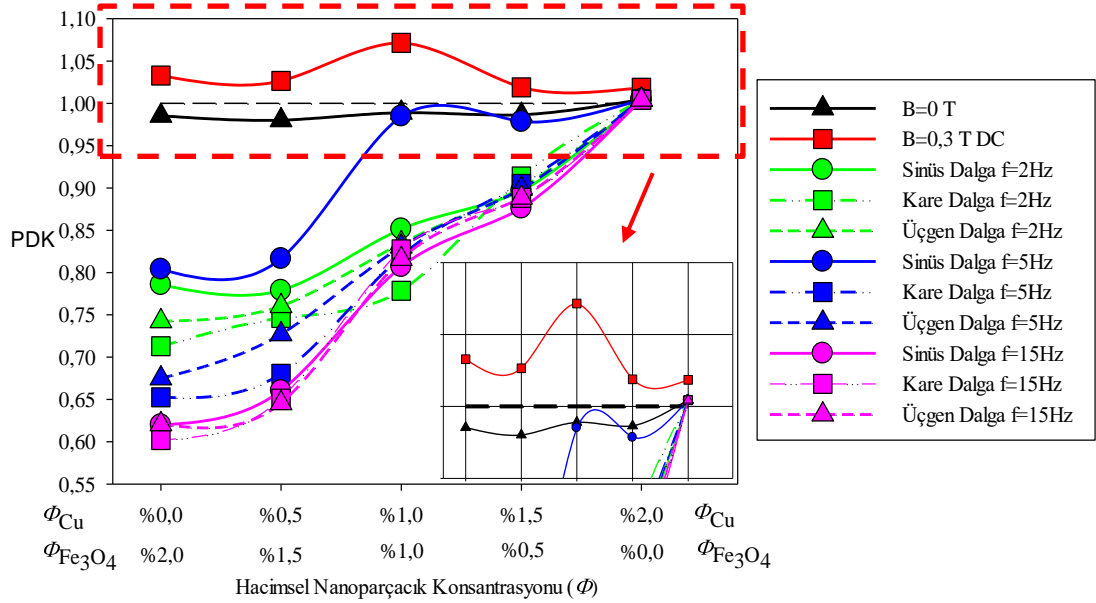
5.1.4. Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK)

Literatürde PEC (Performance Evaluation Criteria) olarak ifade edilen performans değerlendirme katsayısı (PDK), manyetik alan etkisi ve çalışma akışkanı olarak nanoakışkan/hibrit nanoakışkan kullanıldığı durumlardaki sistem verimliliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Isı transferi performansı artışının, ortalama Darcy sürtünme faktörünün artışına oranıyla açıklanmaktadır [45].

Şekil 5.39'da paylaşıldığı gibi, manyetik alan uygulanmayan durumda PDK sayısı 1'den yüksek çıkan tek nanoakışkan %2,0 Cu/su nanoakışkanıdır. Bakırın, ısı iletim katsayısının yüksek olması nedeniyle diğer nanoakışkanlara göre ısı transferi performansı, basınç düşümü artışına göre daha fazla artmaktadır. Diğer yandan %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı ve %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı 1'den düşük PDK sayısı ile karşımıza çıkmaktadır. Elde edilen ısı transferi artışı, ortalama Darcy sürtünme faktörü artışının gerisinde kalmaktadır. Fakat sabit manyetik alan etkisi altında PDK sayısında gözle görülür artış gerçekleşmektedir. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının sabit manyetik alan etkisi altında PDK sayısı 1,03 olarak elde edilirken, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının PDK sayısı 1,07 olarak gerçekleşmektedir. %2,0 Fe₃O₄ /su nanoakışkanının sabit manyetik alan etkisi altında *Nu* değeri en iyi çıkmasına rağmen ortalama Darcy sürtünme faktörünün çok artması nedeniyle PDK değeri hibrit nanoakışkanın altında kalmaktadır. Aynı şekilde hibrit nanoakışkanın *Nu* değeri, nanoakışkanlar arasında 2. en iyi sonuç olarak karşımıza çıksa da ortalama Darcy sürtünme faktörünün daha az artması nedeniyle en verimli nanoakışkan olduğu görülmektedir.

Alternatif manyetik alan uygulamasıyla elde edilen ısı transferi artışı, sabit manyetik alan etkisiyle elde edilenin gerisinde kalması ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün alternatif manyetik alan uygulamasıyla çok artması PDK sayısının 0,5-0,9 aralığında kalmasına sebep olmaktadır. Ortalama Darcy sürtünme faktörünün suya oranla 3-7 kata varan artış göstermesi nedeniyle alternatif manyetik alanın verimli bir kullanım alanı maalesef bulunmamaktadır.

%0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su ve %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanlarının en yüksek *Nu* değerlerinin %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının sabit manyetik alan etkisi altında sunduğu *Nu* değerinin gerisinde kalmaktadır (Şekil 5.23). En verimli hibrit nanoakışkan konsantrasyonunun %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su olduğu Şekil 5.39'da görülebileceği üzere tekrardan kanıtlanmıştır.



Şekil 5.39. Performans değerlendirme katsayılarının karşılaştırması.

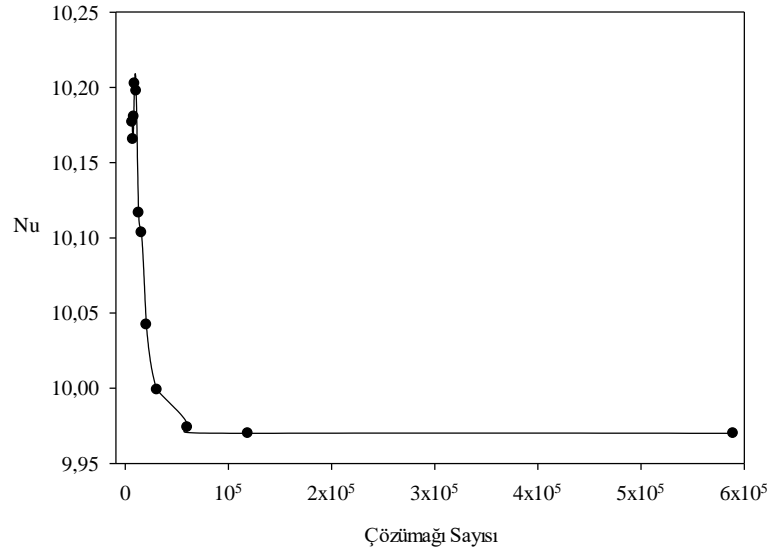
5.2. SAYISAL BULGULAR

Bu bölümde ise sayısal analizleri gerçekleştirilen dairesel kesitli bir kanal içerisinde akan %2,0 Fe₃O₄/su, %2,0 Cu/su nanoakışkanlarının ve farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonlardaki (%1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu, %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu) Fe₃O₄-Cu/su hibrit nanoakışkanlarının manyetik alan olmayan durumda ve $B=0,3$ T büyüklüğünde sabit manyetik alan etkisi altındaki ısı performansları ve akış karakteristikleri laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) detaylı olarak irdelenmiştir.

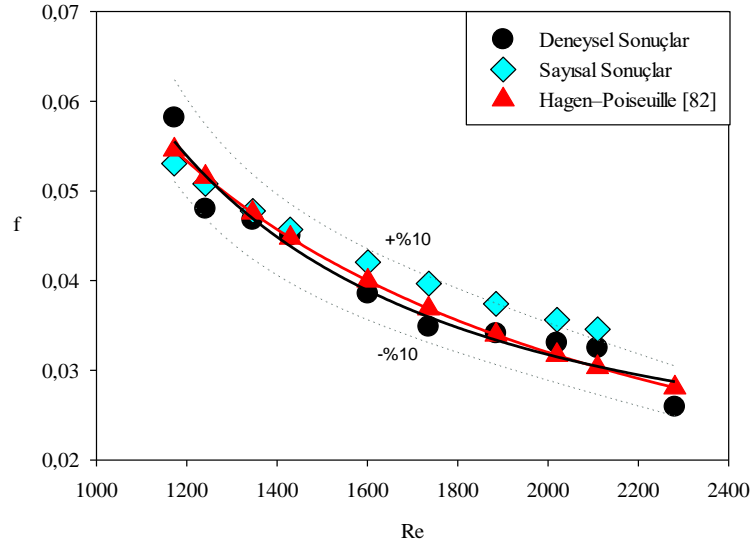
5.2.1. Optimum Çözümünün Bulunması

Sonuçların doğruluğunu etkileyen en önemli faktörler çözümünün hücre sayısı ile kalitesidir. Kötü kaliteli veya düşük hücre sayılı çözüm ağları, sonuçların doğruluğunun azalmasına neden olurken; yüksek çözümü sayısı ise hesaplama

zamanını artırmaktadır. Bazı durumlarda, çok küçük hacimli ağ yapılarının yanlış sonuçlar verdiği literatürde bu alanda gerçekleştirilen çalışmalarda görülmektedir. Bu nedenle, genellikle sayısal çalışmalarda artan ağ yapısı ile sayısal sonuçların değişmediği veya değişiminin kabul edilebilir küçüklükte olduğu ağ sayısı belirlenir. Belirlenen bu ağ sayısına uygun ağ sayısı denir. Bu nedenle, makul hesaplama zamanı içinde sonuçların istenen doğruluğa ulaşmaları için çözümağı çalışması çok önem arz etmektedir. Bu nedenle optimum çözümağının bulunabilmesi amacıyla farklı çözümağı sayılarında sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sayısal çalışmalar neticesinde Şekil 5.40 ve 5.41'den görülebildiği üzere çözümağı sayısı artarken belli bir değerden sonra ortalama Nu ve ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinin belirli bir değere yakınsamaktadır. Bu belirli çözümağı sayısından sonra hata oranı düşmektedir, fakat artan çözümağı sayısı hesaplama zamanını da önemli bir ölçüde artırabilmektedir. Tüm bu şartları göz önüne alınarak, bundan sonraki çalışmalar için 60.000 çözümağı sayısına sahip çalışma optimum çözümağı olarak baz alınmıştır.



Şekil 5.40. Ortalama Nu değerinin çözümağı sayısı ile değişimi.

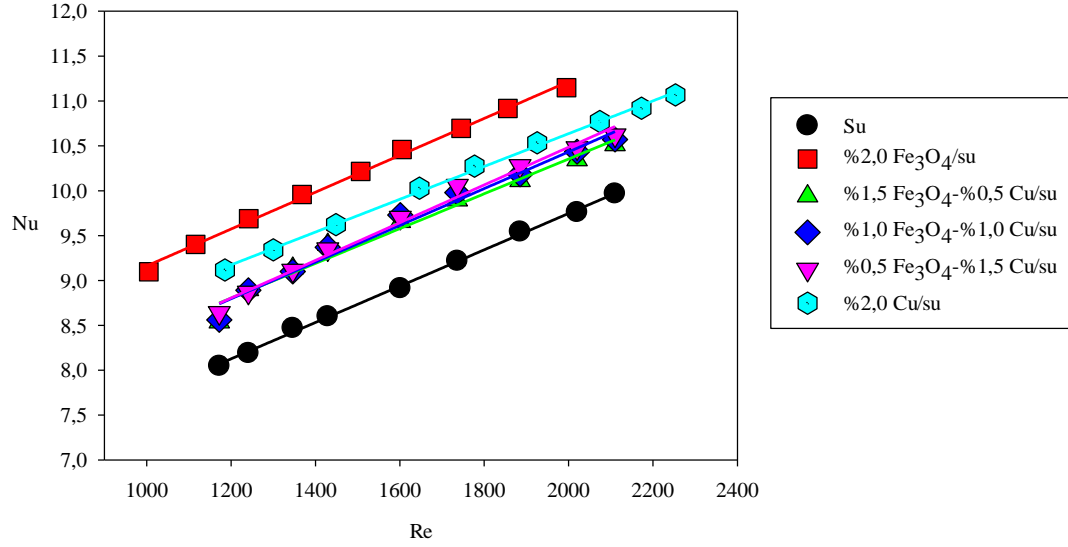


Şekil 5.43. Sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörü değeri sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.

5.2.2. Isı Taşımına Ait Sayısal Sonuçlar

5.2.2.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum

Çalışma akışkanı olarak nanoakışkanlar ve hibrit nanoakışkanlar kullanılan analizler neticesinde ortalama Nu değeri sonuçları Şekil 5.44'te görülebilmektedir. En yüksek sonuca, çalışma akışkanı olarak su kullanılarak elde edilen Nu değeri sonuçlarına göre ortalama %13,5 artış ile %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı ile ulaşılmaktadır. %2,0 hacimsel nanopartikül konsantrasyona sahip Cu/su nanoakışkanı ise suya oranla %11,0 daha fazla Nu değeri sunmaktadır. Hibrit nanoakışkanlar ise suya oranla ortalama %6,0 artışla birbirine benzer Nu değeri göstermektedir.



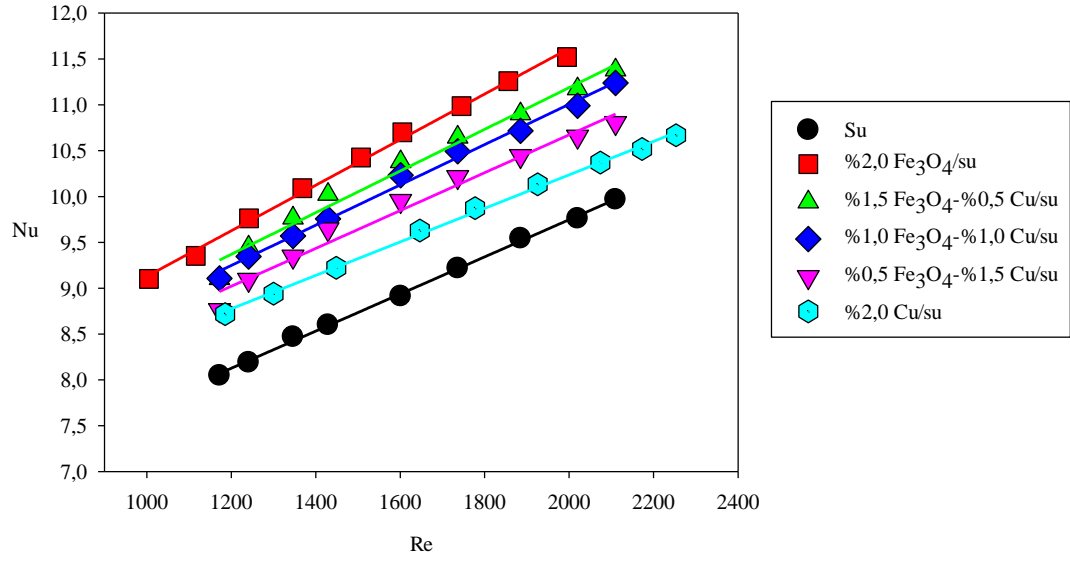
Şekil 5.44. Nanoakışkanların $B=0$ T durumunda ısıl performansının Re değerine göre değişimi.

