



**MANYETİK NANOAKIŞKANLARIN
SENTEZLENMESİ VE TERMOFİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Rahşan ÖZBALDAN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı
Prof. Dr. Bayram Şahin
2017
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MANYETİK NANOAKIŞKANLARIN SENTEZLENMESİ
VE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Rahşan ÖZBALDAN

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Enerji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**MANYETİK NANOAKIŞKANLARIN SENTEZLENMESİ
VE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Prof. Dr. Bayram ŞAHİN danışmanlığında, Rahşan ÖZBALDAN tarafından hazırlanan bu çalışma 15/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Enerji Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

İmza

Üye : Prof. Dr. Kenan YAKUT

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyüphan MANAY

İmza

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 22.../06.../2017 tarih ve 25.../...49... nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MANYETİK NANOAKIŞKANLARIN SENTEZLENMESİ VE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Rahşan ÖZBALDAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

Nanoakışkanlar, ametal veya metal nanoparçacıkların bir akışkan ile süspanse edilmesi ile hazırlanır. Farklı uygulama alanlarına göre metal ve ametal nanoparçacıklar ısı transfer oranını artırmak için kullanılabilir. Manyetik nanokışkanlar, manyetik özelliği olmayan temel akışkan içine manyetik özelliği olan nanopartiküllerin süspanse edilmesi ile elde edilir. Nanoakışkanlar; tıp, biyomekanik, elektronik parçaların soğutulması ve ısı transferi artırılması gibi alanlarda olumlu yönde etki ettiği için son yıllarda dikkat çeken bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, farklı hacimsel oranlarda (%0.25, %0.50, %1.00) ve farklı manyetik nanopartikül türlerinde (CoFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 , MnFe_2O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$) hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskoziteleri, farklı sıcaklıklarda (20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C) deneysel olarak incelenmiştir. Nanopartiküllerin her biri üç ayrı hacimsel oranda hazırlandıktan sonra saf su ile karıştırılarak nanoakışkanlar elde edilmiştir. Hazırlanan tüm nanoakışkanların, belirlenen parametre değerlerine bağlı olarak ısı iletkenlik ve viskozite değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar çeşitli teorik modeller ile karşılaştırılmıştır.

2017, 73 sayfa

Anahtar Kelimeler: Manyetik nanoakışkan, Nanoakışkanların hazırlanması, Nanoakışkanların ısı iletkenliği ve viskozitesi

ABSTRACT

Master Thesis

PREPARATION OF MAGNETIC NANOQUARTERS AND DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS

Rahşan ÖZBALDAN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Department of Energy

Supervisor: Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

Nanoparticles are prepared by suspending nonmetal or metal nanoparticles with a fluid. Metal and nonmetallic nanoparticles can be used to increase the heat transfer rate according to different application areas. Magnetic nanofluids are obtained by suspending magnetic nanoparticles into a nonmagnetic basic fluid. Nanoparticles have become an attractive topic in recent years as they have a positive effect on applications such as medicine, biomechanics, cooling of electronic components and heat transfer enhancement. In this study, the thermal conductivities and viscosities of nanofluids prepared at different volume fractions (%0.25, %0.50, %1.00) with various magnetic nanoparticles (CoFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 , MnFe_2O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$) were experimentally investigated at different temperatures (20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C). Nanofluids for each nanoparticles types were obtained in three different volume fractions by the dispersion of nanoparticles in pure water. The thermal conductivities and viscosities of all prepared nanofluids were measured according to the determined parameter values. The results obtained were compared with various theoretical models.

2017, 73 pages

Keywords: Magnetic nanofluids, Preparation of nanofluids, Thermal conductivities and viscosities of nanofluids

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında yardımını eksik etmeyen ve zamanını ayıran saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Bayram ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar esnasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Eyüphan MANAY'a, Arş. Gör. Murat CEYLAN'a ve sevgili eşim Sayın Yük. Mak. Müh. Emrah Emin ÖZBALDAN'a teşekkür ederim.

Rahşan ÖZBALDAN

Haziran, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	9
2.1. Isı Transferi	9
2.2. Nanoakışkanlar	12
2.2.1. Nanoakışkan kavramı	13
2.2.2. Nanoakışkan türleri	13
2.2.3. Nanoakışkan ısı transferi karakteristiği	14
2.2.4. Manyetik nanoakışkanların sentezlenmesi	15
2.2.5. Manyetik nanoakışkanların hazırlanması	16
2.2.6. Manyetik nanoakışkanların termofiziksel özellikleri	18
2.2.6.a. Isıl iletkenlik	18
2.2.6.b. Viskozite.....	23
2.2.6.c. Yoğunluk	25
2.2.6.d. Özgül ısı	26
2.2.6.e. Yüzey gerilimi	26
2.2.7. Manyetik nanoakışkanların uygulama alanları.....	27
2.3. Yüzey Aktif Maddeler	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	29
3.1. Deneysel Materyal.....	29
3.1.1. Nanopartiküller.....	29
3.1.2. Ultrasonik banyo	29
3.1.3. Titreşim önleyici zemin.....	31
3.1.4. Ultrasonik homojenizatör	32

3.1.5. Hassas terazi	33
3.1.6. Viskozimetre	34
3.1.7. Isıl iletkenlik ölçer	37
3.2. Verilerin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi	38
3.2.1. Nanoakışkanların hazırlanması	39
3.2.2. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi.....	42
3.2.2.a. Isıl iletkenlik değerlerinin belirlenmesi	42
3.2.2.b. Viskozite değerlerinin belirlenmesi.....	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	45
4.1. Nanoakışkanların Hazırlanması İle İlgili Hesaplamalar	45
4.2. Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	46
4.2.1. Isıl iletkenlik ölçümlerinin belirlenmesi.....	46
4.2.2. Viskozite ölçümlerinin belirlenmesi	59
5. SONUÇLAR.....	67
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Alan (m^2)
C_m	Kütlesel oran
c_p	Sıvının özgül ısısı (J/kgK)
C_v	Hacimsel oran
D_h	Hidrolik çap (m)
f	Sürtünme katsayısı
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
m_n	Nanoakışkan kütlesi (kg)
m_p	Nanopartikül kütlesi (kg)
m_{safsu}	Temel akışkan kütlesi (kg)
V_n	Nanoakışkanın hacmi (m^3)
V_p	Partikülün hacmi (m^3)
V_{safsu}	Temel akışkan hacmi (m^3)
ρ_p	Nanopartikülün yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_n	Nanoakışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_l	Akışkan yoğunluğu (kg/m^3)

Kısaltmalar

THB	Transient Hot Bridge
-----	----------------------

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Nanopartiküllerin mikropartiküller ile karşılaştırılması	2
Şekil 1.2. $MnFe_2O_4$ / saf su nanoakışkanının farklı sıcaklıklarda, hacimsel oran etkisi ile ısı iletkenlik değerlerinin değişimi.....	6
Şekil 1.3. $MnFe_2O_4$ / saf su nanoakışkanının farklı hacimsel oranlarda ve sabit 30°C’de ısı iletkenlik değerlerinin çeşitli modeller ile karşılaştırılması.....	6
Şekil 1.4. $CoFe_2O_4$ nanopartikülünün farklı sıcaklıklarda ve farklı hacimsel oranlarda ısı iletkenlik değerlerinin değişimi	7
Şekil 2.1. Türbülanslı ve laminar akış için akım çizgileri	11
Şekil 2.2. Hidrodinamik giriş uzunluğu	12
Şekil 3.1. Deney Düzeneği	38
Şekil 3.2. Hassas terazi ile partikül ölçümü ve homojenizatör öncesi temel akışkan ile karıştırma işlemi	40
Şekil 3.3. Homojenizatör ile karıştırma işlemi	41
Şekil 3.4. Hazırlanan nanoakışkan tüpleri	42
Şekil 3.5. Isı iletkenlik ölçümü	43
Şekil 3.6. Viskozite ölçüm deneyi	44
Şekil 4.1. $CoFe_2O_4$ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	47
Şekil 4.2. $MnFe_2O_4$ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	47
Şekil 4.3. $ZnFe_2O_4$ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	48
Şekil 4.4. Fe_2O_3/NiO – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	48

Şekil 4.5. %1 CoFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	49
Şekil 4.6. %1 MnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	49
Şekil 4.7. %1 ZnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	50
Şekil 4.8. %1 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	50
Şekil 4.9. %0.25 CoFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	51
Şekil 4.10. %0.25 MnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	51
Şekil 4.11. %0.25 ZnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	52
Şekil 4.12. %0.25 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	52
Şekil 4.13. Çalışmada hazırlanan nanoakışkanların sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin, %0.5 hacimsel oranda karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.14. Manyetik ve oksit bileşenli nanoakışkanların 20°C sıcaklıkta ısıl iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.15. Çalışmada hazırlanan MnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak farklı hacimsel oranlardaki ısıl iletkenlik literatür değerleri.....	57

Şekil 4.16. MnFe_2O_4 - saf su nanoakışkanının 20°C, 40°C, 60°C sıcaklıklarda farklı hacimsel oranlarda ısı iletkenlik literatür ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	58
Şekil 4.17. MnFe_2O_4 - saf su nanoakışkanının 30°C, 50°C sıcaklıklarda farklı hacimsel oranlarda ısı iletkenlik literatür ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	58
Şekil 4.18. CoFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması	59
Şekil 4.19. MnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması	60
Şekil 4.20. ZnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması	60
Şekil 4.21. $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması	61
Şekil 4.22. %1 CoFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	61
Şekil 4.23. %1 MnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	62
Şekil 4.24. %1 ZnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	62
Şekil 4.25. %1 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	63
Şekil 4.26. %0.25 CoFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	63
Şekil 4.27. %0.25 MnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	64

Şekil 4.28. %0.25 ZnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	64
Şekil 4.29. %0.25 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması	65
Şekil 4.30. Manyetik ve oksit bileşenli nanoakışkanların 20°C sıcaklıkta viskozite değerlerinin karşılaştırılması	65



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Manyetik nanokışkanlarda ısı iletkenlik için sıklıkla kullanılan modeller.....	21
Çizelge 2.2. Manyetik nanokışkanlarda viskozite için sıklıkla kullanılan modeller	25
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan nanopartiküllerin özellikleri	29
Çizelge 3.2. Deney düzeneği ekipmanlarından ultrasonik banyo cihaz özellikleri	30
Çizelge 3.3. Deney düzeneği ekipmanlarından titreşim önleyici zeminin özellikleri	31
Çizelge 3.4. Deney düzeneği ekipmanlarından ultrasonik homojenizatör özellikleri	32
Çizelge 3.5. Deney düzeneği ekipmanlarından hassas terazi özellikleri	33
Çizelge 3.6. Deney düzeneği ekipmanlarından viskozimetre cihaz özellikleri	34
Çizelge 3.7. Deney düzeneği ekipmanlarından ısı iletkenlik ölçer cihaz özellikleri.....	37
Çizelge 4.1. CoFe ₂ O ₄ ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları.....	45
Çizelge 4.2. MnFe ₂ O ₄ ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları	45
Çizelge 4.3. ZnFe ₂ O ₄ ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları	46
Çizelge 4.4. Fe ₂ O ₃ /NiO ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları ...	46

1. GİRİŞ

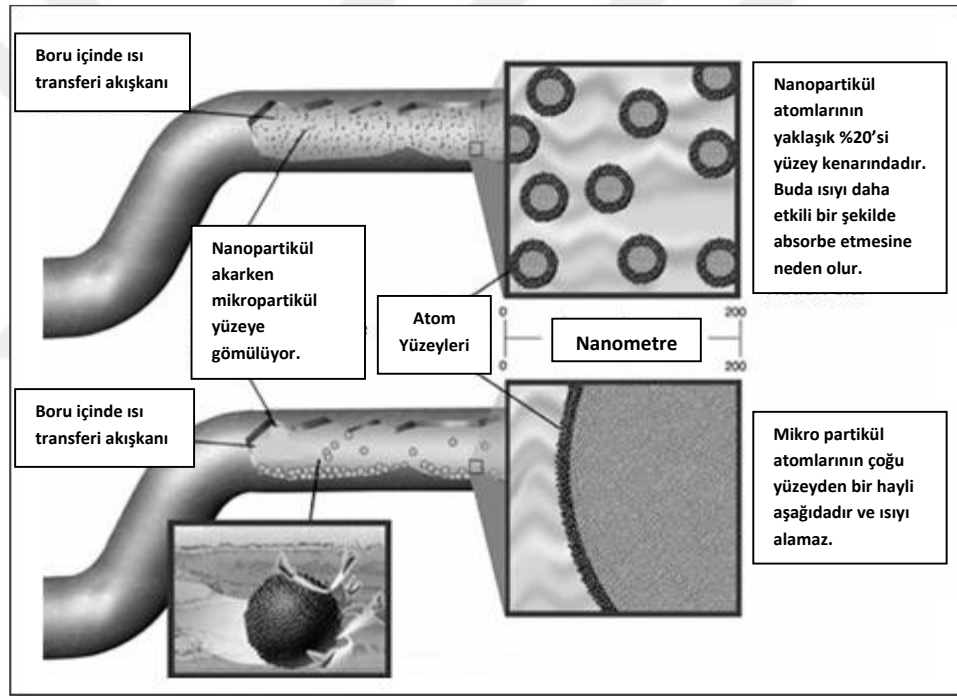
Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar, teknolojik ve endüstriyel gelişmelerle birlikte hızla devam etmektedir. Isı transferin artırma yöntemleri, aktif, pasif ve karma yöntemler olarak sınıflandırılır. Aktif yöntemler, ortama ek enerji verilmesi, mekanik karıştırma kullanılması ısı transferini artıran yöntemlerdir. Aktif yöntemlere örnek olarak; yüzey titreşimi, akışkan titreşimi, yüzeyin döndürülmesi, enjeksiyon verilebilir. Pasif yöntemler, ek enerji verilmeden ısı transferini artıran yöntemlerdir. Pasif yöntemlere örnek olarak pürüzlü, işlenmiş ve genişletilmiş yüzeyler dönmeli akış elemanları verilebilir. Karma yöntemler ise aktif veya pasif yöntemlerden iki veya daha fazlası birlikte kullanılmaktadır.

Kullanılan yöntemlerde pasif yöntemleri kullanılarak çeşitli ve önemli miktarda iyileştirmeler yapılabilir. Fakat pasif yöntemleri kullanmanın bazı dezavantajları bulunmaktadır. Pasif yöntemler uygulama yapıldığında basınç azalışında artış meydana gelir. Bu sebeple akışkanı pompalamak için gerekli olan güç ve enerji miktarı artar. Bu yöntem kullanıldığında sistem üzerinde oluşan bazı problemler çözülmesi gereklidir. Örnek olarak nükleer santrallerde, boru içinde kullanılan türbülátörler sebebiyle ortaya çıkan akış kaynaklı titreşimler boru içinde titreşime hatta daha ileri olarak yorulma durumunda rezonansa sebep olabilir. Ayrıca rezonansa sebep olan türbülátörler, boru cidarında çatlamalara, kırılmalara ve çeşitli deformasyonlara sebep olabilir. Kimyasal uygulamalarda ise çökelmeye ve kirlenmeye sebep olabilir. Bu durum akışkanın ısı iletkenliğini olumsuz yönde etkilemekte ve azalmasına neden olmaktadır.

Pasif ısı transferi artırma yöntemlerinden biri olan nanoakışkan uygulamaları son yıllarda öne çıkan bir konu haline gelmiştir. Temel akışkanın içine katı partiküllerin katılması ısı iletkenliğini artırır. Bunun nedeni ise metalin ısı iletkenliğinin temel akışkandan fazla olmasıdır. Metal partikül içeren akışkanların ısı iletkenlikleri ametal partikül içeren akışkanlarındakinden çok daha fazladır. Bu nedenle katı partikül içeren akışkanların ısı iletkenliklerinin geleneksel akışkanların ısı iletkenliklerinden daha yüksek olması

beklenir (Touloukian *et al.* 1970). Akışkan içine nanometre boyutunda partiküllerin katılması ile malzeme biliminde ki gelişmeler hızlanmıştır.

Nanopartiküllerin üretim metotları mekanik aşındırma, kimyasal çöktürme ve gaz yoğunlaştırulmasından oluşur. Bu yöntemlerden gaz yoğunlaştırulması daha kullanışlı bir yöntemdir. Nedeni ise daha temiz bir ortamda üretilen partiküllerin yüzeyleri istenmeyen madde ile kaplanmamaktadır. Uygulanan enerjinin düşük seviyelerde olmasından dolayı parçacıklar küçük demetçiklere ayrılarak toplanmalar meydana gelebilir.



Şekil 1.1. Nanopartiküllerin mikropartiküller ile karşılaştırılması (Dilek *et al.* 2008)

Büyük parçalarda hızla çökme, mikro kanallardan geçerken tıkanma, basınç düşüşünde artış ve parçacıkların aşındırıcı etkisiyle boru hattı ve bileşenlerinde aşınma gibi teknolojik problemlerden dolayı boyutları mikrometre ve milimetre ile sınırlandırılmış olup metal oksitli süspansiyonların ısı transferi incelenmiştir. Maxwell katı partikül içeren süspansiyonların ısı iletkenliği konusunda deneysel ve teorik olarak çalışmalar yapmıştır. Çok uzun süreden beri yapılan bu konulardaki çalışmalarda partiküller milimetre ve mikrometre boyutlarında sınırlı kalmıştır. Partiküllerin boyutlarındaki sınırlı

durum modern teknolojinin nano boyutta parçacıkların üretimini yaptığında bu durum sona ermiştir. Çok küçük tane boyutlarındaki partiküller (16-60nm) akışkan içerisinde çok iyi karıştırıldığında, ortaya çıkan akışkan katı-sıvı karışımdan çok tek fazlı akışkan gibi davranır (Daungthongsuk and Wongwies *et al.* 2007).

Eklenen nanopartiküllerin serbest hareketleri ve temel akışkan içerisine süspanse edilen nanopartiküllerin akışkanın yüzey alanını büyütmesi ve akışkan içinde çalkantı ve türbülans şiddetini artırması enerji taşınımına olumlu yönde etki eder. Nanopartiküllerin sıvı ile arasındaki yüzeysel etkileşim nanoakışkan içinde enerji aktarımını artırır. Bunların sonucunda ısı iletimini artırması ile ısı transferi de artar.

Nanoakışkanlar ile ilgili çalışma yapabilmek için, nanoakışkan kavramı, nanoakışkanın nasıl hazırlandığı, termofiziksel özelliklerinin ve ölçüm yapılırken nasıl bir yöntem izleneceği iyi bilinmelidir.

Nanoakışkanların ısı transferini iyileştirmek için nanoakışkanların hazırlanması önemlidir. Hazırlama aşamasında tek adım ve iki adım yöntemi olmak üzere iki yöntem mevcuttur. İki adım yönteminde toz halinde bulunan nanopartiküller temel akışkan içerisine katılarak nanoakışkan hazırlanır. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler ile nanopartiküller kolayca temin edilmektedir. Bu durum da nanoakışkanların oluşturulmasında kolaylık sağlar.

İki adım yöntemi kullanışlı olmasına rağmen topaklanma problemine neden olabilir. Bu durum nanoakışkanın stabil olmasına engel olur. Nanoakışkanın kararlı, uzun süre kalabilen ve partiküllerin minimum düzeyde topaklanmasını sağlayan bir karışım olması gerekir. Nanoakışkanların stabil olmasını sağlayan bazı teknikler vardır. Bu teknikleri, karışımın pH değerini uygun bir şekilde ayarlamak, yüzey aktif madde kullanmak ve ultrasonik titreşim (homojenizatör) kullanmak diye sıralayabiliriz. Bu teknikler nanopartiküllerin özelliklerine ve uygulanan yönteme göre ayarlanırlar.

Xie *et al.* (2002) Al_2O_3 -Su ve Al_2O_3 -Etilen Glikol nanoakışkanlarını iki adım yöntemi kullanarak hazırlamıştır. Topaklanmayı önlemek için manyetik ve ultrasonik karıştırıcı kullanmışlardır.

Li *et al.* (2007) CuO -Su karışımı çalışmasında nanoakışkanın stabilitesine etki eden faktörlerin pH değeri, yüzey aktif madde ve konsantrasyon olduğunu belirtmiştir. Kendi çalışması için pH değerinin 9.5 olduğu şartları en iyi stabil şartlar olarak nitelendirmiştir.

Nanoakışkanların ısı transferinin artırılmasında ısı iletkenliğin ve viskozitenin etkisi çok önemlidir. Isı iletkenlik, temel akışkan içerisine süspanse edilen nanopartikülün hacimsel oranına, süspanse edilen partikülün dönme yarıçapına bağlıdır. Dönme yarıçapı ne kadar küçük olursa enerji taşınımı o kadar büyük olur. Bu durumda ısı iletkenlik artar ve dolayısıyla ısı transfer artar. Deneyler sonucu elde edilen parametreler Maxwell-Gannet, Murshed, Jeffrey, Rayleigh, Bruggeman modelleriyle karşılaştırılır.

Das *et al.* (2003a) sıcaklığın ısı iletkenlik üzerinde etkisinin çok büyük olduğunu çalışmasında belirtmiştir. Oluşturduğu nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin suya oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Yu *et al.* (2010) Fe_3O_4 -Kerosen karışımında yüzey aktif madde kullanarak yaptıkları çalışmada ısı iletkenliğin hacimsel partikül yoğunluğuyla arttığını belirtmişlerdir.

Gul *et al.* (2015) Al_2O_3 -Su ve Fe_3O_4 -Su nanoakışkanlarını farklı hacimsel oranlarda incelemişlerdir. Viskozite ve ısı iletkenliğin hacimsel oran arttıkça arttığını yalnız artan sıcaklıkla viskozitenin azaldığını gözlemlenmişlerdir.

Hwang *et al.* (2006) nanopartikül süspanse edilmiş nanoakışkanın ısı iletkenliğinin temel akışkandan daha yüksek olduğunu çalışmasında belirtmiştir. Çalışmasında gelişmiş laminar akım rejiminde Al_2O_3 -Su nanoakışkanının ısı transfer katsayısını ölçümünü yapmışlardır.

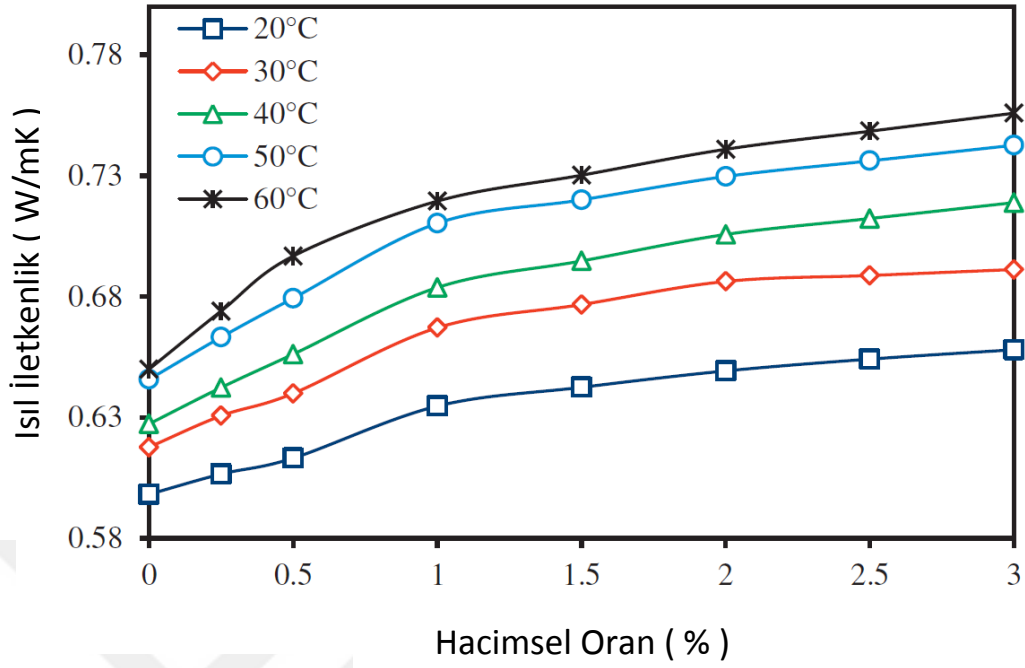
Patel *et al.* (2010) çalışmasında nanoakışkanların ısı iletkenlik ölçümlerini yapmıştır ve nanopartiküllerin ısı iletkenliklerinin sıcaklığın artmasıyla arttığını partikül boyutunun artması ile azaldığını gözlemlemiştir. Isı iletkenlik artım oranının fazla oluşu sebebiyle Maxwell modeli yetersiz kalmıştır.

Gavili *et al.* (2012) Fe_3O_4 -Su karışımının ısı iletkenliğinin manyetik alanla ilişkisini incelemişler ve doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca manyetik alan etkisinde artan sıcaklığın ısı iletkenliği düşürdüğünü gözlemlemiştir.

