T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO AKIŞKANLARIN ISI İLETİM KATSAYISI VE VİSKOZİTE DEĞİŞİMLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

GÖKBERK YALÇIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: PROF. DR. SEMİHA ÖZTUNA

EDİRNE-2020

Gökberk YALÇIN' ın hazırladığı "**Nano Akışkanların Isı İletim Katsayısı ve Viskozite Değişimlerinin Deneysel İncelenmesi**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri : İmza

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA .....

Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ .....

Dr. Öğr. Üyesi Berrin YILMAZ .....

Tez Savunma Tarihi: 20/01/2020

Bu tezin yüksek lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA .....

Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....

Prof. Dr. Murat YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

20 / 01 / 2020
Gökberk Yalçın

Yüksek Lisans
Nano Akışkanların Isı İletim Katsayısı ve Viskozite Değişimlerinin Deneysel İncelenmesi
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Gelişen sanayi, teknoloji ve kimya sektörü sayesinde nano boyuttaki çalışmalar artış göstermiştir. Ağır, hantal ve yer kaplayan aygıtlar yerlerini hafif, taşınabilir ve oldukça küçük boyutlardaki cihazlara bırakmıştır. Bu aygıtlar gitgide küçülerek nano boyutlu aygıtlar hayatımızdaki yerini almıştır.

Nano akışkanlar da günümüzün en popüler konuları arasında yer almaktadır. Akışkan kullanan sistemlerin kompaktlaşması ve buna paralel olarak sistem verim artışı beklentisi bilim insanlarını alternatif akışkanlar bulmaya itmiş ve nano akışkanlar bu konuda önemli bir çalışma alanı olmuştur.

Nano akışkanların yeni bir konu olması ve enerji verimliliğinin arttırılmasında katkı sağlayabilme imkanı sebebiyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Sistemlerde kullanılan akışkanlar genel olarak yağlar, su, etilen glikol gibi termofiziksel özellikleri sınırlı akışkanlardır. Özellikleri sınırlı bu akışkanlarla daha verimli sistemler elde etmek zorlaşmaktadır. Bu nedenle bu saf akışkanlara katı parçacıklar eklenerek özelliklerinin geliştirilmesi fikri günümüzde öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, nano akışkanlarda viskozite ve ısı iletim değerlerini etkileyen faktörler farklı sıcaklık, farklı konsantrasyon, farklı ortalama partikül boyutu kullanılarak incelenmiştir. Hazırlanan numuneler; sıcaklık, konsantrasyon, farklı partikül ve farklı partikül boyutu gibi değişkenler gözetilerek ortaya çıkarılmıştır. Bu farklılıklar sayesinde nano akışkanların en çok çalışılan konuları olan ısıl iletim özellikleri ve viskozite değerlerinin

değişimleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Bunlara ek olarak nano akışkanların stabilizasyonu ve mikroskobik görüntüleri ile nano akışkanların yapıları ve davranışları incelenmiştir.

Yıl : 2020

Sayfa Sayısı : 151

Anahtar Kelimeler : Nano Akışkan, Hibrit Nano Akışkan, Nano Partikül, Viskozite, Isı İletimi

Master's Thesis

Experimental Investigation of Thermal Conductivity Coefficient And Viscosity Changes of Nanofluids

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

Thanks to the developing industry, technology and chemistry sector, nanoscale studies have increased. Heavy, bulky and space-saving devices are replaced by lightweight, portable and very small devices. These devices are getting smaller and smaller, nano sized devices have taken their place in our lives.

Nanofluids are among the most popular topics today. The complexity of the systems that use fluids and the expectation of increase in system efficiency in parallel pushed scientists to find alternative fluids and nanofluids have been an important field of study in this regard.

It attracts the attention of researchers because nano fluids are a new subject and they can contribute to increasing energy efficiency. Fluids used in systems are generally fluids with limited thermophysical properties such as oils, water, ethylene glycol. It is difficult to obtain more efficient systems with these fluids with limited properties. For this reason, the idea of improving their properties by adding solid particles to these pure fluids comes to the fore today.

In this study, the factors affecting viscosity and heat conduction values in nano fluids were investigated using different temperature, different concentration, different average particle size. Prepared samples; It was created by considering variables such as temperature, concentration, different particle and different particle size. Thanks to these differences,

thermal conductivity properties and changes in viscosity values, which are the most studied subjects of nano fluids, were analyzed experimentally. In addition to these, the stabilization and microscopic images of nano fluids and the structures and behaviors of nano fluids have been examined.

Year : 2020

Number of Page : 151

Keywords : Nanofluid, Hybrid Nanofluid, Nanoparticle, Viscosity, Thermal Conductivity

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatımda bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen çalışma süresince göstermiş olduğu sabır ve desteklerinden ötürü çok kıymetli hocam Prof. Dr. Semiha Öztuna'ya,

Sağlamış olduğu laboratuvar imkanları sebebiyle Tayland - King Mongkut's University of Technology Thonburi' ye,

Tayland'daki çalışmalarımı destekleyen çok değerli hocam Prof. Dr. Somchai Wongwises' a,

2019/16 nolu projeye sağlamış olduğu maddi destek sebebiyle Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi'ne,

Bu günlere gelmemi sağlayan ve her türlü desteği sağlayan sevgili aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET……iv

ABSTRACT……vi

TEŞEKKÜR……....viii

İÇİNDEKİLER……ix

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ……..……..xv

ŞEKİLLER DİZİNİ……..……...xviii

ÇİZELGELER DİZİNİ……..……...xxii

BÖLÜM 1…….……..1

GİRİŞ……..……....1

1.1. Literatür Araştırması…….…2

BÖLÜM 2……...7

AKIŞ TANIMI……...7

2.1. Akışkanların Sınıflandırılması……..…8

2.1.1. İç ve Dış Akışlar……8

2.1.2. Laminer, Türbülanslı (Türbülant) ve Geçişli Akışlar……8

2.1.3. Viskoz ve Viskoz Olmayan Akış Bölgeleri……...…….9

2.1.4. Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar…….……..10

2.1.5. Doğal (Zorlanmamış) ve Zorlanmış Akışlar……..……...11

2.1.6. Daimi ve Daimi Olmayan Akışlar……...12

2.2. Akışkan Tanımı……..……..12

2.2.1. Akışkan Türleri……13

2.2.1.1. İdeal Akışkan……13

2.2.1.2. İdeal Olmayan Akışkan…….……14

2.2.1.2.1. Newton Tipi Akışkanlar……..…...15

2.2.1.2.2. Newton Tipi Olmayan Akışkanlar…….…16

2.2.2. Akışkan Kullanan Sistemler…….……17

2.2.2.1. Mekanik Enerji Elde Etmede Akışkan Kullanan Sistemler……...……....17

2.2.2.1.1. Pnömatik Sistemler……17

2.2.2.1.2. Hidrolik Sistemler…….…….18

2.2.2.2. Isı Enerjisi Aktarma ve Depolamada Akışkan Kullanan Sistemler……..…19

2.2.2.2.1. Gaz Akışkan Kullanan Sistemler……..…….19

2.2.2.2.2. Sıvı Akışkan Kullanan Sistemler…….…..20

BÖLÜM 3……...…..22

NANO PARTİKÜLLER……...…..…22

3.1. Nano Partikül Üretim Yöntemleri……...……...23

3.1.1. Kimyasal Buhar Yoğunlaştırma Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi…..……...23

3.1.2. Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi …….……..24

3.1.3. Asal Gaz Yoğunlaştırma Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi ……..……..25

3.1.4. Alev Sentezi Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi……...…….26

3.1.5. Mekanik Aşındırma Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi …….…….…..27

3.1.6. Ultrasonik Sprey Piroliz Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi ….…...……...28

3.1.7. Sol-Jel Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi……...30

3.1.8. Hidrotermal Yöntem ile Nano Partikül Üretimi……...30

3.2. Nano Partiküllerin Fiziksel Yapısı ve Boyutları……..……31

3.3. Nano Partikül Türleri…….……32

3.3.1. Karbon Temelli Nano Partiküller…….…32

3.3.2. Seramik Nano Partiküller…….....34

3.3.3. Metal Nano Partiküller…….……35

3.3.4. Yarı İletken Nano Partiküller…….…..37

3.3.5. Polimerik Nano Partiküller…….....38

BÖLÜM 4…….39

BAZ AKIŞKANLAR VE TÜRLERİ…….….39

4.1. Su…….…….……..39

4.2. Yağlar……41

4.3. Glikol Türevleri……..42

BÖLÜM 5……43

NANO AKIŞKANLAR……...43

5.1. Nano Akışkanların Hazırlanması……....44

5.1.1. Tek Adım Metodu…….……...44

5.1.1.1. Fiziksel Tek Adım Metodu…….……...44

5.1.1.2. Kimyasal Tek Adım Metodu……45

5.1.2. İki Adım Metodu……..45

5.1.2.1. İki Adım Metoduyla Nano Akışkan Hazırlamada Karıştırıcılar……....46

5.1.2.1.1. Ultrasonik Karıştırıcı……46

5.1.2.1.2. Mekanik Karıştırıcı……....48

5.2. Nano Akışkan Kullanım Alanları……....48

5.2.1. Elektronik Soğutma……48

5.2.2. Güneş Kollektörleri……..….49

5.2.3. Isı Değiştiriciler……...51

5.2.4. Motor Soğutma……52

5.2.5. Nano Soğutucular……..…53

5.2.6. Nano Yağlayıcılar……..……..54

5.2.7. Isı Enerjisinin Nano Akışkanlarla Depolanması…….....55

5.3. Nano Akışkanlarda Stabilite……....56

5.3.1. Ultrasonikasyon ile Stabilizasyon Sağlanması…….57

5.3.2. Yüzey İyileştirici Uygulanması……....57

5.3.3. pH Kontrolü……58

5.4. Nano Akışkanların Termal ve Fiziksel Özellikleri...……...58

5.4.1. Isı İletim Katsayısı……...58

5.4.2. Viskozite…….……59

5.4.3. Yoğunluk……60

5.4.4. Özgül Isı……...60

5.4.5. Yüzey Gerilimi……61

5.5. Nano Akışkanların Avantajları……....61

5.6. Nano Akışkanların Dezavantajları……..62

BÖLÜM 6……63

MATERYAL ve METOD……..……63

6.1. Nano Akışkan Numunelerinin Hazırlaması…….63

6.2. Partiküller ve Akışkanların Özellikleri……....66

6.3. Deney Cihazları……...67

6.3.1. Isı İletim Katsayısı Ölçümü…….…….67

6.3.2. Viskozite Ölçümü……68

6.3.2.1. Kapiler Tüp Viskometre…….……...68

6.3.2.2. Reometre…….……..70

6.3.3. Stabilite (Zeta Potansiyel) Ölçümü……..72

6.3.4. Mikroskobik İnceleme…….72

6.4. Deneylerin Yapılması ve Sonuçların Alınması.……...……...74

BÖLÜM 7……..……76

DENEY SONUÇLARI……..……..76

7.1. Isı İletim Katsayısı Ölçümü……...……..76

7.1.1. SiO_2 – ND Nano Akışkanının Isı İletimi Ölçümü……..…...76

7.1.2. ZnO - SiO_2 Nano Akışkanının Isı İletimi Ölçümü……....78

7.2. Nano Akışkanların Viskozite Ölçümü..……...…80

7.2.1. SiO_2 Nano Akışkanının Viskozite ve Davranış Ölçümü…….…..81

7.2.2. ZnO Nano Akışkanının Viskozite ve Davranış Ölçümü…….....…..83

7.3. Zeta Potansiyel Ölçümü……...……...86

7.3.1. ZnO Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü……...…….….86

7.3.2. SiO_2 Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü…….87

7.3.3. SiO_2-ND Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü……..……88

7.3.4. ZnO - SiO_2 Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü……...91

7.4. FE-SEM ile Mikroskobik İnceleme…….....92

7.4.1. ZnO Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi……92

7.4.2. SiO_2 Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi……...…….94

7.4.3. ZnO-SiO_2 Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi……...…..…...…...97

7.4.4. SiO_2-ND Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi……...……..99

7.5. Deney Sonuçlarının İncelenmesi…….……..……....101

7.5.1. Isı İletimi Katsayısının İncelenmesi……...101

7.5.2. Viskozitenin İncelenmesi……...…107

7.5.3. Stabilitenin İncelenmesi……...…….…114

BÖLÜM 8……...……115

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME……..……...115

KAYNAKLAR…….……..118

ÖZGEÇMİŞ…….…….…….129

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

μ	Dinamik Viskozite (kg / m s ; Pa s)
c_x	Üretici Tarafından Belirlenmiş Boyutsuz Sayı
ρ	Yoğunluk (kg / m^3)
c	Ses Hızı (m / s)
C_p	Özgül Isı (J / kg K)
D	Boru Çapı (m)
Re	Reynold Sayısı
T	Sıcaklık (Celcius)
t	Zaman (s)
V	Hız (m / s)
τ	Kesme Gerilmesi (N / m^2)
ϕ	Konsantrasyon (%)

Al	Alüminyum
Al_2O_3	Alüminyum oksit (Alumina)
AlN	Alüminyum Nitrit
Ar	Argon

Au	Altın
BN	Boron Nitrit
BNNTs	Boron Nitrit Nano Tüp
CNT	Karbon Nano Tüp
Co	Kobalt
Co_3O_4	Kobalt (II, III) oksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
Cu_2O	Bakır(I) oksit
CuO	Bakır(II) oksit
EG	Etilen Glikol
Fe	Demir
Fe_3O_4	Demir (II, III) oksit
Ge	Germanyum
H_2	Hidrojen
He	Helyum
MgO	Magnezya
Mo	Molibden
MWCNT	Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp
N_2	Azot
ND	Nano Diamond (Elmas)
Ni	Nikel
NiO	Nikel oksit

PG	Propilen Glikol
Si	Silisyum
Si_3N_4	Silisyum nitrür
SiC	Silisyum karbür
SiO_2	Silikon Dioksit
SnO_2	Kalay oksit
SWCNT	Tek Duvarlı Karbon Nano Tüp
Ta	Tantal
Ti	Titanyum
TiC	Titan karbür
TiO_2	Titanoksit
W	Tungsten
Zn	Çinko
ZrO_2	Zirkonya

bf	Baz Akışkan
nf	Nano Akışkan
np	Nano Partikül
p	Partikül
w	Su

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Plaka Üzerindeki Sürtünme Kuvvetlerinin Etkili Olduğu ve Etkili Olmadığı Akış Bölgeleri……10

Şekil 2.2. İdeal Akışkan…….……14

Şekil 2.3. İdeal Olmayan Akışkan……..…14

Şekil 2.4. Newton Tipi Bir akışkana Ait Kayma Gerilmesi-Kesme Hızı Grafiği……...15

Şekil 2.5. Newton Tipi Olmayan Çeşitli Akışkanlara Ait Kayma Gerilmesi-Kesme Hızı Grafiği……16

Şekil 2.6. Bir Pnömatik Silindirin İç ve Dış Yapısı……..……..18

Şekil 2.7. Bir Hidrolik Silindirin İç ve Dış Yapısı……..……19

Şekil 2.8. Bir Ortamın Isıtma, Soğutma ve Havalandırılması……..20

Şekil 3.1. Nano Boyuttaki Çeşitli Yapıların Kıyaslanması……..……22

Şekil 3.2. Kimyasal Buhar Yoğunlaştırma Yönteminin Şematik Gösterimi……....…….24

Şekil 3.3. Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi Şematik Gösterimi…….……25

Şekil 3.4. Asal Gaz Yoğunlaştırma Yönteminin Şematik Gösterimi……26

Şekil 3.5. Alev Sentezi Yönteminin Şematik Görüntüsü……..27

Şekil 3.6. Mekanik Aşındırma Prosesinde Bilyalı Öğütücü ve İşlemin Şematik Görüntüsü..28

Şekil 3.7. Ultrasonik Olarak Aerosol Oluşumu……29

Şekil 3.8. Ultrasonik Sprey Piroliz Yöntemi Prosesi……..……30

Şekil 3.9. 60 nm Boyutlu Küresel Altın Nano Partikülleri……..…..……....31

Şekil 3.10. Katlanmış Olmasına Rağmen Hala Kırılmamış ve Dalgalı Yapıdaki Tek Duvarlı Karbon Nano Tüp…….……..….....33

Şekil 3.11. Tek Duvarlı (SWCNTs) ve Çok Duvarlı (MWCNTs) Karbon Nano Tüp….....33

Şekil 3.12. SiO_2 Nano Partiküllerinin SEM Görüntüsü……...…..34

Şekil 3.13. Demir İçerikli Nano Akışkanın Baz Akışkan İçerisinde Homojen Dağılımı ve Manyetiklenme Sonrası Davranışı…….…...36

Şekil 3.14. Cu Nano Partiküllerinin TEM Görüntüsü……...….……36

Şekil 3.15. Ge Elementinin Nano Partikülünün TEM Görüntüsü……..…...…..37

Şekil 5.1. Banyo Tipi Ultrasonik Karıştırıcı……..…….46

Şekil 5.2. El Tipi Ultrasonik Karıştırıcı……..……47

Şekil 5.3. Mikroçip Soğutmada Kullanılan Bir Isı Değiştiricisinin Şematik Görüntüsü……49

Şekil 5.4. Al_2O_3-Su Nano Akışkanı Kullanılan Deney Düzeneği…….51

Şekil 6.1. Ölçümlerde Kullanılan Yüksek Hassasiyetli Terazi……..…….64

Şekil 6.2. Hielscher UP200Ht Ultrasonik Homojenleştirici……..…….65

Şekil 6.3. KD 2 Pro Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı ….…….67

Şekil 6.4. Kapiler Tüplü Viskometre……..…69

Şekil 6.5. HAAKE MARS III Reometre…….……...71

Şekil 6.6. FEI QUANTA - FEG 450 Taramalı Elektron Mikroskobu……..……..74

Şekil 7.1. SiO_2 - ND Nano Akışkanının Isı İletim Katsayının Değişim ……...78

Şekil 7.2. ZnO - SiO_2 Nano Akışkanının Isı İletim Katsayısının Değişimi…….……..80

Şekil 7.3. SiO_2 Nano Akışkanının Viskozite Değişimi ve Kesme Gerilmesi-Kesme Hızı Grafiği……82

Şekil 7.4. ZnO Nano Akışkanının Viskozite ve Newton Tipi Akış Değerinin Değişimi…..85

Şekil 7.5. %1 ZnO Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Partikül Boyutuyla Değişimi……86

Şekil 7.6. %0.5 ZnO Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Partikül Boyutu ve Ultrasonik Banyo Kullanımıyla Değişimi..……..……..87

Şekil 7.7. %1 SiO_2 Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Partikül Boyutuyla Değişimi……88

Şekil 7.8. %0.5 - (%50 SiO_2 – %50 ND) ve %1 - (%50 SiO2 – %50 ND) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Konstrasyon ve Ultrasonik Banyo Kullanımıyla Değişimi……..89

Şekil 7.9. %0.5 - (%33.3 SiO_2 – %66.6 ND) ve %0.5 - (%66.6 SiO2 – %33.3 ND) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değeri……..……...…..…....90

Şekil 7.10. %1 - (%33.3 SiO_2 – %66.6 ND) ve %1 - (%66.6 SiO_2 – %33.3 ND) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değeri…….....……...…90

Şekil 7.11. %1 - (%50 ZnO – %50 SiO_2), %1 - (%33.3 ZnO – %66.6 SiO_2) ve %1 - (%66.6 ZnO – %33.3 SiO_2) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değeri…….....91

Şekil 7.12. %0.5 ZnO (20 nm) (a) ve %1 ZnO (20 nm) (b) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü……...…93

Şekil 7.13. %0.5 ZnO (50 nm) (a) ve %1 ZnO (50 nm) (b) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü……..94

Şekil 7.14. %1 SiO_2 (7 nm), %1 SiO_2 (15 nm), %1 SiO_2 (40 nm) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü……..96

Şekil 7.15. %1 - (%50 ZnO - %50 SiO_2), %1 - (%33.3 ZnO - %66.6 SiO_2), %1 (%66.6 ZnO - %33.3 SiO_2) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü…….98

Şekil 7.16. %0.5 - (%50 SiO_2 - %50 ND), %0.5 (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND), %0.5 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü……..……100

Şekil 7.17. %0.5 SiO_2 – ND ve %1 SiO_2 – ND Nano Akışkanlarının Isı İletim Katsayısı Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması……105

Şekil 7.18. %0.5 ZnO - SiO_2 ve %1 ZnO - SiO_2 Nano Akışkanlarının Isı İletim Katsayısı Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması……107

Şekil 7.19. %0.5 ZnO ve %1 ZnO Nano Akışlarının Viskozite Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması……..112

Şekil 7.20. %1 SiO_2 ve %2 SiO_2 Nano Akışlarının Viskozite Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması……...……113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Suyun Değişen Sıcaklıklarda Termofiziksel Özellikleri……..….40

Çizelge 4.2. %50 Mono Etiken Glikol - %50 Su Karışımının Değişen Sıcaklıklarda Termofiziksel Özellikleri……..…….42

Çizelge 6.1. Partikül ve Akışkanların Özellikleri……...…66

Çizelge 7.1. SiO_2 - ND Hibrit Nano Akışkan Hazırlanmasında Kullanılan Miktarlar……....77

Çizelge 7.2. ZnO - SiO_2 Hibrit Nano Akışkan Hazırlanmasında Kullanılan Miktarlar…….79

Çizelge 7.3. SiO_2 Nano Akışkan Hazırlanmasında Kullanılan Miktarlar……...……81

Çizelge 7.4. ZnO Nano Akışkan Kullanılan Miktarlar…….....……..…83

Çizelge 7.5. Saf Su ve ZnO – SiO_2 Nano Akışkanının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Isı İletim Katsayısı Değerleri……..……..102

Çizelge 7.6. Saf Su ve SiO_2 – ND Nano Akışkanının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Isı İletim Katsayısı Değerleri……103

Çizelge 7.7. Su – Etilen Glikol Karışımı ve SiO_2 Nano Akışkanlarının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Viskozite Değerleri…….109

Çizelge 7.8. Su – Etilen Glikol Karışımı ve ZnO Nano Akışkanlarının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Viskozite Değerleri…….110

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Nano malzemeler genellikle çapı 100 nanometre veya daha küçük olan malzemelere denir ve günümüzde oldukça popüler çalışma alanlardan biridir (Hamid, Azmi, Nabil, Mamat, Sharma, 2018). Literatüre ilk olarak 1995 yılında geçmiştir (Choi ve Eastmen,1995). Tıp, kimya, tekstil, ilaç sanayi, mühendislik gibi birçok alanda kullanımı mevcuttur. Gelişen teknoloji ve kimya endüstrisi, üretim yöntemlerinin gelişmesi, çeşitlenmesi ve kolaylaşması çeşitli nano malzemelerin gelişmesini sağlamıştır.

Sağlık sektöründe vücuda enjekte edilen bazı materyaller ve çeşitli ilaçlarda etken madde veya yan madde olarak kullanılan bazı maddeler nano boyutlaştırılması yardımıyla çeşitli tedavilerde kullanılmaktadır. Vücudun spesifik noktalarına yapılan tedavilerde kullanımı yaygındır. Nano malzemelerin en popüler olduğu alanların başında sağlık sektörü ve özellikle ilaç üretim sanayi gelmektedir. Bu alanda yapılmış çeşitli güncel çalışmalar literatürde mevcuttur (Jafari ve Rezvanpour, 2019).

Kimya bilimi, nano malzemelerin üretimi, geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi üzerine çalışmakla birlikte temel bilim alanı olması sebebiyle nano malzemelerle ilgili birçok farklı alanda ortak çalışma yürütmektedir (Moghaddam, Goharshadi, Entezari, Nancarrow, 2013).

İnşaat mühendisliğinde beton özelliklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde katkılar vasıtasıyla nano malzemelerden faydalanılmaktadır. Malzeme ve materyal

mühendisliğinde, malzemelerin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi ve dayanımının arttırılması için nano malzemeler kullanılmaktadır (Buschmann vd., 2018). Kimya mühendisliği, malzeme ve materyal mühendisliği, enerji mühendisliği, makine mühendisliği gibi bazı mühendislik alanları ortak olarak nano akışkanların davranışları, fiziksel özellikleri, üretimi ve durumunun iyileştirilmesi gibi ortak alanlarda çalışmaktadır.

Mühendislikte çok çeşitli alanlarda nano malzemelerden yararlanılmaktadır. Mevcut bazı malzemelerin özelliklerinin incelenmesi, mevcut durumumun geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ve yeni malzemelerin üretiminde nano malzemelerden faydalanılmaktadır.

1.1. Literatür Araştırması

Zhai ve arkadaşları (Zhai, Li, Wang, Li, 2019) nano akışkanlar üzerine yapmış oldukları çalışmada, etilen glikol baz akışkanlı Al_2O_3 nano partiküllü nano akışkan hazırlamışlar ve nano akışkanın termofiziksel performansını incelemişlerdir. Ölçümleri 20°C ile 60°C arasındadır ve nano akışkanları %1'lik konsantrasyona sahiptir. Nano akışkanlarına iki farklı yüzey iyileştirici (PVP ve SDS) eklemişler ve bu iyileştiricilerin stabiliteye etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarının ilk bölümünde yüzey iyileştiricileri çökelme yönünden incelemişler, ikinci bölümünde ise viskozite ve ısıl iletkenliği ölçerek optimal yüzey iyileştirici oranını tespit etmeye çalışmışlardır. Bu nano akışkanın bir düşük sıcaklıklı atık ısı geri dönüştürme sisteminde kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Dalkılıç ve arkadaşları (2018), SiO_2 ve grafit nano partikülleri kullanarak su bazlı hibrit nano akışkan hazırlamışlar. Kullandıkları partikülleri çeşitli oranlarda ve çeşitli yüzdelerde hazırlamışlar ve viskozite ölçümlerinin 15°C - 60°C aralığında gerçekleştirmişlerdir. Viskozite ölçümleri kapiler tüp viskometre ile gerçekleştirmişlerdir. En yüksek viskozite artışını 15°C'de ve %2 konsantrasyonlu hibrit nano akışkan için %36.12 (saf baz akışkana oranla) artış olarak tespit etmişlerdir. Çalışmalarını SEM görüntüleri ile desteklemişler ve bu nano akışkana ait viskozitenin hesaplanması için %2.4 hassasiyetli bir denklem geliştirmişlerdir.

Moldoveanu, Huminic, Minea ve Huminic (2018) Al_2O_3 ve SiO_2 nano partiküllerini hem ayrı ayrı hem de iki partikülün karışımını kullanarak nano akışkanlar üretmişler ve bu

nano akışkanın ısı iletim katsayısını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında baz sıvı olarak saf su kullanmışlardır. Çeşitli konsantrasyonda hazırladıkları nano akışkanları birbirleri ile kıyaslamış ve deneysel sonuçlardan ısı iletim katsayısının belirlenmesi için denklemler geliştirmişlerdir. Çalışmalarında ısı iletim katsayısı ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

Salavati, Kianifar, Niazmand, Mahian, Wongwises (2015), SiO_2 nano partikülünü su-etilen glikol karışımı ile kullanmışlardır. Ürettikleri nano akışkanları güneş kollektörlerinin enerji verimi ve performansının deneysel olarak incelenmesi için kullanmışlardır. Hazırladıkları nano akışkanlar %1 ve altında çeşitli konsantrasyonlardadır. Güneş kollektörlerinin kütle akış oranı 0.018 kg/s ile 0.045 kg/s aralığındadır. Bu nano akışkanın güneş kollektörlerinde ısıl verim ve performansı artışı tespit etmişlerdir.

Esfe ve arkadaşları (2015), Cu ve TiO_2 nano partiküllerini etilen glikol-su karışımı ile karıştırarak hibrit nano akışkan elde etmişlerdir. Bu nano akışkanın ısı iletim katsayısı üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında 30 ^oC ile 60 ^oC arasında çalışmışlar ve %0.1, %0.2, %0.4, %0.8, %1, %1.5 ve %2'lik çeşitli konsantrasyonlarda deneysel ölçümler yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda bu nano akışkanın ısı iletim katsayısını hesaplamak için sıcaklık ve konsantrasyona bağlı iki denklem geliştirmişlerdir.

Hamid, Azmi, Nabil, Mamat, Sharma (2018) TiO_2 ve SiO_2 nano partiküllerini farklı oranlarda karıştırarak nano akışkan hazırlamışlardır. Bu nano akışkanların dinamik viskozitesi ve ısı iletim katsayısı üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında %60 su ve %40 etilen glikol karışımını baz sıvı olarak kullanmışlardır. Çalışmaları 30^oC ile 80^oC arasındadır. TiO_2 ve SiO_2 nano partiküllerini sırasıyla %20-%80, %40-%60, %50-%50, %60-%40 ve %80-%20 oranlarında karıştırarak kullanmışlardır. Elde ettikleri en yüksek ısı iletim katsayısı artışı %16 oranındadır. %40 TiO_2 - %60 SiO_2 ve %80 TiO_2 - %20 SiO_2 karışımlarının viskozite değişimi ve ısı iletim kaysayısı artışı açısından diğer karışımlardan daha avantajlı olduğu bildirilmiştir.

Estafahani, Languri, Nunna (2016), grafen oksit nano partiküllerini su ile karıştırarak nano akışkan hazırlamışlar ve değişen partikül boyutu ve viskozitenin ısı iletkenliği üzerine etkisi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmaları 25^oC, 40^oC ve 60^oC sıcaklıklarında, %0.01, %0.05,

%0.1 ve %0.5 konsantrasyonlarında yapılmıştır. En yüksek ısı iletim katsayısı artışı %0.5 konsantrasyon için %19.9 artış olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada, ısı iletim katsayısının değişiminin partikül boyutu ve viskozitenin değişimiyle birlikte değiştiği tespit edilmiş ve değişen konsantrasyonun ısı iletim katsayısı üzerine önemli bir etki yapmadığı tespit edilmiştir.

Zeng ve Xuan (2018), çok duvarlı karbon nano tüp (MWCNTs) ve SiO_2/Ag nano partikül karışımını kullanarak nano akışkan üretmişlerdir. Bu nano akışkanı solar ısı dönüşümü ve ısı iletim katsayısı açısından irdelemişlerdir. %0.1 konsantrasyona sahip çok duvarlı karbon nano tüp kullanılarak hazırlanan nano akışkan ısı iletim katsayısını %7 oranında arttırabilmektedir. Karbon nano tüp ve SiO_2/Ag ikilisinin kullanımının, tek tür nano partikül kullanımına oranla solar absorpsiyonu arttırdığı tespit edilmiştir.

Vallejo, Żyła, Fernández-Seara ve Lugo (2018), nano partikül olarak şekillendirilmiş grafen levhaları, baz sıvı olarak ise su ve su-propilen glikol karışımı kullanarak nano akışkan hazırlamışlar ve bu nano akışkanın reolojik davranışını incelemişlerdir. Konsantrasyon yüzdeleri %0.25, %0.50, %0.75 ve %1 olarak seçilmiş, baz akışkan olarak üç farklı akışkan (su, %30 propilen glikol-%70 su ve %50 propilen glikol - %50 su) kullanılmıştır. Ölçümler 10 ^oC ile 80 ^oC arasında 10 ^oC farkla yapılmıştır. Kesme oranı olarak 10 s^{-1} ile 1000 s^{-1} arağı seçilmiştir. %50 propilen glikol - %50 su karışımı 10^oC ve 20^oC'de Newton tipi olmayan davranış sergilediğini tespit edilmiştir.

Selvam, Lal, Harish (2016), etilen glikol-su karışımını ve Ag nano partiküllerini kullanarak nano akışkan elde etmişlerdir. Isı iletim katsayısı, viskozite, yoğunluk ve özgül ısı gibi termofiziksel özelliklerin ölçümünü deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Isı iletim katsayısının partikül konsantrasyonu ve sıcaklıkla arttığını belirmişler ve en yüksek ısı iletim katsayısı artışını %0.15 konsantrasyon için 50 ^oC'de %12 artış olarak ölçmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre viskozite ve yoğunluk partikül konsantrasyonunun artması ile artmakta sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Özgül ısı ise artan partikül konsantrasyonu ile birlikte azalmakta ve sıcaklık artışı ile artmaktadır.

Nadooshan (2017) yaptığı çalışmada, %70 su - %30 etilen glikol karışımı ve ZnO nano partikülleri ile nano akışkan hazırlamış ve bu akışkanın ısı iletim katsayısı üzerine

çalışmıştır. Çalışma 20ºC ile 50ºC aralığında ve %0.125, %0.25, %0.5, %1, %2 ve %4 konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Nano akışkanlar iki adım metoduyla hazırlanmıştır. Ayrıca elde ettikleri sonuçlara göre ısı iletim katsayısı konsantrasyon ve sıcaklığın artışına paralel bir şekilde artış göstermektedir. Ayrıca ısı iletim katsayısı, yüksek sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlu nano akışkanlarda önemli bir şekilde artış göstermektedir. Son olarak çalışmada kullanılan nano akışkanın ısı iletim katsayısının hesaplanması için bir denklem üretilmiştir.

Esfe ve Hajmohammad (2017), ND ve Co_3O_4 nano partiküllerini %40 etilen glikol %60 su içeren baz akışkanla karıştırmışlardır. Mohammad Hemmat Esfe ve Mohammad Hadi Hajmohammad bu çalışmada çeşitli sıcaklık ve konsantrasyondaki nano akışkanların viskozite ve ısı iletim katsayısı değerlerini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Bu deneysel sonuçları baz alarak viskozite ve ısı iletim katsayısı değerlerini hesaplayabilmek için regresyon denklemi çıkarmışlardır. Hazırladıkları bu denklem sıcak ve konsantrasyona bağlı olarak viskozite ve ısı iletim katsayısı değerlerini %99.4 oranında doğrulukla hesaplayabilmektedir.

Sundar, Singh, Sousa (2016), propilen glikol (PG) ve suyu %20-%80, %40-%60, %60-%40 oranlarında karıştırarak baz akışkan olarak ve nano elması (ND) ise nano partikül olarak kullanmışlar ve hazırladıkları nano akışkanların ısı iletim katsayılarını ve viskozitelerini ölçmüşlerdir. En yüksek ısı iletim katsayı artışı %1 konsantrasyonda ve 60ºC'de %20 PG %80 su baz akışkanında %18.8 artışla (saf baz akışkan ısı iletim katsayısına göre), en yüksek viskozite artışı %1 konsantrasyonda ve 60ºC'de %60 PG %40 su baz akışkanında %66 artış olarak ölçülmüştür. Son olarak çalışmada ısı iletim katsayısı ve viskoziteyi hesaplayabilmek için sıcaklık ve konsantrasyona bağlı bir denklem geliştirmişlerdir.

Villarejo, Aguilar, Hamze, Estellé, Navas (2019), boron nitrit (BN) nano tüpleri kullanarak su bazlı nano akışkanlar hazırladılar ve bu nano akışkanların özelliklerini ölçtüler. Nano akışkan hazırlanmasında kullanılan partikül boyutları 150 nm -170 nm arasında ölçülmüş ve mutlak zeta potansiyel değeri 25 mV'tur. Nano akışkan Newton tipi davranış göstermiştir. Nano akışkanın viskozitesinde kayda değer bir değişim ölçülmemiştir. Saf suya

göre özgül ısısındaki artış %8, ısı iletim katsayısındaki artış %10 olarak ölçülmüştür. Nano partiküllerin eklenmesi sonrasında reolojik davranışında herhangi bir değişiklik ölçülmemiştir. Yine aynı şekilde basınç düşüşü ölçülmemiştir ve bu sayede bariz bir pompa yükü değişimi olmamıştır.

Sundar, Ramana, Graça, Singh, Sousa (2016), nano partikül olarak nano elmas (ND) ve Fe_3O_4 nano partiküllerini, akışkan olarak çeşitli oranlarda su ve su-etilen glikol (EG) karışımlarını kullandılar. Hazırladıkları nano akışkanın viskozitesi, ısı iletim katsayısı ve elektriksel iletkenlik özelliklerini incelediler. Maksimum ısı iletkenliği (baz akışkana oranla) %17.8 artışla %0.2 konsantrasyona sahip su baz akışkanlı nano akışkan için 60^oC'de, maksimum viskozite artışı ise %20 EG - %80 su karışımlı baz akışkan için saf baz akışkandan %219 kat artışla %0.2 konsantrasyon için 60^oC'de ölçtüler. Ayrıca ısı iletim katsayısı ve viskoziteyi hesaplayabilmek için korelasyon denklemlerini çalışmalarına eklediler.

Bu çalışmada, farklı boyutlarda ve konsantrasyonlarda ZnO ve SiO_2 nano partikülleri kullanılarak nano akışkanların viskozite değişimi, farklı karışım oranlarında ve konsantrasyonlarda ZnO-SiO_2 , SiO_2-ND partikülleri kullanılarak nano akışkanların ısı iletim katsayısı ölçümleri deneysel olarak yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin önce ısı iletim katsayısı ve viskozite değerleri ölçülmüş ve daha sonra numuneler FE-SEM görüntüleme kullanılarak mikroskobik olarak incelenmiştir. Elde edilen ısı iletim katsayısı ve viskozite değerleri diğer çalışmalarla kıyaslanmıştır. Sonraki aşamada zeta potansiyel değerleri ile stabiliteleri belirlenmiş ve reometre kullanılarak viskozite değişimleri ve Newton tipi akışkan olup olmadıkları ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan tüm akışkanlar Newton tipi davranış göstermişlerdir. Son olarak da bu çeşitli değişkenler ile nano akışkanların viskozite ve ısı iletim katsayısı arasındaki ilişki açıklanmıştır.

BÖLÜM 2

AKIŞ TANIMI

Bir maddenin bulunduğu bir konumdan farklı bir konuma hareket etmesine akış diğer bir deyişle akma eylemi denir. Maddeler katı, sıvı ve gaz olarak üç kategoride (çok yüksek sıcaklarda plazma halinde de görülebilir) sınıflandırılabilir. Katı türdeki maddeler hariç olmak üzere sıvı ve gaz maddeler atomik yapısı itibari ile akma eğilimindedir. Bunun sebebi katıların kayma gerilmesine bir miktar şekil değiştirerek direnebiliyorken sıvıların kayma gerilmesi büyüklüğü fark etmeksizin sürekli olarak şekil değiştirmesidir.

Katılarda moleküller arası bağ oldukça kuvvetlidir. Moleküller birbirine oldukça yakın haldedir ve hep aynı düzendedir. Bu sebeple konumlarını koruma eğilimindedirler. Asfalt, kurşun ve bazı plastikler gibi malzemeler kısa süreli olarak uygulanan kayma gerilmelerine dayanabilir ve katı gibi davranır. Ancak uzun süreli kayma gerilmesi uygulanması halinde bu malzemeler yavaşça şekil değiştirir ve akışkan gibi davranır.

Sıvı moleküller birbirlerine göre bağıl olarak hareket etmektedir. Moleküller arası kohezyon kuvvetleri nedeniyle hacimleri sabittir. Bir kaba konulduklarında kabın şeklini alırlar ve yer çekimi etkisi ile serbest bir yüzey alanı oluştururlar. Katılaşırken moleküller arası mesafe bir miktar artar.

Gazların moleküler arası bağları sıvı ve katılara göre oldukça zayıftır. Belirli bir şekilleri yoktur ve konuldukları kapların çeperlerine ulaşıncaya kadar genişler, tüm kabı doldururlar. Moleküller arası mesafe oldukça fazla ve kohezyon kuvveti çok küçüktür.

Moleküller arası oluşan tek etkileşim birbirlerine çarpmalarıdır. Sıvı ve katılara göre moleküllerin enerji seviyeleri oldukça yüksektir (Çengel ve Cımbala, 2008).

2.1. Akışların Sınıflandırılması

Akışlar iç ve dış akışlar, laminer, türbülanslı (türbülant) ve geçişli akışlar , viskoz ve viskoz olmayan akış bölgeleri, sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akışlar, doğal (zorlanmamış) ve zorlanmış akışlar ve daimi-daimi olmayan akışlar olarak sınıflandırılırlar..

2.1.1. İç ve Dış Akışlar

Akışkanlar sınırları belli bir kanal içerisinden veya bir yüzey üzerinden akmaya zorlamasına göre iç ve dış akış olarak tanımlanırlar.

Dış akış, yüzeydeki akışkanın belirli bir sınırlayıcı alan olmaksızın hareket etmesi ile oluşur. Dış akışlarda viskoz etkiler yalnızca katı yüzeylere komşu sınır tabakalarda oluşur. Bir rüzgar türbini kanadı etrafındaki akış veya basketbol topunun etrafında oluşan akış bu akış türüne örnek olarak verilebilir.

İç akış, akışkanın sınırlı bir alan içerisinde (örneğin bir kanal veya boru hattı içerisindeki akış) hareket etmesi ile oluşur. İç akışlar akış alanında viskozitenin etkisi altındadır. Bir petek içerisinde akan su veya bir boru sistemi içerisinde hareket eden oksijen buna örnek olarak verilebilir.

2.1.2. Laminer, Türbülanslı (Türbülant) ve Geçişli Akışlar

Akışkanlar gösterdikleri akış şeklinin düzenli, çalkantılı veya her ikisi arasında geçiş göstermesine göre laminer, türbülanslı ve geçişli akış olarak sınıflandırılır. Borularda boru çapı, viskozite, akış hızı, yoğunluk gibi faktörlerin yanında boru yüzeyi pürüzlülüğü ve boru titreşimi gibi faktörler de akışın karakteristiğini değiştirir. Borulardaki akışın karakterini belirlemede Osborne Reynold tarafından tanımlanmış ve eşitlik 2.1'de verilen Reynold (Re) sayısı kullanılır.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \tag{2.1}$$

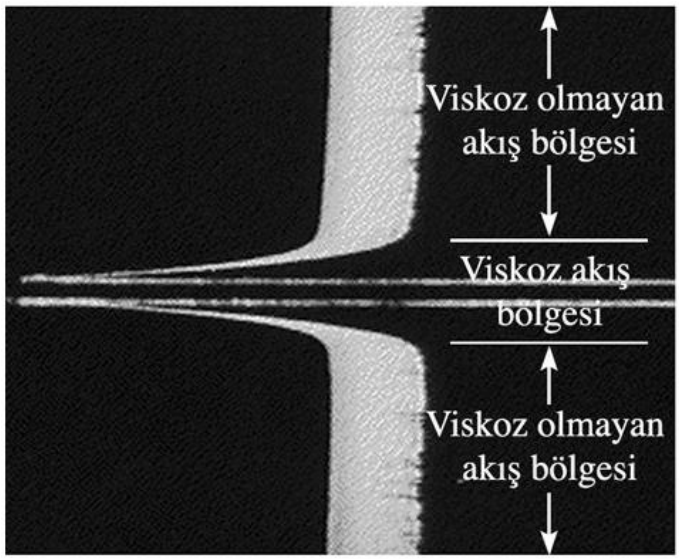
Düzgün akım çizgileri ile belirtilen ve akış hareketi birbirine paralel olacak şekilde hareket eden akışlara laminer akış denir. Böyle bir akışta tanecikler düzensiz bir şekilde hareket etmek yerine kendi tabakasındaki bir hattı takip ederek hareket eder. Genellikle düşük hıza sahip akışkanlarda ve yüksek viskoziteli akışkanlarda görülür. Yağlar gibi viskozitesi yüksek akışkanların düşük akış hızlarında gösterdiği davranış genellikle laminer akış şeklindedir. Borularda Reynold sayısının 2300 altında olduğu iç akış için akışın laminer olduğu söylenebilir.