5.2.2.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı

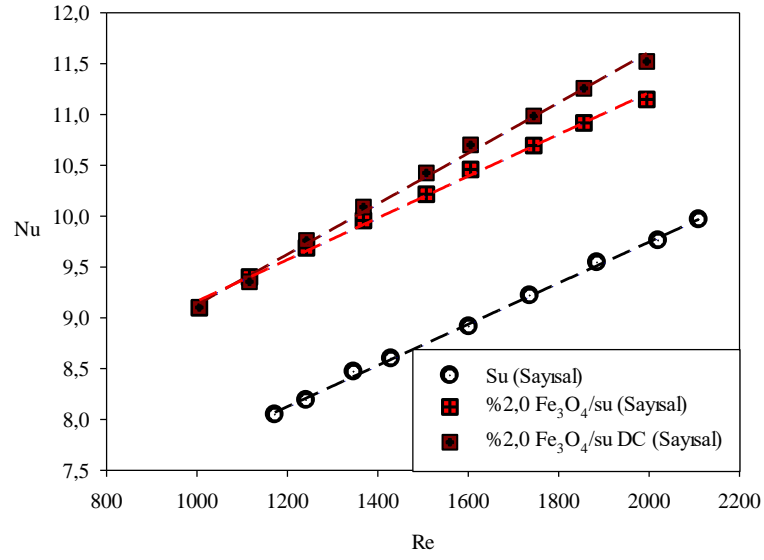
Sabit manyetik alan uygulanan durumda ise Nu değeri sonuçlarında artış göze çarpmaktadır. Fe_3O_4 hacimsel nanopartikül konsantrasyonu ile manyetik alan etkisi altında elde edilen Nu değerinin doğru orantılı olduğu Şekil 5.45'ten görülmektedir. %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı manyetik alan etkisi altında, manyetik alan olmayan duruma göre Nu değeri %2,0 artış göstermektedir. Bu sonuçla %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı diğer nanoakışkanlara göre yüksek ısıl performansı ile öne çıkmaktadır (Şekil 5.46).

Hibrit nanoakışkanlar ise manyetik alan etkisi ile hacimsel nanopartikül konsantrasyonları oranında Nu değeri artışı sunmaktadır. Suyu oranla Nu değerinde %11,9-%14,5 artış sunan hibrit nanoakışkanlar ortalama ısıl performans sunmaktadır (Şekil 5.47-49).

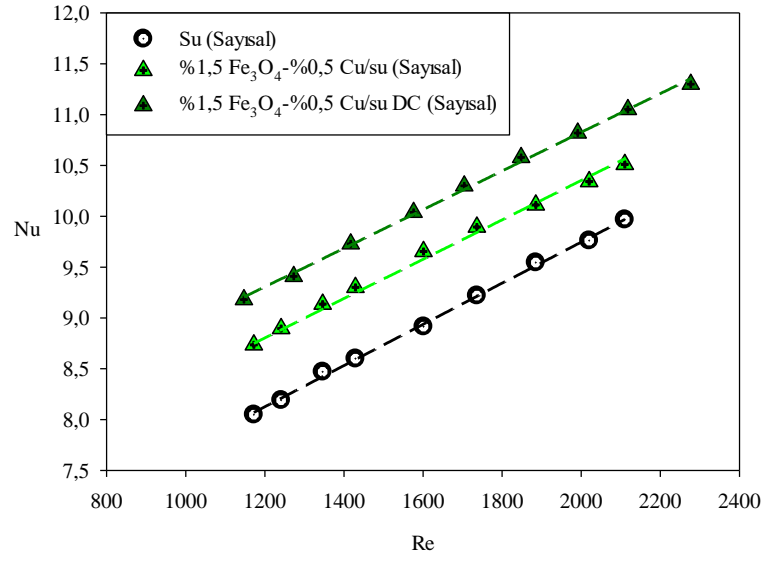
Şekil 5.50'de %2,0 Cu/su nanoakışkanı ise manyetik alandan etkilenmemesi sebebiyle manyetik alan olmayan durumda ve manyetik alan uygulanan durumda suya göre %11,0 artış ile aynı sonucu göstermiştir.



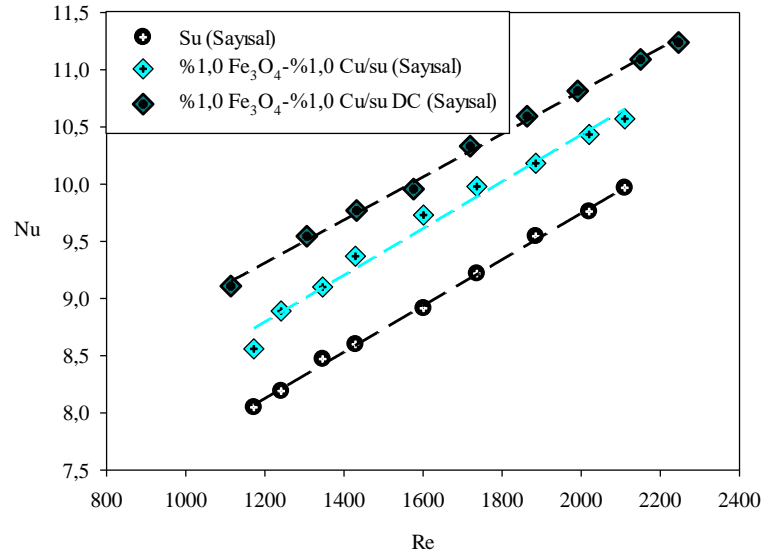
Şekil 5.45. $B=0,3$ T (DC) etkisi altında ortalama Nu değerinin Re değeri ile değişimi.



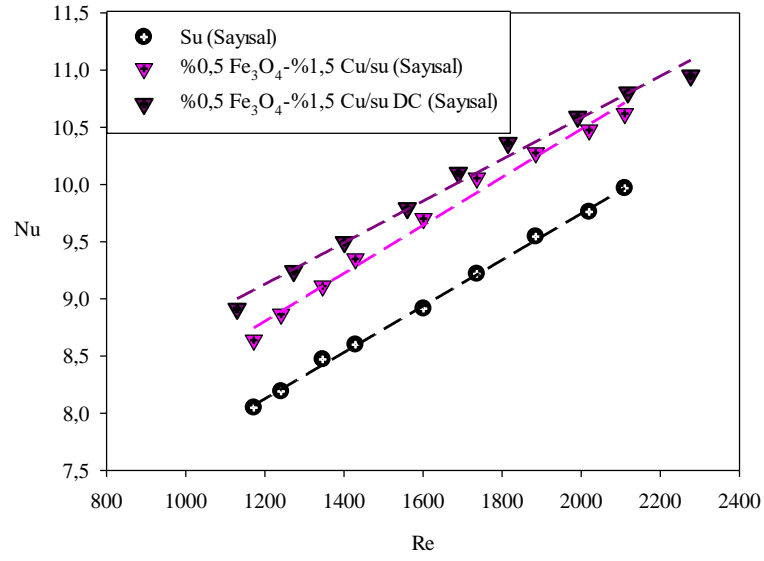
Şekil 5.46. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması.



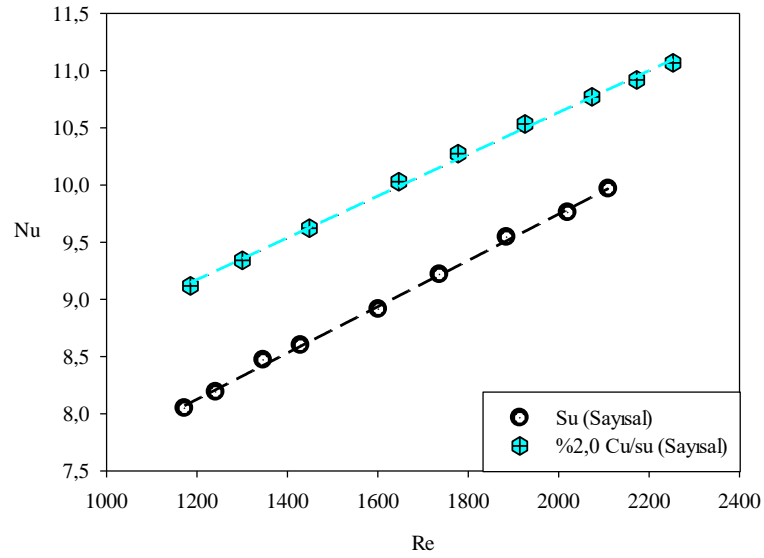
Şekil 5.47. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması:



Şekil 5.48. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması:



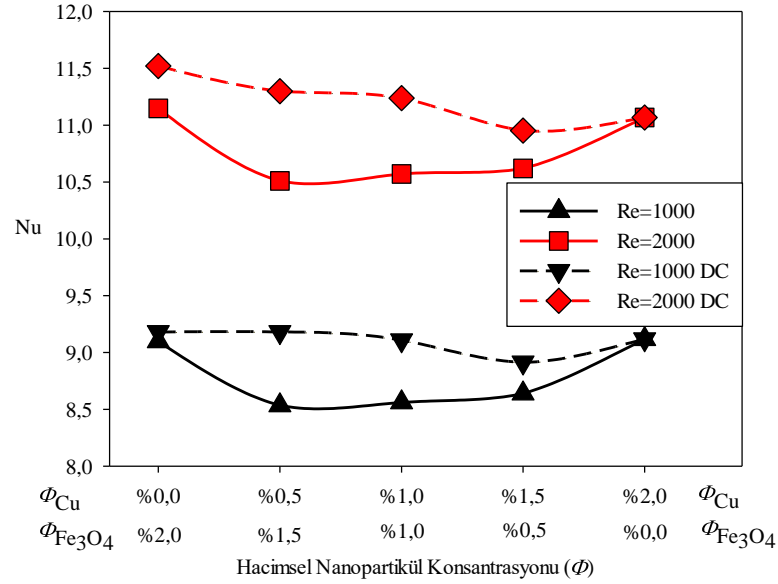
Şekil 5.49. %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Nu değerinin karşılaştırması:



Şekil 5.50. %2,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının ortalama Nu değerinin karşılaştırması.

Şekil 5.51’de $Re=1000$ ve $Re=2000$ akış şartları için, hacimsel nanopartikül konsantrasyonu değişimine göre Nu değerini manyetik alanın uygulanmadığı ve manyetik alan etkisi altında görülebilmektedir. %2,0 Fe₃O₄/su ve %2,0 Cu/su nanoakışkanları sayısal analizlerde en iyi ısıl performansı sunmaktayken, hibrit

nanoakışkanların ısı performansını daha düşük kalmaktadır. Manyetik alan uygulanan durumda hibrit nanoakışkanların ısı performansının arttığı görülmektedir.



Şekil 5.51. Fe₃O₄-Cu/su hibrit nanoakışkanlarının *Nu* değerinin hacimsel nanopartikül konsantrasyonuna göre değişimi.

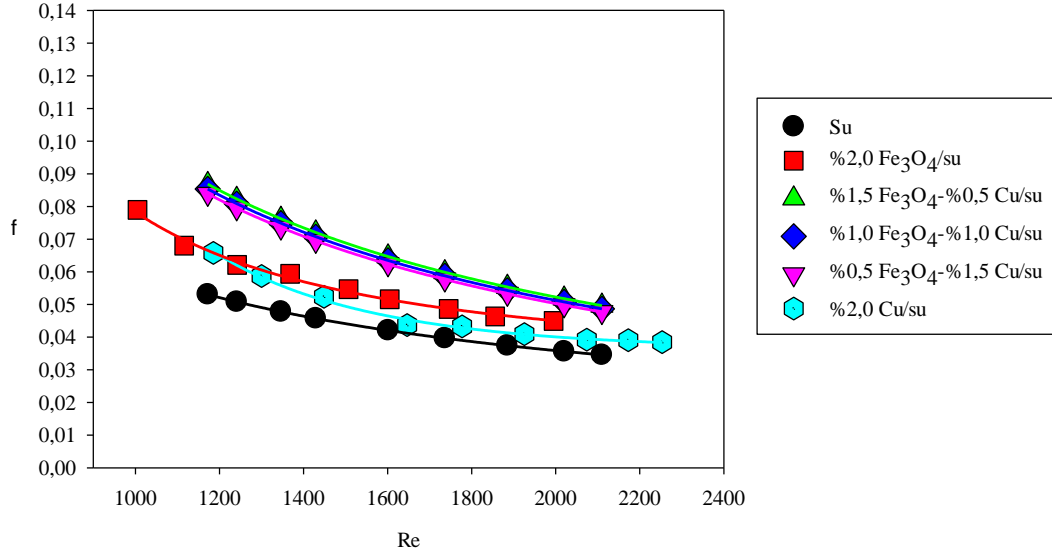
5.2.3. Darcy Sürtünme Faktörüne Ait Sayısal Sonuçlar

Sayısal çalışmanın bu aşamasında, tek nanopartiküllü ve hibrit nanoakışkan akışının manyetik alan uygulanmayan durumda ve sabit manyetik alan etkisi altında ortalama Darcy sürtünme faktörüne olan etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde, %2,0 Fe₃O₄/su ile %2,0 Cu/su nanoakışkanları ve %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su, %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su, %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/s hibrit nanoakışkanları kullanılarak kanalın başlangıcından 1,2-1,3 m aralığına uygulanan $B=0,3$ T sabit manyetik alan etkisi altında laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) ortalama Darcy sürtünme faktörü detaylı olarak incelenmiştir.