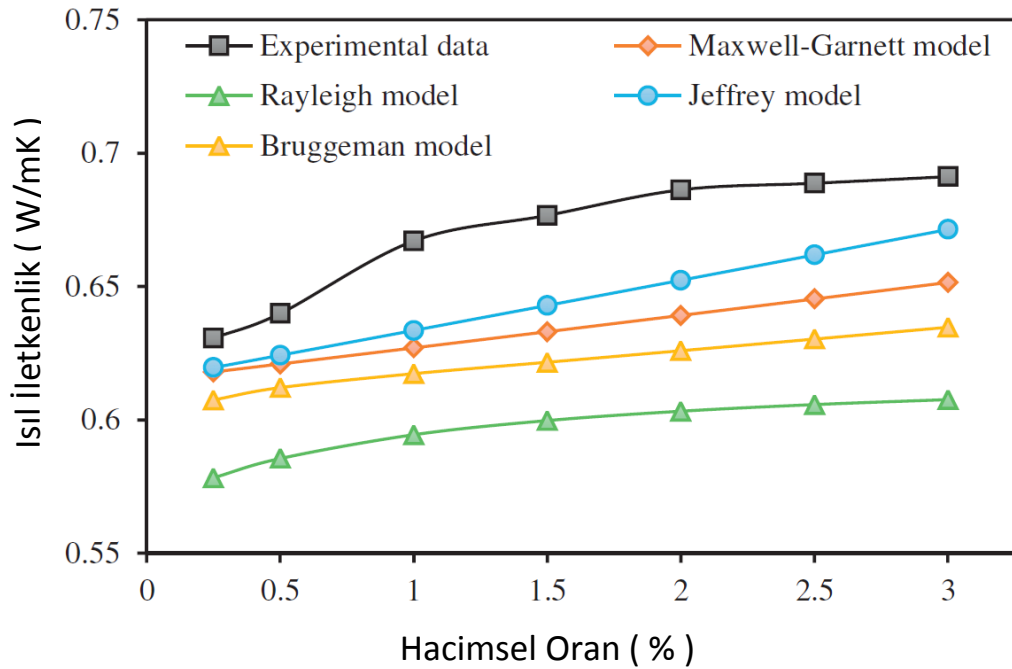
Tripathi *et al.* (2015) çalışmada otomobil radyatörü üzerinde ısı performans iyileştirmesi için ZnFe_2O_4 nanoparçacıklar üzerinde çalışmışlardır. ZnFe_2O_4 nanopartiküllerinin baz sıvılarıyla hacim fonksiyonunun bir radyatörün ısı performansı ve potansiyel boyut düşüşü üzerindeki etkisi de gerçekleştirildi. % 0 ile % 1.5 arasında ısı iletim hızı ölçülmüştür. Yaklaşık olarak %78 oranında ısı transferi iyileştirmesi gözlemlenmiştir.

He *et al.* (2007) su – TiO_2 den oluşan nanokışkanın ısı transferini incelemiştir. Yapılan çalışmada hacimsel oranın arttıkça viskozitenin de arttığını gözlemlemiştir. Deneyde Bohlin CVO viskozimetresi kullanılmıştır.

Amani *et al.* (2017) çalışmada manyetik nanopartikül olan MnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının ısı iletkenliği incelenmiştir. %0.25 ile %3 hacimsel oran aralıklarında çalışmışlardır. Çalışma sonucunda deneye dayalı bağlantı elde edilmiştir. Deney sonucunda hacimsel oranının atışı ile ısı iletkenlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sıcaklık artışı ile ısı iletkenlik değerinin arttığı görülmüştür.



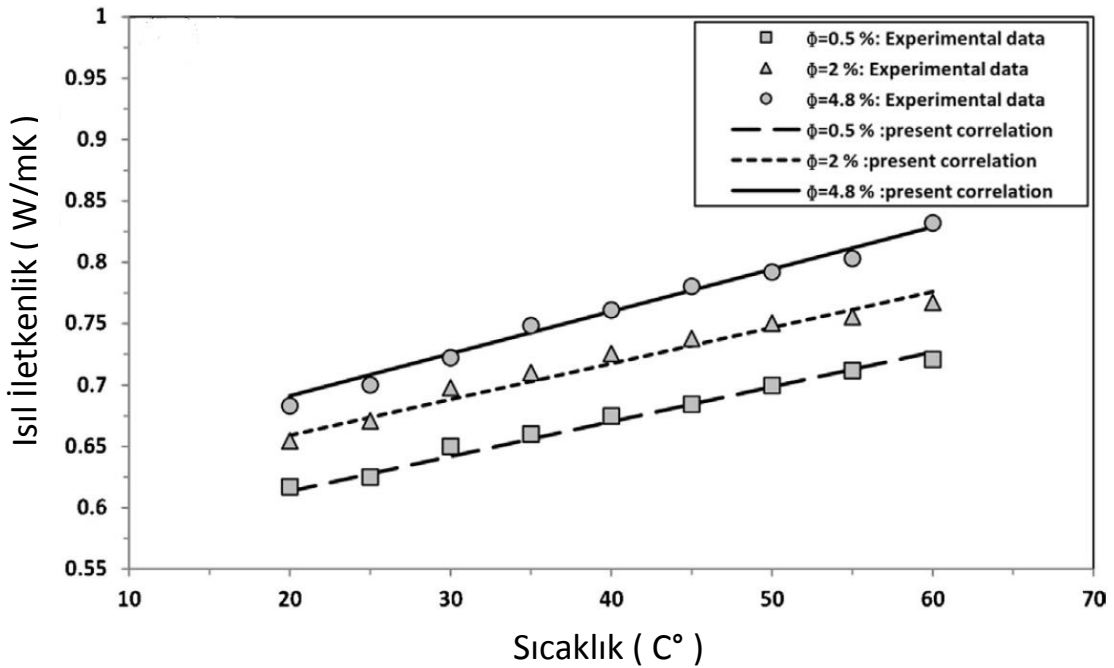
Şekil 1.2. MnFe₂O₄ / saf su nanoakışkanının farklı sıcaklıklarda, hacimsel oran etkisi ile ısı iletkenlik değ erlerinin değ iş imi (Amani *et al.* 2017)



Şekil 1.3. MnFe₂O₄ / saf su nanoakışkanının farklı hacimsel oranlarda ve sabit 30°C'de ısı iletkenlik değ erlerinin çeş itli modeller ile karşı laştırılması (Amani *et al.* 2017)

Viskozite akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanmaktadır. Mühendislik çalışmalarında ısı iletkenlik gibi viskozite de önem arz etmektedir. Bunun nedeni ısı transfer katsayısının viskoziteden etkilenmesidir. Temel akışkanın içerisine nanopartiküllerin katılması ile nanoakışkanın viskozitesi artmaktadır.

Karimi *et al.* (2014) çalışmada Fe_3O_4 ve CoFe_2O_4 nanopartiküllerinin çökeltme metodu kullanarak sentezlemiştir. Bileşiklerin ısı iletkenliklerini %0 ile %4.8 arasındaki farklı hacimsel oranlarda ve 0-500 G manyetik alan yoğunluğu arasında ölçümlemişlerdir. Isı iletkenliğindeki artış %4.8 hacimsel oranda Fe_3O_4 için %196 iken CoFe_2O_4 için %148 olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 1.4. CoFe_2O_4 nanopartikülünün farklı sıcaklıklarda ve farklı hacimsel oranlarda ısı iletkenlik değerlerinin değişimi (Amir *et al.* 2014)

Gul Kha. *et al.* (2015) Al_2O_3 -Su ve Fe_3O_4 -Su nanoakışkanlarını farklı hacimsel oranlarda incelemişlerdir. Viskozite ve ısı iletkenliğin hacimsel oran arttıkça arttığını yalnız artan sıcaklıkla viskozitenin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Isı transferi işleminin iyileştirilmesi işlemlerinde nanoakışkanlar önemli bir yere sahiptir. Bu tezin amacı; farklı hacimsel oranlarda, uzun süre stabil kalabilen nanoakışkanalar hazırlamak ve hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinden olan ısı iletkenlik ve viskozite değerlerini belirlemektir.

Akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç viskozite olarak adlandırılır. Akışkanın viskozitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan biri pompalama gücüdür. Basınç düşümü laminar akışlarda direkt olarak etkilidir. Konvektif ısı transfer katsayısı viskoziteden etkilenir. Bu yüzden viskozite de mühendislik sistemleri için ısı iletkenlik gibi önemlidir (Mahbubul *et al.* 2012).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Isı Transferi

Isı transferi, sıcaklığın var olan potansiyelinden dolayı oluşan enerji biçimidir. Mevcut olan ortamlar içerisinde veya ortamlar arasında yukarıda bahsettiğimiz ısı transferi, sıcaklık farkının bulunması durumunda her an gerçekleşir. Mevcut olan ortamın akışkan veya katı olması halinde, sıcaklık farkının olduğu durumda ve ortam içinde oluşan ısı transferi için iletim terimi kullanılır. Bu durumun karşısında farklı sıcaklıklardaki bir yüzey ve akışkan arasındaki ısı transferinde ise taşınım terimi kullanılır. Yüzeylerin sıcaklıkları, sonlu sıcaklık olması durumunda tüm yüzeyler elektromanyetik dalgalar halinde çevre ortama enerji yayarlar. Bu durumun örneği olarak farklı sıcaklıklara sahip iki yüzey arasında, birbirlerini görmeyi engelleyecek arada herhangi bir yüzey yoksa yüzeyler arasındaki ısı transfer şekline ışıınım adı verilir.

İletim ile ısı transferi bir ortamdaki sıcak farkı nedeniyle oluşan enerji transferini belirtir. Fiziksel mekanizması rasgele gerçekleşen atomların ve moleküllerin hareketleri şeklinde tanımlanabilir. Sabit kesit alanına sahip bir cisimden bir boyutlu, kararlı ısı iletimi aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

$$q = -k A_c \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Farklı yoğunluklarda ortamların hareketleri ve akışkanların elemanlarının karıştırılması gibi durumlarda, soğutucu akışkan veya ortam arasındaki ısı iletimi bir enerji depolama durumudur. Sıcaklık değişimlerinin neden olduğu yoğunluk farklarından dolayı kaldırma kuvvetinin etkisi ile ısı transferi gerçekleşiyorsa bu duruma doğal veya serbest taşınım denir. Fakat bu durumun aksine taşınım, kaldırma kuvvetinin etkisi altında değil fan, akış pompası, atmosferik rüzgarlar gibi dış kuvvetlerinin etkisi altında gerçekleşiyorsa bu duruma zorlanmış taşınım denir. Sıcak ile soğuk nesne arası ısı transferi aşağıdaki eşitlikle incelenmektedir:

$$q_c = h_c A_s (T_s - T_m) \quad (2.2)$$

Konveksiyon katsayısı h , akışkan ile ilgili bir takım fiziksel geometrilere ve akışkanın bir takım temofiziksel özelliklerine bağlıdır. Isı alıcı kanatçıklarda kanatlar arası boşluklar konvektif ısı transfer katsayısını etkiler. Zorlanmış konveksiyonla ısı transferinde, akışı karıştıran yüzeylerin oluşturduğu vortekslerin sahip olduğu lineer hıza bağlıdır.

Işınım ısı transferi sonlu sıcaklıklardaki bir yüzeyler tarafından yayılan manyetik dalgaların enerji iletmesi şeklinde gerçekleşir. İletilen enerji taşınım ve iletim kullanılırken bir maddeye veya ortama ihtiyaç duyulur. Fakar radyasyon ile ısı trasferinde böyle bir ortama veya maddeye gerek yoktur. Sonlu sıcaklıklardaki manyetik dalga yayan bu cisimlerin karşısında alıcı konumda cisimler bulunmaktadır. Manyetik dalga yayan cismin çevresindeki her eleman kendine göre alıcı konumundadır. Radyasyonun etkisinden bahsedilirken aşağıdaki eşitlik kullanılır:

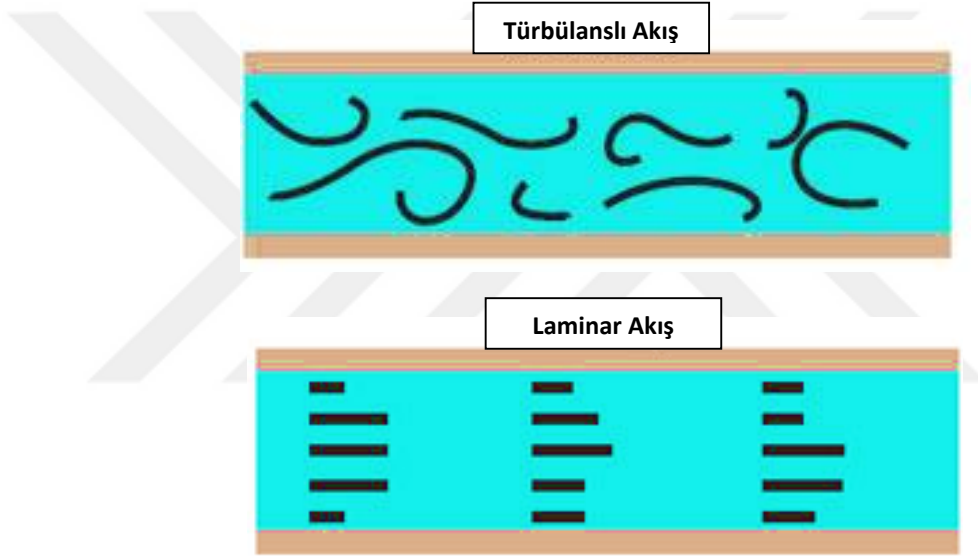
$$Q = \varepsilon A_s \sigma (T_y^4 - T_c^4) \quad (2.3)$$

Çevresel şartlarda ısı transferi bu üç yöntemle gerçekleşmektedir. Fakat enerjinin transfer şekline ve durumuna göre farklı kombinasyonlarda ısı transferi gerçekleşebilmektedir.

Isı transfer katsayısını arttırmak için yukarıda bahsedilen üç yöntemdeki ısı transfer katsayılarının hızını arttırmak gerekir. Örneğin yüzey alanı arttırılmış kanatçık eklenmiş yüzey ile düz bir yüzey arasında ısı transferi farklıdır. Boru içi akışlarda, akışkan ile cidar arasındaki ısı transferinde ısıl sınır tabaka önemlidir. Örneğin laminar bir akışta sınır tabaka kalın, bu duruma karşılık türbülanslı bir akışta sınır tabaka daha incedir. Sınır tabakanın ince veya kalın olması ısı transferini etkiler. Sınır tabaka kalınlığını ince olması ısı transferini arttırmaktadır.

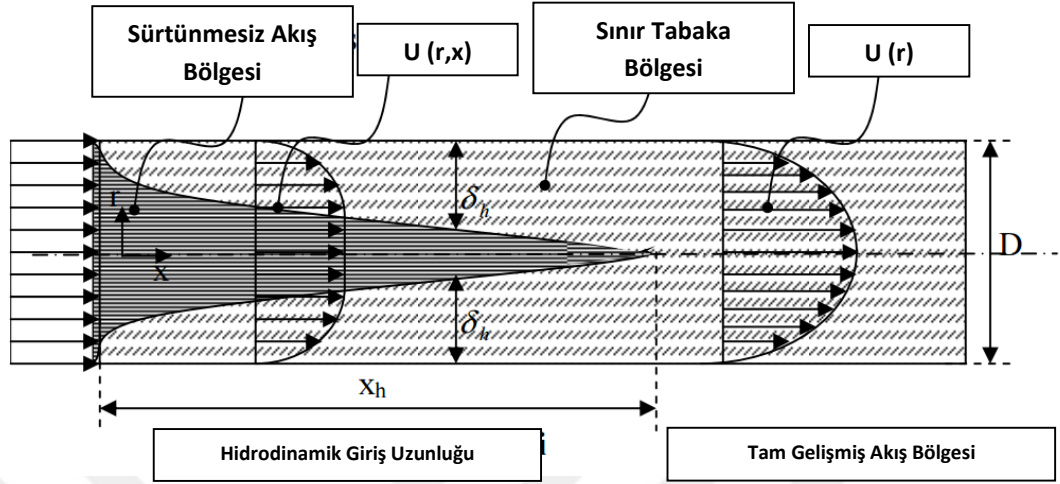
Laminer akışkan, akışkan içinde farklı hız gradyeninde ve akış yönüne paralel akışkan tabakalarının hareketi şeklinde tanımlanır. Akışkan tabakaları birbiri ile karışmadan akış

yönüne dik bir şekilde ilerler. Isı transferi akış yönünde hareket eden akışkan tabakalarına dik bir şekilde tabakalar arası iletim yolu ile gerçekleşir. Türbülanslı akışta, akış tabakaları akışa paralel değildir. Akışkan içinde rasgele dağılmış farklı hızlarda akışkan partiküllerinin üç boyutta ki hareketi türbülanslı akışı tanımlar. İki farklı akış türü Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Türbülanslı akış, laminar akışa göre daha fazla ısı geçişi meydana gelir. Bunun nedeni türbülanslı akışta, laminar akışta olduğu gibi bir yönde ısı geçişinin olmamasıdır. Türbülanslı akışta her yönde ısı geçişi olduğu için partiküller arası titreşim ile ısı geçişi sağlanır. Bu nedenle ısı geçiş değerleri türbülanslı akışta daha yüksektir.



Şekil 2.1. Türbülanslı ve laminar akış için akım çizgileri (Incropera *et al.* 1996)

Şekil 2.2’deki gibi r yarı çaplı veya D çaplı bir dairesel borudaki laminar akışı gösterilmiştir. Akışkan sabit hızda boruya girdiğini düşünelim. Akışkan yüzeye temas ettiğinde, sürtünme etkileri önem kazanmakta ve boru içinde ilerledikçe sınır tabaka gelişmektedir.



Şekil 2.2. Hidrodinamik giriş uzunluğu (Incropera *et al.* 1996)

Bu gelişme akış bölgesinin giderek küçülmesi ve boru ekseninde sınır tabakalarını birleşmesiyle sona erer. Bu birleşme noktasından sonra, sürtünme tüm kesit boyunca etkili olur ve hız profili artık akış boyunca değişmez. Bu noktadan sonra akış hidrodinamik olarak tam gelişmiştir. Girişten bu koşulun gerçekleştiği bu noktaya kadar olan uzaklık hidrodinamik giriş uzunluğu olarak tanımlanır. Tam gelişmiş hız profili şekilden de görüldüğü gibi laminar akış için paraboliktir. Türbülanslı akış durumunda radyal doğrultudaki türbülanslı karışımdan dolayı hız profili daha düzdür (Incropera *et al.* 1996).

2.2. Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlarda inceleme yapabilmek için nanoakışkan kavramının, nanoakışkanların nasıl hazırlandığının, termofiziksel özelliklerinin, nasıl stabil hale getirildiklerinin, uygulama alanlarının neler olduğunun ve kullanıldıkları zaman ne fayda sağlayacağını iyi bilinmesi gerekir.

2.2.1. Nanoakışkan kavramı

Nanoakışkanlar; temel akışkan ile Nanopartikülün karışımı ile elde edilir. Araştırmalar sonucunda nanoakışkanların diğer akışkanlara göre daha iyi ısı transferi sağladığı görülmüştür. Küçük partikül boyutu, yüksek ısıl iletkenlik, düşük ağırlık gibi özellikleri ile çalışmalara olumlu yönde katkı sağlar. Düşürülebilen Üretim maliyetleri açısından da üretim sektöründe önemli bir yere sahiptir.

Klasik akışkanların düşük ısıl iletkenliklerinden dolayı ısı transfer cihazlarında da sıkıntılar yaşanmaktadır. Metal içerikli nanoakışkanların ısı transfer katsayısı ametal içerikli nanoakışkanların ısı transfer katsayısından büyüktür. Bu yüzden katı formdaki metal nanopartiküllerin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Nanoakışkanların ısıl iletkenliklerin yüksek olması, viskozitelerinin klasik akışkana göre yüksek olması, geniş yüzey alanlarına sahip olmaları, düşük ağırlığa sahip oldukları için çökelmeleri azdır ve bu nedenle nanoakışkanların uzun süre stabil kalmaları, nanopartiküller boyut olarak çok küçük olduklarından aşınma ihtimalinin çok az oluşu, maliyet ve enerji tasarrufu sağlaması gibi özelliklere sahiptir (Goharshadi *et al.* 2013).

2.2.2. Nanoakışkan türleri

Nanoakışkanlar, seramik, saf metal, alaşım ve karbon esaslı olmak üzere dört gruba ayrılır. Bu nanopartiküller temel akışkanlarla homojen biçimde karıştırılarak nanoakışkanlar elde edilir.

Seramik nanoakışkanlar: üretim kolaylığı ve karışım içinde uzun süre kararlı olması nedeniyle sık sık kullanılan nanoakışkan türüdür. Al_2O_3 , CuO , SiO_2 , SiC örnekleri verilebilir.

Saf metal nanoakışkanlar: yapılan çalışmalara bakıldığında çok tercih edilen bir tür değildir. Fakat ısı iletkenlik olarak değerlendirildiğinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

Alaşımlı nanoakışkanlar: saf metal nanoakışkanlar gibi bunlarda çok sık tercih edilmemektedirler. Metalleri farklı metallerle alaşımla söz konusudur (Ceylan *et al.* 2006).

Karbon esaslı nanoakışkanlar: yüksek ısı iletkenlikleri ve düşük yoğunlukları nedeniyle sık kullanılan türdür.

2.2.3. Nanoakışkan ısı transferi karakteristiği

Klasik akışkanların ısı transferini artırmak için nanopartikül kullanarak nanoakışkan hazırlamak faydalı olacaktır.

Nanopartiküllerin katılması ile iş yapan akışkan ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Xuan *et al.* 2000).

1. Akışkan içerisine süspanse edilen partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür.
2. Partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır.
3. Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçitinin yüzeyinin artmasına neden olur.
4. Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar.
5. Nanopartiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık eğiminin düzleşmesine neden olur.

2.2.4. Manyetik nanoakışkanların sentezlenmesi

Manyetik nanoakışkanların sentezlenme işlemi üç yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar kimyasal birlikte çökelme metodu, mikrodalga sentezi metodu, hidrotermal sentez metodu olarak belirtilmiştir.

Kimyasal Birlikte Çökelme Metodu:

Bu metot Fe^{3+} ve Co^{2+} tuzlarının NaOH gibi bazların içerisinde çökeltilmesi işlemidir. Düşük sıcaklık ve standart şartlarda gerçekleştirilen bu metot diğer metotlara kıyasla kolay ve hızlıdır (Maity *et al.* 2007). Bu yöntemin dezavantajı ise partikül büyüklüğüdür. Kontrol altına alınması gereklidir. Bu problemi kullanılan bazın değiştirilmesi veya tuz çekirdeklerinin parçalanmasının yavaşlatılması gibi önlemlerle çözebiliriz. Bunların yanı sıra pH değerinin ve sıcaklığında partikül dağılımında etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Xu *et al.* 2009). Bu metotta uygun sıcaklık $80^{\circ}C$ olmalı ve iyonca uygun yüzey aktif madde kullanılmalıdır.

Mikrodalga Sentezi Metodu:

Bu metot, hızlı ve homojen ısıtma, yüksek verim ve enerji, zaman tasarrufu ve yüksek kaliteli ürün çıktısı avantajları sunan kolay ve hızlı bir yöntemdir (Ferrofluids *et al.* 2008). Bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Basınç ve sıcaklık kontrollü olan reaktörler bu yöntemi daha kullanışlı hale getirmiştir. Partikül boyutu dağılımında da diğer metoda göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu durumu sağlayan etken iyonik sıvı ortam kullanılmasıdır. Bu yöntemin dezavantajı ise tatbik süresidir. Tatbik süresinin uzatılması partiküllerin kimyasal yapılarında değişikliğe yol açma ihtimalini meydana getirir. Tüm bu durumlara rağmen olumlu etkileri sayesinde bu yöntem gelişmektedir (Hu *et al.* 2010).

Hidrotermal Sentez Metodu:

Bu metot, yüksek sıcaklık ve basınç reaktörlerinde gerçekleştirilir. Diğer metotlara göre partikül boyut kontrolüne daha çok imkan sağlar. Partikül boyutu kontrolü, pH ve sentez süresinin değişimi ile gerçekleştirilir (Xuan *et al.* 2000). Bu metotta oldukça küçük nanoparikül boyutlarına ulaşılabilir. Bu durum da bu yöntemi uygun kılmaktadır. Metodun dezavantajı hidrotermal sentez ürünleri asidik ortamlarda kimyasal kararlılık problemi gösterir. Bu kararlılık probleminin engellemek için çeşitli yüzey işlemlerine gerek duyulur (Gomes *et al.* 2008).

2.2.5. Manyetik nanoakışkanların hazırlanması

Nanoakışkan hazırlanması basit bir işlem değildir. Nanoakışkan kavramı bir katı-sıvı karışımı anlamı taşımaz. Önem gösterilmesi gereken bir işlemdir. hazırlanan nanoakışkanın stabil ve dayanıklı bir karışım olması, topaklanmanın minimum düzeyde olması ve nanoakışkanın kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekmektedir.

Manyetik nanoakışkanlar, nanopartiküllerin manyetik olmayan taşıyıcı akışkanlar içerisine katılmasıyla elde edilir. Manyetik nanoakışkanlar manyetik alana maruz kalırlar. Manyetik alana maruz kalması nanoakışkanda stabilite problemini ortaya çıkarır. Bu problemi ortadan kaldırmak için partiküllerin bir araya topaklanması engellenmelidir ve termal enerjinin manyetik enerjiden yüksek olması gerekir.

Manyetik nanoakışkanlarda çökelmelerin önüne geçmek için sadece partikül boyutlarında sentez yapmak önlemek için yeterli değildir. Manyetik nanoakışkan içinde oluşan manyetik alan etkileri veya van der Waals kuvvetleri partiküllerin topaklanmasına ve çökelmeye neden olabilir. Bu durumda yapılması gereken yüzey aktif madde veya kimyasal dağıtıcı eklenmesi ve homojenizatör kullanılmasıdır.

Akışkanın ısı transferini iyileştirmeye yönelik ilk yapılacak işlem nanoakışkan hazırlamaktır. En basit anlatımıyla nano boyuttaki partiküllerin su, etilen glikol veya yağ gibi temel akışkanlar ile karışımı sonucunda elde edilir.

Nanoakışkan hazırlanmasında tek adım yöntemi ve iki adım yöntemi olmak üzere iki yöntem vardır.

