ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLİSYUMDİOKSİT VE TİTANYUMDİOKSİT İLE BU MALZEMELERİN HİBRİT NANOAKIŞKANLARININ HAZIRLANMASI, KARAKTERİZASYONU VE OPTİMİZASYONU

Ayşe ŞANALDI

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Ayşe ŞANALDI tarafından hazırlanan **"Silisyumdioksit ve Titanyumdioksit ile Bu Malzemelerin Hibrit Nanoakışkanlarının Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Optimizasyonu"** adlı tez çalışması 17/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Semahat DORUK

Jüri Üyeleri :

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Bora AKIN
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Berrin SAYGI YALÇIN
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Yalova Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Semahat DORUK
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**Silisyumdioksit ve Titanyumdioksit ile Bu Malzemelerin Hibrit Nanoakışkanlarının Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Optimizasyonu**" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı"yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (17/08/2022).

Ayşe ŞANALDI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİSYUMDİOKSİT VE TİTANYUMDİOKSİT İLE BU MALZEMELERİN HİBRİT NANOAKIŞKANLARININ HAZIRLANMASI, KARAKTERİZASYONU VE OPTİMİZASYONU

Ayşe ŞANALDI

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Semahat DORUK

Nanoparçacıkların bir temel akışkan içerisinde dağıtılması ile elde edilen nanoakışkanlar, yüksek ısı iletim katsayıları sebebi ile ısı transferi artırımı amacıyla tercih edilmektedirler. Bu çalışmada nanoparçacık olarak SiO_2 ve TiO_2 ve temel akışkan olarak su, etilen glikol ve etil alkolün kullanıldığı SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Çalışmada Taguchi L9 deney tasarımı kullanılmış, Minitab 15 yazılımı yardımıyla optimum nano akışkan belirlenmiştir. Ayrıca nanoakışkanların ısı iletim katsayısı, viskozite, zeta potansiyeli ve partikül çapları deneysel olarak elde edilmiştir. Nanoakışkanların katı oranları artırıldıkça ısı iletim katsayıları ve viskoziteleri artmıştır. En iyi ısı iletim katsayısı değerleri SiO_2 nanoparçacıklarla hazırlanan nanoakışkanlarda elde edilmiştir. Saf su ve etilen glikolün temel akışkan olduğu nanoakışkanlarda en yüksek viskozite değerleri SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanlarda çıkarken etil alkol ile hazırlanan nanoakışkanlarda hibrit nanoakışkanlar en düşük ısı iletim katsayısına sahiptir. SiO_2 nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanlar, -30, -40 aralığında en iyi zeta potansiyeli değerlerine sahiptir.

2022, 53 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Hibrit nanoakışkanlar, Silisyumdioksit (SiO_2) ve titanyumdioksit (TiO_2) nanoparçacıklar, Nanoakışkanların optimizasyonu

ABSTRACT

Master of Science Thesis

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND OPTIMIZATION OF HYBRID NANOFLUIDS OF THESE MATERIALS WITH SILICUM DIOXIDE AND TITANIUM DIOXIDE

Ayşe ŞANALDI

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Semahat DORUK

Nanofluidics obtained by dispersing nanoparticles in a basic fluid are preferred for the purpose of increasing heat transfer due to their high heat conduction coefficients. In this study, SiO_2, TiO_2 and SiO_2-TiO_2 hybrid nanofluidics were prepared in which SiO_2 and TiO_2 were used as nanoparticles and water, ethylene glycol and ethyl alcohol were used as the basic fluids. In the study, Taguchi L9 experimental design was used and the optimum nanofluid was determined with the help of Minitab 15 software. In addition, the heat conduction coefficient, viscosity, zeta potential and particle diameters of nanofluidics have been obtained experimentally. As the solid ratios of nanofluidics were increased, their heat conduction coefficients and viscosity increased. The best heat conduction coefficient values were obtained in nanofluidics prepared with SiO_2 nanoparticles. The highest viscosity values are obtained in nanofluidics, where pure water and ethylene glycol are the main fluids, while in SiO_2-TiO_2 hybrid nanofluidics, in nanofluidics prepared with ethyl alcohol, hybrid nanofluidics have the lowest heat conduction coefficient. Nanofluidics prepared with SiO2 nanoparticles have the best zeta potential values in the between -30, -40.

2022, 53 pages

Keywords: Hybrid nanofluid, Silisyumdioksit (SiO_2) ve titanyumdioksit (TiO_2) nanoparticals, Optimization of nanofluid

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Semahat DORUK'a sabrı, rehberliği, anlayışı ve bana kattığı değerler için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ders alma dönemimde emeği geçen hocalarım Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI, Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Bora AKIN, Dr. Öğr. Üyesi Nesibe DİLMAÇ, Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gülten YALÇIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında bana destek olan Arş. Gör. Dr. Vedat Arda KÜÇÜK'e, Öğr. Gör. Mücahit UĞUR'a ve Arş. Gör. Dr. Mustafa DAĞ'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini hep hissettiğim, hayatımın her anında yanımda olan aileme; sevgisi, hoş görüsü ve sabrı ile desteğini hep hissettiğim sevgili eşim Erdem ŞANALDI'ya teşekkür ederim. Bu tezi şu an hayatta olmayan, eğitim hayatımın her alanında teşvikleri, nasihatları ile hayatıma yön veren, yolumu çizmeme yardımcı olan babam rahmetli Saim SIĞIRTMAÇ'a ithaf ediyorum.

Ayşe ŞANALDI

Çankırı, Ağustos 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vi**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Nanoakışkanlar **3**
1.2 Nanoakışkanların Kullanım Alanları **4**
1.3 Nanoakışkanların Hazırlanması **6**
1.3.1 Tek adımlı metot **6**
1.3.2 İki adımlı metot **7**
1.4 Nanoakışkanların Stabilitesini Etkileyen Faktörler **7**
1.4.1 Çift tabaka ve zeta potansiyeli **8**
1.4.2 Brown hareketleri **8**
1.5 Nanoakışkanların Karakterizasyonu **9**
1.5.1 Termal iletkenlik **9**
1.5.2 Nanoakışkanların viskozitesi **14**
1.5.3 Nanoakışkanların kararlılığı **14**
1.5.4 Nanoakışkanların yoğunluğu **14**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **16**
3. MATERYAL VE METOT **19**
3.1 Materyal **20**
3.2 Nanoakışkanların Hazırlanması ve Özelliklerinin Belirlenmesi **21**
3.2.1 Viskozite **22**
3.2.2 Isı iletim katsayısı **22**

3.2.3 Zeta potansiyeli 23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 25
4.1 Viskozite 26
4.1.1 Su bazlı nanoakışkanlar 27
4.1.2 Etilen glikol bazlı nanoakışkanlar 28
4.1.3 Etil alkol bazlı nanoakışkanlar 29
4.1.4 Viskozite için optimum parametre seviyelerinin belirlenmesi 30
4.2 Termal iletkenlik 36
4.2.1 Su bazlı nanoakışkanlar 37
4.2.3 Etilen glikol bazlı nanoakışkanlar 38
4.2.4 Etil alkol bazlı nanoakışkanlar 39
4.2.5 Termal iletkenlik için optimum parametre seviyelerinin belirlenmesi 40
4.3 Zeta potansiyeli ve Partikül çapı 45
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 47
KAYNAKLAR 48
ÖZGEÇMİŞ 53

SİMGELER DİZİNİ

µm	Mikrometre
ω	Omega
µ	Viskozite
φ	baz sıvıda nanoparçacığın hacim kesri
cp_p	Partikülün Özgül Isı Kapasitesi
d_c	Yarıçap
K	Kelvin
k	Isıl iletkenlik katsayısı
k_b	Boltzman Sabiti
m	Metre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
ρ_p	Partikülün Yoğunluğu
T	Sıcaklık
V,v	Hacim
%v	Hacimsel Katı Oranı Yüzdesi
W	Watt

KISALTMALAR DİZİNİ

EDX	Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi
H	Hibrit Nanoakışkan (SiO_2+TiO_2)
S	SiO_2
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
T	TiO_2
XRD	X-ışını Kırınımı
Re	Reynolds Sayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Uzunluk ölçeği için örnekler (Saidur *et al*. 2011).....1
Şekil 3.1 Ultrasonik karıştırıcı ve soğutma ceketi 21
Şekil 3.2 Viskozite ölçüm cihazı.....22
Şekil 3.3 Isıl iletkenlik ölçüm cihazı ve düzeneği.....23
Şekil 3.4 Zeta potansiyel ölçüm cihazı 24
Şekil 4.1 Silisyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların ultrasonik karışma sonrası görüntüleri.....25
Şekil 4.2 Titanyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların ultrasonik karışma sonrası görüntüleri.....26
Şekil 4.3 Saf suyun deneysel ve teorik viskozite değerleri.....27
Şekil 4.4 Saf su bazlı nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel yüzde ile değişimi ..28
Şekil 4.5 Etilen glikol bazlı nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel yüzde ile.....29
Şekil 4.6 Etil alkol bazlı nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel yüzde ile değişimi 30
Şekil 4.7 Silisyumdioksit içeren nanoakışkanların viskozitesi için ana etki grafikleri..31
Şekil 4.8 Titanyumdioksit nanoakışkanların viskozitesi için ana etki grafikleri 33
Şekil 4.9 Titanyumdioksit-Silisyumdioksit hibrit nanoakışkanların viskozitesi için ana etki grafikleri.....35
Şekil 4.10 Suyun deneysel ve teorik ısı iletim katsayıları 37
Şekil 4.11 Su bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel yüzde ile.....38
Şekil 4.12 Etilen glikol bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel yüzde 39
Şekil 4.13 Etil alkol bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel yüzde ile 40
Şekil 4.14 Silisyumdioksit içeren nanoakışkanların termal iletkenliği için ana etki 41
Şekil 4.15 Titanyumdioksit nanoakışkanların termal iletkenliği için ana etki grafikleri 42
Şekil 4.16 Titanyumdioksit-silika nanoakışkanların termal iletkenliği için ana etki.....44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Bazı malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri (Kakaç and Pramuanjaroenkij 2009) 4
Çizelge 1.2 Termal iletkenlik modelleri 11
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan Taguchi L9 deney tasarımı 19
Çizelge 3.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler 20
Çizelge 4.1 Silisyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite eşitlikleri 32
Çizelge 4.2 Titanyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite eşitlikleri 34
Çizelge 4.3 Silisyumdioksit-Titanyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite eşitlikleri 36
Çizelge 4.4 Silisyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliği için regrasyon eşitliği 42
Çizelge 4.5 Titanyumdioksit nanoakışkanların termal iletkenliği için regrasyon eşitliği 43
Çizelge 4.6 Silika-titanyumdioksit hibrit nanoakışkanların termal iletkenliği için regrasyon eşitliği 44

1. GİRİŞ

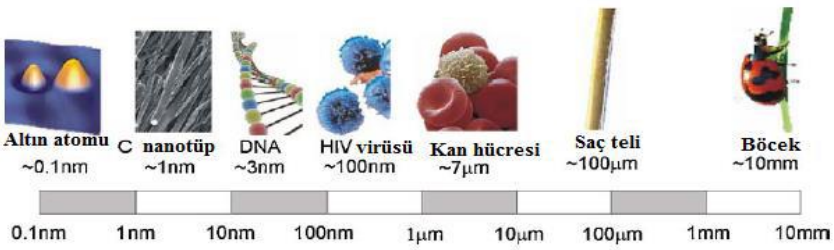
Nano kelime anlamı olarak fiziksel bir büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir. Yunanca ve Latince'den alınmış bir sözcük olan "nano" metrik sistemdeki denkliği Eşitlik 1.1'de verilmiştir. 1-100 nanometre arasında büyüklüğe sahip yapılar kullanılabilir nitelikte olup, nanoteknoloji 100 nanometreden daha küçük boyuttaki malzeme, cihaz ve sistemlerle ilgilenmektedir (El-Samny 2008).

$$1m = 10^3\ mm = 10^6\ \mu m = 10^9\ nm \tag{1.1}$$

Küresel rekabet ortamında ülkeler için stratejik önem taşıyan nanoteknoloji, 21. yüzyılın da en önemli ve hızlı gelişen teknolojisi olmuştur. Savunma, ekonomi, medikal bilimler, malzeme, bilgisayar, tekstil, temiz enerji kaynakları, sürdürülebilir enerji, çevre ve gıda vb. pek çok alanda yenilikler getirmiş ve getirmeye devam edecektir. Nanoteknolojinin günümüzde etkinliğinin ve öneminin artmasının nedenleri arasında, biyoloji ve fizik alanında ortaya çıkardığı önemli gelişmeler, toplumda çok büyük etki bırakan bir devrim olması, endüstriyel ülkelerin gelecek plan ve programlarına dâhil edilmesi, yakın gelecekte ülkelerin zenginliği ve gücü olarak söylenebilir (Mnyusiwalla *et al*. 2003).

Bireysel atomlar ve moleküllerin fonksiyonel strüktürler oluşturmak üzere kullanılması nanoteknolojinin çıkış noktasını oluşturmuştur (Gordijn 2005).

Nanometrenin boyut olarak daha iyi anlaşılması için Şekil 1.1'de bazı ölçü birimleri ile kıyaslamalı olarak örnekler verilmiştir.



Şekil 1.1 Uzunluk ölçeği için örnekler (Saidur *et al*. 2011)

Gözle görülemeyecek derecede küçük olan bu yapıların ısıl iletkenlik artışına olan büyük katkılarından ilk olarak 1900'lü yıllarda Choi tarafından bahsedilmiştir. Nanoteknolojinin günümüzde göstermiş olduğu gelişmeler nano boyutta partikül üretimine imkan sağladığından sıvı içerisine katı parçacık katılması gündeme gelmiştir. Metalik nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler arasında asal gaz yoğunlaştırma, mikroemülsiyon tekniği, kimyasal buhar yoğunlaştırma ve hidrojen redüksiyonu tekniğini sayılabilmektedir (Gürmen 2008).

Ticari olarak satın alınan ya da üretilen nanoparçacıklar genellikle saf su, etanol, etilen glikol ya da bazı yağlara ilave edilerek nanoakışkanlar hazırlanır. Nano toz ilave edilerek elde edilen süspansiyonların daha homojen bir akışkan haline gelebilmesi için ultrasonifikasyon işlemi uygulanır. Oluşan süspansiyon ek sabitleştirici bir madde veya elektrostatik stabilizasyon tekniği ile sabit hale getirilir. Ancak bazı ultrasonifikasyon işleminden sonra aglemere (topaklanma) olduğu görülmüş ve bunun başlıca sebepleri arasında dinamik viskozite değerlerinin olduğu kanısına varılmıştır (Anoop *et al.* 2012).

Yapılan çalışmalarda nanoakışkanlar baz sıvı içerisine katı parçacık olarak CuO, SiO_2, Cu, Al_2O_3, TiO_2 gibi metal oksitler eklenerek hazırlanmıştır. Hazırlanan bu süspansiyonlarda çeşitli baz akışkanlar kullanılmış fakat baz sıvının su olduğu durumlarda ısıl iletkenlik değerinin daha yüksek olduğu deneyimlenmiştir (Azmi *et al*.2012).