5.2.3.1. Çalışma Akışkanı Olarak Nanoakışkan Kullanılan Durum

Şekil 5.52'de manyetik alan uygulanmayan durumda nanoakışkanların ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri paylaşılmıştır. Grafiğe göre %2,0 Fe₃O₄/su ile %2,0 Cu/su

nanoakışkanlarının ortalama Darcy sürtünme faktörleri hibrit nanoakışkanlardan daha düşük çıkmaktadır. Hibrit nanoakışkanlarda artan viskozite bu sonucu doğurmaktadır.

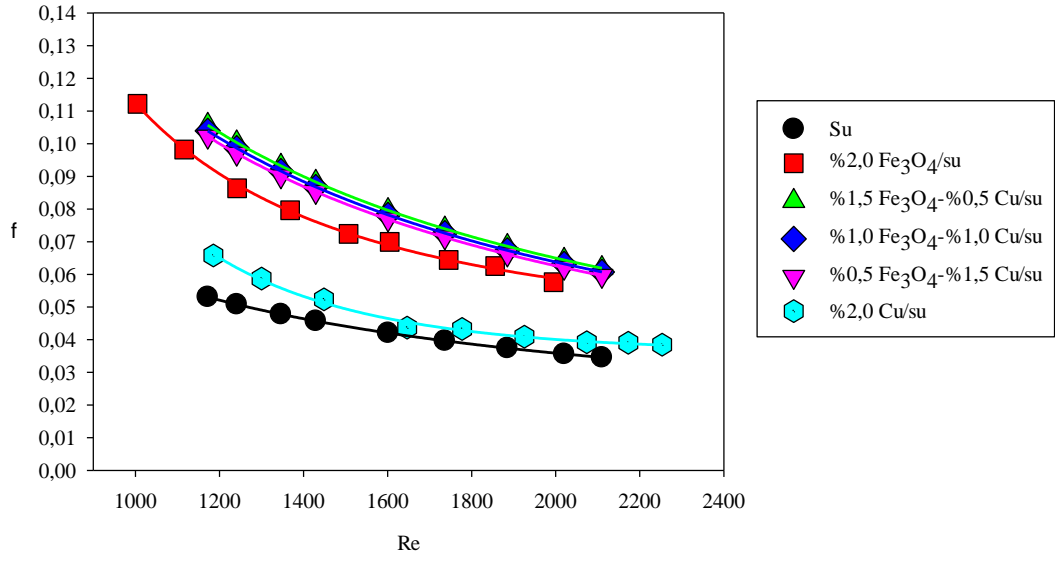


Şekil 5.52. Nanoakışkanların $B=0$ T durumunda ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değerine göre değişimi.

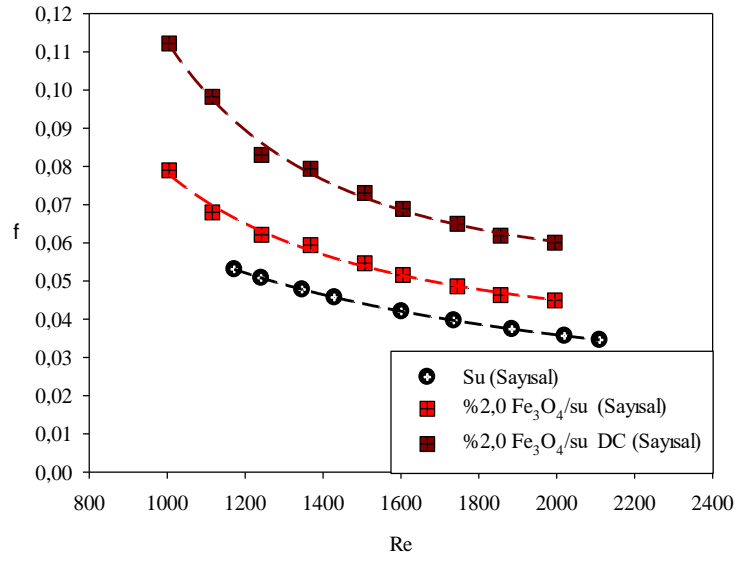
5.2.3.2. Sabit Manyetik Alan Etkisi (DC) Altında Nanoakışkan Akışı

Şekil 5.53'te görüldüğü üzere sabit manyetik alan uygulandığı durumda Fe_3O_4 nanopartikülü içeren tüm nanoakışkanların ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri artış göstermiştir.

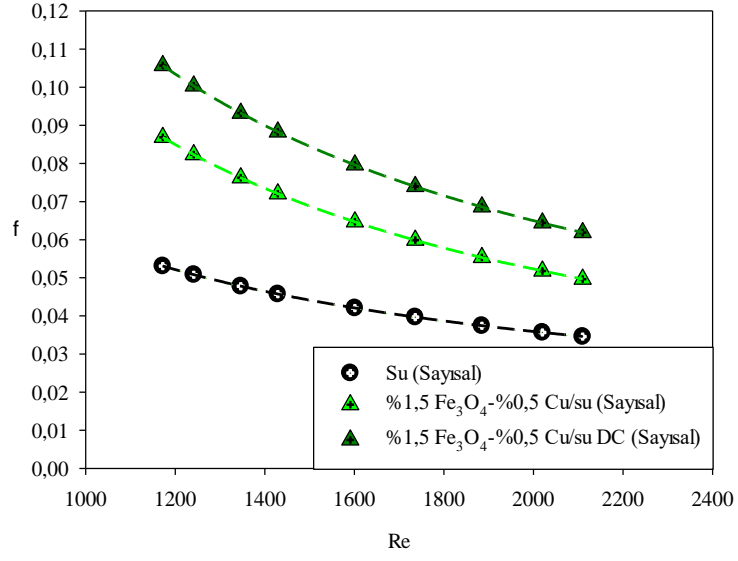
Manyetik alan etkisiyle nanoakışkan akışında ortalama Darcy sürtünme faktörünü artırdığı sayısal analizlerde açıkça görülebilmektedir. %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri, hibrit nanoakışkan akışından düşük çıkmaktadır (Şekil 5.54). En yüksek ortalama Darcy sürtünme faktörü, suya göre 2 kata varan sonuçlarla hibrit nanoakışkan akışında elde edilmiştir. Hibrit nanoakışkanlar arasında ise Fe_3O_4 hacimsel nanopartikül konsantrasyonu ile ortalama Darcy sürtünme faktörü arasında doğru orantılı bir bağlantı bulunmaktadır (Şekil 5.55-57). %2,0 Cu/su nanoakışkanı ise bir değişiklik göstermeyerek en düşük sonucu sunmaktadır (Şekil 5.58).



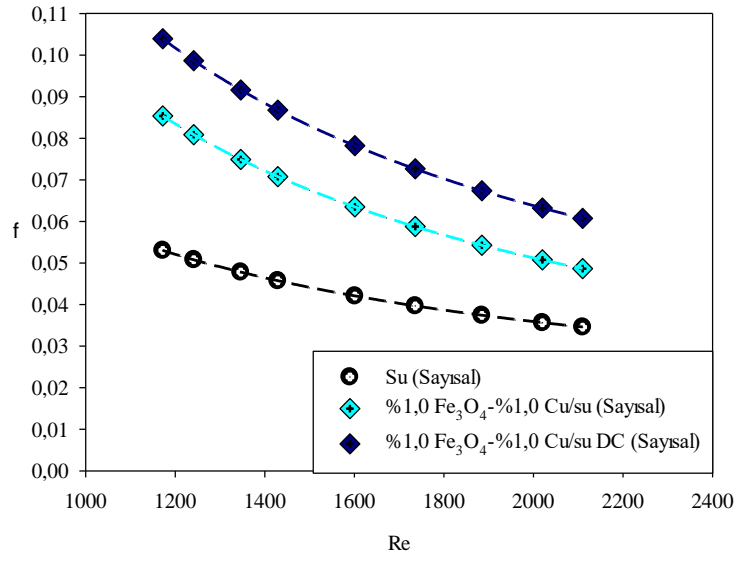
Şekil 5.53. $B=0,3$ T (DC) etkisi altında ortalama Darcy sürtünme faktörünün Re değeri ile değişimi.



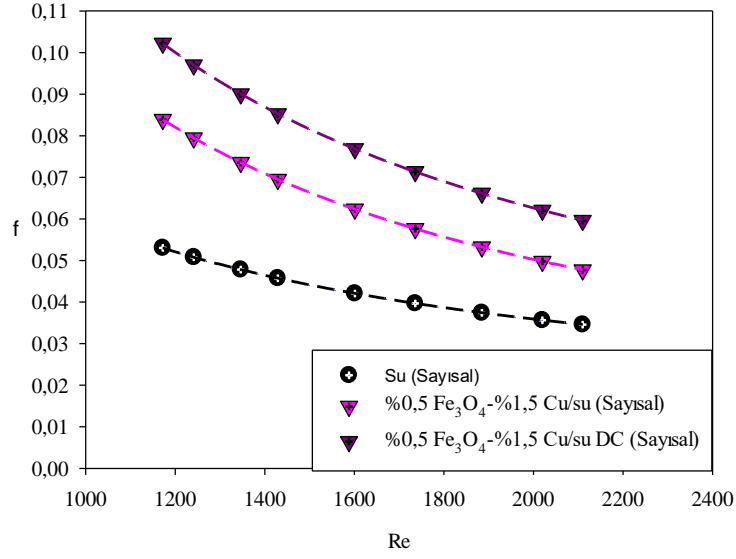
Şekil 5.54. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



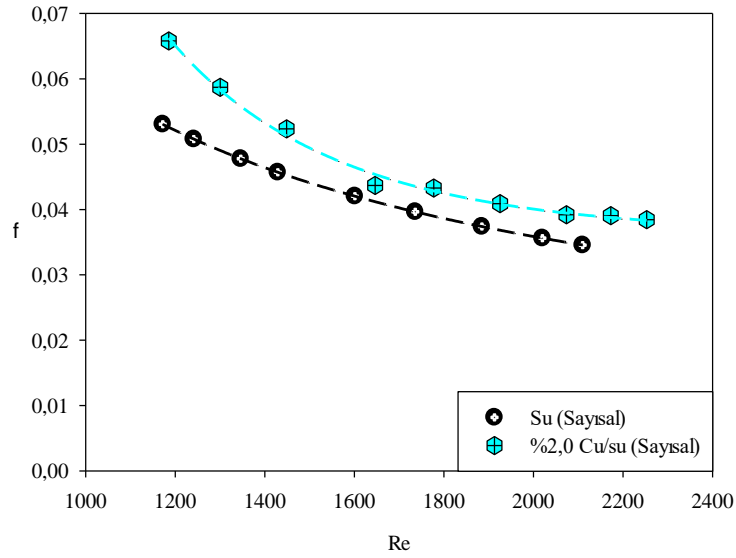
Şekil 5.55. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.56. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.57. %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.

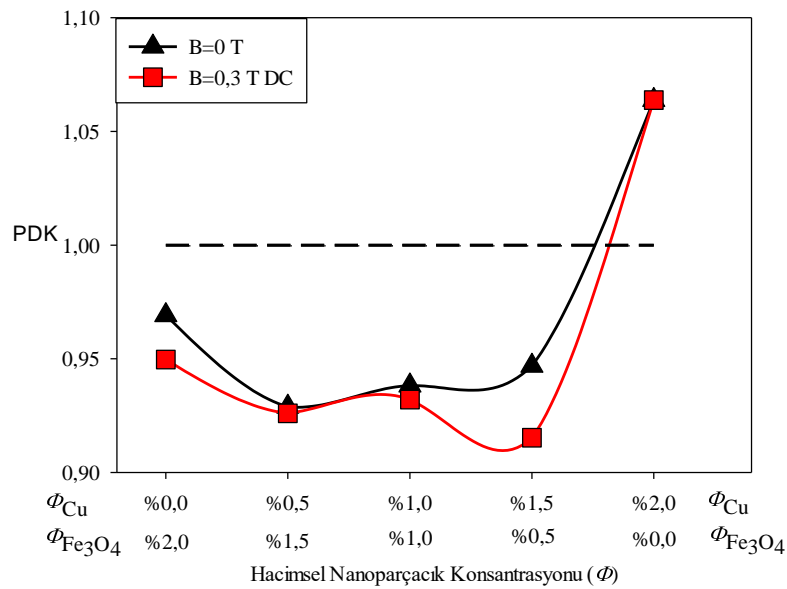


Şekil 5.58. %2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.

5.2.4. Performans Değerlendirme Katsayısı (PDK)

Şekil 5.59'da görüldüğü üzere, manyetik alan uygulanmayan durumda PDK sayısı 1'den yüksek çıkan tek nanoakışkan %2,0 Cu/su nanoakışkanıdır. Bakırın, ısı iletim

katsayısının yüksek olması nedeniyle diğer nanoakışkanlara göre ısı transferi performansı, basınç düşümü artışına göre daha fazla artmaktadır. Diğer nanoakışkanlar için $PDK < 1$ sonucu elde edilmiştir. Dolayısıyla, bu akışkanlar için elde edilen ısı transferi artışı, ortalama Darcy sürtünme faktörü artışının gerisinde kalmaktadır. Fakat sabit manyetik alan etkisi altında PDK sayısında gözle görülür artış gerçekleşmiştir. Sayısal analizler, sabit manyetik alan etkisi altında Nu değerini artırmada etkisiz kalmaktadır. Bu nedenle, sabit manyetik alan etkisi altında Nu değeri en iyi çıkmasına rağmen ortalama Darcy sürtünme faktörünün daha fazla artışı nedeniyle Fe_3O_4 nanopartikülü içeren tüm nanoakışkanlarda PDK değeri 1'in altında kalmıştır. Bu sonuçlara göre sayısal analizin hibrit nanoakışkanların ısı transferi artışı mekanizmalarını elde etmede eksik kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.59. Performans değerlendirme katsayılarının karşılaştırması.