1. Tek adım yöntemi:

Temel akışkan içerisinde nanopartikül üretim metodudur. Bu yöntemde nanopartiküller direkt buharlaşma ve sıvı kimyasal yöntemleri ile üretilir. Direkt buharlaşma yöntemi Akoh *et al.* (1978) tarafından uygulanmıştır. Tek adım yöntemiyle nanopartikülün kurutulması, taşınması engellendiği için daha kararlı bir nanoakışkan hazırlanır. Bu yöntemin dezavantajı ise kuru nanopartikülü elde etmek için partikülün akışkandan ayırt edilme durumu ve düşük basınçlı akışkanlar için uygulanmasıdır (Li *et al.* 2009).

2. İki adım yöntemi:

Bu yöntemde kuru toz halinde üretilen Nanopartiküllerin temel akışkanın içerisine uygun yöntemlerle katılmasıyla nanoakışkan elde edilir. Yani nanopartikül üretimi ile nanoakışkan hazırlanması eş zamanlı gerçekleşmez. İki adım yönteminde karşılaşılabilecek en büyük problem nanoakışkanın stabilitesidir. Bunu nedeni nanoakışkanın hazırlanması aşamasında nanopartiküller hazır halde bulunduklarından ve akışkanın içerisine katılacağından topaklanma meydana gelmesidir. Bu durumda ısı transferine olumsuz etki eder. Bu problemi ortadan kaldırmak için karışımın pH değerini değiştirmek, ultrasonik titreşimler kullanmak ve karışıma yüzey aktivatörleri veya seyrelticiler eklemek gibi önlemler alınmalıdır. Tüm bu önlemler homojen bir nanoakışkan elde etmek için kullanılır. Bu yöntem Tek adım yöntemine kıyasla daha çok tercih edilmektedir.

2.2.6. Manyetik nanoakışkanların termofiziksel özellikleri

Manyetik nanoakışkanların termofiziksel özellikleri üzerine birçok sayısal ve deneysel çalışma yapılmıştır. Akışkanın termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi ısı transferini iyileştirmede önemli etkindir. Manyetik alan etkisi incelediğinde; eğer etki yoksa akışkanın termofiziksel özellikleri partikül dağılımından, partikülün boyutundan, kimyasal yapılarından ve yoğunluğundan etkilenir. Manyetik alan etkisi varsa, etkinin olduğu parametrelere manyetik alan yoğunluğu, manyetik alanın üniform durumu parametreleri eklenir.

2.2.6.a. Isıl iletkenlik

Nanokakışkanın ısı transferini iyileştirmede en önemli parametrelerden birisidir. Katı metallerin ısı iletkenliği sıvı akışkandan daha iyidir. Bu durumda temel akışkana ilave edilen nanopartikülün ısı iletkenliği de önem arz etmektedir. Nanopartiküllerin katılması ile nanoakışkanın yüzey alanı, akışkanın ısı kapasitesi, akışkanın ısı iletkenliği, nanopartiküller ve temel akışkan arasında etkileşim ve çarpışma, nanoakışkanın türbülansı artmıştır (Xuan *et al.* 2000).

Nanoakışkanların Isıl İletkenliklerinin Ölçülmesi

Nanoakışkanların ısı iletkenliklerini ölçmek için, geçici sıcak tel metodu, kararlı hal paralel plaka metodu, sıcaklık salınım metodu, optik yöntemler, geçici düzlem kaynağı yöntemi kullanılmaktadır.

a) Geçici Sıcak Tel Metodu:

Geçici sıcak tel metodu en sık kullanılan yöntemdir. Bu metot telin elektrik sinyallere karşı zaman ve sıcaklık tepkisini ölçer. Sonra zamanın doğal logaritmasına karşılık grafiği çizilir ve bu grafiğin eğiminden ısı iletkenlik hesaplanır. Bu yöntem ile daha hızlı ve

güvenilir sonuçlar elde edilir. Yapılan deney sonuçlarına göre manyetik nanopartikül eklenen manyetik nanoakışkanların ısı iletkenlikleri temel akışkanlara göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

b) Kararlı Hal Paralel Plaka Metodu:

Kararlı hal paralel plaka yönteminde akışkan iki paralel plaka arasındadır ve ısı üretimi üst tabakada olur. Sıvı tabaka sabit sıcaklık gradyanına tabidir ve ısı akışı bu gradyanın fonksiyonu olarak ölçülmektedir.

c) Sıcaklık Salınım Metodu:

Sıcaklık salınım yöntemi basit bir yöntemdir. Akışkan silindir hacme doldurulur. Silindirin iki bitişine salınımlı sıcaklık sınır şartı uygulanarak ısı iletkenlik ölçümü yapılır. Genlik ve sıcaklık salınımının fazı ölçülerek akışkanın ısı iletkenliği hesaplanabilir (Akyürek *et al.* 2014).

d) Optik Yöntemler:

Optik yöntemlerde dedektör ve ısıtıcının birbirinden ayrılması daha doğru sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar. Ölçümlerin mikro saniyede alınması da avantaj sağlamaktadır. Süre kısalığının sağladığı önemli bir etki doğal taşınımın etkilerini azaltmasıdır.

e) Geçici Düzlem Kaynağı Metodu:

Bu yöntemde nikel sensör direncinin sıcaklık katsayısı kullanılır. Banyonun ve sensörün yakınında ki örneğin sıcaklığı karşılaştırılır ve belirli bir sıcaklık değerinde ısı iletkenliğin ölçümünün alınmasına katkı sağlar. Ölçüm için ısı iletiminin Fourier yasası kullanılır. Malzemelerin ısı iletkenlikleri değişen sıcaklığa göre farklılık gösterir. Bu yöntemin hızlı, geniş ölçüm aralığı ve esnek numune boyutu gibi avantajları mevcuttur.

Nanoakışkanların Isıl İletkenliğini Etkileyen Parametreler

Nanopartiküllerin akışkan içerisindeki rastgele hareketleri ve eklenen nanopartiküllerin temel akışkanı bir karışıma dönüştürmesi ile nanoakışkanın enerji taşınımı artar. Bununla birlikte nanoakışkanın ısı iletkenliği temel akışkanın ısı iletkenliğine, nanopartikülün ısı iletkenliğine, hacimsel orana, nanopartikülün boyutuna, nanopartikülün şekline, pH değerinin etkisine, en-boy oranına, sıcaklığa ve kümelenme etkisine bağlıdır.

- **Temel Akışkanın Isıl İletkenliği:** Nanoakışkanın ısı transferinde temel akışkanın ısı iletkenliği önemlidir.
- **Nanopartikülün Isıl İletkenliği:** Temel akışkan gibi eklenen nanopartikülün de etkisi önemlidir. Metal Nanopartiküllerin ısı iletkenleri daha iyidir.
- **Nanopartikülün boyutu:** küçük partiküllerin kolay ve hızlı hareketlenmesi sebebiyle küçük boyuttaki partiküller daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. bu nedenle küçük boyutlu partikül kullanımı ile ısı transferi iyileştirilebilir.
- **Hacimsel Oran:** Nanopartiküllerin hacimsel oranı arttıkça nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır.
- **pH Değerinin Etkisi:** Bu etkide izo elektrik nokta ısı iletkenliğin en yüksek olduğu noktadır. Bu noktadan sonra pH artmaya devam ederse ısı iletkenlik azalmaya başlar.
- **En-Boy Oranı:** Nanopartikülün en-boy oranı arttıkça nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır.
- **Nanopartikülün Şekli:** Nanopartiküllerin silindirik ve dairesel olmak üzere iki tip şekli vardır. Silindirik partiküllerin uzunluk-çap oranı fazla olduğundan ısı iletkenliği dairesel şekline göre daha yüksek olur. (Murshed *et al.* 2005)
- **Kümelenme Etkisi:** Kümelenme etkisinde titreşim belirli bir zamana kadar artırıldığında ısı iletkenlik oranı da artar fakat bu artış devam ederse ısı iletkenlik artış oranı azalır. Kümeleme boyutu da zamana bağlı artar. Yüksek hacimsel oranlarda kümelenme daha fazla olur ve hacimsel oran ile ısı iletkenlik oranı doğru orantılı olmaz.

- **Sıcaklık:** Sıcaklığın ısı iletkenlik üzerinde ki etkisi çok fazladır. Sıcaklık arttıkça ısı iletkenliğin arttığı yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Ayrıca nanoakışkanlar soğutma sıvısı olarak da kullanılmaktadır.

Manyetik Nanokışkanlarda Isıl İletkenlik için Sıklıkla Kullanılan Modeller

Isıl iletkenlik ile ilgili yapılan sayısal çalışmalarda kullanılan yöntemler mevcuttur. Çizelge 2.1’de sıklıkla kullanılan yöntemler ve açıklamaları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Manyetik nanokışkanlarda ısı iletkenlik için sıklıkla kullanılan modeller (Wang *et al.* 1999)

Modeller	Denklemler	Açıklamalar
Maxwell-Gannet model	$\frac{K_p + 2K_a + 2\varphi(K_p - K_a)}{(K_p + 2K_a - \varphi(K_p - K_a))}$	Küresel partiküller de ve düşük hacimsel yüzdelerde geçerlidir.
Modified Maxwell-Gannet Model	$\frac{K_i}{K_a} = \frac{K_p + 2K_a + 2\varphi(K_p - K_a)}{(K_p + 2K_a - \varphi(K_p - K_a))}$	Düşük hacimsel yüzdelerde ve küresel partiküller geçerlidir. $\varphi, i = x, y, z$
Microconvection Model	$(1 + ARe^\gamma Pr^{0.003}\varphi) = \frac{K_p + 2K_a + 2\varphi(K_p - K_a)}{(K_p + 2K_a - \varphi(K_p - K_a))}$	A bir sabit ve γ sisteme bağlı katsayı
Bruggeman Model	$\frac{K}{K_a} = \frac{1}{4} \left[(3\varphi - 1) \frac{K_i}{K_a} + (2 - 3\varphi) \right] + \frac{K_a}{4} \sqrt{\Delta}$ $\Delta = (3\varphi - 1)^2 \left(\frac{K_p}{K_a} \right)^2 + 2(2 + 9\varphi - 9\varphi^2) \left(\frac{K_p}{K_a} \right)$	Yüksek hacimsel yüzdelerde ve küresel partiküller de geçerlidir.

Çizelge 2.1. (devam)

Jeffrey Model	$\frac{K}{K_a} = 1 + 3\varphi + \varphi^2 \left[3\kappa^2 + \frac{3\kappa^2}{4} + \frac{9\kappa^2}{16} \left(\frac{\alpha + 2}{2\alpha + 3} \right) + \frac{3\kappa^2}{64} + \dots \right]$ $\kappa = \frac{\alpha - 1}{\alpha + 2} \quad \alpha = \frac{K_p}{K_a}$	Yük. Der. terimler rastgele dağılmış olan küreciklerin etkileşimlerini belirtir.
Rayleigh Model	$\frac{K}{K_a} = K_a + 3\varphi \frac{K_p K_a}{2K_f + K_p \varphi \left[1 + \frac{3.939\varphi^2 (K_p K_a)}{4K_a} + 3K_p \right] K_p K_a}$	Düzenli dağılım gösteren küresel partikül için geçerlidir.
Murshed Model	$\left\{ K_a \frac{Q_p \omega (K_p - \omega K_a) (2\gamma_1^3 + 1) (K_p + 2\omega K_a) \gamma_1^3 [Q_p \gamma^3 (\omega - 1) + 1]}{\gamma_1^3 (K_p + 2\omega K_a) - (K_p - \omega K_a) Q_p (\gamma_1^3 - \gamma^3 + 1)} \right\}$ $+ \left\{ Q_p^6 \gamma^6 K_a \left[3\Lambda^2 + \frac{3\Lambda^2}{4} + \frac{9\Lambda^3}{16} \left(\frac{K_{cp} + 2K_a}{2K_{cp} + 3K_a} \right) + \frac{3\Lambda^4}{2^6} \right] \right\}$ $+ \left\{ \frac{1}{2} \rho_{cp} C_{p-cp} d_s \left[\sqrt{\frac{3k_B T (1 - 1.5\gamma^3 Q_p)}{2\pi_{cp} \gamma^3 r_p^3}} + \frac{G_T}{6\pi r_p d_s} \right] \right\}$ $\gamma = 1 + \frac{t}{r_p}, \quad \gamma_1 = 1 + \frac{t}{2r_p}, \quad \Lambda = \frac{K_{cp} - K_a}{K_{cp} + 2K_a}$ $K_{cp} = K_{Ir} \frac{2(K_p - K_{Ir}) + \gamma^3 (K_p + 2K_{Ir})}{(K_{Ir} - K_p) + \gamma^3 (K_p + 2K_{Ir})}$ $\rho_{cp} = \frac{1}{\gamma^3} \rho_p + \left(1 - \frac{1}{\gamma^3} \right) \dots$ $\left\{ \frac{3\rho_p}{pb^3} (2t^2 + 2br_p t + b^2 r_p^2) - \frac{3\rho_a}{pb^3} [(2 + 2b + 2b^2) + br_p (br_p + 2bt + t)] \right\}$ $C_{p-cp} = \frac{1}{\gamma^3} C_{p-p} + \left(1 - \frac{1}{\gamma^3} \right) \dots$ $\left\{ \frac{3C_{p-p}}{pb^3} (2t^2 + 2b^t r_p t + b^t r_p^2) - \frac{3C_{p-a}}{pb^3} [t^2 (2 + 2b^t + 2b^{t^2}) b^t r_p (b^t r_p + 2b^t t + 2t)] \right\}$ $p = 3r_p^2 + 3r_p t + t^2, \quad b = \ln \left(\frac{\rho_p}{\rho_a} \right), \quad b^t = \ln \left(\frac{C_{p-p}}{C_{p-a}} \right)$	Partikül boyutu, hareketleri, etkileşimlerini içerir. G_t etkileşim halinde bulunan iki partikül arasındaki toplam potansiyel enerjiyi ifade eder.

Nanoakışkanların Isı iletimini Artıran Durumlar

Yapılan çalışmalarda ısı iletimindeki artış ile ilgili farklı durumlar söz konusudur. Bunlar; nanopartiküllerin hareketi, katı-sıvı arayüzeyinde ki katman, nanopartiküllerin ısı taşıma yapısı, nanopartikül kümelenmesinin etkisi, yüzeyin yük durumu, bir araya gelmiş taşınım durumlarıdır (Akyürek *et al.* 2014).

- **Nanopartiküllerin Hareketi:** nanoakışkan içerisinde bulunan partiküllerin çarpışmasından, dağılmasından dolayı enerji değişimi ile birlikte ısı iletkenlikte artış meydana gelir.
- **Katı-Sıvı Ara Yüzeyindeki Katman:** Oluşan ara yüzey nanoakışkandan farklı termofiziksel özellik gösterir. Oluşan bu katmanın akışkandan daha yüksek ısı iletkenlik göstermesi beklenir.
- **Nanopartikül Kümelenmesinin Etkisi:** Kümelenme ısı iletkenlik artışında olumsuz bir etki oluşturur. Büyük kümelenmeler sonucunda çökelmeler meydana gelir.
- **Yüzeyin Yük Durumu:** Bu durumunda ısı iletkenlik üzerinde olumlu etkisi olabilir.
- **Bir Araya Gelmiş Taşıma:** Nanopartiküllerin kendi aralarında, partiküllerin temel akışkanla etkileşimlerinde kimyasal reaksiyonlar veya dağılmış ısı iletimi meydana geleceğinden ısı iletkenliğine de etkisi olabilir.

2.2.6.b. Viskozite

Mühendislik uygulamalarında nanoakışkanlarda ısı iletkenlik gibi viskozite de çok önemlidir. Isı değiştirici ve soğutma sistemlerinde pompalama gücü viskoziteye bağlı olduğundan önemli rol oynamaktadır.

Nanoakışkanların viskozitesine etkileyen parametreler aşağıda sırayla açıklanmıştır:

1. Sıcaklık:

Yapılan çalışmalarda sıcaklığın artması ile viskozitenin düştüğü gözlemlenmiştir. Nedeni ise partiküller ile akışkan arasındaki etkinin azalmasıdır.

2. Partikül Boyutu:

Partikül boyutunda küçülme olursa partikül sayısı artar ve bu durumun sonucunda partikül etkileşimleri artar. Etkileşim artması ile birlikte viskozite de artmaya başlar.

3. Partikül Boyut Dağılımı:

Yapılan çalışmalarda geniş alanlara dağılan partiküllerin akmaları daha kolay olacağından viskozitelerinin düşük olacağı görülmüştür.

4. Yüzey Aktif Madde:

Yüzey aktif madde nanoakışkanın viskozitene etki eder. Çalışmalar sonucunda yüzey aktif madde artışıyla viskozitenin de arttığı gözlemlenmiştir.

5. Partikül Hacim Konsantrasyonu:

Partikül boyut etkisi ile hemen hemen aynı etkiyi göstermektedir. Artan hacimsel konsantrasyonu ile partikül sayısı artar ve bu artışla birlikte nanoakışkanın viskozitesi de artar.

Çizelge 2.2. Manyetik nanokışkanlarda viskozite için sıklıkla kullanılan modeller

Modeller	Denklemler	Açıklamalar
Batchelor	$\mu_{nf} = (1 + 0.5\phi + 6.2\phi^2)\mu_w$	Dairesel şekilli nanopartiküllerden oluşan nanoakışkanların viskozite tahmini
Drew and Passman	$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi)\mu_w$	Hacimsel oranı %5'den küçük olan dairesel partiküllere uygun olan akışkanların vizkozite tahmini
Brinkmann	$\mu_{nf} = \frac{1}{(1 - \phi)^{2.5}} \mu_w$	Einstein eşitliğinden yararlanılarak akışkanların vizkozite tahmini
Wang	$\mu_{nf} = (1 + 7.5\phi + 123\phi^2)\mu_w$	Wang tarafından önerilen formülle akışkanların vizkozite tahmini

Korelasyonlarda kullanılan μ_{nf} nanoakışkanın viskozitesi, μ_w temel akışkanın viskozitesi ve ϕ hacimsel orandır.

2.2.6.c. Yoğunluk

Homojen hale getirmek için nanopartikül ve akışkan ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Oluşan bu karışımli akışkanın iki farklı fazda bir birleri ile kimyasal tepkimeye girmemiş ve birbirleri içerisinde iyi dağıldığı düşünülmüştür. Bu durum klasik modellerle belirlenmiştir.

Nanoakışkanın yoğunluğu, ρ nanopartikül ve temel akışkanın yoğunluklarının ağırlıklı ortalamasıdır ve Pak ve Cho (1998) eşitliğinden hesaplanır.

$$\rho = (1 - \phi) \rho_l + \phi \rho_p \quad (2.4)$$

ρ_l akışkanın yoğunluğu, ρ_p ise partikülün yoğunluğudur. Eşitlikten nanokışkanın yoğunluğunun hacimsel oranla lineer olduğu anlaşılr.

2.2.6.d. Özgöl ısı

Pak ve Cho (1998) Nanoakışkanın özgöl ısısı için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$C_p = (1 - \phi) C_{Pl} + \phi C_{Pp} \quad (2.5)$$

C_{Pl} akışkanın, C_{Pp} ise nanopartikülün özgöl ısısıdır. Xuan and Roetzel (2000) farklı bir eşitliği önermişlerdir.

$$\rho C_p = (1 - \phi) \rho_l C_{Pl} + \phi \rho_p C_{Pp} \quad (2.6)$$

Bu denklem kullanıldığı zaman nanoakışkan içine katı partikül eklendiğinde özgöl ısıda az da olsa bir düşüşün olacağı tahmin edilebilmektedir. Örnek olarak Al_2O_3 verilebilir. %3 oranında nano partikül su ile karıştırıldığında, özgöl ısıda suya göre %8 lik bir düşüşün olduğu görülmüştür. Çalışmalarda hazırlanan nanoakışkanın belirli bir değeri olmadığı için, özgöl ısı değerleri bu eşitlik için hesaplamalarda kullanılabilir. Fakat özgöl ısı değerleri nanopartikül boyutuna bağlı olduğu düşünülürse bu eşitlik kullanılmaz ve boyuta bağlı olarak yeniden denklem oluşturulması gerekir.

2.2.6.e. Yüzey gerilimi

Nanoakışkanların yüzey gerilimi hakkında ki çalışma sayısı, nanoakışkanların ısı transferi özellikleri üzerinde yapılan çalışma sayısından azdır. Yüzey gerilimi, karışım içindeki partikül konsantrasyonu ile artar. Bu durumun yanında partikül boyutunun artması ile yüzey geriliminin arttığı da görülmüştür. Bu durumun sebebi sıvı ve gaz ara yüzeyindeki Wan der Walls kuvvetleri ile açıklanabilir. Partiküllerin akışkan içinde

arttırılması ile partiküller arası mesafe azalır. Bu nedenle aradaki çekim kuvveti artar ve bu durum serbest enerji miktarını arttırarak yüzey gerilimine etki eder.

2.2.7. Manyetik nanoakışkanların uygulama alanları

Nanoakışkan çalışmaları daha önceden de bahsedildiği gibi ısı özellikleri arttırmak için çalışmalar yapılmıştır. Isıl iletkenliği arttırabilmek için birçok farklı türde nanoakışkanlar kullanılmıştır. Bu sayede soğutma kapasiteleri arttırılmış ve cihazların performansları yükseltilmiştir.

Ulaşımda: Makine yağlarındaki gelişmeler, motor soğutucularındaki performans artışı, motor bloğunun soğutulması nanoakışkanlar kullanılarak zayıf ısı transfer kapasitesi arttırılmıştır. Bu durumda içten yanmalı motorların çalışma bandı aralığını yükseltmiştir. Motorların kapasiteleri arttırılmıştır. Isıl iletkenlik özelliklerinin arttırılması kullanılan radyatörlerin daha küçük boyutta yapılmasına olanak sağlamıştır. Sadece radyatör olarak değil tüm kanatlı soğutucularda verimi arttırarak boyutların küçülmesine olanak sağlamıştır. Kullanılan soğutucuların boyutlarının küçülmesi ağırlığa etki ettiği için aynı iş kapasitesine sahip durumlarda daha az yakıt harcanmıştır. Yakıt doğrudan çevreye yayılan emisyon değerlerine etki eder. Yakıt az kullanılarak zararlı gazların dışarı atılması da azaltılmıştır.

Mikro-mekanik cihazlarda: Yüksek güce sahip mikro elektronik sistemlerde (MEMS) sıradan akışkanlar yerine nanoakışkanlar kullanılır. Nanoakışkanlar mikro kanallarda rahat hareket eder ve kanallarda tıkanma meydana getirmezler. Mikro elektronik sistemlerde soğutma amacı ile mikro kanallar kullanılır. Mikro elektronik cihazların soğutulması nanoakışkanlar ile sağlanır.

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde: Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin en önemli noktası ısı transferidir. İki farklı tür akışkanın birbirine olan ısı transferini iyileştirmek ve ısı transferini arttırmak için nanoakışkanlar

kullanılmaktadır. İki fazlı sistemlerde nanoakışkanların kullanılması hem tüm sistem verimini artırır hem de kullanılan parçaların boyutlarının küçülmesine olanak tanır.

Tıbbi uygulamalarda: Vücut içinde kanserli hücrelerin ve tümörlerin olduğu bölgelere ilaçların aktarılması ve orada ilaçların tutunup yapışabilmesi için nano partiküller kullanılabilmektedir. Gelecekte kanserli hücrelerin tedavisinde ilaçların vücut içinde aktarılması alanlarında kullanılabilecektir.

2.3. Yüzey Aktif Maddeler

Yüzey aktif maddeler akışkan yüzeyi üzerinde çözünme gösterirler. Yüzey aktif maddelerin çok az miktarda kullanılması ile akışkanın yüzey ve ara yüzeylerinde belirgin özellikleri değiştirdiği görülmüştür. Yüzel özelliklerinin ölçülmesi ile yüzey aktiviteleri tanımlanılabilir. Yüzey aktif metallerin çalışma konularında bu konu hakkında teoriler ve farklı birçok görüş bulmak mümkündür.

Yüzey aktif metallerin az orada kullanıldığı bir çözeltide ani ve alışılmamış fiziksel özelliklerin görülmesi mümkündür. Mc Bain farklı davranışların iyonların ve moleküllerin çözeltide toplanması ile açıklanabileceğini söylemiştir.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneyisel Materyal

3.1.1. Nanopartiküller

Deneylerde kullanılan CoFe_2O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$, MnFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 nanopartiküllerinin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deneyde kullanılan nanopartiküller Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan nanopartiküllerin özellikleri

Partikülün Adı	Moleküler Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Partikül Boyutu (nm)	Partikül Yoğunluğu (g/cm ³)
Cobalt iron Oxide (Kobalt Demiroksit)	CoFe_2O_4	239,23	30	5,300
Manganese iron Oxide (Mangan Demiroksit)	MnFe_2O_4	230,63	50	3,600
Zinc iron Oxide (Çinko Demiroksit)	ZnFe_2O_4	241,08	≤ 100	5,100
iron Nickel Oxide (Demir Nikeloksit)	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$	234,38	≤ 50	5,368

3.1.2. Ultrasonik banyo

Nanoakışkanlarda en büyük problemlerden biri olan topaklanmayı engellemek ve stabil duruma getirebilmek için yardımcı ekipmanlardan biridir. Çizelge 3.2’de ultrasonik banyo ekipmanının özellikleri verilmiştir. Ultrasonik banyo deney sırasında nanoakışkanın sıcaklık değişimleri için kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Deney düzeneği ekipmanlarından ultrasonik banyo cihaz özellikleri

Resim		
Model		Wisd WiseCircu WCB-22
Banyo kapasitesi		6 Litre
Isıtıcı gücü		2000 Watt
Sıcaklık aralığı		Min. +5 °C Max. +100 °C
Sıcaklık Değerleri	Doğruluk	± 0.1 °C
	Değişmezlik	± 0.2 °C
	Sensör	PT100
Malzeme	Cihaz içi	304 Paslanmaz Çelik
	Cihaz dışı	Elektrostatik toz boyalı çelik
	İzolasyon	Yok
Pompalama Gücü		14 Litre/dakika
Kontrol Sistemi		Anahtarlı programlanabilir geribildirim denetleyici
Ekran		Arka aydınlatmalı ve fonksiyonlu dijital LCD
Güvenlik Aygıtları		Aşırı sıcaklık ve akım koruma, düşük seviye detektörü
Güç Kaynağı		AC 220V / 230V, 50 Hz / 60 Hz

3.1.3. Titreşim önleyici zemin

Nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite ölçümlerinde yani termofiziksel özelliklerin belirlenmesinde hataları minimuma indirebilmek için titreşimi engellemek gerekmektedir. Deneyde nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini belirlemek için kullanılan viskozimetre cihazı ile beraber alt zemin olarak kullanılmıştır. Çizelge 3.3’de titreşim önleyici zemin özellikleri ve boyutları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deney düzeneği ekipmanlarından titreşim önleyici zeminin özellikleri

Resim		
Model		AD-1671/AD1671A
Açıklama		Titreşim önleyici zemin veya masa
Kullanım Alanı		SV Serisi Viskozimetre için kullanılabilir.
Masa	Ağırlığı	Yaklaşık 27 kilogram
	Ölçüleri	Genişlik: 460mm , Yükseklik: 400mm , Kalınlık: 66mm
	Yükleme Kapasitesi	Yaklaşık 40 kilogram
Malzeme		Doğal Granit
Bakım		Lekeler çözünme yapmayan nemli bir bezle silinmelidir.