Düzensiz akım çizgileri ile belirtilen, akış hareketinin düzensiz olduğu ve girdapların oluştuğu akışlara türbülanslı (türbülant) akış denir. Böyle bir akışta tanecikler düzensiz bir şekilde rastgele hareket ederler. Genellikle yüksek hızlarda ve düşük viskoziteli akışkanlarda görülür. Yüksek akış hızları çalkantılara (türbülansa) sebep olur. Hava gibi viskozitesi düşük ve yüksek akış hızlarına sahip akışkanlarda türbülanslı akış görülür. Borularda Reynold sayısının 4000 üzerinde olduğu iç akışlar için türbülanslı olduğu söylenebilir.

Laminer akış ve türbülant akış arasında geçiş gösteren ve kimi noktada laminer, kimi noktada türbülant akış karakteri gösteren akış türüne geçişli akış denir. Borularda Reynold sayısının 2300 ile 4000 arasında olduğu bölgede akışın geçişli iç akış olduğu kabul edilir.

2.1.3. Viskoz ve Viskoz Olmayan Akış Bölgeleri

Viskozite akışkanların akmaya karşı gösterdikleri direncin ölçüsüdür. Viskozitesi olmayan bir akışkan yoktur. Akışkan tabakalarının hareketleri sırasında aralarında sürtünme kuvveti oluşur ve yavaş hareket eden tabaka hızlı hareket etmeye çalışan tabakayı yavaşlatabilir. Bu tabakalar arası direnç viskozite ile ölçülür. Viskozite sıvılarda moleküllerin sürtünme kuvvetinden, gazlarda moleküllerin birbirleri ile çarpışmasından dolayı oluşur. Akışkanlar sürtünme etkilerin önemli olup olmamasına göre viskoz ve viskoz olmayan akış bölgeleri olarak tanımlanırlar. Şekil 2.1‘de viskoz olan ve viskoz olmayan akış bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Plaka Üzerindeki Sürtünme Kuvvetlerinin Etkili Olduğu ve Etkili Olmadığı Akış Bölgeleri (Çengel ve Cımbala ,2008)

Sürtünme etkilerinin etkili olduğu akış türüne viskoz akış bölgesi denir. Bu akış bölgesinde akışkan yavaş hareket eden akışkan bölgesi hızlı hareket eden akışkan bölgesini yavaştır. Örneğin düz bir plaka üzerinde olan akışta ince bir sınır tabakası üzerinde viskoz akış bölgesi oluşur. Bu oluşan bölge sınır tabakasına temas halindeki bölgeye yaklaştıkça viskoz akış bölgesine yaklaşır ve viskoz kuvvetlerin etkisi artar. Bölgeden uzaklaştıkça ise viskoz olmayan akış bölgesi özellikleri görülür.

Viskoz kuvvetlerin, atalet ve basınç kuvvetlerinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük bölgelerde oluşan akış bölgesine viskoz akış olmayan bölgesi denir. Örneğin plaka üzerinde akan bir akışkan, kaymama koşulu sebebiyle plakanın üzerine yapışır. Bu akışta plakanın varlığından etkilenmeyecek uzaklıktaki bölgede oluşan akış türüdür.

2.1.4. Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar

Akışkanlar akış boyunca yoğunluğun değişip değişmemesine göre sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akışkanlar olarak sınıflandırılır.

Akışkanın yoğunluğu akış boyunca değişiyorsa buna sıkıştırılabilir akış denir. Akışkanın hacmi akış boyunca değişir. Gazların bulunduğu akışlar sıkıştırılabilir akışa örnek olarak verilebilir. Roketler, uçaklar gibi gaz akışkanların kullanıldığı taşıtların kullandığı gaz akışkanın akış hızının incelenmesinde eşitlik 2.2'de verilen Mach sayısından faydalanılır. Mach sayısının 0.3'ten büyük olduğu değerlerde yoğunluk farkı %5'ten büyüktür ve gazlar sıkıştırılabilir akış davranışı gösterir. Yaklaşık olarak 100 m/s değerinin üzerindeki hızlarda sıkıştırılabilirlik etkileri söz konusudur.

$$Ma = \frac{V}{c} \tag{2.2}$$

Akışkanın yoğunluğu akış boyunca sabit kalıyorsa buna sıkıştırılamaz akış denir. Tüm akış boyunca akışkan hacmi değişmez ve sabittir. Sıvıların yoğunluğu sabit sıcaklık, basınç, vb. faktörler altında genellikle değişim göstermez. Bu nedenle sıvıların bulunduğu akışlar genel olarak sıkıştırılamaz akışa örnek olarak verilebilir. Mach sayısının 0.3 değerinin altında kalması halinde yani yoğunluk farkının %5'ten küçük olması halinde gaz akışkanların sıkıştırılamaz olduğu kabul edilir. Yaklaşık 100 m/s gaz akış hızının olduğu akışlarda gazların sıkıştırılabilir etkileri ihmal edilir. Sıvıların sıkıştırılamaz olması sebebiyle, boru içerisinde akan akışkanın vanasının aniden kapatılması sonucu oluşan titreşimler su çekici adı verilen gürültüye sebep olmaktadır. (Çengel ve Cımbala, 2008).

2.1.5. Doğal (Zorlanmamış) ve Zorlanmış Akışlar

Akış hareketinin başlatılması etkenine göre doğal (zorlanmamış) akış ve zorlanmış akış olarak sınıflandırılır.

Akışkan içerisinde var olan sıcaklık farklarından dolayı akışkanın yer değiştirmesi nedeniyle ortaya çıkan etkiye doğal akış denir. Radyatör üzerindeki ısınan havanın hareketi buna örnek olarak verilebilir (Çengel ve Cımbala, 2008).

Dışarıdan bir zorlayıcı etkiyle oluşan akışa zorlanmış akış denir. Bu akış türünde akışkan fan, pompa gibi dışarıdan bir etken sebebiyle bir yüzey üzerinden ya da bir kanal veya boru üzerinden harekete zorlanır.

2.1.6. Daimi ve Daimi Olmayan Akışlar

Akış hareketinin zamanla birlikteki değişimine göre akışlar daimi ve daimi olmayan akışlar olarak sınıflandırılabilir.

Bir noktada değişen zamanla birlikte hiçbir değişikliğin olmadığı akış türüne daimi akış denir. Türbinler, güç santralleri, pompalar daimi akışlı makinalar olarak sınıflandırılır. Akışkan özellikleri daimi akış sırasında bir noktadan farklı bir noktaya değişiklik gösterebilir. Ancak belirli bir noktada bu özellikler sabit kalmaktadır. Daimi akışlı bir sistemin kütlesi, hacmi ve toplam enerjisi (daimi çalışma süreci boyunca) sabit kalmalıdır. Örneğin çalışmakta olan bir uçak motorunun çalıştıktan bir süre sonra sıcaklık, basınç gibi diğer parametrelerin sabit kalması koşuluyla herhangi bir noktasındaki akışı daimi akışa örnek olarak verilebilir.

Bir noktada değişen zamanla birlikte bir değişikliğin olduğu akışa daimi olmayan akış denir. Daimi olmayan akışlara örnek olarak pistonlu motorlar ya da kompresörler gibi çevrimle çalışan cihazlar verilebilir. Bunların daimi olmayan akışlara örnek olarak verilmesinin sebebi, giriş ve çıkışındaki akışın darbeli olmasıdır. Ancak bu sistemlerde akışkanın zaman içerisinde değişen özellikleri için zaman ortalamalı değerler kullanılarak daimi olmayan akıştan sanki daimi akışa dönüştürülerek incelenebilir. Daimi olmayan akışa uçak motorunun durmakta iken çalıştıktan kısa bir süre sonrasına kadar olan akışı örnek olarak verilebilir. Hız, sıcaklık, basınç gibi parametrelerin değişimi sonucunda herhangi bir noktadaki akış incelendiğinde zamanla birlikte bir noktada değişik akış özellikleri görülebilir. Bu sebeple uçak motorunun çalışması stabil bir çalışma durumu gösterilene kadar daimi olmayan akış özellikleri göstermektedir.

2.2. Akışkan Tanımı

Tanımsal olarak akışkan, sıvı ve gaz gibi akabilen ve aktığında bulunduğu hacimin şeklini alabilen veya bir hat boyunca ilerleyebilen maddelere denir. Su, yağ, kolonya, etil alkol gibi akışkanlar sıvı akışkanlara örnek olarak verilebilir. Nitrojen, oksijen, hidrojen ya da tüm bu gazları kısmi olarak içerisinde barındıran hava gaz akışkanlara örnek olarak verilebilir (Çengel ve Cımbala, 2008).

Katılar teğetsel gerilmeye bir miktar şekil değiştirerek direnebilirken, sıvı ve gazlar teğetsel gerilmeye direnç gösteremez ve sürekli olarak şekil değiştirir. Gerilme, sıvılarda şekil değiştirme hızı ile orantılı iken katılarda şekil değiştirme ile orantılı bir yapı gösterir. Sabit bir kayma gerilmesi altında katıların şekil değiştirmesi belirli bir noktada son bulur. Ancak sıvılarda bu şekil değiştirme asla durmaz.

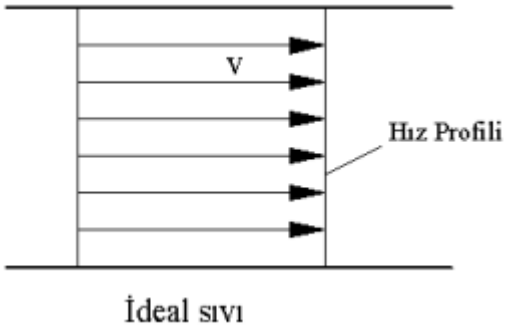
İki plaka arasına yerleştirilen bir kauçuk takozu incelersek, plakalara uygulanan teğetsel kuvvetle birlikte kauçuk takoz şekil değiştirir. Bu şekil değiştirme açısı uygulanan kuvvet oranıyla birlikte artar. Plakaların takoz üzerinde kaymayacağı kabul edilirse alt yüzey sabit kalır ve üst yüzey kuvvetle aynı doğrultuda yer değiştirir. Bu kuvvet ortadan kaldırıldığında ise takoz eski haline döner. Uygulanan kuvvet elastik sınırı aşmadığı sürece aynı olayı çelik bir blokla dahi gözlemlemek mümkündür. Eğer bu deney kauçuk takoz yerine bir akışkan olan su ile tekrarlanırsa, uygulanan kuvvet ne kadar küçük olursa olsun üst tabaka temas eden akışkanla birlikte ve aynı hızda hareket eder. Akışkan hızı, üst plakadan uzaklaşıp alt plakaya yaklaştıkça azalan sürtünme kuvveti ile birlikte sıfıra düşer. Sıvılar üzerlerine uygulanan teğetsel kuvvet doğrultusunda ya da çevreleyen hacmin ortadan kalkması ile hareket etmeye yani akmaya başlar. Katılarda ise bu durum söz konusu değildir (Çengel ve Cımbala, 2008).

2.2.1. Akışkan Türleri

Akışkanlar ideal ve ideal olmayan akışkanlar olarak ikiye ayrılır.

2.2.1.1. İdeal Akışkan

İç sürtünmesi yani viskozitesi sıfır olan akışkanlara denir. Her akışkan elemanının izlediği yol birbirine paraleldir ve hızı sabittir. Bir viskoz akışkanın akış bölgesinde net viskoz kuvvetlerinin, basınç ve/veya atalet kuvvetlerine kıyasla ihmal edilebilir olan akışkanlardandır. İdeal bir akışkanın hız profili şekil 2.2‘te verilmiştir.

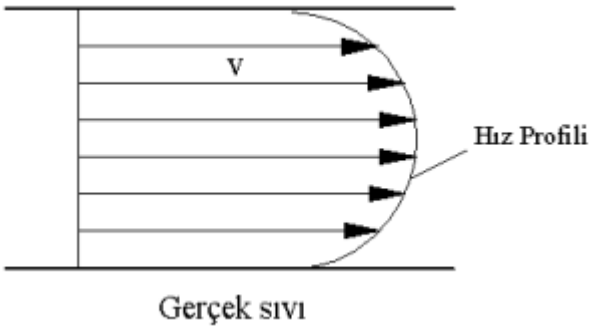


Şekil 2.2. İdeal Akışkan

Net viskoz kuvvetlerin ihmal edilebilir olduğu bölgelerde akışkan elemanları üzerinde sürtünmeler hala etkilidir ve önemli viskoz gerilmeler bulunabilir. İdeal akışkanlar için, bu bölgelerde net viskoz gerilmelerin birbirlerine olan etkileri ortadan kalkmış durumdadır. Problemlerin çözümünü basitleştirebilmek adına bu varsayımdan faydalanılır.

2.2.1.2. İdeal Olmayan Akışkan

İç sürtünmeye sahip olan akışkan türüdür. Tüm gerçek gaz ve sıvılar ideal olmayan akış davranışı gösterir. İdeal olmayan bir akışkana ait hız profili şekil 2.3'te verilmiştir.

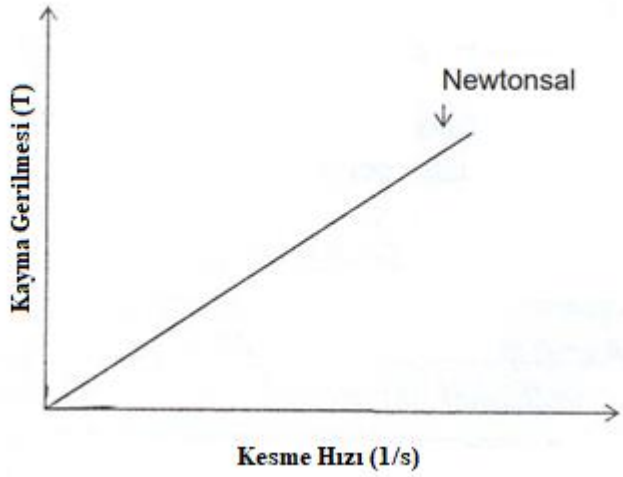


Şekil 2.3. İdeal Olmayan Akışkan

Bir viskoz akışkanın akış bölgesinde net viskoz kuvvetlerinin, basınç ve/veya atalet kuvvetlerine kıyasla ihmal edilebilir olmaması durumuna sahip akışkanlardır. Tüm iç sürtünmeler ve viskozite etkileri dikkate alınır. Gerçek hayatta karşımıza çıkan tüm akışkanlar ideal olmayan akışkanlara örnek olarak verilebilir.

2.2.1.2.1. Newton Tipi Akışkanlar

Sir Isaac Newton'un viskozite yasalarına göre davranan akışkanlara Newton tipi akışkan denir. Bu yasaya göre viskozite uygulanan kuvvetin büyüklüğüne göre değişmez viskozite ve sıcaklık ters orantılıdır. Yani artan sıcaklıkla beraber viskozite azalırken azalan sıcaklıkla beraber viskozite artar. Şekil 2.4.'te Newton tipi bir akışkanın grafiği verilmiştir.

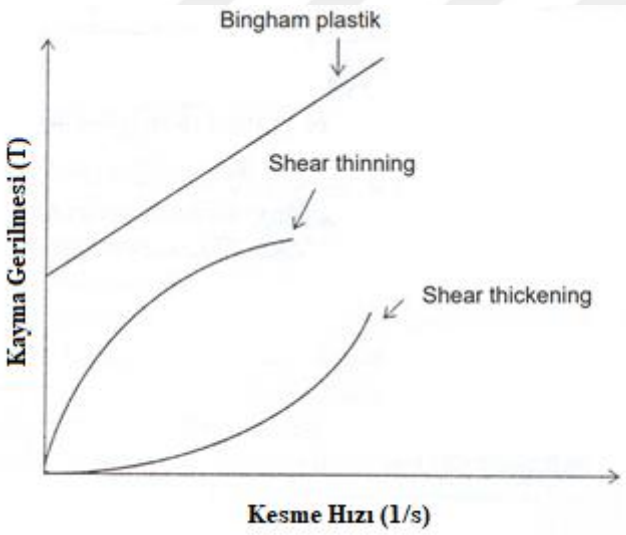


Şekil 2.4. Newton Tipi Bir akışkana Ait Kayma Gerilmesi-Kesme Hızı Grafiği (Çengel ve Cımbala, 2008).

Newton tipi akışkanlar deformasyon hızının kayma gerilmesiyle orantılı olduğu akışkanlardır. Su, hava, benzin gibi akışkanlar Newton tipi akışkanlara örnek olarak verilebilir.

2.2.1.2.2. Newton Tipi Olmayan Akışkanlar

Sir Isaac Newton'un viskozite yasalarına göre davranmayan ve değişen kuvvet büyüklüğüne göre viskozitesi değişen akışkanlardır. Sabit olmayan kuvvet altında bu akışkanlar katı gibi davranabilir. Mayonez, diş macunu, reçel, kan, bal gibi bazı akışkanlar Newton tipi olmayan akışkanlara örnek olarak verilebilir. Şekil 2.5'te Newton tipi olmayan çeşitli akışkanların kayma gerilmesi-kesme hızı grafiği verilmiştir.



Şekil 2.5. Newton Tipi Olmayan Çeşitli Akışkanlara Ait Kayma Gerilmesi-Kesme Hızı Grafiği (Çengel ve Cımbala, 2008).

Newton tipi olmayan akışkanlar deformasyon hızının kayma gerilmesiyle orantılı olmadığı akışkanlardır. Kayma gerilmesi ile deformasyon hızı (kesme hızı) orantısız bir şekilde değişim gösterir. Newton tipi olmayan akışkanlar, bir tür hafıza özelliği taşır. Kayma gerilmesi sadece şekil değiştirme hızına bağlı değil ayrıca gerilmenin önceki değişimlerine de bağlı bir şekilde hareket edebilir.

Nano akışkanlarda baz akışkan olarak yağ, etilen glikol gibi viskozitesi yüksek akışkanlar özellikle düşük sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda (%3 ve üzerinde)

Newton tipi olmayan akışkan özellikleri gösterebilmektedir. Hazırlanan nano akışkanın kayma gerilmesi-kesme hızı grafiği kullanılarak Newton tipi olup olmadığı anlaşılabilir.

2.2.2. Akışkan Kullanan Sistemler

Akışkanlar günümüzde birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Kaldırma, taşıma, presleme gibi alanlarda genellikle hidrolik sistemlerden faydalanılır. Bu sistemlerde aracı akışkanlardan mekanik enerji elde etmek üzere faydalanılır. Fan-coil, radyatör gibi sistemlerde aracı akışkanlar ısı enerjisinin üretilen noktadan ısıtılmak istenen noktaya taşınmasında kullanılır. Akışkan kullanan sistemleri temelde mekanik enerji elde etmede kullanılan sistemler ile ısı enerjisi aktarma ve depolamada kullanılan sistemler olarak sınıflandırabiliriz.

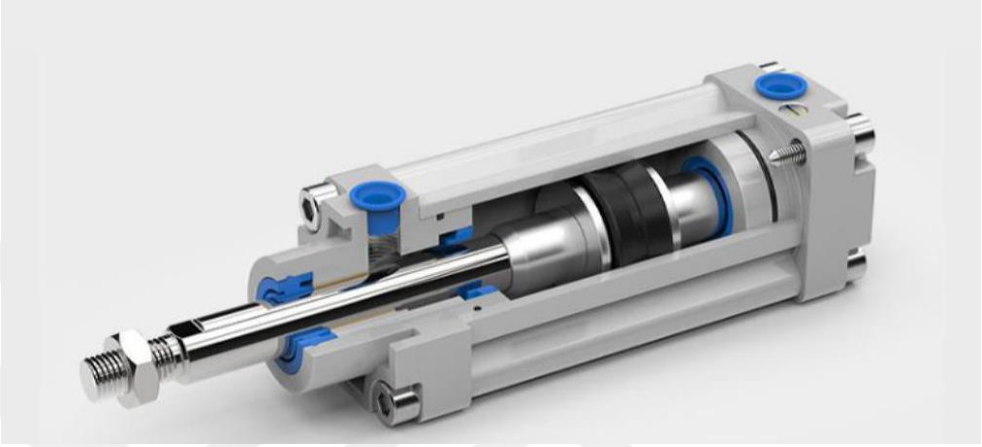
2.2.2.1. Mekanik Enerji Elde Etmede Akışkan Kullanan Sistemler

Mekanik enerji elde etmede kullanılan sistemler pnömatik ve hidrolik sistemler olarak ikiye ayrılır.

2.2.2.1.1. Pnömatik Sistemler

Pnömatik yani gazla çalışan sistemler sıkıştırılmış havanın gücünden faydalanarak silindir ve motor gibi endüstriyel elemanların çalıştırılmasında rol oynar. Burada kullanılan akışkan gaz son aşamada mekanik enerji elde etmek amacıyla depolanır. Temel faktör gaz basıncının mekanik harekete dönüştürülmesinin sağlanmasıdır. Genellikle bu sistemlerde havadan faydalanılır. İlk olarak basınçlı hava üretilir ve sıkıştırılmış hava bir hava tankında depolanır. Sonrasında kurutucu filtreden geçerek içerisindeki nem alınır ve sonraki adımda şartlandırıcı ile basıncı düşürülür. Son olarak valflerden geçerek istenen hareket organına basınçlı hava iletilir. Elde edilen kuvvetler genelde küçük kuvvetlerdir. Enerji maliyetleri oldukça yüksektir. Aşırı yükler karşısında güvenle kullanılabilir ancak sınırlı kuvvetler elde edilebilir. Sıcaklık değişimine karşı duyarlı sistemlerdir. Yaklaşık olarak 0.1 milimetre hassasiyetle çalışabilirler. Enerji depolama kapasitesi yüksektir. Çalışma hızları yaklaşık olarak 1.5 m/s‘dir. Hidrolik sistemlere göre daha gürültülü çalışırlar. Devre elemanlarının

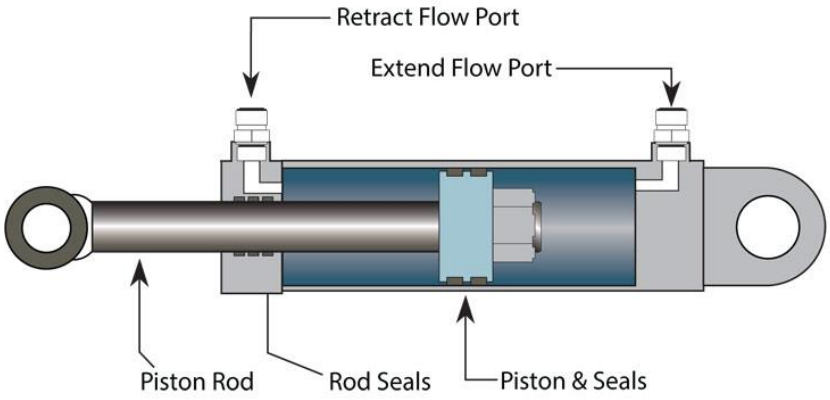
yağlanmaya ihtiyacı vardır. Bir pnömatik silindirin iç ve dış yapısını gösteren fotoğraf şekil 2.6‘de verilmiştir.



Şekil 2.6. Bir Pnömatik Silindirin İç ve Dış Yapısı (Pnömatik Silindir, 2019)

2.2.2.1.2. Hidrolik Sistemler

Hidrolik sistemlerde çalışma sistemi mantığı pnömatik sistemlere oldukça benzerdir. Aralarındaki temel fark hidrolik sistemlerde kullanılan akışkan pnömatik sistemlerde olduğu gibi gaz değil sıvıdır. Bu sistemlerde su ve yağ gibi çeşitli özellikteki akışkanlardan faydalanılabilir. Pnömatik sistemlerde olduğu gibi burada da amaç son basamakta bir mekanik enerji elde etmektir. Pnömatik sistemlerde elde edilen kuvvetler oldukça küçük olmasına rağmen hidrolik sistemlerde elde edilen kuvvetler oldukça büyüktür. Taşıma ve kaldırma sistemleri, presler gibi alanlarda kullanımları vardır. Enerji maliyetleri oldukça yüksektir. Aşırı yükler karşısında güvenle kullanılabilir. Sıcaklık değişimine karşı duyarlı sistemlerdir. Yaklaşık olarak 1 mikrometre hassasiyetle çalışabilirler. Enerji depolama kapasitesi sınırlıdır. Çalışma hızları yaklaşık olarak 5 m/s‘dir. Sessiz olarak çalışırlar. Hidrolik olarak yağ kullanılan sistemlerde mekanizma yağlanmış olur. Harici bir yağlama işlemine gerek duyulmaz. Hidrolik devre elemanları uzun ömürlüdür. Bir hidrolik silindirin iç ve dış yapısının görseli şekil 2.7‘de verilmiştir.



Şekil 2.7. Bir Hidrolik Silindirin İç ve Dış Yapısı (Hidrolik Silindir, 2019)

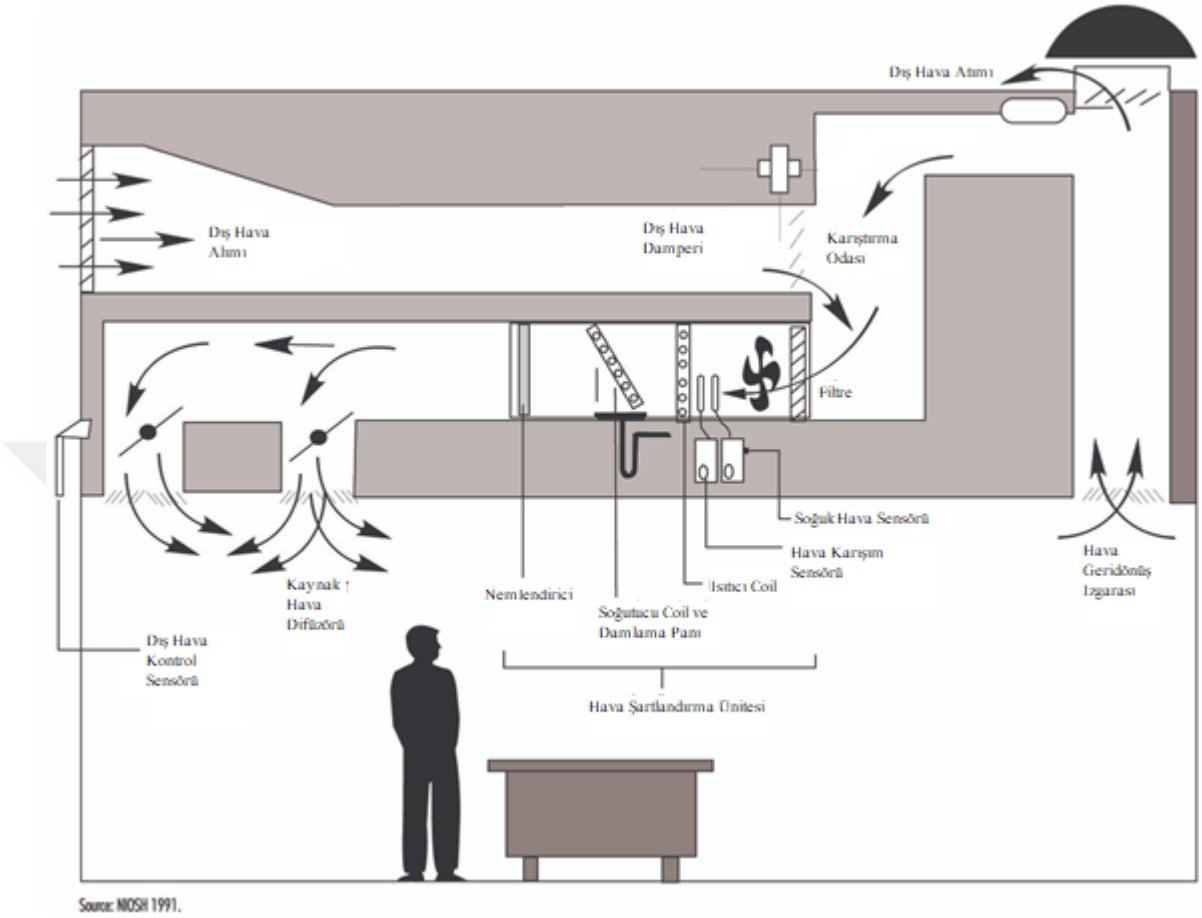
2.2.2.2. Isı Enerjisi Aktarma ve Depolamada Akışkan Kullanan Sistemler

Bu alanda kullanılan sistemler akışkan türlerine göre belirlenir. Sıvı ve gaz akışkan kullanan sistemler olarak ikiye ayrılabilir.

2.2.2.2.1. Gaz Akışkan Kullanan Sistemler

Günümüzde kullanılan modern sistemlerden biri gaz akışkanlı sistemlerdir. Bu sistemler gaz akışkanların bir merkezde şartlandırılarak ısı enerjisini aktarması prensibine dayanır. Bu sistemler hem ısıtma hem soğutma amaçlı kullanılan sistemlerdir. Karşımıza en çok çıkan tipi ise bireysel klima sistemleridir. Bu sistemler zorlanmış taşınım sayesinde ortam havasını alır ve iç ünitesinden geçirerek nem, sıcaklık gibi farklı alanlarda şartlandırır ve tekrar ortama şartlandırılmış hava verilir.

Bu sistemler bireysel klimaların dışında merkezi bir sistemden kontrol edilerek bütün bir yapının ısıtma, soğutma ve havalandırılmasında kullanılabilir. Kısa sürede istenilen iklim şartlarını sağlayabilen sistemler olduğundan oldukça popülerdir. Günümüzde alışveriş merkezi, hastane gibi birçok yapının iklimlendirmesi bu sistemler aracılığıyla yapılmaktadır. Bir yapının ısıtma, soğutma ve havalandırılmasında kullanılan sistemin şeması şekil 2.8'da verilmiştir.



Şekil 2.8. Bir Ortamın Isıtma, Soğutma ve Havalandırılması (HVAC, 2019)

2.2.2.2.2. Sıvı Akışkan Kullanan Sistemler

Bu sistemler gerek ısıtma gerek ise soğutma alanında oldukça tercih edilen sistemlerdendir. Sebebi kullanılan akışkanın ısı taşınım miktarının gaz akışkanlı sistemlere oranla daha yüksek olmasıdır.

Sıvı akışkan kullanan sistemler genellikle iki kapalı çevrim ya da bir açık bir kapalı çevrim olarak çalışır. Bireysel kullanımda en yaygın tiplerden biri kombili sistemlerdir. Genellikle bu sistemlerde akışkan olarak su kullanılır. Yakıt olarak LPG, Fuel-Oil, doğal gazdan faydalanılır. Kazanda ısıtılan su pompa aracılığıyla peteklere gönderilir ve peteklerde dolaştırılan su sayesinde ortam ısıtılır.

Yine bu sistemler çeşitli soğutma amaçlarıyla da kullanılmaktadır. Otomobil gibi araçların motorları, gemi motorları bu sistemler sayesinde soğutulur. Otomobillerde motorda oluşan yüksek sıcaklık radyatöre aktarılır ve burada zorlanmış taşınım sayesinde soğutulur ve soğuyan su tekrar motora gönderilir. Yine gemi motorları oluşan yüksek sıcaklığı atık ısı olarak deniz suyuna aktarır.

Bu sistemlere sıvı akışkan olarak nano akışkan dahil edilmesi de mümkündür. Uygun termofiziksel özelliklerin belirlenmesi ve buna uygun ekipmanların kullanılması ile bu sistemler daha verimli hale gelebilmektedir (Said vd., 2019).

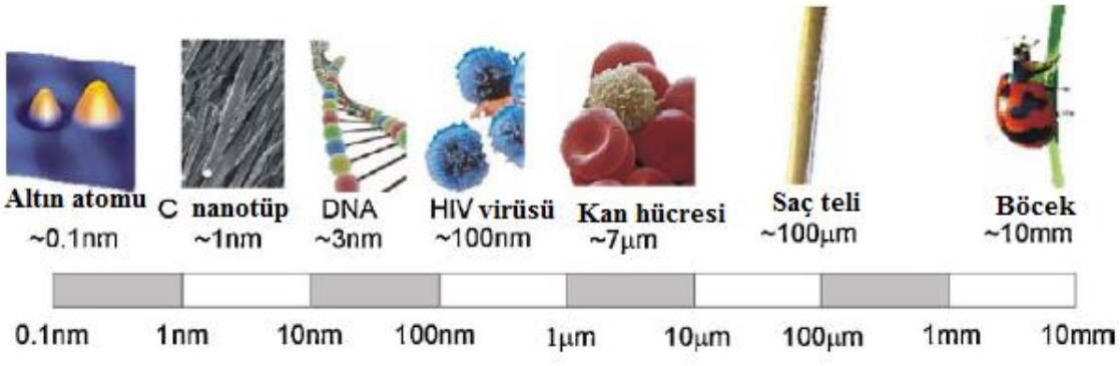
Sıvı akışkan kullanan sistemlere enerji depolama sistemlerinin de eklenmesi mümkündür. Akışkanların faz değiştirmesi sırasında ortaya çıkan gizli ısıdan faydalanılarak akışkanlara güneş, jeotermal, hidrolik, vb. çeşitli enerji kaynakları daha sonrasında kullanılmak üzere depolanmaktadır.

BÖLÜM 3

NANO PARTİKÜLLER

Nano partiküller adından da anlaşılabileceği gibi malzemelerin nano boyutlaştırılmasıyla elde edilir. Literatürde, elliden fazla çeşitte çalışma yapılmış nano partikül türü bulunmaktadır. İyonlar, organik ve inorganik malzemelerden oluşur.

Nano partiküller 1 nm'den 300 nm'ye kadar çeşitli boyutlarda kullanılmıştır (1 nm=10^{-9} m). Bu konuda yapılan çalışmalarda genel kabul partikül boyutunun 100 nm'den daha küçük olması gerektiği yönündedir (Moldoveanu, Huminic, Minea, Huminic, 2018). Ancak 100 nm'den daha büyük boyutta yapılmış çalışmalar da literatürde mevcuttur. Şekil 3.1'de nano boyuttaki çeşitli yapıların kıyaslanması verilmiştir.



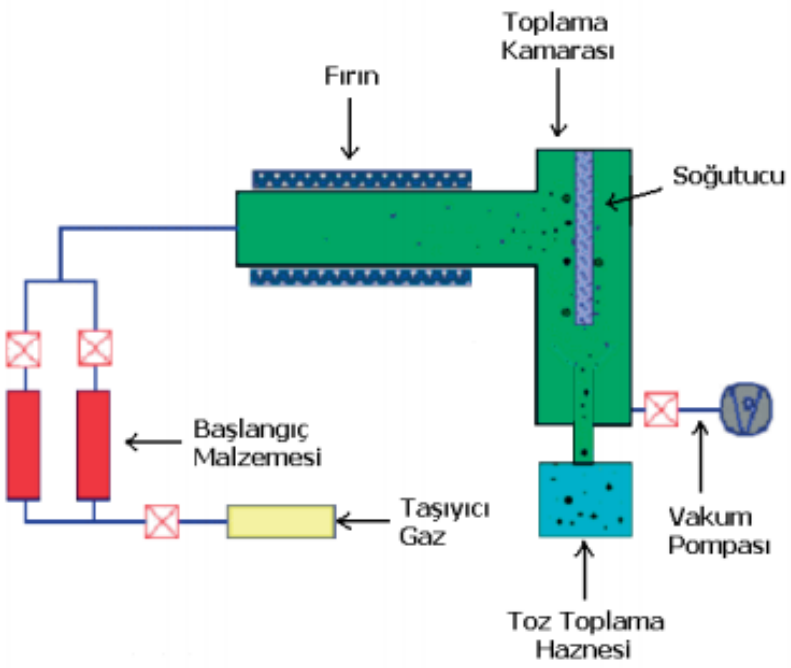
Şekil 3.1. Nano Boyuttaki Çeşitli Yapıların Kıyaslanması (Saidur, Leong, Mohammad, 2011)

3.1. Nano Partikül Üretim Yöntemleri

Nano partikül üretiminde kullanılan yöntemler kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi, hidrojen redüksiyonu yöntemi, asal gaz yoğunlaştırma yöntemi, alev sentezi yöntemi, mekanik aşındırma yöntemi, ultrasonik sprey piroliz yöntemi, SOL-JEL yöntemi ve hidrotermal üretim yöntemi olarak sekiz bölüme ayrılır.

3.1.1. Kimyasal Buhar Yoğunlaştırma Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi

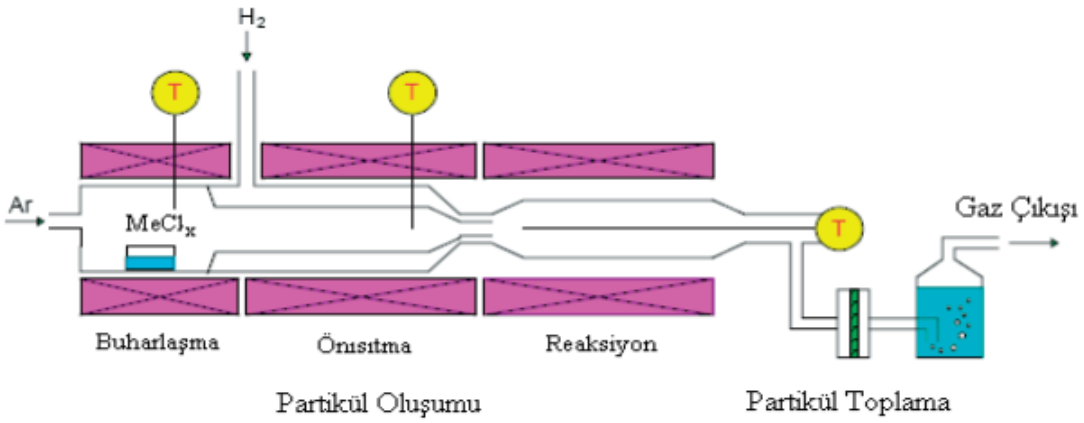
Bu yöntem ilk olarak 1994 yılında Almanya'da geliştirilmiştir. Büyük miktarlarda nano akışkan üretimi için uygun bir yöntemdir (Wang, Choi, Kim, Zhang,2003; Zaki, 2006). Bu yöntemlerde ilk malzeme olarak hidrürler, karboniller, metalorganikler ve klorürler gibi buhar fazına rahat bir şekilde geçebilen malzemeler kullanılır (Markus, 2007). Yöntemin en büyük avantajı çeşitli türde kimyasal malzemelerin kolay temin edilmesinden dolayı çok çeşitli bir skalada üretim yapılabilmesidir (Wang, Choi, Kim, Kim, Zhang, 2003). Bu yöntem temelde gaz fazındaki malzemenin ısıl parçalanması ile partiküle dönüşümüne dayanır. Gaz fazına geçen malzeme gaz fazına geçtiği bölgede bir gaz akışkan yardımıyla ısıl olarak parçalanır. Taşıyıcı olarak N_2, He, Ar gibi inert gazlar kullanılır. Buna ilaveten H_2, CO gibi gazlar redüklenme için ilaveten kullanılabilir. Isıl parçalanma sonucu oluşan nano partiküller fırın çıkışında toplanılır. Partiküllerin toplanmasında en çok kullanılan yöntem içerisinden sıvı azot geçen bir çubuğun yardımıyla partiküllerin çökertilmesi sistemidir. Şekil 3.2'de kimyasal buhar yoğunlaştırma yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. Kimyasal Buhar Yoğunlaştırma Yönteminin Şematik Gösterimi (Kevin, 1997)

3.1.2. Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi

Gaz fazında redüksiyon yardımı ile Ni, Co, Fe gibi metalik nano partiküllerin üretiminde kullanılır. Yöntemin ilk aşamasında başlangıç çözeltisi buharlaştırılır ve taşıyıcı ve indükleyici bir gaz yardımıyla önce ön ısıtılmış bölgeye sonrasında redüksiyonun gerçekleşeceği daha sıcak bölgeye geçirilmesi ile partikül oluşumu sağlanır. İşlem sonunda nano partiküller toplanır ve indükleyici-taşıyıcı olarak kullanılan gazlar işlem sonunda ortamdan uzaklaştırır. Yöntemin şematik gösterimi şekil 3.3'te verilmiştir. İndükleyici ve taşıyıcı gaz olarak hidrojen, argon, azot gazları kullanılabilir. Reaktandaki çözelti konsantrasyonu, ön ısıtma bölgesindeki ham çözeltinin maruz kaldığı sıcaklık, reaksiyon sırasında ortaya çıkan sıcaklık, çözelti buharının fırın içerisinde kalış süresi gibi birçok faktör partikülün kristalleşmesini, yapısını ve boyutunu gibi parametreleri belirlemektedir (Jang vd., 2004; Suh, Jang, Chang, Kim, Kim, 2006).