5.3. DENEYSEL VE SAYISAL BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu aşamasında, dairesel kesitli bir kanal içerisinde akan %2,0 Fe_3O_4 /su, %2,0 Cu/su nanoakışkanlarının ve farklı hacimsel nanopartikül konsantrasyonlardaki (%1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu, %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu, %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu) Fe_3O_4 -Cu/su hibrit nanoakışkanlarının laminar akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) manyetik alan olmayan durumda ve $B=0,3$ T büyüklüğünde sabit manyetik alan etkisi altında sayısal

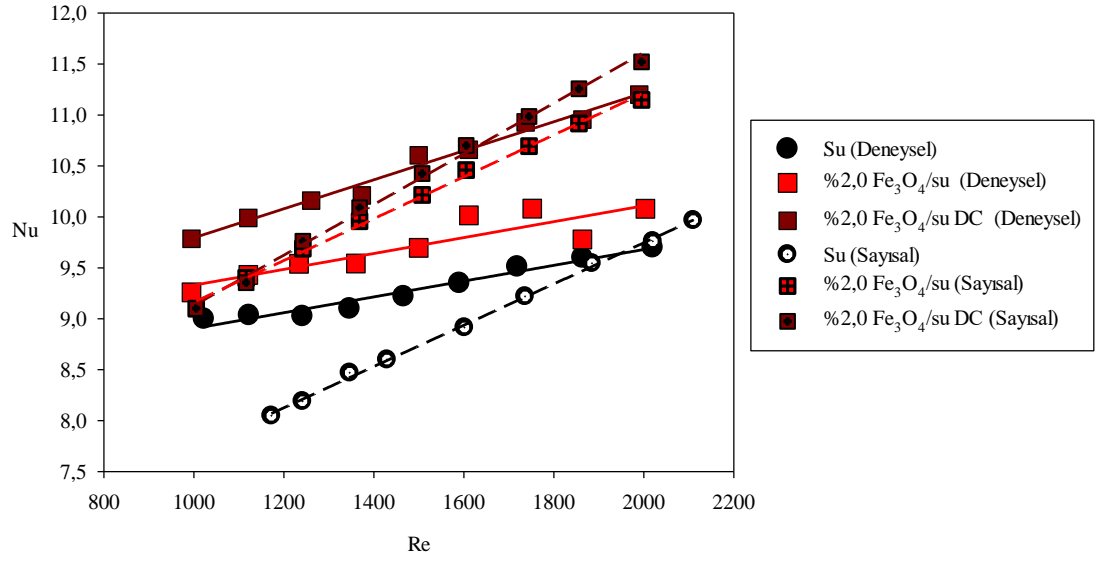
ve deneysel olarak elde edilmiş ısı performansları ve akış karakteristikleri detaylı olarak karşılaştırılmıştır.

5.3.1. Isı Taşımına Ait Sonuçların Karşılaştırılması

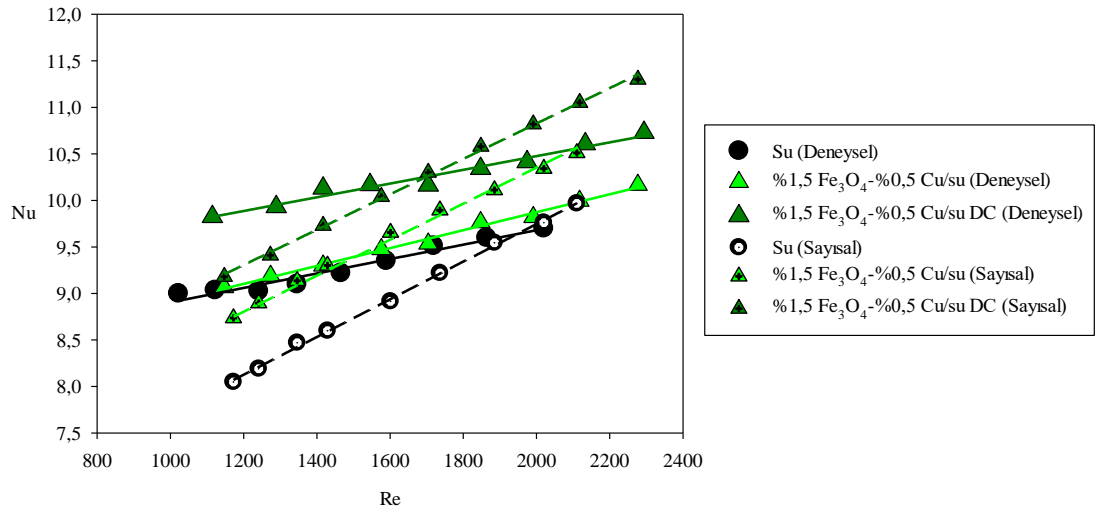
Şekil 5.60'da çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılan deneylere ve analizlere ait sonuçlar görülebilmektedir. Çalışma akışkanı olarak su kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizler, deneysel çalışmaya göre sonuçları daha düşük tahmin etmektedir. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde ise, deneysel çalışmaya göre ortalama %4,7 daha yüksek tahminde bulunmaktadır. Manyetik alan varlığında ise sayısal analizdeki artış, deneysel çalışmaya göre daha düşük kalmaktadır. Sabit manyetik alan etkisinde sayısal analiz sonuçları, deneysel çalışmaya göre ortalama %1,3 daha düşük çıkmıştır.

%1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlarda benzer eğilim Şekil 5.61'de görülmektedir. Manyetik alan uygulanmayan durumda sayısal analiz sonucu deneysel sonuçlara göre ortalama %0,1 daha yüksek tahmin etmekten, sabit manyetik alan etkisinde sonucu aynı tahmin etmiştir. Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımıyla suya göre *Nu* değeri, sabit manyetik alan etkisinde manyetik alan uygulanmayan duruma göre daha fazla artış göstermiştir. Bu sonuçlar sayısal analizin manyetik alan etkisinin ısı transferi mekanizmasını tahmin etmede yetersiz kaldığını göstermiştir.

%1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının manyetik alan uygulanmayan durumda ve sabit manyetik alan etkisi altında ısı transferi performansı deneysel ve sayısal olarak Şekil 5.62'de görülebilmektedir. Manyetik alan uygulanmayan durumda sayısal sonuçlar, deneysel sonuçlara göre ortalama %0,4 daha yüksek çıkmışken, sabit manyetik alan etkisi altında ortalama %3,0 daha düşük elde edilmiştir. Bu hibrit nanoakışkan deneysel sonuçlarda hibrit nanoakışkanlar arasında en yüksek *Nu* değeri vermişken, sayısal sonuçlarda ısı performansını hibrit nanoakışkanlar arasında ortalama kalmıştır.



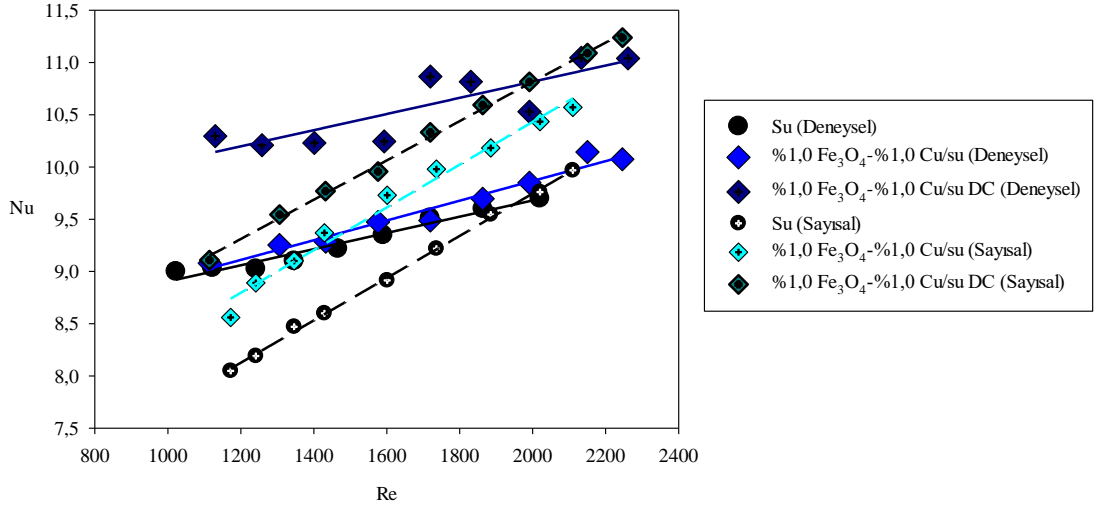
Şekil 5.60. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.



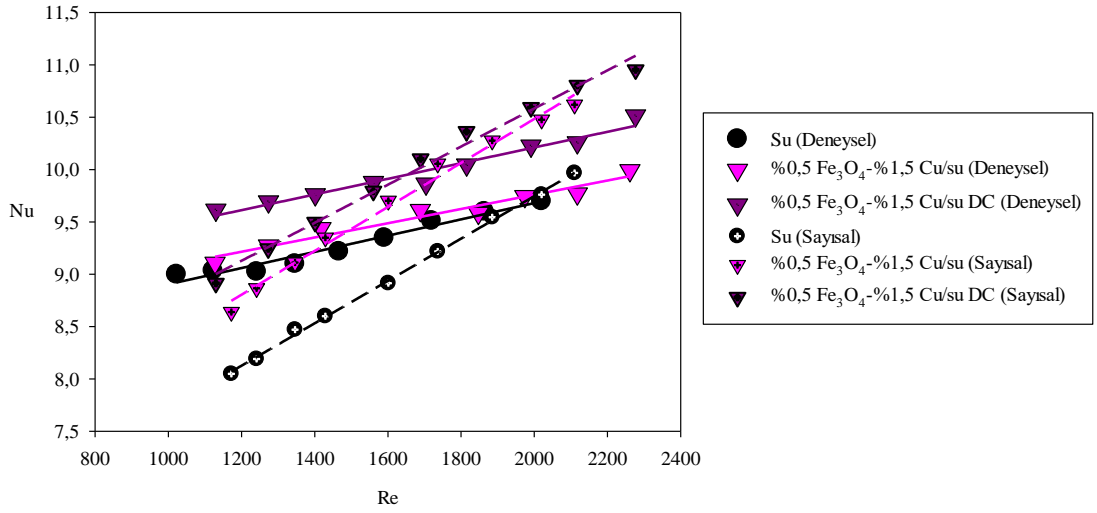
Şekil 5.61. %1,5 Fe₃O₄-%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.

Şekil 5.63'te %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanına ait deneysel ve sayısal sonuçlar incelenmiştir. Manyetik alan uygulanmayan durumda sayısal sonuçlar, deneysel sonuçlara göre ortalama %1,1, sabit manyetik alan etkisi altında ortalama %0,3 daha yüksek çıkmıştır.

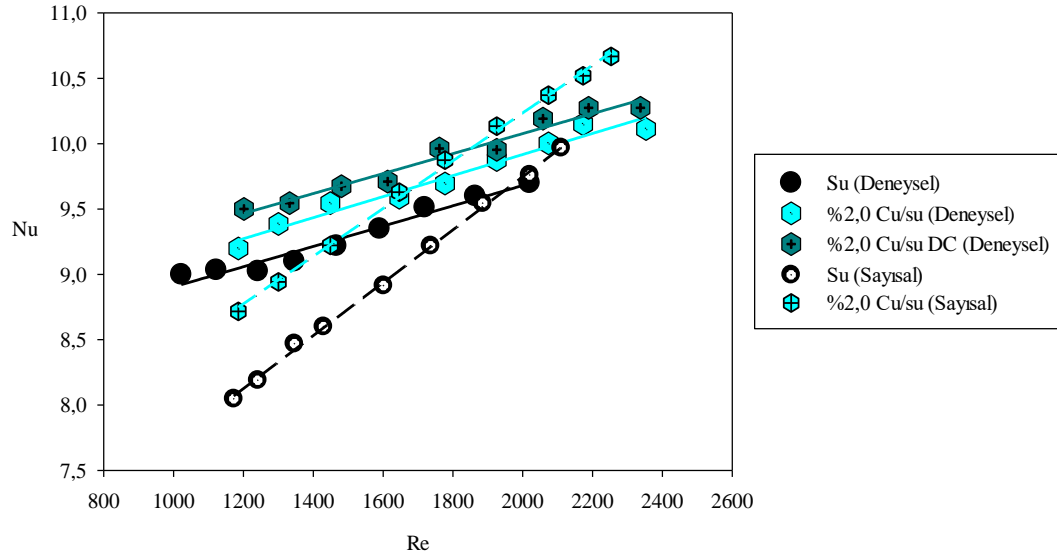
Şekil 5.64'te %2,0 Cu/su nanoakışkanı incelendiğinde ise, sayısal sonuçlar deneysel sonuçlara göre ortalama %2,9 daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.62. %1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.



Şekil 5.63. %0,5 Fe₃O₄-%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.



Şekil 6.64. %2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Nu değerinin karşılaştırması.

5.3.2. Darcy Sürtünme Faktörüne Ait Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 5.65'te çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı kullanılan deneylere ve analizlere ait sonuçlar görülebilmektedir. Su kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizler neticesinde bulunan ortalama Darcy sürtünme faktörü değerleri, deneysel çalışmada elde edilen sonuçlardan %5,3 daha düşük çıkmıştır. Manyetik alan uygulandığında elde edilen artış, deneysel çalışmada elde edilen artıştan daha yüksektir. Sabit manyetik alan etkisinde sayısal analiz sonuçları, deneysel çalışmaya göre ortalama %6,5 daha yüksek çıkmaktadır.