3.1.4. Ultrasonik homojenizatör

Nanopartikül ile saf su karışımının homojen hale getirilebilmesi için kullanılır. Hazırlanan nanoakışkanda topaklanmayı ve çökmeyi önlemek için kullanılan deney düzeneği ekipmanıdır. Çizelge 3.4'te ultrasonik homojenizatör özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deney düzeneği ekipmanlarından ultrasonik homojenizatör özellikleri

Resim		
Model		UP400S
Açıklama		Nanoakışkanlar için Ultrasonik Homojenizatör
Güç		400 Watt
Güç Kontrolü		%20 ile %100 genlik değerleri arasında çalışmaktadır.
Atım Aralığı		% 0 ile %100 arasında ayarlabilmektedir.
Çalışma Frekansı		24 kHz
Homojenizatör	Ölçüleri	Genişlik: 190mm , Yükseklik: 200mm , Kalınlık: 130mm
	Ağırlığı	Aşırı sıcaklık ve akım koruma, düşük seviye detektörü
Güç Kaynağı		230V~, 4A, 50-60Hz 110-120V~, 6.3A, 50-60Hz
Aksesuarlar		Akışkan kabini, Homojenizatör başlıkları, Tutucu

3.1.5. Hassas terazi

Nanoakışkan hazırlanırken nanopartikül ve saf su karışımı gerçekleştirilir. Nanopartikül ve saf suyun kütlesinin hatasız olarak ölçülebilmesi için kullanılan ekipmandır. Çizelge 3.5’de deney düzeneğinin önemli bir parçası olan hassas terazi cihazının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney düzeneği ekipmanlarından hassas terazi özellikleri

Resim	
Model	Shimadzu TX4202L
Açıklama	Partiküllerin ağırlık ölçümünde kullanılan hassas terazi
Ağırlık Kapasitesi	4200 gram
Minimum Gösterge Değeri	0.01 gram
Kalibrasyon için Ağırlık Aralığı	1000 gram ile 4200 gram arasındadır.
Tekrarlanabilirlik (Standart Sapma)	≤ 0.01 gram
Doğruluk (Hassasiyet)	± 0.02 gram
Tepki Süresi	2.5 saniye

Çizelge 3.5. (devam)

Çalışma Ortam Sıcaklığı	Min. +5 °C Max. +40 °C
Cihaz Ağırlığı	Yaklaşık 2.8 kilogram
Ekran	Arka aydınlatmalı ve fonksiyonlu dijital LCD
Güç Kaynağı	input: AC 220V / 230V output: 12V / 1A

3.1.6. Viskozimetre

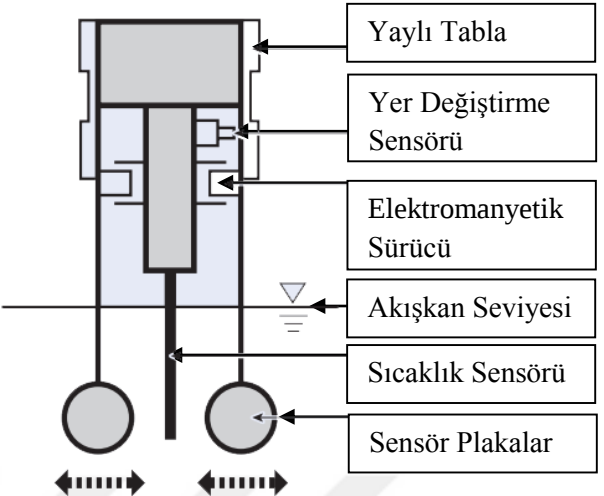
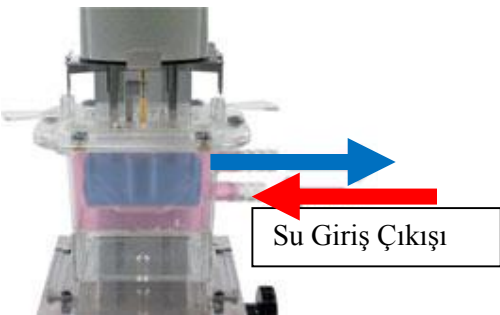
Hazırlanan nanoakışkanların viskozitesi beş farklı sıcaklık değerinde ve üç farklı hacimsel oranda ölçülmüştür. Sıcaklık değerleri 20°C, 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C olarak belirlenmiştir. Hacimsel oranlar ise %1, %0,5 ve %0,25 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. Deney düzeneği ekipmanlarından viskozimetre cihaz özellikleri



Çizelge 3.6. (devam)

Model	Viscometer SV-10 Series
Ölçüm Metodu	Tuning Fork titreşim metodunu kullanarak sinüs dalgası göndererek ölçüm yapan viskometre
Titreşim Frekansı	30Hz
Vizkozite Ölçüm Birimi	mPa·s , Pa·s , cP , P
Doğruluk (Hassasiyet)	% 1 (+20 °C ve +30 °C’de taşınım olmadan ölçüm yapılmalıdır.)
Çalışma Ortam Sıcaklığı	+10 °C ile +40 °C arasında
Minimum Numune Miktarı	Standart 35ml ile 45ml arasında
Bilgisayar Bağlantısı	RS-232C
Kablo Uzunluğu	1.5 metre
Aksesuarlar	Küçük numune kabı, Cam numune kabı, Su ceketine sahip numune kabı, Pozisyon sabitleyici
Sensör Ünitesi	• 0.3mPa·s – 10Pa·s ölçüm aralığı • Korozyona dayanıklı altın kaplamalı sensör plakaya sahip • Korozyona dayanıklı altın kaplamalı sıcaklık sensörüne sahip

	 Yaylı Tabla Yer Değiştirme Sensörü Elektromanyetik Sürücü Akışkan Seviyesi Sıcaklık Sensörü Sensör Plakalar
Görüntüleme Ünitesi	• Viskozite ve sıcaklıkların okunması kolay olan ekrana sahiptir. • Tüm kullanım için toplam altı tuş gereklidir. 
Su Ceketi	• Su ceketine sahip akışkan haznesi kullanılmıştır. Bu sayede başka bir haznede ısıtılan su ile nanoakışkan kademe kademe ısıtılmıştır.  Su Giriş Çıkışı

3.1.7. Isıl iletkenlik ölçer

Hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlik değerleri beş farklı sıcaklık değerinde ve üç farklı hacimsel oranda ölçülmüştür. Sıcaklık değerleri 20°C, 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C olarak belirlenmiştir. Hacimsel oranlar ise %1, %0,5 ve %0,25 olarak belirlenmiştir. Her sıcaklık değerinde akışkan sıcaklığı, viskozimetre cihazının görüntüleme ünitesinden okunmuştur. Isıl iletkenlik değeri THB 100 yazılımından, her ölçümde farklı ayarlamalar yaparak ısı iletkenlik değeri ölçülür. Isıl iletkenlik ölçümünde kullanılan sensör THB tipindedir. Maksimum ölçebileceği sıcaklık değeri 200°C olup THB6K104 adındadır.

Çizelge 3.7. Deney düzeneği ekipmanlarından ısı iletkenlik ölçer cihaz özellikleri

Resim		
Model		Linseis THB(Transient Hot Bridge) 100
Ölçüm Metodu		Transient Hot Bridge (Zamana Bağlı Sıcaklık Köprüsü)
Ölçüm Aralığı	Termal iletkenlik	0.01W/(m·K) 'den 500W/(m·K)'e kadar ölçüm yapabilir.
	Termal Difüzyon	0.05mm²/s 'den 10mm²/s 'e kadar ölçüm yapabilir.

Çizelge 3.7. (devam)

	Özısı	100kJ/(m ³ ·K) ‘den 5000kJ/(m ³ ·K)’e kadar ölçüm yapabilir.
	Hassasiyet	%1’den daha iyi
	Doğruluk	%5’den daha iyi
	Yazılım	Windows® tabanlı arayüz uygulaması

3.2. Verilerin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Yapılan deneysel çalışma nanoakışkanların hazırlanması ve hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Ölçümler için kullanılan deney düzeneği Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deney Düzeneği

3.2.1. Nanoakışkanların hazırlanması

Nanoakışkanlar iki adım metodu kullanılarak hazırlanmıştır. Kuru toz halinde üretilen nanopartiküller temel akışkan içerisine katılır. Temel akışkan olarak saf su kullanılmıştır. Nanopartikül olarak ise CoFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 , MnFe_2O_4 ve $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ kullanılmıştır. Hacimsel oranı, akışkan yoğunluğu ve partikül yoğunluğu bilinen nanoakışkanın yoğunluğu aşağıdaki denklemler yardımı ile hesaplanır. Denklem 3.1’de ρ_l akışkanın yoğunluğu, ρ_n nanoakışkan yoğunluğu, ρ_p partikül yoğunluğu ve c_v hacimsel orandır. Yoğunluk birimleri kg/m^3 olarak kullanılmıştır.

$$c_v = \frac{\rho_n - \rho_l}{\rho_p - \rho_l} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’den bulunan ρ_n değeri Denklem 3.2’de kullanılarak nanoakışkanın kütlesi m_n hesaplanır. Nanoakışkanın kütlesi kilogram olarak bulunmuş gram olarak hesaplanmıştır.

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_n} \quad (3.2)$$

Denklem 3.1’den bulunan ρ_n değeri Denklem 3.3’de kullanılarak nanopartikülün kütle oranı c_m hesaplanır.

$$c_m = c_v \frac{\rho_p}{\rho_n} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’den bulunan c_m değeri Denklem 3.4’de kullanılarak nanopartikülün kütlesi m_p hesaplanır. Kütle gram olarak hesaplanmıştır.

$$m_p = c_m m_n \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'den bulunan m_p değeri Denklem 3.5'de kullanılarak temel akışkanın kütlesi m_{safsu} hesaplanır. Kütle gram olarak hesaplanmıştır.

$$m_{safsu} = m_n - m_p \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'den bulunan m_{safsu} değeri Denklem 3.6'da kullanılarak temel akışkanın hacmi v_{safsu} hesaplanır. Hacim cm^3 olarak hesaplanmıştır.

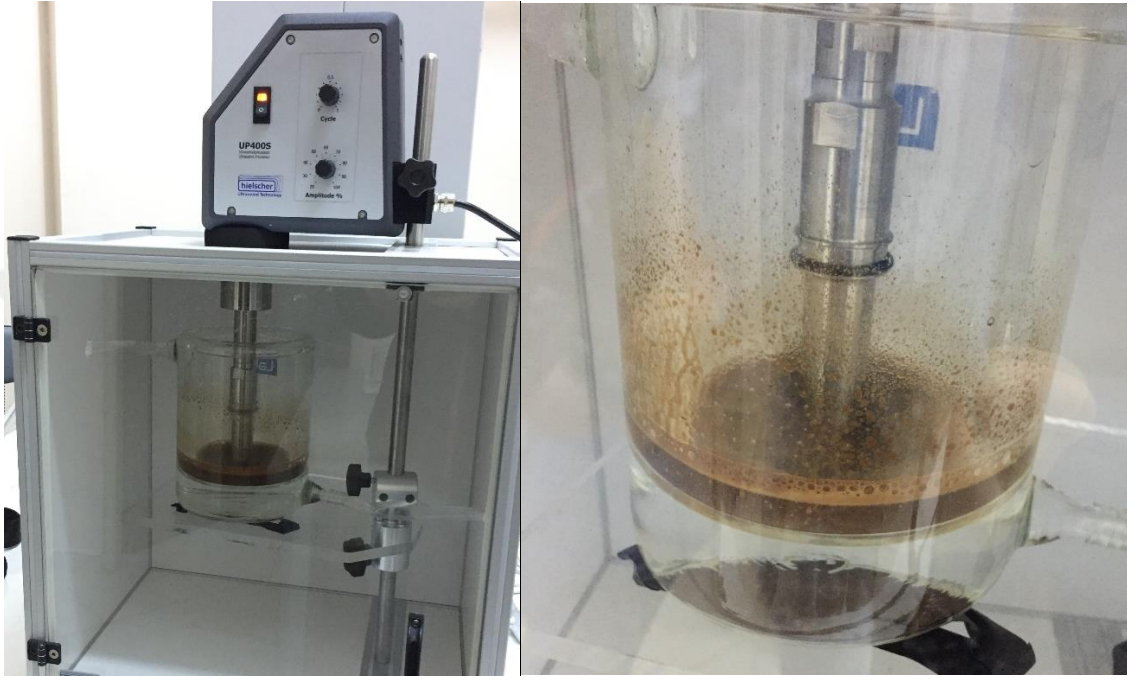
$$\rho_{safsu} = \frac{m_{safsu}}{v_{safsu}} \quad (3.6)$$

Kütlesi hesaplanan nanopartiküller hassas terazi yardımıyla tartılarak hacmi hesaplanan temel akışkan olan saf suyun içerisine karıştırılmıştır. Hassa terazi ile partikül ağırlık ölçümü ve homojenizatör öncesi karışım Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Homojenizatör öncesi karışım el ile gerçekleştirilmiş olup, amacı ilk karışım anında topaklanmayı engellemek için yapılmıştır.



Şekil 3.2. Hassas terazi ile partikül ölçümü ve homojenizatör öncesi temel akışkan ile karıştırma işlemi

Homojenizatör yardımı ile nanoakışkan hazırlanmıştır. Homojenizatör Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Temel akışkan olan saf su ve deney çalışmasında kullanılan nanopartiküller homojenizatör yardımı ile 4 saat boyunca karıştırılmıştır.



Şekil 3.3. Homojenizatör ile karıştırma işlemi

Hazırlanan nanoakışkanlar Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Her nanopartikül için ayrı ayrı karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu karıştırma işlemi farklı sıcaklık değerlerinde ve farklı hacimsel oranlarda gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinden farklı özelliklerdeki nanoakışkan için alınan değerler bir sonraki bölümde sayısal olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Hazırlanan nanoakışkan tüpleri

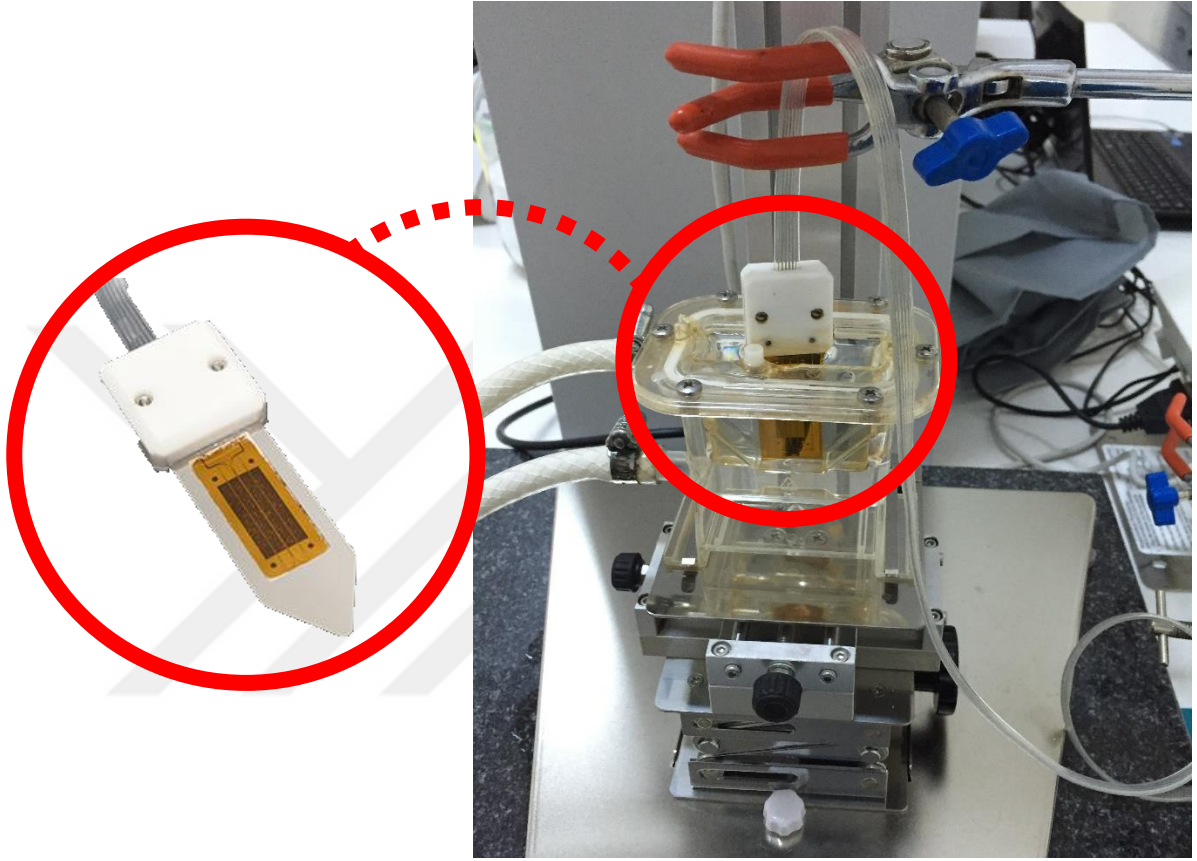
3.2.2. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri olarak viskozite ve ısı iletkenlik parametreleri belirlenmiştir. Nanoakışkanlar bu iki başlık altında incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da viskozite ve ısı iletkenlik ölçümü gösterilmiştir.

3.2.2.a. Isı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi

Linseis THB(Transient Hot Bridge) 100 Marka cihazı ile ısı iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Isı iletkenlik probu nanoakışkan kabı içerisinde dikey pozisyonda durmalıdır. İyi bir ölçüm alınabilmesi için kabın içerisinde herhangi bir noktaya probun

temas etmemesi gereklidir. Prob, nanoakışkan su ceketine (kap) döküldükten sonra kabın üst yüzeyinin ortasına daldırılmıştır.



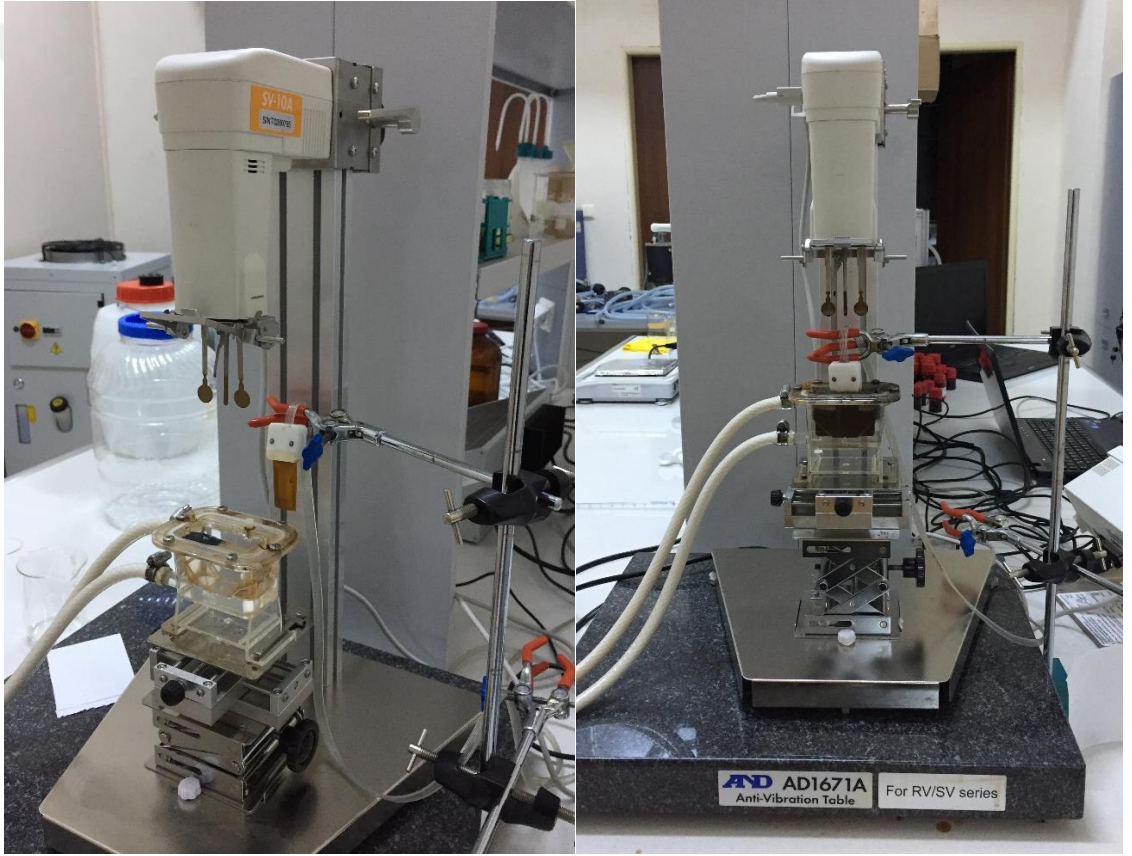
Şekil 3.5. Isıl iletkenlik ölçümü

Prop su ceketine daldırıldıktan sonra THB(Transient Hot Bridge) 100 bilgisayar yazılımında sıcaklık, akım ve zaman değerlerini uygun hale getirerek ölçüme başlanmıştır. Alınan sonuçlar .xls, .xlsx formatında bilgisayara aktarılmıştır. Bütün nanopartiküllerde; beş farklı sıcaklık değerlerinde (20°C, 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C) ve üç farklı hacimsel oranlarda (%1, %0,5 ve %0,25) ısıl iletkenlik değer ölçümleri alınmıştır.