Nanoakışkanlar bazı özel fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir ve bu nanoparçacıkların morfolojisine, boyutuna ve kimyasal doğasına özel önem verilmesi anlamına gelmektedir. Özellikle, nanoakışkanların birçoğunun, saf baz akışkanlara kıyasla sadece artan bir ısı iletkenliğine değil aynı zamanda geliştirilmiş bir ısı transfer konvektif katsayısına sahip olduğu gösterilmiştir (Hooman *et al*. 2015). Nanoakışkanlar yüksek soğutma oranları, düşük pompalama gücü, daha küçük ve hafif soğutma sistemleri, yüksek soğutma oranları ve arttırılmış aşınma direnci gibi fayda sağlamakla birlikte, bu özellikleriyle imalat, enerji, ulaşım ve elektronik gibi sanayideki daha birçok alanda uygulamalarında kullanımını cazip hale getirmiştir (Xu 1996 and Verma 2007). Han *et al.* , Mikkola *et al.* , Yasinskiy *et al*. ve benzer bir çok çalışma tarafından baz akışkan içerisine tek bir nanoparçacık eklenmesi termal iletkenliğin geleneksel yöntemlere göre arttırdığı kanıtlanmıştır. Yakın zamanda

ise iki veya daha fazla nanoparçacığın baz akışkan içerisine eklenmesi ile hibrit nanoakışkanlar adı verilen kompozit bir malzeme hazırlanmıştır. Yeni nesil hibrit nanoakışkanlar ısı transferinde ve basınç düşüş karakterizasyonunda daha iyi termal ağ ve nanoparçacıkların sinerjik etkisiyle iyileştirme sağlamıştır (Sarkar *et al.* 2015).

Literatür taraması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda SiO_2 ve TiO_2 nanopartikülleri ile hibrit nanoakışkan oluşumuna dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmada SiO_2 ve TiO_2 ile bu malzemelerin hibrit nanoakışkanları hazırlanarak, karakterizasyonu ve optimizasyonu test edilmiştir.

1.1 Nanoakışkanlar

Isı transfer akışkanlarının ısıl iletkenliği, ısı transfer cihazlarının enerji verimliliğinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Ancak su, yağ ve etilen glikol gibi yaygın ısı transfer akışkanlarının ısı katsayıları düşüktür. Endüstrilerin gelişmesiyle birlikte ısıl iletkenliği yüksek yeni ısı transfer akışkanları geliştirme fikri gerekli hale gelmiştir. Isı transfer cihazları üzerindeki mevcut araştırma ve geliştirme çabalarına rağmen, geleneksel ısı transfer sıvıları, düşük termal iletkenlikleri nedeniyle önemli sınırlamalar getirmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında katı olan metallerin, bu sıvılarınkinden daha büyük bir termal iletkenlik katsayısına sahip olduğu bilinmektedir (Touloukian *et al*. 1970). Örneğin, bakırın oda sıcaklığındaki termal iletkenliği sudan 700 kat, motor yağından ise 3000 kat daha fazladır. Metalik sıvıların termal iletkenliği, metalik olmayan sıvılardan çok daha yüksektir. Bu nedenledir ki, süspanse halde katı partikül içeren bir sıvının ısıl iletkenliği klasik akışkanların termal iletkenliğinden daha büyük olacağı beklenir. Sözü edilen bazı malzemelerin termal iletkenlik değerleri, Çizelge 1.1'de verilmiştir (Kakaç ve Pramuanjaroenkij 2009).

Çizelge 1.1 Bazı malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri (Kakaç and Pramuanjaroenkij 2009)

Katılar/Sıvılar	**Malzeme**	**Isı İletim Katsayısı (W/mK)**
Metal Katılar	Gümüş	429
	Bakır	401
	Alüminyum	237
Metal Olmayan Katılar	Elmas	3300
	Karbon Nanotüpler (CNT)	3000
	Silikon	148
	Alümina (Al_2O_3)	40
Metal Sıvılar	Sodyum (T=644 ^{0}K' de)	72,3
Metal Olmayan Sıvılar	Su (H_2O)	0,613
	Etilen Glikol (EG)	0,253
	Motor Yağı (EO)	0,145

Mevcut teknoloji, ortalama boyutu 50 nm'den az olan malzemenin üretilmesine izin vermektedir. Daha yüksek termal iletkenliğe sahip yeni akışkanlar üretmek için metal nanopartiküller, su, etilen glikol veya motor yağı gibi endüstriyel ısı transfer akışkanlarında süspanse edilebilir. Yeni ısı aktarım sıvısı nanoakışkan, nanoparçacıkların geleneksel bir ısı aktarım sıvısı içinde süspanse edilmesiyle elde edilebilir. Nanoakışkanlarda kullanılan ortalama parçacık boyutu 50 nm'den azdır (Choi 1995).

1.2 Nanoakışkanların Kullanım Alanları

Nanoakışkanlar diğer baz akışkanlara kıyasla daha iyi termofiziksel özellik sergilemeleri nedeniyle ısı transfer çalışmalarında ilgi çekmektedir. Uygulama alanları aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

Güneş enerjisi uygulamaları; Nanoakışkanların güneş enerjisinin termal uygulamalarında kullanımı, fosil yakıtların kullanımının getirdiği sorunlar nedeniyle

alternatif enerji kaynaklarına yönelmesinden doğan yöntemlerden biridir. Nanoakışkanlar esas olarak güneş enerjisi uygulamalarında güneş kollektörlerinde ve güneş enerjisi sıcak su sistemlerinde tercih edilir. Ayrıca literatürde çok sayıda güneş pili ve enerji depolama uygulamaları da mevcuttur. Güneş kollektörlü uygulamalarda nanoakışkan kullanımının ısıl verimi arttırdığı tespit edilmiştir. Ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirildiğinde, bu yaklaşımın CO_2 emisyonları azalttığı ve yıllık yakıt ve elektrik tasarrufunu artırdığı tespit edilmiştir (Mahian *et al*. 2013).

Uzay ve savunma sanayi; üst düzey teknoloji uygulamaların olduğu bu alanda nanoteknolojiye sıklıkla rastlanmaktadır. Yüksek oranda soğutma ihtiyacına sahip bazı güç elektronikleri, enerji silahları ve askeri cihazlar bu gruba girer. Bu ihtiyacın giderilmesi konusunda önemli bir potansiyele sahip olan nanoakışkan kullanımı bazı durumlarda savunma sanayi uygulamalarında birden fazla görevi yerine getirmek üzere tasarlanmıştır. Enerji depolama ve kimyasal reaksiyonlar sırasında enerji toplama bilinen özelliklerinin yanında söylenebilecek diğer uygulamalarıdır (Yu *et al*. 2007).

Elektronik soğutma; Elektronik uygulamalarda, soğutma sisteminin verimliliğini arttırırken gerekli yüzey alanını azaltmak büyük bir zorluktur. Bu ihtiyaç, mikroişlemcilerin gücünün sürekli artmasından kaynaklanmaktadır, ancak elektronik cihazları azaltma çabaları buna meydan okumaktadır. Bu sınırlı koşullar altında nanoakışkanlar, yüksek termal iletkenlik özellikleri nedeniyle önemli bir alternatif sunmaktadır. Ancak elektronik soğutmada kullanılacak nanoakışkanlar seçilirken bazı noktalara dikkat edilmelidir. Seçilen akışkan stabil olmalı, soğutma sistemi üzerinde aşındırıcı bir etkiye sahip olmamalı, ısıyı daha iyi iletmeli ve ekonomik olarak uygulanabilir olmalıdır (Ganvir *et al*. 2017).

Kameralar, mikro cihazlar ve ekranlar; nanoakışkanların elektrik alanlara maruz kaldıklarında daha iyi performans ve stabilite gösterdikleri görülmüştür (Saidur *et al.* 2011). Bu yönüyle yeni tip minyatür kamera lenslerinin, cep telefonu ekranlarının ve diğer bazı küçük ölçekli sıvı yapıdaki cihazların geliştirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar, nanoakışkanların mikro veya nano boyuttaki cihazların tahrik düzeneklerinde uygulama imkanını ortaya koymuştur.

Talaşlı imalatta soğutma sıvısı olarak; talaşlı işlem sırasında oluşan ısı ve sürtünme, kullanılan takımların ömrü açısından her zaman önemli bir sorundur. Kesme sıvısı bu sorunu çözmek için kullanılan geleneksel yöntemdir. Ancak bu sıvıların çevreye olan zararlı etkileri kullanımlarının sınırlı kalmasına neden olmuştur. Bu noktada nanoakışkanlar ısı transferi ve yağlama özellikleri ile bu sorunu çözmek için bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. (Srikant *et al*. 2009).

1.3 Nanoakışkanların Hazırlanması

Isıl iletkenlik performansına önemli ölçüde etkileyen, geleneksel akışkanların nanopartikül eklenmesiyle oluşturulan nanoakışkanların hazırlanması özen gösterilmesi gereken bir konudur. Bu işlem basit bir katı-sıvı karışımı değildir. Elde edilecek karışımın kararlı ve uzun ömürlü bir süspansiyon olması, katı partiküllerde topaklanmanın oldukça az olması ve baz akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekmektedir. Bununla ilgili arşivlerdeki en kapsamlı çalışma Xuan ve Li tarafından yapılmıştır. Nanoakışkanları hazırlama tekniğinin uygulamaya göre belirlenmesi gerektiği üzerinde durulmuştur (Şahin vd. 2006)

Nanoakışkanlar iki teknik kullanılarak hazırlanır: Tek adım tekniği ve iki adım tekniği. Tek adım tekniğinde parçacık akışkan içinde üretilir ve eş zamanlı olarak dağıtılır. İki adım tekniğinde ise nanoparçacık fiziksel veya kimyasal sentez yoluyla üretilerek akışkan içerisine eklenir ve dağıtımı sağlanır (Sidik *et al*. 2017).

1.3.1 Tek adımlı metot

Tek adım metodunda baz akışkan içinde nanoparçacık üretimi ve dağıtımı aynı anda gerçekleşmektedir. Bu yolla daha homojen nanoakışkan hazırlanabilmektedir. İki adım metoduna nazaran bu yöntemde nanopartiküllerin topaklanma oranları daha azdır. Ancak üretim maliyetinin yüksek olması ve kullanılacak nanopartikül türü sınırlı olduğundan bu yöntemin kullanımı pek tercih edilmemektedir (Çiftci 2014).

1.3.2 İki adımlı metot

Nanoakışkan hazırlamak için en çok kullanılan yöntem olan iki adım metoduna göre nanoparçacıklar, nanolifler, nanotüpler veya diğer nanomateryaller öncelikle fiziksel veya kimyasal yöntem ile kuru toz olarak üretilirler. Pekiştirmeli manyetik güç çalkalayıcısı, ultrasonik çalkalayıcı, yüksek parçalayıcı karıştırıcı ve bilyalı değirmen yardımı ile nano boyuta indirgenen tozlar baz akışkan içerisine dağıtılır. Nanoparçacıkların sentezlenmesi endüstriyel üretim seviyelerinde olduğundan iki adım yöntemi en ekonomik yöntemdir. Ancak bu yöntemin kötü yanı, nanoparçacıkların topaklanma eğiliminde olmasıdır.

Kararlılık her iki üretim yöntemi içinde büyük önem taşımaktadır. Tozlar arasında Van Der Waals kuvveti olduğu için tozlar kolay bir şekilde toplanabilmektedir. Bu sorun nanakışkan sentezinde termal iletimi azaltan başlıca sorunlardan biridir. Sorunun çözümü için ultrasonifikasyon veya karıştırma süreci uygulanır. Yüzey aktif madde kullanımı kararlılığı arttıran bir diğer etkendir (Arslan ve Günerhan 2017).

1.4 Nanoakışkanların Stabilitesini Etkileyen Faktörler

Nanoakışkan stabilizasyonu, bir baz sıvı içinde dağılmış nanoparçacıkların oluşturduğu süspansiyonunun akışkan viskozitesi, ısıl iletkenlik, ortalama partikül çapı ve baz akışkandaki partikül hacim oranı gibi fiziksel özelliklerin zaman içindeki değişimin korunması olarak tanımlanabilir. Nanoakışkanların kararlılığı, temel olarak askıda kalan partiküllerin ve baz akışkanın özelliklerine bağlıdır (Hwang *et al*. 2007).

1.4.1 Çift tabaka ve zeta potansiyeli

İki parçacığın etkileşiminin gücü, yüzeydeki yükün yoğunluğuna ve türüne bağlı olarak değişir. Nanoparçacığın yüzeyindeki asidik grupların ayrışması ile yüzey negatif bir yük taşırken, yüzeydeki bazik grupların ayrışması ile yüzey pozitif bir yük taşımaktadır. Yüzey yükünün büyüklüğü, bir sıvının asidik ve bazik değerinin bir ölçüsü olan pH değerine bağlıdır. Nanoparçacık arasındaki itmenin elektrik potansiyelinin değerine zeta potansiyeli denir. Nanoakışkanın kararlılığının doğrudan ifadesi, zeta potansiyel değerinin mutlak büyüklüğü olarak ifade edilir. Bu değerin büyüklüğü, sıvının kararlılığını belirler. Zeta potansiyelini etkileyen ve zeta potansiyelinin değerini olarak değiştirmeyi sağlayan en önemli parametre pH değeridir (Li *et al*. 2007, Manjula *et al*.2005).

Kolloid çevresindeki çift tabakanın kalınlığı, çekim kuvvetine ve elektriksel difüzyona göre değişir. Zıt iyonların konsantrasyonu parçacık yakınında yüksektir, parçacıktan gelen çekim kuvvetinin azalması nedeniyle zıt iyonların konsantrasyonu azalır. İyonik gücü yüksek sıvılarda, partikülün etrafındaki elektrik çift tabaka kuvvetli bir şekilde sıkıştırılabilir. Böylece parçacık daha küçük bir hacim kaplar. Aynı yüke sahip benzer kolloidal parçacıklar birbirine yaklaştığında, elektriksel çift katmanlar etkileşir. Benzer yükleri birbirine yaklaştığında, itici bir kuvvete maruz kalırlar. Ancak parçacıklar, moleküller arasındaki çekici kuvvet olan Van der Waals kuvveti ile birbirini çekmeye başlar. Tüm moleküller ve kolloidler, yüklerinden ve iletişimlerinden bağımsız olarak çekici bir güce sahiptir. Bu çekim kuvvetinin büyüklüğü; partiküllerin yoğunluğunun ve bileşiminin bir fonksiyonudur ve sulu fazın bileşiminden bağımsızdır (Turhan 2018).