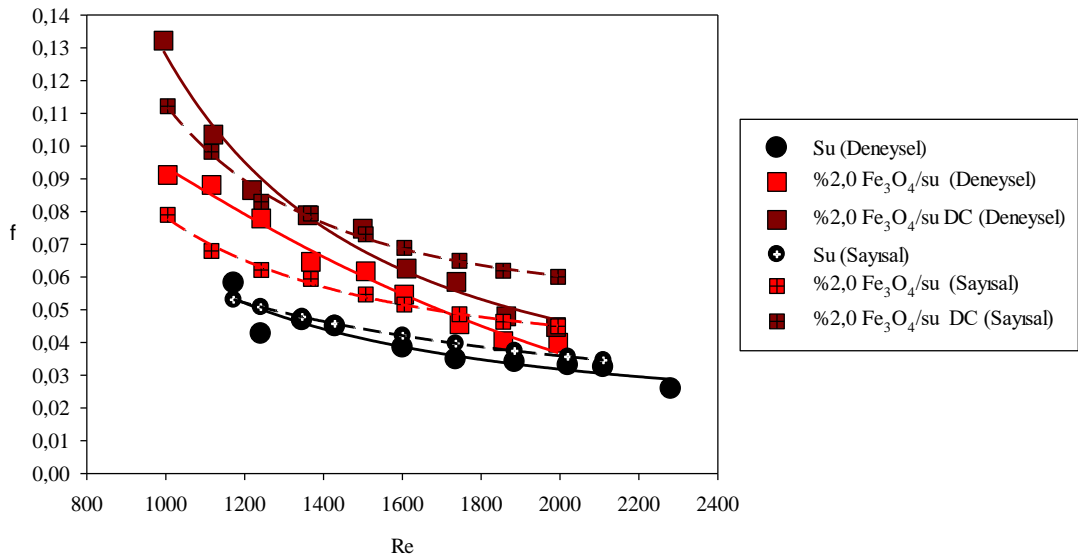
%1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanı kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar Şekil 5.66'da görülmektedir. Manyetik alan uygulanmayan durumda sayısal analiz sonuçları, deneysel sonuçlardan ortalama %16, sabit manyetik alan etkisi altında ortalama %20 daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar, sayısal çalışmanın manyetik alanın sürtünme faktörü mekanizması üstündeki etkisini tahmin etmede yetersiz kaldığını göstermiştir.

%1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının manyetik alan uygulanmayan durumda ve sabit manyetik alan etkisi altında ortalama Darcy sürtünme faktörü Şekil 5.67’de görülebilmektedir. Manyetik alan uygulanmayan durumda sayısal sonuçlar, deneysel sonuçlara göre ortalama %22, sabit manyetik alan etkisi altında ortalama %30 daha yüksek çıkmıştır. Bu hibrit nanoakışkan deneysel sonuçlarda hibrit nanoakışkanlar arasında en düşük ortalama Darcy sürtünme faktörü değeri sunması nedeniyle sayısal sonuçlarla arasındaki hata payı beklenenden fazla çıkmaktadır.

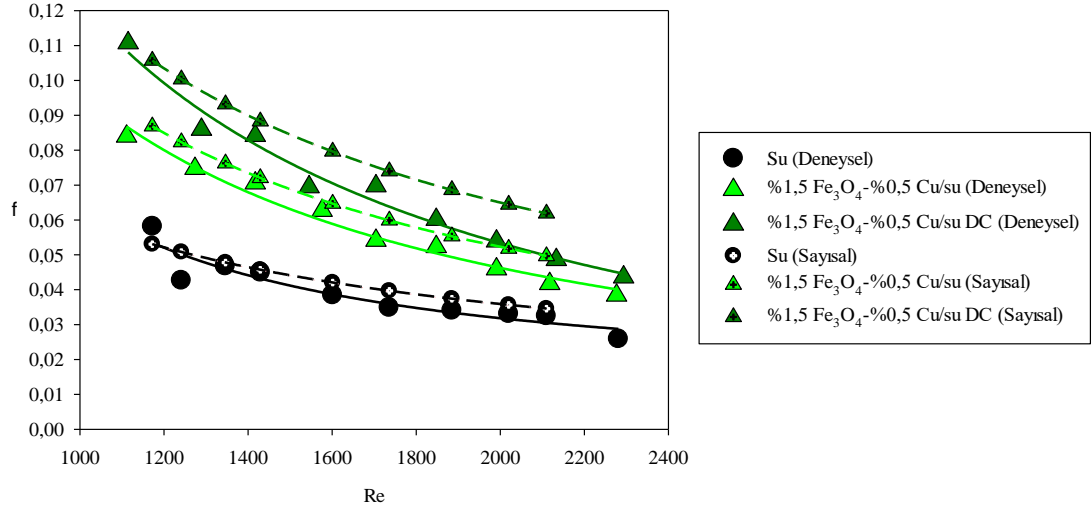
Şekil 5.68’de %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanına ait deneysel ve sayısal sonuçlar incelenebilmektedir. Manyetik alan uygulanmayan durumda sayısal sonuçlar, deneysel sonuçlara göre ortalama %20, sabit manyetik alan etkisi altında ise ortalama %36 daha yüksek çıkmaktadır.

Şekil 5.69’da %2,0 Cu/su nanoakışkanı incelendiğinde ise, sayısal sonuçlar deneysel sonuçlara göre ortalama %11 daha düşük çıkmaktadır.

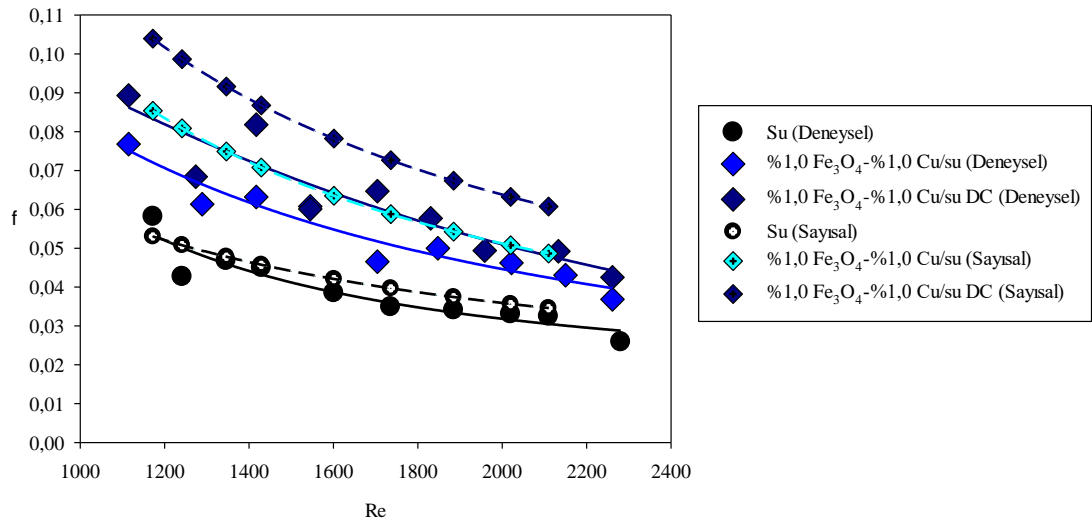
Bu sonuçlar ışığında, sayısal analizin hibrit nanoakışkan akışını doğru tahmin edemediği göze çarpmaktadır. Tek nanopartiküllü nanoakışkan akışını doğru tahmin edebilmektedir.



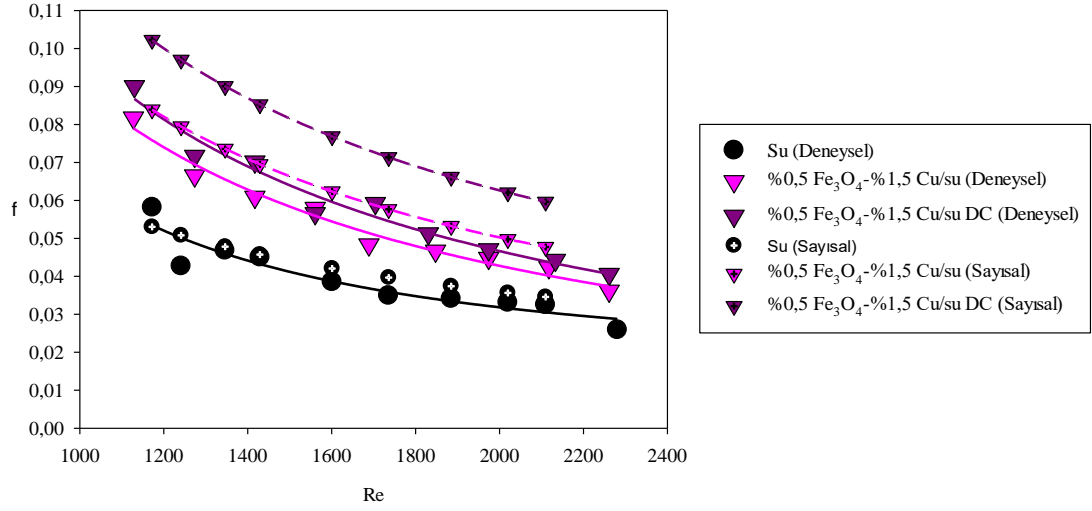
Şekil 5.65. %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



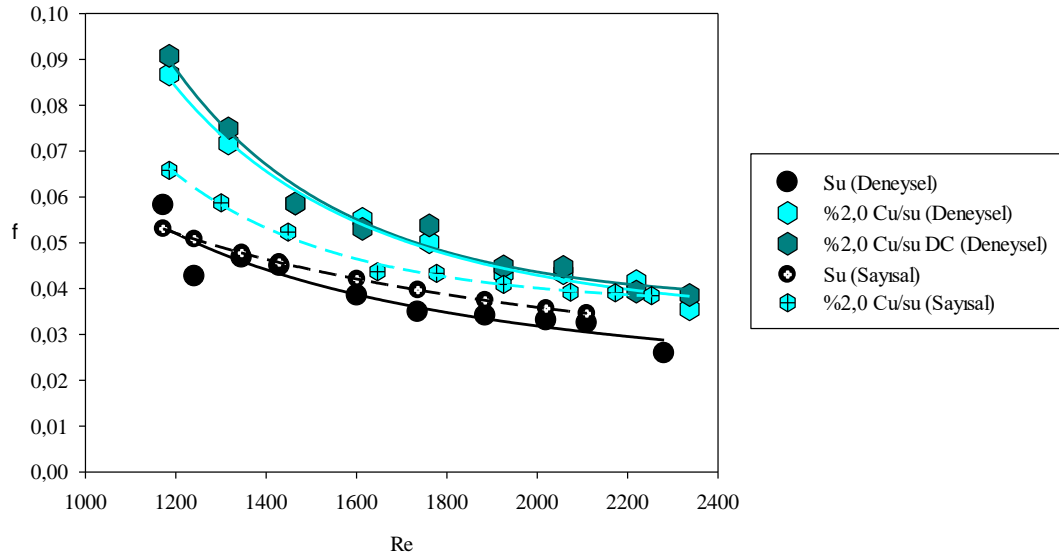
Şekil 5.66. %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.67. %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.68. %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su hibrit nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.



Şekil 5.69. %2,0 Cu/su nanoakışkanının $B=0$ T ve $B=0,3$ T (DC) durumlarında deneysel ve sayısal ortalama Darcy sürtünme faktörünün karşılaştırması.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma deneysel ve sayısal olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, hibrit nanoakışkan akışının alternatif manyetik alan etkisi altında taşınım ısı transferine ve akış karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda, Fe_3O_4 ve Cu nanopartiküllerin farklı hacimsel konsantrasyonlarda baz akışkan su içerisine katıldığı hibrit nanoakışkanlar kullanılarak test kısmının başlangıcından 1,2-1,3 m aralığına uygulanan $B=0,3$ T sabit manyetik alan altında ve çeşitli frekanslarda ($f=2$ Hz, $f=5$ Hz ve $f=15$ Hz) sinüs, kare ve üçgen dalga tiplerinde alternatif manyetik alan etkisi altında ısı ve akış performansları laminer akış şartlarında ($1000 \leq Re \leq 2300$) detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerde manyetik alan büyüklüğü $B=0,3$ T kanal girişinden 1,2 m ve 1,3 m aralığına uygulanmıştır. Çalışmalarda %2,0 Fe_3O_4 /su, %1,5 Fe_3O_4 -%0,5 Cu/su, %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su, %0,5 Fe_3O_4 -%1,5 Cu/su ve %2,0 Cu/su olmak üzere iki nanoakışkan ve üç hibrit nanoakışkan kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda; manyetik alan uygulanmayan durumda çalışma akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanlar arasında %2,0 Fe_3O_4 /su, saf suya oranla %5,28'e varan Nu değeri artışı sunmaktayken, %2,0 Cu/su ise %4,89'a varan artış göstermiştir. Hibrit nanoakışkanlar ise %2,04-%2,36 arasında bir ısı performans artışı sağlamıştır. Bu durum hibrit nanoakışkanların, tek partiküllü nanoakışkanlara kıyasla performansının daha kötü olduğunun göstergesi olarak elde edilmiştir.

Sabit manyetik alan uygulandığı durumda ise yine %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı saf suya göre %14,29'a varan Nu değeri artışı ile en iyi performansı vermektedir. Sabit manyetik alan etkisi altında Fe_3O_4 hacimsel nanopartikül konsantrasyonu ile Nu değeri doğru orantılı sonuç vermektedir. Cu/su nanoakışkanı bakırın manyetiklenme özelliği olmaması sebebiyle manyetik alan altında Nu değerinde artış göstermemektedir. Manyetik nanopartikül hacimsel konsantrasyonu, hibrit nanoakışkanlarda Nu değerini

artırmada temel nedenlerdir. Manyetik alan sebebiyle tutulan, zincir benzeri yapı kuran manyetik nanopartiküller, yerel Nu değerinin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca, manyetik alan nedeniyle akış içinde tutulan nanopartiküller akışı bozarak, ısıl sınır tabakayı bozmakta ve akış karışımına yol açmaktadır. Sabit manyetik alan etkisi nedeniyle cidarda oluşan nanopartikül birikintisi akışın yerel olarak hızlanmasını sağlayarak yerel Nu değerinin artışına yol açtığı düşünülmektedir.