Laboratuvar ortamında elde edilen ölçüm sonuçları Maxwell (1881), Bruggeman (1935) ve Lu-Lin (1996) modelleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2.2.b. Viskozite değerlerinin belirlenmesi

Viscometer SV-10 Model cihaz ile viskozite değerleri ölçölmüştür. Deney sırasında sıcaklık sensörünün nanoakışkan ile teması sağlanmıştır. Sensör plakalarda su ceketini ortalayacak şekilde konumlandırılmıştır. Sonrasında RS Visco isimli bilgisayar yazılımı kullanarak ölçümler alınmıştır. Ölçümler, ölçüm yapılan andan itibaren 30 saniye içerisinde 5 saniyede bir toplam 6 defa gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Viskozite ölçüm deneyi

Laboratuvar ortamında elde edilen ölçüm sonuçları Batchelor (1977), Drew and Passman (1999), Brinkmann (1952) ve Wang *et al.* (1999) modelleri ile karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Nanoakışkanların Hazırlanması İle İlgili Hesaplamalar

Deneyde kullanılan bütün nanopartiküller (CoFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 , MnFe_2O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$) üç farklı hacimsel oranlarda (%1, %0,5 ve %0,25) temel akışkan olarak saf su içerisine katılmıştır. Saf su içerisine katılması gereken nanopartikül miktarları hesaplanmıştır. Nanoakışkan karışımı bu hesaplamalara göre hazırlanmıştır. Oluşturulan tüm nanoakışkanlar için hesaplamalar yapılmış olup ilgili hesaplama tabloları Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. CoFe_2O_4 ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları

Partikülün Adı ve Formülü	Hacimsel Oran (%)	Kütlesel Oran (%)	Nanoakışkan Kütlesi m_n (gr)	Nanopartikül Kütlesi m_p (gr)	Saf Su Hacmi V_{safsu} (mL)
Cobalt iron Oxide (Kobalt Demiroksit) CoFe_2O_4	1,00	5,098	103,96	5,300	99,00
	0,50	2,602	101,81	2,650	99,50
	0,25	1,315	100,73	1,325	99,75

Çizelge 4.2. MnFe_2O_4 ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları

Partikülün Adı ve Formülü	Hacimsel Oran (%)	Kütlesel Oran (%)	Nanoakışkan Kütlesi m_n (gr)	Nanopartikül Kütlesi m_p (gr)	Saf Su Hacmi V_{safsu} (mL)
Manganese iron Oxide (Mangan Demiroksit) MnFe_2O_4	1,00	3,515	102,40	3,600	99,00
	0,50	1,780	101,10	1,800	99,50
	0,25	0,895	100,45	0,900	99,75

Çizelge 4.3. ZnFe_2O_4 ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları

Partikülün Adı ve Formülü	Hacimsel Oran (%)	Kütlesel Oran (%)	Nanoakışkan Kütlesi m_n (gr)	Nanopartikül Kütlesi m_p (gr)	Saf Su Hacmi V_{safsu} (mL)
Zinc iron Oxide (Çinko Demiroksit) ZnFe_2O_4	1,00	4,947	103,08	5,100	99,00
	0,50	2,503	101,85	2,550	99,50
	0,25	1,264	100,82	1,275	99,75

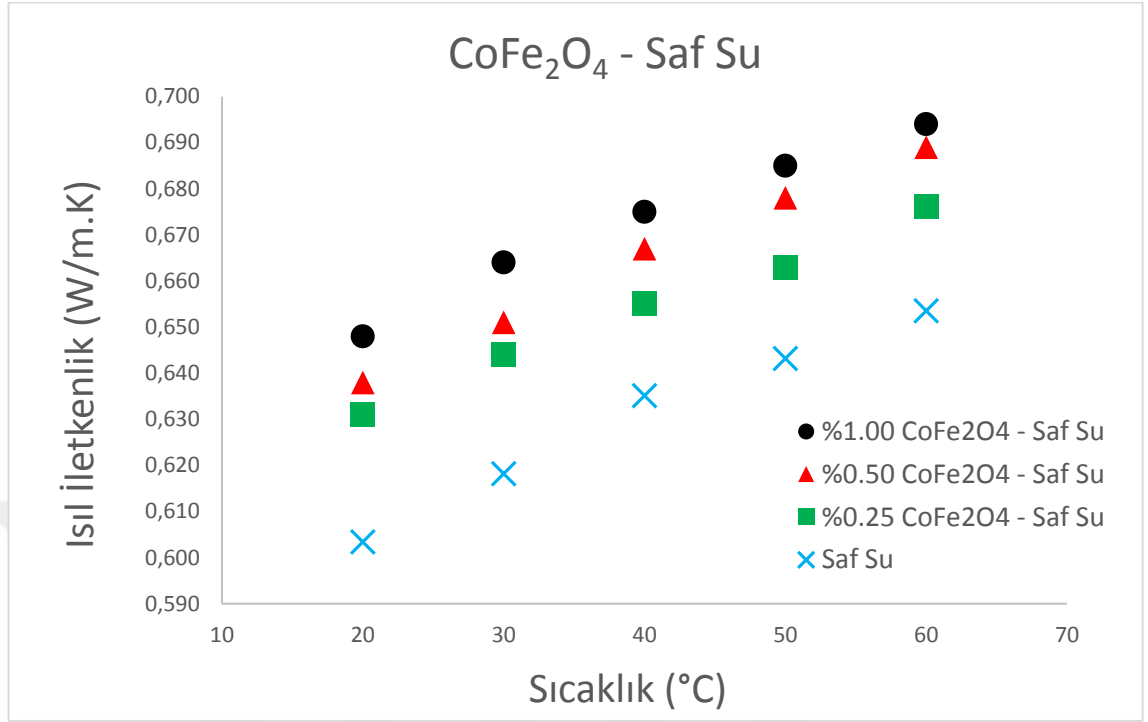
Çizelge 4.4. $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ ve saf su ile hazırlanan nanoakışkanın hesaplama sonuçları

Partikülün Adı ve Formülü	Hacimsel Oran (%)	Kütlesel Oran (%)	Nanoakışkan Kütlesi m_n (gr)	Nanopartikül Kütlesi m_p (gr)	Saf Su Hacmi V_{safsu} (mL)
iron Nickel Oxide (Demir Nikeloksit) $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$	1,00	5,194	103,34	5,368	99,00
	0,50	2,653	101,16	2,684	99,50
	0,25	1,341	100,06	1,342	99,75

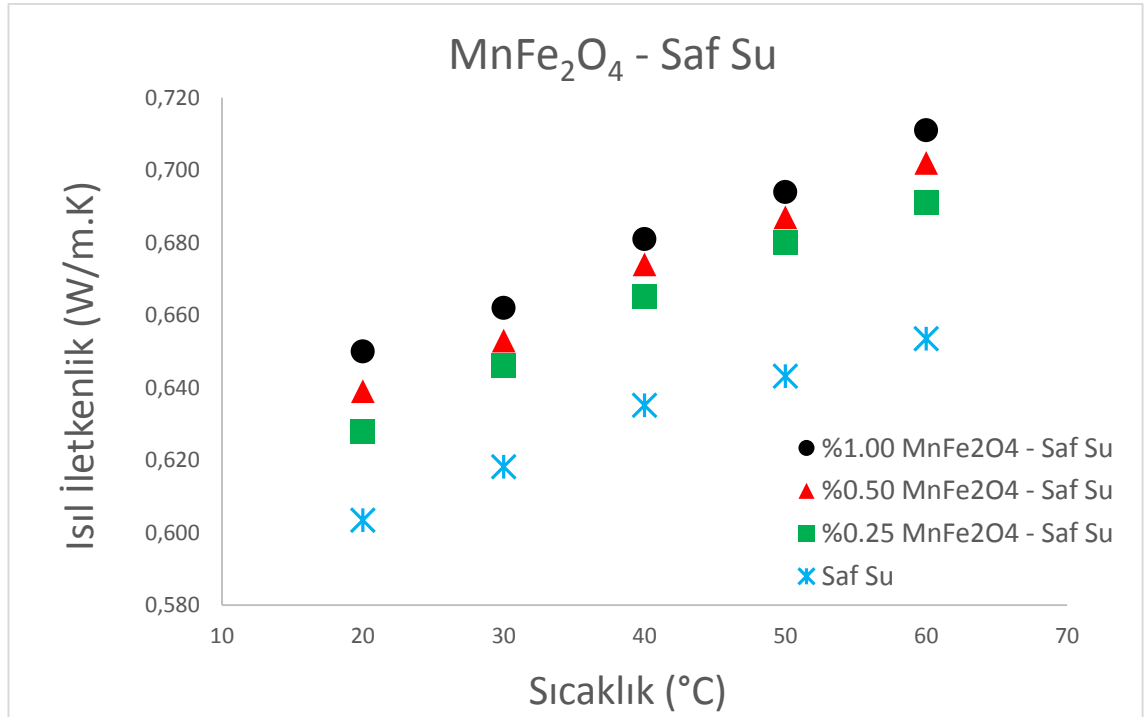
4.2. Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

4.2.1. Isıl iletkenlik ölçümlerinin belirlenmesi

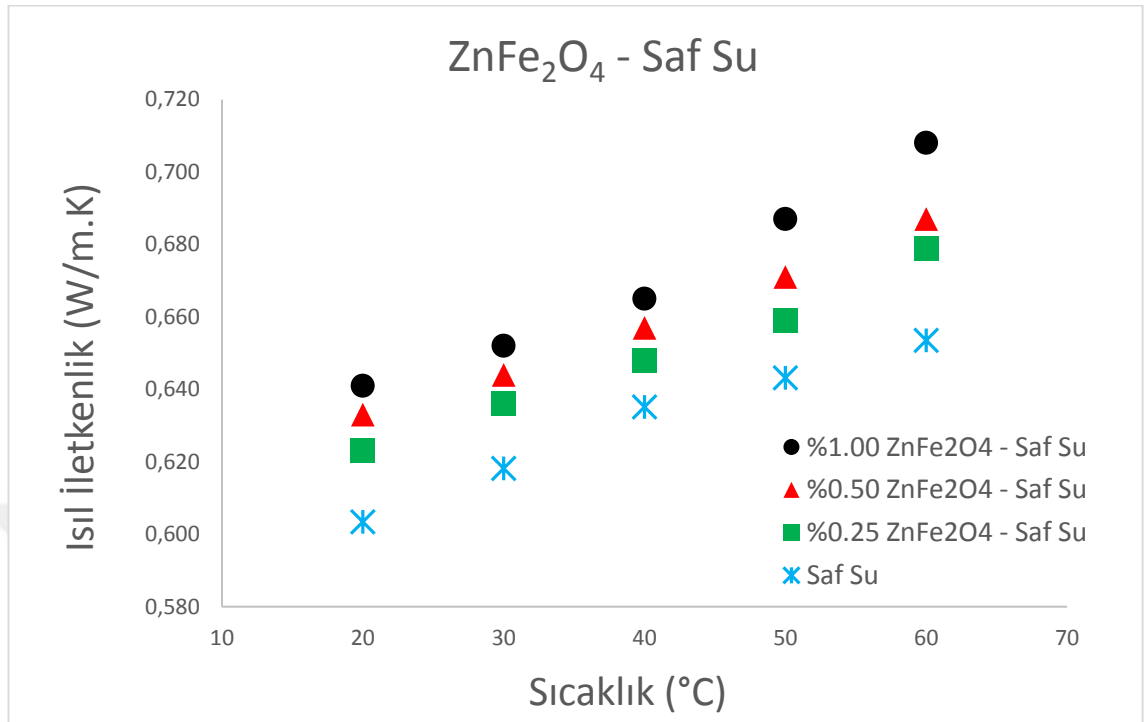
Homojenizatörde karışımı hazırlanan tüm nanoakışkanların, Linseis THB 100 cihazı ile ısı iletkenlik ölçümleri sıcaklığa bağlı olarak yapılmıştır. Isıl iletkenlik ölçümleri farklı sıcaklık değerlerinde (20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C) ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar grafik üzerinde Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Ayrıca ölçülen sonuçlar, %1 hacimsel oranda Maxwell, Bruggeman ve Lu-Lin eşitliklerine göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikte Şekil 4.5,4.6,4.7 ve 4.8’de gösterilmiştir.



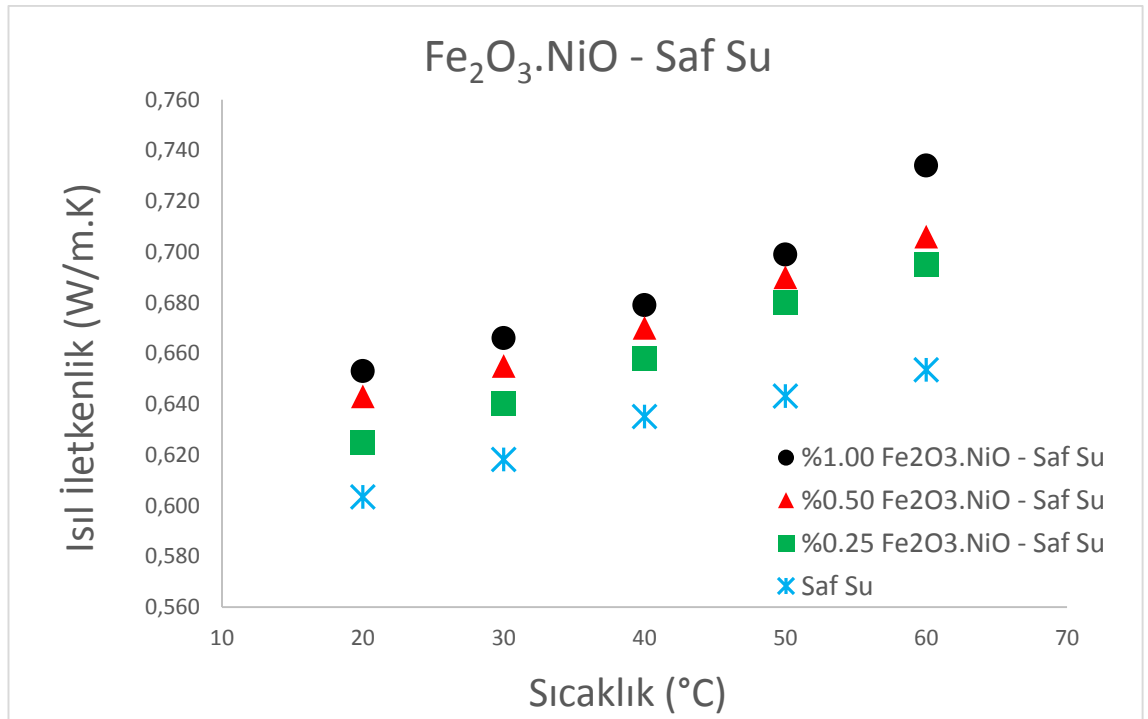
Şekil 4.1. CoFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değ erlerinin karşı laştırılması



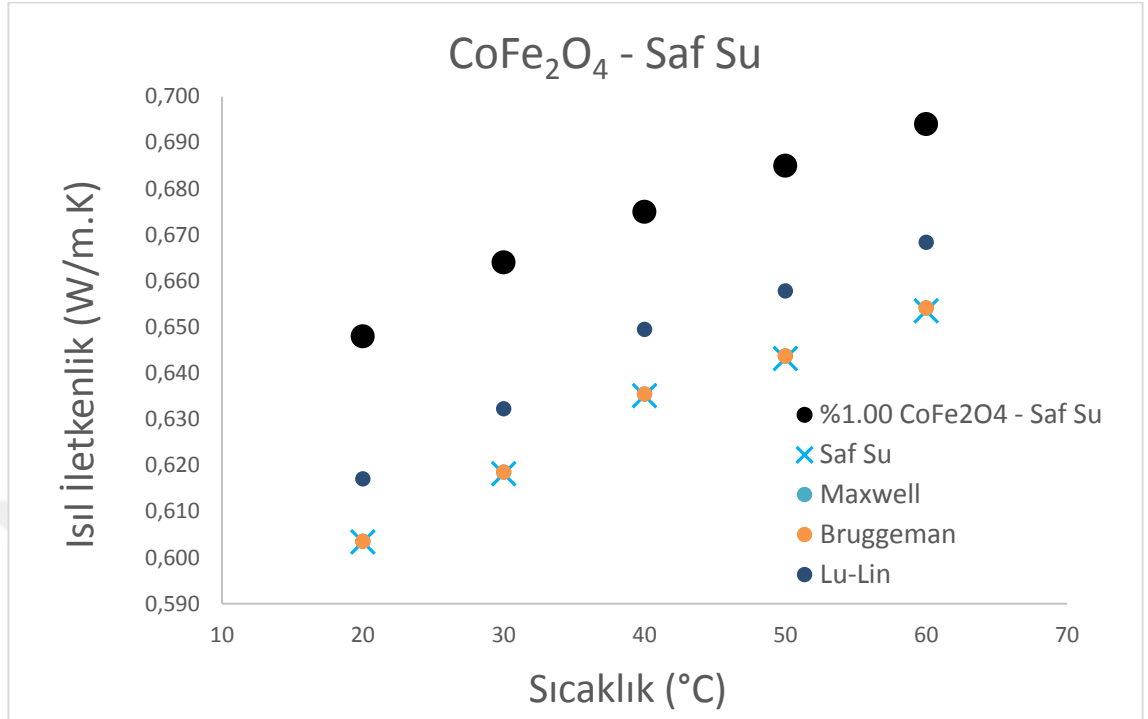
Şekil 4.2. MnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değ erlerinin karşı laştırılması



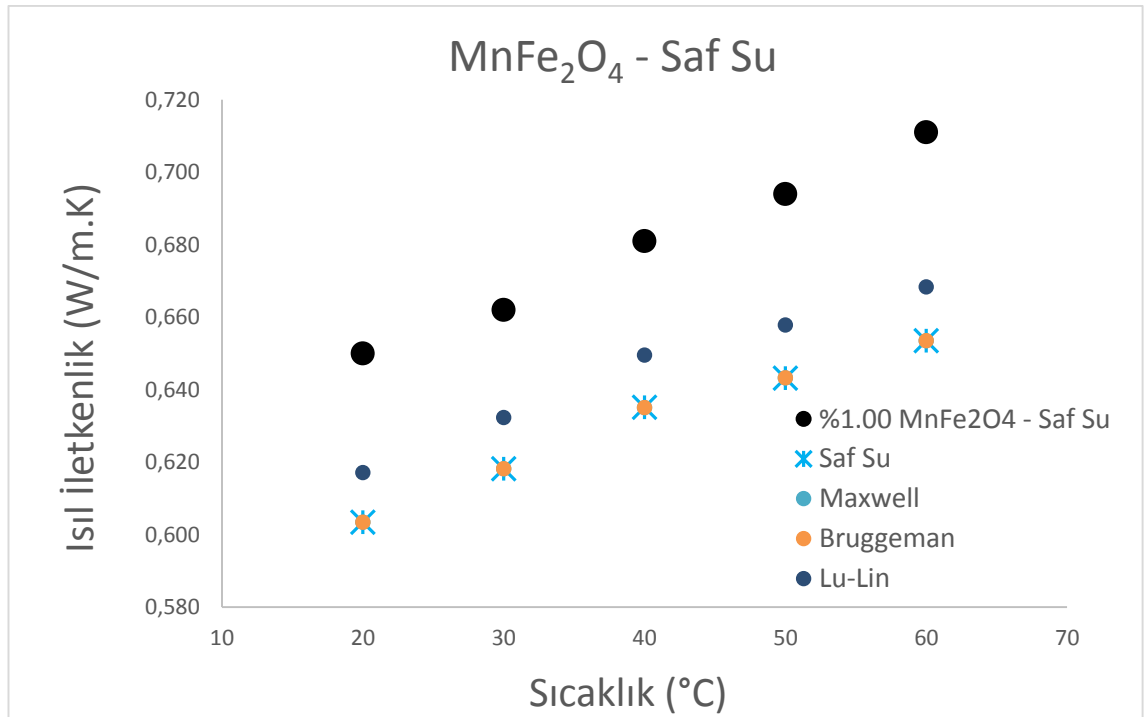
Şekil 4.3. ZnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değ erlerinin karşı laştırılması



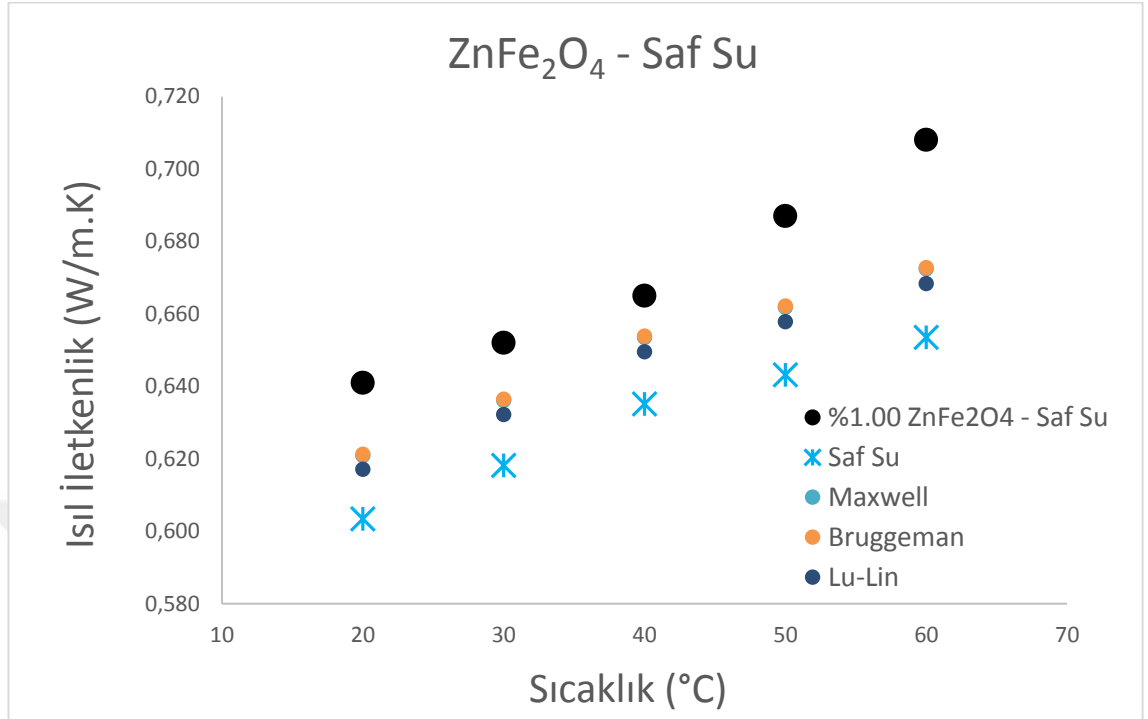
Şekil 4.4. Fe₂O₃/NiO – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenlik değ erlerinin karşı laştırılması



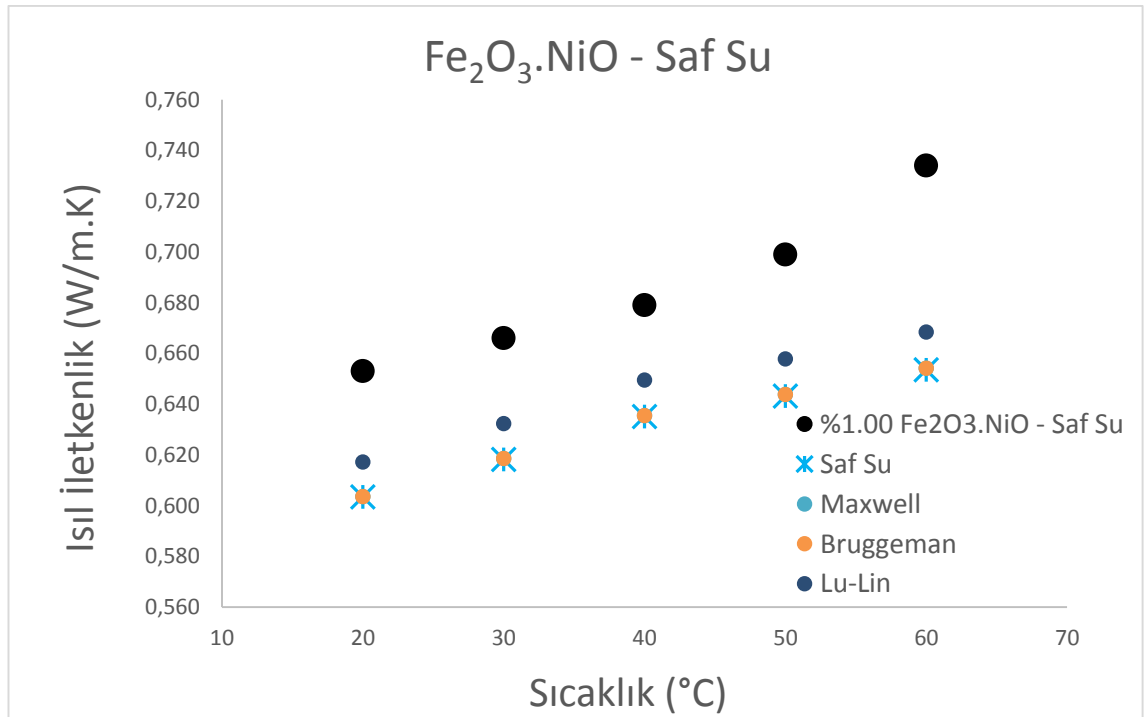
Şekil 4.5. %1 CoFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



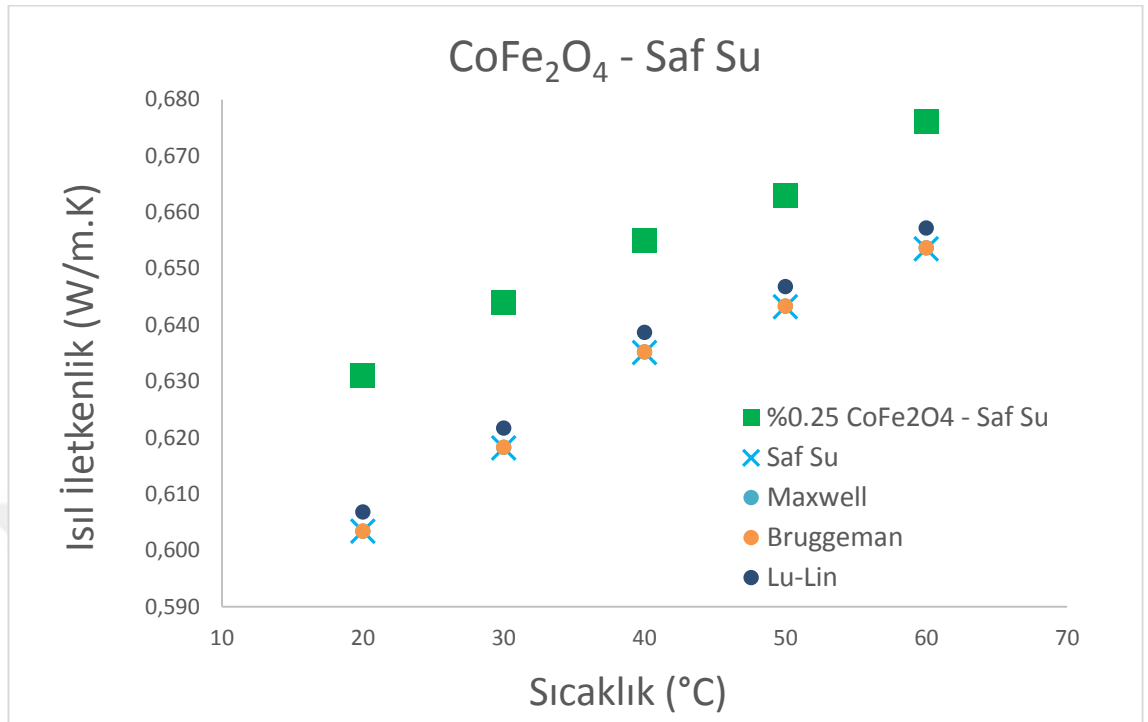
Şekil 4.6. %1 MnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