1.4.2 Brown hareketleri

Botanikçi bilim insanı Robert Brown 1827 yılında bir sıvının içinde süspansiyon halinde bulunan küçük parçacıkların hareketini incelemiştir. Gözlemlediği su içinde zig zag hareketi yapan polenler ortamdaki molekülleri rastgele hareket ettirmişlerdir. Bu hareketin genel olduğunu ve herhangi bir andaki durumun başlangıcına bağlı olmadığını görmüştür. Moleküllerin rastgele hareketi nedeni ile yüksek konsantrasyonlu bir bölge ile

düşük konsantrasyonlu bir bölge ile temasa geçirilince yüksek bölgeden düşük bölgeye doğru difüzyonla bir akış izlenecektir. Karışımdaki parçacıkların Brown hareketinden dolayı belirli bir zamanda ne kadar yol aldığını hesaplamak ve bunun büyüklük mertebesi parçacığın çökme eğilimi ile kıyaslanarak belirlenebilir. Sedimantasyon, yoğunluk akımları ve konveksiyonda bu tarz difüzyon olayları gözlemlenmektedir (Dilek 2008).

Buongiorno ve ark. ısıl iletkenlik etkilerinin ötesinde bir ısıl iletkenlik artışı bulmuş, yedi kayma mekanizması göz önüne alınarak baz akışkan ile nanopartikül arasında kayma gerilmesi üretildiğini belirtmişlerdir. Brown difüzyonu ve termoforez nanoakışkanlarda önemli kayma mekanizmaları olduğu sonucuna varmışlardır (Zhang *et al*.2021).

1.5 Nanoakışkanların Karakterizasyonu

Klasik yaklaşımlarda olduğu gibi nanoakışkanlarında termofiziksel özellikleri, ısı transferi analizinin performansını etkiler. Akışkanlara ait Reynold (Re), Prandtl (Pr) ve Nusselt (Nu) sayıları termofiziksel özelliklerinin bir fonksiyonudur ve akışkanların taşınım katsayılarını doğrudan etkilerler. Bu durum dışında sistemde belirli bir ısı transferine bağlı olarak meydana gelen basınç kaybı ve sistemin ihtiyaç duyduğu pompalama gücü kullanılan akışkanın Re sayısına ve dolayısıyla termofiziksel özelliklerine de bağlıdır.

1.5.1 Termal iletkenlik

Nanoakışkanların termal iletkenliği çeşitli parametrelere bağlıdır. Bunlar;

- Nanoakışkanın viskozitesi,
- Temel akışkanın ısıl iletkenliği,
- Katı partikülün özellikleri (yoğunluğu, özgül ısısı gibi)
- Nanopartikülün hacimsel boyutlarının oranıdır.

Nanoakışkanın termal iletkenliği ayrıca nanoparçacık kümelerinin aglomere edilmiş yüzde içeriğine ve dönme yarıçapına göre değişir. Akışkan içinde asılı duran nanoparçacıkların dönüş yarıçapı ne kadar küçükse, nanoakışkanın termal iletkenliği o kadar büyük olur. Bunun nedeni, küçük kümelerin birim zamanda daha hızlı ve daha uzağa hareket edebilmeleri ve bu da nanoakışkanda daha fazla enerji aktarımı ile sonuçlanmasıdır. (Xuan *et al*. 2003). Katı metallerin baz akışkana göre termal iletkenliği daha yüksek olduğundan ısıl iletkenliği arttımak için akışkan içerisine katılmaya başlanmıştır (Gonçalves *et al*. 2009).

Isıl iletkenlik, akışkanların temel termofiziksel özelliğidir ve ısıl iletkenliğin baz akışkanlara kıyasla iyileştirilmesi, nanoakışkanların hazırlanmasında ana ilkedir. Nanoakışkanların termal iletkenliklerindeki değişiklikleri incelemek için çok sayıda teorik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Isıl iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan metodlardan bazıları; ısıl parametre cihazları, geçici kızgın tel metodu, sıcaklık titreşimi ve 3ω metodudur. Partiküllerin Brownian hareketi nanoakışkanların yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmasının en temel nedeni olduğu düşünülmektedir (Jang and Choi 2004). Brownian hareketi, çevrelerinden gelen moleküllerin bir sonucu olarak bir sıvı içinde yüzen veya askıda kalan mikroskobik parçacıkların rastgele hareketidir. Adını, konuyu ilk kez 1827'de inceleyen İskoç botanikçi Robert Brown'dan almıştır. Mekanizma, temel sıvılardaki nanoparçacıklara oldukça benzer. İkinci olarak, arayüz katmanlarının (yani nano katmanların) verimli bir ısı iletim mekanizması olduğu tespit edilmiştir. Bu katmanlar, parçacıkların yüzeyine yakın bir yerde bulunur ve nanoparçacık ile sıvının kütlesi arasında bir termal köprü oluşturur (Gupta *et al*.2007). Isıl iletkenliğin arttırılması partikül boyutu ve şekli, asitlik değeri (pH), sıcaklık, kümeleşme ve ek kimyasallar gibi parametrelere bağlıdır. Etkili termal iletkenliği tahmin etmek için kurulan bağıntıların çoğunluğunda malzemeyi meydana getirin bileşenlerin ısıl iletkenliği ve hacim oranı, yani gözenekliliğini kullanılmıştır. Bazı modeller ise bunlara ek olarak karışımdaki bileşenlerin şekil, düzen, boyut temas etkisi veya sıcaklık gibi etkileri de incelemişlerdir.

Literatürde nanoakışkanların ısıl iletkenliklerinin anormal şekilde arttığı görülmektedir. İki fazlı sistemlerin ısıl iletkenliklerine dair Çizelge 1.2'de görüleceği üzere birçok model ve yaklaşım mevcuttur (Paul *et al.* 2010).

Çizelge 1.2 Termal iletkenlik modelleri

Modeller	**Araştırmacı**	**Açıklama**
$$k_{nf} = k_{bf}\frac{k_p + 2k_b + 2\varphi(k_b - k_p)}{k_p + 2k_b + \varphi(k_b - k_p)}$$	Maxwell	Bu model tanecikler arasındaki mesafenin tanecik çapından daha büyük olduğu varsayılarak elde edilir (Colangelo *et al.* 2012)
$$k_{nf} = k_b\frac{(3\varphi - 1)\,k_p/k_b + [3(1-\varphi) - 1] + \sqrt{\Delta}}{4}$$ $$\Delta = \langle(3\varphi - 1)\frac{k_p}{k_b} + [3(1-\varphi) - 1]\rangle^2 + 8\frac{k_p}{k_b}$$	Bruggeman	Bu model akışkan içindeki partikül yoğunluklarının fazla olduğu durumlarda kullanılır.
$k_{nf} = k_b\left(1 + a\phi + b\phi^2\right)$ Küresel partiküller için; a= 2,25, b= 2,227 olarak tanımlanmıştır (Colla *et al.* 2012).	Lu ve Lin	Küresel olmayan parçacıkların ısıl iletkenlik hesaplanmasında da kullanılabilir.

Çizelge 1.2 Termal iletkenlik modelleri (devam)

$$k_{nf} = \left(\frac{k_p + 2k_b + 2\varphi(k_b - k_p)}{k_p + 2k_b + 2\varphi(k_b - k_p)} + \frac{\rho_p \varphi c p_p}{2k_b} \sqrt{\frac{k_b T}{3\pi \mu d_c}} \right)$$ T = Sıcaklık ρ_p = Partikülün Yoğunluğu cp_p = Partikülün Özgül Isı Kapasitesi k_b = Boltzman Sabiti d_c =Yarıçap μ = Viskozite (Colla *et al.* 2012).	Xuan	Maxwell modelinden türetilen bir modeldir.
$$\frac{k_{nf}}{k_b} = \frac{\left(k_p + (n-1)\varphi(k_b - k_p)\right)}{k_p + (n-1)k_b + \varphi(k_b - k_p)}$$	Hamilton ve Crosser	nano akışkanların ısıl iletkenliğine partikül biçiminin de etkili olduğu yaklaşımıyla geliştirilmiş bir modeldir (Colangelo *et al.* 2012).

Çizelge 1.2 Termal iletkenlik modelleri (devam)

$\frac{k_{nf}}{k_b} = \frac{k_p + 2k_b + 2(k_p - k_b)(1+n)^3\varphi}{k_p + 2k_b - (k_p - k_b)(1+n)^3\varphi}$	Yu ve Choi	Bu modelde nano akışkanlarda katı sıvı temas yüzeyinde oluşan sıvı filmin sıvı ve katı arasında ısı aktarım koridoru görevini gördüğü ve ısı aktarım kabiliyetinin önemli artışlarına bu özelliğin sebep olduğu düşünülmüştür.

1.5.2 Nanoakışkanların viskozitesi

Nanoakışkanların kullanımında viskozite çok önemlidir. Çünkü akışkan viskozitesi, basınç düşüşü, pompa kapasitesi ve kanal duvarı aşınması gibi olaylarla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle endüstriyel uygulamalarda kullanılan nanoakışkanın viskozitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu konudaki deneysel ve teorik çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir. Bu çalışmalarda viskozitenin birçok parametreyle (nanoakışkandaki nanopartiküllerin hacim oranı, sıcaklık, şekil, çap, nanopartiküllerin koherensi ve pH değeri gibi) ilişkisi araştırılmaktadır (Elçioğlu vd. 2014).

1.5.3 Nanoakışkanların kararlılığı

Kararlılık, nanoakışkan performansını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Parçacıklar arasındaki Van der Waals kuvvetleri onları bir arada tutma ve bir arada kümelenme eğilimindedir. Nanoakışkan kararsız bir yapıya sahipse; aglomerasyon ve çökelme gibi etkiler ısı transferinin verimini düşürür, pompa kapasitesini arttırılmasını gerektirecek ve sistem borularının tıkanmasına neden olacak etkiler ortaya çıkar. Nanopartiküllerin aglomerasyonu sadece kanal tıkanmasına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda termal iletkenliği azaltmada da rol oynar. Parçacıkların davranışını etkileyen diğer etken kuvvet ise, elektriksel çift katmanlı itme kuvvetidir. Partiküller sterik ve elektrostatik itme mekanizmasıyla birbirinden ayrılır. Nanoakışkanın kararlı olması için, elektriksel çift katmanlı itme, Van der Waals çekişine üstün gelmelidir. Kullanılan nanoakışkanın kararlı dağılımını etkileyen faktörlerin analizi, çok ihtiyaç duyulan bir işlemdir (Aytaç 2020).

1.5.4 Nanoakışkanların yoğunluğu

Literatürü gözden geçirdiğimizde, termal iletkenlik ve viskozite ile karşılaştırıldığında yoğunluk çalışmalarının çok sınırlı olduğunu görülmüştür. Nanoakışkanın yoğunluğu, sistemdeki nanoparçacık ve baz sıvının hacim oranı ile orantılıdır. Katıların yoğunluğu sıvılardan daha yüksek olduğu için, sıvıya nanoparçacıkların eklenmesiyle

nanoakışkanların yoğunluğunun arttığı sıklıkla gözlenmektedir. Pak ve Cho modelleri (Eşitlik 1.2), deneysel veriler mevcut olduğunda nanoakışkanların yoğunluğunu bulmak için sıklıkla kullanılan modellerdir (Doruk 2017).

$$\rho nf = \varphi\rho_p + (1-\varphi)\rho_{bf} \tag{1.2}$$

ρ_{bf} : baz sıvının yoğunluğu

φ: baz sıvıda nanoparçacığın hacim kesri

Nanoakışkanın yoğunluğu, klasik katı-sıvı karışımları için geçerli olan kompozit modeline göre elde edilebilir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Tavman ve Turgut (2010) SiO_2–H_2O, TiO_2–H_2O ve Al_2O_3– H_2O nanoakışkanlarının farklı hacimsel oran ve sıcaklıklarda viskozitelerinin değişimlerini araştırmışlardır. Hacimsel oranın artmasıyla viskozitede de artış gözlemlemişlerdir. TiO_2–H_2O nanoakışkanı incelendiğinde artan sıcaklıkla viskozitenin azaldığı, su ile yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Deney sonuçları SiO_2–H_2O nanoakışkanı için viskozitenin Einstein modeli, Krieger-Dougherty modeli ve Nielsen modeline göre önemli ölçüde yüksek çıktığı; TiO_2–H_2O nanoakışkanın viskozitesinin de Einstein modeline göre daha yüksek çıktığı gözlemlemişlerdir. Teorik modellerle birlikte araştırmacılar yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda nanoakışkanın viskozitesinin sıcaklık, partikül boyutu, şekil, dağıtıcı ve pH ile direkt olarak ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Turgut ve Doğanay (2016) yaptıkları çalışmada 10 nm ve 30 nm tanecik boyutuna sahip ve hacimce % 1, 2, 3 ve 6,33 katkı oranlarında Al_2O_3-su nanoakışkanların, ısıl iletkenlik ve viskozite değerlerini deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak literatürde yer alan efektif ısıl iletkenlik ve efektif viskozite modelleri ile karşılaştırılarak ısıl iletkenliğin tanecik boyutu ile ilişkili olmadığı ve Maxwell modeli ile uyumlu olduğu tespit etmişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda, numunelerin Newton tipi akışkan davranışı gösterdikleri ve aynı tanecik katkı oranında, daha büyük tanecik boyutuna sahip numunelerin viskozitelerindeki artış oranının daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Bajestan *et al*. (2016) güneş enerjili ısı değiştiricileri üzerine çalışmışlar, nanoakışkan olarak TiO_2-su kullanıp ısıtılmış boruda teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Nanoakışkan ısı aktarım katsayısının baz akışkanınkinden yüksek olduğunu deneyimlemişler ve nanoakışkanın parçacık konsantrasyonun ve ısıl iletkenliğinin ısı transferini olumlu; parçacık çapının ise ısı transferini olumsuz etkilediği sonucuna varmışlardır.

Akilu *et al*. (2017) Yeni bir karışım olan hibrit nanokompozit için TiO_2-CuO-C tercih etmişler ve nanoakışkanlar elde etmişlerdir. Çalışmada kullanılan nanokompozitlerin analizi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi

(EDX) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile yapılmıştır. Farklı karışım oranları ve farklı ısıl iletkenlik ve viskozitenin sıcaklık değerleriyle artma eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır.

Öğüt vd. (2017) Cu-su bazlı nanoakışkanın viskozitesinin belirlenmesi üzerine yapmış olukları çalışmada çeşitli modellerden yararlanmışlardır. Sonuçlar ısı transferindeki iyileşmenin parçacık hacimsel konsantrasyonu ve Grashof sayısının artmasıyla lineer olarak arttığını göstermişlerdir.

Demirpolat ve Daş (2019) yaptıkları çalışmada, etilen glikol, etanol, saf su malzemeleri ile CuO ve ZnO nanopartiküllerini kullanarak ürettikleri nanoakışkanları, deney düzeneğinden geçirirerek ısı iletim katsayılarını (k) ve ısı taşınım katsayılarını (h) belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, yaklaşık 1600 Reynolds sayısındaki deneysel ölçümlerde saf suya göre ısı transferinde ZnO' da %16,5 ve CuO' da %13,3 değerinde ortalama iyileşme sağladığı tespit etmişlerdir.