%2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı $f=5$ Hz sinüs dalga tipinde alternatif manyetik alan etkisi altında, suya göre %18 daha fazla ısıl performans ile tüm sonuçlar arasında en yüksek sonucu sunmaktadır. %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı sabit manyetik alan etkisi altında, suya göre %12,97 artış ile üçüncü en yüksek ısıl performansı sunmaktadır. %2,0 Cu/su nanoakışkanı ise suya göre %5,57 artış ile manyetik alan uygulamaları arasında en kötü ısıl performansı vermektedir. Her bir nanoakışkan için optimum frekans ve dalga tipi farklılık göstermektedir.

%2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkan akışının ortalama Darcy sürtünme faktörü manyetik alanın olmadığı durumda suya kıyasla ortalama %52, sabit manyetik alan etkisi altında ise ortalama %84 artış meydana gelmektedir. Hibrit nanoakışkanın ortalama Darcy sürtünme faktörü manyetik alan olmayan durumda saf suya kıyasla ortalama %32, sabit manyetik alan etkisi altında ise ortalama %53 artmaktadır. Fe_3O_4 nanopartikülleri manyetik alan etkisi ile tutulduğundan basınç düşümünü artırmaktadır. Bu etki %2,0 Fe_3O_4 /su nanoakışkanı ile %1,0 Fe_3O_4 -%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanı ile görülebilmekteyken sabit manyetik alan etkisinde %2,0 Cu/su nanoakışkanında Nu değerinde olduğu gibi ortalama Darcy sürtünme faktöründe de bir değişiklik ile karşılaşılmamaktadır. Bakır nanopartikülleri manyetik alandan etkilenmemesi sebebiyle manyetik alan olmayan durumda saf suya kıyasla ortalama %31 artış ve manyetik alan etkisi altında ortalama %35 artış ile aynı sonuç göstermektedir.

Alternatif manyetik alan etkisi, ortalama Darcy sürtünme faktörünü saf suya oranla 3-7 kata kadar arttırdığı görülmektedir. Bu durum, alternatif manyetik alanın akış karışımını etkisini kanıtlamaktadır. Kutupları sürekli değişen alternatif manyetik alan etkisiyle iki kutup arasında hareket eden Fe_3O_4 nanopartikülleri, akışı kısıtlayarak

basınç düşümünü artırmaktadır ve sonucunda ortalama Darcy sürtünme faktörü yükselmektedir.

Bu nedenle alternatif manyetik alan etkisi altında PDK sayısı 0,5-0,8 aralığında çıkmaktadır. %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanının sabit manyetik alan etkisi altında PDK sayısı 1,03 olarak elde edilirken, % 1,0 Fe₃O₄-%1,0 Cu/su hibrit nanoakışkanının PDK sayısı 1,07 olarak ulaşılmaktadır. %2,0 Fe₃O₄ /su nanoakışkanının sabit manyetik alan etkisi altında *Nu* değeri en iyi çıkmasına rağmen ortalama Darcy sürtünme faktörünün çok artması nedeniyle PDK değeri hibrit nanoakışkanın altında kalmaktadır. Manyetik alan uygulanmayan durumda PDK sayısı 1'den yüksek çıkan tek nanoakışkan %2,0 Cu/su nanoakışkanıdır.

Sayısal çalışmalarda; çalışma akışkanı olarak kullanılan %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı, sayısal analizler sonucunda da en yüksek *Nu* değerini vermiştir. Hibrit nanoakışkanların *Nu* değeri, %2,0 Fe₃O₄/su ve %2,0 Cu/su nanoakışkanlarının altında kalmaktadır. Sabit manyetik alan etkisi altında Fe₃O₄ hacimsel nanopartikül konsantrasyonu arttıkça *Nu* değeri doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Sayısal analizlere göre %2,0 Cu/su hariç tüm hibrit nanoakışkanların gerek manyetik alan uygulanmayan durumda gerekse sabit manyetik alan etkisi altında performans değerlendirme katsayısı 1'den düşük çıkmaktadır. Buna göre sayısal analizler, hibrit nanoakışkanların ısı performans ve akış karakteristiklerini tahminde yetersiz kaldığı görülmektedir. Mixture modeli yerine DPM yaklaşımının kullanımıyla sayısal analizinin doğruluğunun artırılacağı düşünülmektedir.

DeneySEL ve sayısal çalışma sonuçları kıyaslandığında, çalışma akışkanı olarak %2,0 Fe₃O₄/su ve %2,0 Cu/su nanoakışkanları kullanılan çalışmalarda hata payı en düşük çıkmaktayken; hibrit nanoakışkanlarda hata payı yükselmiştir. Sayısal analizler, hibrit nanoakışkanın manyetik alan etkisi altında performansını doğru tahmin edemediği görülmüştür.

Yapılan bu çalışma sabit ve alternatif manyetik alan etkisinin hibrit nanoakışkanların ısı performanslarına ve akış karakteristiğine yönelik yenilikçi bir yaklaşım getirmekte olup nükleer santral acil durum soğutma sistemlerinde, ısı pompalarında, ısı

eşanjörlerinde, radyatörlerde ısı transferi verimini artırmak için kullanılabileceği öngörülmektedir. Sabit manyetik alan etkisi altında hibrit nanoakışkan verimlilik konusunda ön plana çıkmaktayken %2,0 Fe₃O₄/su nanoakışkanı artan ortalama Darcy sürtünme faktörüne rağmen en yüksek ısı transferi performansı sunan nanoakışkandır. Bu nanoakışkan verimli olmamasına rağmen ısı transferinin önemli olduğu nükleer reaktör soğutma gibi uygulamalarda kullanılabilir. Aynı zamanda çok önemli bir miktarda artan ortalama Darcy sürtünme faktörüne rağmen ısı transferinin çok önem arz ettiği uygulamalarda alternatif manyetik alan uygulaması da gerçekleştirilebilir.

Nanoakışkanların manyetik alan etkisi altında davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için daha düşük *Re* değerinde deneyler gerçekleştirilebilir. Artan hacimsel nanopartikül konsantrasyonu ile alternatif manyetik alan etkisi altında *Nu* değerinin *Re* değerine göre artış eğiminin azalması dikkat çekicidir. Ayrıca kullanılan Fe₃O₄ ve Cu nanopartikülleri haricinde farklı nanopartiküllerden oluşan hibrit nanoakışkanların ısı transfer performansının incelenmesi ve optimum hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarının belirlenmesi literatürdeki en büyük eksikliklerdendir. Aynı zamanda sabit manyetik alan etkisi altında farklı manyetik alan büyüklüklerinde ve alternatif manyetik alan etkisi altında farklı frekanslarda daha detaylı çalışmaların yapılması manyetik alan fenomeninin nanoakışkanlar üstündeki etkisini anlamada çok büyük katkıları olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Goodarzi, M. and Mazharmanesh, S., "Heat transfer enhancement in parallel-plate double-pass heat exchanger using sinusoidal separating plate", *International Journal Of Thermal Sciences*, 72: 115–124 (2013).
2. Kurşun, B. and Sivrioğlu, M., "Heat transfer enhancement using U-shaped flow routing plates in cooling printed circuit boards", *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, 40 (1): 13 (2018).
3. Choi, S. U. S. and Eastman, J. A., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", *Argonne National Lab., IL (United States)*, (1995).
4. Beriache, M., Sidik, N. A. C., Yazid, M. N. A. W. M., Mamat, R., Najafi, G., and Kefayati, G. H. R., "A review on why researchers apply external magnetic field on nanofluids", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 78: 60–67 (2016).
5. Wang, X.-Q. and Mujumdar, A. S., "A review on nanofluids-part I: theoretical and numerical investigations", *Brazilian Journal Of Chemical Engineering*, 25 (4): 613–630 (2008).
6. Suresh, S., Venkataraj, K. P., Selvakumar, P., and Chandrasekar, M., "Effect of Al 2O 3-Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer", *Experimental Thermal And Fluid Science*, 38: 54–60 (2012).
7. Keklikcioglu, O. and Ozceyhan, V., "A Review of Heat Transfer Enhancement Methods Using Coiled Wire and Twisted Tape Inserts", *Heat Transfer: Models, Methods And Applications*, 199–217 (2018).
8. Jadhav, M., Awari, R., Bibe, D., Bramhane, A., and Mokashi, M., "Review on enhancement of heat transfer by active method", *International Journal Of Current Engineering And Technology*, 6: 221–225 (2016).
9. Gugulothu, R., Reddy, K. V. K., Somanchi, N. S., and Adithya, E. L., "A review on enhancement of heat transfer techniques", *Materials Today: Proceedings*, 4 (2): 1051–1056 (2017).
10. Hartmann, J. and Lazarus, F., "Hg-dynamics II", *Theory Of Laminar Flow Of Electrically Conductive Liquids In A Homogeneous Magnetic Field*, 15 (7): (1937).

11. Ghasemian, M., Najafian Ashrafi, Z., Goharkhah, M., and Ashjaee, M., "Heat transfer characteristics of Fe₃O₄ ferrofluid flowing in a mini channel under constant and alternating magnetic fields", *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 381 (January): 158–167 (2015).
12. Goharkhah, M., Ashjaee, M., and Shahabadi, M., "Experimental investigation on convective heat transfer and hydrodynamic characteristics of magnetite nanofluid under the influence of an alternating magnetic field", *International Journal Of Thermal Sciences*, 99: 113–124 (2016).
13. Buongiorno, J. and Hu, W., "Nanofluid coolants for advanced nuclear power plants", (2005).
14. Khrgian, A. K., "Meteorology: A Historical Survey", *Israel Program For Scientific Translations*, (1970).
15. Cheng, K. C. and Fujii, T., "Heat in history Isaac Newton and heat transfer", *Heat Transfer Engineering*, 19 (4): 9–21 (1998).
16. Kulacki, F. A., Davidson, J. H., and Dunn, P. F., "Convective heat transfer with electric and magnetic field", *Handbook Of Single-Phase Convective Heat Transfer*, Wiley, New York, NY, (1987).
17. Nigam, S. D. and Singh, S. N., "Heat transfer by laminar flow between parallel plates under the action of transverse magnetic field", *The Quarterly Journal Of Mechanics And Applied Mathematics*, 13 (1): 85–97 (1960).
18. Elbashbeshy, E. M. A., "Heat and mass transfer along a vertical plate with variable surface tension and concentration in the presence of the magnetic field", *International Journal Of Engineering Science*, 35 (5): 515–522 (1997).
19. Ali, M. E., "On thermal boundary layer on a power-law stretched surface with suction or injection", *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, 16 (4): 280–290 (1995).
20. Gupta, P. S. and Gupta, A. S., "Heat and mass transfer on a stretching sheet with suction or blowing", *The Canadian Journal Of Chemical Engineering*, 55 (6): 744–746 (1977).
21. Char, M.-I., "Heat transfer of a continuous, stretching surface with suction or blowing", *Journal Of Mathematical Analysis And Applications*, 135 (2): 568–580 (1988).
22. Akoh, H., Tsukasaki, Y., Yatsuya, S., and Tasaki, A., "Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate", *Journal Of Crystal Growth*, 45: 495–500 (1978).

23. Maxwell, J. C., "A Treatise on Electricity and Magnetism", *Clarendon Press*, (1873).
24. Hamilton, R. L. and Crosser, O. K., "Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems", *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1 (3): 187–191 (1962).
25. Choi, S. U. S., Eastman, A. A., and Eastman, J. A., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", *Argonne National Lab., IL (United States)*, (1995).
26. Ali, H. M., "Hybrid Nanofluids for Convection Heat Transfer", *Academic Press*, (2020).
27. Kaya, H., Arslan, K., and Eltugral, N., "Experimental investigation of thermal performance of an evacuated U-Tube solar collector with ZnO/Ethylene glycol-pure water nanofluids", *Renewable Energy*, 122: 329–338 (2018).
28. Said, Z., Saidur, R., and Rahim, N. A., "Energy and exergy analysis of a flat plate solar collector using different sizes of aluminium oxide based nanofluid", *Journal Of Cleaner Production*, 133 (September): 518–530 (2016).
29. Minea, A. A. and El-Maghlany, W. M., "Influence of hybrid nanofluids on the performance of parabolic trough collectors in solar thermal systems: recent findings and numerical comparison", *Renewable Energy*, 120: 350–364 (2018).
30. Ranga Babu, J. A., Kiran Kumar, K., and Srinivasa Rao, S., "Thermodynamic analysis of hybrid nanofluid based solar flat plate collector", *World Journal Of Engineering*, 15 (1): 27–39 (2018).
31. Rafiei, A., Loni, R., Mahadzir, S. B., Najafi, G., Pavlovic, S., and Bellos, E., "Solar Desalination System with a Focal Point Concentrator using Different Nanofluids", *Applied Thermal Engineering*, 115058 (2020).
32. Abbas, F., Ali, H. M., Shah, T. R., Babar, H., Janjua, M. M., Sajjad, U., and Amer, M., "Nanofluid: Potential evaluation in automotive radiator", *Journal Of Molecular Liquids*, 112014 (2019).
33. Vajjha, R. S., Das, D. K., and Ray, D. R., "Development of new correlations for the Nusselt number and the friction factor under turbulent flow of nanofluids in flat tubes", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 80 (January): 353–367 (2015).
34. Bozorgan, N., Krishnakumar, K., and Bozorgan, N., "Numerical Study on Application of CuO-Water Nanofluid in Automotive Diesel Engine Radiator", *Modern Mechanical Engineering*, 02 (04): 130–136 (2012).