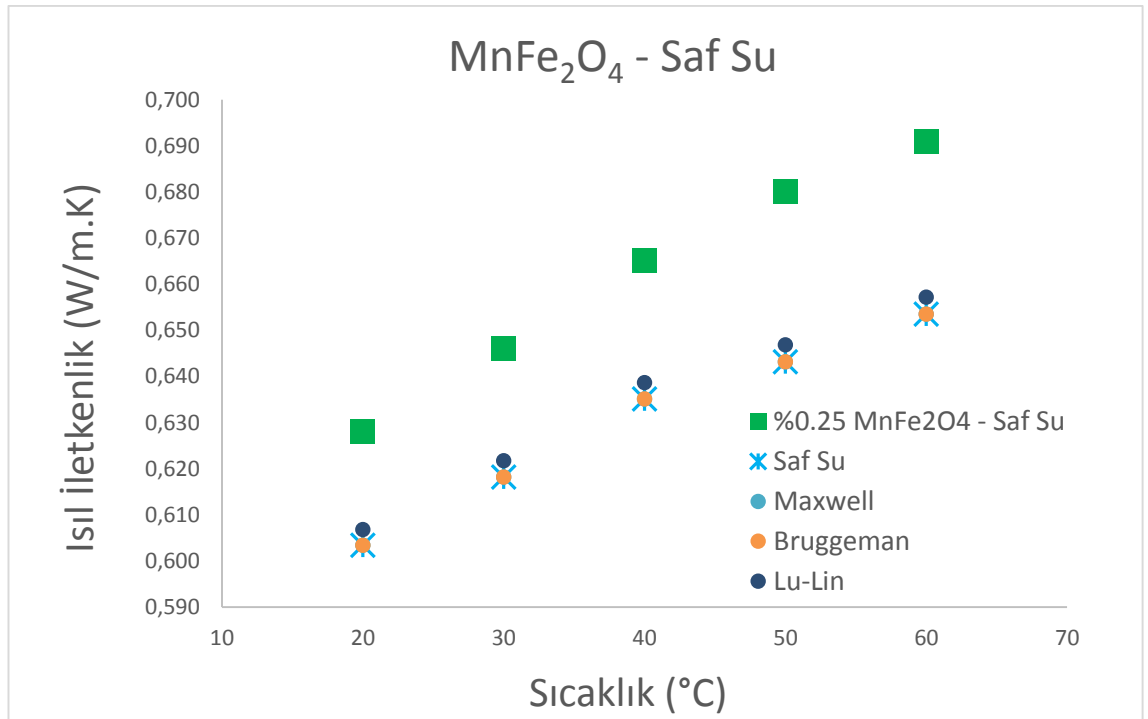
Şekil 4.7. %1 ZnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



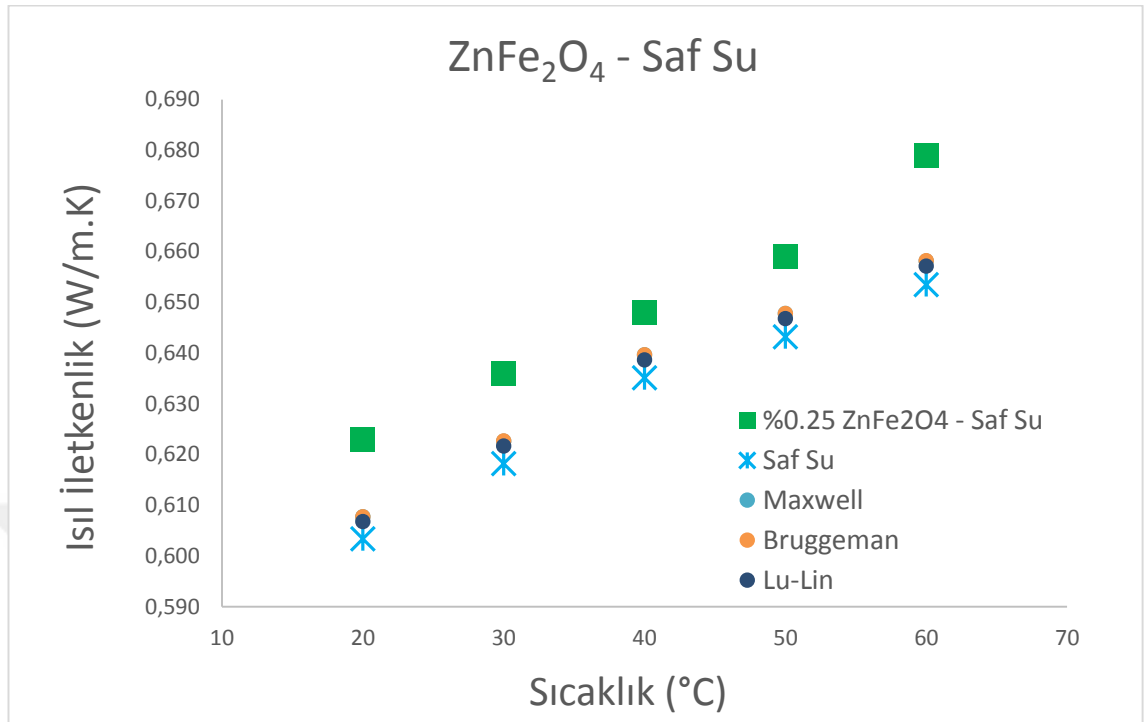
Şekil 4.8. %1 Fe₂O₃/NiO – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



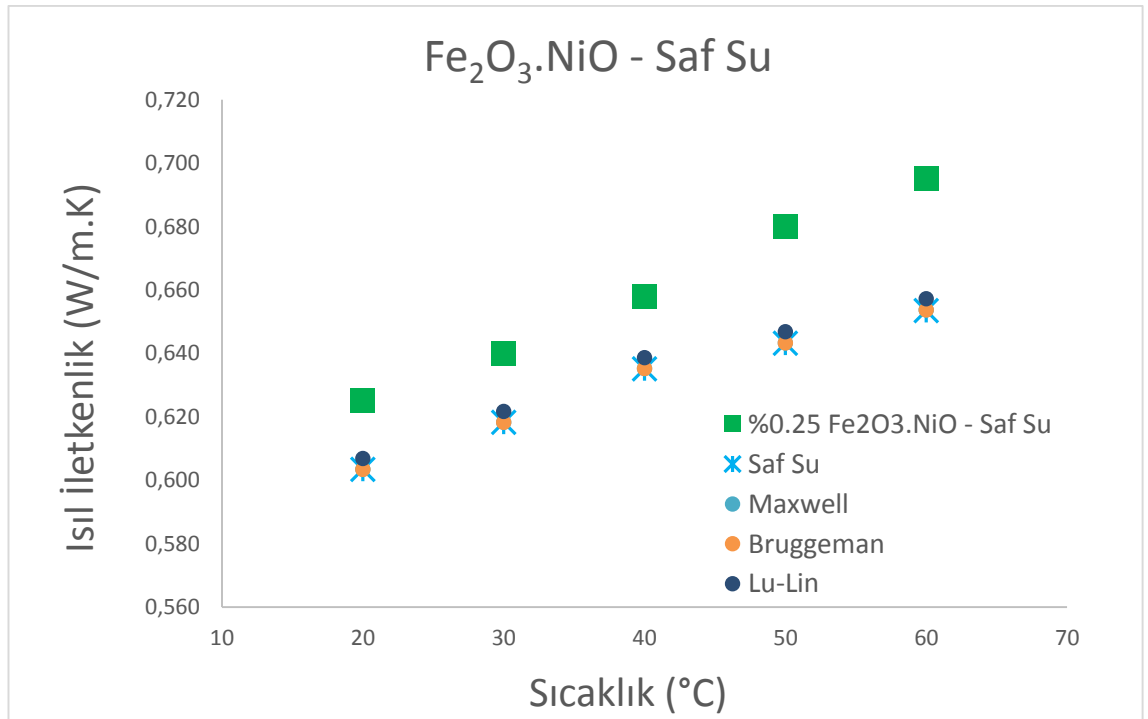
Şekil 4.9. %0.25 CoFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



Şekil 4.10. %0.25 MnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



Şekil 4.11. %0.25 ZnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



Şekil 4.12. %0.25 Fe₂O₃/NiO – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması

Ayrıca ölçülen sonuçlar, %0.25 hacimsel oranda Maxwell, Bruggeman ve Lu-Lin eşitliklerine göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikte Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Çalışmada dört farklı (CoFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 , MnFe_2O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$) nanopartikül kullanılmıştır. İki adım metodu ile nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Çalışılan nanopartiküller ile ilgili konu taraması yapıp, ilgili literatür bilgileri önceki bölümlerde verilmiştir. Bilimsel çalışmalarda, topaklanmanın oluşmaması ve homojen bir nanoakışkan elde edilebilmesi için hacimsel oran değerleri %0 ile %3 arasında çalışılmıştır. Hacimsel oran arttıkça ısı iletim katsayı değerleri artış göstermiştir. Fakat bu artış miktarı, %1 hacimsel orandan daha yüksek olan oranlarda azalma göstermiştir. Hacimsel oran arttıkça nanoakışkan içindeki nanopartikül miktarı artmıştır. Hacimsel oranın artması, saf suyun içindeki nanopartikülün giderek yoğunlaşmasına neden olmuştur. Giderek nanopartikül yoğunluğunun artması ile ısı transferi yüzey alanı artmıştır. Brownian hareketi ya da brownian hareket dediğimiz olay, toz parçacıkları gibi büyük parçacıkların akışkan içerisinde sıvı ya da gaz moleküller gibi daha küçük parçacıklarla çarpışması sonucu oluşan rastlantısal harekettir. Akışkan içindeki yoğunluğun artması ile brownian hareketi artmıştır. Bu hareket ile beraber akışkanın bir yerden bir yere taşınması yani akışkan transferi, ısı iletkenlik değerlerinin artmasına sebep olur. Şekil 1.2’de (Amani *et al.* 2017) MnFe_2O_4 - saf su nanoakışkanının farklı sıcaklıklarda, hacimsel oran etkisi ile ısı iletkenlik değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Grafik halinde gösterilen ısı iletkenlik değerlerindeki en büyük artış miktarı %0.5 hacimsel oranda görülmüştür. Şekil 4.13’de %0.5 hacimsel oranda çalışmada kullanılan tüm nanoakışkanların ısı iletkenlik değerleri karşılaştırılmıştır.

%1 CoFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C ’de %6.94 oranındadır. %0.5 CoFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C ’de % 5.48 oranındadır. %0.25 CoFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C ’de %4.43 oranındadır.

%1 MnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C ’de % 7.23 oranındadır. %0.5 MnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı

iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de %5.63 oranındadır. %0.25 MnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de % 3.98 oranındadır.

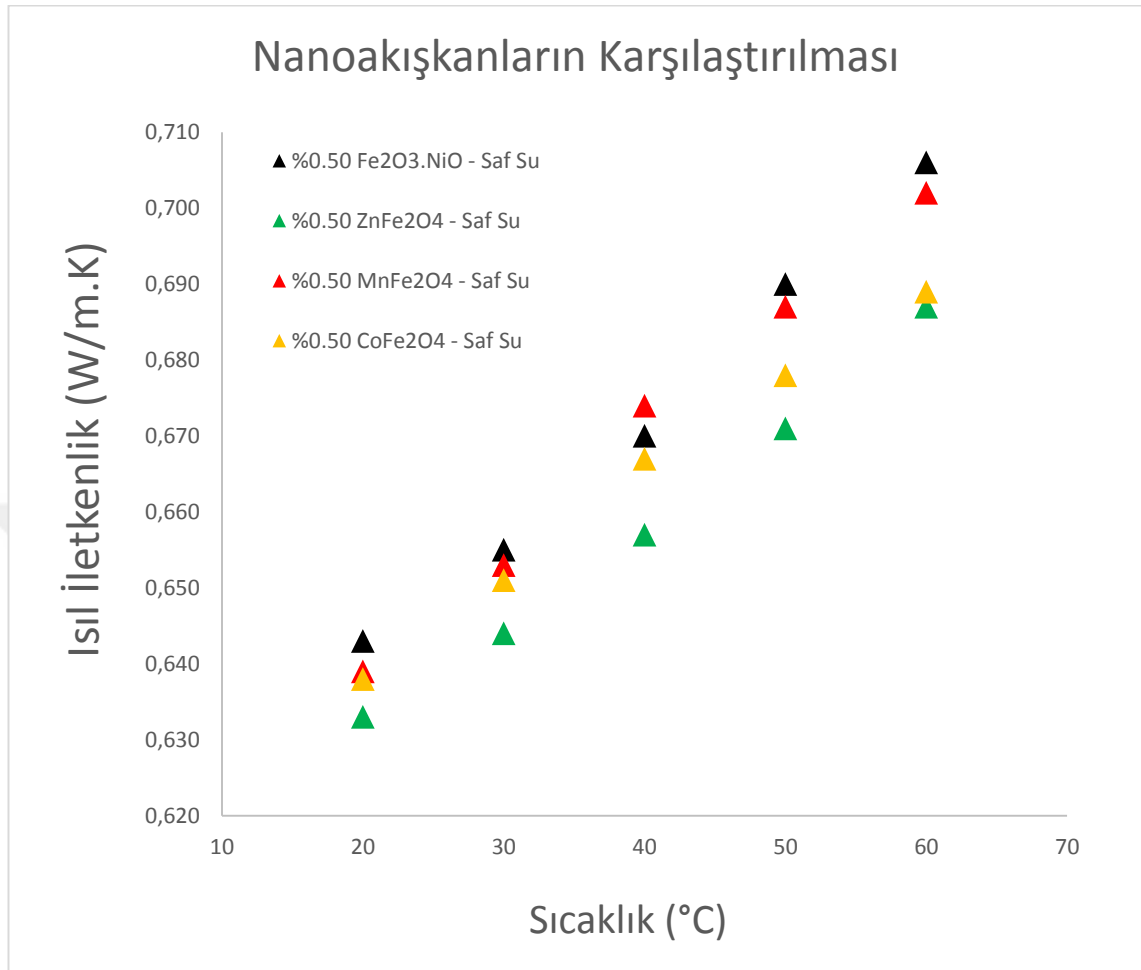
%1 ZnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de % 5.92 oranındadır. %0.5 ZnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de % 4.73 oranındadır. %0.25 ZnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de % 3.21 oranındadır.

%1 $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de % 7.65 oranındadır. %0.5 $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de % 6.22 oranındadır. %0.25 $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısı iletkenlik değerine göre artışı 20°C’de % 3.52 oranındadır.

Çalışmada sentezlenen nanoakışkanların sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %0.5 hacimsel oranda karşılaştırılması sonucunda $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının ısı iletkenlik değerlerinin en yüksek olduğu görülmüştür. Bu karşılaştırmada en kötü değer ise ZnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının ısı iletkenlik değeri olduğu görülmüştür. Çalışmada hacimsel oran arttıkça ısı iletkenlik ve viskozite değerlerinde artış görülmüştür. Bu durum göz önüne alınarak %1 hacimsel oranda karşılaştırılması sonucunda $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının ısı iletkenlik değerlerinin en yüksek olduğu görülmüştür.

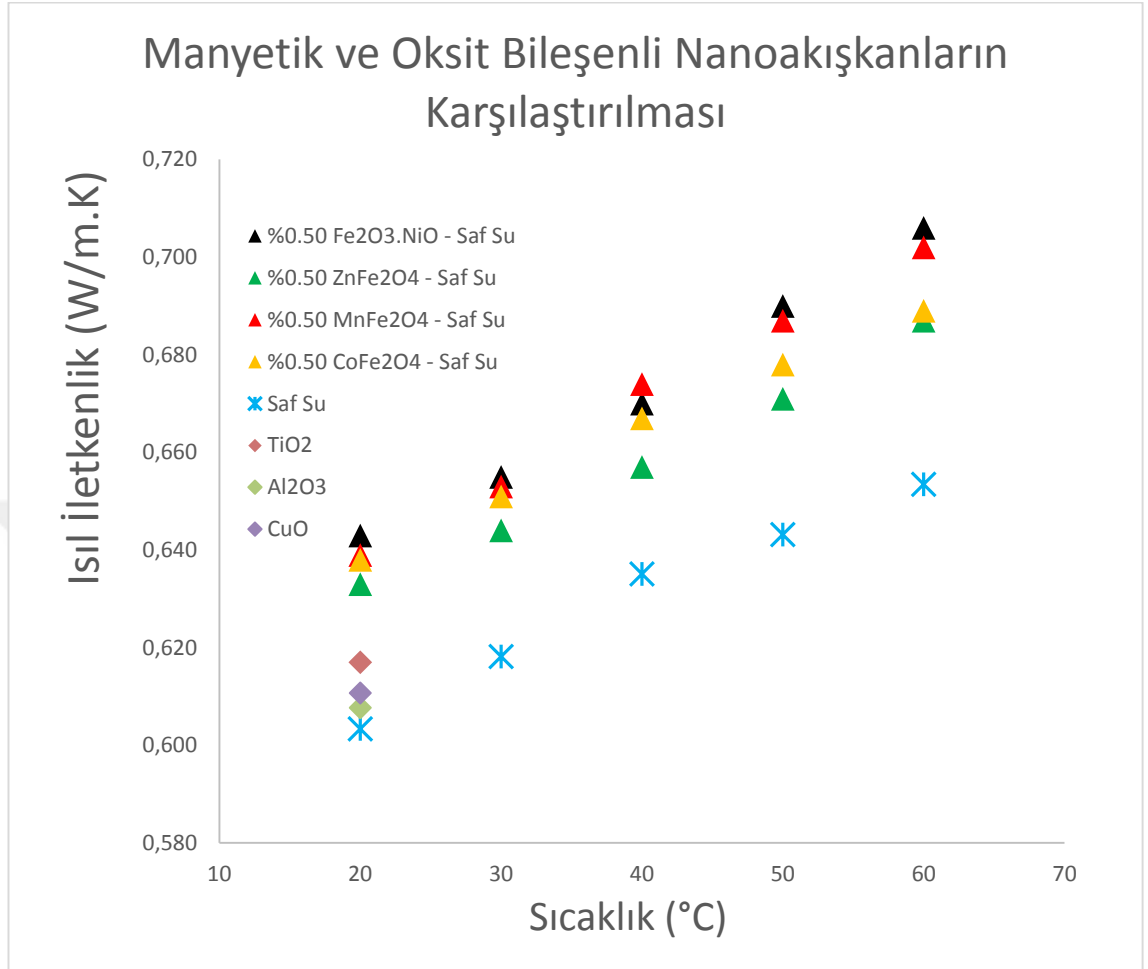
Çalışmada sentezlenen manyetik nanoakışkanların 20°C’deki ısı iletkenlik değerleri, oksit bileşenli bazı nanoakışkanların 20°C’deki ısı iletkenlik değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

Çalışmada sentezlenen manyetik nanoakışkanların 20°C’deki viskozite değerleri, oksit bileşenli bazı nanoakışkanların 20°C’deki viskozite değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.



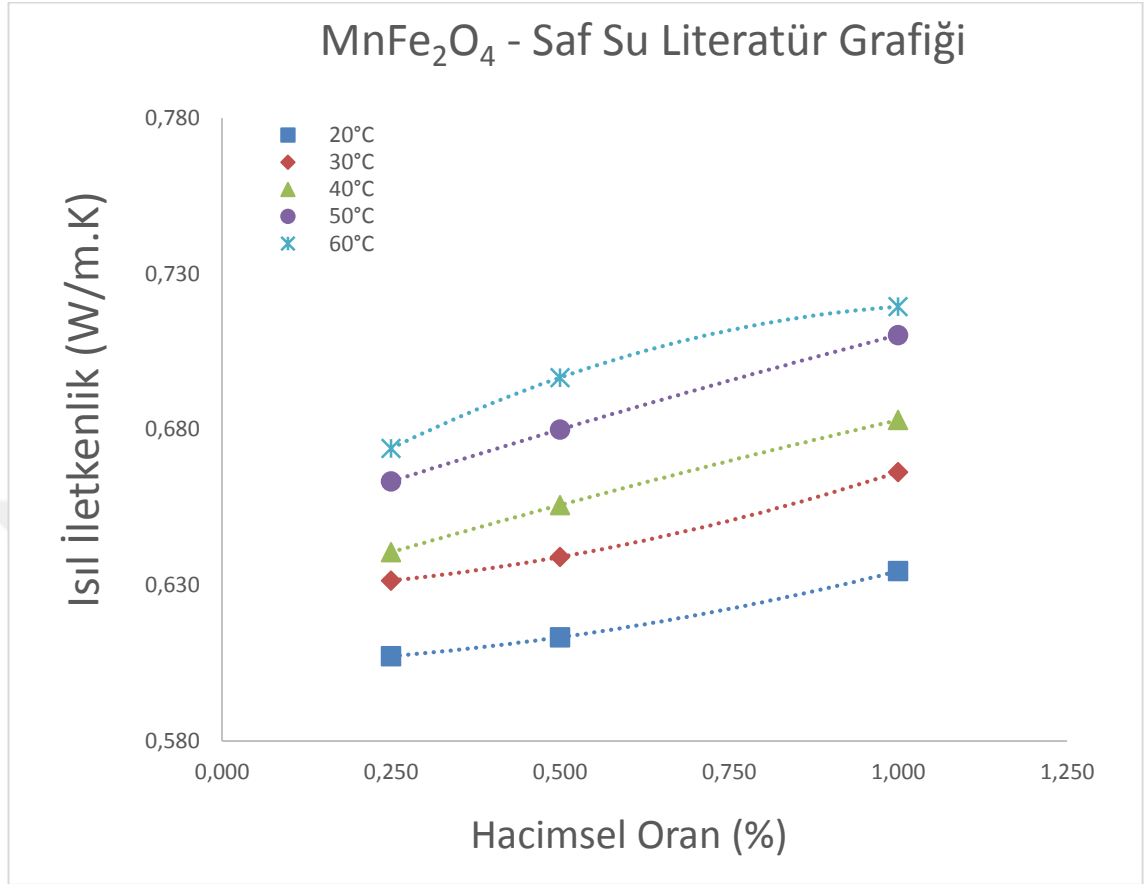
Şekil 4.13. Çalışmada hazırlanan nanoakışkanların sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %0.5 hacimsel oranda karşılaştırılması

Yapılan çalışmada elde edilen ısı iletkenlik değerleri, güncel çalışılan konulardan biri olan MnFe_2O_4 – saf su nanoakışkanının literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.15’de (Amani *et al.* 2017) MnFe_2O_4 - saf su nanoakışkanının bilimsel yayından elde edilen sonuçları grafik halinde gösterilmiştir. Her bir sıcaklık için farklı hacimsel oranlardaki ısı iletkenlik değerleri grafik üzerinde belirtilmiş olup, bu çalışmadaki hacimsel oran değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.16’da literatür sonuçları ile deneysel sonuçları 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklıklarda karşılaştırılmıştır. Şekil 4.17’de literatür sonuçları ile deneysel sonuçları 30°C ve 50°C sıcaklıklarda karşılaştırılmıştır. Şekil 4.14’de çalışmada sentezlenen manyetik nanoakışkanların ve çeşitli oksit bileşenli nanoakışkanların 20°C sıcaklıkta ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

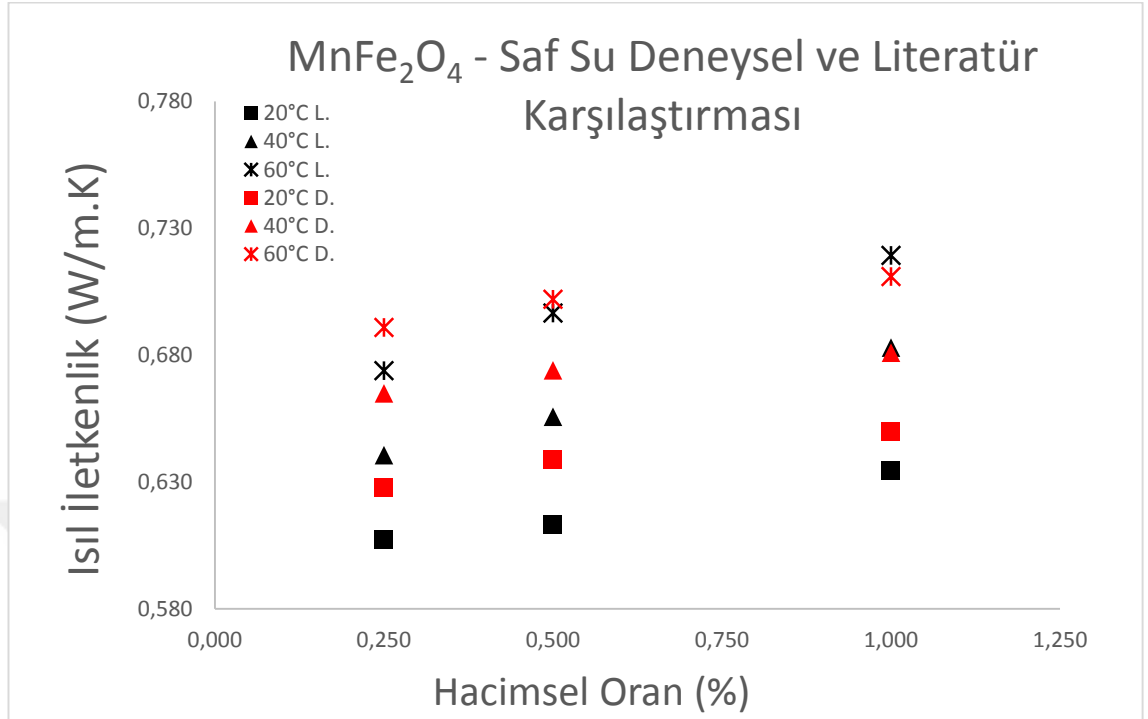


Şekil 4.14. Manyetik ve oksit bileşenli nanoakışkanların 20°C sıcaklıkta ısı iletkenlik değ erlerinin karşı laştırılması

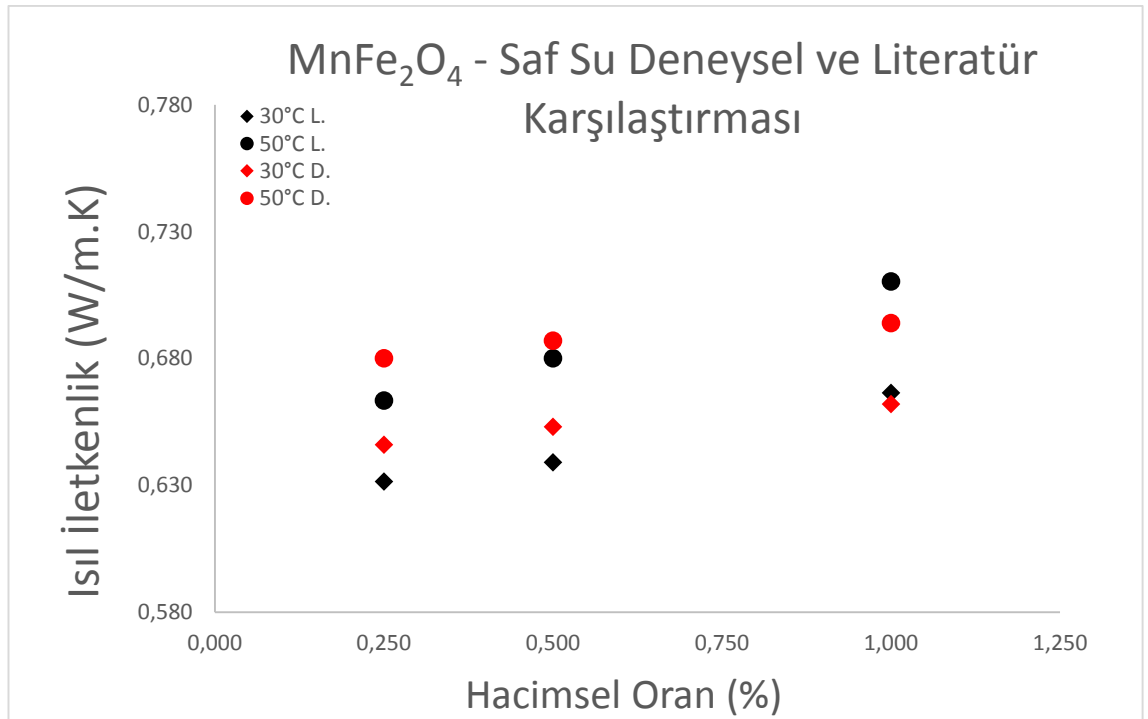
MnFe₂O₄ - saf su nanoakışkanının 20°C, 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C sıcaklıklarda farklı hacimsel oranlarda literatürden ısı iletkenlik değ erleri okunmuştur. Literatürden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşı laştırılmış tır. Ç eşı tli sıcaklıklarda elde edilen deney sonuçları ile literatür sonuçları arasındaki farkın az oldu ğ u görö lmüştür. Ş ekil 4.16 ve Ş ekil 4.17’de deneysel ve literatür değ erlerini karşı laştıran grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen sonuçların literatür değ erleri ile uyumlu oldu ğ u görö lmüştür. Aralarındaki farklılık oranları %6.2 ile %13.4 arasında değ iş mektedir.