Aytaç (2020) CuO, ZnO, MgO parçacıkları ve CuO+ZnO, MgO+CuO, MgO+ZnO hibrit parçacıklarının nano boyutta olacak şekilde saf su içerisine belirli oranlarda katılarak elde edilen nanoakışkanların termofiziksel özellikleri teorik olarak literatürdeki modeller kullanılarak belirlenmeye çalışmışlardır. %0,5, %1, %2, %2,5 olacak şekilde farklı konsantrasyona sahip nanoakışkanların ısıl iletkenlik, özgül ısı, viskozite değerlerini hesaplamış ve modelleri karşılaştırmışlardır. Nanoakışkanların içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı tutma ve taşıma kapasitesinin saf suya göre daha fazla olduğunu gözlemlemiş, hacimsel derişimin oranının artmasıyla nanoakışkanlar içerisinde bulunan nano parçacıkların birbirleriyle oluşturduğu etkileşim nedeniyle akışa karşı oluşan direncin arttığı dolayısıyla her bir modelde viskozitenin yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Martínez *et al*. (2021) yaptıkları çalışmada su bazlı ZnO naopartiküllerinin karaterizasyonunu belirlemeye çalışmışlardır. 278-303 K sıcaklık aralığında, ağırlıkça %1 ve %3 ZnO konsantrasyonlarında ısıl iletkenlik ve viskozite ölçümleri yapmışlar ve ağırlıkça %1 konsantrasonluk nanoakışkan çözeltisi ısıl iletkenlikte ortalama %10,31 iyileşme kaydettiğini; viskozitenin ise baz akışkana göre %5,03 azaldığını

deneyimlemişlerdir. Yapılan stabilite analizinde ağırlıkça %3 lük çözeltinin daha iyi olduğunu, çünkü %1lik çözelti ile aynı absorbans değerine ulaşmak için 168 saat gerekli olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca 3 boyutlu laminar akışta sabit genişlikte simetrik mikro kanallar ($200 \leqslant Re \leqslant 1200$) dikkate alınarak sayısal olarak çalışılmışlar, dikdörtgen kesitli (283 μm) ve üç farklı yükseklikte (200 μm, 600 μm ve 400 μm), bir alt duvarda sabit ısı akışı (50 W/cm^2) uygulamışlardır.

Zhang *et al.* (2021) Su bazlı SiO_2 nanoakışkanın incelemişler ve geleneksel olmayan bir akışkan ortamı olarak nanoakışkanların, termal iletkenlik ve kararlılıkta olağanüstü avantajlara sahip olduğunu, hem mühendislik alanında hem de teknolojik yenilikleri geleneksel imalat ve inşaat endüstrilerinde kullanılması olarak belirtmişlerdir. İki adım metodu kullanarak SiO_2-su nanoakışkanını kütlece %0,5 %1 ve % 1,5 olarak hazırlamışlardır. Hazırlanan karışımın kararlılığı 4 yöntemle belirlenmeye çalışmışlardır, bunlar: görsel gözlem, absorbans testi, viskozite testi ve yüzey gerilim testi. Sonuç olarak su bazlı SiO_2 nanoakışkanın zamana bağlı üç aşamalı stabilite belirleme modeli önermişler, teoriyi destekler nitelikte artan konsantrasyon ile stabilitenin azaldığı gözlemlemişlerdir. Nanoakışkanın kararlılığının, 0-8 günlük periyotta hala bu özelliği sergilediğini deneyimlemişler ve bu çalışmanın nanoakışkan kararlılık teorisini ortaya çıkarmak ve nanoakışkanın daha da geliştirilmesini desteklemek için faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada nanoparçacık olarak SiO_2 ve TiO_2 ve temel akışkan olarak su, etilen glikol ve etil alkolün kullanıldığı SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Çalışmada Taguchi L9 deney tasarımı kullanılmış, Minitab 15 yazılımı yardımıyla optimum nano akışkan belirlenmiştir. Taguchi deney tasarımı (Hamzaçebi ve Kutay 2003) Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Çizelgede 'S' kısaltması SiO_2, 'T' kısaltması TiO_2 ve 'H' kısaltması SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanları simgelemektedir. Her üç nanoakışkan için de aynı deney tasarımı kullanılmıştır. Deneylerde % 0,01, %0,05, %0,1 olmak üzere üç farklı hacimsel oran kullanılmıştır. Her deney koşumu için 100 ml nanoakışkan hazırlanmıştır. Nanoakışkanlar 30, 45, 60 dk olmak üzere üç farklı karıştırma süresinde ultrasonik karıştırıcıda hazırlanmıştır. Ayrıca nanoakışkanların pH değerleri 4,5-7,5-11,5 olarak belirlenmiştir. Nano akışkanların stabil kalmalarına yardımcı olan bir diğer etken de yüzey aktif maddelerdir. Çalışmada her deney koşulu için 0,5 g olacak şekilde, yüzey aktif madde olarak Tergitol kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan Taguchi L9 deney tasarımı

Deneyin Adı	**Deneyin Adı**	**Deneyin Adı**	**Hacimsel Oran (v/v)**	**Ultrasonik karıştırma Süresi (dk)**	**Temel Akışkan**	**pH**
S1	**T1**	**H1**	0,01	30	Su	4,5
S2	**T2**	**H2**	0,01	45	Etanol	7
S3	**T3**	**H3**	0,01	60	Etilenglikol	11,5
S4	**T4**	**H4**	0,05	30	Etanol	4,5
S5	**T5**	**H5**	0,05	45	Etilenglikol	7

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan Taguchi L9 deney tasarımı (devam)

S6	**T6**	**H6**	0,05	60	Su	11,5
S7	**T7**	**H7**	0,1	30	Etilenglikol	4,5
S8	**T8**	**H8**	0,1	45	Su	7
S9	**T9**	**H9**	0,1	60	Etanol	11,5

3.1 Materyal

Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler Çizelge 3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler

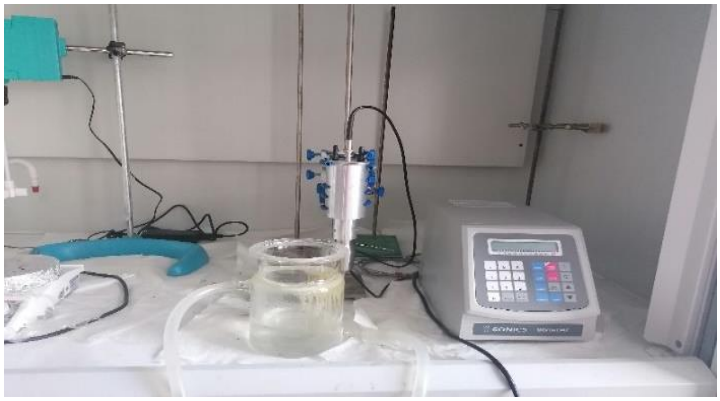
	Kimyasal Adı	**Saflık**	**Temin Edilen Firma**
Nanoparçacıklar	Silisyumdioksit(Nanopartikül)	≥99,55%	Nanografi
	Titanyumdioksit(Nanopartikül)	≥99,55%	Nanografi
(Yüzey Aktif Madde)	Tergitol (NP-10)		Simax
Baz Akışkanlar	Etanol	%99,9	Sigma-Aldrich
	Etilen glikol	≥99,9%	Sigma-Aldrich
	Saf Su		

3.2 Nanoakışkanların Hazırlanması ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Nanoakışkanların tek adımlı ve iki adımlı olmak üzere iki farklı hazırlanma şekli vardır. Bu çalışmada iki adımlı yöntem kullanılmıştır. İki adımlı yönteme göre hazırlanma aşamaları aşağıdaki şekildedir:

- Nano partiküller belirtilen hacimsel oranlara uygun olacak şekilde tartılmıştır,
- Her deney koşumu için 0,5 g yüzey aktif madde ilave edilmiştir,
- Her deney numarası için gerekli temel akışkan ile 100 ml'ye tamamlanmıştır,
- 0,01 M NaOH ve 0,01 M HCl çözeltisi kullanılarak, her deney numarası için belirtilen değerde pH ayarlaması yapılmıştır,
- Hazırlanan karışım 1000 rpm'de 30 dk manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır,

Manyetik karıştırıcıda 30 dk karıştırılan karışım Çizelge 3.1'de gösterilmiş her deney numarası için belirtilen sürede ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Şekil 3.1'de çalışmada kullanılan ultrasonik karıştırıcı yer almaktadır.



Şekil 3.1 Ultrasonik karıştırıcı ve soğutma ceketi

Ultrasonik karıştırma 400 W güçte 8/2 pulse ile yapılmıştır. Karıştırma sırasında sıcaklık yükselmesinin fazla olması ve yüksek sıcaklıkların nanoakışkan kararlılığını etkilemesi sebebi ile Şekil 3.1'de görüldüğü gibi sirkülatörlü su banyosu kullanılarak bir soğutma ceketi oluşturulmuştur ve nanoakışkanların sıcaklıklarının oda sıcaklığında olması sağlanmıştır.

Elde edilen nanoakışkanların fiziksel özelliklerini belirlemek amacı ile daha önce de belirtildiği gibi viskozite, termal iletkenlik, zeta potansiyeli ve partikül çapları belirlenmiştir. Tüm fiziksel özellikler oda sıcaklığında ölçülmüştür.

3.2.1 Viskozite

Nanoakışkanların viskoziteleri teorik eşitlikler yardımıyla ya da deneysel olarak belirlenebilir. Bu çalışmada Şekil 3.2'de yer alan Vibro Viskometer SV-10 (03-10,000mPa.s) viskozimetre kullanılarak viskozite değerleri belirlenmiştir. Cihazın hata oranı ± %1'dir. Her bir karışım için 3 ölçüm yapılarak bunların ortalamaları alınmıştır. Cihazın ölçüm doğruluğu tespiti için saf su ile ölçüm yapılmış ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ölçümler ve literatür değerleri cihazın hata aralığında çıkmıştır.



Şekil 3.2 Viskozite ölçüm cihazı

3.2.2 Isı iletim katsayısı

Nanoakışkanların ısıl iletkenliklerinin belirlenmesi için literatürde eşitlikler bulunmaktadır. Bu çalışmada deneysel olarak ısı iletim katsayısı belirlenmesi

amaçlanmıştır. Isıl iletkenlik katsayıları KD2 Pro (Decagon Devices Inc.) termal iletkenlik ölçüm cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Cihaz hot wire yöntemi ile ısı iletim katsayısı ölçümü yapmaktadır. Hata aralığı ± %5'dir. Isı iletim katsayısı ölçümleri için kullanılan düzenek Şekil 3.3'te yer almaktadır. KD2 Pro termal iletkenlik ölçüm cihazının sıcaklık değişimlerine aşırı duyarlılığı sebebi ile ölçümler sırasında Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir soğutma ceketi kullanılarak sıcaklık sabit tutularak, sıcaklık değişimleri engellenmiştir.



Şekil 3.3 Isıl iletkenlik ölçüm cihazı ve düzeneği

Her bir numune için 15-20 ölçüm alınarak bu değerlerin ortalamaları alınmıştır.

3.2.3 Zeta potansiyeli

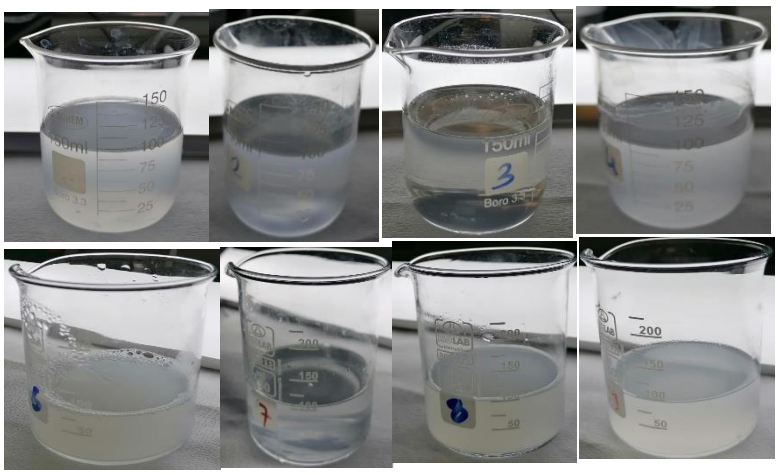
Baz sıvı içerisinde nanoparçacıkların dispersiyonu yani dağıtılması için 3 teknik vardır. Bunlardan ilki, çeşitli yüzey aktif maddelerin kullanılmasıyla birlikte nanoparçacıkların üzerinde organik grupların absorplanmasının sağlanması ve yüzeyin modifiye edilmesidir. İkinci yöntem ise, nanoakışkandaki baz sıvının pH'ının değiştirilmesiyle nanoakışkanın dağılma kararlılığının ayarlanmasıdır. Bu şekilde gerçekleştirilen pH değişimi zeta potansiyeli ile ilgilidir ve bu da doğrudan dağılma kararlılığını etkileyen bir parametredir. Üçüncü yöntem ise süpersonik dalgalar yardımıyla boşluk salınımları üreterek gerçekleştirilen dağılımdır (Kleinstreuer *et al.* 2011). Bu çalışmada zeta potansiyeli ölçümü için Malvern Zeta Potansiyel ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Zeta potansiyel ölçüm cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Daha önce de bahsedilgiği gibi nano akışkanlar iki adımlı nanoakışkan yöntemi kullanılarak hazırlandı. Çizelge 3.1'de Taguchi L9 deney tasarımında yer alan parametrele uygun olarak hazırlanmış nanoakışkanlara ait görüntüler Şekil 4.1, Şekil 4.2'de yer almaktadır. Nanoakışkanların kararlıklıklarını belirleme yöntemlerinden biri de fotoğraflama yöntemidir.



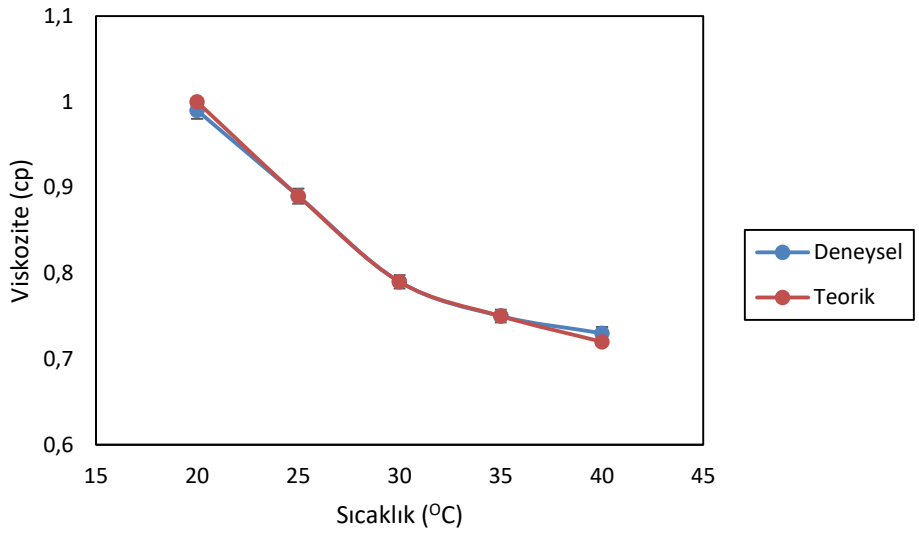
Şekil 4.1 Silisyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların ultrasonik karışma sonrası görüntüleri



Şekil 4.2 Titanyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların ultrasonik karışma sonrası görüntüleri

4.1 Viskozite

Çalışmada öncelikle viskozimetrenin kalibrasyonunu yapmak amacı ile 20-40 ^{O}C sıcaklık aralığında saf su ile ölçümler alınarak literatür değerleri ile kıyaslanmıştır. Şekil 4.3'te ölçüm değerleri ve literatür değerleri grafik şeklinde % 1'lik hata çubukları ile gösterilmiştir. Sonuçlar cihazın hata aralığı olan ± %1 ile uyumluluk göstermektedir.