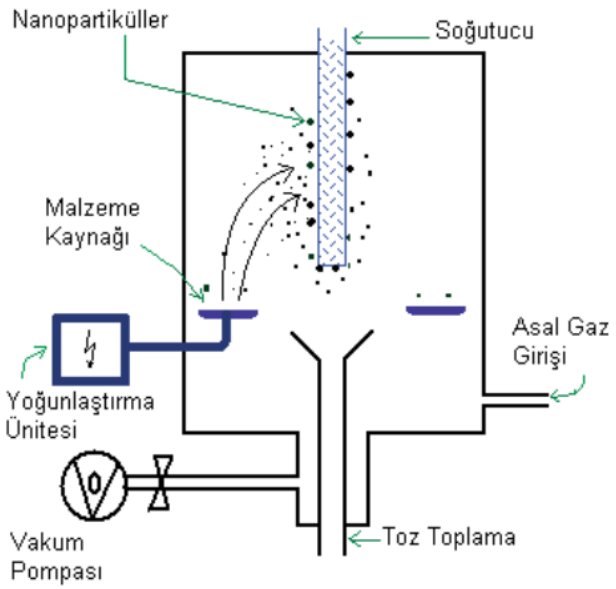


Şekil 3.3. Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi Şematik Gösterimi (Jang vd., 2004)

3.1.3. Asal Gaz Yoğunlaştırma Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi

Doygun buhar gazından nano partikül üretiminde kullanılan en eski tekniktir. İlk olarak 1984'te uygulanmıştır. Günümüzde nano boyutlu partiküllerin üretiminde laboratuvarlarda sıklıkça kullanılır (Bernard ve Ganesh, 1998). Metal ve metal alaşımlarından doygun buhar kullanılarak nano partikül imal edilmesinde kullanılır. Yöntemde metalik, seramik, kompozit nano partiküller üretilebilmesinin yanında oksijen kullanılarak oksitler ve diğer bileşikleri de üretilebilir [Bernard ve Ganesh,1998; Swihart,2003]. Yöntem soğuk bir ortamda sıcak su ısıtılmasına benzer bir mantıklı işlemektedir. Isınan su buharlaşır ve buharlaşan su soğuk bir yüzeye ulaştığında yüzey üzerinde yoğunlaşır. Prosesin şematik gösterimi şekil 3.4'te verilmiştir. İşlem öncesinde sistem vakum ortamına alınır ve sistem bir 1-50 mbar inert gazla doldurulur. Başlangıç malzemesi bir lazer, ısı gibi bir enerji kaynağı kullanılarak buharlaştırılır. Buharlaşma sırasında Mo, W, Ta gibi yüksek dayanıma sahip potalar kullanılır. Buharlaşmış moleküller ısı kaynağının hemen etrafında atom kümelerini oluştururlar. Bu bölgede aşırı doygunluğa ulaşır. Buharlaşan moleküller ve sistem içerisindeki inert gaz molekülleri ısı kaynağının hemen üzerinde birbirleri ile çarpışır. Bu yoğun çarpışma sonucunda enerjilerini kaybederler ve çekirdeklenme ile nano partikül oluşumuna başlarlar. Yüksek basınçta inert gaz kullanması halinde moleküller ve inert gazın

çarpışması daha fazla olacağından çok daha hızlı bir soğuma gerçekleşir. Bu da nano partiküllerin daha küçük boyutlarda oluşmasını sağlar. Nano partikül boyutu sistemde bulunma süresi, buharlaşma hızı, ortam sıcaklığı, gaz basıncı ve asal gazın cinsi gibi birçok faktöre bağlı olarak etkilenebilmektedir. İnert gazın kütlesinin artışı, oluşan partiküllerin boyutunun da armasına neden olmaktadır.

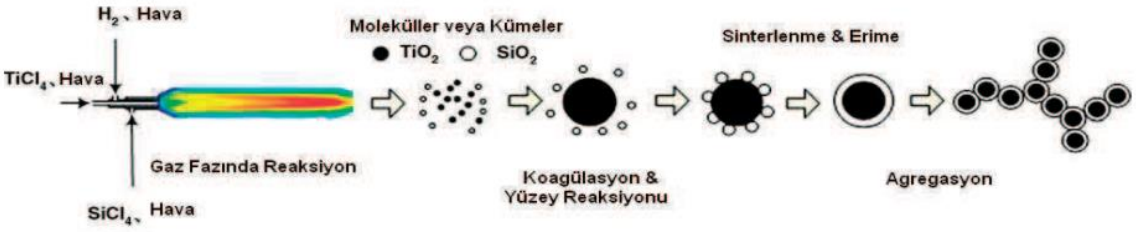


Şekil 3.4. Asal Gaz Yoğunlaştırma Yönteminin Şematik Gösterimi (Kevin, 1997)

3.1.4. Alev Sentezi Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi

Bu yöntem sayesinde yüksek miktarlardaki ticari üretimler kolaylıkla yapılabilir. Bu yöntem partikül boyutunun kontrolü, kimyasal bileşim aralığı, nano partiküllerin morfolojisinin kontrolü gibi diğer yöntemlerden farklı olarak çeşitli avantajlara sahiptir. Bu avantajlı durumların kontrolü oldukça düşük maliyetlidir. Alev ortamında meydana gelen yüksek oksitleyici etkiden dolayı oksit nano partiküllerin üretimi için de oldukça elverişlidir. Alev sentezi yönteminde yüksek uçuculuğa sahip metal halojenürler başlangıç malzemesi olarak kullanılır. Oluşmuş olan buhar fazının, O_2, H_2 veya hava gibi bir gazla alevin

bulunduğu ortama taşınması sayesinde öncelikli olarak atom kümeleri ve sonrasında nano partiküller oluşur. Alev sentezi yönteminin şematik görüntüsü şekil 3.5'te verilmiştir. Bu yöntem ayrıca diğer bazı yöntemlere yardımcı olarak da kullanılabilmektedir (Roth,2007; Hu, Li, Gu, Zhao, 2007).

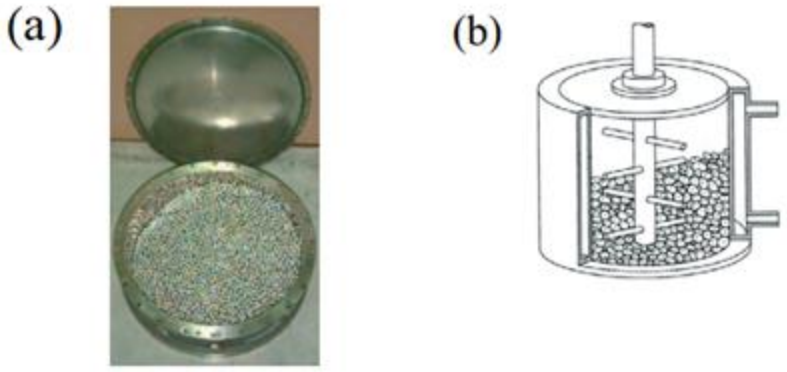


Şekil 3.5. Alev Sentezi Yönteminin Şematik Görüntüsü (Hu vd., 2007)

3.1.5. Mekanik Aşındırma Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi

Mekanik aşındırma yöntemi 1970'li yıllarda, bazı endüstriyel için geliştirilmiş bir yöntemdir. Yeni alaşımlar ve fazların karışımları bu yöntem kullanılarak üretilebilmektedir. Bu yöntem kaba taneli yapılardan plastik bir deformasyon uygulanması ile nano boyutlarda partiküller üretilmesi mantığına dayanır. Bu yöntemle alaşım, seramik, amorf gibi çeşitli yapılara sahip malzemelerin üretimi mümkündür. Üretimin endüstriyel kullanımı, kolay bir şekilde kırılabilen gevrek ve sert yapılara sahip malzemelerin kullanımı ile sınırlı kalmaktadır. Bu yöntemde nano boyutlu partikül üretimi sırasında aşındırmalı, gezegen, titreşimli ve yüksek enerjili bilyalı değirmenler gibi farklı türlerde üretim öğütücüler kullanılmaktadır. Şekil 3.6'da mekanik aşındırma prosesine ait bilyalı öğütücü ve işlem şematik görüntüsü verilmiştir. Yöntemin en büyük dezavantajı fiziksel bir yöntem olması sebebiyle bilyalardan öğütülen malzemeye karışımların olabilmesidir. Diğer bir dezavantaj ise işlem açık atmosfer şartlarında yapılması halinde öğütülen malzemede oksitlenme ve yüzeyinde azotlu yapıların oluşabilme durumudur. Ancak bu dezavantaj öğütücünün sızdırmazlık elemanları kullanılarak atmosferik şartlara kapatılması ve öğütücü içinin inert

bir gazla doldurulmasıyla çözülebilir. Bu yöntem bir miktar maliyeti artmasına neden olsa da sonuçları oldukça başarılıdır.

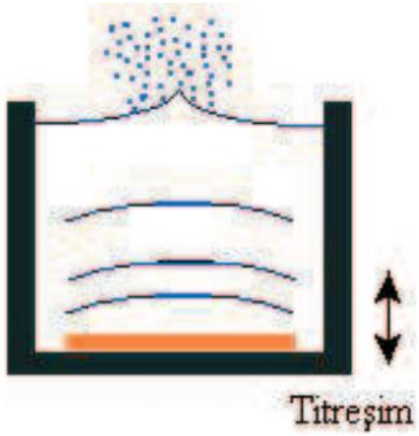


Şekil 3.6. Mekanik Aşındırma Prosesinde a) Bilyalı Öğütücü ve b) İşlemin Şematik Görüntüsü (Edelstein ve Cammarata, 2001; Bilyalı Öğütücü, 2019)

3.1.6. Ultrasonik Sprey Piroliz Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi

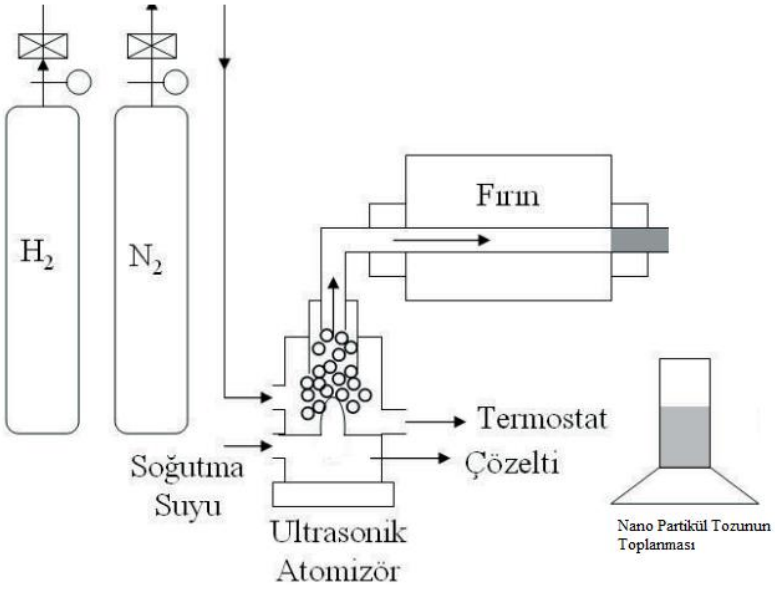
Bu yöntem uzun zamandır medikal alanda kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem 1971 yılında Grenoble Nükleer Araştırma Merkezinde (CENG) geliştirilmiş ve Pirosol tekniği adıyla patent altına alınmıştır. Ancak mikrometre boyutlarında bu işlemin yapılmaya başlanması yaklaşık 1990'larda başlamıştır. 1982 yılında Laboratoier des Materiaux et du Genie Physique (LMGP) araştırma merkezi yöntemin geliştirilmesi için izin almış ve yöntemin geliştirilmesini sağlamıştır. Yöntemin geliştirilmesi sonrasında birçok laboratuvarda ince film tabakaları ve küçük tozların üretilmesi için bu yöntemden faydalanılmaktadır (Raa, 1992). Ultrasonik sprey piroliz yöntemiyle, küresel yapılarda, farklı kimyasal bileşiklerle, çeşitli boyutlarda ve morfolojilerde nano partiküllerin üretimi mümkün olmaktadır. Bu yöntemde yüksek saflıkta metal tuzlarının çözeltileri kullanılmaktadır (Gürmen, Stopic, Friedrich, 2006). Bu işlemde aerosol formundaki başlangıç çözeltisinden ısıl parçalanma gerçekleştirilir. Aerosol, 10 MHz gibi bir yüksek frekansla gaz-sıvı ara

yüzüne yönlendirilmesiyle oluşur (Tsai vd., 2004). Şekil 3.7'de ultrasonik atomizör ile aerosol oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Ultrasonik Olarak Aerosol Oluşumu (Ultrasonik Aerosol Oluşumu, 2019)

Aerosol yöntemi sayesinde farklı morfolojiye sahip nano partiküller elde edilebilir. Bu yöntem sonucunda oluşan nano partiküller çevre ısısı, başlangıç çözeltisinin türü ve sıcaklığı, işlem süresi gibi çeşitli birçok parametreye bağlı olarak farklı boyut, morfolojik yapı özellikleri gösterebilir (Tsai vd. 2004; Messing, Zhang, Jayanthi, 1993). Şekil 3.8'de ultrasonik sprey piroliz yöntemi prosesinin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.8. Ultrasonik Sprey Piroliz Yöntemi Prosesi (Gürmen ve Ebin, 2007)

3.1.7. Sol-Jel Yöntemi ile Nano Partikül Üretimi

Solüsyon-jelleşme (solution-gelation) sözcüklerinin kısaltılmasıyla metod adı türetilmiştir. Seramik nano partiküllerin üretiminde kullanılan bir üretim yöntemidir. Metal tozları, nitratlar, hidroksitler ve oksitler gibi bileşiklerin belirli oranlarda su ve asitlerle karıştırılması ve belirlenmiş bir sıcaklıkta tutulması ile elde edilen bir takım kimyasal reaksiyonlar sonucu nano partiküller jel formunda bir solüsyonda oluşur. Oluşan jelin 20°C ile 100°C arasında kurutulmasıyla nano partiküller oluşur. Oldukça pahalıdır ve proses zor ve karmaşıktır. Ayrıca proses sonucunda elde edilecek nano partikül miktarı oldukça azdır.

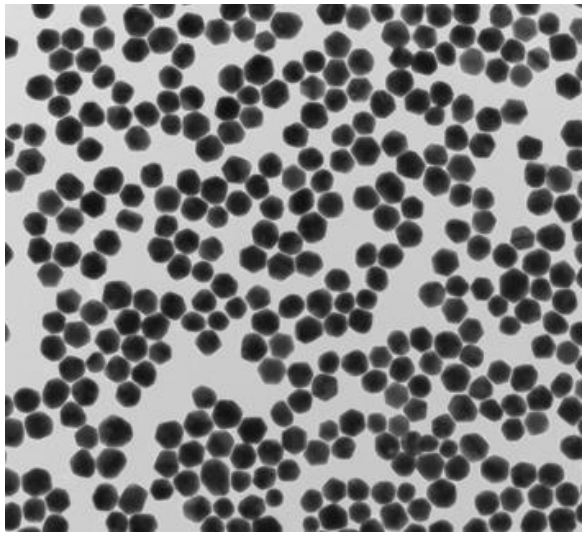
3.1.8. Hidrotermal Yöntem ile Nano Partikül Üretimi

Bu yönteme göre başlangıç maddesi kapalı bir kap içerisinde alkol veya başla bir çözücü içerisine yerleştirilir ve ısıtılır. Bu yönteme göre sistem yüksek basınç altında 150°C - 250°C arasında bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Ortam sıcaklığı, pH'ı vb. değişkenlerin

değiştirilmesiyle farklı özelliklere sahip nano partiküller üretilebilir. Sistemin avantajı kapalı bir ortamda gerçekleştiğinden çözücünün miktarının azalmaması ve yeniden kullanılabilmesidir. Sistemin dezavantajı ise yüksek sıcaklara çıkma gereksinimi nedeniyle ortaya çıkan maliyet artışıdır.

3.2. Nano Partiküllerin Fiziksel Yapısı ve Boyutları

Nano partiküllerin yapısı ve boyutları çok çeşitli olabilmektedir. Bu özellikler malzemenin kimyasal özelliklerine ve üretilirken kullanılan yönteme göre değişiklik gösterebilir (Dallıoğlu ve Yılmaz, 2018). Nano partikül üretiminde, kullanılan proses, ortam sıcaklığı, proses süresi, üretim işlemi sıcaklığı, soğuma sıcaklığı gibi birçok etken üretilen nano partiküllerin boyutuna ve yapısına etki edebilmektedir. Nano akışkanların özellikleri içerisindeki nano partiküllerin şekline ve yapısına bağlıdır. Çökelme davranışı, spesifik yüzey alanı, mikro yapısı gibi birçok özellik partikül boyutuyla doğrudan ilişkilidir. Süspansiyonların termofiziksel özellikleri partiküllerin boyutları ve şekliyle (çubuksu yapı, küresel yapı, düzensiz yapı, vb.) ilişkilidir. Elde edilebilen en kolay yapı küresel yapıdır. Şekil 3.9'da küresel yapılı altın nano partiküllerinin TEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.9. 60 nm Boyutlu Küresel Altın Nano Partikülleri

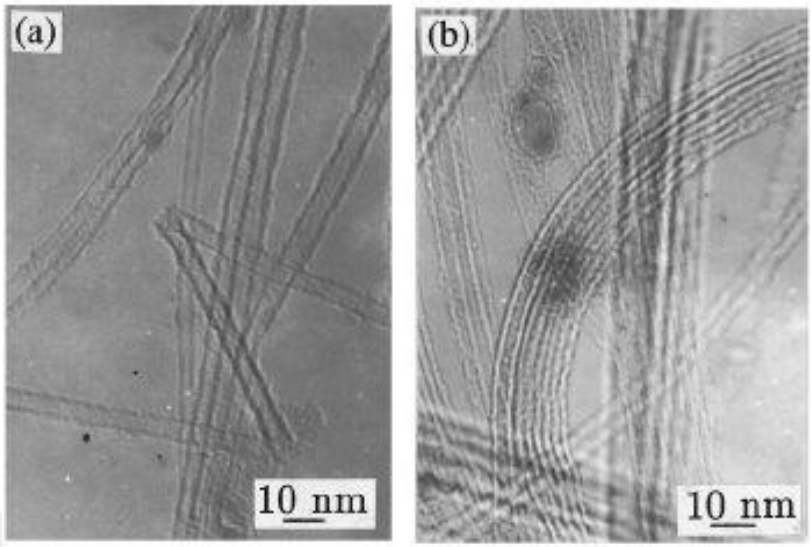
3.3. Nano Partikül Türleri

Literatür incelendiğinde, birçok farklı türde nano partiküllerin kullanılmış olduğu görülebilir. Seramikler, metaller, yarı iletken, polimerik, karbon temelli, lipid temelli nano partiküller bu türlere örnek olarak verilebilir.

Nano akışkan üretiminde yaygın olarak kullanılan nano partiküller SiC, Al_2O_3, CuO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, TiO_2, ZnO_2 gibi seramikler; Ag, Au, Cu, Fe, Ni gibi metaller; karbon ve nano tüpler (tek ve çok duvarlı), elmas ve grafit gibi karbon esaslılar; Ag-Cu, Ag-Al, Al-Cu gibi alaşımlardır.

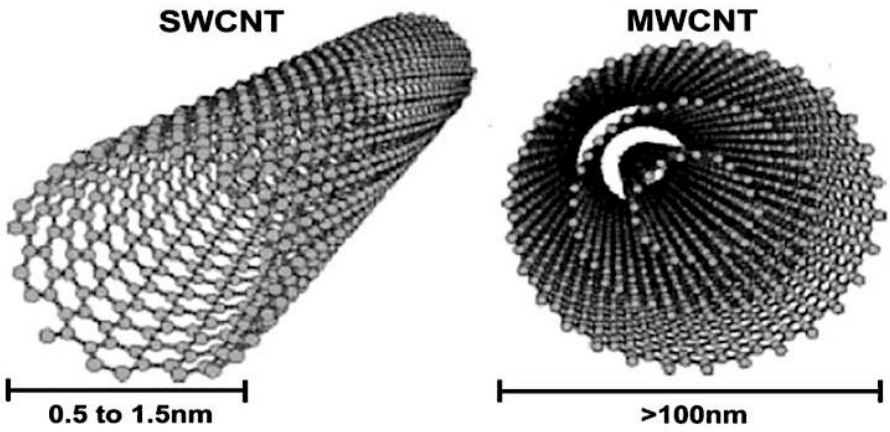
3.3.1. Karbon Temelli Nano Partikül

Karbon temelli nano partiküller iki ana malzemenin bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Örneğin karbon nano tüpler (CNTs) karbon ve fullerenin (karbonun grafit ve elmas haricindeki allotropları) bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Karbon nano tüplerin dayanımı çelikten 100 kat daha güçlüdür ve bu sebepten dolayı yapısal iyileştirmelerde de kullanılmaktadır. Şekil 3.10'da tek duvarlı karbon nano tüpün TEM görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.10 (a)'ya göre karbon nano tüp birkaç noktada kırılma göstermiştir ancak hala kopmamış ve uzun yapısını hala devam ettirebilmektedir. Bu nedenle yüksek dayanım değerleri gösterebilmektedir. Şekil 3.10 (b)'ye göre karbon nano tüpler yan yana gelerek birbirlerine yapışık bir halde bulunmaktadırlar. Bu da karbon nano tüplerin yüksek dayanım göstermesinin bir diğer sebebidir.



Şekil 3.10. Katlanmış Olmasına Rağmen Hala a) Kırılmamış ve b) Dalgalı Yapıdaki Tek Duvarlı Karbon Nano Tüp (Cheng vd., 1998)

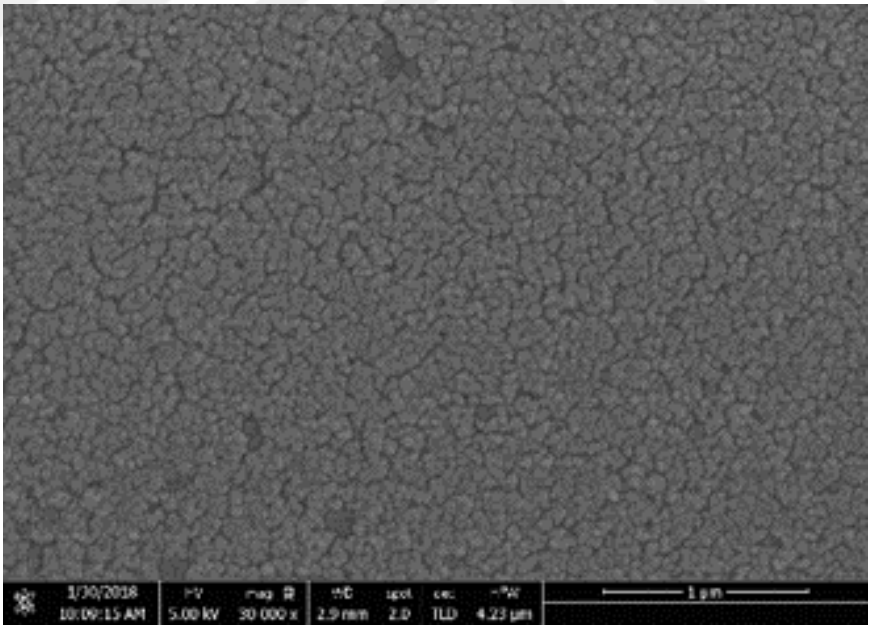
Karbon nano tüpler tek duvarlı (SWCNTs) ve çok duvarlı olarak (MWCNTs) olarak sınıflandırılabilir. Şekil 3.11'de tek ve çok duvarlı karbon nano tüp görüntüleri verilmiştir. Karbon nano tüpler uzunluğu boyunca ısıyı çok iyi iletirler ancak enine olarak ısı iletimleri yoktur.



Şekil 3.11. Tek Duvarlı (SWCNTs) ve Çok Duvarlı (MWCNTs) Karbon Nano Tüp (Karbon Nano Tüp, 2019)

3.3.2. Seramik Nano Partiküller

Seramik nano partiküller inorganik karbitler, fosfatlar, karbonatlar ve oksitlerden elde edilmektedir. Gerçek hayatta karşımıza çıkan seramik malzemelerim nano boyutlaştırılmasıyla elde edilir. İlk olarak 1980'lerin başında keşfedilmişlerdir. Nano seramikler metalik veya metalik olmayan inorganik bileşiklerden elde edilebilir. Bu partiküllerin kimyasal dayanımı oldukça fazladır ve yüksek ısı direncine sahiptirler. Nano seramiklerin %85'ten fazlası havadan oluşur. Oldukça hafif, dayanıklı ve esnektirler. Sıkıştırılmalarından sonra herhangi bir yapısal hasara uğramadan orijinal şekillerine geri dönebilirler (Khalil, 2012). Seramiklere örnek olarak Al_2O_3, ZrO_2, MgO, SiO_2, TiO_2, SiC, TiC, Si_3N_4 örnek olarak verilebilir. Bir tür seramik olan SiO_2'nin SEM görüntüsü şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. SiO_2 Nano Partiküllerinin SEM Görüntüsü (Dalkılıç vd., 2018)

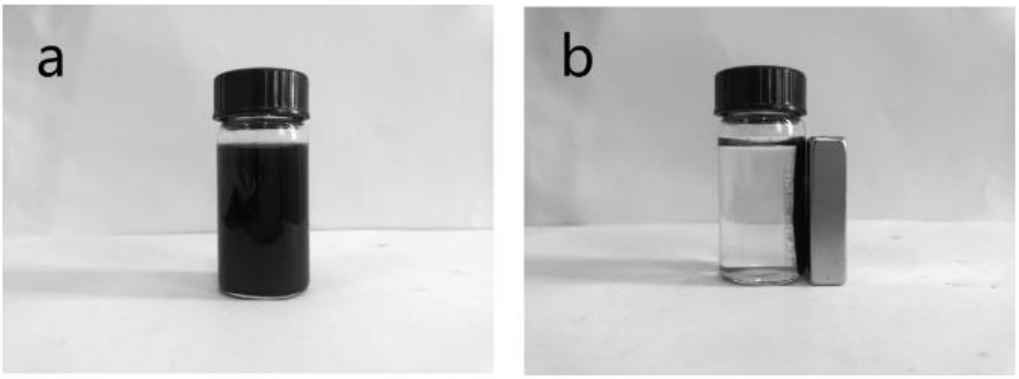
Seramik malzemeler benzersiz özelliklere sahiptir. Sıcaklık dayanımları çok yüksektir. Yüksek kimyasal kararlılığa sahiptirler. Makro ölçülerdeki seramikler kırılgan ve

serttir ancak darbe dayanımları yüksektir. Hammaddesi boldur bu nedenle fiyatları makuldür. Oksitlenme dirençleri yüksektir. Büyük ölçülerde kırılganlık gösteren seramikler nano ölçülerde bu kusuru kaybederler. Elektriği iletmez, yalıtırlar. Bununla birlikte, nano seramikler, dielektrik, ferroelektrik, piezoelektrik, piroelektrik, ferromanyetik, magnetoresistif, süper iletken ve elektro-optik dahil olmak üzere çok çeşitli işlevler üstlenirler. Bunlarla birlikte bakteriyel enfeksiyonlarda, kanser hastalarında kemoterapilerde seramik nano partiküllerden faydalanılmaktadır (Nissan, 2014).

3.3.3. Metal Nano Partiküller

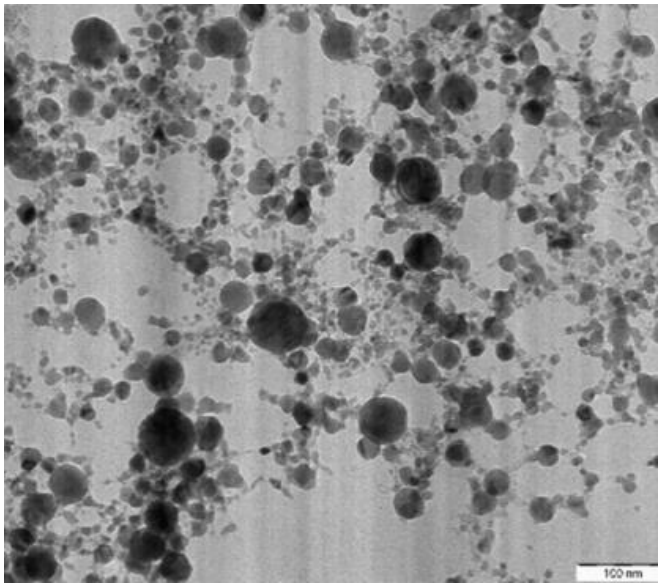
Bu nano partiküller metal prekürsör kullanılarak kimyasal, elektrokimyasal ya da fotokimyasal yöntemlerle üretilir. Kimyasal yöntemde metal-iyon prekürsör solüsyonunun kimyasal ajanlar yardımıyla indirgenmesi ile üretilir. Metal nano partiküllere örnek olarak, Au, Al, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, Ti verilebilir. Metal nano partiküller doğadaki biyomoleküllerin tespiti ve görüntülenmesinde kullanılır. Örneğin SEM analizi öncesinde örnekler altın nano partiküller kaplanır. Bu sayede SEM görüntülemede elektron iletimi arttırılır ve görüntüler daha net olarak elde edilir.

Metal nano partiküllerinin kullanımında metallerin manyetik özelliklerinden de yararlanılır. Metal nano partiküllerin manyetik alana maruz bırakılarak istenilen şekilde yönlendirilmesi sağlanabilir. Yine benzer şekilde katkı malzemesi olarak çeşitli yapı elemanlarına katılmaları mümkündür. Şekil 3.13'te metalik özelliğinden faydalanılan bir nano akışkanın mıknatıs yardımıyla manyetik alana maruz bırakılması sonucu göstermiş olduğu davranış verilmiştir.



Şekil 3.13. Demir İçerikli Nano Akışkanın Baz Akışkan İçerisinde a) Homojen Dağılımı ve b) Manyetiklenme Sonrası Davranışı (He, Lu, Sun, Wang, Hu, 2018)

Metal nano partiküller içeren nano akışkanlar genel olarak yüksek ısı iletim katsayısına sahiptirler. Bu özelliği saflığı, kullanıldığı sıcaklık, üretim yöntemi, metal türü gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişim gösterse de uygulamaları tatmin edicidir (Tan, Omar, Rashid, Hashim, 2019). Bir tür metal olan Cu nano partiküllerinin TEM görüntüleri şekil 3.14'te verilmiştir.

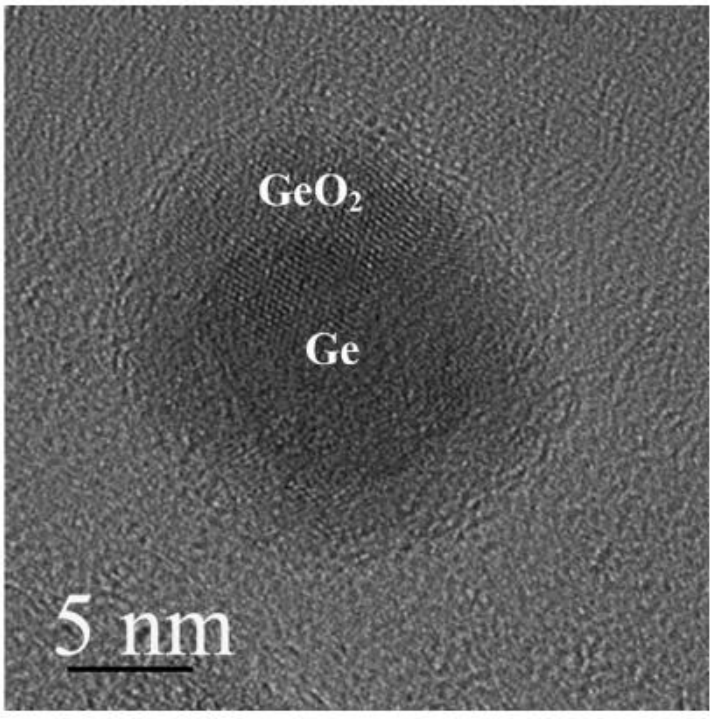


Şekil 3.14. Cu Nano Partiküllerinin TEM Görüntüsü (Tan vd., 2019)

Metal nano partikül içeren nano akışkanların su tabanlı baz akışkanla kullanımı mevcut olsa da genellikle etilen glikol, propilen glikol, su – etilen glikol karışımı ve çeşitli türlerde yağlar içeren baz akışkanlarla kullanımı mevcuttur (Shah vd., 2018; Hwang vd.,2006). Bunun sebebi metal nano partiküllerin çökelmeye olan meylidir (Murshed ve Estellé, 2017). Bu çökelmeyi en aza indirebilmek adına viskozitesi yoğun baz akışkanlar tercih edilir.

3.3.4. Yarı İletken Nano Partiküller

Yarı iletken nano partiküller metal ve ametallerin özelliklerini göstermektedir. Fotokataliz, elektronik cihazlar, foto optik ve suyun ayrıştırması gibi alanlarda kullanılır. Birbirinden çok farklı özellikler gösteren geniş bir bant aralığına sahip nano partiküllerdir. Yarı iletkenlere Ge, Si örnek olarak verilebilir. Ulaşılabilirlik ve fiyat bakımından incelendiğinde Si kullanımı Ge kullanımına göre çok daha yaygındır. Şekil 3.15'te Ge elementi ve etrafındaki oksit tabakasının TEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.15. Ge Elementinin Nano Partikülünün TEM Görüntüsü (Jiang vd., 2014)

Yarı iletken nano partiküller ne çok iyi bir elektrik iletimi özelliği ne de iyi bir yalıtkan özelliği gösterir. Yarı iletken olmalarını atomik yörüngelerindeki elektron sayısı belirler. Yarı iletkenler son yörüngelerinde dört adet valans elektron bulundururlar.

3.3.5. Polimerik Nano Partiküller

Polimerik nano partiküller organik temelli nano partiküllerdir. Hazırlanma yöntemine göre nano safir ya da nano kapsül şeklinde olabilirler. Bu nano partiküller termofiziksel özellikleri nedeniyle endüstriyel alanda pek yer almaz. Kullanımları daha çok kontrollü salınım, tedavi ve görüntüleme, özel hedefleme ve ilaç moleküllerinin korunması gibi birçok tıp ve farmakoloji alanındadır.

BÖLÜM 4

BAZ AKIŞKANLAR VE TÜRLERİ

Nano akışkanların termofiziksel özelliklerine etki eden temel 2 faktörden biri baz akışkan diğeri ise kullanılan nano partiküldür. Baz akışkanlar nano partiküllerin taşıyıcısı olarak görev yapmaktadır. Baz akışkanların kendine has viskozite, özgül ısı, yoğunluk, ısı iletim katsayısı gibi termofiziksel özellikleri vardır. Eklenilen nano partiküller baz akışkanın bazı özelliklerine etki edebilmektedir (Sonawane, Khedkar, Wasewar, 2015).

Su en çok kullanılan aracı akışkanlardandır. Nano akışkanlarda da ısının aktarılmasında en çok yine su kullanılmaktadır. Çeşitli glikoller: mono-etilen, di-etilen, tri-etilen, propilen ve bunların su ile karışımları birçok durumda antifriz olarak kullanılır ve akışkanın donma-kaynama noktalarını yükseltir. Bunun yanında çeşitli bitkisel yağlar, endüstriyel yağlar gibi farklı türde yağlar da ısı iletim akışkanı olarak kullanılmaktadır. Yoğunlaştırılmış güneş paneli (CSP) uygulaması gibi çeşitli alanlarda da yağlardan faydalanılmaktadır (Bhalla, 2020). Bazı araştırmacılar nano soğutucular adını verdikleri ve soğutma alanında kullandıkları nano akışkanlar üzerine çalışmış olsalar da bunlar halen gerçek hayatta araştırma aşamasındadır.

4.1. Su

İki adet hidrojen atomu ile bir adet oksijen atomunun kimyasal reaksiyona girmesi sonucunda oluşur. Canlı yaşamı için gerekli temel maddedir. İnsan bedenin yaklaşık %60'ı

sudan oluşmaktadır. Dünya'nın yaklaşık olarak dörtte üçü su ile kaplıdır. Bu nedenle çevremizde suya olan erişimimiz oldukça kolaydır. Literatür incelendiğinde de bazı özel sistemler dışında sistemlerin en çok kullandığı akışkan olarak su karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan araştırmalarda en çok kullanılan baz sıvıların birinci sırasında su bulunmaktadır. Bunların sebepleri arasında ulaşım kolaylığı, viskozite özelliklerinin iyi olması, ısı iletim katsayısının kabul edilebilir olması gibi nedenlerle yoğun kullanımı bulunmaktadır. Özellikle saf su halinde kullanılmaktadır. Musluk suyunun içerisinde farklı türlerde partiküller barındırabileceğinden değerleri değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çalışmada 25 ^{o}C, 35 ^{o}C ve 45°C'de kullanılmış olan saf suyun bazı termofiziksel çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Suyun Değişen Sıcaklıklarda Termofiziksel Özellikleri (Çengel ve Boles, 2011)

Sıcaklık (^{o}C)	Mutlak Basınç (bar)	Özgül Kütle (kg / m^3)	Özgül Isı (kcal / kg ^{o}C)	İletim Katsayısı (W / m K)	Dinamik Viskozite (kg s / m^2)	Isıl Yayınım (m^2 / h)	Isıl Genleşme (1 / K)
0	1	999.8	1.0074	0.475	182.70 x 10^{-6}	0.472 x 10^{-3}	-0.070 x 10^{-3}
25	1	997.45	0.9984	0.521	91.75 x 10^{-6}	0.523 x 10^{-3}	0.255 x 10^{-3}
35	1	993.95	0.9980	0.534	73.9 x 10^{-6}	0.538 x 10^{-3}	0.344 x 10^{-3}
45	1	995.10	0.9983	0.546	61.1 x 10^{-6}	0.552 x 10^{-3}	0.421 x 10^{-3}

Su, baz akışkan olarak kullanılırken göz önüne alınması gereken parametrelerden biri suyun pH değeridir. Normal şartlarda saf suyun pH değerinin nötr yani 7 olması beklenir. pH değişimi stabilite üzerinde oldukça önemli bir fark yaratabilir ve bu durumun olmaması

halinde nano akışkanın stabilitesi olumsuz olarak etkilenebilir. pH'ı kontrol altında tutmak da nano akışkanın termal özelliklerinin geliştirilmesini sağlar.

4.2. Yağlar

Yağlar yüksek miktarda karbon ve hidrojen içerirler. Su ile karışmazlar ancak diğer çeşitli yağlarla karışabilirler. Yağlar yiyecek, boya, yakıt sanayi, makine sanayisinde oldukça yaygın bir şekilde kullanımı vardır.

Çalışmalarda kullanımı oldukça kısıtlıdır. Bunun sebebi viskozite değerinin yüksek olması ve bu sebeple pompa yükünün oldukça fazla arttırmasıdır. Viskozitesi oda sıcaklığında yüksektir ancak yüksek sıcaklıklarda düşmektedir. Yüksek sıcaklıkta çalışacak bir sistem için yağlar uygun olabilir. Bitkisel, endüstriyel gibi çeşitli türlerde yağlar mevcuttur. Yağların en önemli avantajı bulundukları sistemlerin mekanizmalarının sürtünmesini azaltabilmeleridir. Bu sayede sistemin yağlama ihtiyacı ortadan kalkmaktadır.

Yağlar, mineral yağlar, organik yağlar ve sentetik yağlar olarak üçe ayrılabilir. Mineral yağlar, yeraltı kaya tabakalarının içerisinde bulunan petrol esaslı yağlardır. Benzin, gaz yağı, mazot gibi yağlar mineral yağlardandır. Mineral yağların organik bir kökenli bulunmamaktadır. Çok eski jeolojik dönemlerde, plankton gibi deniz canlılarının jeo-kimyasal süreçler sonucunda petrol gibi mineral yağlara dönüşmesiyle oluşmuştur. Organik yağlar ise bitki, hayvan gibi çeşitli canlıların organik süreçlerden geçirilmeleri yoluyla elde edilir. Sentetik yağlar organik ve mineral yağlardan farklı olarak kimyasal süreçler sonucunda elde edilir. Laboratuvar ortamında üretilen sentetik yağlar yüksek teknoloji gerektirdiğinden üretim maliyetleri yüksektir. Yüksek basınç ve sürtünme değerlerine dayanıklılık, düşük sıcaklıklarda bile düşük viskoziteye sahip olma ve yüksek sıcaklıklarda yüksek ısıl mukavemet gösterebilme çeşitli üstünlüklere sahiptirler.

Nano akışkanlarda genel olarak mineral yağlar ve sentetik yağlar kullanılmaktadır. Bunun sebebi zorlu sistem şartlarına uygun olarak çalışabilmeleri ve üstün performans sergileyebilmeleridir. Ancak nano akışkanlarla alakalı çeşitli organik yağlar kullanılan çalışmalar da literatürde mevcuttur (Hameed vd.,2019; Rehman vd., 2019).

4.3. Glikol Türevleri

Değişik karbon atomlarına hidroksil (OH) grubunun bağlanması ile ortaya çıkan bileşiklerdir. Etilen glikol, propilen glikol, dietilen glikol, butil glikol vb. birçok türde kullanımı yaygındır. Bilinen ilk glikol Charles Adolphe Wurtz tarafından 1800'lerin ikinci yarısında elde edilmiştir. Başta kimya ve endüstri sektörü olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanımı mevcuttur.

Glikoller genellikle saf halde genelde antifriz olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında soğutma sıvısı, boya, frenlerde, mürekkep, çözücü, vb. alanlarda kullanımları vardır. Demir yollarında ve uçak yüzeylerinde suyun donmasını ve buzun yüzeye tutunmasını engelleme gibi çeşitli alanlarda kullanılır (Glikol, 2019). Saf halde viskozite değeri oldukça yüksek olabilir. Bu neden çeşitli oranlarda su gibi farklı akışkanlarla karıştırılarak kullanımı yaygındır. Ayrıca etilen glikolün saf halde donma derecesi -13 ^{o}C'dir. %50 saf su %50 etilen glikol karışımının donma derecesi -45 ^{o}C'dir. Su ile etilen glikolün karışımı, etilen glikolün kristalleşmesini engeller ve karışımın donma noktası oldukça düşer. Etilen glikol-su karışımımın bazı özellikleri çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. %50 Mono Etiken Glikol - %50 Su Karışımının Değişen Sıcaklıklarda Termofiziksel Özellikleri (Su-Etilen Glikol,2019)

Sıcaklık (^{o}C)	Mutlak Basınç (bar)	Yoğunluk (kg / m^3)	Özgül Isı (kJ / kg ^{o}K)	İletim Katsayısı (W / m K)	Dinamik Viskozite (N s / m^2)
0	1	1092	3.19	0.394	10.37 x 10^{-3}
25	1	1078.8	3.27	0.400	4.3 x 10^{-3}
35	1	1072.3	3.31	0.402	3.15 x 10^{-3}
45	1	1066	3.35	0.403	2.33 x 10^{-3}

BÖLÜM 5

NANO AKIŞKANLAR

Gelişen teknoloji sayesinde enerji üreten ve kullanan sistemler çok büyük ilerleme kaydetmiştir. Üretim, mikro-elektronik, taşıma ve ısıl güç sistemleri gibi sistemler gelişen ilerleme ile birlikte artan oranda ısı enerjisinin aktarımı ihtiyacını arttırmıştır. Enerji aktarımı için aktif ve pasif sistemler kullanılmakta, ısı sistemden atık ısı olarak uzaklaştırılmakta ya da üretilen ısının nakli aracı akışkanlar kullanılarak sağlanmaktadır. Soğutucu ve taşıyıcı akışkan olarak su, yağ ve glikoller gibi çeşitli düşük verimli akışkanlar kullanılmaktaydı. Gelişen sistemler sistemin her bir elemanının yüksek verimle çalışmasını zorunlu kılmıştır. Bu da aracı akışkanların yüksek ısı iletim katsayısına sahip olması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu noktada akışkanların geliştirilmesi ve verimlerinin arttırılması ihtiyacı nano akışkanları ortaya çıkarmıştır.