Şekil 4.15. Çalışmada hazırlanan MnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak farklı hacimsel oranlardaki ısı iletkenlik literatür değeri



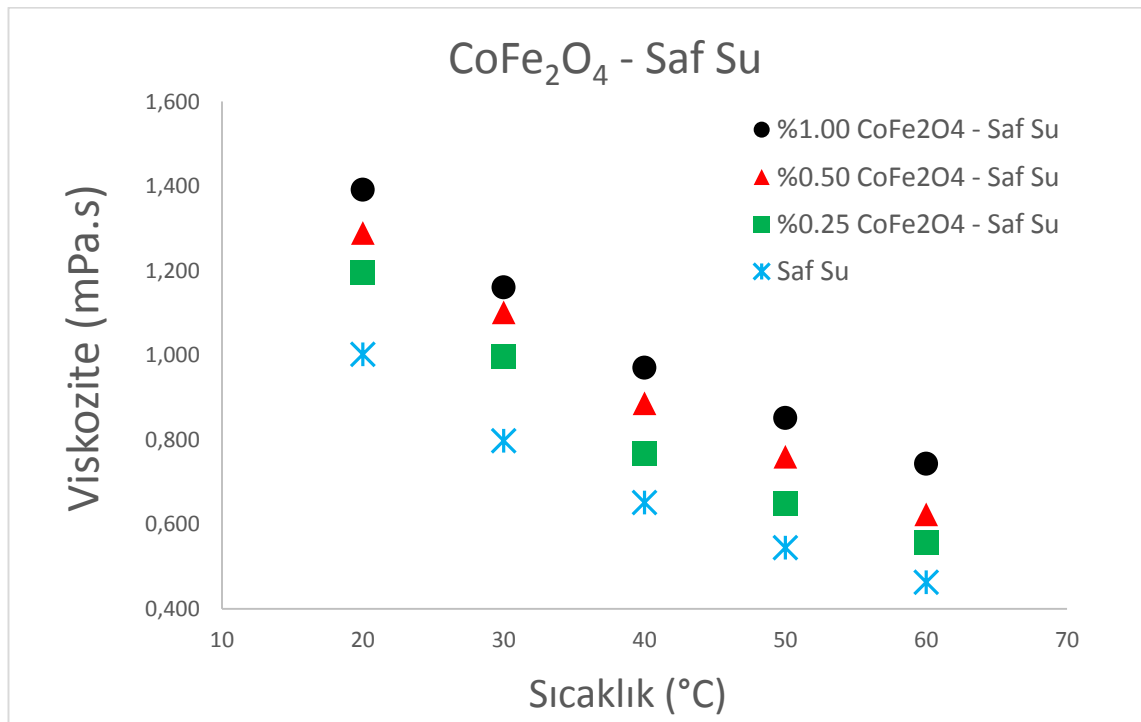
Şekil 4.16. MnFe₂O₄ - saf su nanoakışkanının 20°C, 40°C, 60°C sıcaklıklarda farklı hacimsel oranlarda ısı iletkenlik literatür ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



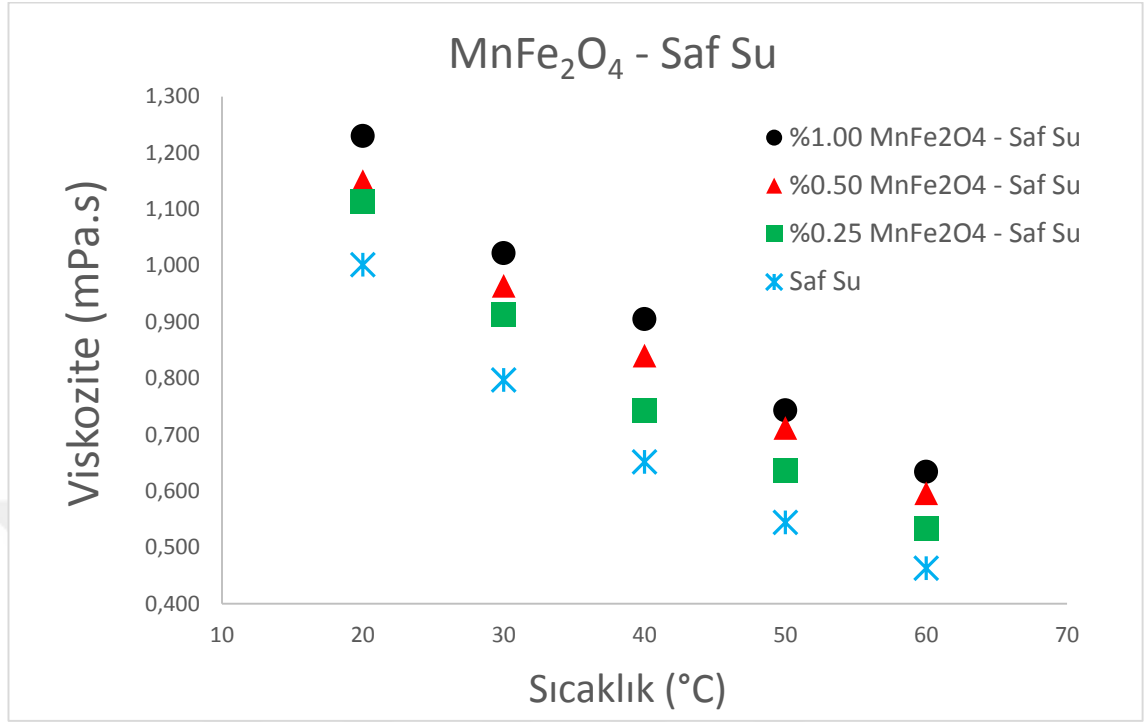
Şekil 4.17. MnFe₂O₄ - saf su nanoakışkanının 30°C, 50°C sıcaklıklarda farklı hacimsel oranlarda ısı iletkenlik literatür ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

4.2.2. Viskozite ölçümlerinin belirlenmesi

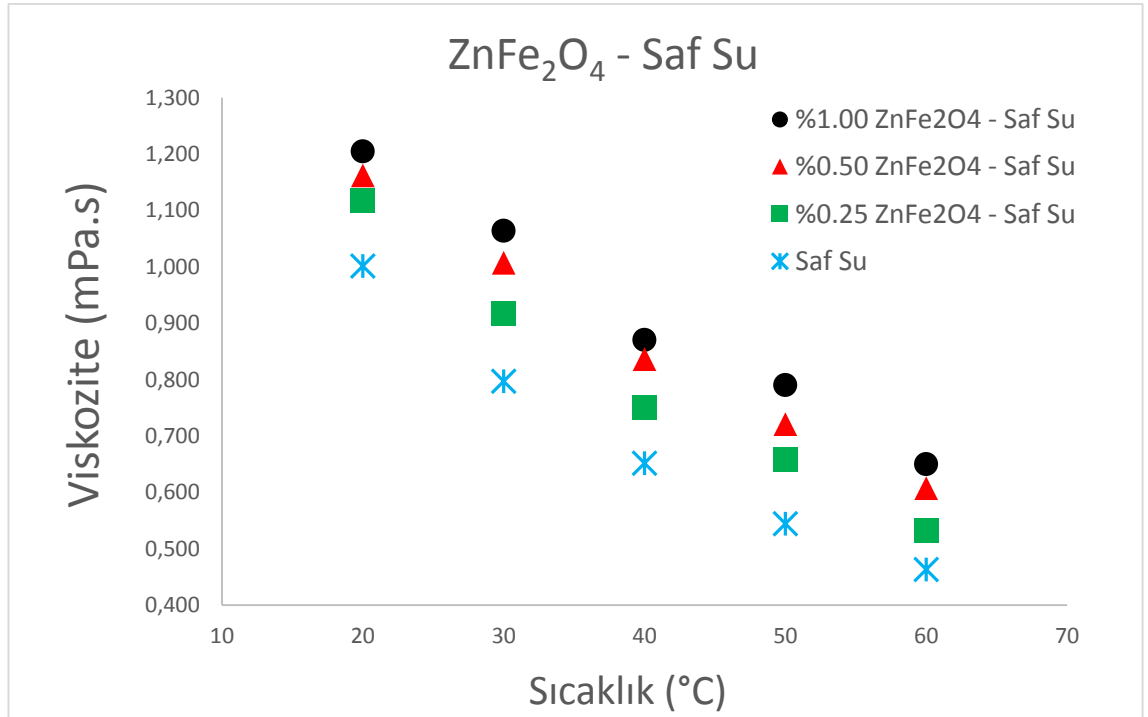
Homojenizatörde karışımı gerçekleştirilen tüm nanoakışkanların, Viscometer SV-10 cihazı ile viskozite ölçümleri sıcaklığa bağlı olarak yapılmıştır. Viskozite ölçümleri beş farklı sıcaklık değerlerinde (20°C, 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C) ölçülmüştür. Ölçümler, ölçüm yapılan andan itibaren 30 saniye içerisinde 5 saniyede bir toplam 6 defa gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik üzerinde Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Ayrıca ölçülen viskozite değerleri, %1 hacimsel oranda Batchelor, Drew and Passman, Brinkmann ve Wang eşitliklerinde hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Ek olarak %0.25 hacimsel oranda Batchelor, Drew and Passman, Brinkmann ve Wang eşitliklerinde hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da gösterilmiştir. 4.30’da çalışmada sentezlenen manyetik nanoakışkanların ve çeşitli oksit bileşenli nanoakışkanların 20°C sıcaklıkta viskozite değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.



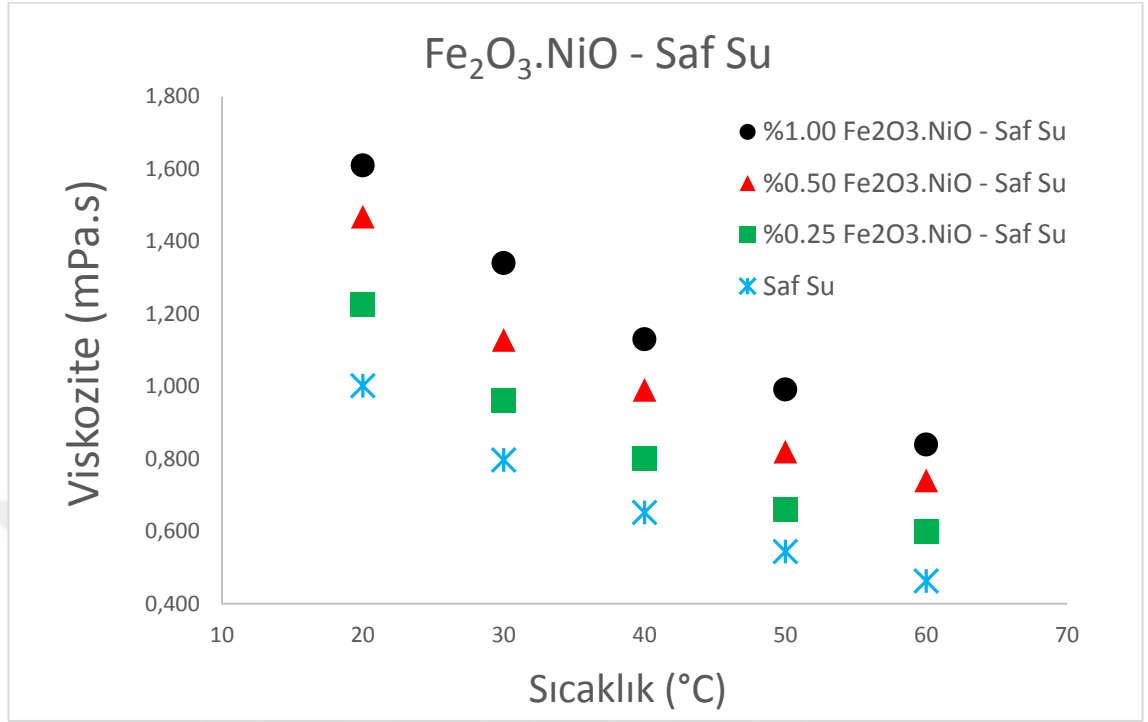
Şekil 4.18. CoFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması



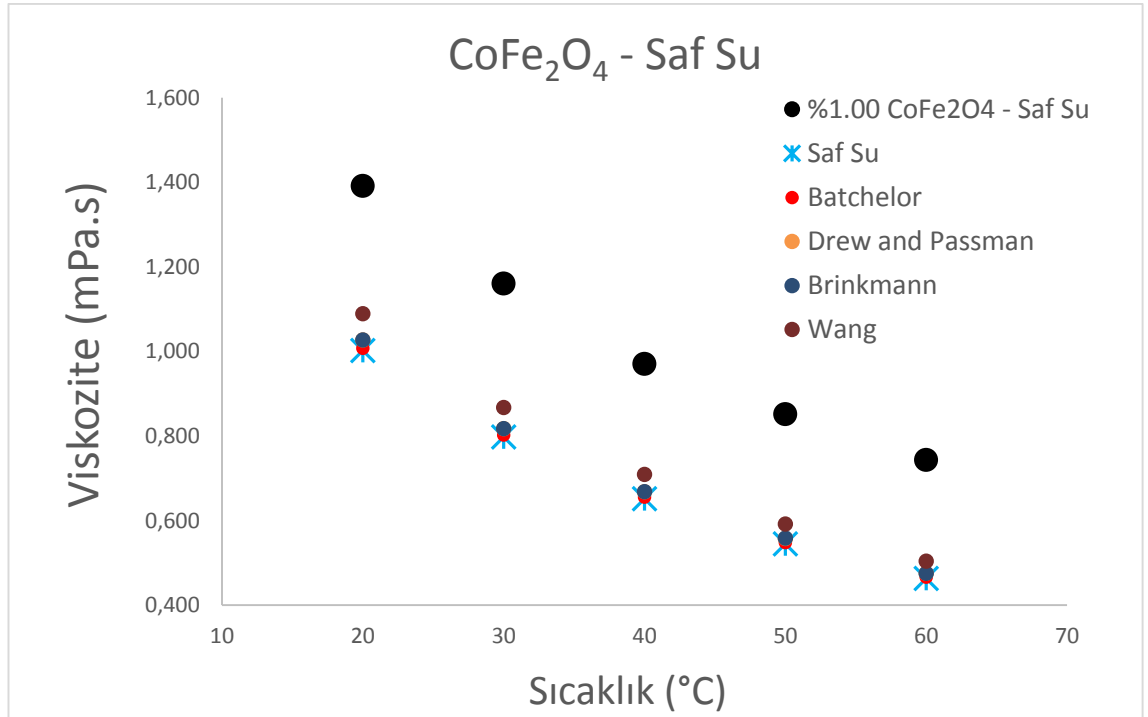
Şekil 4.19. MnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması



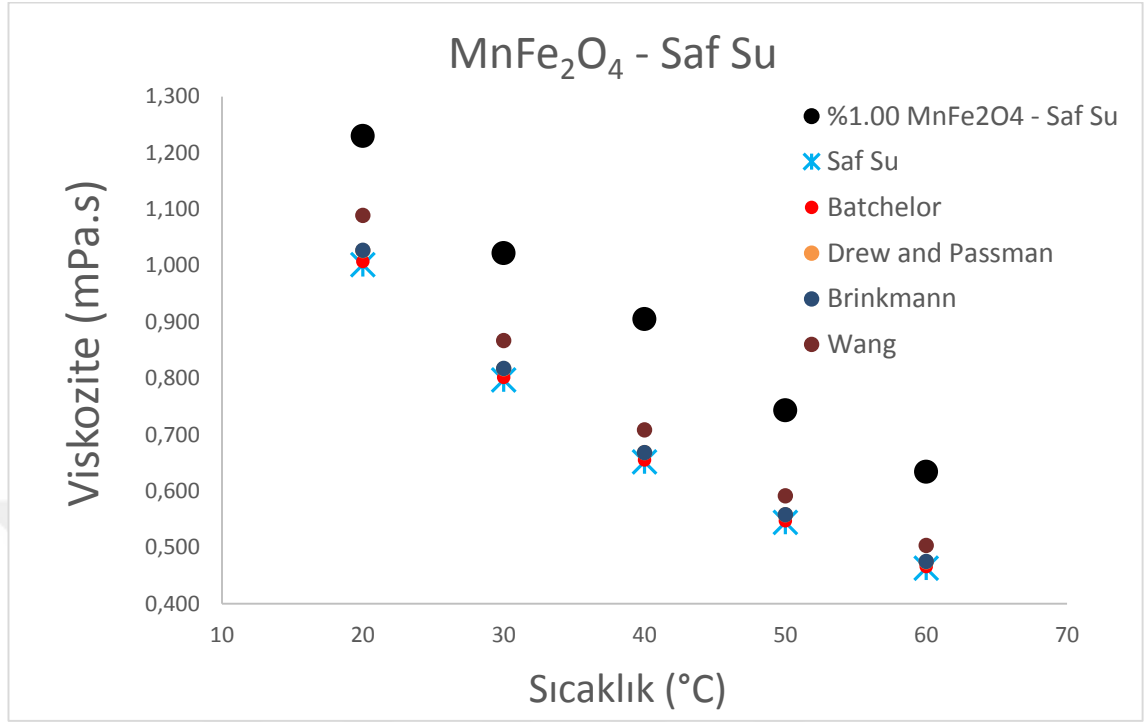
Şekil 4.20. ZnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması



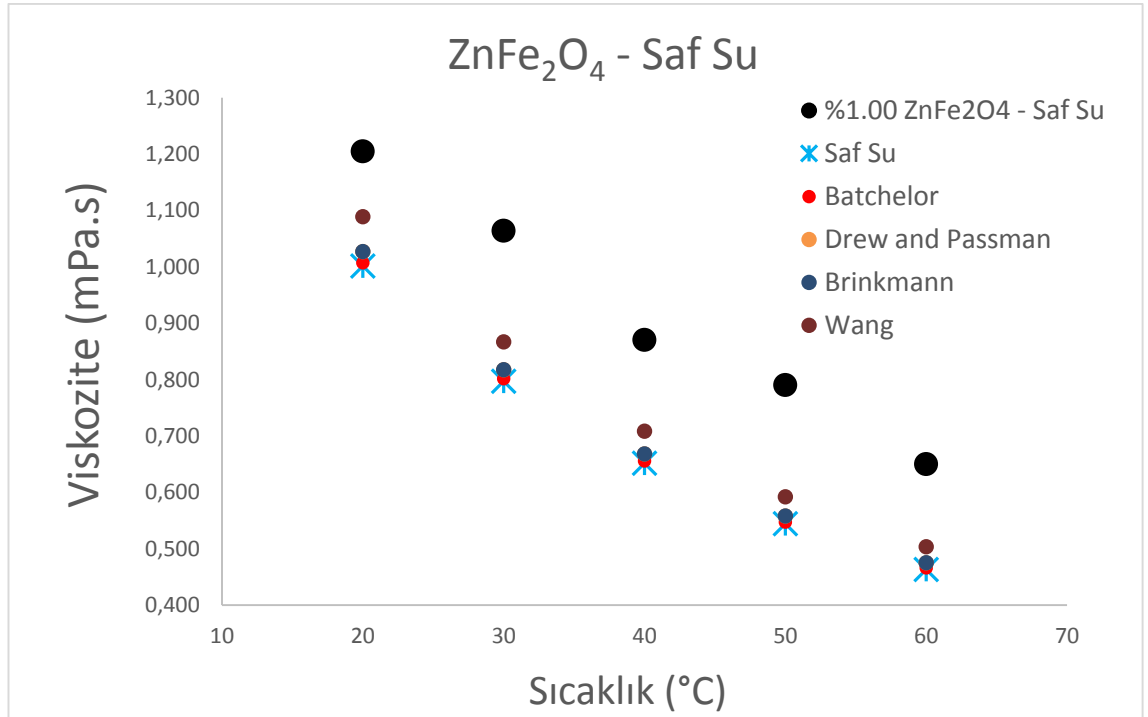
Şekil 4.21. Fe₂O₃/NiO – saf su nanoakışkanının çalışmada kullanılan hacimsel oranlarda sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerlerinin karşılaştırılması



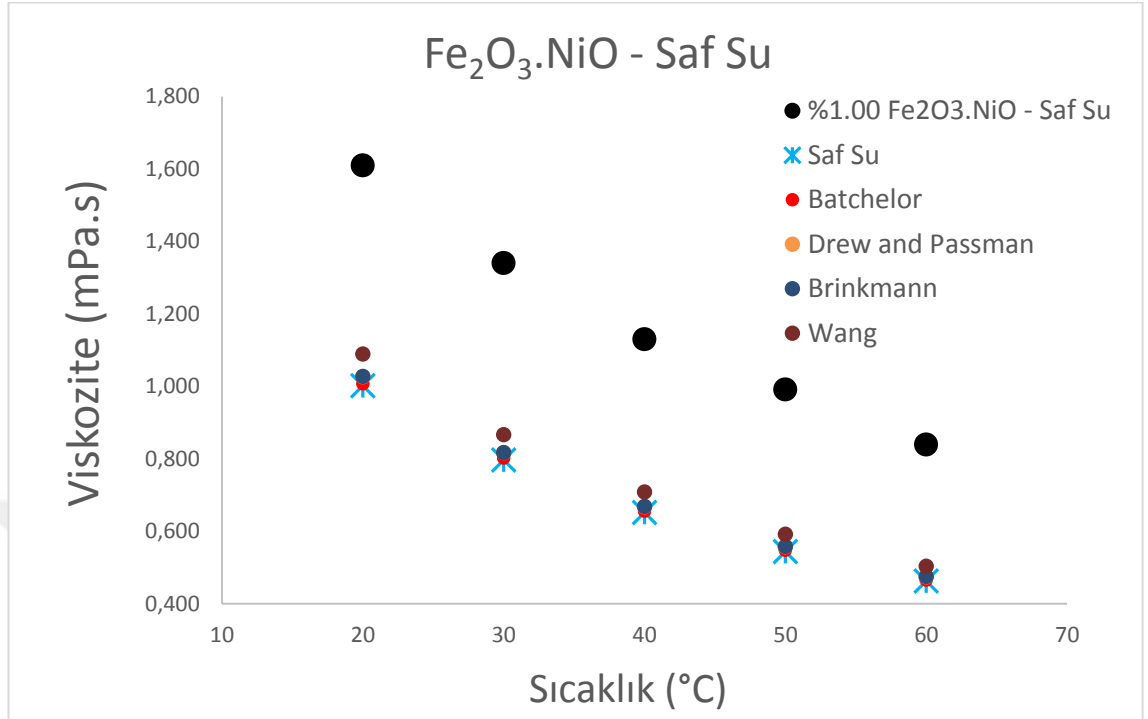
Şekil 4.22. %1 CoFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