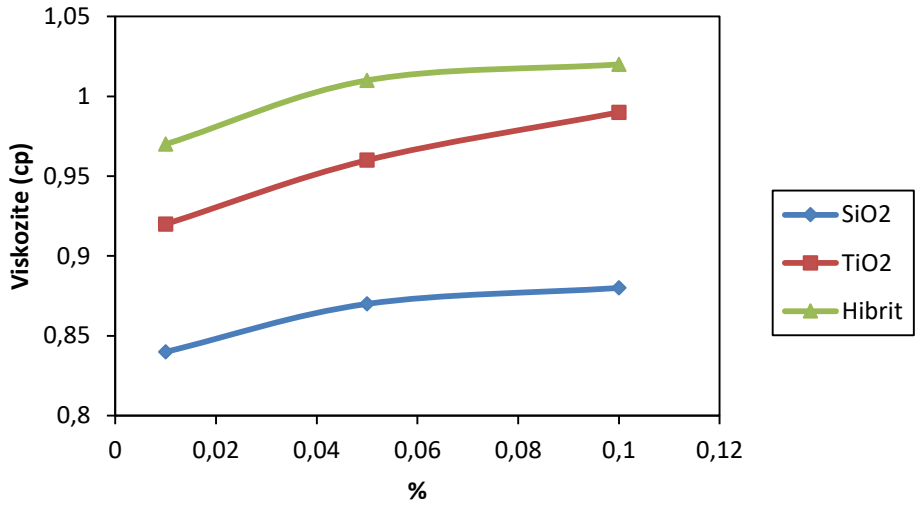


Şekil 4.3 Saf suyun deneysel ve teorik viskozite değerleri

4.1.1 Su bazlı nanoakışkanlar

Şekil 4.4 saf suyun temel akışkan olduğu SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel katı oranları ile ilişkisini göstermektedir. Her iki nanoparçacıkla hazırlanan nanoakışkanda ve bunların hibritlerinde katı miktarı arttıkça nanoakışkanların viskoziteleri artmıştır.

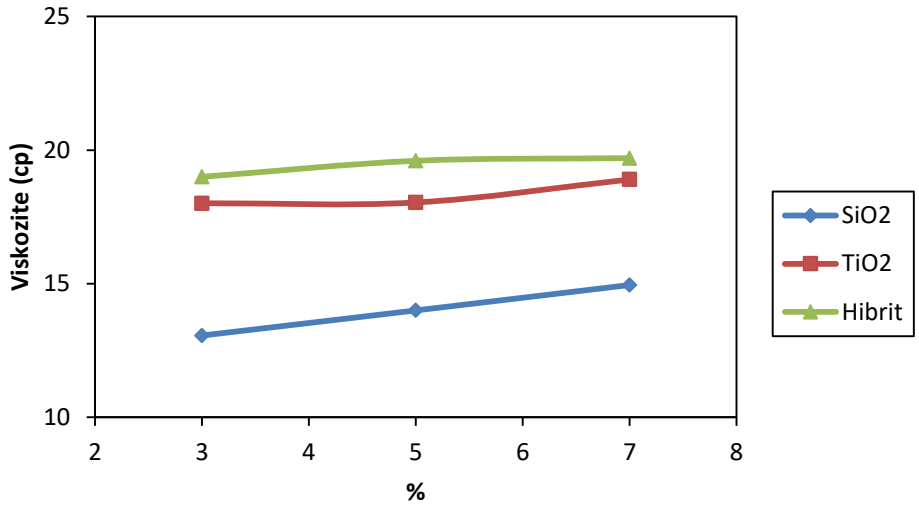
Ayrıca SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskoziteleri kendi aralarında kıyaslandıklarında SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin, TiO_2 ve SiO_2 nanoakışkanların viskozite değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozite değerleri su bazlı nanoakışkanlarda elde edilen en yüksek viskozite değerleridir.



Şekil 4.4 Saf su bazlı nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel yüzde ile değişimi

4.1.2 Etilen glikol bazlı nanoakışkanlar

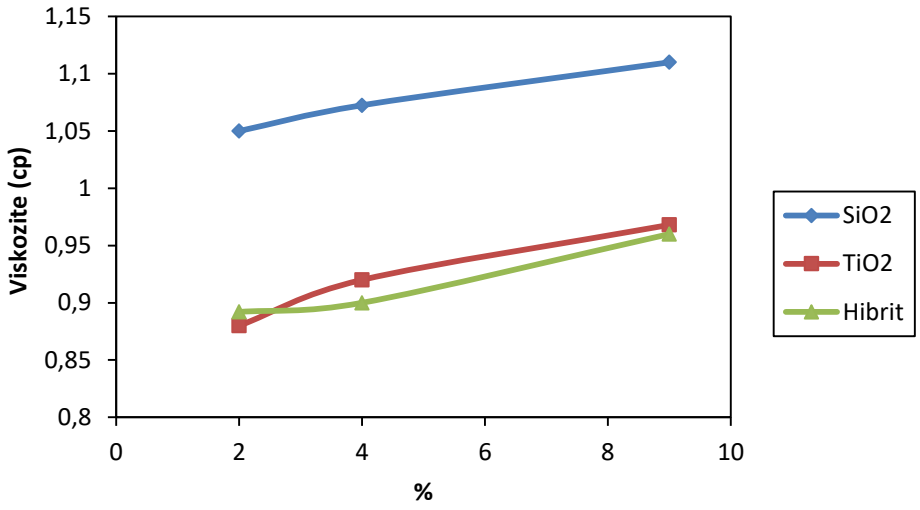
Şekil 4.5 etilen glikolün temel akışkan olduğu SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel katı oranları ile ilişkisini göstermektedir. Etilen glikol bazlı nanoakışkanlarda katı miktarı arttıkça viskozite değerlerinin arttığı görülmektedir. SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskoziteleri kendi aralarında kıyaslandıklarında SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin, TiO_2 ve SiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Etilen glikol bazlı nanoakışkanların viskozite sonuçları saf su bazlı nanoakışkanların viskozite sonuçları ile benzer davranış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.5 Etilen glikol bazlı nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel yüzde ile değişimi

4.1.3 Etil alkol bazlı nanoakışkanlar

Şekil 4.6 etilen glikolün temel akışkan olduğu SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel katı oranları ile değişimi görülmektedir. Etil alkol ile hazırlanan nano akışkanlarda su ve etilen glikol ile hazırlanan nanoakışkanlara benzer davranışlar göstermektedir ve katı oranı arttıkça SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların viskozite değerleri de artmaktadır. Bu üç nano akışkan kendileri arasında kıyaslandığında ise SiO_2 nanoakışkanların viskozite değerlerinin, TiO_2 nanoakışkanların viskozite değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Hibrit nano akışkanların viskozite değerleri en düşük değerler olurken sadece % 0,01 hacimsel oran için hibrit nanoakışkanın viskozite değeri TiO_2 nanoakışkanların viskozite değerinden yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.6 Etil alkol bazlı nanoakışkanların viskozitelerinin hacimsel yüzde ile değişimi

4.1.4 Viskozite için optimum parametre seviyelerinin belirlenmesi

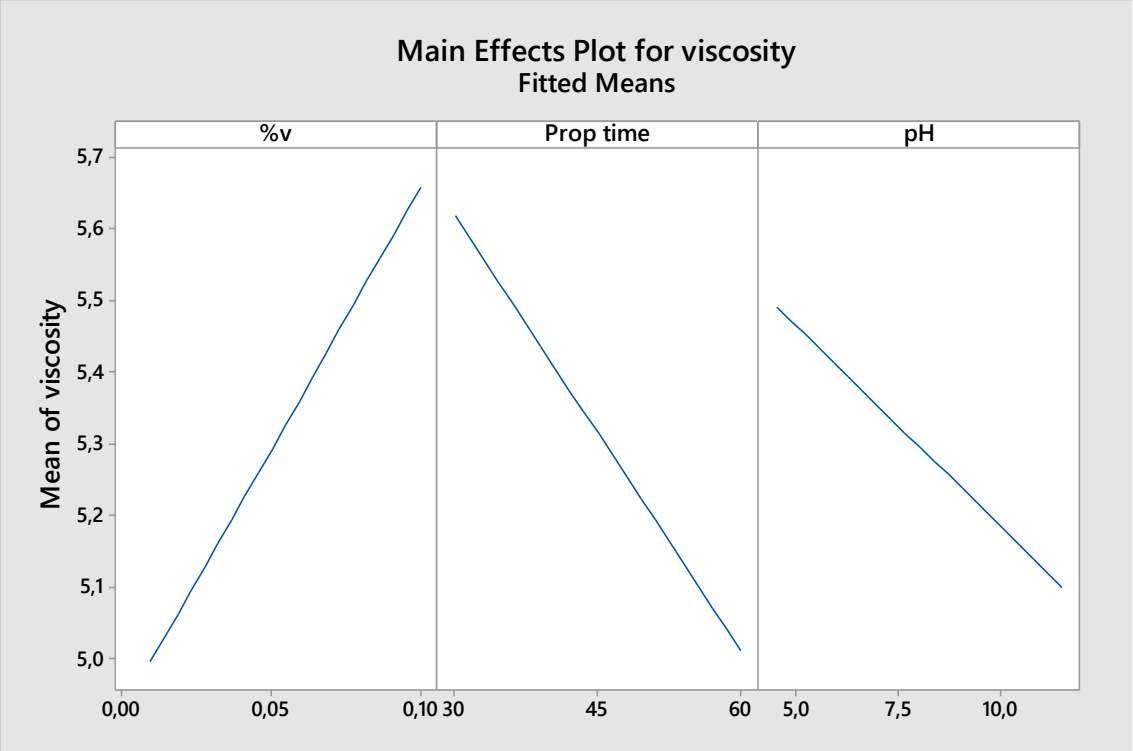
Deneylerde kullanılan parametrelerin çıktılar üzerindeki etkisini incelemek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir.

Silika nanoparçacıklarla hazırlanan nanoakışkanların viskozitesi üzerine katı oranı, ultrasonik karıştırma süresi, akışkan tipi ve pH'ın etkisini incelemek için yapılan varyans analizi sonucunda %95 güven aralığında istatistiki olarak etkili sayılabilecek parametrelerin tespiti için hipotez testi yapılmıştır. Alternatif hipotez H_1 "faktörlerdeki değişimin yanıt üzerinde değişime yol açtığı" diğer bir deyişle faktörlerin etkili olduğunu ileri sürerken yokluk hipotezi H_0 "faktörlerdeki değişimin yanıt üzerinde değişime yol açmadığı" diğer bir deyişle faktörlerin etkisiz olduğunu ileri sürecek şekilde tanımlanmıştır. Burada H_0 hipotezinin reddedilmesi için belirlenen güven aralığında hesaplanan p değerinin belirlenen tip 1 hata oranından daha küçük olması gerektiği kabul edilmiştir.

Buna göre %95 güven aralığında viskozite üzerinde hacimsel katı oranının istatistiki olarak etkisiz olduğu (p=0,096), ultrasonik karıştırma süresinin etkisiz olduğu (p=0,116), pH'ın etkisiz olduğu (p=0,247), akışkan tipinin ise istatistiki olarak etkili olduğu (p=0,000) olduğu bulunmuştur. Burada güven aralığı %85'e çekildiğinde hacimsel katı

oranı ve ultrasonik karıştırma süresinin etkili olduğu görülmektedir. Bu durum kontrol edilemeyen ortam değişkenlerinin bu parametrelerin etkisi üzerinde bozucu etkiye sahip olmasından kaynaklanabilir. Ancak her durumda akışkan tipinin viskozite üzerinde etkili olduğu görülmektedir bu durum akışkan tipleri arasındaki oldukça büyük viskozite farklılığından kaynaklanmaktadır.

Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini göstermek amacıyla ana etki grafikleri çizilmiştir. Çizilen ana etki grafikleri aşağıda Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Silisyumdioksit içeren nanoakışkanların viskozitesi için ana etki grafikleri

Yukarıda verilen grafik incelendiğinde hacimsel katı oranı ve akışkan tipinin viskoziteyi artırıcı diğer değişkenlerin ise viskoziteyi azaltıcı etkide bulunduğu görülmektedir. Viskozite üzerinde parametrelerin etkisinin aynı oranda olmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Akışkan tipi haricindeki parametrelerin yanıt üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Viskozite üzerinde en etkili parametre kuşkusuz akışkan tipidir. Akışkanlar içerisinde ise en etkili olan etilen glikoldür.

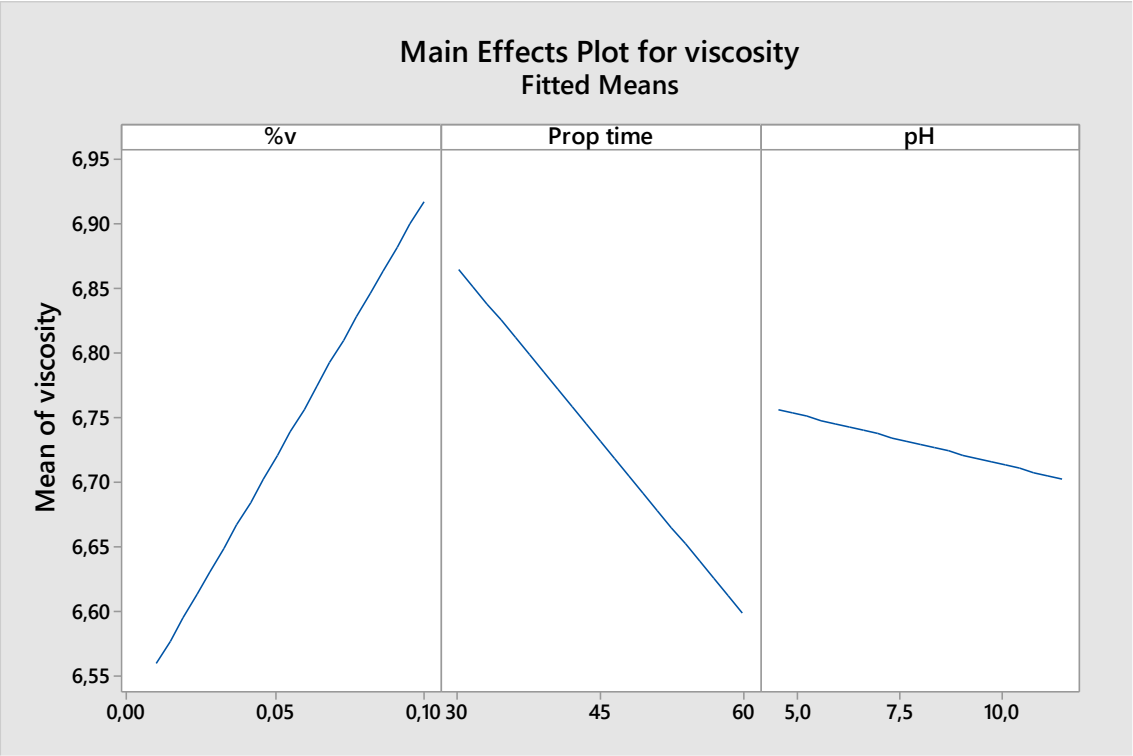
Silisyumdioksit içeren nanoakışkanların viskozitesi ile parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için lineer regresyon yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik için hesaplanan R^2 değeri %99,73 olarak hesaplanmıştır. Bu durum elde edilen regresyon eşitliğinin gerçek verileri temsil etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Üç farklı akışkan tipi için hazırlanan regresyon eşitlikleri aşağıda Çizelge 4.1'de verilmiştir. Eşitliklerde bulunan v= hacimsel katı oranını, prop time= ultrasonik karışma süresini, pH= çözeltinin pH değerini ifade etmektedir.