35. Ferreira, F. A. C., "Development of an experimental set-up for the study of heat transfer mechanisms in forced convection flows - application to waste heat recovery systems in vehicles", (2016).
36. Ahammed, N., Asirvatham, L. G., and Wongwises, S., "Entropy generation analysis of graphene–alumina hybrid nanofluid in multiport minichannel heat exchanger coupled with thermoelectric cooler", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 103: 1084–1097 (2016).
37. Bahiraei, M. and Hangi, M., "Investigating the efficacy of magnetic nanofluid as a coolant in double-pipe heat exchanger in the presence of magnetic field", *Energy Conversion And Management*, 76: 1125–1133 (2013).
38. Bezaatpour, M. and Goharkhah, M., "Convective heat transfer enhancement in a double pipe mini heat exchanger by magnetic field induced swirling flow", *Applied Thermal Engineering*, 167: 114801 (2020).
39. Bezaatpour, M. and Rostamzadeh, H., "Heat transfer enhancement of a fin-and-tube compact heat exchanger by employing magnetite ferrofluid flow and an external magnetic field", *Applied Thermal Engineering*, 164 (August 2019): (2020).
40. Esmaeilnejad, A., Aminfar, H., and Neistanak, M. S., "Numerical investigation of forced convection heat transfer through microchannels with non-Newtonian nanofluids", *International Journal Of Thermal Sciences*, 75: 76–86 (2014).
41. Pak, B. C. and Cho, Y. I., "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles", *Experimental Heat Transfer*, 11 (2): 151–170 (1998).
42. Maïga, S. E. B., Nguyen, C. T., Galanis, N., Roy, G., Maré, T., and Coqueux, M., "Heat transfer enhancement in turbulent tube flow using Al₂O₃ nanoparticle suspension", *International Journal Of Numerical Methods For Heat & Fluid Flow*, (2006).
43. Turcu, R., Darabont, A. L., Nan, A., Aldea, N., Macovei, D., Bica, D., Vekas, L., Pana, O., Soran, M. L., and Koos, A. A., "New polypyrrole-multiwall carbon nanotubes hybrid materials", *Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials*, 8 (2): 643–647 (2006).
44. Jana, S., Salehi-Khojin, A., and Zhong, W.-H., "Enhancement of fluid thermal conductivity by the addition of single and hybrid nano-additives", *Thermochimica Acta*, 462 (1–2): 45–55 (2007).

45. Suresh, S., Venkitaraj, 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).
46. Suresh, S., Venkitaraj, K. P., Selvakumar, P., and Chandrasekar, M., "Synthesis of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties", *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 388 (1–3): 41–48 (2011).
47. Selvakumar, P. and Suresh, S., "Use of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluid in an electronic heat sink", *IEEE Transactions On Components, Packaging And Manufacturing Technology*, 2 (10): 1600–1607 (2012).
48. Kumar, V. and Sarkar, J., "Particle ratio optimization of Al₂O₃-MWCNT hybrid nanofluid in minichannel heat sink for best hydrothermal performance", *Applied Thermal Engineering*, 165: 114546 (2020).
49. Huang, D., Wu, Z., and Sunden, B., "Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers", *Experimental Thermal And Fluid Science*, 72: 190–196 (2016).
50. Yarmand, H., Gharekhani, S., Ahmadi, G., Shirazi, S. F. S., Baradaran, S., Montazer, E., Zubir, M. N. M., Alehashem, M. S., Kazi, S. N., and Dahari, M., "Graphene nanoplatelets-silver hybrid nanofluids for enhanced heat transfer", *Energy Conversion And Management*, 100: 419–428 (2015).
51. Allahyar, H. R., Hormozi, F., and ZareNezhad, B., "Experimental investigation on the thermal performance of a coiled heat exchanger using a new hybrid nanofluid", *Experimental Thermal And Fluid Science*, 76: 324–329 (2016).
52. Madhesh, D., Parameshwaran, R., and Kalaiselvam, S., "Experimental investigation on convective heat transfer and rheological characteristics of Cu-TiO₂ hybrid nanofluids", *Experimental Thermal And Fluid Science*, 52: 104–115 (2014).
53. Frank, M., Barleon, L., and Müller, U., "Visual analysis of two-dimensional magnetohydrodynamics", *Physics Of Fluids*, 13 (8): 2287–2295 (2001).
54. Gedik, E., Kurt, H., Recebli, Z., and Balan, C., "Two-dimensional CFD simulation of magnetorheological fluid between two fixed parallel plates applied external magnetic field", *Computers And Fluids*, 63 (January 2016): 128–134 (2012).
55. Sheikholeslami, M., "CuO-water nanofluid flow due to magnetic field inside a porous media considering Brownian motion", *Journal Of Molecular Liquids*, 249: 921–929 (2018).

56. Ganguly, R., Sen, S., and Puri, I. K., "Heat transfer augmentation using a magnetic fluid under the influence of a line dipole", *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 271 (1): 63–73 (2004).
57. Mei, S., Qi, C., Liu, M., Fan, F., and Liang, L., "Effects of paralleled magnetic field on thermo-hydraulic performances of Fe₃O₄-water nanofluids in a circular tube", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 134: 707–721 (2019).
58. Sha, L., Ju, Y., and Zhang, H., "The influence of the magnetic field on the convective heat transfer characteristics of Fe₃O₄/water nanofluids", *Applied Thermal Engineering*, 126: 108–116 (2017).
59. Sun, B., Guo, Y., Yang, D., and Li, H., "The Effect of Constant Magnetic Field on Convective Heat Transfer of Fe₃O₄/Water Magnetic Nanofluid in Horizontal Circular Tubes", *Applied Thermal Engineering*, 114920 (2020).
60. Guzei, D., Minakov, A., Pryazhnikov, M., and Meshkov, K., "Investigating the forced convection of magnetic nanofluids", (2017).
61. Roszko, A. and Fornalik-Wajs, E., "Magnetic nanofluid properties as the heat transfer enhancement agent", *E3S Web Of Conferences*, 10: 1–8 (2016).
62. Motozawa, M., Chang, J., Sawada, T., and Kawaguchi, Y., "Effect of magnetic field on heat transfer in rectangular duct flow of a magnetic fluid", *Physics Procedia*, 9 (2): 190–193 (2010).
63. Azizian, R., Doroodchi, E., McKrell, T., Buongiorno, J., Hu, L. W., and Moghtaderi, B., "Effect of magnetic field on laminar convective heat transfer of magnetite nanofluids", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 68: 94–109 (2014).
64. Lajvardi, M., Moghimi-Rad, J., Hadi, I., Gavili, A., Dallali Isfahani, T., Zabihi, F., and Sabbaghzadeh, J., "Experimental investigation for enhanced ferrofluid heat transfer under magnetic field effect", *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 322 (21): 3508–3513 (2010).
65. Giwa, S. O., Sharifpur, M., and Meyer, J. P., "Effects of uniform magnetic induction on heat transfer performance of aqueous hybrid ferrofluid in a rectangular cavity", *Applied Thermal Engineering*, 170: 115004 (2020).
66. Giwa, S. O., Sharifpur, M., and Meyer, J. P., "Experimental investigation into heat transfer performance of water-based magnetic hybrid nanofluids in a rectangular cavity exposed to magnetic excitation", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 116: 104698 (2020).

67. Kaloni, P. N. and Lou, J. X., "Convective instability of magnetic fluids under alternating magnetic fields", *Physical Review E*, 71 (6): 66311 (2005).
68. Matura, P. and Lücke, M., "Thermomagnetic convection in a ferrofluid layer exposed to a time-periodic magnetic field", *Physical Review E*, 80 (2): 26314 (2009).
69. Lange, A. and Odenbach, S., "Thermomagnetic convection in magnetic fluids subjected to spatially modulated magnetic fields", *Physics Procedia*, 9: 171–175 (2010).
70. Esmaeili, E., Ghazanfar Chaydareh, R., and Rounaghi, S. A., "The influence of the alternating magnetic field on the convective heat transfer properties of Fe₃O₄-containing nanofluids through the Neel and Brownian mechanisms", *Applied Thermal Engineering*, 110: 1212–1219 (2017).
71. Goharkhah, M., Salarian, A., Ashjaee, M., and Shahabadi, M., "Convective heat transfer characteristics of magnetite nanofluid under the influence of constant and alternating magnetic field", *Powder Technology*, 274 (April): 258–267 (2015).
72. Ghofrani, A., Dibaei, M. H., Hakim Sima, A., and Shafii, M. B., "Experimental investigation on laminar forced convection heat transfer of ferrofluids under an alternating magnetic field", *Experimental Thermal And Fluid Science*, 49: 193–200 (2013).
73. Kelidari, M., Jabari Moghadam, A., and Moradi Dalvand, H., "Experimental Investigation of a U-Tube Performance Using Nanoferrofluids Under the Effect of Magnetic Fields", *Journal Of Heat Transfer*, 142 (2): (2020).
74. Hosseindibaeenab, M., Shafii, M. B., and Nobakhti, M. H., "Numerical Simulation of Internal Convection Heat Transfer of Ferrofluids under Alternating Magnetic Field", *Indian J.Sci.Res*, 1 (2): 733–743 (2014).
75. Dibaei Bonab, M. H., Shafii, M. B., and Nobakhti, M. H., "Experimental and numerical investigation of fully developed forced convection of water-based Fe₃O₄ nanofluid passing through a tube in the presence of an alternating magnetic field", *Advances In Mechanical Engineering*, 7 (2): 1–9 (2015).
76. Tekir, M., Taskesen, E., Aksu, B., Gedik, E., and Arslan, K., "Comparison of Bi-directional Multi-Wave Alternating Magnetic Field Effect on Ferromagnetic Nanofluid Flow in a Circular Pipe under Laminar Flow Conditions", *Applied Thermal Engineering*, 179: 115624 (2020).
77. Cengel, Y. and Boles, M., "Thermodynamics: An Engineering Approach", 8th Editio. Ed., *McGraw-Hill Education*, (2014).

78. 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).
79. Gnielinski, V., "G1 Heat Transfer in Pipe Flow", VDI Heat Atlas, (2010).
80. 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", (1973).
81. Mills, A. F., "Basic Heat and Mass Transfer", *Prentice Hall*, (1999).
82. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., and Lavine, A. S., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer(6th Edition)", WILEY, (2007).
83. Adapa, P. K. and Schoenau, G. J., "Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis", *International Journal Of Energy Research*, (2005).
84. Alfvén, H., "Existence of electromagnetic-hydrodynamic waves", *Nature*, 150 (3805): 405–406 (1942).
85. Moreau, R. J., "Magnetohydrodynamics", *Springer Science & Business Media*, (2013).
86. Staelin, D. H., Morgenthaler, A. W., and Kong, J. A., "Electromagnetic Waves", *Pearson Education India*, (1994).
87. Azari, A., Kalbasi, M., and Rahimi, M., "CFD and experimental investigation on the heat transfer characteristics of alumina nanofluids under the laminar flow regime", *Brazilian Journal Of Chemical Engineering*, 31 (2): 469–481 (2014).
88. Peng, W., Minli, B., Jizu, L., Liang, Z., Wenzheng, C., and Guojie, L., "Comparison of multidimensional simulation models for nanofluids flow characteristics", *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*, 63 (1): 62–83 (2013).
89. Layton, W., Tran, H., and Trenchea, C., "Numerical analysis of two partitioned methods for uncoupling evolutionary MHD flows", *Numerical Methods For Partial Differential Equations*, 30 (4): 1083–1102 (2014).
90. Nguyen, Q., Sedeh, S. N., Toghraie, D., Kalbasi, R., and Karimipour, A., "Numerical simulation of the ferro-nanofluid flow in a porous ribbed

microchannel heat sink: investigation of the first and second laws of thermodynamics with single-phase and two-phase approaches", *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, 42 (9): 1–14 (2020).

91. Dibaei, M. and Kargarsharifabad, H., "New Achievements in Fe₃O₄ Nanofluid Fully Developed Forced Convection Heat Transfer under the Effect of a Magnetic Field: An Experimental Study", *Journal Of Heat And Mass Transfer Research(JHMTR)*, 4: 1–12 (2016).

EK AÇIKLAMALAR A.

KULLANILAN NANOAKIŞKANLARIN ANALİZLERİ



 NANOGRAFI NANOTECHNOLOGY

TECHNICAL DATA SHEET

 PRODUCT INFORMATION

Product Group	Nanopowder, Dispersion
Trade Name	Iron (II,III) Oxide
Product Number	NG09DNP01044
CAS Number (Fe ₃ O ₄)	1317-61-9

 PRODUCT PROPERTIES

Iron (II,III) Oxide	Value	Units
Average Diameter	20	nm
Purity	99.5+	%
BET	81.98	m ² /g
pH	7-8	
Morphology	Spherical	
Color	Dark Brown (Black)	
Density	5172	kg/m ³
Specific Heat Capacity	663	J/(kg.K)
Thermal Conductivity	9.6	W/(m.K)
Viscosity	1.35	

 Element Analysis

Fe ₃ O ₄	Cr	Co	Na	Mn	Ni	Mg	Al
99.5+%	2 ppm	35 ppm	55 ppm	39 ppm	16 ppm	2 ppm	4.78 ppm

 PRODUCT DETAILS

Application Areas

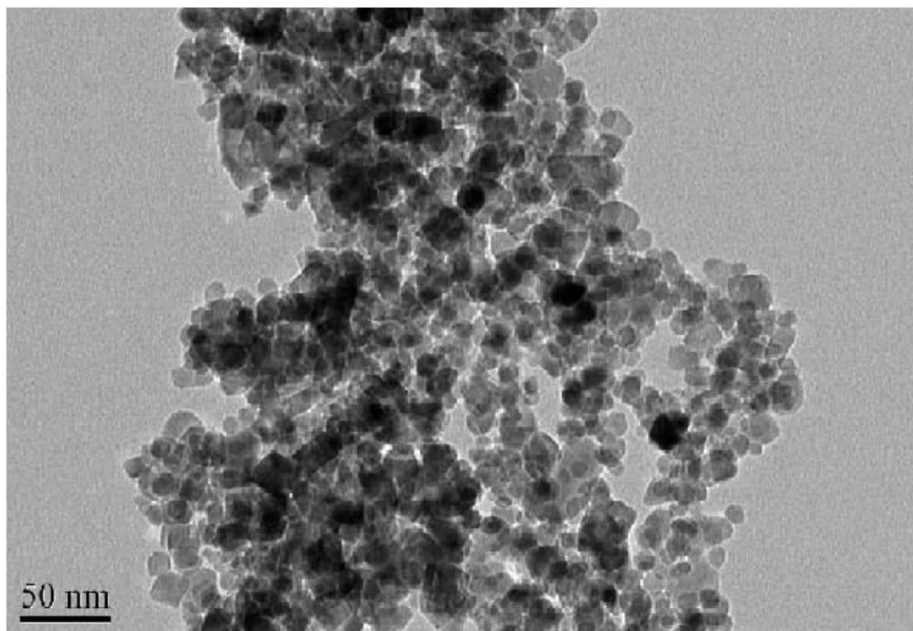
- Electromagnetic-wave absorption
- Electromagnetorheological fluids
- Magnetic cell separation
- High-density magnetic recording
- Magnetic coatings
- Magneto-optical devices
- Semiconductors
- Toners for copies and laser printers
- Microwave devices
- Removal of actinides from waste water

DISCLAIMER Users of this product should review the information in specific context of the planned use. To the maximum extent permitted by law, Nanografi Nanotechnology will not be responsible for damages of any nature resulting from the use or reliance upon the information contained in this data sheet. No express or implied warranties are given other than those implied mandatory by law.