Nano akışkanlar, içerisinde 100 nm veya daha küçük boyutlarda katı parçacık içeren yeni nesil akışkanlardır. Isı iletim katsayılarının saf akışkana göre daha yüksek olması ve sistem ısıl performansının artmasını sağlamaktadır.

En çok kullanılan nano partiküller metaller (Cu, Ag, Ni, Au), metal oksitler (Al_2O_3, CuO, MgO, ZnO, TiO_2), metal karbit (SiC), metal nitrit (AlN) ve karbon (CNT, MWCNT, SWCNT, grafit) gibi malzemelerdir. Nano akışkanlarda ısı iletim katsayısı nano partikül şekli, nano partikül boyutu, nano partikül türü, Nano akışkanın stabilitesi, baz akışkan türü, nano akışkanın konsantrasyonu ve nano akışkanın sıcaklığı gibi birtakım faktöre bağlı olarak

değişebilmektedir. Birçok mühendislik uygulamasında nano akışkanlar yaygın akışkanlardan daha iyi performans sergilemişlerdir (Ali, Ali, Liaquat, Maqsood, Nadir, 2015; Ali vd., 2018).

Nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan nano partiküller tek tipte olabileceği gibi birden fazla tipte de olabilir. Bunun gibi içerisinde birden çok türde nano partikül içeren nano akışkanlara hibrit nano akışkanlar denilmektedir. Yapılan çalışmalarda hibrit nano partikül içeren nano akışkanların tek nano partikül içeren nano akışkanlara göre daha iyi ısı iletim özellikleri gösterebileceği bildirilmiştir (Moldoveanu vd., 2018).

5.1. Nano Akışkanların Hazırlanması

Nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan yöntemler tek adım ve iki adım yöntemi olarak ikiye ayrılır.

5.1.1. Tek Adım Metodu

Literatür incelendiğinde tek adım metodunun iki adım metoduna göre daha az kullanıldığı görülmektedir. Bu temel sebebi yöntemin iki adım metoduna göre pahalı olması ve işlemin daha karmaşık olmasıdır. Bu yöntemin avantajı yüksek stabilite, homojen dağılım ve minimum agregasyondur. Yavaş işlem prosesi sebebiyle sınırlı miktarda ürün üretimi, yalnızca düşük basınçta çalışacak akışkanlar ve düşük konsantrasyonlu akışkanlar üretilebilmesi bu yöntemin dezavantajlarından bazılarıdır. Bu yöntem için genellikle metal nano partiküller tercih edilir.

Tek adım metodu kullanılarak nano akışkan hazırlamanın bir avantajı nano partikül sentezi ve baz akışkan içerisine dispersiyonunun (yani partiküllerin baz akışkan içerisine homojen olarak yayılmasının) aynı anda yapılıyor olmasıdır.

5.1.1.1. Fiziksel Tek Adım Metodu

Tek adım yöntemine göre öncelikle nano partiküller içerisinde ultrasonik karıştırıcı, ısıtma, sıcaklık ve basınç kontrol üniteleri bulunan vakumlu düzeneğin içerisine alınır ve burada baz akışkanla karıştırılır. 6000 ^{o}C ile 12.000 ^{o}C arasındaki bir sıcaklıkta bulunan ark kaynağı partikülleri ve baz sıvıyı buharlaştırır. Yüksek basınç yardımıyla buharlaşmış nano

partiküller ve baz sıvı yoğuşmaya zorlanır ve yoğuşan partikül ve baz akışkandan nano akışkan elde edilir.

5.1.1.2. Kimyasal Tek Adım Metodu

Bu yöntem fiziksel yönteme kıyasla daha makul fiyatlı ve daha hızlıdır. Öncelikle nano partikül ve sıvı bir araya getirilerek belirli bir süre ısıtılarak karıştırılır. Burada ısıtıcı olarak genellikle mikrodalga fırınlardan faydalanılır. Sonrasında çeşitli kimyasallar eklenerek ($CuSO_4$, NaH_2PO_2-H_2O, vb.) akışkan bir süre daha ısıtılarak karıştırılır. Kimyasal işlem sonucunda nano akışkan renginde çeşitli değişiklikler görülür. Son adımda hazırlanan nano akışkan oda sıcaklığına gelmesi için soğutulur.

5.1.2. İki Adım Metodu

İki adım metodu nano akışkanların hazırlanmasında en çok tercih edilen yöntemdir. Bunun sebebi maliyetinin tek adım metoduna göre daha düşük olması ve diğer yönteme kıyasla nano akışkan hazırlanmasının daha kolay olmasıdır. Bu yöntem nano partiküllerin ve baz sıvının bir karıştırıcı (mekanik karıştırma makinesi, ultrasonik banyo, ultrasonik karıştırıcı, vb.) yardımıyla karıştırılarak nano akışkan elde edilmesi prensibine dayanır.

Bu yöntemde hazırlanan nano akışkanın miktar, konsantrasyon gibi herhangi bir sınırı yoktur. Kullanılan sistemin kapasitesi oranında nano akışkan hazırlanabilir. Diğer üretim yöntemine göre oldukça makul fiyatlıdır. Bu yöntemin dezavantajı oluşturulan nano akışkanın homojen yapısını uzun süre koruyamamasıdır. Nano akışkan kısa tekrarlarla karıştırılmaya ihtiyaç duyar. Sistemde bir süre durağan hale gelen nano akışkan içerisindeki nano partiküller birleşme eğilimi gösterir ve yer çekimi etkisi ile akışkanın dibine çöker. Bunu engellemek için akışkanın sürekli olarak hareket halinde olması ve bir karıştırıcı yardımıyla akışkanın karıştırılıyor olması gerekmektedir.

İki adım metodunun en büyük avantajı herhangi bir kısıtlama olmaksızın geniş bir yelpazede çeşitli konsantrasyonlarda, miktarlarda uygun fiyatlarla ürün hazırlanabiliyor olmasıdır. Herhangi bir nano akışkan kısıtlaması yoktur. Hemen hemen tüm tipteki nano partiküller bu yöntemle hazırlanabilir. Dezavantaj olarak nano akışkan stabilitesinin oldukça

kısıtlı olması verilebilir. Bu yöntem metodolojisi nedeniyle çok uzun süreler stabil nano akışkanların üretimine uygun değildir. Bir diğer dezavantajı ise işlemin karmaşık olmasıdır. Nano akışkana ait baz akışkan, nano partikül ayrı ayrı olarak temin edilir, miktarı ölçülür ve bir araya getirilerek karıştırılması sağlanır. Bu adımlar işlemi tek adım metoduna göre bir miktar daha karmaşık yapmaktadır.

5.1.2.1. İki Adım Metoduyla Nano Akışkan Hazırlamada Karıştırıcılar

İki adım metodunda nano akışkan hazırlamada kullanılan karıştırıcılar ultrasonik karıştırıcı ve mekanik karıştırıcı olarak ikiye ayrılır.

5.1.2.1.1. Ultrasonik Karıştırıcı

İçerisine konulan nano akışkana, yüksek frekansta ultrasonik dalgalar vererek nano akışkanın karıştırılmasını sağlar. Nano akışkanın içerisinde bulunan nano partiküllerin çökelmesini ve topaklanmasını engellemeye yardımcı olur. Ultrasonik karıştırıcılar banyo tipi, el tipi gibi çeşitli tiplerde olabilir. Şekil 5.1'de banyo tipi bir ultrasonik karıştırıcının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.1. Banyo Tipi Ultrasonik Karıştırıcı (Ultrasonik Banyo, 2019)

Banyo tipi ultrasonik karıştırıcılar el tipi ultrasonik karıştırıcılara göre çok daha düşük frekanslarda çalışırlar. Bu da hem nano akışkan hazırlanmasında hem de nano akışkanın stabilitesinin sağlanmasında kısmi olarak olumsuz bir durum olarak karşımıza çıkar. Nano akışkanın stabilite özellikleri nano partikül türü, baz akışkan türü, konsantrasyon gibi

değişkenlere bağlı olarak değişse de genel olarak düşük hazırlanma frekansları daha düşük stabilite özelliklerini de beraberinde getirir (Yu vd., 2017). Bu karıştırıcının en büyük avantajı çalışmakta olan sistemlere dahil edilebilmesidir. Sistem içerisinde bulunan nano akışkan sirkülasyon halindeyken aynı zamanda banyo tipi karıştırıcıdan da geçerek sürekli olarak homojen kalması sağlanır.

Şekil 5.2'de el tipi ultrasonik karıştırıcının görüntüsü verilmiştir. El tipi ultrasonik karıştırıcılar daha kısıtlı miktarlardaki nano akışkanların hazırlanılması ve homojenleştirilmesinde kullanılırlar. Cihaz model ve gücüne göre çalışma kapasitesi değişmekle birlikte genel olarak maksimum 0.5 L akışkan için kullanımı önerilmektedir. Farklı güçlerde ve farklı frekanslarda çalışabilmektedir. Çalışma şartları bir hafıza kartıyla cihaza tanımlanabilmekte veya işlem sonrası sonuçlar cihazdan alınabilmektedir. Nano akışkan hazırlanması ve stabilitesinin arttırılmasında genellikle bu tip cihazlardan yararlanılır. Ayrıca cihaz yüksek frekanslarda çalıştığından işlem uygulanan akışkanın mümkün olduğunca soğutulması gerekmektedir. Aksi halde nano akışkan ısınarak baz akışkanı buharlaştırabilir ve konsantrasyon değişebilir.



Şekil 5.2. El Tipi Ultrasonik Karıştırıcı (Senthilkumar, Jumpholkul, Wongwises, 2018)

5.1.2.1.2. Mekanik Karıştırıcı

Nano akışkanı fiziksel yöntemler kullanarak karıştırabilen cihazdır. Bir kabın içerisine yerleştirilen bir prob aracılığıyla fiziksel olarak karıştırılır. Literatürdeki çalışmalarda bu yönteme pek yer verilmemiştir. Ancak ultrasonik karıştırıcılardan önce bir ön karıştırma yöntemi olarak bu yöntem kullanılabilir.

5.2. Nano Akışkan Kullanım Alanları

Nano akışkanlar elektronik devrelerin soğutulması, güneş kollektörleri, ısı değiştiriciler, motor soğutma, nano soğutucular, nano yağlayıcılar ve ısı enerjisinin nano akışkanlarla depolanması alanlarında kullanılmaktadır.

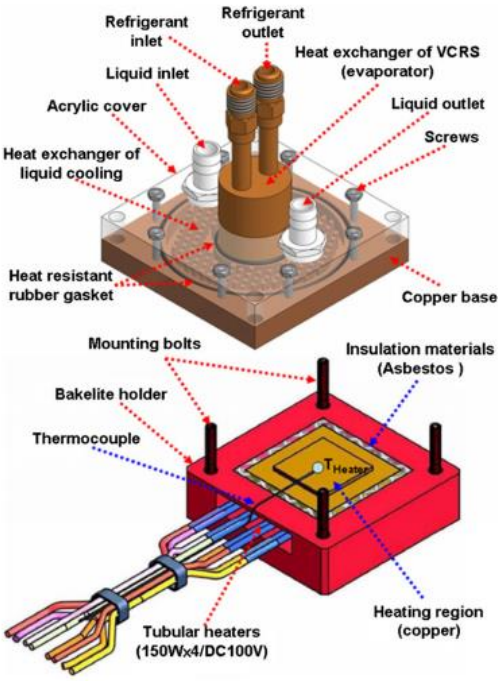
5.2.1. Elektronik Soğutma

Elektronik aletler çağımızın vazgeçilmez cihazlarından biridir. Elektronik cihazlar bireysel ihtiyaçların giderilmesinden endüstriyel sistemlerin entegrasyonuna kadar günlük hayatta karşımıza çıkan ve hayatımızı kolaylaştıran vaz geçilmez aletlerdir. Günlük hayatta bu denli ihtiyaç duyulan aletler gitgide küçülme ve taşınabilir olma özelliklerini de taşımaktadır. Bu kompaktlaşma isteği elektronik cihazlarda bazı problemleri de meydana getirmiştir.

Gelişen teknoloji ile elektronik cihazlar küçülmüş daha kompakt hale gelmiştir. Bu kompakt tasarımlarda da alandan sıfır kayıp, performanstan ve ağırlıktan maksimum kazanç prensibini zorunlu kılmıştır. Geçmişte elektronik ürünlerde kanatçıklı yüzeyler sayesinde pasif soğutma yapılırken günümüzde artık elektronik cihazlarda pasif soğutmaya ek olarak nano akışkan sıvılı aktif soğutma da yapılmaktadır. Literatürde elektronik soğutmayı çeşitli nano akışkanlarla yaparak suya oranla daha yüksek verim elde etmiş çalışmalar mevcuttur (Colangelo, Favale, Milanese, Risi, Laforgia, 2017).

Literatür incelendiğinde elektronik soğutmada kullanılan nano akışkanın genel olarak Al_2O_3 nano partiküller içeren nano akışkanlar olduğu göze çarpmaktadır. Bunun sebebi Al_2O_3 nano partiküllerinin sağlamış olduğu yüksek ısı iletim katsayısı özelliğidir. Aşağıda verilen

şekil 5.3'te Jeng ve Teng (2013) tarafından yapılan ve bir elektronik mikroçipinin soğutulması için tasarlanmış ısı değiştiricinin görüntüsü verilmiştir. Bu çalışmada da su baz akışkanlı Al_2O_3 nano partiküller içeren nano akışkan kullanılarak mikroçipin soğutulması CFD programı kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 5.3. Mikroçip Soğutmada Kullanılan Bir Isı Değiştiricisinin Şematik Görüntüsü (Jeng ve Teng, 2013)

5.2.2. Güneş Kollektörleri

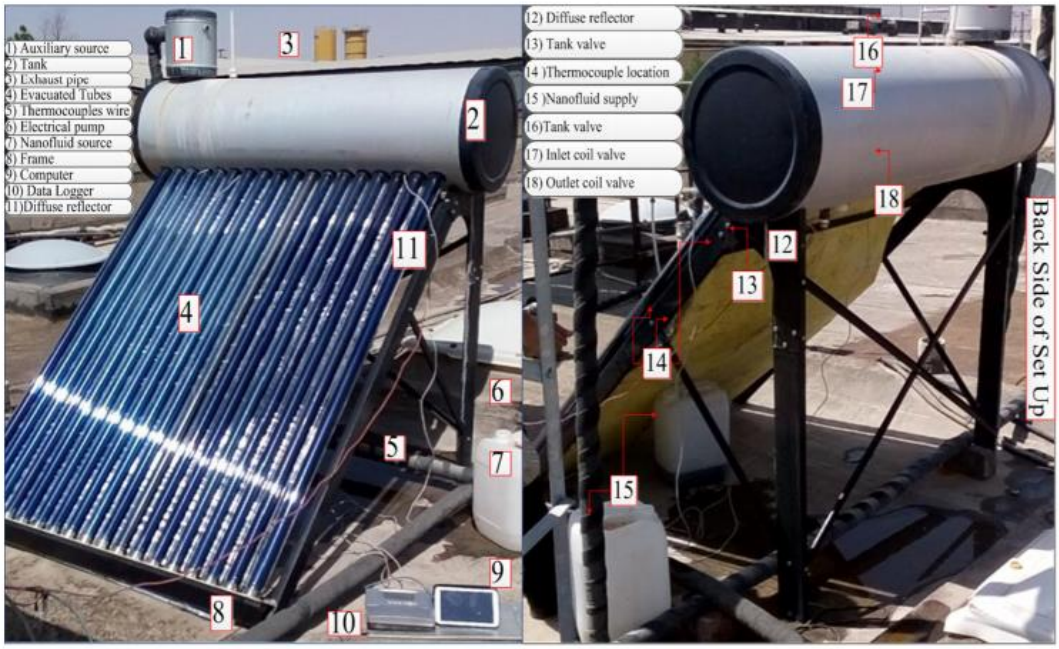
Güneş kollektörleri, güneşten aldığı enerjiyi toplayan ve topladığı bu enerjiyi bir akışkana aktaran çeşitli türlerdeki cihazlardır. Güneş kollektörleri bir tür ısı değiştiricidir. Güneşten topladıkları radyasyon enerjisini sistem iç akışkanına iletirler. Kaynağı güneş olması sebebiyle enerji kaynağı maliyeti olmayan ve sınırsız bir enerji kaynağıdır. Güneş kollektörlerinden sıcak su elde edilmesi, iklimlendirme gibi uygulamalarda faydalanılmaktadır.

Güneş kollektörleri güneşi maksimum açıyla alacak şekilde yerleştirilir. Coğrafya, konum gibi çeşitli etmenlere bağlı olarak sıcaklıkları 100°C'ye kadar çıkabilir. Güneşten elde edilen ısı fan-coil, radyatör, yerden ısıtma gibi ısıtma cihazlarına aktarılır. Güneş kollektörlerinde aracı akışkan olarak genellikle hava, su ve yağ kullanılır. Toplanan enerji aracı akışkana sıcak su elde edilmesi, ortamın koşullandırılması gibi amaçlarla aktarılır (Kalogirou, 2009).

Güneş kollektörleri kendi içerisinde tabii dolaşımlı sistemler, pompalı sistemler, açık ve kapalı sistemler olarak dört sınıfa ayrılır. Tabii dolaşımlı sistemlerde akışkan kendiliğinden sistemde dolaşır. Isınan suyun yoğunluğunun azalması ve dolayısıyla yükselmesi prensibiyle çalışırlar. Pompalı sistemler akışkanın sistem içerisinde pompa basıncı yardımıyla dolaştırıldığı sistemlerdir. Açık sistemlerde kollektörlerde kullanılan akışkan ile kullanılan akışkanın aynı olduğu sistemlerdir. Açık sistemler kullanım akışkanı ile kollekterde dolaşan akışkanın aynı olması sebebiyle nano akışkan kullanımına uygun değildir. Kapalı sistemler ise kullanım akışkanı ile kollektörlerde dolaşan akışkanın birbirinden farklı olduğu sistemlerdir. Kollektörlerde ısısı arttırılan akışkan bir eşanjör kullanılarak kullanım akışkanına aktarılır. Kapalı sistemlerin maliyeti açık sistemlere oranla daha yüksektir. Eşanjör kullanılması nedeniyle verimleri de açık sistemlerden daha düşüktür. Ancak coğrafya özelliklerine göre değişen don ve kullanılan akışkan sebebiyle sistemde oluşacak korozyondan sistem korunmuş olur. Ayrıca güneş kollektörleri görünümlerine göre düzlemsel ve vakum tipli olarak ikiye ayrılır. Düzlemsel kollektörler güneşten aldığı ısı enerjisinin bir kısmını içerisinde absorbe eder ve aracı akışkana aktarır. Bu sistemlerin çalışma sıcaklığı 70-100°C arasındadır. Vakum tipi kollektörler ise birbirlerine paralel olarak vakumlanmış tüplerin dizilmesi ile oluşturulurlar. Akışkan direkt olarak vakumlanmış tüplerin içerisinde dolaştırılır. Aracı akışkan sıcaklığı düzlemsel kollektörlere göre daha yüksektir ve sıcaklık 100-120°C arasındadır.

Bu alanda nano akışkan kullanılmasının temel amacı ısı iletim katsayısının yüksek olması ve bu sayede sistem performansının arttırılabilir olmasıdır. Şekil 5.4'te Ghaderian ve Sidik (2017) tarafından Al_2O_3 nano partiküllü ve su baz akışkanlı nano akışkan kullanılan güneş kollektör deney düzeneği verilmiştir. Elde edilen ısı enerjisinin maksimum düzeyde

taşınması sistem performansını olumlu şekilde etkileyecektir. Bu nedenle ısı transfer özellikleri yüksek aracı akışkan olarak nano akışkanlardan faydalanılır. Literatürdeki bazı çalışmalarda, aracı akışkan olarak nano akışkan kullanımının su kullanımına oranla %28.3 oranında verim artışı sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Kalogirou, 2009).



Şekil 5.4. Al_2O_3-Su Nano Akışkanı Kullanılan Deney Düzeneği (Ghaderian ve Sidik, 2017)

5.2.3. Isı Değiştiriciler

Isı değiştiriciler genellikle iki ya da daha fazla ortam arasında ısı enerjisinin iletimi için kullanılır. Bu uygulamalar petrol rafinerilerinde, kimyasal endüstride, gıda işleme endüstrisinde, endüstriyel işleme ve enerji üretim birimleri gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Gövde ve boru tipi ısı değiştiriciler sistemlerde çeşitli hacimlerde ve yüksek basınçlı sistemlerde kullanılabilir. Isı değiştiricilerinin verim artışı ısı transfer yüzeyinin arttırılması, sıcaklığın arttırılması ve ısı iletim katsayısının arttırılması ile mümkün olabilir. Isı transfer yüzeyinin arttırılması kullanılan ekipmanın boyut ve ağırlığının artışını da beraberinde

getirecektir. Sıcaklığın arttırılması, daha fazla güç girişinin arttırılmasını gerektirecektir ve bu maliyet artışını da beraberinde getirir. Sıcaklığın ve ısı transfer yüzey alanının arttırılması konusunda günümüzde birçok çalışma yapılmış olup çalışılabilecek konular oldukça sınırlanmıştır. Ancak nano akışkanlar ısı iletim katsayısının arttırılması konusunda büyük bir potansiyel sağlamaktadır.

Isı değiştiricileri kategorisinde diğer bir güncel konuda mikro kanallardır. Miko kanallar akışkanların içerisinden akması için küçük geçişlere sahip borulardan oluşur. Kanat, kanatçık ve çeşitli mikro borulardan oluşan sistemlerdir. Nano akışkanlar kullanılarak yapılan çeşitli mikro kanal uygulamalarına literatürde rastlanmaktadır.

Isı değiştiricileri geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Sağladığı birçok avantaja rağmen bazı dezavantajları da mevcuttur. En büyük dezavantajlarından biri yüksek maliyetleridir (Lee ve Mudawar, 2007). Üretimde kullanılan ürünler sıradan sistemlerden farklı olduklarından yüksek mühendislik ürünlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Isı değiştirici sistemlerde kullanılan yüksek kaliteli malzemeler yüksek verimi de beraberinde getirmektedir. Ancak yüksek maliyet de bununla birlikte gelmektedir.

5.2.4. Motor Soğutma

Motor soğutma araştırmacılar tarafından oldukça önem verilen ve üzerine çalışılan zor ve teknik çalışmalardan biridir. Araç ve motorların soğutulması motorların daha etkin ve verimli çalışması, dolayısıyla ekonomi, ekoloji gibi çeşitli alanlarda biz insanların geleceğini oldukça yakından ilgilendirmektedir. Geçmişte araç motorlarının hava ile soğutulması su ile soğutulmasından daha popüler ve yaygındı (Mackerle, 1972).

Araba motorlarının ilk geliştiği dönemlerde araç motorlarının radyatörleri bakır ve pirinç malzemelerden yapılırdı. Üretim ve montajı oldukça kolaydı. Üretim maliyetleri düşüktü. Herhangi bir problemde kolaylıkla tamir edilebiliyordu. Ancak çalışma performansları ve verimleri de oldukça düşüktü. Sonraki dönemlerde bakır ve pirinç radyatörler verimi arttırabilmek adına yerini alüminyum radyatörlere bıraktı. Alüminyum radyatörler bakır ve pirince göre daha yüksek verimliydi ancak kolaylıkla korozyona uğrayabiliyordu. Korozyona uğramış radyatörlerin tamir maliyeti ise oldukça yüksekti. 19.

yüzyılın başlarında hava ile soğutma su ile soğutmadan çok daha popüler olmuştu. Ancak havanın soğutma kapasitesi oldukça düşüktü ve su havaya oranla daha yüksek ısı enerjisi taşıyabiliyordu. Bu nedenle sıvı ile soğutma yeniden popüler olmuştu (Kumar ve Subudhi, 2019).

20. yüzyılın başlarında gelişen teknoloji ve mühendislik yeni nesil motorların üretilmesine öncülük etmiştir. Bu motorlar yüksek verimle çalışan ve çok daha stabil şartlar gerektiren motorlardı. Bu motorların çalışma şartlarının arasında en önemli faktör sıcaklıktır. Yüksek veya düşük sıcaklıklar motorun çalışma performansını ve dolayısıyla verimini etkilemektedir. Motorların sıcaklık kontrolünün sağlanmasında radyatörler önemli bir görev üstlenmektedirler.

Radyatörler soğutma ekipmanları içerisinde oldukça önemli bir yer işgal eder. Motorda oluşan atık ısının motordan uzaklaştırılmasını ve motorun daha stabil şartlarda çalışmasını sağlar. Motor ile radyatörler arasında çeşitli aracı akışkanlar kullanılmaktadır. Bu akışkanlar yüksek ısı iletim katsayısına sahip akışkanlar olmalıdır. Günümüzde su, etilen glikol-su karışımı ve çeşitli yağlar bu görevi üstlenmektedir.

Nano akışkanlar iyileştirilmiş ısı iletim katsayısı özellikleri nedeniyle, motorların soğutulmasında kullanılabilecek yüksek ısıl özellikleri olan akışkanlardır. Yapılan çalışmalarda nano akışkan kullanan soğutucuların üzerinde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Otomotiv alanında da nano akışkanlar üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Nano akışkanlar kullanılarak borularda basınç kaybının azaltılması, çeşitli bileşenlerin (pompalar, ısı değiştiriciler, borular, vb.) korozyonun en aza indirilmesi ve akış kanallarının tıkanmasının önlenmesi üzerinde çalışılmaktadır.

5.2.5. Nano Soğutucular

Isıtma ve soğutma çevrimlerinde kullanılan akışkanların özellikleri çevrimin verimini etkilemektedir. Isıl özellikleri kısıtlı bir aracı akışkanla yüksek verimli sistemler elde etmek oldukça zordur. Bu nedenle oluşturulan fiziksel donanım yanında kullanılan akışkanlar da yüksek kaliteli bir akışkan olmalıdır.

Buz dolapları ve ortam soğutmalarda, soğutucu akışkanlardan faydalanılarak soğutma çevrimi tamamlanmaktadır. Buz dolapları gibi ortam soğutması yapılan tüm cihazlar benzer çevrim özellikleri ihtiva eder.

Bir aracı akışkan içerisine katı parçacıklar katılması ile oluşturulan akışkanlara nano akışkan denilmektedir. Katılan katı parçacıklar yüksek ısı iletim katsayısı özelliklerine sahiptir ve katıldığı akışkanın ısıl özelliklerini de iyileştirir (Sheikholeslami vd.,2019).

Soğutucu akışkanlar buz dolaplarında ve klima sistemlerinde kullanılmaktadır. Soğutucu akışkan olarak saf halde R141b, R600a, R134a gibi akışkanlar kullanılmaktadır. Soğutucu bazlı nano partiküllere nano soğutucular denilmektedir ve bir nano akışkan çeşididir. Soğutucu akışkanlara CuO, MWCNT gibi nano partiküllerin eklenmesi ile yeni nano akışkanlar elde edilebilmektedir. Bilimsel çalışmalarda nano soğutucu kullanarak soğutma veriminin arttırılması üzerine birçok çalışma mevcuttur (Sheikholeslami vd.,2019; Alawi, Salih, Mallah, 2019; Ahmadpour ve Behabadi; 2019; Anand vd., 2019).

5.2.6. Nano Yağlayıcılar

Talaşlı işlemede çeşitli türde yağlayıcılar bulunmaktadır. Yağlayıcılar sürtünme katsayısının azaltılması, geliştirilmiş termofiziksel ve ısı iletim katsayıları özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Nano partikül içeren nano akışkanlara nano yağlayıcılar denilmektedir. Aşınmanın azaltılması, yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ve çalışma parçasının yanmasının engellenmesinde nano yağlayıcılardan faydalanılmaktadır.

Nano yağlayıcılar ile ilgili yapılmış genel olarak viskozite değişimi üzerinedir. Nano partiküllerin baz akışkana eklenmesi ısı iletim katsayısını arttırmaktadır. Ancak artan konsantrasyonla beraber viskozite de artmakta ve bu sistemlerin pompa yüklerini fazlaca arttırmaktadır. Literatürde bulunan çalışmalar hazırlanan nano yağlayıcıların uygun sıcaklık ve konsantrasyonları göz önüne alınarak optimize edilmesi, akış karakterinin Newton tipi olup olmamasının belirlenmesi temelinde yapılmıştır (Moghaddam ve Motahari, 2017; Esfe ve Arani, 2018).

5.2.7. Isı Enerjisinin Nano Akışkanlarla Depolanması

Enerji hayatımız vazgeçilmez bir ihtiyacıdır. Isıtma-soğutma, ulaşım, aydınlatma ve hatta yaşamsal faaliyetlerini yürütme gibi birçok alanda enerjiden faydalanır. Enerji insan ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanmış olduğu en temel kaynaklardan biridir.

Dünyada geçtiğimiz yüzyılda enerji ihtiyacı genel olarak fosil kaynaklardan sağlanmıştır. Fosil kaynaklar kullanıldıkları sistemlerin şartları nedeniyle çevreye büyük zararlar vermektedir. Ozon tabakasının zarar görmesi, hava kirliliği gibi canlı yaşamını tehlikeye atan olayların temelinde fosil kaynaklar yatmaktadır. Ayrıca fosil kaynaklar oluşumu için ile milyonlarca yıla ihtiyaç duyar ve kaynağı oldukça sınırlıdır. Fosil kaynakların kullanımını en aza indirerek daha çevreci ve doğal kaynaklara yönelmemiz gereklidir.

İnsan topluluklarının enerjiye olan ihtiyacı zamana bağlı olarak değişim gösterir. Kimi zaman yoğun enerjiye ihtiyaç duyarken kimi zaman ise enerjiye çok az oranda ihtiyaç duyarız. Endüstriyel proseslerde, konutlarda, ulaşımda enerjiye duyulan ihtiyaç zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Ancak değişen zamana göre enerji ihtiyacının tam olarak karşılanması her zaman mümkün olmamaktadır. Değişen enerji arz ve talep durumu enerjinin depolanmasının gerekliliğini ve önemini ortaya koymaktadır. Enerji depolanması ile enerji üretim ve tüketimi arasındaki dengesizliği ortadan kaldırmak mümkün olmaktadır (Kalhammer, 1976). Aynı zamanda mevcut enerji kaynaklarının daha verimli ve etkin kullanılması enerjinin depolanması ile sağlanabilmektedir. Gece geç saatlerde ya da hafta sonları üretilen fazla elektrik depolanarak ihtiyaç duyulduğunda aktarılabilmektedir. Yine kontrolümüz dışında olan rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, güneş enerji gibi kaynaklar ihtiyaç olmayan zamanlarda depolanarak ihtiyaç duyulan anlarda sürekli bir kaynağa dönüşebilmektedir.

Etrafımızda birçok doğa dostu enerji kaynağına ulaşabilmekteyiz. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, hidroenerji gibi kaynaklar fosil yakıtlara oranlara çok daha temiz ve çevre dostu kaynaklardır. Ancak bu kaynaklara ulaşım her zaman kolay olmamaktadır. Örneğin gece saatlerinde güneş enerji gibi bir kaynağına ya da

dalgalanmanın olmadığı dönemdeki bir denizden bu kaynakları elde etmemiz mümkün değildir. Gündüz saatlerinde güneş enerjisinden elde edilen ihtiyaç dahilindeki enerji kullanılabilirken gece saatlerinde veya bulutlu bir günde bu kaynaktan elde edilip depolanmış bir kaynaktan faydalanılabilir (Kalogirou, 2009).

Günümüz teknolojileri ile termal enerjinin depolanması 3 şekilde olmaktadır. Bunlar duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve termokimyasal enerji depolama yöntemleridir. Duyulur ısı yönteminde ısı depolama materyalinin sıcaklığında meydana gelen değişiklik sonucunda meydana çıkar. Isı enerjisi katı, sıvı ve katı-sıvı karışımı olan hibrit kaynaklara depolanabilir. Gizli ısı depolama yönteminde ise maddenin faz değiştirmesi sırasında çevreden aldığı veya çevreye verdiği enerjiden elde edilir. Faz değiştiren maddeler ısı enerjisini gizli ısı şeklinde depo ederler. Faz değiştiren madde ilk durumdaki fazına geri döndüğünde depolamış olduğu ısı geri alınır. Termokimyasal şekilde depolanmada ise ısı enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek depo edilir.

Enerji depolanmasında ilk olarak elde edilen bir enerji kaynağı ve sonrasında bu enerji kaynağının ana kaynaktan depo kaynağa taşınmasın bir aracı akışkana ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde bu alanda kullanılabilen birçok akışkan bulunmakla birlikte nano akışkanların gelişmiş termal özellikleri sayesinde enerjinin elde edilmesi ve depolanması arasındaki enerjinin taşınması yüksek iletim katsayılı nano akışkanlarla yapılabilmektedir (Mahdavi, Tiari, Pawar, 2020).

Nano akışkanlarla ilgili yapılan diğer bir uygulama ise enerjinin nano akışkanlarda depolanmasıdır. Enerjinin depolanması oldukça önemlidir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının ulaşım imkanının sınırlı olması sebebiyle bu kaynaklardan elde edilen ihtiyaç fazlası enerji daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Uygulamalarda nano akışkanların gizli ısı depolama özelliği kullanarak enerji diğer kaynaklara oranla çok daha uygun maliyetlerle depolanabilir.

5.3. Nano Akışkanlarda Stabilite

Nano partiküller yerçekimsel etki sebebiyle çökelme eğilimindedirler. Bu nano akışkanın homojen olmayan bir yapıya geçmesini ve dolayısıyla istenilmeyen bazı

termofiziksel özelliklerinin ortaya çıkmasına sebep olabilir. Bunu engelleyebilmek adına nano akışkanın her durumda homojen ve stabil halde olması istenir. Bu sayede belirlenmiş özelliklerin nano akışkanın her noktasında aynı olması sağlanır. Stabiliteyi arttırıcı aşağıda belirtilen bazı yöntemler sayesinde nano akışkanın homojen yapı ve termal özellikler göstermesi sağlanabilmektedir.

5.3.1. Ultrasonikasyon ile Stabilizasyon Sağlanması

Nano akışkanların yüzey enerjisine göre, nano partiküller nano akışkan içerisinde yüzme eğiliminde değil tam tersine dipte çökelme eğilimdedirler. Ultrasonikasyon oluşmuş topaklanmayı çözer ve nano partikülleri süspansiyon içerisine dağıtılmasını sağlar. Ultrasonikasyon süresi hazırlanan nano akışkanın partikül ve baz sıvı türüyle doğrudan ilişkilidir ve değişen sürelerde ultrasonikasyon uygulanmış nano akışkanlar değişik stabilite özellikleri göstermektedir. Bu aşama nano akışkanların yalnızca hazırlanmasında kullanılmaz. Aynı zamanda mevcut nano akışkanın homojen yapısının korunmasında da kullanılır. Literatürdeki genel düşünce ultrasonikasyon süresinin uzamasının stabilite süresini de arttırdığı yönünde olsa da bazı çalışmalarda uzun ultrasonikasyon süresinin stabiliteyi azalttığı bildirilmiştir (Yu vd, 2017). Buradaki önemli nokta uzun süreli ultrasonikasyonun uygulanması değil ideal sürenin uygulanmasıdır.

Ultrasonikasyon süresi boyunca uygulanan frekans da stabilite üzerinde etki göstermektedir. Çok düşük frekanslarda stabilite sağlanamayabilir. Ayrıca çok yüksek frekanslarda ve uzun sürelerde uygulanan ultrasonikasyon nano partikülllerin şekillerinin bozulmasına bu da ısıl değerlerinin değişiklik göstermesine sebep olabilir.

5.3.2. Yüzey İyileştirici Uygulanması

Bu nano akışkanlara uygulanan ve stabilitenin arttırılmasını sağlayan en genel yöntemdir (Yu, France, Choi, Routbort,2007). Bu yöntemde çeşitli yüzey iyileştiricileri nano akışkana eklenir ve akışkan karıştırılır. Yüzey iyileştirici akışkan içindeki nano parçacıkların birbiri arasında uygulanan çekim kuvvetini arttırarak stabiliteyi arttırır. Değişen yüzdelik oranlarda nano akışkana eklenebilir. Genelde %10 ve daha düşük oranlarda nano akışkana

takviye edilir. Bir dezavantajı ise nano akışkan viskozitesinin artışına sebep olmasıdır. Eklenen yüzey iyileştiricinin konsantrasyon dikkate alınarak uygun oranda eklenmesi gerekmektedir. Aksi halde istenilmeyen çökelme eğiliminin artışı görülebilir.

Yapılan bazı çalışmalarda yüzey iyileştirici kullanılmasının ısı iletim katsayısını arttırabileceğini göstermiştir (Yu, France, Choi, Routbort,2007; Eastman, Choi, Li, Yu, Thompson, 2001).

5.3.3. pH Kontrolü

Bu stabilite kontrolü direkt olarak nano akışkanın elektro kinetik özellikleri ile ilgilidir. Yüzey yoğunluğu yükselmesi ve yüksek itici kuvvetler nano akışkanın stabilize olmasını sağlar. Çeşitli kimyasal eklenmesi ile nano akışkan pH'ı değiştirilir ve nano akışkanın stabilizasyonu sağlanır (Yu, France, Choi, Routbort, 2007).

Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda artan asitlik derecesi ile birlikte ısı iletim katsayısı değeri de artış göstermektedir (Xie vd., 2002).

5.4. Nano Akışkanların Termal ve Fiziksel Özellikleri

Nano akışkanların termal ve fiziksel özellikleri ısı iletim katsayısı, viskozite, yoğunluk, özgül ısı, yüzey gerilimi olarak incelenmiştir.

5.4.1. Isı İletim Katsayısı

Isı iletimi bir maddenin ısıyı sıcak taraftan soğuk tarafa iletebilme kapasitesi olarak açıklanabilir. Nano akışkanların en temel özelliğidir. Çünkü nano akışkanlar saf haldeki akışkanın ısı iletim özelliğini arttırabilmek için ortaya çıkmışlardır.

Isı iletim katsayısı k sembolü ile gösterilir ve birimi W/m K'dir. Nano akışkanların en önemli özelliklerinden biridir. Genel olarak nano akışkanların partikül hacmi, partikül şekli, sıcaklık, partikül cinsi, baz akışkan türü, konsantrasyon ve partikül boyutu ile ilişkilidir. Buna ek olarak ultrasonikasyon süresinin, nano akışkan ve partiküllerin imal edilme yönteminin, baz akışkan türünün, nano partikülün ve baz akışkanın kendi ısı iletim

katsayısının nano akışkanın ısı iletim katsayısına etki ettiğini tespit etmiş bazı çalışmalar vardır. Sıcaklık ve nano partikül yüzdesinin artışı ile ısı iletim katsayısı da artar.

Literatürde ısı iletim katsayısını hesaplayabilmek için birçok teorik ve pratik sonuçlardan hareketle formüller geliştirilmiştir. Bunlar genel olarak baz akışkan iletim katsayısı, nano partikül iletim katsayısı, sıcaklık ve konsantrasyon gibi çeşitli özellikler göz önünde bulundurularak ortaya çıkarılır. Maalesef ki ısı iletim katsayısının teorik olarak hesaplanabilmesini sağlayan kesin bir formülasyon bulunamamıştır. Yapılan literatür incelemelerinde araştırmacıların verdikleri formülasyonlar belirli kısıtlamalarla yani kullanmış oldukları konsantrasyon, sıcaklık, baz akışkan gibi özelliklerle sınırlandırılmıştır. Bu alanların dışında elde edilecek sonuçlar güvenilir olmayacaktır.

Literatürdeki genel gözlem azalan parçacık büyüklüğü ile birlikte ısı iletim katsayısının arttığı yönündedir (Sundar, Sharma, Singh, Sousa, 2017). Bunula birlikte azalan nano partikül boyutuyla birlikte azalma eğilimi gösteren nano akışkanlar da literatürde bulunmaktadır. Bunun sebebi nano partikülün elde edilme yöntemi, işlem süresi, ortam sıcaklığı gibi çok çeşitli faktörlere bağlı olarak değişik özellikler gösterebiliyor olmasıdır.

Nano akışkanlar karmaşık yapılara sahip akışkan türleridir. Farklı şartlar altında farklı davranışlar gösterebilmektedir. Örneğin ısıl iletimi yüksek olan bir akışkan diğer termofiziksel özelliklerinde bulunduğu sistemle uyumsuzluk oluşturabilecek bir özellik taşıyabilir. Bu nedenle nano akışkanların özelliklerinin bütün termofiziksel özelliklerine bakarak belirlenmesi doğru olacaktır.

5.4.2. Viskozite

Viskozite akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanabilir. Moleküllerin birbirlerine karşı sergilediği hareketten kaynaklanır. Eğer moleküllerin iç çarpışmasının yüksek olması durumunda iç sürtünme ve viskozitesi de yüksek olacak, moleküllerin iç çarpışması düşük ise iç sürtünmesi ve viskozitesi de düşük olacaktır. Dinamik viskozite μ sembolü ile gösterilir ve birimi Pa.s'dir. Nano akışkanlarda viskoziteye etki eden sıcaklık, partikül boyutu ve şekli, partikül konsantrasyonu ve nano akışkanın hazırlanma metodu gibi birçok farklı parametre mevcuttur.