Çizelge 4.1 Silisyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite eşitlikleri

Akışkan Tipi	Regresyon Eşitliği
Su	1,810 + 7,34 %v - 0,02022 Prop time - 0,0558 pH
Etanol	2,023 + 7,34 %v - 0,02022 Prop time - 0,0558 pH
Etilenglikol	14,950 + 7,34 %v - 0,02022 Prop time - 0,0558 pH

Titanyumdioksit nanoparçacıklar ile hazırlanan nano akışkanlardan elde edilen viskozite değerleri hipotez testi gerçekleştirilmiştir. Buna göre %95 güven aralığında viskozite üzerinde hacimsel katı oranının istatistiki olarak etkisiz olduğu (p=0,197), ultrasonik karıştırma süresinin etkisiz olduğu (p=0,307), pH'ın etkisiz olduğu (p=0,819), akışkan tipinin istatistiki olarak etkili (p=0,000) olduğu bulunmuştur. Burada etanol bazının istatistiki olarak etkisiz olduğu (p=0,888) olduğu, etilen glikol bazının ise istatistiki olarak etkili (p=0.000) bulunmuştur.

Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini göstermek amacıyla ana etki grafikleri çizilmiştir. Çizilen ana etki grafikleri aşağıda Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 Titanyumdioksit nanoakışkanların viskozitesi için ana etki grafikleri

Yukarıda verilen grafik incelendiğinde hacimsel katı oranının viskoziteyi artırıcı prop time ve pH'ın viskoziteyi azaltıcı etkide bulunduğu görülmektedir. Viskozite üzerinde parametrelerin etkisinin aynı oranda olmadığı görülmektedir. Akışkan tipi haricindeki parametrelerin yanıt üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Viskozite üzerinde en etkili parametre kuşkusuz akışkan tipidir. Akışkanlar içerisinde ise en etkili olan etilen glikoldür.

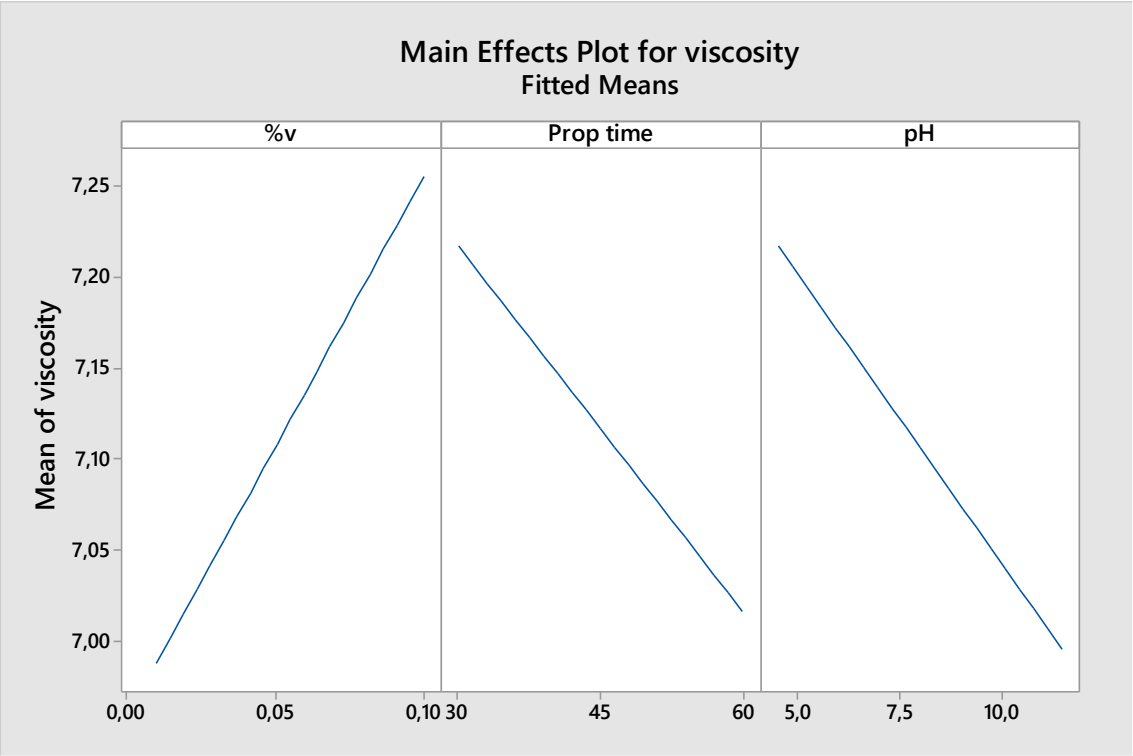
Titanyumdioksit nanoakışkanların viskozitesi ile parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için lineer regresyon yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik için hesaplanan R^2 değeri %99,91 olarak hesaplanmıştır. Bu durum elde edilen regresyon eşitliğinin gerçek verileri temsil etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Üç farklı akışkan tipi için hazırlanan regresyon eşitlikleri aşağıda Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Titanyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite eşitlikleri

Akışkan Tipi	Regresyon Eşitliği
Su	1,203 + 3,99 %v - 0,00889 Prop time - 0,0077 pH
Etanol	1,169 + 3,99 %v - 0,00889 Prop time - 0,0077 pH
Etilenglikol	18,563 + 3,99 %v - 0,00889 Prop time - 0,0077 pH

Titanyum oksit-silika hibrit nanoparçacıklar ile hazırlanan nano akışkanlardan elde edilen viskozite değerleri hipotez testi gerçekleştirilmiştir. Buna göre %95 güven aralığında viskozite üzerinde hacimsel katı oranının istatistiki olarak etkisiz olduğu (p=0,082) görülmüştür. Ancak %90 güven aralığında hacimsel katı oranının istatistiki olarak etkili olduğu söylenebilir. Diğer parametreler için yapılan hipotez testinin sonuçları ise şöyledir: %95 güven aralığında ultrasonik karıştırma süresinin etkisiz olduğu (p=0,150), pH'ın etkisiz olduğu (p=0,120), akışkan tipinin istatistiki olarak etkili (p=0,000) olduğu bulunmuştur. Burada etanol bazının istatistiki olarak etkisiz olduğu (p=0,480) olduğu, etilen glikol bazının ise istatistiki olarak etkili (p=0,000) bulunmuştur.

Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini göstermek amacıyla ana etki grafikleri çizilmiştir. Çizilen ana etki grafikleri aşağıdaki Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Titanyumdioksit-Silisyumdioksit hibrit nanoakışkanların viskozitesi için ana etki grafikleri

Yukarıda verilen grafik incelendiğinde hacimsel katı oranının viskoziteyi artırıcı prop time ve pH'ın viskoziteyi azaltıcı etkide bulunduğu görülmektedir. Viskozite üzerinde parametrelerin etkisinin aynı oranda olmadığı görülmektedir. Akışkan tipi haricindeki parametrelerin yanıt üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Viskozite üzerinde en etkili parametre kuşkusuz akışkan tipidir. Akışkanlar içerisinde ise en etkili olan etilen glikoldür.

Titanyumdioksit - silika hibrit nanoakışkanların viskozitesi ile parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için lineer regresyon yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik için hesaplanan R^2 değeri %99,98 olarak hesaplanmıştır. Bu durum elde edilen regresyon eşitliğinin gerçek verileri temsil etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Üç farklı akışkan tipi için hazırlanan regresyon eşitlikleri aşağıda Çizelge 4.3'te verilmiştir.

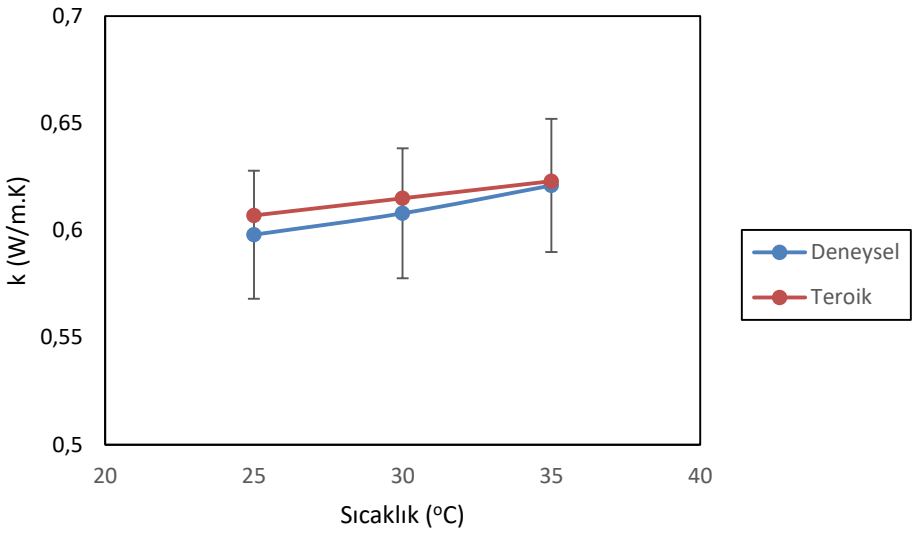
Çizelge 4.3 Silisyumdioksit-Titanyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite eşitlikleri

Akışkan Tipi	Regresyon Eşitliği
Su	1,384 + 2,96 %v - 0,00667 Prop time - 0,0316 pH
Etanol	1,300 + 2,96 %v - 0,00667 Prop time - 0,0316 pH
Etilenglikol	19,817 + 2,96 %v - 0,00667 Prop time - 0,0316 pH

Deney sonuçları incelendiğinde titanyumdioksit, silika ve titanyumdioksit-silika hibrit nanoakışkanlarda en yüksek viskoziteye sahip olan örneklerin etilen glikol ile hazırlandığı görülmektedir. Etilen glikol ile hazırlanan örneklerin vizkoziteleri birbirine oldukça yakın olduğu görülebilmektedir. Üç farklı tip baz ile hazırlanan nano akışkan için viskoziteyi maksimize eden optimum parametre seviyelerinin hacimsel katı oranı = 0,1 ultrasonik karıştırma süresi = 30 dk pH=7 olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelerin kullanıldığı deney ise 7 numaralı deneydir.

4.2 Termal iletkenlik

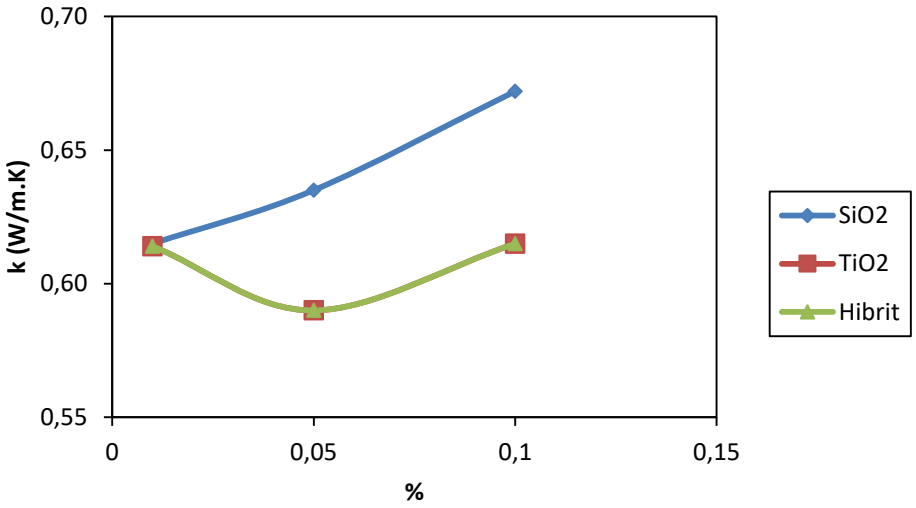
Daha önce de bahsedildiği gibi ısı iletim katsayıları KD2 pro termal iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak elde edilmiştir. 15 adet ölçüm yapılarak ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. Nanoakışkanların ısı iletim katsayıları ölçülmeden önce saf suyun 20-40 ^{O}C aralığında ısı iletim katsayıları ölçülerek literatüde aynı sıcaklıklarda yer alan ısı iletim katsayıları ile kıyaslanmıştır. Şekil 4.10'da deneysel ve teorik ısı iletim katsayıları yer almaktadır. % 5 hata çubukları yer alan grafik incelendiğinde deneysel değerlerin cihazın ±%5 hata değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10 Suyun deneysel ve teorik ısı iletim katsayıları

4.2.1 Su bazlı nanoakışkanlar

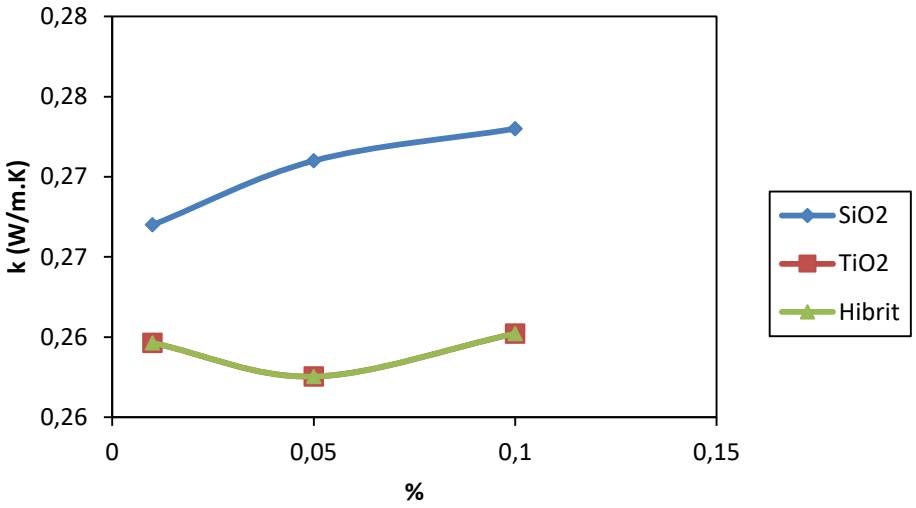
Şekil 4.11'de su bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının % hacimsel oranla değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Katı oranının artması, SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının artmasını sağlamıştır. SiO_2 nanoakışkanların ısı iletim katsayıları, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların ısı iletim katsayılarından daha yüksektir. Hibrit nanoakışkanlar ve TiO_2 nanoakışkanlar çok yakın ısı iletim katsayılarına sahipken, katı miktarları arttıkça da benzer davranışları göstermişlerdir.