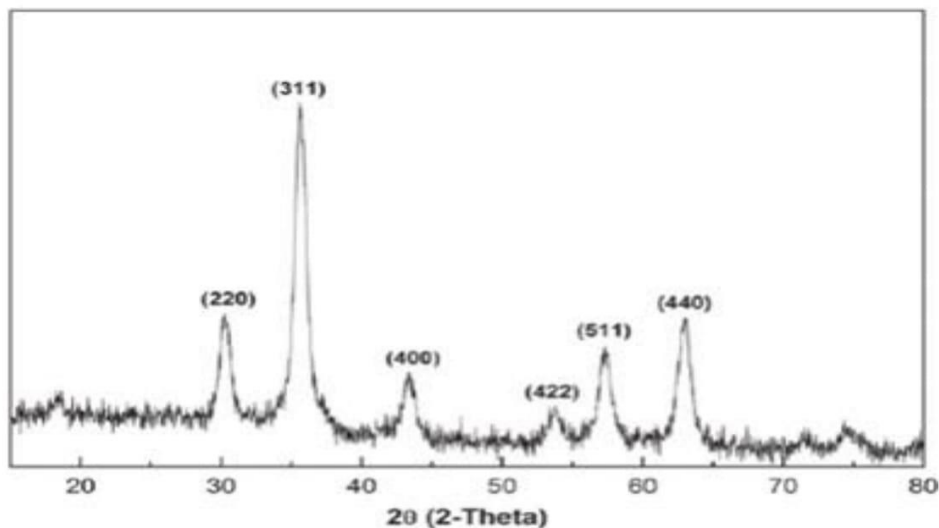
NANOGRAFI NANOTECHNOLOGY

- Magnetic resonance imaging contrast enhancement
- Magnetic detectors
- Color imaging

SEM Image of Product



XRD Analysis of Product



DISCLAIMER Users of this product should review the information in specific context of the planned use. To the maximum extent permitted by law, Nanografi Nanotechnology will not be responsible for damages of any nature resulting from the use or reliance upon the information contained in this data sheet. No express or implied warranties are given other than those implied mandatory by law.



NANOGRAFI NANOTECHNOLOGY

TECHNICAL DATA SHEET

PRODUCT INFORMATION

Product Group	Nanoparticles Dispersion
Trade Name	Copper Nanoparticle Dispersion
Product Number	NG09DNP01045
CAS Number	7440-50-8
Linear Formula	Cu
MDL Number	MFCD00010965
Appearance	Liquid Dispersion
Dispersing Agent	Water (ddH2O)

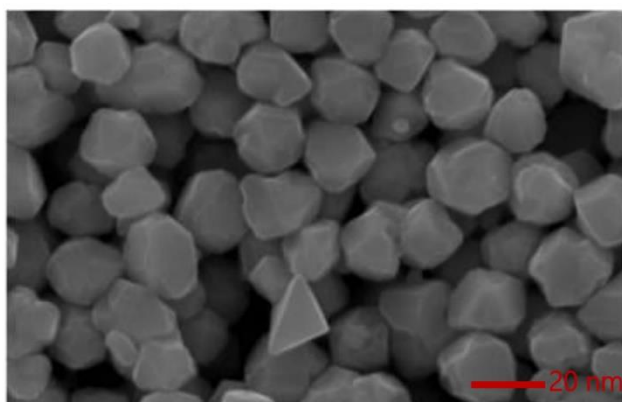
PRODUCT PROPERTIES

	Value	Units
Magnesium Oxide	99	%
Purity	20	nm
Aps	2	vol %
Concentration	63.55	g/mol
Molecular Weight	0.15-0.35	g/cm ³
Bulk Density	30-50	m ² /g
SSA		

ELEMENTAL ANALYSIS

Cu	Fe	Sn	Mn	Ni
99% - metal Basis	205ppm	238ppm	50ppm	300ppm

SEM Image of Product



DISCLAIMER Users of this product should review the information in specific context of the planned use. To the maximum extent permitted by law, Nanografi Nanotechnology will not be responsible for damages of any nature resulting from the use or reliance upon the information contained in this data sheet. No express or implied warranties are given other than those implies mandatory by law.

EK AÇIKLAMALAR B.

BELİRSİZLİK ANALİZİ

Malzeme	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Parametresi	Toplam Belirsizlik	Ölçülen Değer		Belirsizlik Oranı, %	
				Min.	Mak.	U _{min}	U _{max}
1. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Giriş Sıcaklığı (T _{in})	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2\right)^2} = 0,178$	(T _x /°C) 16,70	(T _x /°C) 19,21	(U _x /T _x) %0,076	(U _x /T _x) %0,925
2. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 1 (T _{w1})	0,230	17,97	39,59	%0,079	%0,580
3. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 2 (T _{w2})	0,278	17,94	43,85	%0,217	%0,634
4. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 3 (T _{w3})	0,359	18,25	50,91	%0,248	%0,704
5. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 4 (T _{w4})	0,388	18,28	53,54	%0,327	%0,725
6. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Duvar Sıcaklığı 5 (T _{w5})	0,415	19,01	58,05	%0,246	%0,714
7. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Çıkış Sıc. 1 (T _{out1})	0,113	16,97	27,41	%0,128	%0,412
8. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Çıkış Sıc. 2 (T _{out2})	0,155	17,13	30,76	%0,132	%0,503
9. T Tip Isıl çift	-40°C - 200°C	Akışkan Çıkış Sıc. 3 (T _{out3})	0,092	16,67	25,25	%0,135	%0,363
		Yığın Sıcaklık	$T_b = \frac{T_{in} + \frac{1}{N} \sum T_{out,i}}{2} = \frac{T_{in} + (T_{out1} + T_{out2} + T_{out3})/3}{2}$ $U = \sum U_i = U_{in} + U_{out1} + U_{out2} + U_{out3}$	16,88	23,51	%0,47	%2,2
		Duvar Sıcaklığı	$T_w = \frac{1}{N} \sum T_{w,i} = \frac{T_{w1} + T_{w2} + T_{w3} + T_{w4} + T_{w5}}{5}$ $U = \sum U_{w,i} = U_{w1} + U_{w2} + U_{w3} + U_{w4} + U_{w5}$	18,29	49,19	%1,12	%3,36
HT201 Gaussmetre	0-2000 mT	Manyetik Alan	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2\right)^2}$	(B/T) 0,295	(B/T) 0,305	(U/B) %1,7	
Malzeme	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Parametresi	Toplam Belirsizlik	Ölçülen Değer		Belirsizlik Oranı, %	
				Min.	Mak.	U _{min}	U _{max}
Gentek GT-MD-B08 GNT 604	0,055-0,45 m/s	Hız	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2\right)^2}$	(V/m/s) 0,065	(V/m/s) 0,137	(U/V) %1	

GENTEK PT124B-210	0-1000 Pa	Basınç Farkı	$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum \left(X_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum X_i\right)^2 \right)^2}}$	(ΔP/Pa) 12	(ΔP/Pa) 123	(U/ΔP) %0,5
		Reynolds Sayısı	$\frac{U_{Re}}{Re} = \left[\left(\frac{\partial Re}{\partial \rho} \cdot \frac{U_\rho}{Re} \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial V} \cdot \frac{U_V}{Re} \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial D_H} \cdot \frac{U_{D_H}}{Re} \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial \mu} \cdot \frac{U_\mu}{Re} \right)^2 \right]^{0.5}$	980	2124	%1,2
		Taşımla Isı Transferi Katsayısı	$\frac{U_h}{h} = \left[\left(\frac{\partial h}{\partial Q} \cdot \frac{U_Q}{h} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial A_s} \cdot \frac{U_{A_s}}{h} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_w} \cdot \frac{U_{T_w}}{h} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_b} \cdot \frac{U_{T_b}}{h} \right)^2 \right]^{0.5}$	(h/W/m ² °C) 319	(h/W/m ² °C) 383	(U/h) %6,56
		Nusselt Sayısı	$\frac{U_h}{Nu} = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial h} \cdot \frac{U_h}{Nu} \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial D_H} \cdot \frac{U_{D_H}}{Nu} \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial k} \cdot \frac{U_k}{Nu} \right)^2 \right]^{0.5}$	8,5	10,2	%6,56
		Sistemin Toplam Belirsizliği	$U_{total} = \sqrt{\sum (U_i^2)} = \sqrt{U_{Re}^2 + U_{Nu}^2}$			%6,67

EK AÇIKLAMALAR C.

ORTALAMA NUSSELT SAYISI İÇİN BULUNAN KORELASYONLAR

$$Nu = C_1 \cdot Re^{n_1}$$

Nanoakışkan		%2,0 Cu/su		%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su		%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su		%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su		%2,0 Fe ₃ O ₄ /su	
Manyetik Alan Tipi		C_1	n_1	C_1	n_1	C_1	n_1	C_1	n_1	C_1	n_1
	B=0 T	3,38646	0,14155	4,0411	0,116137	2,90214	0,16104	2,79702	0,16601	4,11697	0,11781
	B=0,3 T DC	3,79721	0,12841	4,04572	0,121835	4,39883	0,1184	4,27901	0,11786	2,50517	0,19655
f=2 Hz	Sinüs	-	-	2,79223	0,17346	3,95835	0,12939	8,39519	0,02524	3,07261	0,17281
	Kare	-	-	2,86537	0,16913	4,44929	0,09471	7,72972	0,03864	5,52856	0,09125
	Üçgen	-	-	3,41267	0,14497	3,50751	0,13848	5,74659	0,07674	6,59141	0,06774
f=5 Hz	Sinüs	-	-	5,37701	0,08742	5,59006	0,0846	7,20486	0,04619	2,55063	0,20125
	Kare	-	-	4,46501	0,11535	4,21307	0,12127	6,6923	0,05646	2,39468	0,20807
	Üçgen	-	-	3,07088	0,16065	4,65472	0,10287	8,42422	0,02659	3,97446	0,13436
f=15 Hz	Sinüs	-	-	3,98332	0,1288	5,56296	0,08556	5,88069	0,07427	6,61148	0,06632
	Kare	-	-	5,41939	0,08802	5,71378	0,08343	6,39258	0,05884	4,83298	0,1027
	Üçgen	-	-	5,66671	0,08214	5,43118	0,08853	5,78791	0,07379	5,15773	0,10176
Hata oranı		-%0,99	+%0,95	-%2,70	+%2,65	-%2,24	+%2,79	-%1,36	+%1,22	-%2,41	+%2,78

EK AÇIKLAMALAR D.

**ORTALAMA DARCY SÜRTÜNME FAKTÖRÜ İÇİN BULUNAN
KORELASYONLAR**

$$f = C_2 \cdot Re^{n_2}$$

Nanoakışkan		%2,0 Cu/su		%0,5 Fe ₃ O ₄ -%1,5 Cu/su		%1,0 Fe ₃ O ₄ -%1,0 Cu/su		%1,5 Fe ₃ O ₄ -%0,5 Cu/su		%2,0 Fe ₃ O ₄ /su	
Manyetik Alan Tipi		C ₂	n ₂	C ₂	n ₂	C ₂	n ₂	C ₂	n ₂	C ₂	n ₂
	B=0 T	596,344	-1,255	156,96	-1,08	41,2774	-0,89839	144,944	-1,058	586,267	-1,26
	B=0,3 T DC	816,855	-1,294	192,599	-1,096	55,9402	-0,92	549,256	-1,215	3825,38	-1,49
f=2 Hz	Sinüs	-	-	81988,6	-1,88646	1343578	-2,23578	384242	-2,0374	231935	-1,9799
	Kare	-	-	23508,9	-1,72573	218315	-2,00344	166406	-1,90377	132021	-1,863
	Üçgen	-	-	219274	-2,02376	4690380	-2,41197	410608	-2,03421	62463,6	-1,7753
f=5 Hz	Sinüs	-	-	92746,3	-1,93008	4770843	-2,45582	137553	-1,91335	44136,1	-1,7483
	Kare	-	-	16424,9	-1,65701	77481	-1,83036	80176,1	-1,76815	136720	-1,8244
	Üçgen	-	-	118195	-1,93413	1782784	-2,27187	42284,2	-1,70299	4047,51	-1,3686
f=15 Hz	Sinüs	-	-	46072,2	-1,78869	312777	-2,00814	32323,6	-1,63035	10680,6	-1,4605
	Kare	-	-	68178	-1,84401	583660	-2,09646	342942	-1,95534	241786	-1,8969
	Üçgen	-	-	20957,4	-1,68526	97783	-1,85493	181600	-1,86418	194162	-1,8565
Hata oranı		-%9,50	+%11,70	-%11,91	+%12,14	-%13,93	+%13,79	-%7,88	+%11,88	-%9,76	+%15,63

ÖZGEÇMİŞ

Mutlu Tekir 1990 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Kdz. Ereğli'de tamamlayıp TED Kdz. Ereğli Koleji'nde lise eğitimini burslu olarak bitirmiştir. 2007 yılında burslu olarak kazandığı TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2012 yılında mezun olmuştur. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi kadrosunda işe başlamıştır. Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını 2015 yılında tamamlamış olup doktora eğitimine devam etmektedir. Şu anda Karabük Üniversitesi Tıp Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi kadrosunda çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (541) 593 1800
E-posta : mutlutekir@karabuk.edu.tr