Viskozite nano akışkanların en çok araştırılan ikinci temel özelliğidir. Artan viskozite ile birlikte pompa yükleri ve basınç kayıpları da artacaktır. Bu da bir sistemde kullanılması halinde maliyet artışına sebep olacaktır.

Genel olarak artan konsantrasyonla birlikte nano akışkanların viskozite değeri de artar. Hatta yüksek konsantrasyona sahip bazı nano akışkanlar Newton tipi olmayan davranış gösterebilir. Bu nedenle %2 konsantrasyon üzerinde nano akışkan kullanılması pek yaygın değildir. Düşük konsantrasyonlarda kullanımı (%1 ve daha az) ile ilgili çalışmalar çok daha yaygındır.

Küçülen nano partikül boyutu ve nano partiküllerin çubuksu yapılarda olması viskoziteyi arttırıcı yönde davranışın gelişmesine sebep olur. Ancak bu bir genel görüştür. Nano partikül türünün değişmesi ile birlikte tam ters yönde bir davranış da görülebilir.

Nano akışkan viskoziteleri genellikle artan sıcaklıkla ters oranda davranış gösterirler. Yani artan sıcaklık viskoziteyi azaltırken azalan sıcaklık viskoziteyi artırır. Genellikle saf baz akışkanın sıcaklıkla değişimi ile nano partikül eklenmiş hali arasında paralel bir davranış gözlenmektedir.

5.4.3. Yoğunluk

Yoğunluk her birim hacimdeki madde kütlesidir. ρ sembolü ile gösterilir ve birim kg/m^3'tür. Nano akışkanlarda yoğunluk kullanılan nano partikül türüne, nano partikül boyutuna ve şekline bağlıdır. Genel olarak sıcaklığın artması yoğunluğu azaltır.

5.4.4. Özgül Isı

Özgül ısı bir kütleyi bir birim arttırmak için gerekli olan ısı miktarıdır. C_p sembolü ile gösterilir ve birimi J/ kg.K'dir. Nano akışkanların özgül ısısı genellikle eklenen partikül miktarı ile artar. Ancak bazı çalışmalarda artan nano partikül miktarı ile özgül ısının azaldığı bildirilmiştir. Özgül ısının değişimi nano partikül boyutu ve şekli, nano partikül türü ve sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterebilir. Bazı çalışmalarda artan partikül boyutuyla birlikte özgül ısının da arttığı gözlenmiştir.

5.4.5. Yüzey Gerilimi

Yüzey gerilimi, akışkanın yüzey moleküllerinin çekim kuvvetleri tarafından oluşan elastik eğilimdir. γ sembolü ile gösterilir ve birimi N/m'dir.

5.5. Nano Akışkanların Avantajları

Nano akışkanlar saf akışkan kullanılmaya oranla oldukça iyi termofiziksel özelliklere sahiptirler. İyi termofiziksel özelliklerin yanında doğru akışkanın tercih edilmesi gerekmektedir. Doğru akışkan tercih edilmesi ile sistemlerin performansları oldukça yüksek oranlarda arttırılabilir.

Nano akışkanların çeşitli türlerde nano partikül ve akışkanlar kullanarak hazırlanabiliyor olması nano akışkan kullanmada birçok alternatifi de birlikte getirmektedir. Sistem gerek ve ihtiyaçlarına uygun nano akışkanlar hazırlanabilmekte ve bu sayede sistem performansı iyileştirilebilmektedir. Örneğin yüksek sürtünme kayıplarının olduğu bir sistem için akışkan olarak sistem ihtiyaçlarına uygun bir yağın seçilmesi sürtünme kaynaklı kayıpları önemli oranda azaltacak aynı zamanda sistem performansını da hatırı sayılır bir oranda arttıracaktır.

Nano akışkan kullanmada çeşitli yöntemlerin bulunması da bir diğer önemli avantajdır. Bu yöntemler gerek akışkan performansının iyileştirilmesi açısından gerekse uygun maliyetli ürünün üretilmesi açısından doğru yöntemin seçilmesini kolaylaştırmaktadır. Bir nano akışkanın özelliklerinin iyileştirilmiş olması yeterli değildir. Aynı zamanda bu nano akışkanın sistemle uygun bir şekilde çalışabilmesi ve sistem ihtiyaçlarını karşılayabilmesi gerekmektedir. Sistemlerin bir bütün olarak çalıştığı ve aksayan herhangi bir noktadaki problemin tüm sistemi olumsuz etkileyebileceği göz ardı edilmemelidir.

Modern çalışmalarda nano akışkanlar oldukça büyük bir öneme sahiptir. Nano yağlayıcı, nano soğutucu, vb. çeşitli alanlarda sistem performansının arttırılması ve iyileştirilmesi için nano akışkanlar kullanılmaktadır. Çalışma ortamlarının çeşitliliği, farklı tür akışkanlar ve farklı türlerde nano partiküllerle hazırlanabiliyor olmaları, değişik

konsantrasyonlarda hazırlanabiliyor olmaları, vb. sebeplerle nano akışkanlar geniş bir alanda kullanılabilmektedir.

5.6. Nano Akışkanların Dezavantajları

Nano akışkanların birçok avantajının bulunmasının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Çökelme nano akışkanların en temel problemidir. Sıvı içerisinde yüzen nano partiküller nano akışkan durağan hale geçtiğinde çökelme ve sonrasında topaklanma eğilimine girerler. Sistemler sürekli bir devinim içerisinde olsa dahi nano partiküller düşük miktarlarda çökelme ve topaklanma eğilimdedir. Çökelme durumunda nano akışkan homojen bir dağılım göstermez ve ısı iletim katsayısı, viskozitesi gibi özellikleri her noktada farklı özellikler gösterir. Bunu engelleyebilmek adına sistemlere yüksek frekanslarda çalışarak agregasyonu engelleyen ultrasonik banyolar ve ultrasonik karıştırıcılar entegre edilmektedir.

Yüksek viskozite nano akışkanların diğer bir sorunudur. Özellikle %1'in üzerinde hazırlanan nano akışkanlar baz sıvı ve partikül özelliklerine de bağlı olarak yüksek viskozite gösterebilir. Bunun en büyük dezavantajı sisteme dahil edilen nano akışkanı sirküle edecek pompa yükünü oldukça yüksek oranda arttırmasıdır.

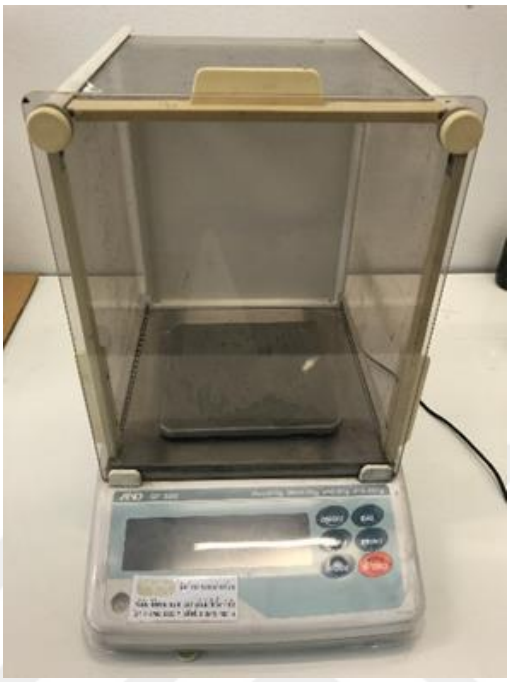
Nano akışkanların bir diğer problemi de davranışı ile ilgilidir. Reolojik inceleme ile akışkanın davranışının incelenmesi gerekir. Kimi akışkanlar sıcaklık, baz akışkan, partikül miktarı gibi çeşitli etkilerle Newton tipi olmayan davranış gösterebilmektedir. Bu belirlenen termofiziksel özelliklerin tüm akışkan içerisinde homojen olamama durumunu meydana getirir.

BÖLÜM 6

MATERYAL ve METOD

6.1. Nano Akışkan Numunelerinin Hazırlaması

Deneylerde kullanılan partiküller ve baz akışkanlar Tayland'da bulunan yerel üreticilerden temin edilmiştir ve nano akışkanlar Tayland'da bulunan "King Mongkut's University of Technology Thonburi - Future Lab" laboratuvarlarında hazırlanmıştır. Nano akışkanların tümü iki adım metodu kullanılarak hazırlanmıştır. Bu yönteme göre partikül, baz akışkan ve stabilizasyon arttırıcı olarak kullanılan tüm malzemeler 1/1000 gram hassasiyetindeki hassas terazi ile ölçülmüştür. Ölçümlerde kullanılan hassas terazi görüntüsü şekil 6.1'de verilmiştir. Terazi yüksek hassasiyetli olduğundan ortamdaki hava akışından etkilenmemesi adına cam kafes içerisine alınmıştır. Her kullanımdan önce yüzey kalibrasyonu yapılması gerekmektedir.



Şekil 6.1. Ölçümlerde Kullanılan Yüksek Hassasiyetli Terazi (Dalkılıç vd., 2018)

Nano akışkan konsantrasyonun hesaplanmasında, tek tip nano partikül içeren nano akışkanlar için kullanılan formül eşitlik 6.1'de, iki tip nano partikül içeren nano akışkanlar için kullanılan formül eşitlik 6.2'de verilmiştir. Tek tip nano partikül içeren nano akışkanların yoğunluğunun hesaplanmasında gereken eşitlik 6.3'te, iki tip nano partikül içeren nano akışkanlar için yoğunluğunun hesaplanmasında gereken eşitlik 6.4'te verilmiştir.

$$\phi_1 = \frac{\left[\frac{m_{np}}{\rho_{np}}\right]}{\left[\frac{m_{np}}{\rho_{np}}\right]+\left[\frac{m_{bf}}{\rho_{bf}}\right]} \times 100 \tag{6.1}$$

$$\phi_2 = \frac{\left[\frac{m_{np1}}{\rho_{np1}}\right]+\left[\frac{m_{np2}}{\rho_{np2}}\right]}{\left[\frac{m_{np1}}{\rho_{np1}}\right]+\left[\frac{m_{np2}}{\rho_{np2}}\right]+\left[\frac{m_{bf}}{\rho_{bf}}\right]} \times 100 \tag{6.2}$$

$$\rho_{nf1} = \phi_{np}\,\rho_{np} + (1 - \phi_{np})\rho_{bf} \tag{6.3}$$

$$\rho_{nf2} = \phi_{np1}\,\rho_{np1} + \phi_{np2}\,\rho_{np2} + (1 - \phi_{np1} - \phi_{np2})\rho_{bf} \tag{6.4}$$

Nano partikül ve akışkanların tartımından sonra nano partiküller akışkan içerisine atılmış ve ultrasonik homojenleştirici ile 200 W - 20 kHz kullanılarak 2 saat süreyle homojenleştirme işlemine uygulanmıştır. Nano akışkan numunelerinin hazırlanmasında ve sonrasında homojenleştirilmesinde kullanılan el tipi ultrasonik homojenizatör şekil 6.2'de verilmiştir. Hazırlanan nano akışkanlara stabilite arttırıcı olarak arap sakızı kullanılmıştır. Gerekli miktar olarak toplam partikül miktarının %10'u gram cinsinden olarak nano akışkana takviye edilmiştir.



Şekil 6.2. Hielscher UP200Ht Ultrasonik Homojenleştirici (Dalkılıç vd., 2018)

6.2. Partiküller ve Akışkanların Özellikleri

Deneylerde baz akışkan olarak su ve su-EG karışımı kullanılmıştır. Nano partikül olarak farklı boyutlarda 7 nm,15 nm ve 40 nm ortalama boyutlarında SiO_2, 20 nm ve 50 nm ortalama boyutunda ZnO ve 5 nm ortalama boyutunda ND kullanılmıştır. Stabilite arttırıcı olarak arap sakızı kullanılmıştır. Deneyde kullanılan partikül ve akışkanlara ait özellikler çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Partikül ve Akışkanların Özellikleri (20°C)

Özellik / Nano Partikül / Baz Akışkan	Ortalama Partikül Boyutu (nm)	Yoğunluk (kg / m^3)	Isı İletim Katsayısı (W / m K)	Özgül Isı (J / kg K)	Isıl Yayılım Katsayısı (m^2 / s)	Saflık (%)
SiO_2	7	2200	1.4	765	$0.834x10^{-6}$	98
SiO_2	15	2200	1.4	765	$0.834x10^{-6}$	98
SiO_2	40	2200	1.4	765	$0.834x10^{-6}$	98
ZnO	20	5606	2.5	497	$0.38\ x10^{-6}$	99.9
ZnO	50	5606	2.5	497	$0.38\ x10^{-6}$	99.9
ND	5	3170	1200	680	$3.6\ x10^{-6}$	98
Arap Sakızı	-	1350	-	-	-	99
Saf Su	-	999.1	0.6	4182	0.143×10^{-6}	99.9
%50 Saf Su – %50 EG Karışımı	-	1050.4	0.4108	3499	-	99.8

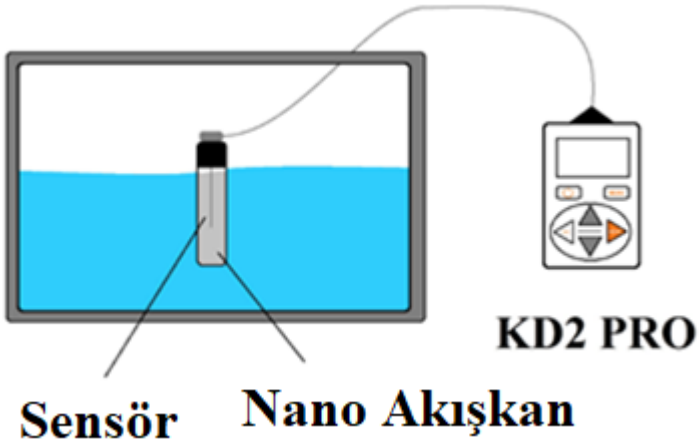
6.3. Deney Cihazları

Deneylerde kullanılan cihazlar ısı iletim katsayısı ölçümü, viskozite ölçümü, stabilite ölçümü (zeta potansiyel ölçümü) ve mikroskobik inceleme olarak dört kategoriye ayrılmaktadır.

6.3.1. Isı İletim Katsayısı Ölçümü

Isı iletim katsayısının ölçülmesinde bilimsel olarak kabul edilmiş bazı yöntemler bulunmaktadır. Sıcak tel metodu, korunmuş sıcak yüzey metodu, yenilenmiş sıcak tel metodu ve lazer ışığı dağılımı metodu bu yöntemlerdendir. Bu çalışmada ısı iletim katsayısının ölçülmesinde sıcak tel metodu ile aynı prensiple çalışan KD 2 Pro cihazından faydalanılmıştır.

Nano akışkan numunelerinin ısı iletim katsayısının ölçülmesinde kullanılan KD 2 Pro cihazı şekil 6.3'te verilmiştir. KD2 Pro cihazı sıvıların ısı iletim katsayısını ölçebildiği gibi katıların da ısı iletim katsayısını ölçebilmektedir. Katılar için ve sıvılar için farklı problar bulunmaktadır. Özellikle yüksek viskoziteli ve düşük viskoziteli sıvıların ısı iletim katsayısı ölçümünde farklı problardan yararlanılır.



Şekil 6.3. KD 2 Pro Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı (Dalkılıç vd., 2018)

Bu yönteme göre gerekli minimum numune miktarı yaklaşık 30 ml'dir. Numune ölçümün yapılması istenen sıcaklığa getirilir ve ısıl dengenin sağlanması için bir süre beklenir. Isıl denge sağlandıktan sonra iğne uçlar nano akışkanın tam merkezine gelecek şekilde konumlandırılır ve cihaz çalıştırılır. Çalışma süresi boyunca cihaz ilk olarak akışkanı ısıtır ve sonrasında soğuma hızını ölçerek ısı iletim katsayısını hata oranı ve akışkanın sıcaklığı ile birlikte verir. Cihaz ölçümü büyük hassasiyetle yaptığından ortamda oluşabilecek en küçük bir titreşim, akışkanın hareketi, sıcaklık değişimi, vb. durumlar cihazın yanlış ölçüm yapmasına sebep olabilir.

Bu cihaz kullanılarak nano akışkanların ısı iletim katsayısı ölçülürken dikkat edilmesi gereken durum nano akışkanın stabil bir durumda olması ve çökelme, topaklanma gibi homojen yapıyı bozacak durumlardan kaçınılmasıdır. Bu nedenle numune ile çalışılmadan önce ultrasonik araçlar kullanılarak homojen yapı sağlanmalıdır.

Cihaza ait en büyük dezavantaj ise nano akışkanlar için 50°C ve daha yüksek sıcaklıklarda buharlaşma daha hızlı olacağından konsantrasyon değişimi nedeniyle doğru verilerin alınmasının oldukça zor olmasıdır. Çalışma koşulu gereği probun yalnızca akışkana değmesi gerekmektedir. Nano akışkanın bulunduğu kabın tamamen yalıtılması bu sebebiyle zordur.

6.3.2. Viskozite Ölçümü

Viskozite ölçümü kapiler tüp viskometresi ve reometre olarak iki kategoriye ayrılmaktadır.

6.3.2.1. Kapiler Tüp Viskometre

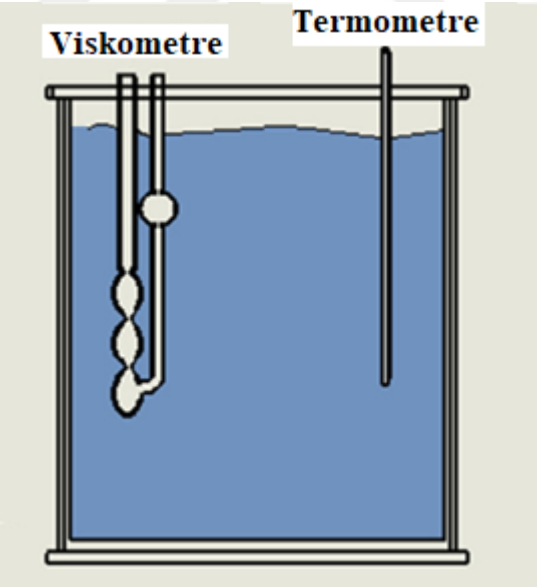
Bu deneyde kullanılan düzeneğin görüntüsü şekil 6.4'te verilmiştir. Bu yöntem akışkanların ölçümünde sıklıkla kullanılmaktadır. Gerek maliyet olarak makul olması gerekse kullanım kolaylığı sebebiyle akışkanların viskozite ölçümünde kullanılmaktadır.

Bu yönteme göre yaklaşık 20 ml'lik bir numune gereklidir. Gerekli numune miktarı kapiler tüpün içerisine alınır ve istenen uygun sıcaklığa getirilerek ısıl dengenin sağlanması

için gerekli bir süre beklenir. Akışkanın kapiler tüp içerisinde hareket ederken firma tarafından belirlenmiş iki farklı nokta arasından geçiş süresi hesaplanır. Her kapiler tüpün kendine özel olan üretici firma tarafından önceden belirlenmiş katsayısı, geçiş süresi ve nano akışkanın yoğunluğu çarpılarak viskozite değerine ulaşılır. İlgili denklem eşitlik 6.6'da verilmiştir.

$$\mu_{nf} = c_x \times t \times \rho_{nf} \tag{6.6}$$

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken nokta kullanılan nano akışkanın homojen yapıda olmasıdır ve bunu sağlamak için öncesinde yüksek frekanslı banyo işlemi uygulanır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise akışkanın Newton tipi olduğundan emin olunmalıdır. Newton tipi olmayan akışkanlar ile bu ölçümün yapılması durumunda yanlış sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 6.4. Kapiler Tüplü Viskometre (Dalkılıç vd., 2018)

6.3.2.2. Reometre

Reometre viskozite ölçümünde kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak birçok farklı parametre uygulanarak viskozite ölçümü yapılabilmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı cihaz maliyetinin yüksek olmasıdır. Bunun yanında uygulanan farklı kesme oranlarında akışkanın verdiği farklı tepkilerin ölçülmesinde de yine reometrelerden faydalanılır.

Reometreler manuel tip ve bilgisayar destekli olarak farklı türlerde görülebilir. Genellikle bilgisayar destekli olanları kullanım kolaylığı ve verilere ulaşım rahatlığı sebebiyle tercih edilmektedir.

Reometrelerde farklı tiplerde ölçüm yapılmasını sağlayan yüzeyler bulunur. Bu yüzeyler akışkanın türü, viskozitesi gibi farklı özelliklerine göre operatör tarafından seçilir. Konik tip, rotor tipi, düzlem tipi gibi çeşitli yüzeyler kullanılarak viskozite ölçümü yapılır. Ayrıca yüzeyler çeşitli boyut ve açılarda üretici tarafından üretilmiştir. Bu yöntemde yüzeyler akışkana uygun olarak seçildikten sonra üretici tarafından belirlenmiş numune miktarı ile ilgili operatöre bilgi verilir ve operatörden numunenin cihaza yerleştirilmesi istenir. Operatör gerekli ön işlemleri tamamladıktan sonra cihaz çalıştırılır ve akışkan öncelikle istenilen sıcaklığa ısıtılır veya soğutulur. Gerekli ısıl denge sağlandıktan sonra operatör tarafından cihaza tanımlanmış kesme oranı, sıcaklık, ölçüm karakteri gibi tanımlamalar yardımıyla cihaz ölçüme başlar. Bu ölçümde akışkan iki farklı yüzey arasında sıkıştırılır ve bir yüzey sabit diğer yüzey kendi ekseni etrafında dönerek akışkanın yüzeye gösterdiği direnç ölçülür.

Reometreler oldukça hassas cihazlardır ve çok küçük değişimleri bile yüksek hassasiyetle ölçebilmektedirler. Bu ölçümde dikkat edilmesi gereken nokta üretici firma tarafından belirlenmiş akışkan miktarının doğru bir şekilde ölçülerek cihaza eklenmesidir. Gerekli miktardan farklı bir miktarın eklenmesi durumunda cihaz ölçümü yanlış yapacaktır.

Reometreler literatürde oldukça kullanılan cihazlardandır. Viskozite ölçümü, yüzey gerilimi ölçümü, akışkanın akış karakterinin belirlenmesi gibi temel görevlerde reometrelerden yararlanılır.

Reometreler atmosferik ortam şartlarında ölçüm yapmaktadır. Ölçüm problarının dönmesi için gerekli olan hava kuru hava tüpleri aracılığıyla sağlanır. İstenilmesi durumunda ölçüm yapılan akışkana dışarıdan soğutma veya ısıtma yapılarak akışkan konsantrasyonunun korunması sağlanabilir. Ayrıca çok hassas ölçüm yapabilen cihazlar olduğundan ortamda oluşabilecek herhangi bir sıcaklık değişimi, hava akışı gibi faktör sonuçların belirlenmesini olumsuz olarak etkileyebilir.

Bu çalışma şekil 6.5'te HAAKE MARS III reometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin değişen özellikleri de göz önüne alınarak plate-plate, cone-plate ve rotor yüzeyler yardımıyla ölçümler alınmıştır.



Şekil 6.5. HAAKE MARS III Reometre

6.3.3. Stabilite (Zeta Potansiyel) Ölçümü

Stabilite nano akışkanlar için oldukça önemli bir özelliktir. Nano akışkanların termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinin yanında bu özelliklerin her durumunda aynı kalması beklenir. Bunun sağlanmasında stabilitenin etkisi oldukça yüksektir.

Stabilite nitel ve nicel olarak ölçülebilir. Literatürde nitel olarak ölçüm yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak stabilitede daha çok kabul edilen ve yaygın olarak kullanılan yöntem nicel yöntemlerdir.

Bu çalışmada stabilitenin ölçümünde zeta potansiyel ölçümü yönteminden faydalanılmıştır. Doğada tüm atom parçacıkları birbirini itme veya çekme eğilimi gösterirler. Zeta potansiyeli parçacıklar arasında oluşan elektrostatik büyüklüğün bir ölçüsüdür. Bu yönteme göre parçacıkların birbirine uyguladığı zeta potansiyeli ölçülerek numunenin stabilitesi hakkında bilgi sahibi olunur. Zeta potansiyeli hem tanenin yüzey yapısından hem de bulunduğu sıvının içeriğinden etkilenir.

Zeta potansiyeli mV olarak ölçülür. Yapılan çalışmalarda zeta potansiyeli 60 mV ve üzerinde mükemmel stabilite, 60 mV ile 30 mV arasında fiziksel stabilite, 30 mV ile 20 mV arasında sınırlı stabilite ve 20 mV ile 0 mV arasında vasat stabilite olmak üzere çeşitli tanımlamalar yapılmıştır (Mahbubul vd., 2015).

Bu çalışma Malvern Nano ZS Zeta Sizer cihazı kullanılarak zeta potansiyel ölçümü yapılmıştır. Nano akışkanlar zeta potansiyel ölçümü yapılmadan hemen önce topaklanmayı ortadan kaldırmak için 5 dakika süreyle ultrasonik banyoda tutulmuştur.

6.3.4. Mikroskobik İnceleme

Mikroskobik inceleme nano akışkanların davranışının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Çünkü termofiziksel özellikler nano partiküllerin boyutlarına ve şekillerine bağlı olarak değişim gösterir. Nano akışkan içerisinde bulunan nano partiküllerin boyut ve şekilleri mikroskobik inceleme ile belirlenir.

Değişen şekil, boyut gibi özelliklerdeki nano partiküllerin nano akışkanlara etkileri de değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin birçok çalışmada küçülen nano partikül çapı ile

birlikte ısı iletim katsayısının arttığı bildirilirken az miktardaki bazı çalışmalarda bu durumun tam tersi bildirilmiştir. Bu durumların incelenmesi mikroskobik inceleme ile mümkün olabilmektedir.

Nano akışkanlar çok farklı ve tahmin edilmesi güç özellikler gösterebilmektedir. Örneğin hibrit olarak hazırlanan bazı nano akışkanlar beklenilenin aksine olduğundan çok daha kötü özellikler gösterebilmektedir. Bir diğer durumda da stabilite arttırıcı kullanılarak hazırlanan bir nano akışkan beklenenin aksine çok daha kötü bir stabilite davranışı gösterebilir. Bu ve buna benzer durumlarda mikroskobik inceleme yardımıyla partiküllerin gösterdiği davranış anlaşılmaya çalışılarak sorun çözülebilir.

Literatürdeki benzer çalışmalarda görüntüleme yapmak üzere TEM, SEM ve FE-SEM gibi çeşitli görüntüleme cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar benzer çalışma şartları gösterse de yetenekleri birbirinden farklıdır. Derinlemesine incelemelerde TEM cihazından faydalanılır ancak öncesinde numunelerin hazırlanması oldukça zahmetli ve zordur. SEM ise daha çok yüzeyin morfolojik incelemelerinde kullanılır. Numune hazırlanması daha kolaydır. FE-SEM'de ise SEM'e kıyasla daha yüksek konsantrasyon ve yüksek çözünürlük elde etmede çok daha başarılıdır.

Bu çalışmada mikroskobik görüntüleme şekil 6.6'de verilen FEI QUANTA - FEG 450 markalı alan emisyon tabancalı taramalı elektron mikroskobu (FEGSEM-EDS) ile yapılmıştır. Mikroskobik inceleme öncesinde numuneler altın kaplama yapılarak mikroskobik görüntülemenin kalitesinin arttırılması sağlanmıştır. Bu sayede çok daha yüksek oranlarda numunelere yaklaşılarak numunelerin yapısının anlaşılması sağlanmıştır.



Şekil 6.6. FEI QUANTA - FEG 450 Taramalı Elektron Mikroskobu

6.4. Deneylerin Yapılması ve Sonuçların Alınması

Bu çalışmada sistemlerde kullanılan nano akışkanların viskozite ve ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimleri, bu değerlere etki eden faktörlerin araştırılması ve tespit edilmesi amaçlanmıştır. Literatürde bu konuda çalışma yapılmış birden çok araştırma mevcuttur. Değişik farklı nano akışkanlarda elde edilen sonuçlar incelendiğinde alınan sonuçların birbiriyle genel olarak tutarlı ve örtüştüğü görülse de birçok istisnanın da varlığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda görüldüğü kadarıyla nano akışkanlarla ilgili genel geçer formül ve incelemelere ulaşmak şu an için pek olası değildir. Bu alanda yapılacak olan çok çeşitli çalışmalar sayesinde konunun anlaşılması ve etkili değişkenlerin belirlenmesi sağlanacaktır. Uygulamada kullanım yerine göre nano akışkanın kullanılmasında sıcaklık, gerekli konsantrasyonun, vb. şartların belirlenmesi sayesinde optimal akışkanın seçimi sağlanabilir.

Deneylerde ısı iletim katsayısının ölçülmesi için kullanılan KD 2 Pro cihazına, Tayland'da bulunan King Mongkut's University of Technology Thonburi laboratuvarı

kullanılarak ulaşılmıştır. Cihaz hem maliyeti hem de ülkemizde nano akışkanların yaygınlaşmamış olması sebebiyle kısıtlı ulaşım imkanına sahiptir.

Deneylerde dinamik viskozite sonuçlarının alınmasında kullanılan kapiler tüplere yine Tayland'da bulunan Mongkut's University of Technology Thonburi laboratuvarı kullanılarak ulaşılmıştır. Bu yöntem yüksek konsantrasyonlu nano akışkanların kullanılması için uygun olmayabilir. Bazı durumlarda yüksek konsantrasyonlu nano akışkanlar Newton tipi olmayan davranış gösterebilir ve bu durumda alınan sonuçlar yanlış olabilir.

Deneylerde kullanılan mikroskobik görüntüleme için Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri biriminin 2019/16 nolu proje desteği ile yüksek görüntüleme özelliklerine sahip bir cihaza sahip olan İstanbul Arel Üniversitesi Polimer Teknolojiler ve Kompozit Uygulamalar ve Araştırma merkezi laboratuvarı kullanıldı. Yine mikroskobik görüntüleme öncesinde numunelerin yüzeylerinin altın kaplama işlemi yine 2019/16 nolu proje desteği ile Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapıldı.

Numunelerin stabil yapısının incelenmesinde yine 2019/16 nolu proje desteği ile Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarları kullanıldı.

Son olarak numunelerin reolojik davranışının belirlenmesinde ve viskozite özelliklerinin anlaşılmasında kullanılan reometre yine 2019/16 nolu proje desteği ile Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan nano akışkan numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı ve viskozite değerlerinin değişimi; farklı konsantrasyon, sıcaklık, partikül boyutu, partikül türü gibi çeşitli parametrelerinin değiştirilmesi ile belirlenmiştir. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile nano akışkanların viskozite ve ısı iletim katsayısının değişiminin anlaşılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI

7.1. Nano Akışkanların Isı İletim Katsayısı Ölçümü Sonuçları

ZnO - SiO_2 ve SiO_2 - ND nano akışkan numuneleri %0.5 ve %1 konsantrasyonlarda ve %50 - %50; %33.3 - %66.6 ve %66.6 - %33.3 nano partikül karışım oranlarında hazırlanmış ve 25^oC, 35^oC, 45^oC için ısı iletim katsayısı ölçümü deneysel olarak yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.

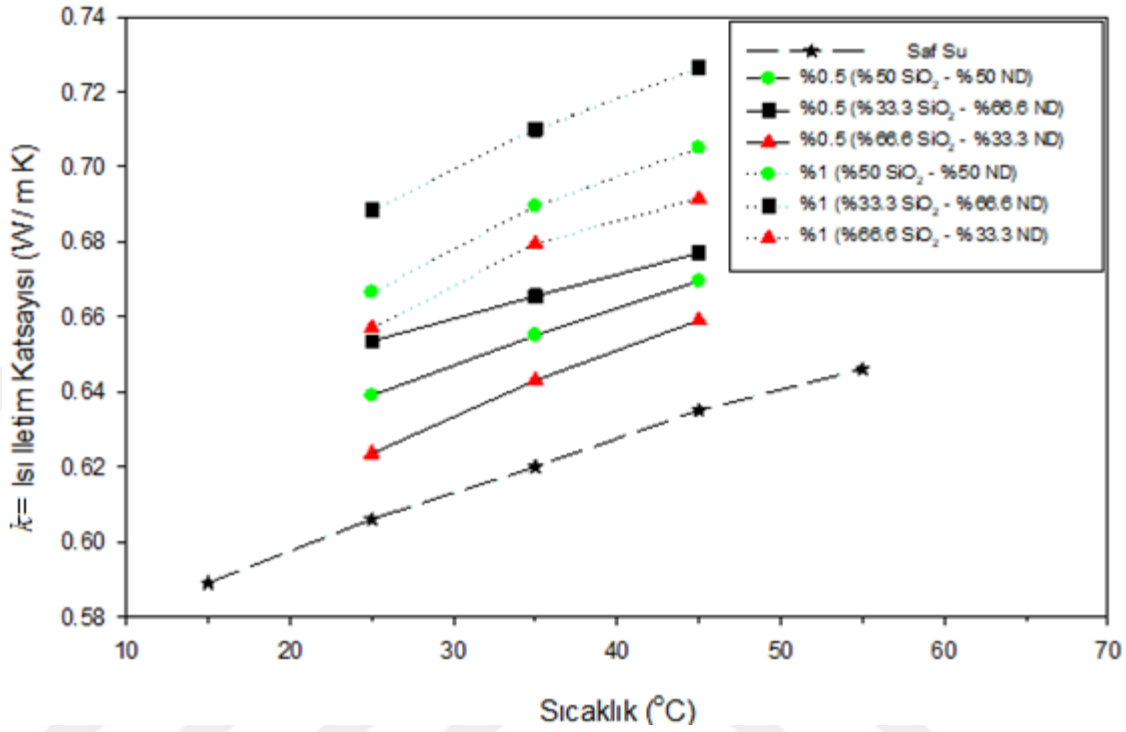
7.1.1. SiO_2 – ND Nano Akışkanının Isı İletimi Ölçümü

SiO_2 - ND hibrit nano akışkan konsantrasyon hesaplanmasında eşitlik 6.2 kullanılmış ve kullanılan nano partikül miktarları ve baz akışkan miktarları çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. SiO_2 - ND Hibrit Nano Akışkan Hazırlanmasında Kullanılan Miktarlar

Nano Partikül / Baz Akışkan Miktarı — Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_2) – Karışım Oranları	SiO_2 Nano Partikül Miktarı (g)	ND Nano Partikül Miktarı (g)	Yüzey İyileştirici Miktarı (g)	Baz Akışkan Miktarı (g)
%0.5 - (%50 SiO_2 - %50 ND)	0.654	0.654	0.131	100
%0.5 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND)	0.464	0.928	0.139	100
%0.5 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND)	0.822	0.411	0.123	100
%1 - (%50 SiO_2 - %50 ND)	1.313	1.313	0.262	100
%1 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND)	0.932	1.864	0.278	100
%1 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND)	1.652	0.826	0.246	100

Şekil 7.1'de SiO_2 - ND hibrit nano akışkanının ısı iletim katsayısının nano partikül konsantrasyonu, sıcaklık ve değişen nano partikül miktarlarıyla değişimi verilmiştir. Ölçümler 25°C, 35°C ve 45°C sıcaklıklarda, %0.5 ve %1 konsantrasyonlarında, %50 SiO_2 - %50 ND, %33.3 SiO_2 - %66.6 ND ve %66.6 SiO_2 - %33.3 ND oranlarında nano partiküller karıştırılarak hazırlanmıştır.



Şekil 7.1. SiO_2 - ND Nano Akışkanının Isı İletim Katsayının Değişimi

Şekil 7.1'e göre SiO_2 - ND nano akışkanının sıcaklık artışı ile ısı iletim katsayısı artmıştır. ND oranının daha fazla olduğu nano akışkanlarda daha yüksek ısı iletim katsayısı ölçülmüştür. Konsantrasyon artışı da ısı iletim katsayısını arttıran diğer bir faktördür.

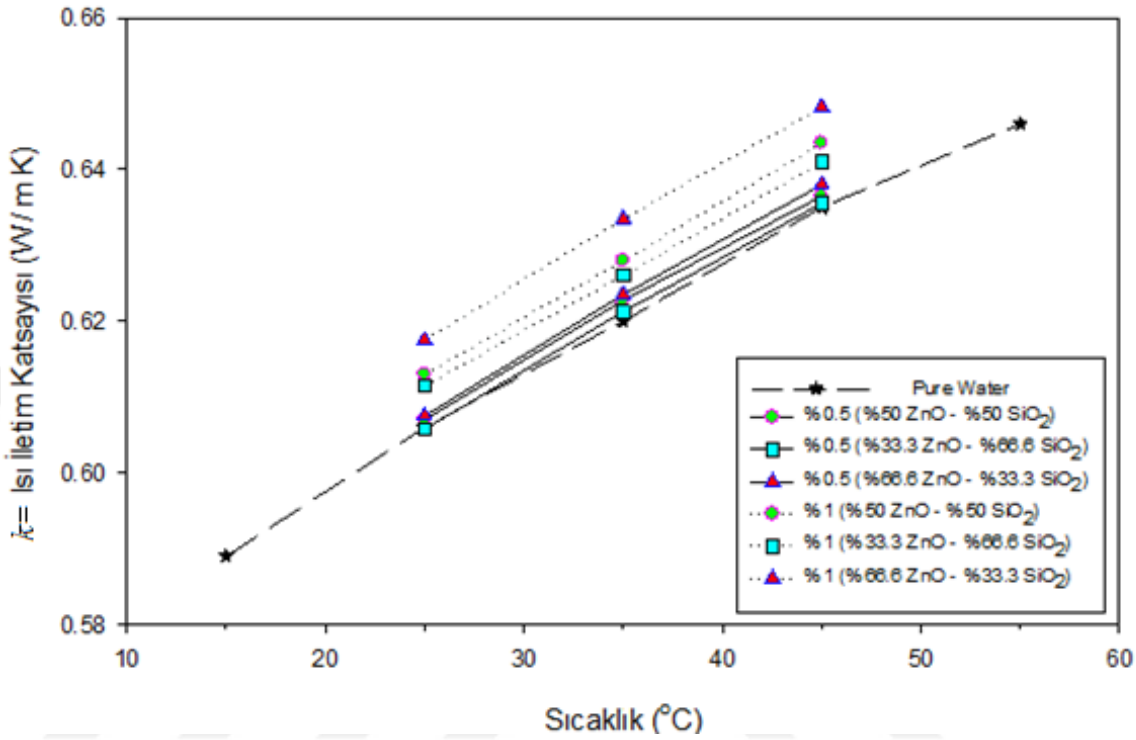
7.1.2. ZnO - SiO_2 Nano Akışkanının Isı İletim Katsayısı Ölçümü

ZnO - SiO_2 hibrit nano akışkan konsantrasyon hesaplanmasında eşitlik 6.2 kullanılmış ve kullanılan nano akışkanın konsantrasyonu, partikül miktarları ve baz akışkan miktarları çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2. ZnO - SiO_2 Hibrit Nano Akışkan Hazırlanmasında Kullanılan Miktarlar

Nano Partikül / Baz Akışkan Miktarı Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_2) – Karışım Oranları	ZnO Nano Partikül Miktarı (g)	SiO_2 Nano Partikül Miktarı (g)	Yüzey İyileştirici Miktarı (g)	Baz Akışkan Miktarı (g)
%0.5 - (%50 ZnO -%50 SiO_2)	0.795	0.795	0.159	100
%0.5 - (%33.3 ZnO -%66.6 SiO_2)	0.621	1.242	0.311	100
%0.5 - (%66.6 ZnO -%33.3 SiO_2)	0.926	0.463	0.139	100
%1 - (%50 ZnO -%50 SiO_2)	1.598	1.598	0.318	100
%1 - (%33.3 ZnO -%66.6 SiO_2)	1.247	2.494	0.622	100
%1 - (%66.6 ZnO -%33.3 SiO_2)	1.860	0.930	0.278	100

Şekil 7.2 ZnO ve SiO_2 nano partiküllerini içeren nano akışkanın ısı iletkenliğinin değişimini göstermektedir. Nano akışkan örnekleri, %0.5 ve %1 konsantrasyonlarında, (%50 ZnO -%50 SiO_2), (%33.3 ZnO -%66.6 SiO_2) ve (%66.6 ZnO -%33.3 SiO_2) karışım oranlarında hazırlanmıştır.



Şekil 7.2. ZnO - SiO_2 Nano Akışkanının Isı İletim Katsayısının Değişimi

Şekil 7.2'ye göre ZnO - SiO_2 nano akışkanı için artan sıcakla birlikte ısı iletim katsayısı da artmıştır. Konsantrasyon artışı ile birlikte ısı iletim katsayısı artış göstermiştir. ZnO nano partikülünün oranının daha yüksek olduğu nano akışkanlarda ısı iletim katsayısı da daha yüksektir.

7.2. Nano Akışkanların Viskozite Ölçümü

SiO_2 nano partikülü içeren nano akışkan numuneleri, 7nm, 15nm ve 40nm ortalama nano partikül boyutları kullanılarak %1 ve %2 konsantrasyonlarında; ZnO nano partikülleri içeren nano akışkan numuneleri 50 nm ve 20 nm ortalama partikül çaplarında ve %0.5 ve %1 konsantrasyonlarda hazırlanmış ve 25°C, 35°C, 45°C için viskozite değerleri deneysel olarak ölçülmüştür.