Şekil 4.11 Su bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel yüzde ile değişimi

4.2.3 Etilen glikol bazlı nanoakışkanlar

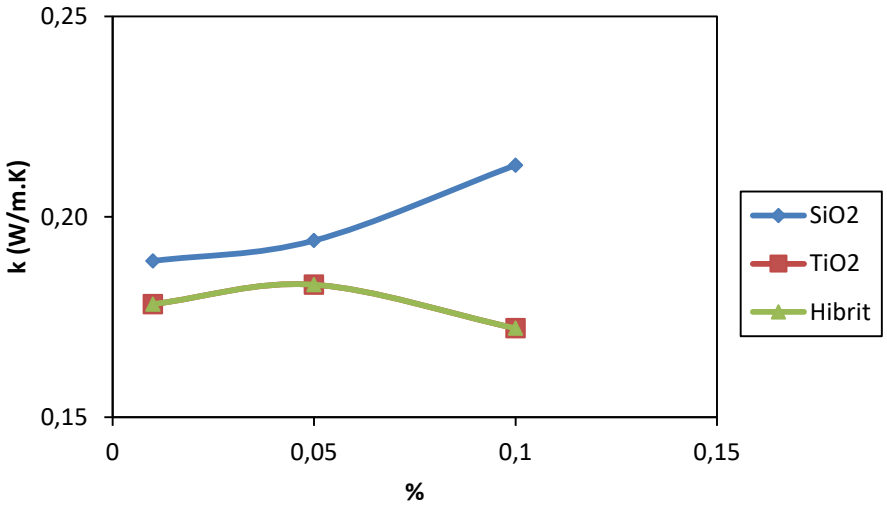
Etilen glikol bazlı SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel katı oranı ile değişimi Şekil 4.12'de yer almaktadır. SiO_2 nanoakışkanlara ait ısı iletim katsayısı değerleri TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların ısı iletim katsayısı değerlerinden daha yüksek çıkmıştır ve TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların ısı iletim katsayıları birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Su bazlı nanoakışkanlarda benzer davranışlar göze çarpmaktadır. Yine aynı şekilde katı miktarı artırıldıkça her üç nanoakışkanında ısı iletim katsayıları artmıştır. TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların her ikisinde de % 0,05 hacimsel katı oranında ısı iletim katsayısı % 0,01 hacimsel katı oranında ki ısı iletim katsayısı değerinden düşüktür. Katı miktarı arttıkça nano parçacıkların kararsızlıkları veya katı oranının % 0,01'den % 0,05'e yükselmesi durumunda daha az nanoparçacığın askıda kalması bu duruma yol açmış olabilir. Ayrıca nanoakışkanlarda katı oranı arttıkça parçacıkların aglemerasyonu arttığı için partiküllerin bir kısmı hızla çökebilir.



Şekil 4.12 Etilen glikol bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel yüzde ile değişimi

4.2.4 Etil alkol bazlı nanoakışkanlar

Şekil 4.13'te etil alkolün baz sıvı olduğu SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel katı oranı ile değişimi görülmektedir. Su bazlı ve etilen glikol bazlı nanoakışkanlarda olduğu gibi SiO_2 nanoakışkanlar en yüksek ısı iletim katsayısı değerlerine sahiptir. SiO_2 nanoakışkan için katı miktarı artırıldıkça ısı iletim katsayısı değerleri artarken, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanlarda en yüksek hacimsel katı yüzdesi olan % 0,1'de ısı iletim katsayısı değeri düşmüştür. Daha önce de bahsedildiği gibi aglemerasyon bu tür sonuçlar ile karşılaşılabilir.



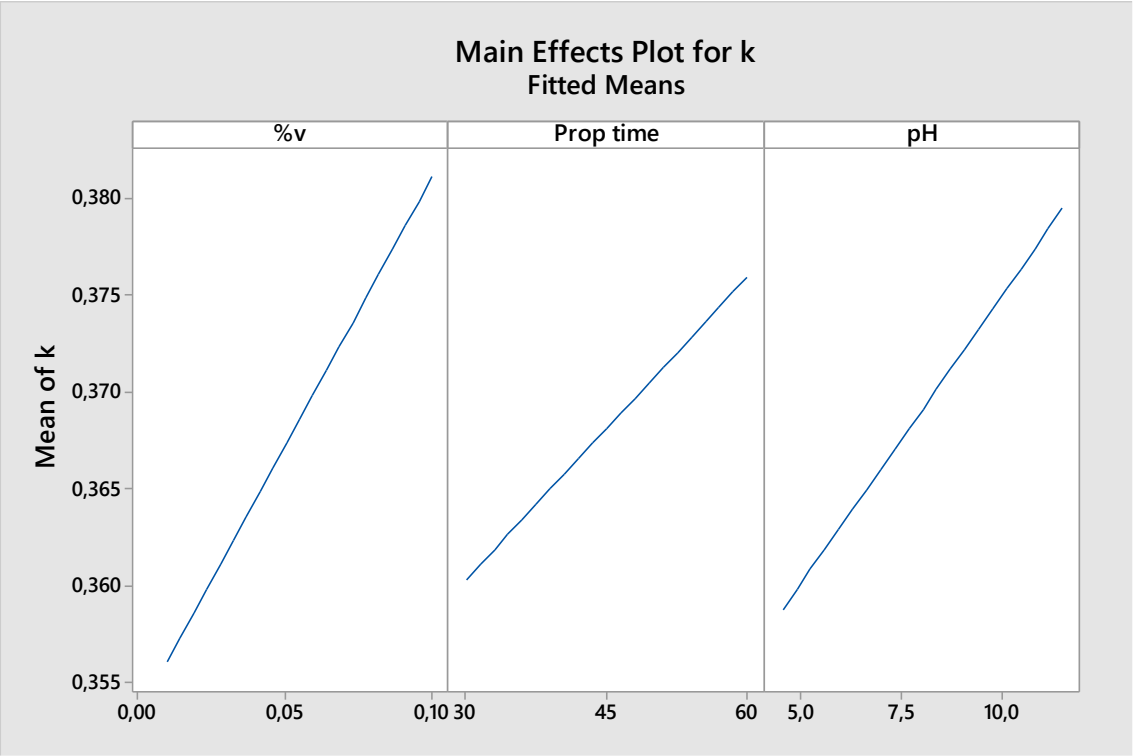
Şekil 4.13 Etil alkol bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının hacimsel yüzde ile değişimi

4.2.5 Termal iletkenlik için optimum parametre seviyelerinin belirlenmesi

Deneylerde kullanılan parametrelerin çıktılar üzerindeki etkisini incelemek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir.

Silika nanoakışkanların termal iletkenliği için yapılan analiz sonucunda %95 güven aralığında termal iletkenlik üzerinde hacimsel katı oranının istatistiki olarak etkili olduğu (p=0,047), ultrasonik karıştırma süresinin etkisiz olduğu (p=0,135), pH'ın etkisiz olduğu (p=0,072) görülmüştür. Güven aralığının %90 olduğu durumda pH'ın etkili olduğu söylenebilir. Akışkan tipinin istatistiki olarak etkili olduğu (p=0,000) olduğu bulunmuştur. Akışkan tipinin termal iletkenlik üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir bu durum akışkan tipleri arasındaki ısıl iletim katsayısı farklılığından kaynaklanmaktadır.

Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini göstermek amacıyla ana etki grafikleri çizilmiştir. Çizilen ana etki grafikleri aşağıda Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14 Silisyumdioksit içeren nanoakışkanların termal iletkenliği için ana etki grafikleri

Yukarıda verilen grafik incelendiğinde hacimsel katı oranı, prop time ve pH'ın termal iletkenliği artırıcı etkide bulunduğu görülmektedir. Akışkan tipi haricindeki parametrelerin yanıt üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

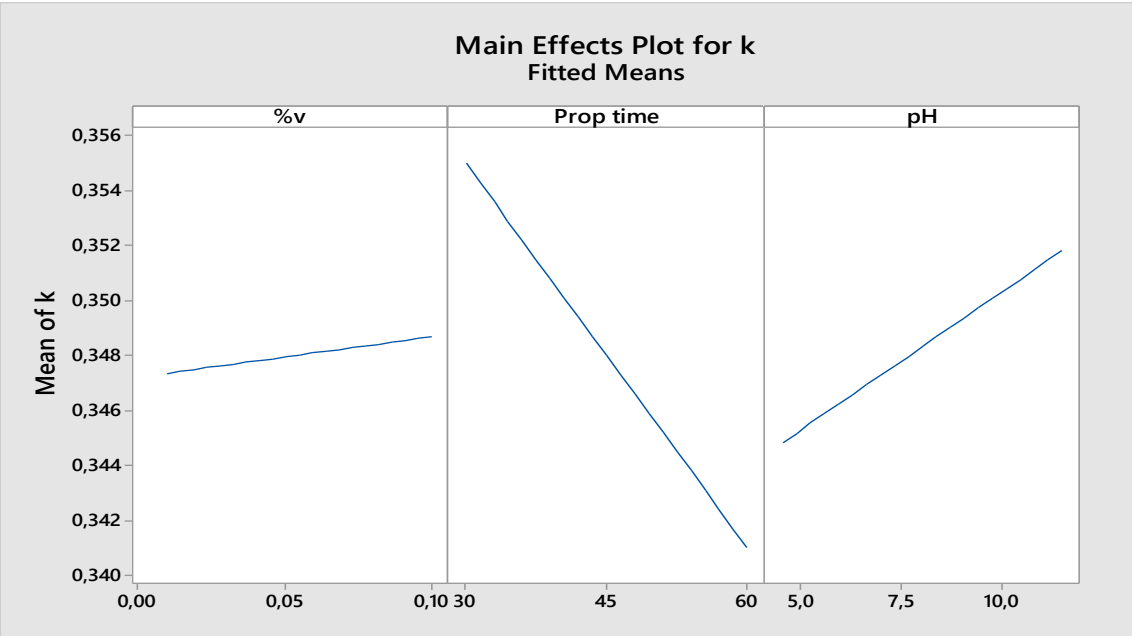
Silika nanoakışkanların termal iletkenliği ile parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için lineer regresyon yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik için hesaplanan R^2 değeri %99,79 olarak hesaplanmıştır. Bu durum elde edilen regresyon eşitliğinin gerçek verileri temsil etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Üç farklı akışkan tipi için hazırlanan regresyon eşitlikleri aşağıda Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Silisyumdioksit ile hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliği için regrasyon eşitliği

Akışkan Tipi	Regresyon Eşitliği
Su	0,5796 + 0,2784 %v + 0,000522 Prop time + 0,00296 pH
Etanol	0,1376 + 0,2784 %v + 0,000522 Prop time + 0,00296 pH
Etilenglikol	0,2040 + 0,2784 %v + 0,000522 Prop time + 0,00296 pH

Titanyumdioksit nanoakışkanların termal iletkenliği için yapılan analiz sonucunda %95 güven aralığında termal iletkenlik üzerinde hacimsel katı oranının istatistiki olarak etkisiz olduğu (p=0,850), ultrasonik karıştırma süresinin etkisiz olduğu (p=0,118), pH'ın etkisiz olduğu (p=0,352) görülmüştür. Akışkan tipinin istatistiki olarak etkili olduğu (p=0,000) olduğu bulunmuştur.

Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini göstermek amacıyla ana etki grafikleri çizilmiştir. Çizilen ana etki grafikleri aşağıdaki Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 Titanyumdioksit nanoakışkanların termal iletkenliği için ana etki grafikleri

Yukarıda verilen grafik incelendiğinde hacimsel katı oranı, prop time ve pH'ın termal iletkenliği artırıcı etkide bulunduğu görülmektedir. Akışkan tipi haricindeki parametrelerin yanıt üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

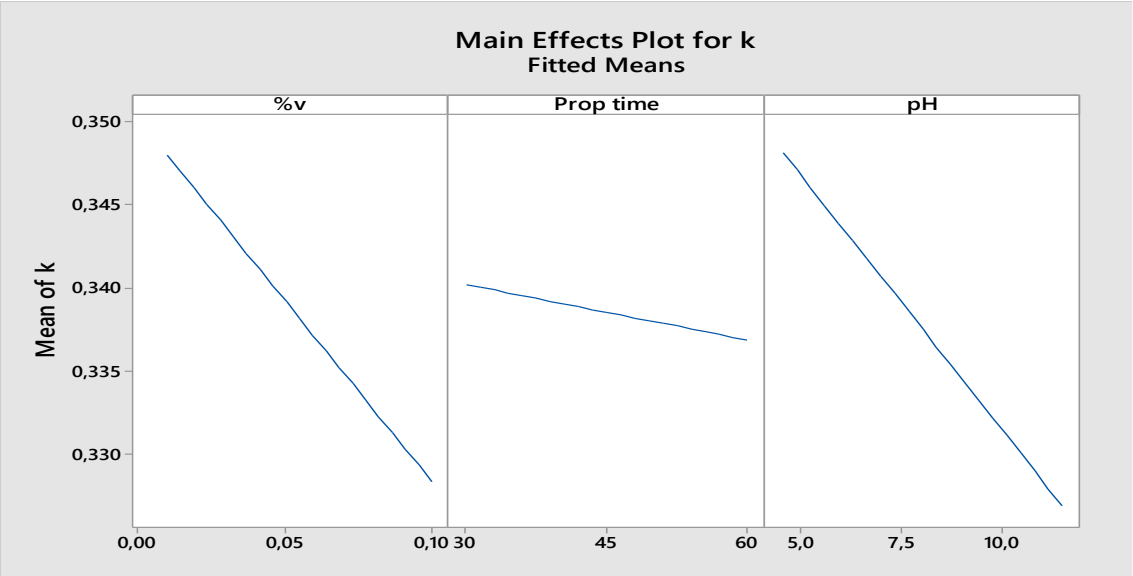
Titanyumdioksit nanoakışkanların termal iletkenliği ile parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için lineer regresyon yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik için hesaplanan R^2 değeri %99,84 olarak hesaplanmıştır. Bu durum elde edilen regresyon eşitliğinin gerçek verileri temsil etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Üç farklı akışkan tipi için hazırlanan regresyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.5 Titanyumdioksit nanoakışkanların termal iletkenliği için regrasyon eşitliği

Akışkan Tipi	Regresyon Eşitliği
Su	0,6189 + 0,0148 %v - 0,000467 Prop time + 0,001000 pH
Etanol	0,1902 + 0,0148 %v - 0,000467 Prop time + 0,001000 pH
Etilenglikol	0,2725 + 0,0148 %v - 0,000467 Prop time + 0,001000 pH

Titanyumdioksit-silika hibrit nanoakışkanların termal iletkenliği için yapılan analiz sonucunda %95 güven aralığında termal iletkenlik üzerinde hacimsel katı oranının istatistiki olarak etkisiz olduğu (p=0,148), ultrasonik karıştırma süresinin etkisiz olduğu (p=0,764), pH'ın etkisiz olduğu (p=0,124) görülmüştür. Akışkan tipinin istatistiki olarak etkili olduğu (p=0,000) olduğu bulunmuştur.

Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini göstermek amacıyla ana etki grafikleri çizilmiştir. Çizilen ana etki grafikleri aşağıda Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 Titanyumdioksit-silika nanoakışkanların termal iletkenliği için ana etki grafikleri

Titanyumdioksit-silisyumdioksit hibrit nanoakışkanların termal iletkenliği ile parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için lineer regresyon yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik için hesaplanan R^2 değeri %99,55 olarak hesaplanmıştır. Bu durum elde edilen regresyon eşitliğinin gerçek verileri temsil etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Üç farklı akışkan tipi için hazırlanan regresyon eşitlikleri aşağıda Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Silika-titanyumdioksit hibrit nanoakışkanların termal iletkenliği için regrasyon eşitliği

Akışkan Tipi	Regresyon Eşitliği
Su	0,6207 - 0,219 %v - 0,000111 Prop time - 0,00304 pH
Etanol	0,2137 - 0,219 %v - 0,000111 Prop time - 0,00304 pH
Etilenglikol	0,3013 - 0,219 %v - 0,000111 Prop time - 0,00304 pH

4.3 Zeta potansiyeli ve Partikül çapı

Çizelge 4.7'de SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların zeta potansiyeli ve partikül çapı değerleri yer almaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi iyi bir nanoakışkanın zeta potansiyeli değerinin ±30-±40 aralığında olması beklenir (Vandsburger 2009). ''S'' ile gösterilen SiO_2 nano akışkanların zeta potansiyeli değerleri incelendiğinde S3, S4 ve S8 deneyleri referans aralıkta yer almaktadır.

Çizelge 4.7 Nanoakışkanların zeta potansiyeli ve partikül çapı değerleri

Deneyin Adı	Hacimsel Oran (v/v)	Zeta Potansiyeli (mV)	Partikül Çapı (nm)	Deneyin Adı	Zeta Potansiyeli (mV)	Partikül Çapı (nm)	Deneyin Adı	Zeta Potansiyeli (mV)	Partikül Çapı (nm)
S1	**0,01**	-19,83	376,9	T1	13,3	543,3	H1	-0,52	3651,67
S2	**0,01**	-16,07	657,43	T2	-15,9	613,20	H2	-24,66	2870
S3	**0,01**	-30,3	279,77	T3	-23,3	815,70	H3	-26,43	766,47
S4	**0,05**	-32,3	902,7	T4	-13,73	2536,33	H4	-13,27	1048,33
S5	**0,05**	-27,9	486,77	T5	-10,58	865,90	H5	-17,60	1337,33
S6	**0,05**	-25,13	688,8	T6	-0,18	4544,67	H6	-5,44	1252,67
S7	**0,1**	-44,2	366,9	T7	-18,73	928,67	H7	-23,3	1323,33
S8	**0,1**	-33,3	875	T8	-0,42	311,53	H8	-4,72	359,17
S9	**0,1**	-16,73	684,8	T9	-6,11	1799,33	H9	-5,13	5890,67

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Taguchi L9 deney tasarımı kullanılarak SiO_2, TiO_2 ve SiO_2-TiO_2 hibrit nanoakışkanların hazırlandığı ve bu nanoakışkanların fiziksel özelliklerinin belirlendiği bu çalışmada aşağıda ki sonuçlar elde edilmiştir.

- Ultrasonic karıştırma süresinin artırılması nanoakışkanların askıda kalmasını sağlamıştır.
- Nanoakışkanların ısı iletim katsayısıları ultrasonic karıştırma süresi artırıldıkça artmıştır.
- Katı miktarının artırılması ısı iletim katsayısının artmasını sağlamıştır.
- Viskozite değerleri katı miktarı arttıkça artmıştır.
- Zeta potansiyeli değeri katı miktarı arttıkça artmıştır.
- Katı miktarı arttırıldıkça daha yoğun görüntülü nanoakışkanlar elde edilmiştir.
- Nanoakışkanların ultarsonik karıştırma süreleri artırıldıkça daha yoğun görüntülü nanoakışkanlar elde edilmiştir.

Nanoakışkanların hazırlanması ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi oldukça zahmetli bir süreçtir. Literatürde kararlı ve uzun süre askıda kalan nanoakışkanlar elde etmek için çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Nanoakışkanların kararlılığını artıran bir çok yöntem mevcuttur. Farklı yüzey aktif madde miktarları ve çeşitli yüzey aktif maddeler kullanılarak kararlılığı yüksek nanoakışkanlar elde etmek mümkündür.

Iyi bir nanoakışkanın bir uygulamada kullanılabilmesi için uzun süre kararlı kalabilmesi çok önemlidir. Nano akışkanların kaç gün boyunca kararlı kalabildiğinin belirlenmesi katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akilu, S., Baheta, A.T. and Sharma, K.V. 2017. Experimental measurements of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol-based hybrid nanofluid with TiO_2-CuO/C inclusions, Journal of Molecular Liquids, 246: 396-405.

Anoop, K., Sadr, R., Yu, J., Kang, S., Jeon, S. and Banerjee, D. 2012. Experimental study of forced convective heat transfer of nanofluids in a microchannel. International Communications in Heat and Mass Transfer, 39: 1325–1330.

Arslan, F.M ve Günerhan, H. 2017. Enerji uygulamalarında kullanılan nanoakışkanların ısıl özelikleri, Teskon Bilimsel / Teknolojik Araştırma Bildirileri.

Aytaç, İ. 2020. Isı geri kazanım ünitelerinde nanoakışkan kullanımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 95 sayfa, Ankara.

Azmi, W., Sharma, K., Mamat, R. and Alias, A. 2012. Correlations for thermal conductivity and viscosity of water based nanofluids. Materials Science and Engineering, 36: 12-29.

Bajestan, E. E., Moghadam, M. C., Niazmand, H., Daungthongsuk, W. and Wongwises, S. 2016. Experimental and numerical investigation of nanofluids heat transfer characteristics for application in solar heat exchangers, International Journal of Heat and Mass Transfer, 92: 1041-1052.

Buongiorno, J. 2006. Convective transport in nanofluids, J. Heat Trans.-T. Asme. 128: 240–250.

Choi, S. 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, ASME FED, 231: 99–103,

Colangelo, G., Favale, E., Risi, A. and Laforgia, D. 2012. Results of experimental ınvestigations on the heat conductivity of nanofluids based on diathermic oil for high temperature applications. Applied Energy, 97: 828–833.

Colla, L., Fedele, L., Scattolini, M., and Bobbo, S. 2011. Water-based Fe_2O_3 nanofluid characterization: thermal conductivity and viscosity measurements and correlation. Advances in Mechanical Engineering, Volume 2012.

Çiftci, H. 2014. Küresel yüzeylerde nanoakışkanlarda kaynama ısı transferinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 63 sayfa, Erzurum.

Demirpolat, A.B. 2018. Etilen glikol bazlı nanoakışkanların üretilmesi, viskozite ve termal özelliklerinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, 129 sayfa, Elazığ.

Demirpolat, A. B. ve Daş, M. 2019. CuO ve ZnO İçeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve yapay sinir ağı ile modellenmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 11(11): 225-238.

Dilek, E. F. 2008. Nanoakışkanların hazırlanması ve ısıl iletkenliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 83 sayfa, Erzurum.

Doruk, S. 2017. Faz değiştiren madde içeren nanokapsül sentezi ve nannoakışkan hazırlanmasında kullanımı, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, 124 sayfa, Erzurum.

Elçioğlu, E.B., Yazıcıoğlu, A. G. ve Kakaç, S. 2014. Nanoakışkan viskozitesinin karşılaştırmalı değerlendirmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34 (1): 137-151.

El-Samny, M.F. 2008. Nanoarchitecture, nanotechnology and architecture, Yüksek Lisans Tezi, University of Alexandria Faculty of Engineering Department of Architecture.

Ganvir, R. B., Walke, P. V. and Kriplani, V. M. 2017. Heat transfer characteristics in nanofluid-A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75: 451–460.

Gonçalves, J. S. V., Santos, S. H. and Leal, L. S. Santos Junior1, M. R. M. C. Santos1, E. Longo and Matos, J. M. E. 2009. Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO_2 nanoparticles, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de janeiro Brazil.

Gordijn, B. 2005. Nanoethics: From Utopian dreams and apocalyptic nightmares towards a more balanced view, Science and Engineering Ethics, 11: 521-533.

Gupta, M., Singh, V., Kumar, R. and Said, Z. 2017. A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74(March): 638–670.

Gürmen, S. ve Ebin, B. 2008. Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1, Metalurji Dergisi, 150: 31-38.

Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. 2003. Taguchi Metodu: Bir uygulama. Teknoloji, 6: 7-17.

Han, D., He, W.F. and Asif, F.Z. 2017. Experimental study of heat transfer enhancement using nanofluid in double tube heat exchanger, Energy Procedia 142: 2547–2553.

Hwang, Y., Lee, J.K., Lee, C.H., Jung, Y.M., Cheong, S.I., Lee, C.G., & Kus.P. Jang, B.C. 2007. Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids, Cilt 455. Thermochimica Acta. 1-2, 70-74.

Hooman, Y., Gharehkhani, S., Goodarz, A., Seyed Farid, S.Ş., Baradaran, S., Montazer, E., Mohd Zubir, M.N., Alehashem, M.S., Dahari, M. and Kazi, S.N. 2015. Graphene nanoplatelets-silver hybrid nanofluids for enhanced heat transfer, Energy Conversion and Management, 100: 419–428.

Jang, S. P. and Choi, S. U. S. 2004. Role of brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids, 84(21): 4316–4318.

Kakaç, S. and Pramuanjaroenkij, A. 2009. Review of heat transfer enhancement with nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52: 3187-3196.

Kleinstreuer, C., and Feng, Y. 2011. Experimental and theoretical studies of nanofluid thermal conductivity enhancement: a review. Nanoscale research letters, *6*(1): 1-13.

Li, X., Zhu, D., Wang, X. 2007. Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions". Journal of Colloid and Interface Science, Cilt 310. 2, 456-463.

Öğüt, E.B., Öztop, H.F. ve Kılıçtepe, M. 2017. Üçgen bir kavite içerisindeki bakır-su nanoakışkanların doğal konveksiyon üzerinde viskoz ite modellerinin etkisi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29:37-43.

Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S. A., Pop, I. and Wongwises, S. 2013. A review of the applications of nanofluids in solar energy. International Journal of Heat and Mass Transfer, 57(2): 582–594.

Manjula, S., Mahesh, S. K., Raıchur, A. M., Madhu, G. M., Suresh, R., Raj, M. A. L. 2005. A sedimentation study to optimize the dispersion of alumina nanoparticles in water. Ceramica, Cilt 51. 121- 127.

Mikkola, V., Puupponen, S., Granbohm, H., Saari, K., Ala-Nissila, T., Seppala, A. 2018. Influence of particle properties on convective heat transfer of nanofluids, Int. J. Therm. Sci. 124:187–195.

Mnyusiwalla, A., Daar, A. S., Singer, P. A. 2003. 'Mind the gap': Science and ethics in nanotechnology, Institute Of Physics Publishing, Nanotechnology, 14: R9–R13

Paul, G., Chopkar, M., Manna, I., Das, P. 2010. Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14: 1913–1924.

Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A. 2011. A review on applications and challenges of nanofluids, Renew. Sustain. Energy Rev. 15: 1646–1668.

Sarkar, J., P., Ghosh, P., Adil, A. 2015. A review on hybrid nanofluids: Recent research, development and applications, Renew. Sustain. Energy Rev. 43.164–177.

Sidik, N. A. C., Jamil, M. M., Japar, W. M. A. A. and Adamu, I. M. 2017. A review on preparation methods, stability and applications of hybrid nanofluids. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80: 1112-1122.

Srikant, R. R., Rao, D. N., Subrahmanyam, M. S. and Krishna, V. P. 2009. Applicability of cutting fluids with nanoparticle inclusion as coolants in machining. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 223(2): 221–225.

Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M. 2006. Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi. Mühendis ve Makina, 47(559): 29-34.

Tavman, I., Turgut, A. 2010. An ınvestigation on thermal conductivity and viscosity of water based nanofluids, Microfluidics Based Microsystems NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology, 139-162.

Touloukian, Y. S., Powell, R. W., Ho, C. Y. and Klemens, P. G., 1970. Thermophysical Properties of Matter, Plenum Press, New York, 2.

Turgut, A., Doğanay, S. 2016. Nanoakışkanların ısıl iletkenlik ve viskozitesinin deneysel incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi: 95-103.

Turhan, A.C. 2018. Hibrit nanoakışkanların stabilite ve ısıl özelliklerinin yapay sinir ağlarıyla incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 75 sayfa, Samsun.

Vandsburger, L. 2009. Synthesis and covalent surface modification of carbon nanotubes for preparation of stabilized nanofluid suspensions, Master's thesis, McGill University, Canada.

Verma, P., Chaturvedi, P., Rawat, J.S.B.S. 2007. Elimination of currentnon-uniformity in carbon nanotube field emitters, J Mater Sci: Mater Electron, 18: 677–80.

Xu, J.F., Zhang, J.R., Du, Y.W. 1996. Ultrasonic velocity and attenuation in nano-structured Zn materials, Mater Lett; 29: 131–4.

Xuan, Y., Li, Q., Hu, W., 2003. Aggregation structure and thermal conductivity of nanofluids, AIChE Journal, Cilt 49, No 4: 1038-1043.

Yasinskiy, A., Navas, J., Aguilar, T., Alcantara, R., Gallardo, J.J., Sanchez-Coronilla, A., Martin, E.I, De Los Santos, D., Fernandez-Lorenzo, C. 2018. Dramatically enhanced thermal properties for TiO_2-based nanofluids for being used as heat transfer fluids in concentrating solar power plants, Renewable Energy 119:809–819.

Yu, W., France, D., Choi, S. and Routbort, J. 2007. Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications, Renewable Energy, Medium: ED.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Ayşe ŞANALDI

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	2018-Halen
Lisans	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü	2006-2011

İş Deneyimi

Yıl	Kurum	Görev
2013-Halen	Kastamonu Üniversitesi Tosya Meslek Yüksekokulu	Bilg.İşlt.