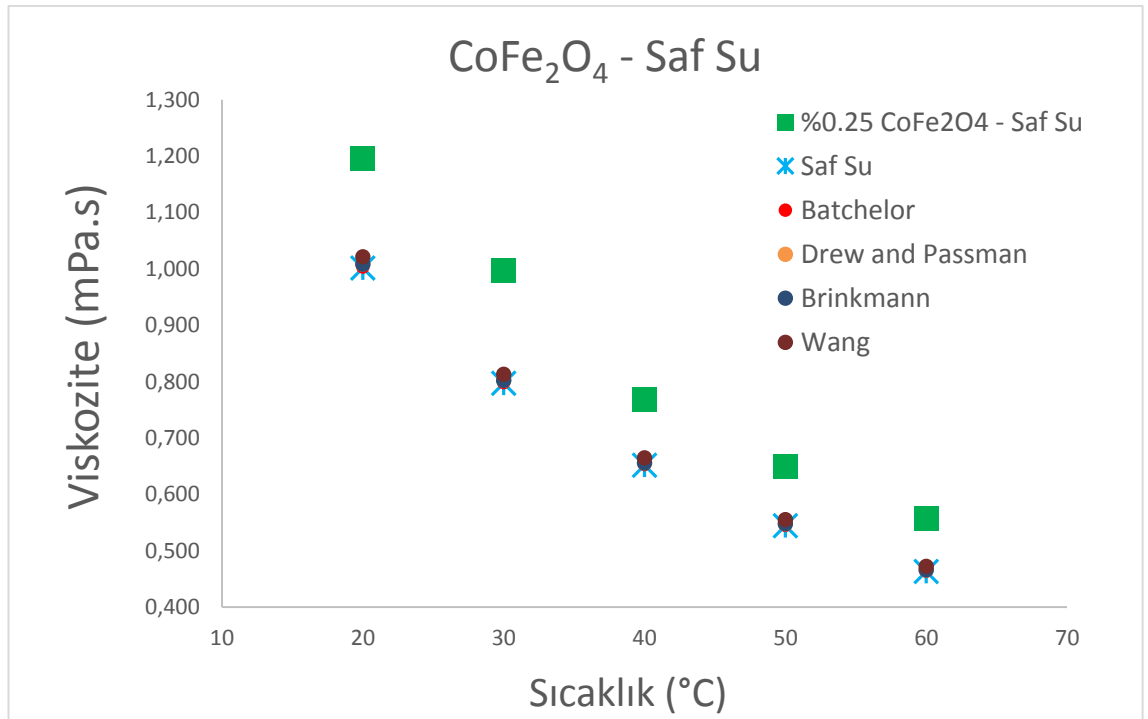
Şekil 4.23. %1 MnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



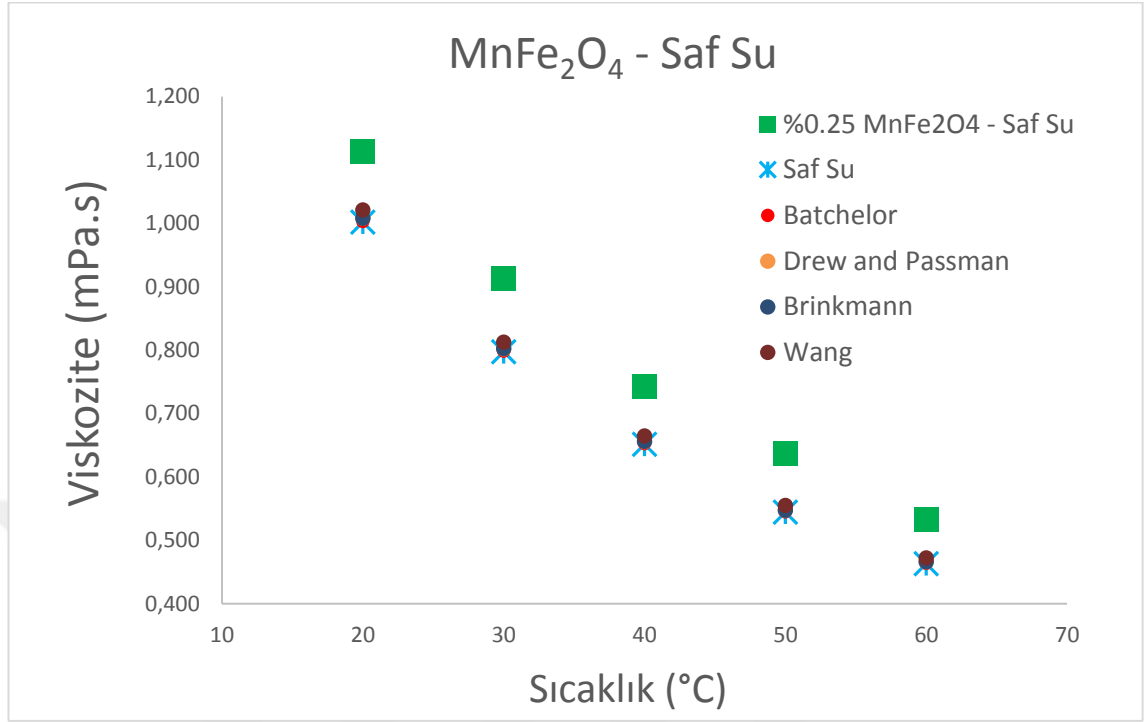
Şekil 4.24. %1 ZnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



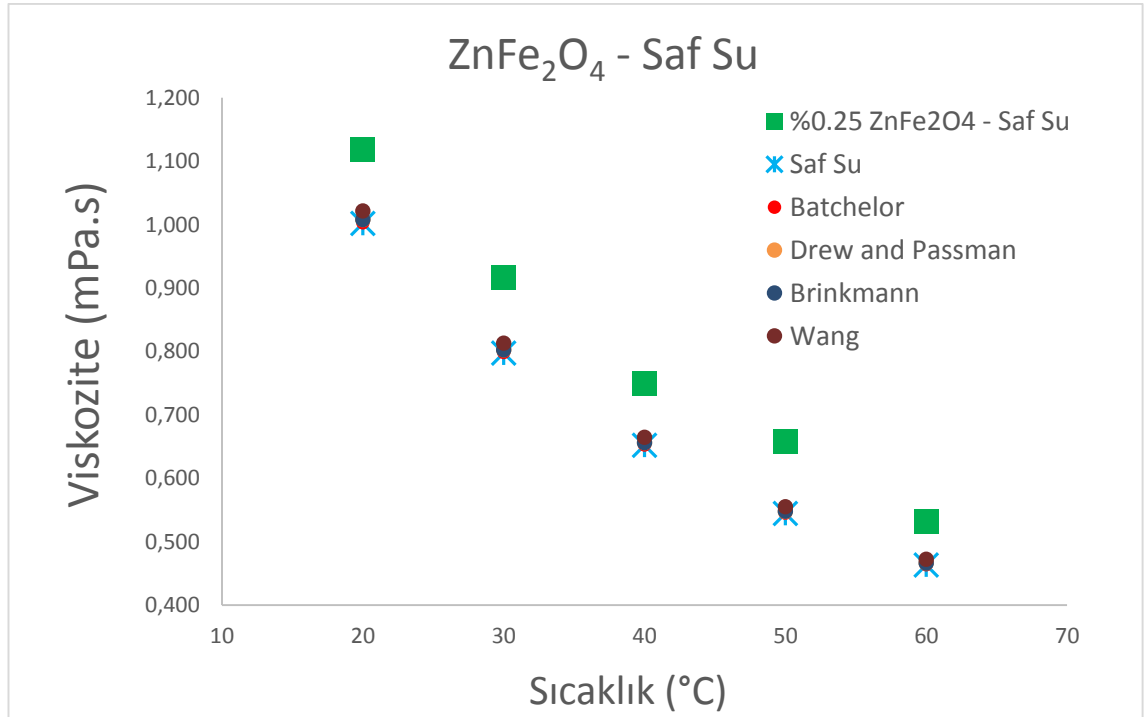
Şekil 4.25. %1 Fe₂O₃/NiO – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %1 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



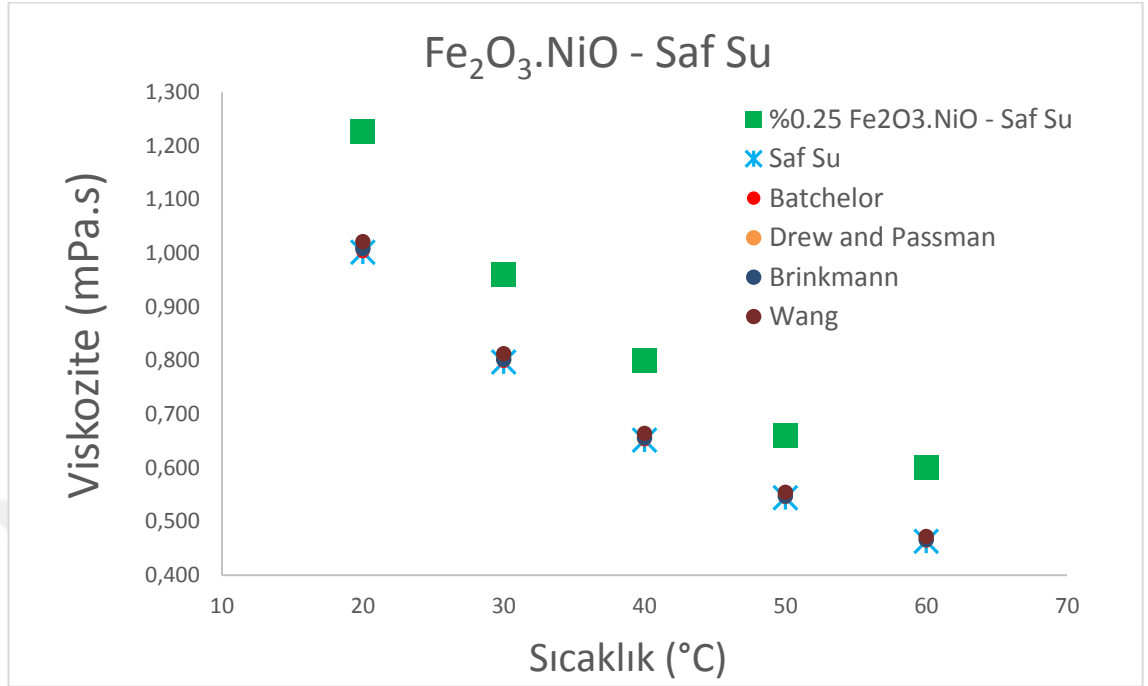
Şekil 4.26. %0.25 CoFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



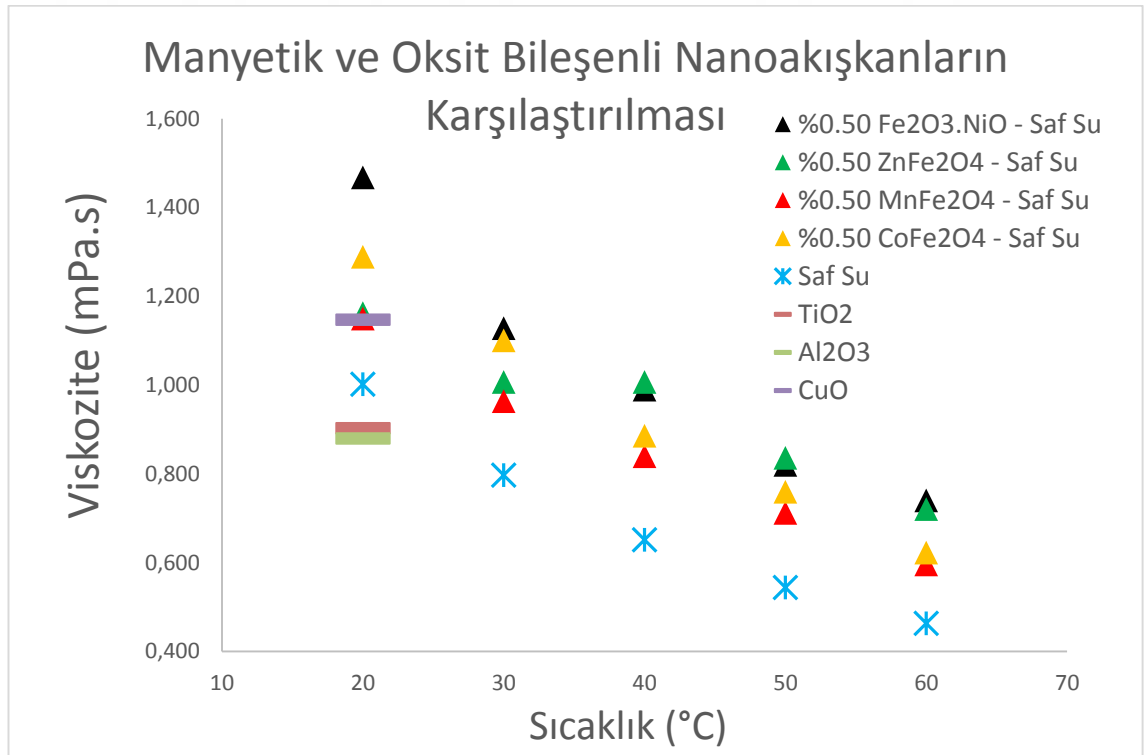
Şekil 4.27. %0.25 MnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



Şekil 4.28. %0.25 ZnFe₂O₄ – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



Şekil 4.29. %0.25 Fe₂O₃/NiO – saf su nanoakışkanının sıcaklığa bağlı olarak ölçülen viskozite değerlerinin, %0.25 hacimsel oranda farklı modeller ile karşılaştırılması



Şekil 4.30. Manyetik ve oksit bileşenli nanoakışkanların 20°C sıcaklıkta viskozite değerlerinin karşılaştırılması

Nanoakışkanların sıcaklığa bağlı viskozite değerleri, çalışmada kullanılan tüm karışım oranlarında, temel akışkan olan saf suyun sıcaklığa bağlı viskozite değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

Çalışmada sentezlenen manyetik nanoakışkanların 20°C'deki viskozite değerleri, oksit bileşenli bazı nanoakışkanların 20°C'deki viskozite değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

Nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite değerleri, çalışmada kullanılan en düşük ve en yüksek hacimsel oranlarda (%0.25 ve %1) sıcaklığa bağlı olarak çeşitli modellere göre karşılaştırılmıştır. Isıl iletkenlik ve viskozite değerlerinin %0.25 hacimsel oranda çalışmadaki modeller ile uyumu, %1 hacimsel orana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. %1 hacimsel oranda çalışmada kullanılan çeşitli modeller arasındaki uyum %0.25 hacimsel orandakine göre az olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Bu türlerinde (CoFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 , MnFe_2O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$) hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskoziteleri, farklı sıcaklıklarda (20°C , 30°C , 40°C , 50°C , 60°C) deneysel olarak incelenmiştir. Nanopartiküllerin her biri üç ayrı hacimsel oranda hazırlandıktan sonra saf su ile karıştırılarak nanoakışkanlar elde edilmiştir. Hazırlanan tüm nanoakışkanların, belirlenen parametre değerlerine bağlı olarak ısı iletkenlik ve viskozite değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar çeşitli modeller üzerinde karşılaştırılmıştır.

Hazırlanan nanoakışkanların deneysel olarak ölçülen ısı iletkenlik değerleri önceki bölümlerde grafik üzerinde gösterilmiştir. Deneysel olarak ölçümü gerçekleştirilen nanoakışkanların ısı iletkenlik değerleri, %1 hacimsel oranda Maxwell, Bruggeman ve Lu-Lin eşitliklerine göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik üzerinde gösterilmiştir.

Hazırlanan nanoakışkanların deneysel olarak ölçülen viskozite değerleri önceki bölümlerde grafik üzerinde gösterilmiştir. Deneysel olarak ölçümü gerçekleştirilen nanoakışkanların viskozite değerleri, %1 hacimsel oranda Batchelor, Drew and Passman, Brinkmann ve Wang eşitliklerinde hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik üzerinde gösterilmiştir. İki adım metodu kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların, yapılan deneyler sonunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki paragraflarda özetlenmiştir.

Nanoakışkanların sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değerleri, çalışmada kullanılan tüm karışım oranlarında, temel akışkan olan saf suyun sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

Nanoakışkanların sıcaklığa bağlı viskozite değerleri, çalışmada kullanılan tüm karışım oranlarında, temel akışkan olan saf suyun sıcaklığa bağlı viskozite değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

Partikül eklenmesi ile temel akışkan olan saf suyun termofiziksel özelliklerinde (ısıl iletkenlik, viskozite) önemli derecede değişiklik görülmüştür.

Partikül katkısının hacimsel oran olarak artışı, iki adım metodu kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların ısıl iletkenlik ve viskozite değerlerinde artış sağladığı görülmüştür.

İki adım metodu kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların ölçümü gerçekleştirilen sıcaklık değerlerine bağlı olarak ısıl iletkenlik ve viskozite değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikler üzerinde; hazırlanan nanoakışkanların sıcaklık artışı ile ısıl iletkenlik değerinde artış görülmüştür. Bunun yanında hazırlanan nanoakışkanların viskozite değerlerinde sıcaklık artışı ile azalma görülmüştür.

%1 CoFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de %6.94 oranındadır. %0.5 CoFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de % 5.48 oranındadır. %0.25 CoFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de %4.43 oranındadır.

%1 MnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de %7.23 oranındadır. %0.5 MnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de %5.63 oranındadır. %0.25 MnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de %3.98 oranındadır.

%1 ZnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de %5.92 oranındadır. %0.5 ZnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de %4.73 oranındadır. %0.25 ZnFe_2O_4 / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de % 3.21 oranındadır.

%1 $\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{NiO}$ / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de % 7.65 oranındadır. %0.5 $\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{NiO}$ / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de % 6.22 oranındadır. %0.25 $\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{NiO}$ / saf su nanoakışkanının, saf suyun ısıl iletkenlik değerine göre artışı 20°C 'de % 3.52 oranındadır.

Farklı nanopartiküller eklenerek hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlik değerlerindeki artış, temel akışkan olan saf suyun ısı iletkenlik değerlerine göre %2 ile %12 arasında artış sağladığı görülmüştür.

Farklı nanopartiküller eklenerek hazırlanan nanoakışkanların viskozite değerlerindeki artış, temel akışkan olan saf suyun viskozite değerlerine göre %15 ile %36 arasında artış olduğu görülmüştür.

Elde edilen deneysel sonuçlar, literatürde önerilen eşitlik ve teorik modellerle yakınlık içerisinde olduğu görülmüştür. Isı iletkenlik değerleri arasında lineer bir artış ve viskozite değerleri arasında lineer bir azalma olduğu görülmüştür.

Nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite değerleri, çalışmada kullanılan en düşük ve en yüksek hacimsel oranlarda (%0.25 ve %1) sıcaklığa bağlı olarak çeşitli modellere göre karşılaştırılmıştır. Isı iletkenlik ve viskozite değerlerinin %0.25 hacimsel oranda çalışmadaki modeller ile uyumu, %1 hacimsel orana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. %1 hacimsel oranda çalışmada kullanılan çeşitli modeller arasındaki uyum %0.25 hacimsel orandakine göre az olduğu görülmüştür.

Çalışmada sentezlenen nanoakışkanların sıcaklığa bağlı olarak ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin, %0.5 hacimsel oranda karşılaştırılması sonucunda $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ – saf su nanoakışkanının ısı iletkenlik değerlerinin en yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışmada sentezlenen manyetik nanoakışkanların 20°C’deki ısı iletkenlik değerleri, oksit bileşenli bazı nanoakışkanların 20°C’deki ısı iletkenlik değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

Çalışmada sentezlenen manyetik nanoakışkanların 20°C’deki viskozite değerleri, oksit bileşenli bazı nanoakışkanların 20°C’deki viskozite değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

MnFe₂O₄ - saf su nanoakışkanının 20°C, 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C sıcaklıklarda farklı hacimsel oranlarda literatürden ısı iletkenlik değeri okunmuştur. Literatürden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çeşitli sıcaklıklarda elde edilen deney sonuçları ile literatür sonuçları arasındaki farkın az olduğu görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Akoh H., Tsukasaki Y., Yatsuya S., Tasaki A., 1978. Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate, *Journal of Crystal Growth*, 45, 495–500.
- Akyürek E. F., 2014. Nanoakışkanların ve türbülatorlerin iç içe borulu ısı değiştirici ısı performansına etkilerinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- Amani M., Amani P., Kasaeian A., Mahian O., Wongwises S., 2017. Thermal conductivity measurement of spinel-type ferrite MnFe_2O_4 nanofluids in the presence of a uniform magnetic field. *Journal of Molecular Liquids*, 230, 121–128.
- Amir K., Salman S., Afghahi S., Shariatmadar H., Ashjaee M., 2014. Experimental investigation on thermal conductivity of MFe_2O_4 ($\text{M} = \text{Fe}$ and Co) magnetic nanofluids under influence of magnetic field, *Thermochimica Acta*, 598, 59–67.
- Anoop K. B., Kabelac S., Sundararajan T., Das S. K., 2009a. Rheological and flow characteristics of nanofluids: influence of electroviscous effects and particle agglomeration, *J. Appl. Phys.*, 106 (3), 034909.
- Batchelor G. K., 1977. The effect of Brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles, *Journal of Fluid Mechanics*, 83 (1), 97–117.
- Brinkman H.C., 1952. The viscosity of concentrated suspensions and solution, *Journal of Chemical Physics*, 20, 571–581.
- Bruggeman D. A. G., 1935. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen, I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus isotropen Substanzen, *Annalen der Physik*, Leipzig 24, 636–679.
- Ceylan A., Jastrzembski K., and Shah S. I., 2006. Enhanced solubility Ag–Cu nanoparticles and their thermal transport properties, *Metall. Mater. Trans. A*, 37, 2033–2038.
- Das S. K., Putra N., Thiesen P., Roetzel W., 2003a. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *ASME Trans. J. Heat Transfer*, 125, 567–574.
- Daungthongsuk W., Wongwises S., 2007. A critical review of convective heat transfer of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11/ 5, 797–817.
- Dilek E. F., 2008. Nanoakışkanların hazırlanması ve ısı iletkenliklerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Drew D.A., Passman S.L., 1999. *Theory of Multi Component Fluids*, Springer, Berlin.
- Ferrofluids: Synthetic Strategies, Stabilization, Physicochemical Features, Characterization and Applications, Aswathy Joseph and Suresh Mathew.
- Goharshadi E. K., Ahmadzadeh H., Samiee S., Hadadian M., 2013. Nanofluids for Heat Transfer Enhancement-A Review, *Phys. Chem. Res.*, 1 (1), 1-33.
- Gomes J. A., Sousa M. H., Tourinho F. A., Aquino F., J. Da Silva G., Depeyrot J., Dubois E., Perzynski R., *J. Phys. Chem. C* 2008, 112, 6220-6227.

- Groot J.J. De., Kestin J. , Sookiazian H., 1974. Instrument to measure the thermal conductivity of gases, Brown University, Providence, RI 02912, USA, 75(3), 454-782.
- He Y., Jin Y., Chen H., Ding Y., Cang D., Lu H., 2007. Heat transfer and flow behavior of aqueous suspensions of TiO_2 nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 50, 2272–2281.
- Hwang Y. J., Ahn Y. C., Shin H. S., Lee C. G., Kim G. T., Park H. S., Lee J. K., 2006. Investigation on characteristics of thermal conductivity enhancement of nanofluids, *Current Applied Physics*, 6(6), 1068-1071.
- Incropera, F. and Dewitt P.D., 1996. Introduction to heat transfer John Wiley & Sons. Inc., (Third Edition).
- Li X., Zhu D., Wang X., 2007. Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions, *J. Colloid Interface Sci.*, 3 (10), 456–463.
- Li Y., Zhoua J., Tung S., Schneider E., Xi S., 2009. A review on development of nanofluid preparation and characterization, 196, 89–101.
- Lu S. and Lin H., 1996. Effective conductivity of composites containing aligned spheroidal inclusions of finite conductivity, *J. Appl. Phys.*, 79, 6761.
- Maity D., Agrawal D. C., *J. Magn. Magn. Mater.*, 2007, 308, 46-55.
- Maxwell J. C., 1881. A Treatise on Electricity and Magnetism, second ed., Clarendon Press, Oxford, UK.
- Murshed S. M. S., Leong K. C., Yang C., 2005. Enhanced thermal conductivity of TiO_2 -water based nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences* 44(4), 367–373.
- Pak B. C., Cho Y., 1998. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle, *Experimental Heat Transfer*, 11 (1998), pp. 151–170.
- Pak B. C., Cho Y., 2008. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle, *Experimental Heat Transfer*, 11, 151–170.
- Patel H. E., Das S.K., Sundararajan T., Nair A.S., Geoge B., Pradeep T., 2003. Thermal conductivities of naked and monolayer protected metal nanoparticle based nanofluids: Manifestation of anomalous enhancement and chemical effects, *Applied Physics Letters*, 83, 2931–2933.
- Patel H. E., Sundararajan T., and Das S. K., 2010. An experimental investigation into the thermal conductivity enhancement in oxide and metallic nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 12/ 3, 1015–1031.
- Sommers A. D., Yerkes K. L., 2010. Experimental investigation into the convective heat transfer and system-level effects of Al_2O_3 -propanol nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 12, 1003–1014.
- Touloukian, Y. S., Powell, R. W., Ho, C. Y., and Klemens, P. G., 1970, *Thermophysical Properties of Matter*, Plenum Press, New York, 2.
- Tripathi A., Chandra H., 2015. Performance Investigation of Automobile Radiator Operated with ZnFe_2O_4 Nano Fluid based Coolant. *MATEC Web of Conferences*, 34, 01003.
- Wang X., Xu X., and Choi S. U. S., 1999. Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13/4, 474–480.

- Xie H., Wang J., Xi T., Liu Y., Ai F. and Wu Q., 2002. Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles, *Journal of Applied Physics*, 91/7, 4568–4572.
- Xu C., Sun S., *Dalton Trans.* 2009, 5583-5591.
- Xuan Y., Li Q., 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21/1, 58–64.
- Xuan Y., Roetzel W., 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluid, *Internat. J. Heat Mass Transfer*, 43, 3701–3707.



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Erzurum - Aşkale’de doğan Rahşan ÖZBALDAN, orta ve lise öğrenimini sırasıyla 70. Yıl Cumhuriyet İlköğretim Okulu ve Nenehatun Anadolu Kız Lisesinde tamamlamıştır. 2009 yılında kazandığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünü 2013 yılında başarıyla bitirmiştir. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.

2014 yılından beri PALMET Şirketler Grubunda Makine Mühendisi olarak çalışmaktadır.