7.2.1. SiO_2 Nano Akışkanının Viskozite ve Davranış Ölçümü

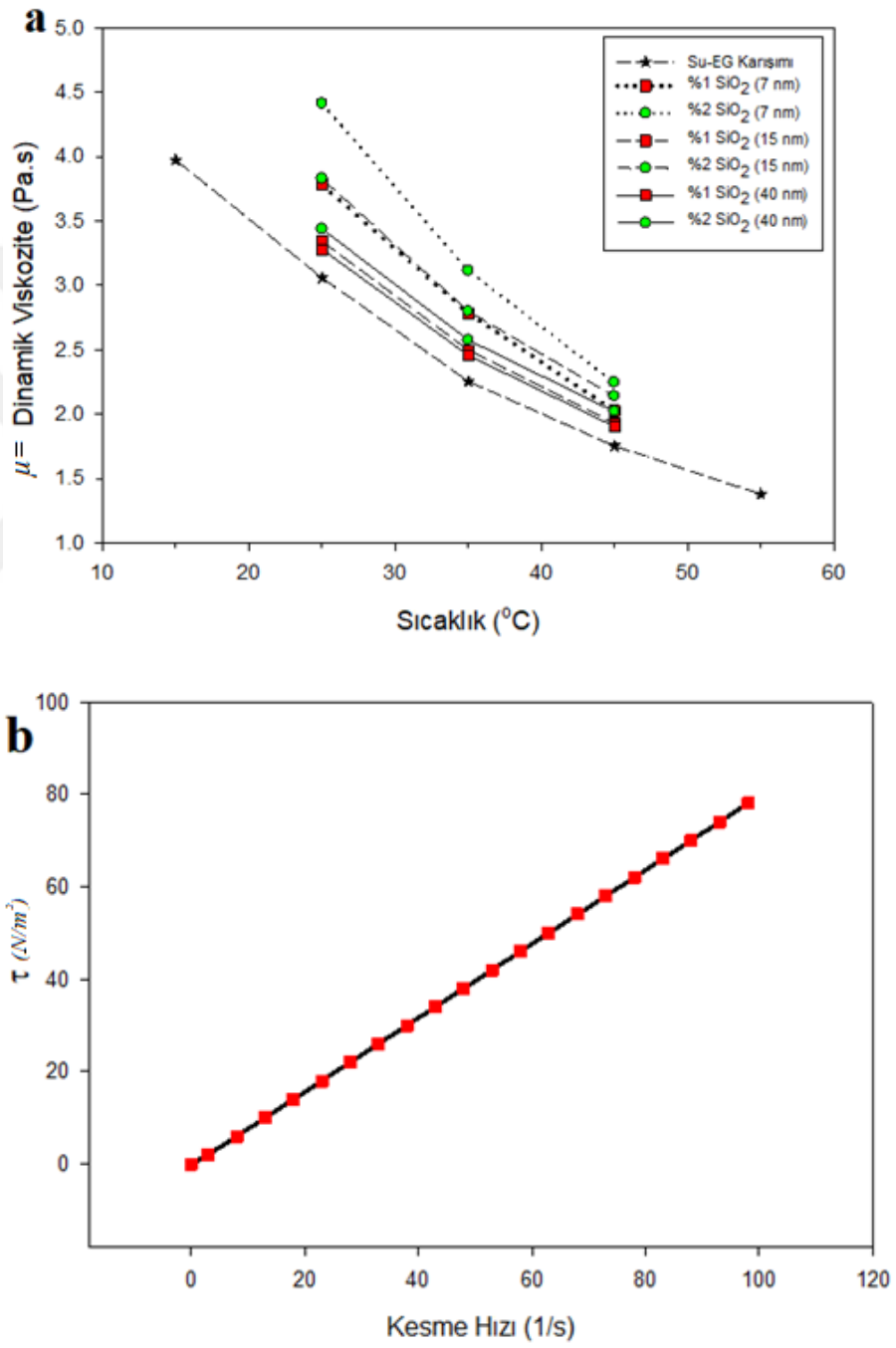
SiO_2 nano akışkanının konsantrasyon hesaplanmasında eşitlik 6.1 kullanılmış, nano akışkanının hazırlanmasında kullanılan gerekli baz akışkan ve nano partikül miktarları çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. SiO_2 Nano Akışkan Hazırlanmasında Kullanılan Miktarlar

Nano Partikül / Baz Akışkan Miktarı — Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_1) – Partikül Boyutu	SiO_2 Nano Partikül Miktarı (g)	Stabilite Arttırıcı Miktarı (g)	Baz Akışkan Miktarı (g)
%1 - SiO_2 (7nm)	2.116	0.212	100
%1 - SiO_2 (15nm)	2.116	0.212	100
%1 - SiO_2 (40nm)	2.116	0.212	100
%2 - SiO_2 (7nm)	4.275	0.428	100
%2 - SiO_2 (15nm)	4.275	0.428	100
%2 - SiO_2 (40nm)	4.275	0.428	100

Şekil 7.3'te SiO_2 nano partikül kullanılarak hazırlanmış nano akışkana ait dinamik viskozite (a) ve kesme oranı-kesme gerilmesi değişimi (b) gösterilmektedir, tüm numuneler Newton tipi akış özelliği gösterdiğinden genel değişim grafiği şekil 7.3 (b)'de verilmiştir. Baz akışkan olarak %50 saf su %50 etilen glikol karışımı kullanılmıştır. Partikül olarak SiO_2

nano partikülü 7 nm, 15 nm ve 40 nm ortalama boyutlarında kullanılarak nano akışkanlar hazırlanmıştır. Nano akışkanlar %1 ve %2'lik konsantrasyonlarda hazırlanmıştır.



Şekil 7.3. SiO_2 Nano Akışkanının a) Viskozite Değişimi, b) Kesme Gerilmesi-Kesme Hızı Değişimi

Şekil 7.3 - a viskozite değişimi grafiğine göre SiO_2 nano akışkanı için sıcaklık artışı ile birlikte viskozite azalmıştır. Yüksek konsantrasyon viskoziteyi arttırmaktadır. Küçülen nano partikül boyutu viskoziteyi arttıran bir diğer faktördür. Tüm örnekler saf baz akışkandan daha yüksek viskozite değerleri göstermişlerdir.

Şekil 7.3 - b kesme gerilmesi - kesme hızı değişimi grafiğine göre artan kesme gerilmesi ile birlikte kesme hızı değişimi de lineer bir değişim göstermektedir. Bu değişim nano akışkanının Newton tipi akış özelliği davranışına sahip olduğunu göstermektedir.

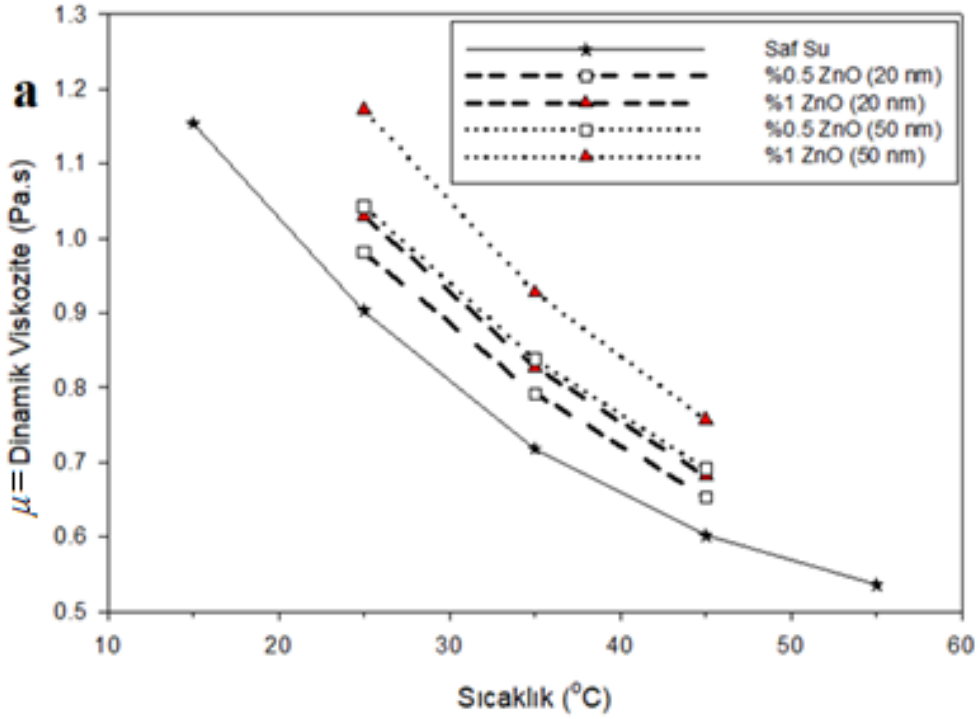
7.2.2. ZnO Nano Akışkanının Viskozite ve Davranış Ölçümü

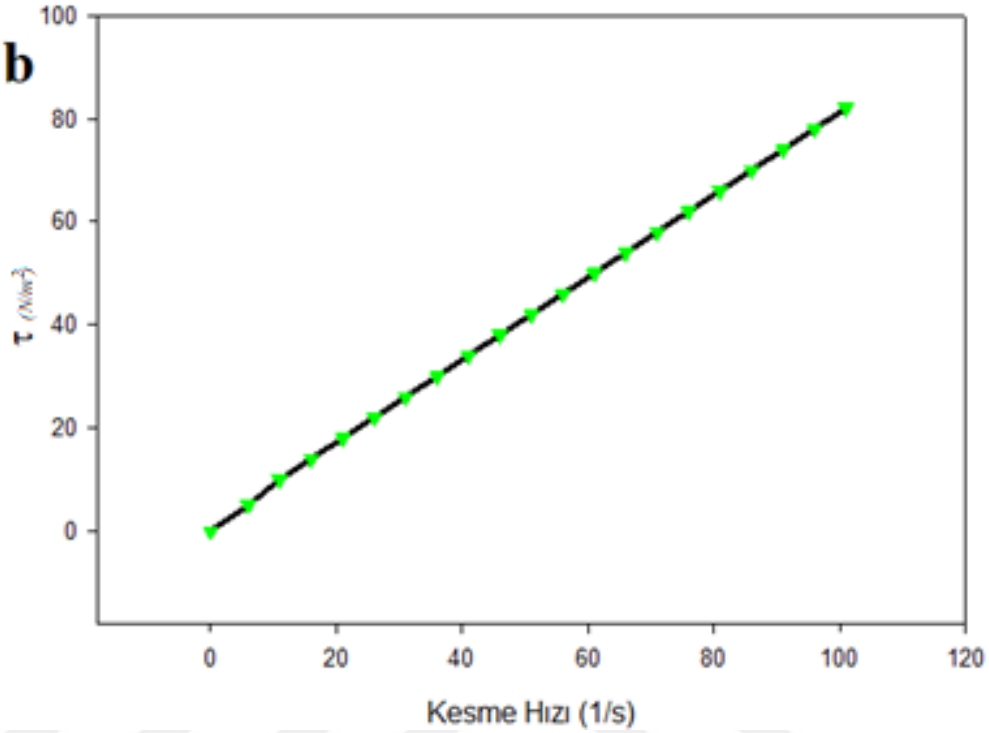
ZnO nano akışkanının konsantrasyon hesaplanmasında eşitlik 6.1 kullanılmış, nano akışkanının hazırlanmasında kullanılan gerekli baz akışkan ve nano partikül miktarları çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. ZnO Nano Akışkan Hazırlanmasında Kullanılan Miktarlar

Nano Partikül / Baz Akışkan Miktarı — Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_1) – Partikül Boyutu	ZnO Nano Partikül Miktarı (g)	Stabilite Arttırıcı Miktarı (g)	Baz Akışkan Miktarı (g)
%0.5 – ZnO (20nm)	2.825	0.282	100
%0.5 - ZnO (50nm)	2.825	0.282	100
%1 - ZnO (20nm)	5.670	0.567	100
%2 - ZnO (50nm)	5.670	0.567	100

Şekil 7.4 (a) ZnO nano partikülleri kullanılarak hazırlanmış nano akışkanların viskozite değişimini göstermektedir. Newton tipi akış özelliği gösterdiğinden genel değişim grafiği şekil 7.4 (b)'de verilmiştir. Nano akışkanlar %0.5 ve %1 konsantrasyonlarında 20 nm ve 50 nm ortalama boyuta sahip nano partiküller kullanılarak hazırlanmıştır. Baz akışkan olarak saf su kullanılmıştır.





Şekil 7.4. ZnO Nano Akışkanının a) Viskozite ve b) Newton Tipi Akış Değerinin Değişimi

Şekil 7.4 ZnO nano akışkanının a) viskozite grafiğine göre tüm örnekler beklendiği gibi saf baz akışkandan daha yüksek viskozite göstermiştir. Artan sıcaklıkla birlikte viskozite azalmıştır. Konsantrasyon artışı viskoziteyi attıran bir faktördür. Büyüyen nano partikül boyutu ile viskozite artmıştır. Bu literatürde genel olarak karşılaşılan bir durum değildir. Genellikle küçülen nano partikül boyutu ile birlikte viskozitenin artması beklenir. Ancak benzer durumların görüldüğü çalışmalar da vardır. Bu durumun oluşmasının sebebi farklı nano partiküllerin birbirinden farklı yoğunluk, üretim yöntemi ve nano partikül yapısı gibi değişik özelliklere sahip olmasıdır.

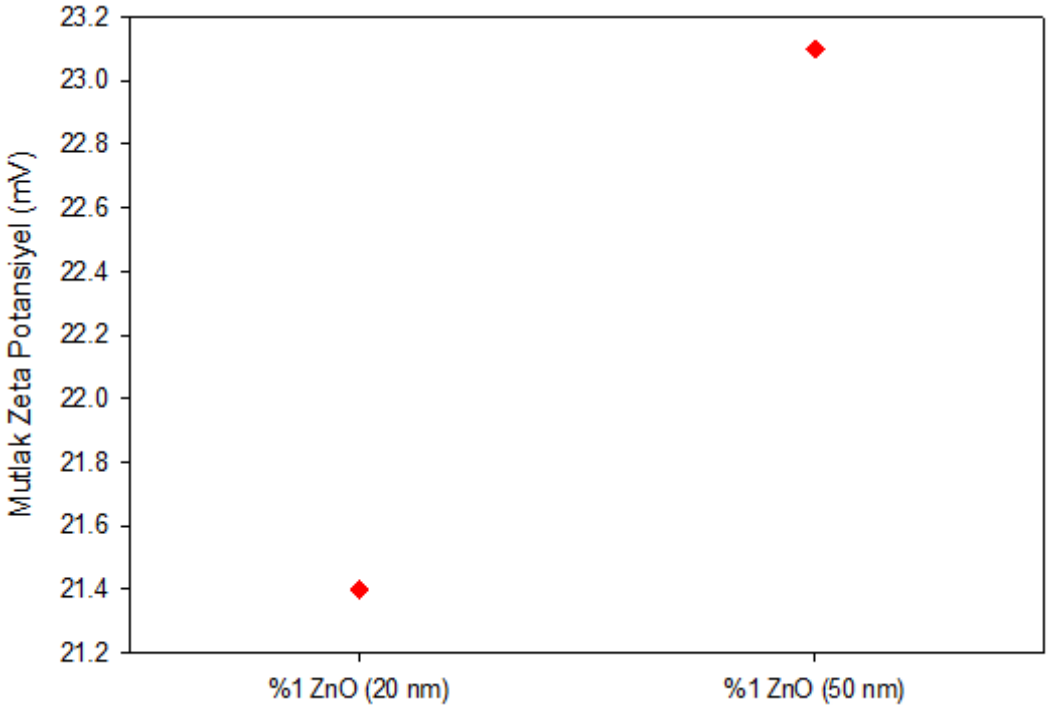
Şekil 7.4 b'ye göre ZnO nano akışkanı kesme hızı – kesme gerilmesi değişimi lineerdir. Bu ZnO nano akışkanı örneklerinin Newton tipi akış özelliğine sahip oluğunu göstermektedir.

7.3. Zeta Potansiyel Ölçümü

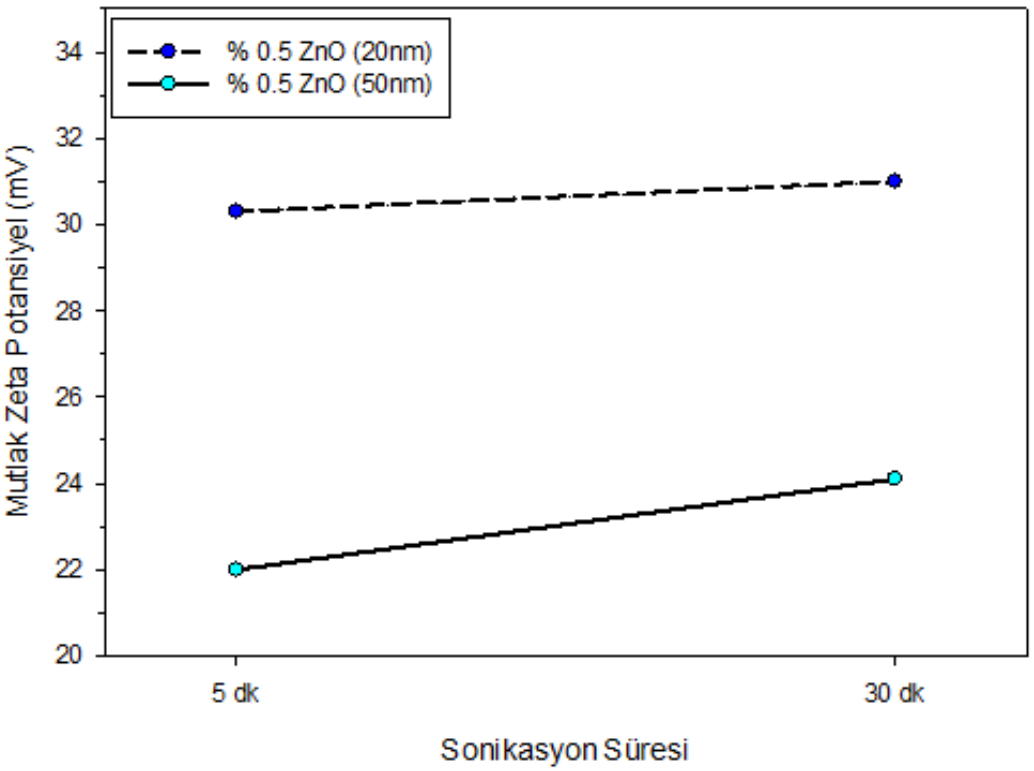
ZnO, SiO_2 , SiO_2 - ND, SiO_2 - ZnO nano akışkanlarının zeta potansiyel ölçümü aşağıda incelenmiştir.

7.3.1. ZnO Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü

%1 - ZnO (20 nm) ve %1 - ZnO (50 nm) şekil 7.5'te, %0.5 - ZnO nano akışkanının zeta potansiyel değerinin partikül boyutu ve ultrasonik banyo kullanımıyla değişimi şekil 7.6'da verilmiştir. Ölçümden önce numuneler 5 dakika süreyle ultrasonik banyoda tutulmuş ve sonrasında zeta potansiyel ölçümü alınmıştır.



Şekil 7.5. %1 - ZnO Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Partikül Boyutuyla Değişimi

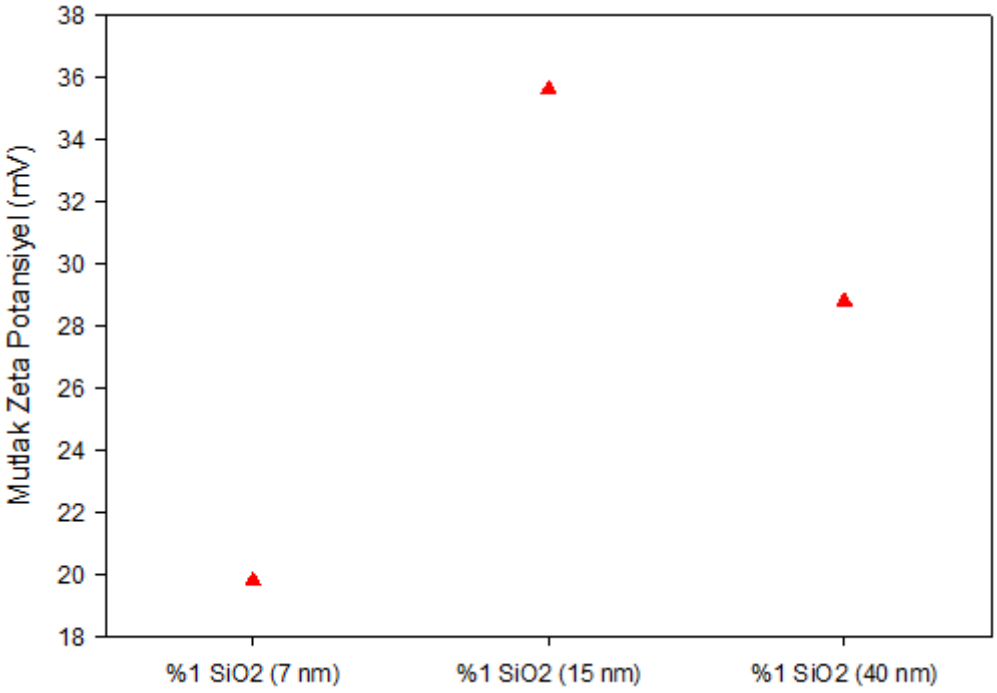


Şekil 7.6. %0.5 - ZnO Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Partikül Boyutu ve Ultrasonik Banyo Kullanımıyla Değişimi

Aynı şartlar altında %1 - ZnO (20 nm), %1 - ZnO (50 nm)'den stabilizasyonu daha yüksektir. %0.5 - ZnO nano akışkanı için ise ultrasonik banyo kullanımıyla zeta potansiyel değeri arasında kayda değer bir değişim görülmemiştir.

7.3.2. SiO_2 Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü

Şekil 7.7 %1 - SiO_2 (7 nm), %1 - SiO_2 (15 nm) ve %1 - SiO_2 (40 nm) nano akışkanlarına aittir. Ölçümden önce 30 dakika süreyle nano akışkanlar ultrasonik banyoda bekletilmiş olup sonrasında ölçüm yapılmıştır.

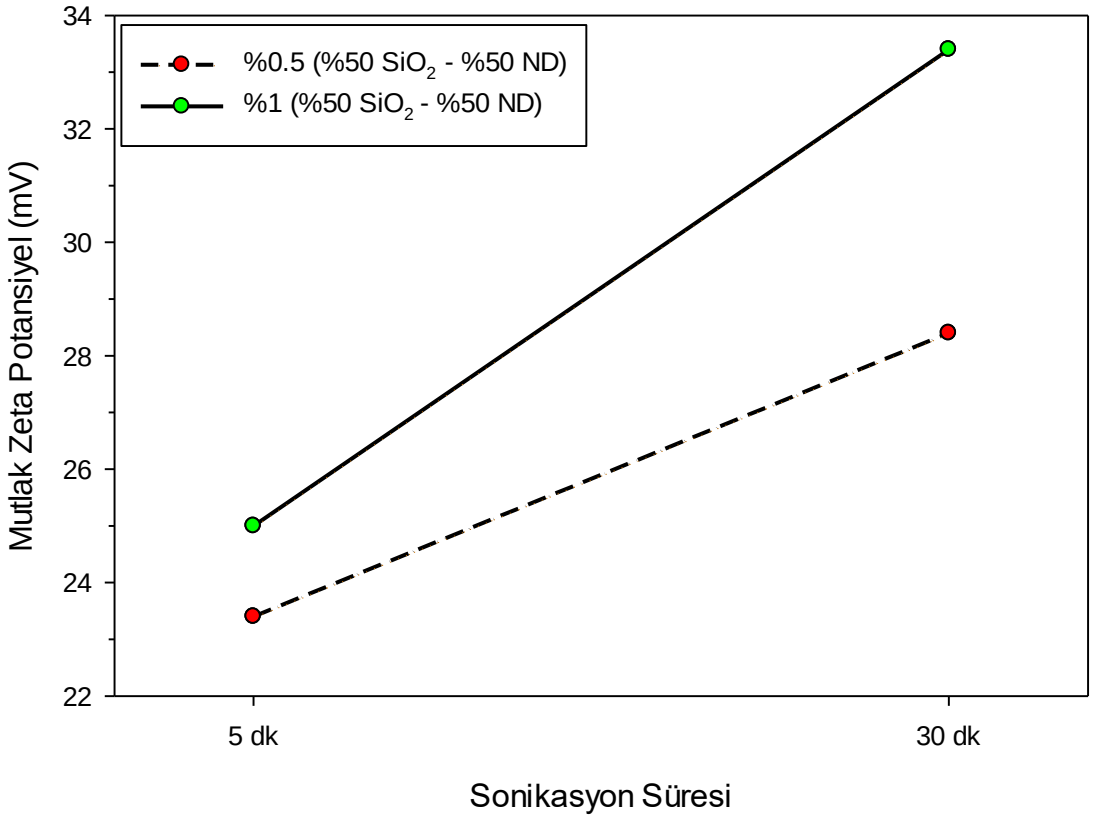


Şekil 7.7. %1 - SiO_2 Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Partikül Boyutuyla Değişimi

Zeta potansiyel ölçümlerine göre en stabil yapı büyüklükten küçüğe sırasıyla %1 - SiO_2 (15 nm), %1 - SiO_2 (40 nm) ve %1 - SiO_2 (7 nm) şeklindedir. %1 SiO_2 nano akışkanları arasında nano partikül boyutu ile stabilite arasında herhangi bir lineer ilişki tespit edilememiştir.

7.3.3. SiO_2-ND Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü

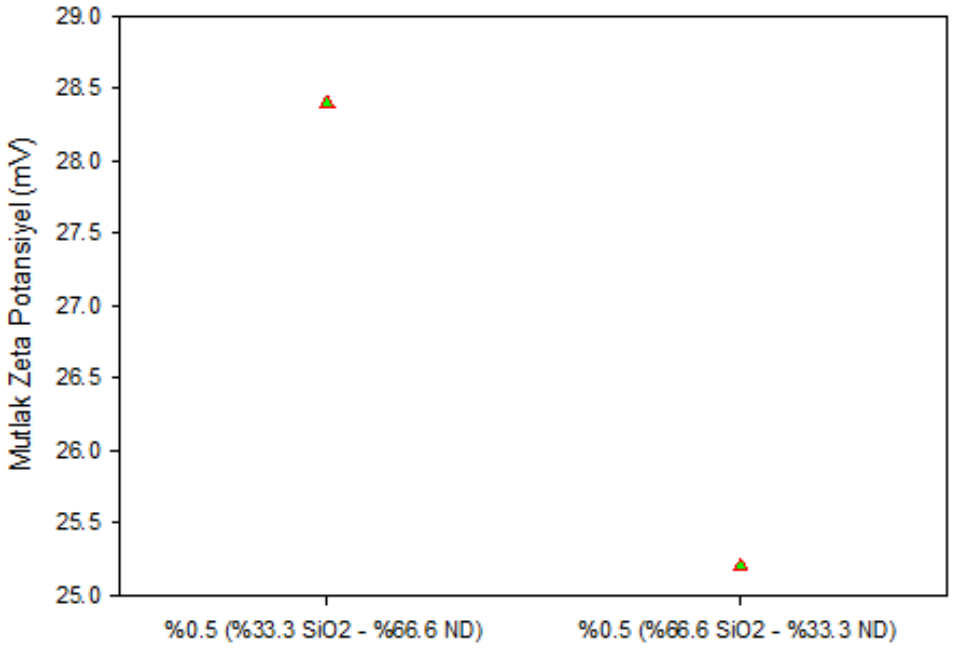
Aşağıda verilen şekil 7.8'de %0.5 - (%50 SiO_2 – %50 ND) nano akışkan ile %1 - (%50 SiO_2 – %50 ND) nano akışkanının farklı şartlardaki zeta potansiyel ölçümleri verilmiştir. Sonuçlara göre %0.5 - (%50 SiO_2 – %50 ND) nano akışkanı öncelikle ultrasonik banyo kullanılmadan sonrasında ise 5 dakika ultrasonik banyoda kullanılarak zeta potansiyel değeri ölçülmüştür. Aynı şekilde %1 - (%50 SiO_2 – %50 ND) nano akışkanına öncelikle ultrasonik 5 dakika banyo kullanılarak, sonrasında 30 dakika ultrasonik banyo kullanılarak zeta potansiyel ölçümü uygulanmıştır.



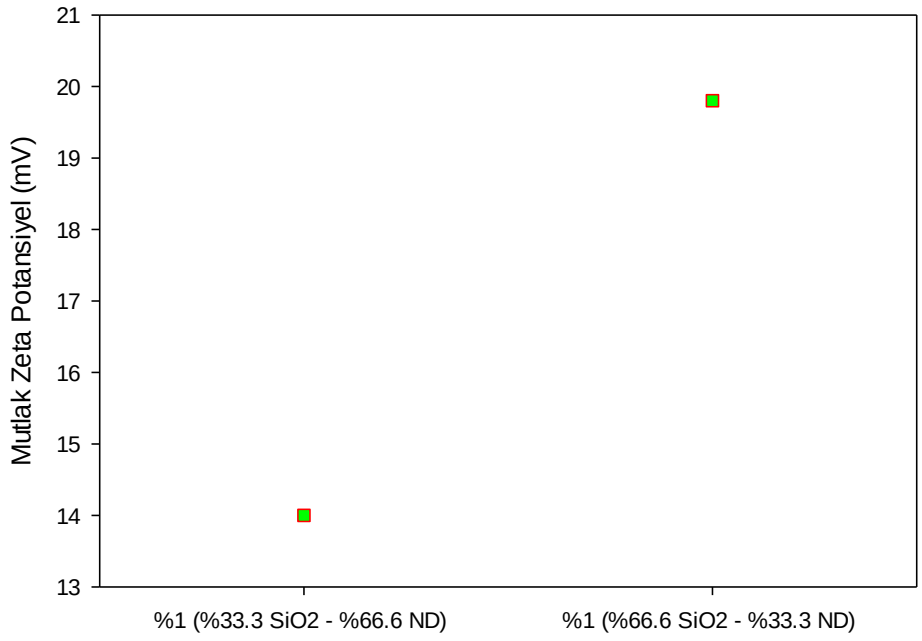
Şekil 7.8. %0.5 - (%50 SiO_2 – %50 ND) ve %1 - (%50 SiO_2 – %50 ND) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değerinin Konstrasyon ve Ultrasonik Banyo Kullanımıyla Değişimi

Şekil 7.8'e göre beklenildiği üzere artan konsantrasyonla birlikte stabilite azalmıştır. Yine literatürde de yer verildiği gibi artan sonikasyon süresi ile birlikte nano akışkanlar daha stabil yapılar göstermiştir.

Şekil 7.9'da %1 - (%33.3 SiO_2 – %66.6 ND) ve %0.5 - (%66.6 SiO_2 – %33.3 ND), şekil 7.10'da %1 - (%33.3 SiO_2 – %66.6 ND) ve %0.5 - (%66.6 SiO_2 – %33.3 ND) nano akışkanlarının zeta potansiyel değişimleri verilmiştir.



Şekil 7.9. %0.5 - (%33.3 SiO_2 – %66.6 ND) ve %0.5 - (%66.6 SiO_2 – %33.3 ND) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değeri

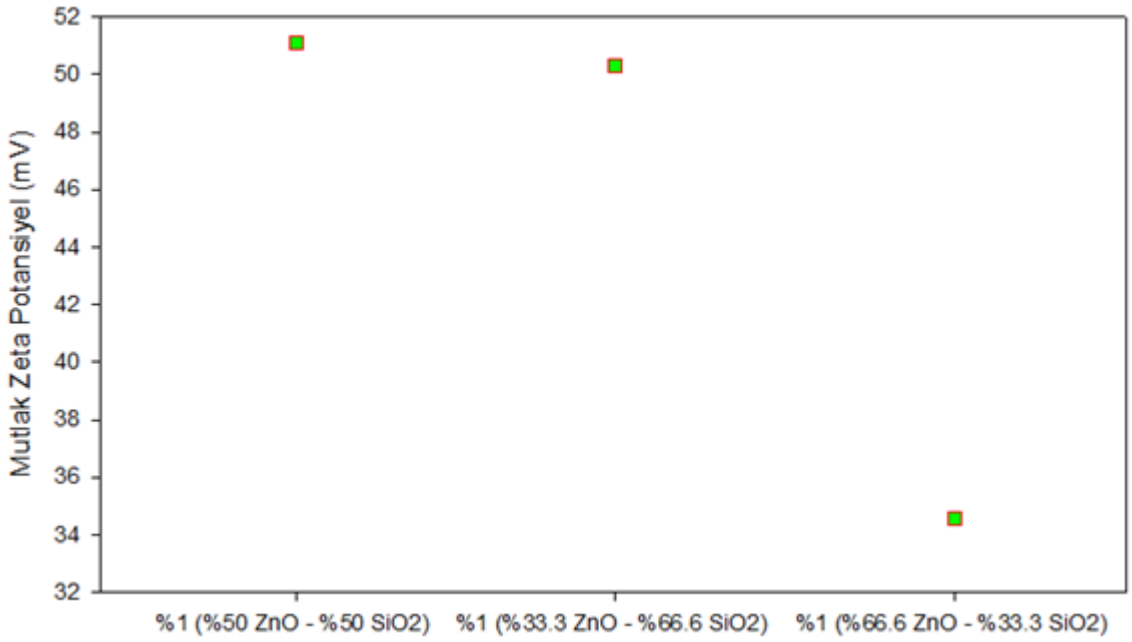


Şekil 7.10. %1 - (%33.3 SiO_2 – %66.6 ND) ve %1 - (%66.6 SiO_2 – %33.3 ND) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değeri

Şekil 7.9 ve şekil 7.10' a göre farklı konsantrasyonlara sahip SiO_2 – ND nano akışkanı için stabilite ile SiO_2 – ND nano partikül oranı arasında herhangi bir ilişki gözlenmemiştir. Ancak artan konsantrasyonla birlikte stabilite azalmıştır. Birim hacimde bulunan nano partikül miktarı arttığı için baz akışkanın nano partikül taşıyabilme kabiliyeti azalmıştır.

7.3.4. ZnO - SiO_2 Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Ölçümü

Şekil 7.11'de %1 - (%50 ZnO – %50 SiO_2), %1 - (%33.3 ZnO – %66.6 SiO_2) ve %1 - (%66.6 ZnO – %33.3 SiO_2) nano akışkanının zeta potansiyel değişimleri verilmiştir. Ölçülmüş en yüksek zeta potansiyel değeri %1 – (%50 ZnO - %50 SiO_2) nano akışkanı için ölçülmüştür.



Şekil 7.11. %1 - (%50 ZnO – %50 SiO_2), %1 - (%33.3 ZnO – %66.6 SiO_2) ve %1 - (%66.6 ZnO – %33.3 SiO_2) Nano Akışkanının Zeta Potansiyel Değeri

Şekil 7.11'e göre %1 konsantrasyona sahip ZnO – SiO_2 nano akışkanı için ZnO – SiO_2 nano partikül oranları ile stabilite arasında herhangi bir lineer ilişki gözlenmemiştir. En

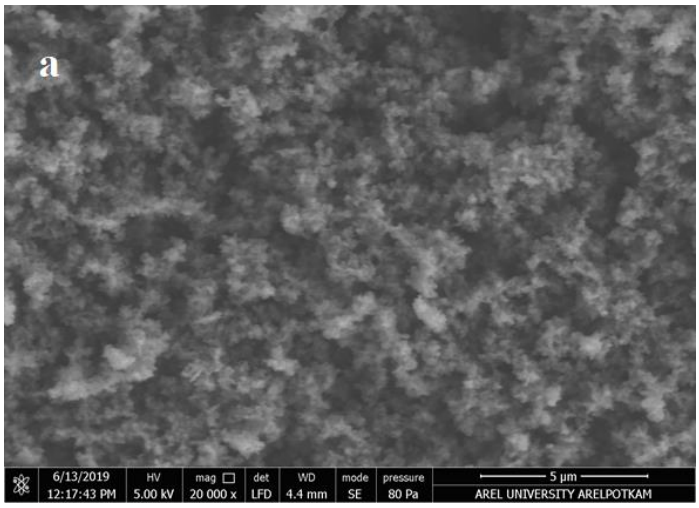
yüksek stabilite %1 - (%50 ZnO – %50 SiO_2) nano akışkanı için ölçülmüştür ve literatürde kabul edilen oldukça yüksek bir değere sahiptir.

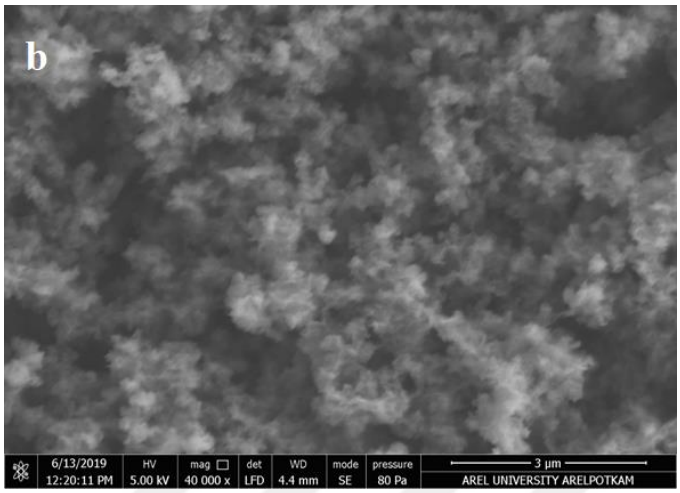
7.4. FE-SEM ile Mikroskobik İnceleme

ZnO, SiO_2, ZnO – SiO_2, SiO_2 – ND nano akışkanlarının mikroskobik görüntüleri aşağıda incelenmiştir.

7.4.1. ZnO Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi

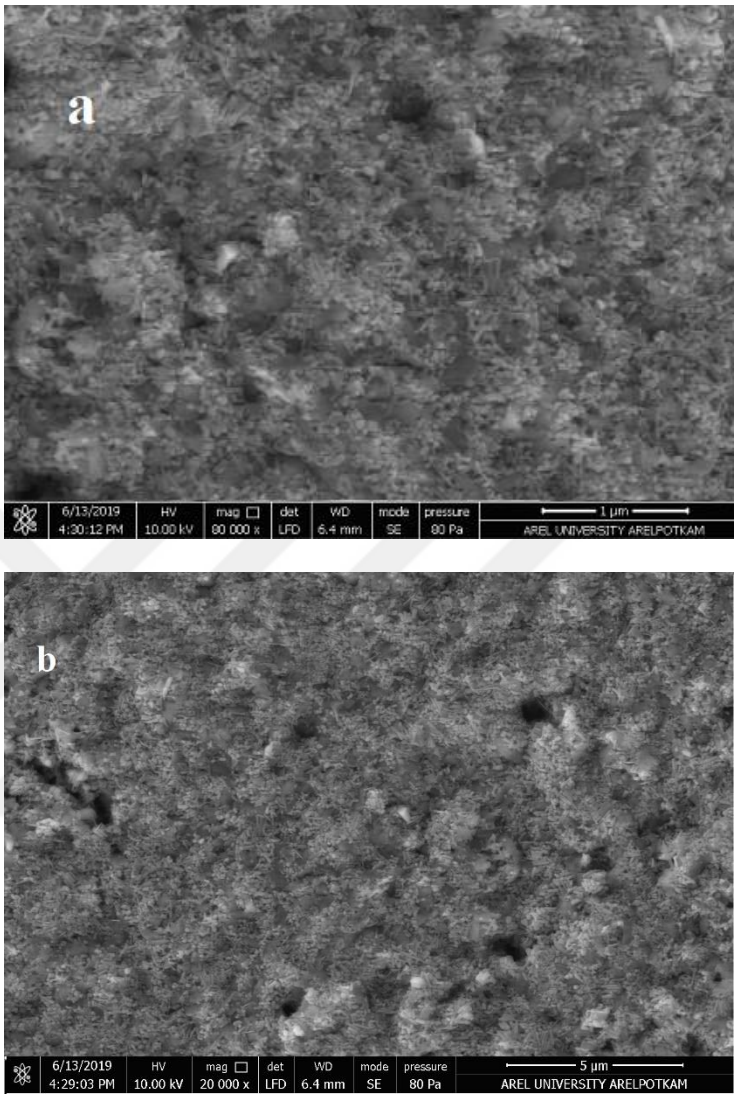
Aşağıda verilen şekil 7.12 %0.5 - ZnO 20 nm ve %1 ZnO - 20 nm akışkanına aittir. FE-SEM görüntüleri %0.5 - ZnO 20 nm nano akışkanı için 20.000 kat yakınlaştırılarak, 80 Pa basınç altında ve numuneden 4.4 mm uzaklıktan alınmıştır. %0.5 - ZnO 20 nm nano akışkanı için ise 40.000 kat yakınlaştırılarak, 80 Pa basınç altında ve numuneden 4.4 mm uzaklıktan alınmıştır. ZnO partiküllerinin düzensiz bir şekle sahip oldukları görülmekle birlikte, genel kanı yapılarının küresele yakın düzensiz yapılar olduğu yönündedir.





Şekil 7.12. a) %0.5 - ZnO (20 nm) ve b) %1 - ZnO (20 nm) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü

Aşağıda verilen şekil 7.13 %0.5 ZnO (50nm) ve %1 ZnO (50 nm) akışkanına aittir. %0.5 ZnO (50nm) için görüntüler numuneden 6.4 mm uzaklıktan alınmış, sistem basıncı 80 Pa'dır ve 80.000 kat yaklaşılarak görüntüleme yapılmıştır. %1 ZnO (50 nm) nano akışkanı için ise 20.000 kat yaklaşılarak, 6.4 mm uzaklıktan ve 80 Pa basınç altında görüntüleme yapılmıştır. Yapılan görüntülemede partiküllerin yapısının düzensiz bir yapıda olduğu ve genel olarak düzensiz küresel şekiller görülmektedir.

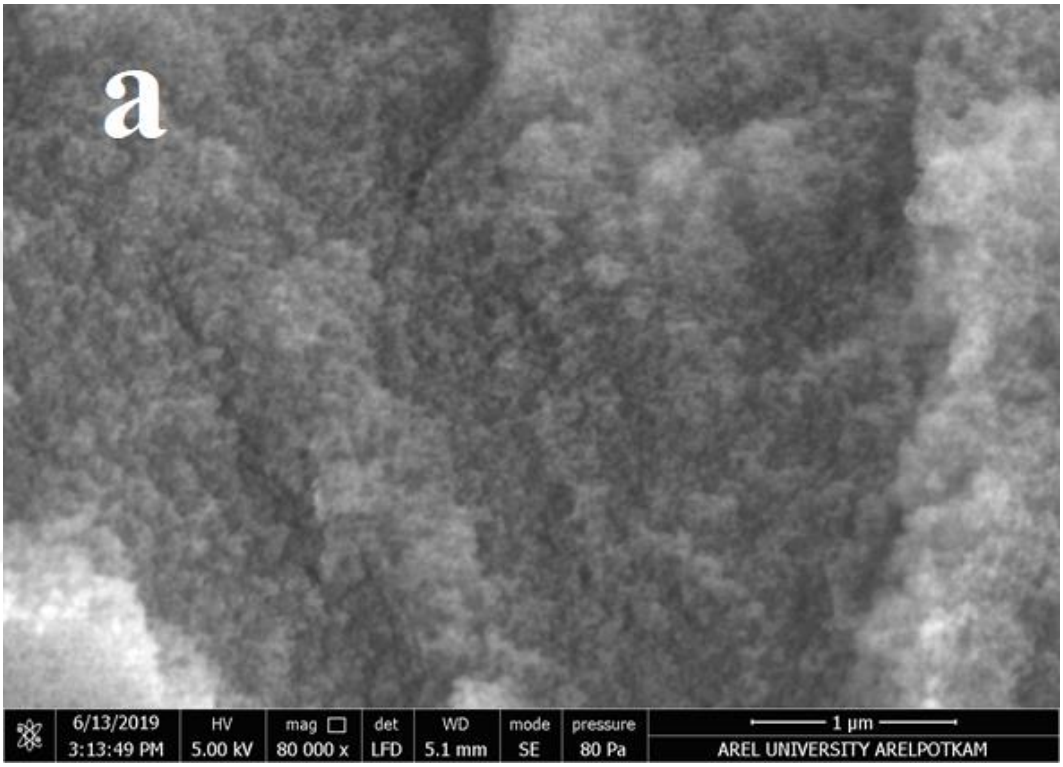


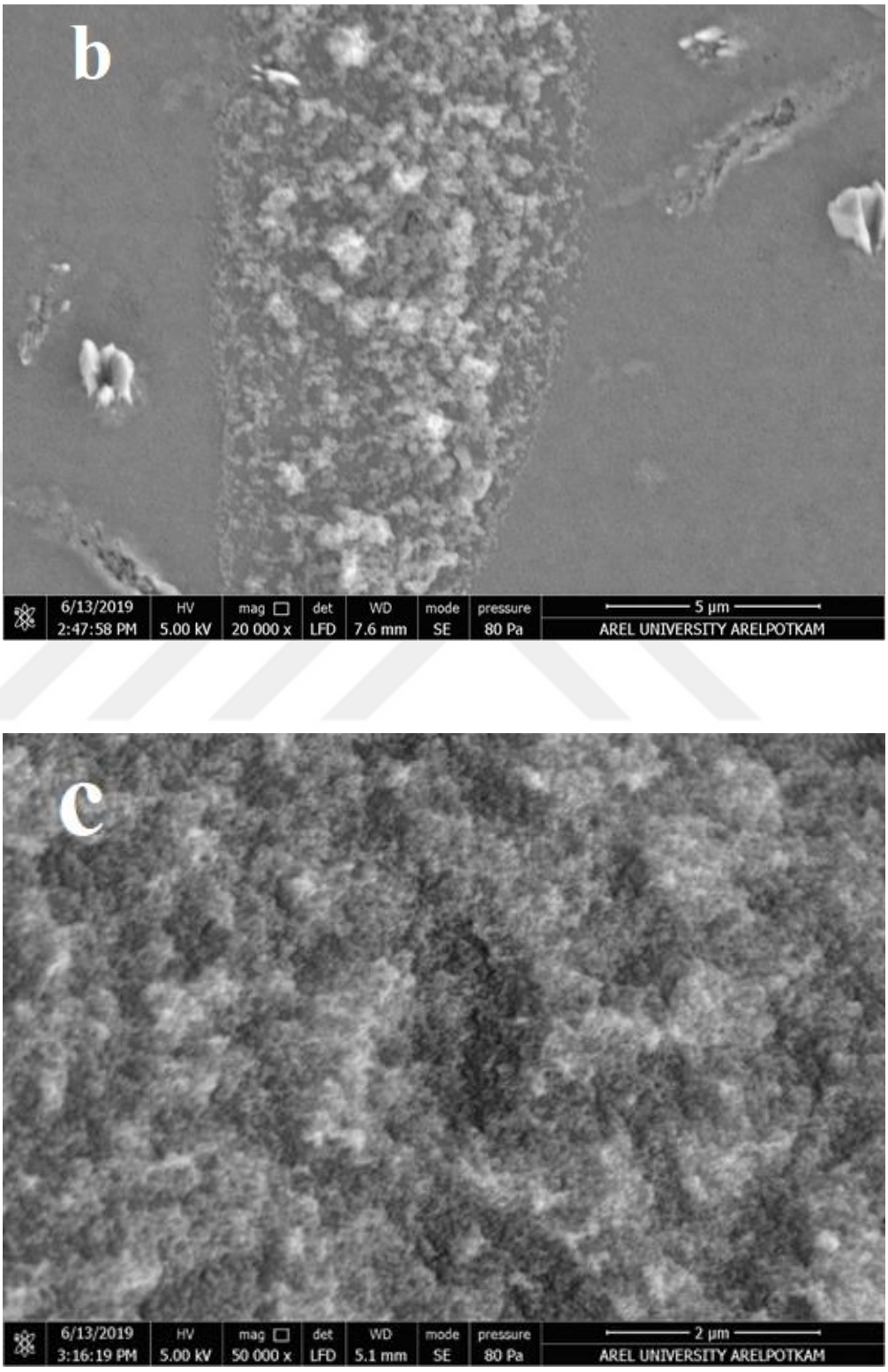
Şekil 7.13. a) %0.5 - ZnO (50 nm) ve b) %1 - ZnO (50 nm) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü

7.4.2. SiO_2 Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi

Şekil 7.14'te verilen FE-SEM görüntüsü %1 - SiO_2 (7 nm), %1 - SiO_2 (15 nm), %1 - SiO_2 (40 nm) nano akışkanına aittir. %1 - SiO_2 (7 nm) için görüntüleme 80 Pa basınçta, 5.1 mm uzakta ve 80.000 kat yakınlaştırılarak, %1 - SiO_2 (15 nm) için 80 Pa basınç altında, 7.6 mm uzaklıktan, 20.000 kat yaklaştırılarak ve %1 - SiO_2 (40 nm) nano akışkanı için 80 Pa

altında, 5.1 mm uzaklıktan 50.000 kat yaklaştırılarak elde edilmiştir. Bu görüntülemelere göre SiO_2 parçacıkları genel olarak küresel yapılar göstermekle birlikte tam olarak düzenli bir yapıya sahip değildir.

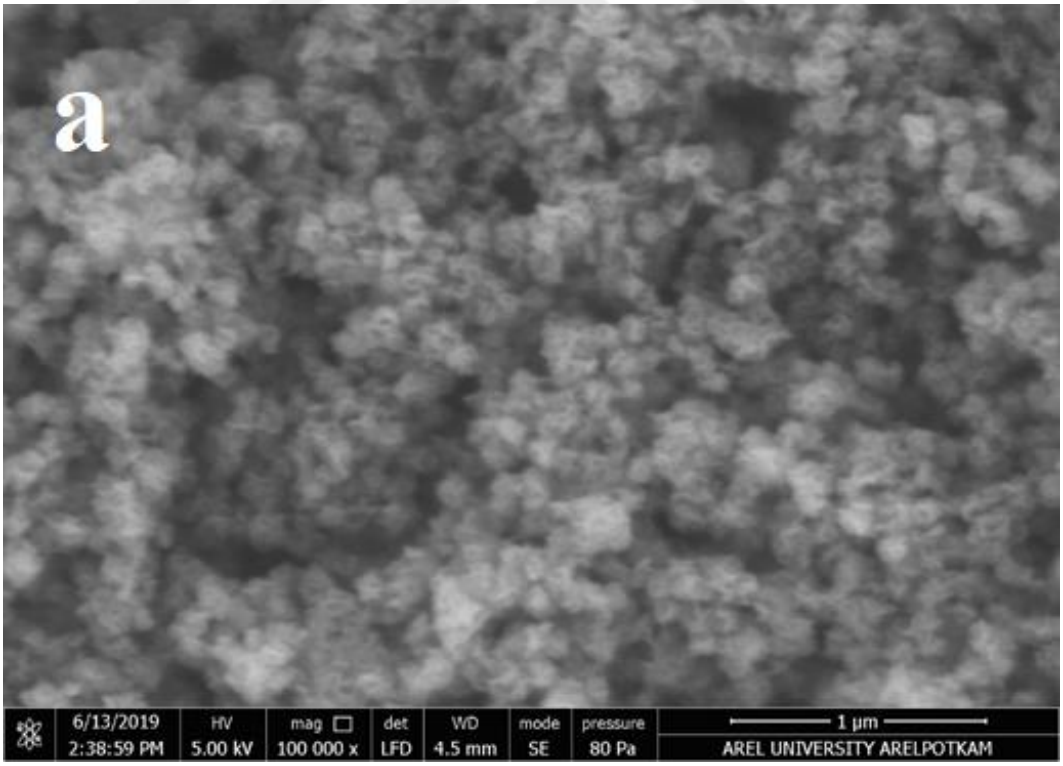


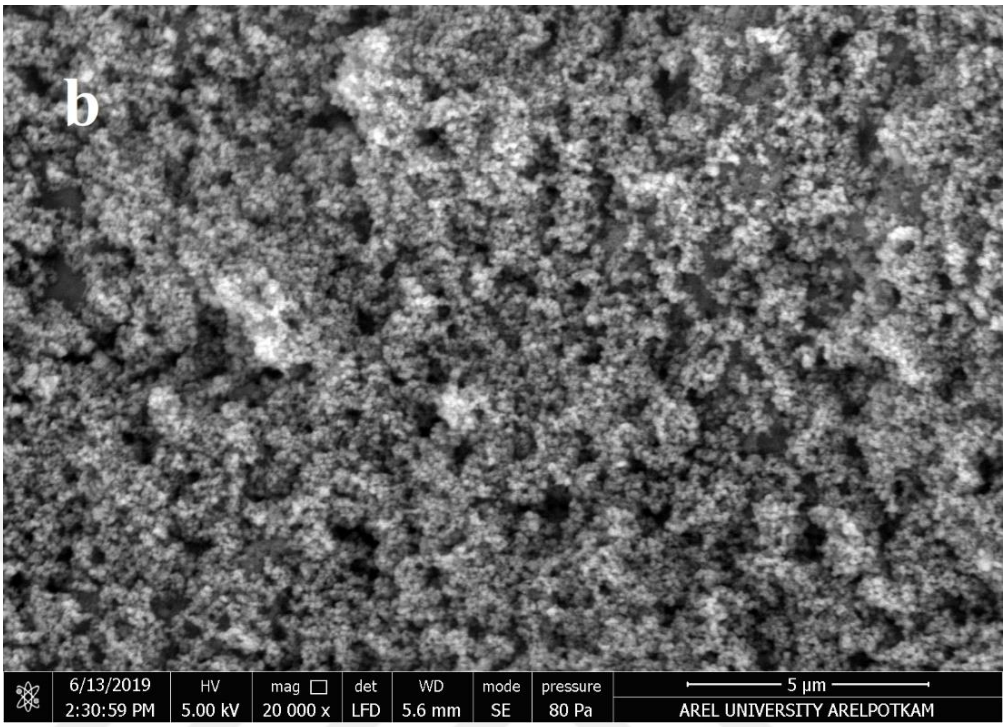


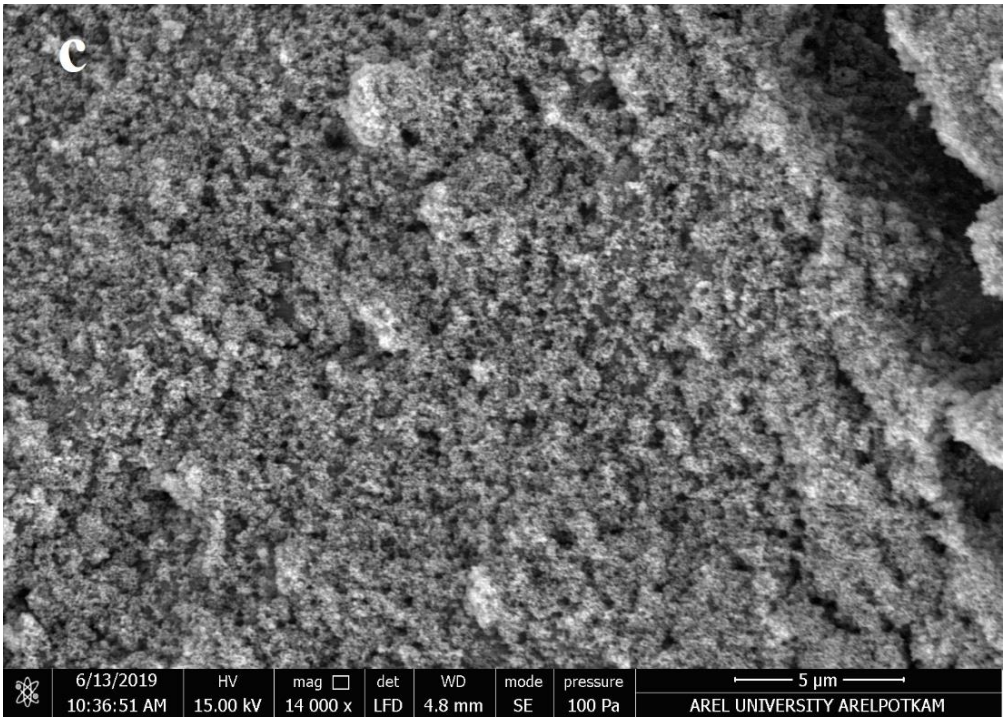
Şekil 7.14. a) %1 - SiO_2 (7 nm), b) %1 - SiO_2 (15 nm), c) %1 - SiO_2 (40 nm) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü

7.4.3. ZnO-SiO_2 Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi

Aşağıda verilen şekil 7.15 %1 - (%50 ZnO - %50 SiO_2), %1 - (%33.3 ZnO - %66.6 SiO_2), %1 - (%66.6 ZnO - %33.3 SiO_2), hibrit nano akışkanına aittir. FE-SEM görüntüleme %1 - (%50 ZnO - %50 SiO_2) için 80 Pa basınç altında ve 4.5 mm uzaklıkta yapılmıştır. Numuneye 100.000 kat yaklaşılarak görüntü elde edilmiştir. %1 - (%33.3 ZnO - %66.6 SiO_2) için 80 Pa basınç, 4.6 mm uzaktan 20.000 kat yaklaştırılarak, %1 - (%66.6 ZnO - %33.3 SiO_2) için 100 Pa basınç altında, 14.000 kat yaklaştırılarak ve 4.8 mm uzaklıkta yapılmıştır Görüntülere göre ZnO ve SiO_2 nano partikülleri iç içe geçmiş bir şekilde konumlanmıştır. Bu nano akışkanın homojen yapıya sahip olduğunu gösterir. SiO_2 ve ZnO nano parçacıları benzer şekillere sahiptirler ve genel görünüm küresel yapıda oldukları yönündedir.



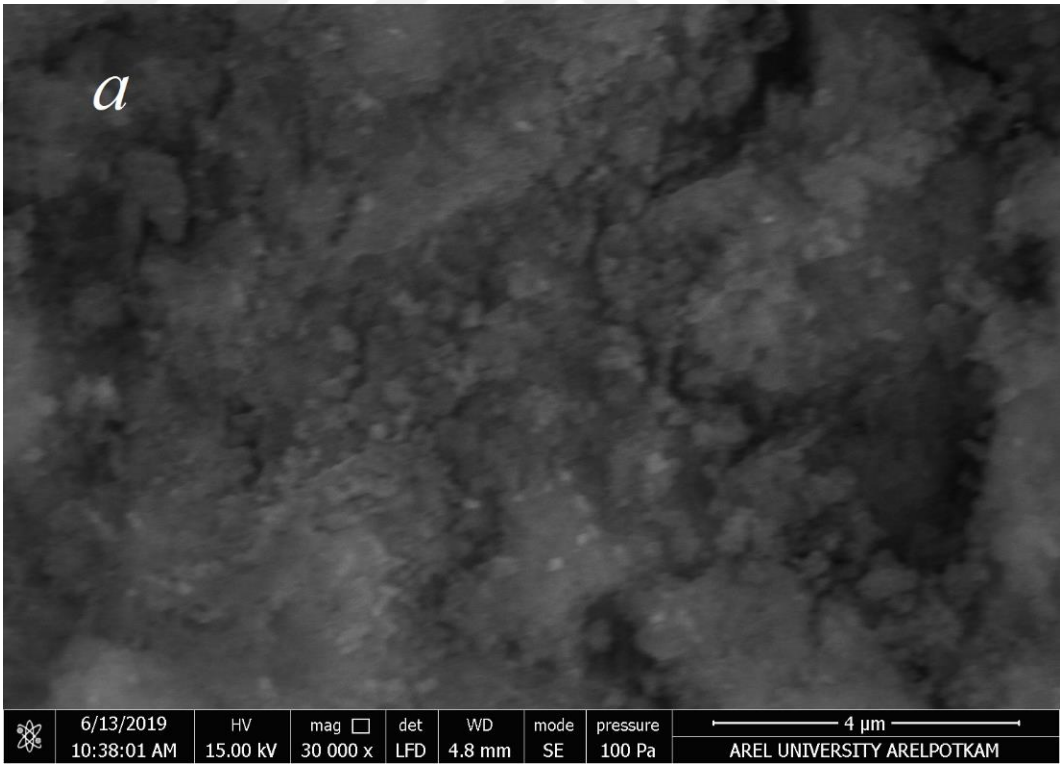


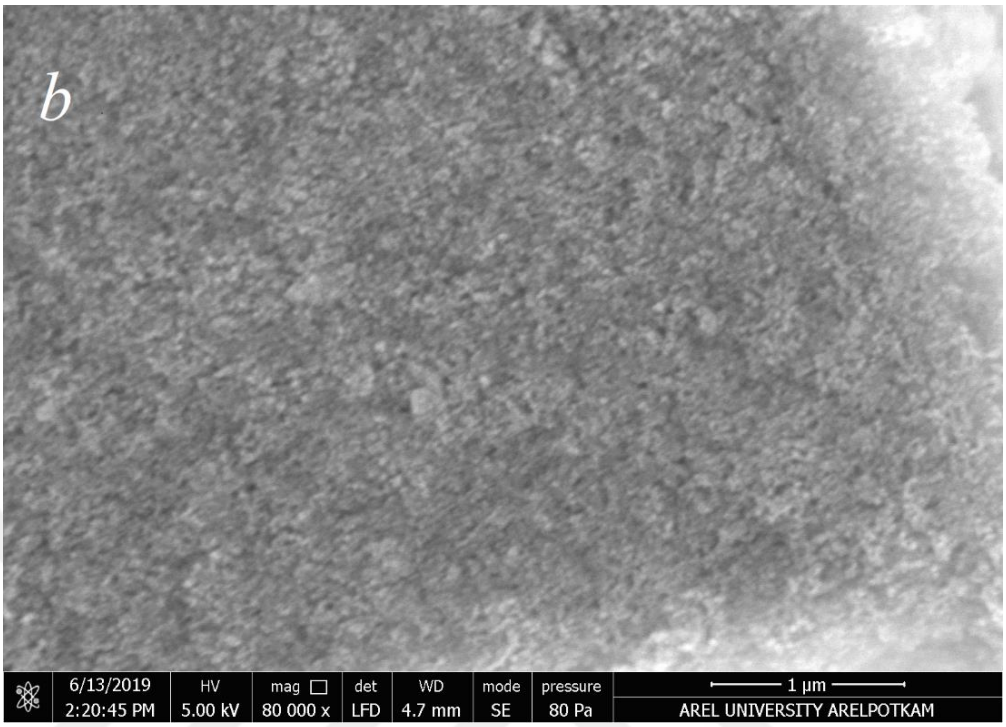


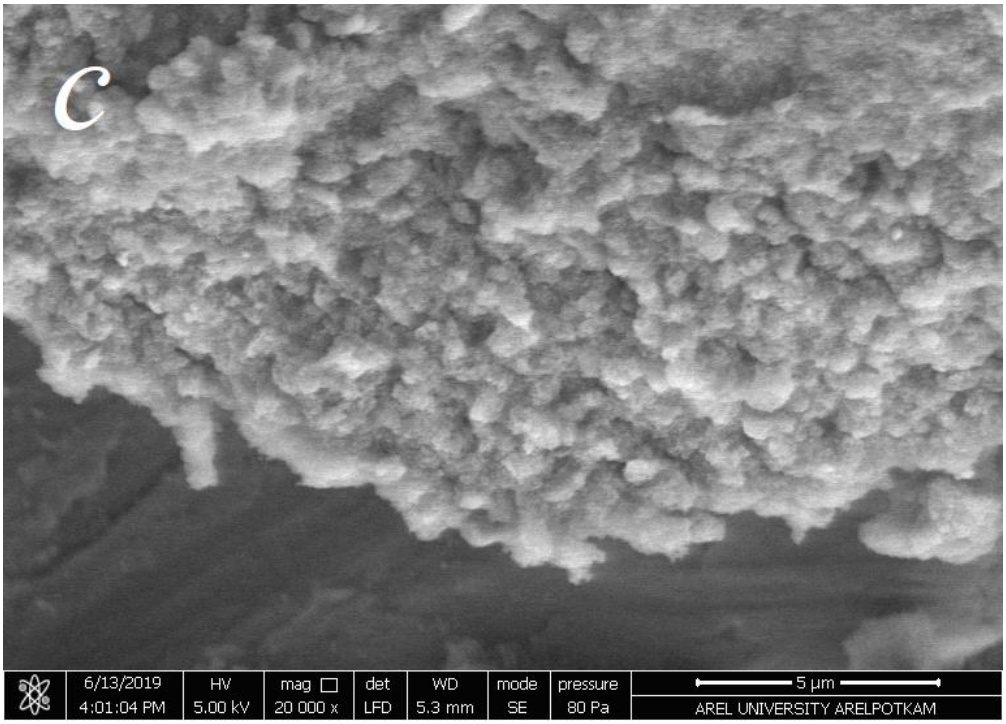
Şekil 7.15. a) %1 - (%50 ZnO - %50 SiO_2), b) %1 - (%33.3 ZnO - %66.6 SiO_2), c) %1 - (%66.6 ZnO - %33.3 SiO_2) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü

7.4.4. SiO_2-ND Nano Partikülünün Mikroskobik Olarak İncelemesi

Aşağıda verilen şekil 7.16 %0.5 - (%50 SiO_2- %50 ND), %0.5 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND), %0.5 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND) nano akışkanının FE-SEM görüntüsüne aittir. FE-SEM görüntüleme %0.5 - (%50 SiO_2 - %50 ND) için 100 Pa basınç altında ve 4.8 mm uzaklıkta yapılmıştır. Numuneye 30.000 kat yaklaşılarak görüntü elde edilmiştir. %0.5 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND) için 80 Pa basınç, 4.7 mm uzaktan 80.000 kat yaklaştırılarak, %0.5 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND) için 80 Pa basınç altında, 20.000 kat yaklaştırılarak ve 5.3 mm uzaklıkta yapılmıştır Görüntülere göre SiO_2 ve ND nano partikülleri iç içe geçmiş bir şekilde konumlanmıştır.. SiO_2 ve ZnO nano parçacıları benzer şekillere sahiptirler ve genel görünüm düzensiz ancak küresele yakın bir yapıda oldukları yönündedir.







Şekil 7.16. a) %0.5 - (%50 SiO_2 - %50 ND) , b) %0.5 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND), c) %0.5 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND) Nano Akışkanının FE-SEM Görüntüsü

7.5. Deney Sonuçlarının İncelenmesi

Deneylerden elde edilen sonuçlar; Nano akışkanların ısı iletim katsayısının değişimi, viskozitenin değişimi ve stabilitenin durumunun değişimi olarak üç başlık altında incelenmiştir.

7.5.1. Isı İletimi Katsayısının İncelenmesi

Nano akışkanların oluşturulmasının temel amacı alternatif bir akışkan ortaya çıkarmak ve çok daha iyi ısı iletim katsayısı değerleri elde etmektir. Oluşturulan nano akışkanın temel ve en önemli amacı yüksek ısı iletim katsayısının elde edilebilmesidir.

Şekil 7.2'ye göre en yüksek ısı iletim katsayısı 45°C'de %1 - (%66.6 ZnO -%33.3 SiO_2) nano akışkanı için ölçülmüştür. En yüksek artış yine aynı sıcaklıkta ve aynı nano akışkan için %2.4 olarak hesaplanmıştır. Isı iletim katsayısı artışı, sıcaklık artışı ile paralel olarak artış göstermektedir. Konsantrasyon artışı da ısı iletim katsayısını artmaktadır. Tüm nano akışkanlar beklenildiği üzere saf sudan (baz akışkan) daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptir. Nano akışkanların davranışı literatürde tanımlanmış genel özelliklerle uyum göstermektedir.

Çizelge 7.5'te saf suyun, farklı konsantrasyon ve farklı karışım oranlarındaki ZnO – SiO_2 nano akışkanının deneyler sonucunda elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.5. Saf Su ve ZnO – SiO_2 Nano Akışkanının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Isı İletim Katsayısı Değerleri

Isı İletim Katsayısı (W/mK) / Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_2) – Karışım Oranları	$k_{(25^oC)}$	$k_{(35^oC)}$	$k_{(45^oC)}$
Saf Su	0.601	0.615	0.628
%0.5 - (%50 ZnO -%50 SiO_2)	0.607	0.622	0.636
%0.5 - (%33.3 ZnO -%66.6 SiO_2)	0.605	0.621	0.635
%0.5 - (%66.6 ZnO -%33.3 SiO_2)	0.608	0.623	0.638
%1 - (%50 ZnO -%50 SiO_2)	0.613	0.628	0.643
%1 - (%33.3 ZnO -%66.6 SiO_2)	0.611	0.626	0.641
%1 - (%66.6 ZnO -%33.3 SiO_2)	0.617	0.633	0.648

Deneyler sonucunda elde edilen saf su ve SiO_2 – ND nano akışkanının ölçülen ısı iletim katsayısı değerleri çizelge 7.6'da verilmiştir. Elde edilen ısı iletim katsayısı ölçümleri sonucunda, en yüksek ısı iletim katsayısı artışı 45°C'de ve %1 (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND) su baz akışkanına sahip nano akışkan için elde edilmiştir. Bu nano akışkanın ısı iletim katsayısı saf baz akışkandan yaklaşık olarak %14.4 daha fazladır. Isı iletim katsayısının artışı sıcaklık ile paralellik göstermektedir. Konsantrasyonun artışı da ısı iletim katsayısının artışını sağlamaktadır.

Çizelge 7.6. Saf Su ve SiO_2 – ND Nano Akışkanının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Isı İletim Katsayısı Değerleri

Isı İletim Katsayısı (W/mK) / Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_2) – Karışım Oranları	$k_{(25^oC)}$	$k_{(35^oC)}$	$k_{(45^oC)}$
Saf Su	0.601	0.615	0.628
%0.5 - (%50 SiO_2 - %50 ND)	0.639	0.655	0.669
%0.5 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND)	0.653	0.6655	0.677
%0.5 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND)	0.623	0.643	0.659
%1 - (%50 SiO_2 - %50 ND)	0.666	0.6895	0.705
%1 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND)	0.688	0.71	0.726
%1 - (%66.6 SiO_2 - %33.3 ND)	0.657	0.679	0.691

Isı iletim katsayısının değişimi birçok değişkene bağlı olarak değişmekle birlikte bu değişime etki eden en temel faktör sıcaklıktır. Sıcaklık değişimi nano akışkanın ısı iletim katsayısı artışını etkilemektedir.

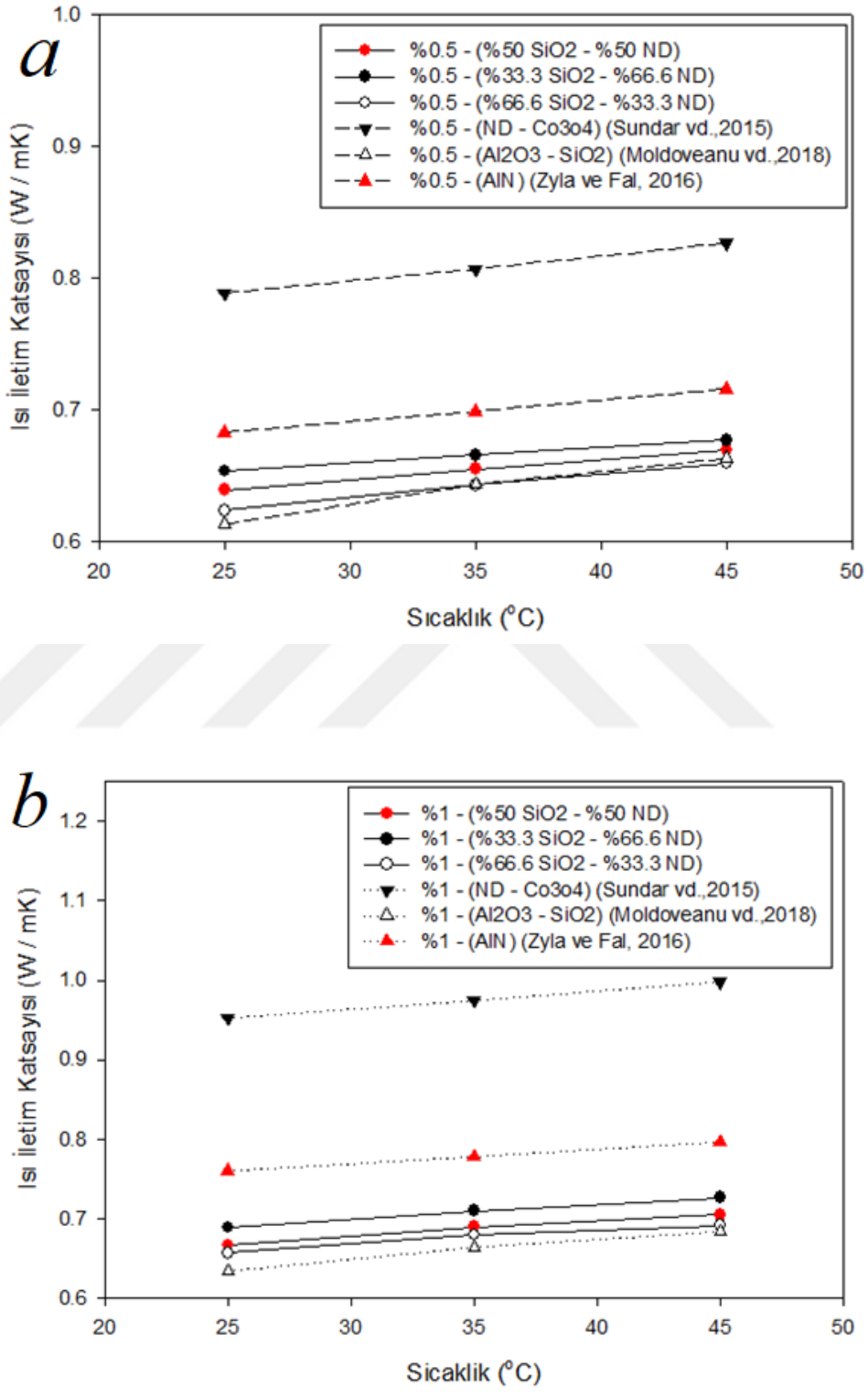
%1 - (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND) nano akışkanı su nano akışkanı kullanılan herhangi bir yerde kullanılabilir. Bu sayede baz akışkanın ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak %14 gibi bir artış sağlamıştır. Bu nano akışkanının elektronik aletlerin soğutulması, güneş kollektörlerinde aracı akışkan olarak kullanılması, ısı değiştiricilerinde aracı akışkan olarak kullanılması, motorların soğutulması ve enerji depolanması gibi çeşitli uygulamalarda kullanılması mümkündür.

Buharlaşma tüm sıcaklıklarda görülebilir. Özellikle deniz seviyesine yakın yerlerde (≈ 1 atm , ≈ 0 m) 100°C'ye yakın sıcaklıklarda buharlaşma miktarı oldukça hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu şartlar altında kullanılması halinde nano akışkan konsantrasyonları değişebilir. Bu nedenle elde edilen tüm nano akışkanların dış şartlardan izole edilmiş kapalı bir sistemlerde ve sıcaklık değişiminin düşük olduğu sistemlerde kullanılması çok daha uygun olacaktır. Bunun sebebi ısı iletim katsayısının nano akışkanlarda sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olarak değişim göstermesidir.

Şekil 7.17'de a)%0.5 SiO_2 – ND ve b)%1 SiO_2 – ND nano akışkanlarının ısı iletim katsayısı değişimi ve değişen ısı iletim katsayısının diğer çalışmalarla kıyaslanması verilmiştir.

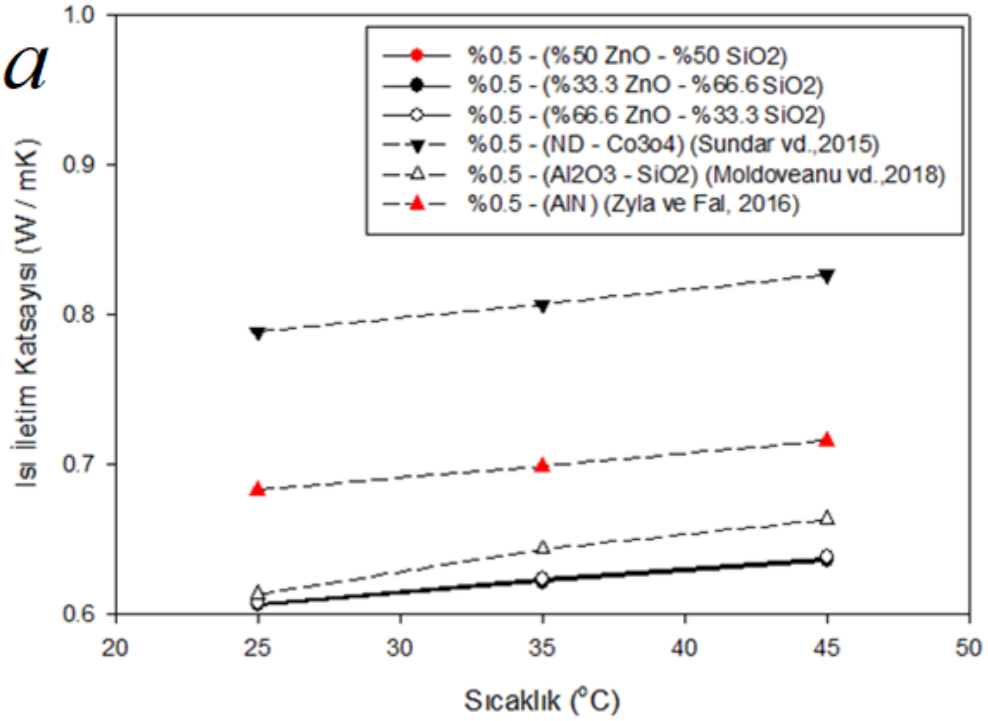
%0.5 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek ısı iletim katsayısı Sundar vd. (2015) tarafından hazırlanan ND – Co_3O_4 nano akışkanına aittir. Minimum ısı iletim katsayısı ise Moldoveanu vd. (2018) tarafından hazırlanmış Al_2O_3 – SiO_2 nano akışkanı için ölçülmüştür.

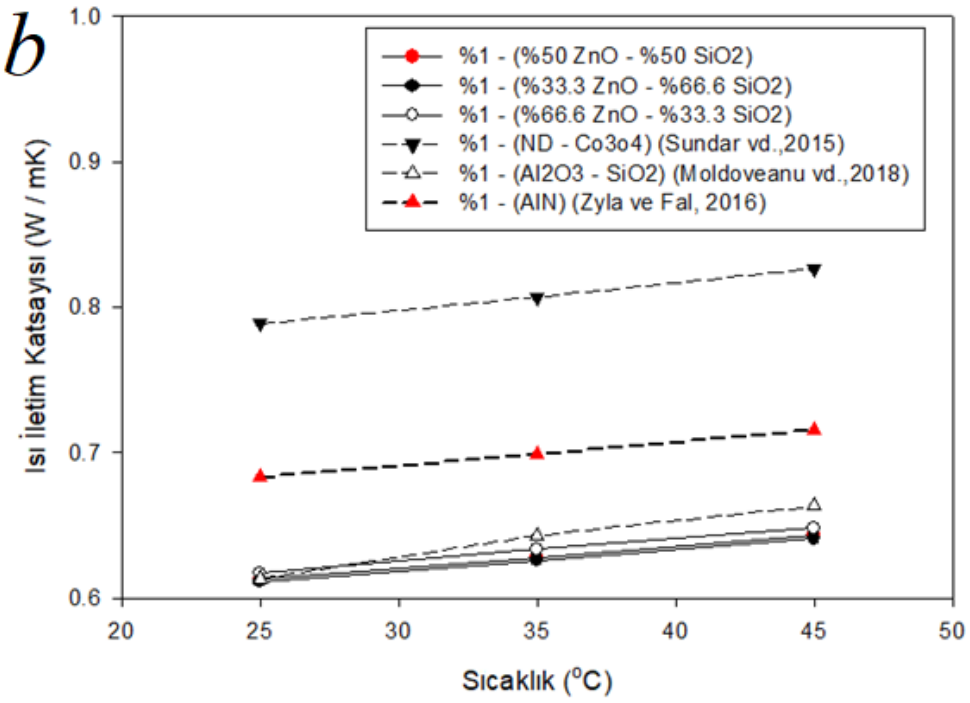
%1 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek ısı iletim katsayısı yine Sundar vd. (2015) tarafından hazırlanan ND – Co_3O_4 nano akışkanı için, minimum ısı iletim katsayısı ise Moldoveanu vd. (2018) tarafından hazırlanmış Al_2O_3 – SiO_2 nano akışkanı için ölçülmüştür.



Şekil 7.17. a) %0.5 SiO_2 – ND ve b) %1 SiO_2 – ND Nano Akışkanlarının Isı İletim Katsayısı Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması

Şekil 7.18'de a) %0.5 ZnO - SiO_2 ve b) %1 ZnO - SiO_2 nano akışkanlarının ısı iletim katsayısı değişimi ve değişen ısı iletim katsayısının diğer çalışmalarla kıyaslanması verilmiştir.





Şekil 7.18. a) %0.5 ZnO - SiO_2 ve b) %1 ZnO - SiO_2 Nano Akışkanlarının Isı İletim Katsayısı Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması

%0.5 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek ısı iletim katsayısı Sundar vd. (2015) tarafından hazırlanan ND – Co_3O_4 nano akışkanına aittir. Minimum ısı iletim katsayısı ise %33.3 ZnO - %66.6 SiO_2 nano akışkanı için ölçülmüştür.

%1 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek ısı iletim katsayısı yine Sundar vd. (2015) tarafından hazırlanan ND – Co_3O_4 nano akışkanı için, minimum ısı iletim katsayısı ise %33.3 ZnO - %66.6 SiO_2 nano akışkanı için ölçülmüştür.

7.5.2. Viskozitenin İncelenmesi

Nano akışkanlarda ısı iletim katsayısından sonra, üzerine çalışılmış temel ikinci alan viskozitedir. Elde edilmiş yüksek ısı iletim katsayılı nano akışkanın sistemde etkin olarak kullanılabilmesi için viskozite özellikleri devreye girmektedir.

Nano akışkanlarda viskozite nano akışkan birçok parametreye bağlı olarak değişmekle birlikte temelde konsantrasyon ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık ve viskozite arasında ters orantı söz konusudur. Artan sıcaklıkla beraber viskozite azalırken, azalan sıcaklıkla beraber viskozite artış gösterir.

Şekil 7.3'e göre su – etilen glikol karışımının dinamik viskozitesi artan sıcaklıkla birlikte azalmıştır. Hazırlanan nano akışkanlar baz sıvının değişimiyle paralel bir değişim sergilemiştir. En yüksek viskozite %2 SiO_2 nano akışkanı için, 7 nm ortalama boyuta sahip partiküller için ve 15^oC'de ölçülmüştür ve bu noktadaki viskozite artışı baz akışkan olan su - etilen glikol karışımından %37.5 oranında daha yüksektir. İkinci olarak en yüksek viskozite artışı %2 SiO_2 partikülünü içeren 15 nm ortalama partikül boyutuna sahip nano akışkanı için ölçülmüştür. Bu noktadaki viskozite artışı baz akışkana oranlar %18.75 oranında daha yüksektir. Üçüncü en yüksek viskozite ise %1 SiO_2 partikül içeren ve 7 nm ortalama boyutuna sahip olan nano akışkan için ölçülmüştür. Viskozite artışı küçülen partikül boyutlarıyla beraber artmaktadır. Nano akışkanlar baz akışkanın davranışına uygun olarak artan sıcaklıkla birlikte azalan bir viskozite davranışı göstermişlerdir.

Şekil 7.4 'e göre saf su artan sıcaklıkla birlikte azalan bir viskozite davranışı göstermektedir. Nano akışkanların tümü de buna paralel bir davranış sergilemiştir. En yüksek viskozite artışı 50 nm ortalama boyuta sahip %1 - ZnO nano akışkanı için ölçülmüştür. Bu noktadaki viskozite artışı baz akışkandan %33.34 oranında ve 25^oC sıcaklıkta ölçülmüştür. En yüksek ikinci viskozite ise 50 nm ortalama boyuta sahip %0.5 - ZnO nano akışkanı için ölçülmüştür ve bu noktadaki viskozite artışı baz akışkandan %16.6 oranında fazladır. En yüksek üçüncü viskozite 20 nm ortalama boyuta sahip %1'lik ZnO nano akışkanına ait ve en yüksek dördüncü viskozite 20 nm ortalama boyuta sahip %0.5'lik ZnO nano akışkanına aittir.

Deney sonuçlarına göre küçülen nano partikül boyutları viskoziteyi arttırma yönünde bir davranış göstermiştir. Yine artan konsantrasyon da viskoziteyi arttıran diğer bir faktördür.

Çizelge 7.7'de su – etilen glikol karışımı, farklı konsantrasyon ve partikül boyutlarında hazırlanmış SiO_2 nano akışkanlarının deneyler sonucunda elde edilmiş viskozite değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.7. Su – Etilen Glikol Karışımı ve SiO_2 Nano Akışkanlarının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Viskozite Değerleri

Dinamik Viskozite (Pa s) / Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_1) – Partikül Boyutu	$\mu_{(25^oC)}$	$\mu_{(35^oC)}$	$\mu_{(45^oC)}$
Su – Etilen Glikol Karışımı	3.057	2.252	1.752
%1 - SiO_2 (7 nm)	3.780	2.783	2.024
%1 - SiO_2 (15 nm)	3.341	2.495	1.927
%1 - SiO_2 (40 nm)	3.279	2.455	1.903
%2 - SiO_2 (7 nm)	4.408	3.111	2.243
%2 - SiO_2 (15 nm)	3.826	2.796	2.137
%2 - SiO_2 (40 nm)	3.436	2.574	2.018

Çizelge 7.8'de su – etilen glikol karışımı, farklı konsantrasyon ve partikül boyutlarında hazırlanmış ZnO nano akışkanlarının deneyler sonucunda elde edilmiş viskozite değerleri verilmiştir. Yapılan ölçümlerde viskozite değişimi baz akışkan olarak su kullanan %0.5 - ZnO (20 nm) nano akışkanı için 45°C'de saf baz akışkandan %11.2 artış ölçülmüştür. Bu artış değerleri farklı baz akışkan ve nano partikül içeren nano akışkanlar olsa da birbirlerine oldukça yakındır.

Çizelge 7.8. Su – Etilen Glikol Karışımı ve ZnO Nano Akışkanlarının Deneyler Sonucunda Elde Edilmiş Viskozite Değerleri

Dinamik Viskozite (Pa s) / Nano Akışkan Konsantrasyonları (ϕ_1) – Partikül Boyutu	$\mu_{(25^oC)}$	$\mu_{(35^oC)}$	$\mu_{(45^oC)}$
Saf Su	0.802	0.683	0.583
%0.5 - ZnO (20 nm)	0.981	0.791	0.653
%0.5 - ZnO (50 nm)	1.032	0.838	0.691
%1 - ZnO (20 nm)	1.029	0.827	0.681
%1 - ZnO (50 nm)	1.171	0.927	0.756

Viskozitenin artan sıcaklıkla birlikte azalması yüksek sıcaklık kullanan sistemler için oldukça büyük bir avantajdır. Artan sıcaklıkla birlikte azalan viskozite değeri pompa yüklerini kayda değer oranda azaltacaktır.

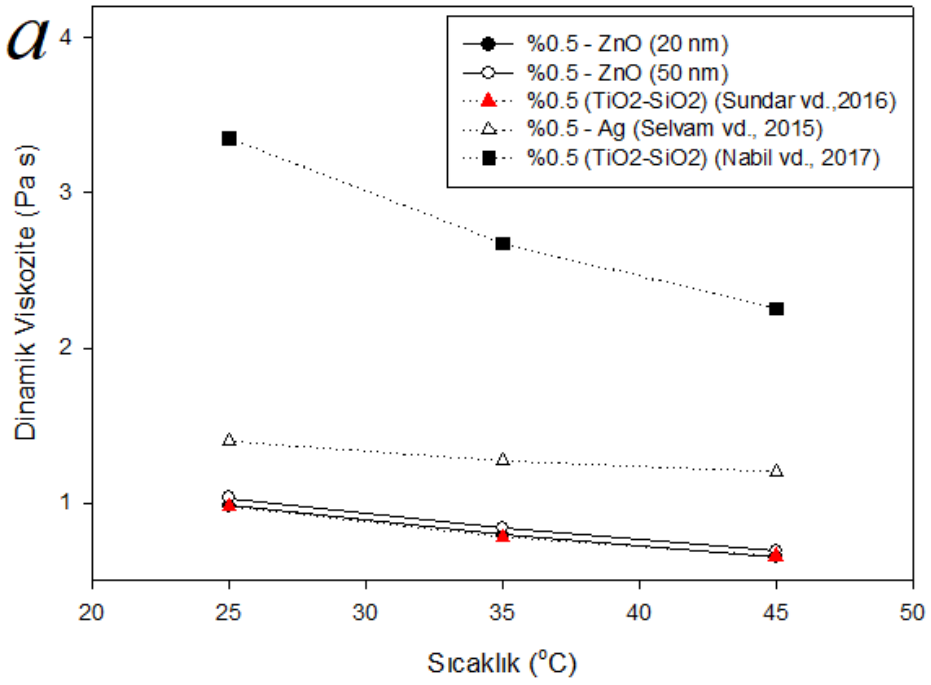
Su baz akışkan kullanan %0.5 - ZnO (20 nm) nano akışkanının seçilmesi su-etilen glikol karışımını baz akışkan olarak kullanan %1 konsantrasyona sahip SiO_2 (40 nm) nano akışkanına oranla viskozite değerinin çok daha yüksek olmasından dolayı (viskozite değerleri göz önüne alındığında) yaklaşık %85'lik bir kazanç sağlayacaktır. Her iki akışkanın da elektronik soğutma, ısı değiştiriciler ve ısı enerjisinin nano akışkanlarla depolanması gibi uygulamalarda kullanılması önemli avantajlar sağlayacaktır. Ancak güneş kollektörleri ve motor soğutma gibi uygulamalarda %1 konsantrasyona sahip SiO_2 (40 nm) nano akışkanının kullanılması daha uygun olacaktır. Bu sistemler pasif hale geçtiklerinde soğuk ortam ve iklim gibi şartların da etkisiyle soğuktan korumasız duruma geçebilmektedirler. Ancak su-etilen glikol karışımına sahip bir nano akışkan kullanılması durumunda sistem yaklaşık -45°C'ye

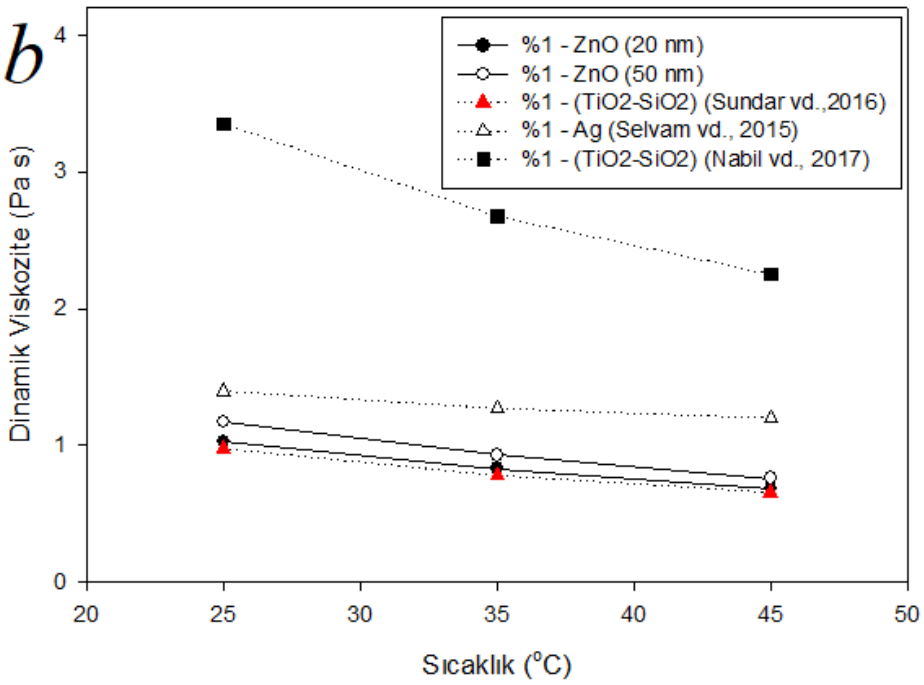
kadar donma sorununa karşı korunmuş olacaktır. Bu sonuçlara göre, saf su-etilen glikol karışımı yerine %1 konsantrasyona sahip SiO_2 (40 nm) nano akışkanı kullanılması halinde ihtiyaç duyulacak pompa yükü artacaktır. Pompa yükünün artmasının bir dezavantaj olarak görülebilir ancak sistemin kullanıldığı nano akışkanın ısı iletim katsayısının saf su-etilen glikol karışımından daha fazla olacağı da unutulmamalıdır.

Şekil 7.19'da a) %0.5 ZnO ve b) %1 ZnO nano akışkanlarının dinamik viskozite değişimi ve değişen dinamik viskozitenin diğer çalışmalarla kıyaslanması verilmiştir.

%0.5 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek viskozite Nabil vd. (2017) tarafından hazırlanan 25°C'deki TiO_2 – SiO_2 nano akışkanına aittir. En düşük viskozite ise 45°C'deki Sundar vd. (2015) tarafından hazırlanmış TiO_2 – SiO_2 nano akışkanı için ölçülmüştür.

%1 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek viskozite yine Nabil vd. (2017) tarafından hazırlanan 25°C'deki TiO_2 – SiO_2 nano akışkanı için, minimum viskozite ise 45°C'deki Sundar vd. (2015) tarafından hazırlanmış TiO_2 – SiO_2 nano akışkanı için ölçülmüştür.



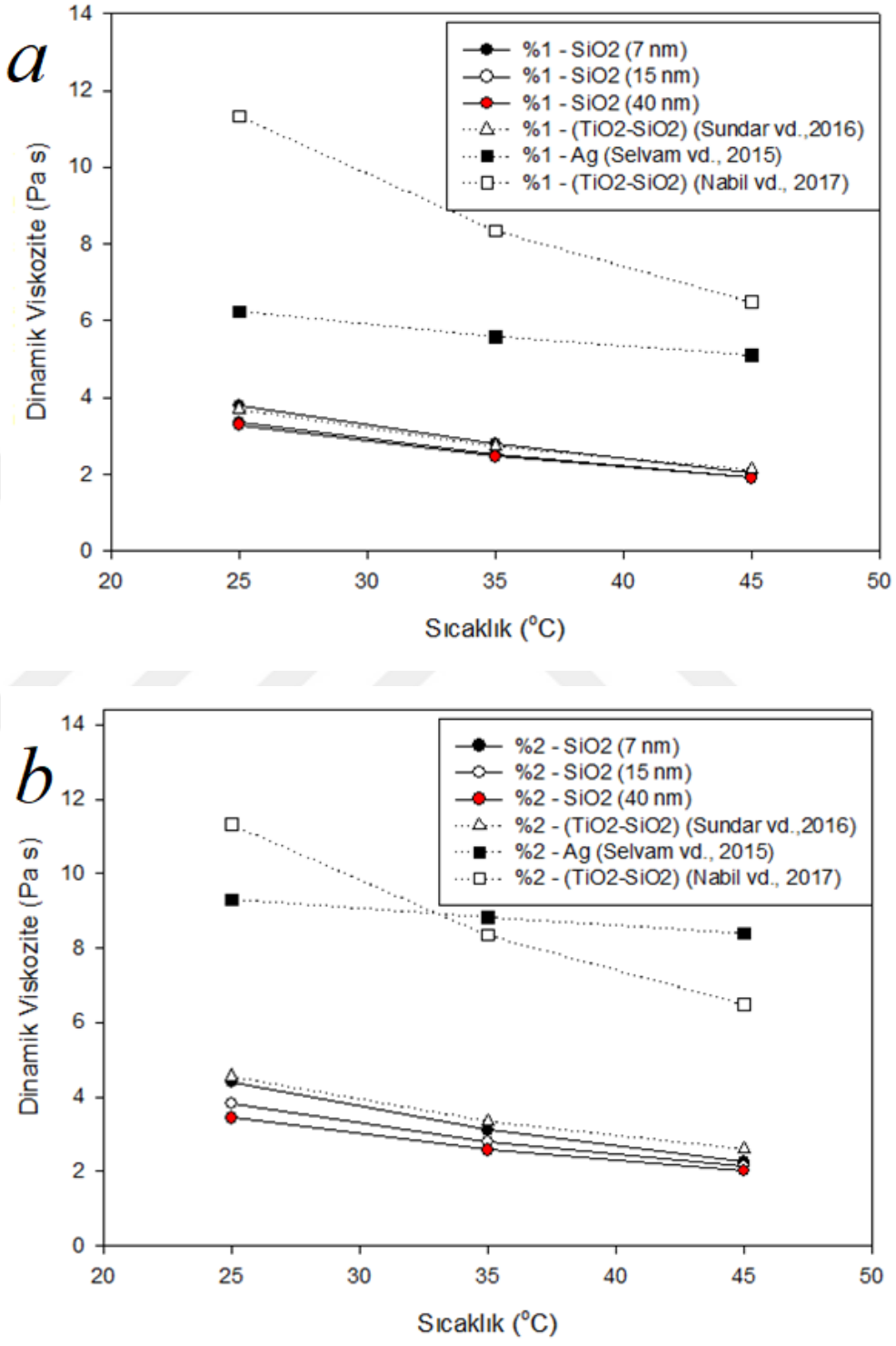


Şekil 7.19. a) %0.5 ZnO ve b) %1 ZnO Nano Akışlarının Viskozite Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması

Şekil 7.20'de a) %1 SiO_2 ve b) %2 SiO_2 nano akışkanlarının dinamik viskozite değişimi ve değişen dinamik viskozitenin diğer çalışmalarla kıyaslanması verilmiştir.

%1 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek viskozite Nabil vd. (2017) tarafından hazırlanan 25°C'deki TiO_2 – SiO_2 nano akışkanına aittir. En düşük viskozite ise 45°C'deki SiO_2 (40 nm) nano akışkanı için ölçülmüştür.

%2 konsantrasyona sahip nano akışkanlar arasında en yüksek viskozite yine Nabil vd. (2017) tarafından hazırlanan 25°C'deki TiO_2 – SiO_2 nano akışkanı için, minimum viskozite ise 45°C'deki SiO_2 (40 nm) nano akışkanı için ölçülmüştür.



Şekil 7.20. a) %1 SiO_2 ve b) %2 SiO_2 Nano Akışlarının Viskozite Değişiminin Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması

7.5.3. Stabilitenin İncelenmesi

Nano akışkanlarda istenilen termofiziksel özelliklerin sağlanmasından sonra bu özelliklerin her noktada aynı olarak sağlanmasında aranan diğer bir parametre stabilitedir. Nano akışkanın stabil bir yapısının olmaması durumunda termofiziksel özelliklerinin her noktasında aynı olduğundan söz edilemez.

Deneylerde yapılan ölçümlerde stabilitesi en yüksek nano akışkan %1 konsantrasyona sahip (%50 ZnO - %50 SiO_2) nano akışkanı olarak ölçülmüştür.

Ultrasonik banyonun dahil edilebileceği elektronik soğutma, güneş kollektörleri, ısı değiştiriciler, motor soğutma ve ısı enerjisinin depolanması uygulamalarının tümünde %1 konsantrasyona sahip (%50 SiO_2 - %50 ND) nano akışkanı kullanılabilir.

%0.5 - (%50 SiO_2 – %50 ND) nano akışkanı ultrasonik banyo kullanımı sonrasında stabilitesi yaklaşık olarak %21.3'lük bir artış gösterirken %1 - (%50 SiO_2 – %50 ND) nano akışkanı ultrasonik banyo kullanımı sonrasında %33.6'lık artışla çok daha stabil bir yapı göstermiştir.

Elde edilen sonuçlara göre ultrasonik banyo kullanımıyla stabilitenin arttığı görülmüştür. Literatürde verilen bilgiler ile bu ölçümden elde edilen veriler birbiri ile uyum göstermektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Nano akışkanlar üzerinde çalışılan oldukça yeni bir konudur ve çok çeşitli parametreleri barındırması nedeniyle nano akışkan davranışları değişiklikler gösterebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan numuneler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Artan konsantrasyonla beraber nano akışkanın ısı iletim katsayısının da arttığı görülmüştür,
- Artan sıcaklıkla beraber nano akışkanın ısı iletim katsayısının da arttığı görülmüştür,
- Artan konsantrasyonla beraber nano akışkanın viskozitesinin de arttığı görülmüştür,
- Artan sıcaklıkla beraber nano akışkanın viskozitesinin azaldığı görülmüştür,
- Tüm nano akışkan numuneleri Newton tipi akış özelliği göstermiştir,
- Değişen konsantrasyonla birlikte nano partiküllerin etkileşimi ile ilgili herhangi bir değişiklik tespit edilmemiştir,
- Genel olarak tüm nano partiküller düzensiz bir yapıya sahip olmakla birlikte, bu çalışmada incelenen nano akışkanlar küresel olarak tanımlanabilecek yapıya yakın şekillere sahiptir.

- FE-SEM görüntüleri incelendiğinde nano partiküllerde herhangi bir topaklanma gözlenmemiştir ve bu ısı iletim katsayısı, viskozite ve stabiliteyi doğrudan etkileyebilecek bir faktördür,
- Isı iletim katsayısı ve viskozite ölçümlerinden elde edilen sonuçlar literatürde bulunan diğer çalışmalarla kıyaslandığında, bu çalışmada kullanılan nano akışkan numunelerinin termofiziksel özelliklerinin kayda değer artışları göze çarpmaktadır,
- SiO_2 nano akışkanı için en yüksek viskozite 7 nm partikül boyutu için %2 konsantrasyonda 15^oC'de nano akışkan için ölçülmüş, en düşük viskozite 40 nm partikül boyutu için %1 konsantrasyonda 45^oC'de nano akışkan için ölçülmüştür,
- SiO_2 nano partikülü içeren nano akışkanlarda nano partikül boyutu arttıkça viskozite azalmaktadır,
- SiO_2 nano partikülü içeren nano akışkanlarda partikül boyutu ile stabilite arasında bir ilişki tespit edilememiştir,
- ZnO nano akışkanı için en yüksek viskozite artışı 25^oC sıcaklıkta 50 nm ortalama boyuta sahip %1 konsantrasyon için ölçülmüştür, en düşük viskozite 20 nm ortalama partikül boyutu için %0.5 konsantrasyonda 45^oC'de nano akışkan için ölçülmüştür,
- %0.5 konsantrasyondaki ZnO nano akışkanında ultrasonik banyo kullanımıyla stabilitenin arttığı görülmüştür ancak artış kayda değer bir artış değildir,
- ZnO nano partikülü içeren nano akışkanlarda partikül boyutu arttıkça viskozite de artış göstermektedir,
- ZnO nano partikülü içeren nano akışkanlarda partikül boyutu büyüdükçe nano akışkan daha stabil bir yapı göstermektedir,
- SiO_2 - ND nano akışkanında ND nano partikülünün SiO_2'ye oranla daha fazla bulunduğu karışımlarda, ısı iletim katsayısı aynı konsantrasyon oranlarına göre daha yüksek çıkmıştır,
- SiO_2 - ND nano akışkanı için en yüksek ısı iletim katsayısı artışı 45^oC'de, %1 konsantrasyonda ve (%33.3 SiO_2 - %66.6 ND) karışımında görülmüştür ve ısı iletim katsayısı artışı sudan %14.4 daha fazladır,
- SiO_2 - ND nano partikülleri içeren nano akışkan artan sonikasyon (karıştırma) süresiyle ve artan konsantrasyonla birlikte daha stabil bir yapı göstermektedir,

- ZnO - SiO_2 nano akışkanı için en yüksek ısı iletim katsayısı 45ºC'de, %1 konsantrasyonda ve (%66.6 ZnO - %33.3 SiO_2) karışımda ölçülmüştür,
- En yüksek stabilite %1 konsantrasyona sahip (%50 ZnO - %50 SiO_2) nano akışkanı için ölçülmüştür,

Bu çalışmada, mevcut nano akışkanlar kullanılarak ısı iletim katsayısı ve viskozite değerlerine etki eden parametreler olarak; değişen sıcaklık, konsantrasyon, partikül boyutu gibi değişkenler kullanılarak incelenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, bu nano akışkanlar kullanılarak elde edilen sonuçlar, uygulamalarda kullanılan sistemlere CFD programları kullanılarak entegre edilebilir ve analizler yapılarak uygun çözümler üretilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Ahmadi Nadooshan, A. (2017). *An experimental correlation approach for predicting thermal conductivity of water-EG based nanofluids of zinc oxide*. Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures, 87, 15–19. doi: 10.1016/j.physe.2016.11.004

Ahmadpour, M. M., & Akhavan-Behabadi, M. A. (2019). *Experimental investigation of heat transfer during flow condensation of HC-R600a based nano-refrigerant inside a horizontal U-shaped tube*. International Journal of Thermal Sciences, 146, 106110. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.106110

Alawi, O. A., Salih, J. M., & Mallah, A. R. (2019). *Thermo-physical properties effectiveness on the coefficient of performance of Al2O3/R141b nano-refrigerant*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 103, 54–61. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.02.011

Ali, H. M., Ali, H., Liaquat, H., Bin Maqsood, H. T., & Nadir, M. A. (2015). *Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO-water nanofluids*. Energy, 84, 317–324. doi: 10.1016/j.energy.2015.02.103

Ali, H. M., Babar, H., Shah, T. R., Sajid, M. U., Qasim, M. A., & Javed, S. (2018). *Preparation techniques of TiO2 nanofluids and challenges: A review*. Applied Sciences (Switzerland). MDPI AG. doi: 10.3390/app8040587

Anand, R. S., Jawahar, C. P., Solomon, A. B., Koshy, J. S., Jacob, J. C., & Tharakan, M. M. (2019). *Heat transfer properties of HFE and R134a based Al2O3 nano refrigerant in thermosyphon for enhancing the heat transfer*. Materials Today: Proceedings. doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.014

Bernard, K. and Ganesh. S., (1998). Nanostructered Bulk Materials: Synthesis, Processing, Properties and Performance. erişim: www.wtec.org/loyola/nano/US.Review/05_02.htm

Bhalla, V., Beejawat, S., Doshi, J., Khullar, V., Singh, H., & Tyagi, H. (2020). *Silicone oil envelope for enhancing the performance of nanofluid-based direct absorption solar collectors*. Renewable Energy, 145, 2733–2740. doi: 10.1016/j.renene.2019.08.024

Bilyalı Öğütücü. Erişim: www.users.ox.ac.uk/~engs0161/ballmill.jpg (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Buschmann, M. H., Azizian, R., Kempe, T., Juliá, J. E., Martínez-Cuenca, R., Sundén, B., Wu, Z., Seppala, A., Ala-Nissila, T. (2018). *Correct interpretation of nanofluid convective heat transfer*. International Journal of Thermal Sciences. Elsevier Masson SAS. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.003

Cheng, H. M., Li, F., Su, G., Pan, H. Y., He, L. L., Sun, X., & Dresselhaus, M. S. (1998). *Large-scale and low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by the catalytic pyrolysis of hydrocarbons*. Applied Physics Letters, 72(25), 3282–3284. doi: 10.1063/1.121624

Choi, S. U. S., Eastman J.A., (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*. In American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FED (Vol. 231, pp. 99–105)

Colangelo, G., Favale, E., Milanese, M., de Risi, A., & Laforgia, D. (2017). *Cooling of electronic devices: Nanofluids contribution*. Applied Thermal Engineering, 127, 421–435. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.08.042

Çengel, A.Y., Cımbala, J.M., (2008). Akışkanlar Mekaniği. İzmir: Güven

Çengel, Y.A., Boles, M.A., (2011). *Termodinamik Mühendis Yaklaşımıyla*. İstanbul: Palme

Dağlıoğlu, Y., Yılmaz, H., (2018). *Nano partikül Karakterizasyon Yöntemleri ve Ekotoksisite Deneylerindeki Önemi*, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 1 1-17. doi: 10.7240/marufbd.346547

Dalkılıç, A. S., Açıkgöz, Ö., Küçükyıldırım, B. O., Eker, A. A., Lüleci, B., Jumpholkul, C., & Wongwises, S. (2018). *Experimental investigation on the viscosity characteristics of water based SiO2-graphite hybrid nanofluids*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 97, 30–38. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.07.007

Dalkılıç, A. S., Yalçın, G., Küçükyıldırım, B. O., Öztuna, S., Akdoğan Eker, A., Jumpholkul, C., Wongwises, S. (2018). *Experimental study on the thermal conductivity of water-based CNT-SiO2 hybrid nanofluids*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 99, 18–25. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.10.002

Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., Thompson, L. J. (2001). *Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles*. Applied Physics Letters, 78(6), 718–720. doi: 10.1063/1.1341218

Edelstein, A. S. and Cammarata, R. C., (2001). *Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications*, Institute of Physics Publishing, Bristol

Esfahani, M. R., Languri, E. M., & Nunna, M. R. (2016). *Effect of particle size and viscosity on thermal conductivity enhancement of graphene oxide nanofluid*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 76, 308–315. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.06.006

Esfe, H. M., Wongwises, S., Naderi, A., Asadi, A., Safaei, M. R., Rostamian, H., Karimipour, A. (2015). *Thermal conductivity of Cu/TiO2-water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 66, 100–104. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.05.014

Esfe, M.H., & Hajmohammad, M. H. (2017). *Thermal conductivity and viscosity optimization of nanodiamond-Co3O4/EG (40:60) aqueous nanofluid using NSGA-II coupled with RSM*. Journal of Molecular Liquids, 238, 545–552. doi: 10.1016/j.molliq.2017.04.056

Ghaderian, J., Sidik, N. A. C. (2017). *An experimental investigation on the effect of Al 2O3/distilled water nanofluid on the energy efficiency of evacuated tube solar collector*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 108, 972–987. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.12.101

Glikol. Erişim: www.purkem.com.tr/blog/2018/07/06/glikoller-2/ (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Gómez-Villarejo, R., Aguilar, T., Hamze, S., Estellé, P., & Navas, J. (2019). *Experimental analysis of water-based nanofluids using boron nitride nanotubes with improved thermal properties*. Journal of Molecular Liquids, 277, 93–103. doi: 10.1016/j.molliq.2018.12.093

Gürmen, S., Ebin, B. (2007). Nano partiküller ve Üretim Yöntemleri – 1. erişim: www.metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150_3138.pdf

Gürmen, S., Stopic, S. and Friedrich, B., (2006). *Synthesis of nanosized spherical cobalt powder by ultrasonic spray pyrolysis,* Mater. Res. Bull., 41, 1882-1890. doi: 10.1016/j.materresbull.2006.03.006

Hameed, A., Mukhtar, A., Shafiq, U., Qizilbash, M., Khan, M. S., Rashid, T., … Guardo, A. (2019). *Experimental investigation on synthesis, characterization, stability, thermo-physical properties and rheological behavior of MWCNTs-kapok seed oil based nanofluid*. Journal of Molecular Liquids, 277, 812–824. doi: 10.1016/j.molliq.2019.01.012

Hamid, K. A., Azmi, W. H., Nabil, M. F., Mamat, R., & Sharma, K. V. (2018). *Experimental investigation of thermal conductivity and dynamic viscosity on nanoparticle mixture ratios of TiO2-SiO2 nanofluids*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 116, 1143–1152. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.087

Hamid, K. A., Azmi, W. H., Nabil, M. F., Mamat, R., & Sharma, K. V. (2018). *Experimental investigation of thermal conductivity dynamic viscosity on nanoparticle mixture ratios of TiO2-SiO2 nanofluids*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 116, 1143–1152. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.087

He, Y., Lu, L., Sun, K., Wang, F., & Hu, S. (2018). *Electromagnetic wave absorbing cement-based composite using Nano-Fe3O4 magnetic fluid as absorber*. Cement and Concrete Composites, 92, 1–6. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.05.004

Hemmat Esfe, M., & Abbasian Arani, A. A. (2018). *An experimental determination and accurate prediction of dynamic viscosity of MWCNT(%40)-SiO 2 (%60)/5W50 nano-lubricant*. Journal of Molecular Liquids, 259, 227–237. doi: 10.1016/j.molliq.2018.02.095

Hidrolik Silindir. Erişim:www.mobilehydraulictips.com/business-end-hydraulics-cylinder/ (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Hu, Y., Li, C., Gu, F., Zhao, Y., (2007). *Facile flame sytnhesis and photoluminescent properties of core/shell TiO2/SiO2 nanoparticles*, Journal of Alloys and Compunds, 432, L5-L9. doi: 10.1016/j.jallcom.2006.05.134

HVAC. Erişim: www.iloencyclopaedia.org/part-vi-16255/indoor-environmental-control/item/260-heating-and-air-conditioning-systems (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

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 SPEC. ISS.), 1068–1071. doi: 10.1016/j.cap.2005.07.021

Jafari, M., & Rezvanpour, A. (2019). *Upconversion nano-particles from synthesis to cancer treatment: A review*. Advanced Powder Technology. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.apt.2019.05.027

Jang, H. D., Hwang, D. W., Kim, D. P., Kim, H. C., Lee, B. Y. and Jeong, I. B., (2004). *Preparation of cobalt nanoparticles by hydrogen reduction of cobalt chloride in the gas phase*, Mater. Res. Bull., 39, 63-70. doi: 10.1016/j.materresbull.2003.09.023

Jeng, L. Y., & Teng, T. P. (2013). *Performance evaluation of a hybrid cooling system for electronic chips*. Experimental Thermal and Fluid Science, 45, 155–162. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2012.10.020

Jiang, Z. X., Zhang, Y., Huang, H. H., Liu, X. S., Yuan, C. L., Gu, G., & Ye, S. L. (2014). *Morphology-engineered strain transformation in Ge/GeO2 core/shell nanoparticles*. Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures, 60, 100–103. doi: 10.1016/j.physe.2014.02.010

Kalhammer, F.R. (1976), Energy Storage: Applications, Benefits and Candidate Technologies, in J.B. Berkowitz and H.P. Silverman (eds.), Proc. of the Symp. Energy Storage, The Electrochemical Society Inc. Princeton New Jersey, ABD

Kalogirou, S. A. (2009). Solar Energy Engineering: *Processes and Systems*. Solar Energy Engineering (pp. iv–iv). doi: 10.1016/B978-0-12-374501-9.00014-5

Karbon Nano Tüp. Erişim: www.nanografi.com/blog/singlewalled-carbon-nanotubes-descriptions-usage-and-applications/ (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Kevin, M. (1997). Gas Phase Synthesis. erişim: www.rpi.edu/dept/materials/ COURSES/NANO/moraes/page2.html

Khalil, A.K., (2012). "*Advanced Sintering of Nano-Ceramic Materials*". Ceramic Materials - Progress in Modern Ceramics. doi: 10.5772/38287 erişim : www.intechopen.com/books/ceramic-materials-progress-in-modern-ceramics/advanced-sintering-of-nano-ceramic-materials

Kumar, A., Subudhi, S. (2019). *Preparation, characterization and heat transfer analysis of nanofluids used for engine cooling*. Applied Thermal Engineering, 160, 114092. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114092

Lee, J., Mudawar, I. (2007). *Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in micro-channels*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 50(3–4), 452–463. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.001

Mackerle, M.E.J. (1972) *Air-Cooled Automotive Engines*, Charles Griffin & Company Ltd., London.

Mahbubul, I. M., Shahrul, I. M., Khaleduzzaman, S. S., Saidur, R., Amalina, M. A., & Turgut, A. (2015). *Experimental investigation on effect of ultrasonication duration on colloidal dispersion and thermophysical properties of alumina-water nanofluid*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 88, 73–81. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.04.048

Mahdavi, M., Tiari, S., & Pawar, V. (2020). *A numerical study on the combined effect of dispersed nanoparticles and embedded heat pipes on melting and solidification of a shell and tube latent heat thermal energy storage system*. Journal of Energy Storage, 27, 101086. doi: 10.1016/j.est.2019.101086

Markus, W. (2007). Nanoparticles Process Technoogy. erişim: www.uni-duisburg-essen.de/ivg/nano/synthesis_nppt.shtml

Messing, G., Zhang, S. and Jayanthi, G., (1993). Ceramic *Powder Synthesis by Spray Pyrolysis*, Journal of American Ceramic Society, 76, 2707 –2726. doi: 10.1111/j.1151-2916.1993.tb04007.x

Moghaddam, M. A., & Motahari, K. (2017). *Experimental investigation, sensitivity analysis and modeling of rheological behavior of MWCNT-CuO (30–70)/SAE40 hybrid nano-lubricant*. Applied Thermal Engineering, 123, 1419–1433. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.200

Moghaddam, M. B., Goharshadi, E. K., Entezari, M. H., & Nancarrow, P. (2013). *Preparation, characterization, and rheological properties of graphene-glycerol nanofluids*. Chemical Engineering Journal, 231, 365–372. doi: 10.1016/j.cej.2013.07.006

Moldoveanu, G. M., Huminic, G., Minea, A. A., & Huminic, A. (2018). *Experimental study on thermal conductivity of stabilized Al2O3 and SiO2 nanofluids and their hybrid*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 127, 450–457. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.024

Moldoveanu, G. M., Huminic, G., Minea, A. A., & Huminic, A. (2018). *Experimental study on thermal conductivity of stabilized Al2O3 and SiO2 nanofluids and their hybrid*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 127, 450–457. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.024

Murshed, S. M. S., & Estellé, P. (2017). *A state of the art review on viscosity of nanofluids*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.113

Nabil, M. F., Azmi, W. H., Abdul Hamid, K., Mamat, R., & Hagos, F. Y. (2017). *An experimental study on the thermal conductivity and dynamic viscosity of TiO2-SiO2 nanofluids in water: Ethylene glycol mixture*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 86, 181–189. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.05.024

Nissan, B., (2014). "*Nanoceramics in Biomedical Applications*". MRS Bulletin. 29 (1): 28–32. doi: 10.1557/mrs2004.13

Pnömatik Silindir. Erişim: www.plastikciyiz.biz/bilgi-kutuphanesi/teknik-bilgi-kutuphanesi/449/pnomatik-silindir-piston-nedir-ne-ise-yarar (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Raa, C. N. R., (1992). International Union of Pure and Applied Chemistry, Blackwell Scientific Publications

Rehman, W. U., Merican, Z. M. A., Bhat, A. H., Hoe, B. G., Sulaimon, A. A., Akbarzadeh, O., Assiri, M. A. (2019). *Synthesis, characterization, stability and thermal conductivity of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and eco-friendly jatropha seed oil based nanofluid: An experimental investigation and modeling approach*. Journal of Molecular Liquids, 293. doi: 10.1016/j.molliq.2019.111534

Roth, P., (2007). *Particle synthesis in flames*, Proceedings of Combustion Instute, 31, 1773-1788. doi: 10.1016/j.proci.2006.08.118

Said, Z., El Haj Assad, M., Hachicha, A. A., Bellos, E., Abdelkareem, M. A., Alazaizeh, D. Z., & Yousef, B. A. A. (2019). *Enhancing the performance of automotive radiators using nanofluids*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 112, 183–194. doi: 10.1016/j.rser.2019.05.052

Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A., (2011). A review on applications and challenges of nanofluids, Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 1646–1668. doi: 10.1016/j.rser.2010.11.035

Salavati Meibodi, S., Kianifar, A., Niazmand, H., Mahian, O., & Wongwises, S. (2015). *Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO2/EG-water nanofluids*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 65, 71–75. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.02.011

Sekhar, Y. R., & Sharma, K. V. (2015*). Study of viscosity and specific heat capacity characteristics of water-based Al2O3nanofluids at low particle concentrations*. Journal of Experimental Nanoscience, *10*(2), 86–102. doi: 10.1080/17458080.2013.79659

Selvam, C., Mohan Lal, D., & Harish, S. (2016). *Thermophysical properties of ethylene glycol-water mixture containing silver nanoparticles*. Journal of Mechanical Science and Technology, 30(3), 1271–1279. doi: 10.1007/s12206-016-0231-5

Senthilkumar, D., Jumpholkul, C., Wongwises, S. (2018). *Enhancing thermal behavior of SiC nanopowder and SiC/Water nanofluid by using cryogenic treatment*. Advances in Materials and Processing Technologies, 4(3), 402–415. doi: 10.1080/2374068X.2018.1452111

Shah, J., Kumar, S., Ranjan, M., Sonvane, Y., Thareja, P., & Gupta, S. K. (2018). *The effect of filler geometry on thermo-optical and rheological properties of CuO nanofluid*. Journal of Molecular Liquids, 272, 668–675. doi: 10.1016/j.molliq.2018.09.117

Sheikholeslami, M., Rezaeianjouybari, B., Darzi, M., Shafee, A., Li, Z., & Nguyen, T. K. (2019). *Application of nano-refrigerant for boiling heat transfer enhancement employing an experimental study*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 141, 974–980. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.07.043

Sonawane, S. S., Khedkar, R. S., & Wasewar, K. L. (2015). *Effect of sonication time on enhancement of effective thermal conductivity of nano TiO2–water, ethylene glycol, and paraffin oil nanofluids and models comparisons*. Journal of Experimental Nanoscience, 10(4), 310–322. doi: 10.1080/17458080.2013.832421

Suh, H. J., Jang, H. D., Chang, H., Kim, W. B. and Kim, H. C., (2006). *Size-controlled synthesis of Fe-Ni alloy nanoparticles by hydrogen reduction of metal chlorides*, Powder Tech., 161, 196-20. doi: 10.1016/j.powtec.2005.11.002

Sundar, L. S., Ramana, E.V., Graça, M. P. F., Singh, M. K., & Sousa, A. C. M. (2016). *Nanodiamond-Fe3O4 nanofluids: Preparation and measurement of viscosity, electrical and thermal conductivities*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 73, 62–74. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.02.013

Sundar, L. S., Sharma, K. V., Singh, M. K., Sousa, A. C. M. (2017). *Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor – A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.rser.2016.09.108

Sundar, L. S., Singh, M. K., & Sousa, A. C. M. (2016). *Experimental thermal conductivity and viscosity of nanodiamond-based propylene glycol and water mixtures*. Diamond and Related Materials, 69, 49–60. doi: 10.1016/j.diamond.2016.07.007

Sundar, L. S., Irurueta, G. O., Venkata Ramana, E., Singh, M. K., & Sousa, A. C. M. (2016). *Thermal conductivity and viscosity of hybrid nanfluids prepared with magnetic nanodiamond-cobalt oxide (ND-Co3O4) nanocomposite*. Case Studies in Thermal Engineering, 7, 66–77. doi: 10.1016/j.csite.2016.03.001

Su-Etilen Glikol. Erişim: www.detector-cooling.web.cern.ch/Detector-Cooling/data/Table%208-3-1.htm (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Swihart, M. T., (2003). *Vapor-phase synthesis of nanoparticles*, Current Opinion in Colloid and Interface Science, 8, 127-133. doi: 10.1016/S1359-0294(03)00007-4

Tan, M. I. S. M. H., Omar, A. F., Rashid, M., & Hashim, U. (2019). *VIS-NIR spectral and particles distribution of Au, Ag, Cu, Al and Ni nanoparticles synthesized in distilled water using laser ablation*. Results in Physics, 14. doi: 10.1016/j.rinp.2019.102497

Tsai, S. C., Song, Y. L. Tsai, C.S., Yang, C.C., Chiu, W. Y. and Lin, H. M., (2004). *Ultrasonic spray pyrolysis for nanoparticles synthesis*, J. of Mater. Science, 39, 3647-3657. doi: 10.1023/B:JMSC.0000030718.76690.11

Ultrasonik Aerosol Oluşumu. Erişim: www.sonozap.com/nebulizer.htm (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Ultrasonik Banyo. Erişim: www.bestultrasonic.co.uk/ultrasonic-cleaner--bath---analogue-20-litre-338-p.asp (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Vallejo, J. P., Żyła, G., Fernández-Seara, J., & Lugo, L. (2018). *Rheological behaviour of functionalized graphene nanoplatelet t based on water and propylene glycol:water mixtures*. International Communications in Heat t Mass Transfer, 99, 43–53. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.10.001

Wang, Z. H., Choi, B. K., Kim J. C. Zhang Z. D. (2003). *Characterization of Fe-Co alloyed nanoparticles synthesized by chemical vapor condensation*, Materials Letters, 57, 3560-3564. doi: 10.1016/S0167-577X(03)00125-3

Wang, Z. H., Choi, C. J. Kim, B. K., Kim J. C. and Zhang Z. D., (2003). *Microstructure and magnetic property of Fe-Co nanoparticles prepared by chemical vapor condensation process*, J. of All. and Comp., 351, 319-323. doi: 10.1016/S0925-8388(02)01072-1

Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., Ai, F., Wu, Q. (2002). *Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles*. J. Appl. Phys, 91. doi: 10.1063/1.1454184

Yu, F., Chen, Y., Liang, X., Xu, J., Lee, C., Liang, Q., … Deng, T. (2017). *Dispersion stability of thermal nanofluids*. Progress in Natural Science: Materials International, 27(5), 531–542. doi: 10.1016/j.pnsc.2017.08.010

Yu, F., Chen, Y., Liang, X., Xu, J., Lee, C., Liang, Q., Deng, T. (2017). *Dispersion stability of thermal nanofluids*. Progress in Natural Science: Materials International. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.pnsc.2017.08.010

Yu, W, France, D M, Choi, S U. S., Routbort, J L. (2007) *Energy Systems*. Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications. United States doi: 10.2172/919327

Zaki, A. (2006). Processing and Synthesis Techniques for the Preparation of Nanomaterials. erişim: www.azonano.com/details.asp?ArticleID= 1710

Zeng, J., & Xuan, Y. (2018). *Enhanced solar thermal conversion and thermal conduction of MWCNT-SiO2/Ag binary nanofluids*. Applied Energy, 212, 809–819. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.12.083

Zhai, Y., Li, L., Wang, J., & Li, Z. (2019). *Evaluation of surfactant on stability and thermal performance of Al2O3-ethylene glycol (EG) nanofluids*. Powder Technology, 343, 215–224. doi: 10.1016/j.powtec.2018.11.051

Zyła, G., & Fal, J. (2016). *Experimental studies on viscosity, thermal and electrical conductivity of aluminum nitride-ethylene glycol (AlN-EG) nanofluids*. Thermochimica Acta, 637, 11–16. doi: 10.1016/j.tca.2016.05.006

ÖZGEÇMİŞ

Gökberk Yalçın Aralık 1991'de İstanbul Fatih'te doğdu. İlköğrenimini Mehmet Akif İÖO'nda (1999-2003), orta öğrenimini Vedide Baha Pars İÖO'da (2004-2006), liseyi ise İstanbul Bayrampaşa Hüseyin Bürge Anadolu Lisesi'nde tamamladı (2007-2010) ve mezun oldu. Verdiği 2 yıl aradan sonra 2012 yılında T.C. Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2016'da mezun oldu. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Uluslararası İlişkiler bölümünü 2016'da Yeni Yüzyıl Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği bölümü tezsiz yüksek lisansını 2017'de tamamladı. Yüksek lisans tez deneylerini tamamlamak üzere 2018'de altı buçuk ay süreyle Tayland King Mongkut's University of Technology Thonburi'de araştırma görevlisi olarak bulundu ve Nano akışkanlar üzerine çalışmalar yaptı. Şu an Anadolu Üniversitesi Açıköğretim fakültesinde Adalet bölümünde ve Trakya Üniversitesi'nde Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programında eğitimine devam etmektedir.